

桑沟湾贝类养殖海域石油烃污染状况及其对贝类质量安全的影响

乔向英, 陈碧鹃, 周明莹, 崔正国

(中国水产科学研究院黄海水产研究所, 农业部海洋渔业资源可持续利用重点实验室, 山东省渔业资源与生态环境重点实验室, 青岛 266071)

摘要: 2008 年 1 ~ 11 月在桑沟湾贝类养殖海域分别采集表层海水、表层沉积物和养殖贝类样品, 进行了石油烃含量分析. 依据石油烃含量检测结果, 分析了桑沟湾贝类养殖海域海水和沉积物中石油烃含量的分布和变化趋势以及贝类体内石油烃含量水平和种间差异, 并对 3 种介质中石油烃的污染状况进行了评价, 最后探讨了贝类体内积累的石油烃及对贝类质量安全性的影响. 结果表明: ①桑沟湾贝类养殖海域海水中石油烃的含量范围在 3. 61 ~ 98. 21 $\mu\text{g/L}$, 沉积物均值含量范围在 6. 75 ~ 25. 95 mg/kg , 养殖贝类体内石油烃含量范围在 2. 14 ~ 42. 87 mg/kg , 贝体中石油烃含量存在明显的种间差异, 平均含量由高到低依次为菲律宾蛤 > 牡蛎 > 扇贝. ②桑沟湾贝类养殖海域海水和沉积物中石油烃的含量具有明显的月际变化, 海水中石油烃含量以 7 月最高、8 月最低, 表层沉积物中石油烃含量以 9 月最高、3 月最低. ③桑沟湾贝类养殖海域表层海水污染状况为受到石油烃污染, 表层沉积物污染状况为未受到石油烃污染, 而养殖贝类污染状况为受到石油烃污染. 不同贝类品种污染程度不尽相同, 栉孔扇贝污染轻于菲律宾蛤和牡蛎. ④进行了养殖贝类与其它 2 种暴露介质石油烃含量的线性回归分析, 养殖贝类与表层海水的石油烃含量呈显著的正相关 ($r = 0. 87$), 与表层沉积物石油烃含量只是有一般的正相关性 ($r = 0. 37$). ⑤对贝类体内所含石油烃类而言, 桑沟湾 3 种养殖贝类的食用安全风险相对较小.

关键词: 桑沟湾; 石油烃; 污染评价; 相关性; 贝类质量安全

中图分类号: X55; X503. 22 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2011)08-2391-06

Petroleum Hydrocarbon Pollution Status in Shellfish Culture Area of Sanggou Bay and Effect on Quality Safety of Shellfish

QIAO Xiang-ying, CHEN Bi-juan, ZHOU Ming-ying, CUI Zheng-guo

(Shandong Provincial Key Laboratory of Fishery Resources and Ecological Environment, Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fisheries Resource, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China)

Abstract: Petroleum hydrocarbon concentrations in seawater, surface sediments and culture shellfish were investigated in shellfish culture area of Sanggou Bay from Jan. to Nov. in 2008. Investigation was conducted on the distribution and variation of petroleum hydrocarbon concentrations in seawater and sediments in the shellfish culture area of Sanggou Bay, as well as on the levels and the differences in petroleum hydrocarbon concentrations among the shellfish species. In addition, the petroleum hydrocarbon pollution status in the three media was evaluated and the effects of accumulated petroleum hydrocarbon in shellfish on the food safety risk were discussed. The results indicated: ① Petroleum hydrocarbon concentrations in seawater in the shellfish culture area of Sanggou Bay were in the range of 3. 61-98. 21 $\mu\text{g/L}$; the mean values of petroleum hydrocarbon concentrations in sediments were in the range of 6. 75-25. 95 mg/kg ; petroleum hydrocarbon concentrations in culture shellfish were in the range of 2. 14-42. 87 mg/kg ; and petroleum hydrocarbon concentrations in shellfish varied largely among different species, with the mean values in the sequence of clam *Venerupis variegata* > oyster > scallop; ② Monthly petroleum hydrocarbon concentrations in seawater and surface sediments varied significantly in Sanggou Bay shellfish culture area, with the highest and the lowest values of petroleum hydrocarbon concentrations in seawater that occurred in July and in August, respectively, and with the highest and the lowest values of petroleum hydrocarbon concentrations in surface sediments that occurred in September and in March, respectively; ③ According to the corresponding evaluation criteria, the petroleum hydrocarbon pollution status in surface sediments in Sanggou Bay shellfish culture area was unpolluted but the status in surface seawater was polluted. The culture shellfish was also polluted by petroleum hydrocarbon with different degrees among three species, namely, the pollution degree of clam *Venerupis variegata* and oyster was more serious than that of scallop *Chlamys farreri*; ④ The results of linear regression analysis showed that petroleum hydrocarbon concentrations in shellfish had a significantly positive correlation with the concentrations in seawater, while the linear correlation between the concentrations in shellfish and surface sediments

