

春季大亚湾海域海洋环境中石油类含量、分布特征及评价研究

刘诗韵¹, 陈冰玲^{1*}, 王军星¹, 钟志强², 梁婷婷¹

¹惠州市海洋技术中心, 广东 惠州

²广东惠利通检测技术有限公司, 广东 惠州

Email: *383429415@qq.com

收稿日期: 2021年8月24日; 录用日期: 2021年9月13日; 发布日期: 2021年9月17日

摘要

本研究通过对2018年春季大亚湾海域的海水、沉积物及生物体中石油类含量的调查检测, 分析评估其分布特征及质量状况, 并对大亚湾历年来海水及沉积物石油类含量以及国内各海域生物体石油类含量进行对比。结果表明, 海水石油类含量为0.006~0.038 mg/L, 均值为0.015 mg/L; 沉积物石油类含量为44.1~483 mg/kg, 均值为105 mg/kg; 生物体石油类含量为 < DL~31.7 mg/kg, 均值为8.5 mg/kg。海水、沉积物中石油类含量呈现出从大亚湾北部沿岸向外海下降的趋势; 评价结果是海水、沉积物及生物体石油类含量基本符合1类标准; 通过历年比对(1996年至本研究数据采集时间), 大亚湾的海水、沉积物石油类质量情况相对良好, 而通过对比我国其他海域, 大亚湾的生物体石油类含量处于中低水平。

关键词

大亚湾沿海岸, 石油类, 综合分析

Study on the Petroleum Content, Distribution Characteristics and Evaluation in the Marine Environment of Daya Bay in Spring

Shiyun Liu¹, Bingling Chen^{1*}, Junxing Wang¹, Zhiqiang Zhong², Tingting Liang¹

¹Huizhou Marine Technology Center, Huizhou Guangdong

²Guangdong Huilitong Detection Technology Co., Ltd., Huizhou Guangdong

Email: *383429415@qq.com

Received: Aug. 24th, 2021; accepted: Sep. 13th, 2021; published: Sep. 17th, 2021

*通讯作者。

文章引用: 刘诗韵, 陈冰玲, 王军星, 钟志强, 梁婷婷. 春季大亚湾海域海洋环境中石油类含量、分布特征及评价研究[J]. 海洋科学前沿, 2021, 8(3): 56-67. DOI: 10.12677/ams.2021.83007

Abstract

On the basis of monitoring concentration of petroleum in seawater, sediments and organisms along Daya Bay in spring of 2018, the distribution and environmental quality were analyzed and evaluated, as well as compared the petroleum content of seawater and sediments in Daya Bay over the years, and compared the petroleum content of organisms in various sea areas in China. The result shows that the petroleum content of seawater is 0.006~0.038 mg/L, the average is 0.015 mg/L, the petroleum content of sediment is 44.1~483 mg/kg, the average is 105mg/kg, the petroleum content of organism is < DL~31.7 mg/kg, the average is 8.5 mg/kg. The concentration of petroleum in seawater and sediments shows a downward trend from the northern part to the outside in Daya Bay. The petroleum quality of seawater, sediments and organisms roughly conforms to Grade 1 standard. Through the comparison over the years the petroleum quality situation of seawater and sediments is good (data collected from 1996 to 2018). But the petroleum content of organisms in Daya Bay is at low to medium level among bays around China.

Keywords

Daya Bay, Petroleum, Comprehensive Analysis

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

大亚湾是我国重要的石化产业区，对惠州市的经济建设发展举足轻重，根据《惠州市功能区划(2013-2020年)》海洋环境要求，对大亚湾海域的海水、沉积物和生物体质量要求相对较高，但由于大亚湾地理位置特殊，其经济社会发展被定位为世界级石化产业基地、陆域统筹综合发展区以及带动粤东粤北发展增长极等重要区域。快速发展下随之而来的是人类活动所带来的污染，不可避免会对大亚湾近岸海域带来了一定影响和风险，而石油类污染是影响大亚湾海洋生态环境质量的重要因素之一，故研究大亚湾海域石油类污染意义重大。人们向来对大亚湾海域环境非常关注，但对石油类含量的研究大多数集中在海水和沉积物，且石油类含量通常作为综合评价的其中因子之一，本研究聚焦大亚湾海域环境质量单一因素石油类，不仅对海水及沉积物的石油类质量进行检测分析，还增加对生物体石油类质量的研究，对采自2018年春季大亚湾海域的海水、沉积物和生物体中石油类含量进行检测，分析石化工业对该片海域的影响，为大亚湾海域的石油类污染防控与治理提供技术支撑。

2. 材料与方法

2.1. 采样储存

本次实验生物体采自大亚湾海域东部 A~D 四个站位点(见图 1)，生物体种类详见表 1；同时选取 39 个站位点(见图 1)采集海水及沉积物样品。根据《海洋监测规范第 3 部分：样品采集、贮存与运输》(GB17378.3-2007) [1]，采用近岸表层采水法、抓斗式采泥方法以及虾拖捕捞法，获取水质样品 39 个、沉积物样品 39 个、生物体样品 20 个，共计样品 98 个；并对海水样品进行酸化、低温冷藏处理，对沉积物样品装入棕色玻璃瓶、低温冷藏处理；以及对生物体样品装入密封的聚乙烯袋、冷冻保存处理。

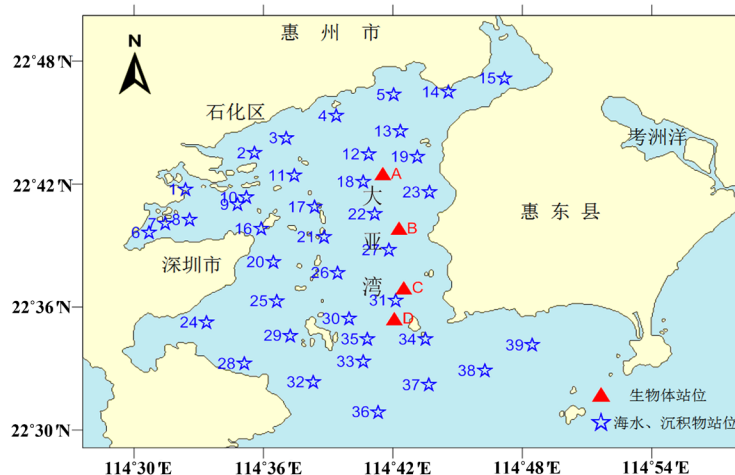


Figure 1. Sampling stations
图 1. 采样站位

Table 1. Marine organisms