was not obvious; and ⑤ According to the pollution level of petroleum hydrocarbon in shellfish, the food safety risk of three culture shellfishes in Sanggou Bay was relatively low.

Key words: Sanggou Bay; petroleum hydrocarbon; pollution evaluation; correlation; shellfish quality safety

石油类对海洋环境及养殖贝类的污染一直是不容忽视的问题之一. 海水和沉积物环境受石油烃污染往往使海洋生物成为“受害者”, 并会通过食物链的传递^[1], 影响水产品的质量和食用安全^[2]. 双壳贝类(如牡蛎、扇贝、菲律宾蛤等)属滤食性生物, 对亲脂性化合物石油烃等具有高度的富集作用, 同时石油类又含有多种难以被微生物降解的致癌化合物, 特别是石油烃衍生出的多环芳烃, 对生物的毒性很强. 人们食用了被石油类污染的贝类, 会在体内逐级积累危及人体的健康和安全^[3], 所以, 石油烃的污染已经引起世界各国人们的重视^[4]. 为此, 开展对水环境、沉积物环境及养殖贝类生物体石油烃污染状况评价和石油烃对贝类质量安全的影响评价非常必要.

桑沟湾位于山东半岛的东端($37^{\circ}01' \sim 37^{\circ}09' N$, $122^{\circ}26' \sim 122^{\circ}56' E$), 为半封闭海湾, 北、西、南三面为陆地环抱, 海湾口门宽 11 km, 面积 150.3 km², 水深 7~8 m, 是中国北方重要的水产养殖区^[5]. 国内外有关描述海洋水体、沉积物或海洋生物体单一介质石油烃含量及污染状况的文献较多^[6~13], 但有关该区域水环境、沉积物环境及贝类中石油烃污染状况的系统研究、综合评价及石油烃污染对贝类质量安全的影响分析鲜见报道. 为及时、准确、全面地了解桑沟湾养殖海域和贝类生物体石油烃的污染状况, 本研究依据 2008 年 1~11 月共 8 个航次对桑沟湾贝类养殖海域水环境、表层沉积物环境及养殖贝类体中石油烃含量的调查结果, 分析了该海域石油烃的含量水平、空间分布和月际变化, 同时进行了污染评价, 并探讨了石油烃污染对养殖贝类质量安全的影响, 以期合理开发和利用桑沟湾的海洋资源、促进水产养殖业的可持续发展提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 调查时间、调查区域和站位设置

调查时间分别为 2008 年 1、3、5、7、8、9、10、11 月, 共 8 个航次. 调查区域为桑沟湾贝类养殖区, 设置 6 个调查站位(图 1).

1.2 样品的采集与分析

在每个调查站位分别采集表层海水、表层沉积物和养殖贝类样品, 海水、沉积物和贝类样品总数量

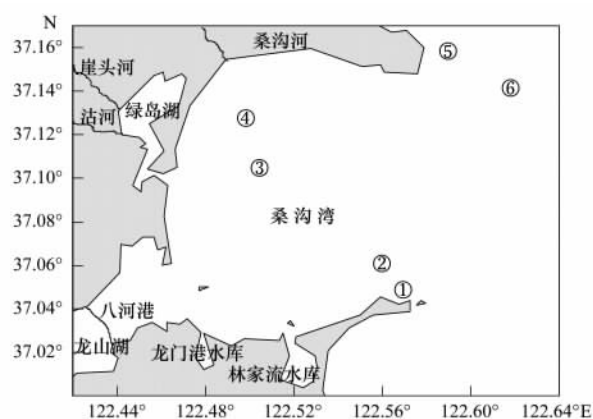


图 1 桑沟湾调查区域和站位分布示意

Fig. 1 Survey area and sampling stations in Sanggou Bay

均为 48 个. 48 个贝类样品中, 栉孔扇贝(采集站位为 5、6 号)、牡蛎(采集站位为 2、3 号)和菲律宾蛤(采集站位为 1、4 号)样品各 16 个. 所有样品的采集、储存、前处理及分析均按照文献^[14~17]规定的方法进行. 用荧光分光光度法测定样品中石油烃的含量. 所用标准溶液为国家海洋环境监测中心制备的 20 号标准油. 所用仪器为日本岛津 RF-540 型荧光分光光度计, 仪器条件: 激发波长 310 nm, 发射波长 360 nm.

1.2.1 海水样品

水样用抛浮式无油玻璃采水器在每个调查站位分别采集表层(0.5 m)海水. 用 1:1 的盐酸将样品调节至弱酸性(pH 约为 4), 以 10.0 mL \times 2 的环己烷萃取, 萃取液密封后在 $5^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$ 条件下避光保存. 在实验室进行石油烃含量测定.

1.2.2 沉积物样品

用抓斗式底泥采样器在每个调查站位分别采集表层(0~5 cm)沉积物, 封存于聚乙烯袋中, 置于装有冰块的泡沫箱中, 冷藏带回实验室进行冷冻保存.

在实验室将样品解冻混匀后, 风干, 研磨后称取 $0.3 g \pm 0.01 g$, 于 20 mL 具塞比色管中, 加环己烷至标线, 塞紧管塞, 浸泡 5 h, 期间不断振荡摇动. 取上清液分析石油烃含量.

1.2.3 贝类样品

在每个调查站位分别采集贝类后, 用海水冲洗, 分别放入聚乙烯袋中, 置于装有冰块的泡沫箱中, 冷藏带回实验室进行 $-20^{\circ}C$ 保存.

在实验室常温下解冻后,去壳、匀浆,准确称取 2~5 g(±0.01 g)贝类样,加入 6 mol/L 的氢氧化钠 20 mL,加入无水乙醇 20 mL 充分振荡,在室温避光皂化 5~6 h.将皂化液与 25 mL 饱和氯化钠溶液混合,用 20.0 mL 氟利昂分 2 次萃取.合并萃取液后旋转蒸发至近干,准确加入 10.0 mL 环己烷,进行石油烃含量分析.

2 结果与讨论

2.1 海水中石油烃含量的空间分布和月际变化

桑沟湾贝类养殖海域表层海水中石油烃含量的

表 1 2008 年桑沟湾各监测点表层海水中石油烃的含量及平均值/μg·L⁻¹

站 位	1 月	3 月	5 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	平均值
1 号	28.68	10.36	17.94	98.21	10.78	40.02	26.94	26.26	32.39
2 号	66.54	7.78	13.89	74.41	13.77	40.02	31.57	31.36	34.91
3 号	20.65	15.29	7.68	18.89	14.36	32.22	13.62	30.23	19.12
4 号	42.45	7.35	16.99	35.68	10.18	3.85	15.08	20.01	18.97
5 号	48.19	12.07	26.76	44.27	3.61	19.27	25.20	16.04	24.42
6 号	50.68	10.78	25.34	13.59	9.59	39.43	20.57	43.85	26.73

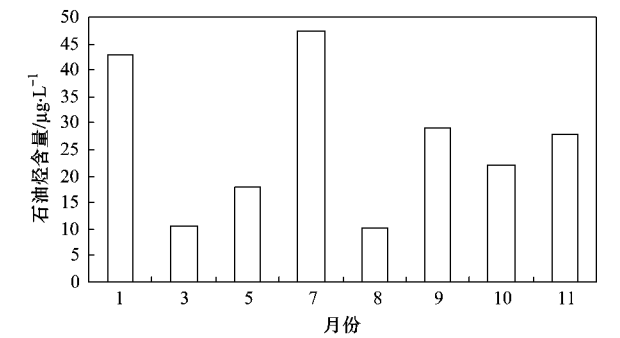


图 2 桑沟湾海水中石油烃含量的月际变化

Fig.2 Monthly average petroleum hydrocarbon concentrations in seawater in Sanggou Bay

2.2 沉积物中石油烃含量的空间分布和月际变化

桑沟湾贝类养殖海域表层沉积物中各月石油烃

平均含量的站间差异较为明显(图 3),以 1 号站位含量最高(25.95 mg/kg),4 号站位次之,6 号站位含量最低(6.75 mg/kg).导致 1 号站位表层沉积物中石油烃含量较高的原因是多方面的,既与该站位海水中石油烃平均含量较高(32.39 μg/L)有关,也受到其它因素的影响.该站位位于湾口南端,离岸近,水深较浅,使得该海域水体中悬浮泥沙含量较高,而悬浮泥沙对水中的石油烃有着富集和吸附作用.石油溢入海洋后,因其密度比海水小,故而漂浮在海面上,但它还以分子形式溶解于海水,在海流和

变化范围在 3.61~98.21 μg/L 之间,以 7 月 1 号站位石油烃含量最高(98.21 μg/L),7 月 2 号站位次之(74.41 μg/L),8 月 5 号站位含量最低(3.61 μg/L).各站位表层海水中石油烃含量均值的分布趋势为:湾口南端的 1、2 号站石油烃含量最高,湾口北端以东的 5、6 号站次之,湾西北部的 3、4 号站石油烃含量最低(表 1).

桑沟湾贝类养殖海域表层海水中石油烃含量的月际变化较为明显,但规律性不强(图 2).石油烃平均含量以 7 月最高(47.50 μg/L),1 月次之(42.86 μg/L),8 月最低(10.38 μg/L).

波浪的作用下,它不仅在水面上水平扩散,而且也向下垂直扩散,它在物理因子作用下,还以颗粒形式与海水混合形成油水乳液,稳定的油水乳液一般含水量在 50%~60% 以上,体积比原来增大 5~6 倍,相对密度和黏度比原来大得多.因而,石油烃中重组分便可以自行沉降或黏附在海水中的悬浮颗粒上,并随之沉入海底的沉积物中^[18,19].

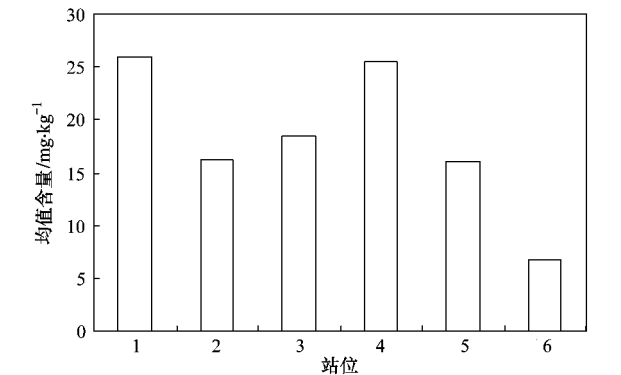


图 3 桑沟湾表层沉积物中石油烃平均含量的站间差异

Fig.3 Average petroleum hydrocarbon contents in sediments in different sampling stations

桑沟湾贝类养殖海域表层沉积物中各站位石油烃平均含量的月际变化较为明显,但规律性不是很强(图 4).石油烃平均含量以 9 月最高(30.93 mg/kg),7 月次之(24.74 mg/kg),3 月最低(5.90 mg/kg).

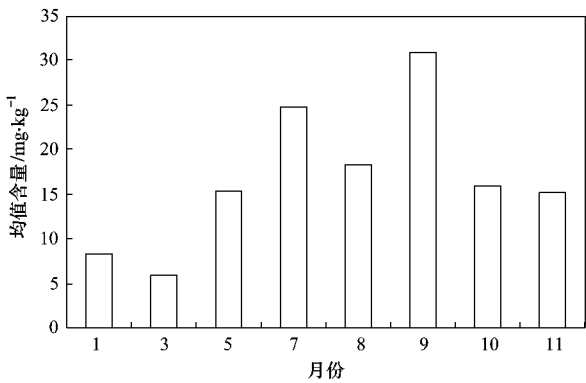


图4 桑沟湾表层沉积物中石油烃平均含量的月际变化
Fig.4 Monthly changes of petroleum hydrocarbon contents in the surface sediments in Sanggou Bay

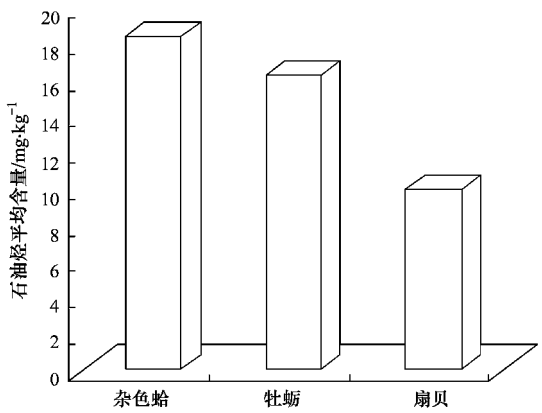


图5 贝体中石油烃平均含量的种间差异
Fig.5 Average petroleum hydrocarbon contents in different shellfishes

2.3 养殖贝类体石油烃含量水平及种间差异

桑沟湾3种养殖贝类体内石油烃含量范围在2.14~42.87 mg/kg(湿重,下同),其中菲律宾蛤含量范围在3.68~42.87 mg/kg,牡蛎含量范围在4.69~42.46 mg/kg,栉孔扇贝含量范围在2.14~17.45 mg/kg(表2)。

不同贝类体内石油烃含量的种间差异较为显著(图5),其平均含量由高到低的顺序依次为:菲律宾蛤(18.38 mg/kg)>牡蛎(16.29 mg/kg)>栉孔扇贝(9.96 mg/kg)。结果反映了不同贝类积累和代谢石油烃能力的差异。另外,因贝类缺乏或仅具有极有限的代谢石油烃类化合物的能力,双贝壳贝类比鱼类具有较高的积累石油烃的能力,并且其代谢和释放石油烃的能力远小于鱼类^[20]。所以,石油烃在贝类体内积累和残留的时间将会更长。

表2 桑沟湾养殖贝类石油烃含量水平

Table 2 Average petroleum hydrocarbon contents and ranges in shellfishes in different sampling stations in Sanggou Bay			
站 位	品 种	含量范围(湿重)	均值(湿重)
		/mg·kg ⁻¹	/mg·kg ⁻¹
1号	菲律宾蛤	11.29~42.87	24.77
2号	牡蛎	10.50~42.46	24.38
3号	牡蛎	4.69~11.88	8.21
4号	菲律宾蛤	3.68~23.50	11.99
5号	栉孔扇贝	2.14~16.80	9.65
6号	栉孔扇贝	2.21~17.45	10.26

2.4 养殖贝类与表层海水和表层沉积物石油烃含量的相关性分析

采用所测定的各站位和各月份养殖贝类、表层海水、表层沉积物石油烃含量数据,采用线性回归法进行养殖贝类石油烃的含量与表层海水石油烃含量和表层沉积物石油烃含量相关性的分析,结果表明,

养殖贝类石油烃含量与表层海水石油烃含量相关性显著,相关系数 $r=0.87$,回归方程为 $y(\text{mg/kg})=0.756x(\mu\text{g/L})+14.843$;养殖贝类石油烃含量与表层沉积物石油烃含量没有显著的相关性,相关系数 $r=0.37$,回归方程为 $y(\text{mg/kg})=0.3405x(\text{mg/kg})+13.091$ 。即桑沟湾养殖贝类石油烃含量与表层海水石油烃的含量呈显著的正相关,与表层沉积物石油烃含量虽是正相关,但相关性不显著,可能与贝类基本是筏式养殖为主,其栖息介质为海水而非沉积物有关,近岸海水中较高浓度的石油烃可在海洋动物体内形成富集。

2.5 海水、沉积物、养殖贝类体石油烃污染状况评价

2.5.1 不同介质中石油烃含量超标情况

桑沟湾贝类养殖海域表层海水中石油烃含量总体较低,仅个别月份的个别站位其含量超出文献[21]中的一、二类标准限值($\leq 0.05\text{ mg/L}$)。其中1月2、6号站位石油烃含量超标,超标倍数分别为0.33倍和0.01倍;7月1、2号站位石油烃含量超标,超标倍数分别为0.96倍和0.49倍;其它调查月份所有站位石油烃含量均符合标准要求。另外,8个航次调查海域石油烃平均含量均小于 0.05 mg/L ,符合标准要求。

桑沟湾贝类养殖海域表层沉积物中石油烃平均含量较低,8个航次所有站位石油烃含量均符合文献[22]一类标准的要求($\leq 500\text{ mg/kg}$)。

桑沟湾养殖贝类体内石油烃含量范围在2.14~42.87 mg/kg,有37.5%的贝类样品石油烃含量超出文献[23]中的一类标准限值($\leq 15\text{ mg/kg}$),超标倍数在0.02~1.86倍。

2.5.2 海水、沉积物及贝类生物体石油烃污染状况评价

(1) 评价方法和评价标准

采用单因子污染指数法,对海水、沉积物及贝类生物体石油烃污染状况进行评价. 其计算公式为:

$$P_i = \frac{C_i}{C_s}$$

式中, P_i 为石油烃的污染指数即单因子污染指数, C_i 为污染因子的实测浓度即石油烃含量的实测值, C_s 为污染因子的评价标准即标准最高限量值.

评价标准分别采用文献[21]中二类标准、文献[22]中的一类标准和文献[23]中的一类标准.

(2) 污染状况判定标准

海水和沉积物中石油烃含量判定标准采用文献[24]的规定:单因子污染指数 1.0 作为该因子是否对环境产生污染的基本分界线, $P_i < 0.5$ 为水域或沉积物未受该因子沾污, $0.5 \leq P_i \leq 1.0$ 为水域或沉积物受到该因子沾污, $P_i > 1.0$ 表明水域或沉积物已受到该因子污染.

贝类生物体中石油烃含量判定标准采用文献[25]的规定:单因子污染指数 1.0 作为该因子是否对生物产生污染的基本分界线, $P_i < 0.5$ 为生物未受该因子污染, $0.5 \leq P_i \leq 1.0$ 为生物受到该因子污染, $P_i > 1.0$ 表明生物已受到该因子污染.

(3) 海水、沉积物及贝类生物体石油烃污染状况评价结果

评价结果显示,桑沟湾贝类养殖海域表层海水受到石油烃污染,表层沉积物未受到石油烃污染,而养殖贝类也受到石油烃污染(表3).

表3 桑沟湾海水、沉积物、养殖贝类体石油烃污染状况评价
Table 3 Pollution assessment of petroleum hydrocarbon in seawater, sediments, and shellfishes in Sanggou Bay

介质参数	质量标准	P_i	污染等级
海水	$0.05/\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	0.52	受到污染
沉积物	$500/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0.04	未受到污染
贝类	$15/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0.99	受到污染

2.6 养殖贝类体内积累的石油烃对贝类质量安全的影响

评价结果表明,桑沟湾3种养殖贝类均受到石油烃污染的影响,其中菲律宾蛤和牡蛎污染程度为已受到石油烃污染,栉孔扇贝污染程度为受到石油烃污染(表4). 至于养殖贝类体内积累的石油烃是否对食用安全造成影响,下面进行具体分析.

海洋动物质量与海洋石油污染有着直接的关系,海洋动物从周围水体和食物中主动地或被动地吸收石油烃化合物是普遍现象^[20]. 石油烃所含多环

芳香烃不仅具有致癌作用,而且不易降解,不断在生物体内积累、残留. 由于双壳贝类的氧化系统存在缺陷,其生理代谢能力非常有限,因此贝类体内积累的石油烃等污染物不易排出,更容易对质量安全产生影响.

表4 桑沟湾养殖贝类不同种间石油烃含量及污染评价结果
Table 4 Average petroleum hydrocarbon contents and assessment results of different shellfishes in Sanggou Bay

品种	含量均值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	P_i	污染等级
菲律宾蛤	18.38	1.2	已受到污染
牡蛎	16.29	1.1	已受到污染
栉孔扇贝	9.96	0.7	受到污染

在受石油烃轻度污染的水域中,贝类体内的石油烃含量大多在 7 ~ 15 mg/kg,污染较重的水域可超过 15 mg/kg,贝体石油烃含量曾有超过 150 mg/kg的纪录^[26]. 根据文献报道,当水体中石油烃浓度为 0.05 mg/L时,贝体中石油烃的富集平衡浓度不到 25 mg/kg,处于文献[23]一类(15 mg/kg)和二类(50 mg/kg)标准之间,并认为贝类体内的石油烃含量 ≤ 25 mg/kg时,不会影响到食用安全^[3]. 本研究所监测的桑沟湾3种养殖贝类体内石油烃平均含量范围在 9.96 ~ 18.38 mg/kg, < 25 mg/kg说明桑沟湾养殖贝类食用安全的风险相对较小. 但是个别菲律宾蛤样品石油烃含量达到 42.87 mg/kg,已超过安全限量,应引起足够的重视,应尽量减少和消除贝类体内石油烃对公众健康安全可能造成的潜在危害.

3 结论

(1) 桑沟湾贝类养殖海域海水中石油烃的含量范围在 3.61 ~ 98.21 $\mu\text{g}/\text{L}$,具有明显的月际变化,其含量以7月最高,8月最低. 污染状况为受到石油烃污染.

(2) 桑沟湾贝类养殖海域沉积物中石油烃含量范围在 6.75 ~ 25.95 mg/kg,具有较明显的月际变化,其含量以9月最高,3月最低. 污染状况为未受到石油烃污染.

(3) 养殖贝类体内石油烃含量范围在 2.14 ~ 42.87 mg/kg. 贝体中石油烃含量存在明显的种间差异,平均含量由高到低依次为菲律宾蛤 > 牡蛎 > 扇贝. 其总体污染状况为受到石油烃污染. 不同贝类品种污染程度不尽相同,栉孔扇贝污染程度轻于菲律宾蛤和牡蛎.

(4) 进行了桑沟湾养殖贝类石油烃含量与表层

海水石油烃含量和表层沉积物石油烃含量水平的相关性分析,养殖贝类与表层海水中石油烃含量呈显著正相关,相关系数为 0.87;养殖贝类与表层沉积物中石油烃含量随呈正相关,但相关性不显著,相关系数为 0.37.

(5)桑沟湾 3 种养殖贝类石油烃类的食用安全风险相对较小.

参考文献:

[1] 蔡玉婷,许贻斌,吴立峰. 海洋养殖生物体中石油烃含量分布及变化情况研究[J]. 福建水产,2008,(3):40-43.

[2] 张文浩,王江涛,谭丽菊. 山东半岛南部近海海水及动物石油烃污染状况[J]. 海洋环境科学,2010,**29**(3):378-381.

[3] 姜朝军,乔庆林,周培根,等. 菲律宾蛤仔养殖水体中石油烃安全限量的研究[J]. 食品与发酵工业,2006,**32**(5):14-19.

[4] 马继臻,袁骥,将玫,等. 东海沿岸不同区域贝类体内石油烃含量的分布特征及其评价[J]. 海洋通报,2008, **27**(2):73-77.

[5] 将增杰,方建光,张继红,等. 桑沟湾沉积物中磷的赋存形态及生物有效性[J]. 环境科学,2007,**28**(12):2783-2788.

[6] 钟硕良,吴立峰,陈燕婷. 三都湾网箱养殖鱼类体石油烃含量水平及其分布特征[J]. 台湾海峡,2006,**25**(3):407-413.

[7] 孙福红,周启星,张倩茹. 石油烃、Cu²⁺ 对沙蚕的毒性效应及其抗氧化酶系统的影响[J]. 环境科学,2006,**27**(7):1415-1419.

[8] 钟硕良. 福建沿海养殖贝类体石油烃总量水平分布特征[J]. 海洋通报,2005,**24**(6):33-40.

[9] Viñas L, Franco M A, Soriano J A, *et al.* Accumulation trends of petroleum hydrocarbons in commercial shellfish from the Galician coast (NW Spain) affected by the Prestige oil spill [J]. Chemosphere, 2009, **75**(4):534-541.

[10] Stephen D M, Imma T, Scott W F, *et al.* Distribution of petroleum hydrocarbons and organochlorinated contaminants in marine biota and coastal sediments from the ROPME Sea Area during 2005 [J]. Marine Pollution Bulletin, 2010, doi: 10.1016/j.marpolbul.2010.09.021.

[11] Richard F L, David S P. Petroleum hydrocarbons and their effects in subtidal regions after major oil spills [J]. Marine Pollution Bulletin, 1997, **34**(11):928-940.

[12] Bixiong Y, Zhihuan Z, Ting M. Petroleum hydrocarbon in surficial sediment from rivers and canals in Tianjin, China [J]. Chemosphere, 2007, **68**(1):140-149.

[13] 罗先香,张秋艳,杨建强,等. 双台子河口湿地环境石油烃污染特征分析[J]. 环境科学研究,2010,**23**(4):437-444.

[14] 国家质量技术监督局. 海洋监测规范 GB 17378. 3-1998[M]. 北京:中国标准出版社,1998.

[15] 国家质量技术监督局. 海洋监测规范 GB 17378. 4-1998[M]. 北京:中国标准出版社,1998.

[16] 国家质量技术监督局. 海洋监测规范 GB 17378. 5-1998[M]. 北京:中国标准出版社,1998.

[17] 国家质量技术监督局. 海洋监测规范 GB 17378. 6-1998[M]. 北京:中国标准出版社,1998.

[18] 卢冰,熊健,郑士龙. 象山港海域中石油烃含量分布特征及其评价[J]. 东海海洋,1993,**11**(4):67-74.

[19] 李明海,郑西来,刘宪斌. 渤海滩涂沉积物中石油烃迁移特征[J]. 海洋学报,2006,28(1):164-168.

[20] 王益鸣,王明翠,杨红丽,等. 舟山群岛海洋动物体内石油烃的含量及对海域有机污染的指示作用[J]. 海洋环境科学,2008,**27**(6):610-614.

[21] 国家环境保护局,国家技术监督局. 海水水质标准 GB 3097-1997[M]. 北京:中国环境科学出版社. 1997.

[22] 国家质量技术监督局. 海洋沉积物质量 GB 18668-2002[M]. 北京:中国标准出版社,2002.

[23] 国家质量监督检验检疫总局. 海洋生物质量 GB 18421-2001[M]. 北京:中国标准出版社,2002.

[24] 王立俊,王健国,梁玉波,等. 海水增养殖区监测技术规程[R]. 北京:国家海洋局,2002.

[25] 徐恒振,刘现明,周传光,等. 海洋生物质量监测技术规程[R]. 北京:国家海洋局,2002.

[26] 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[J]. 湛江海洋大学学报,1999,**19**(3):160-164.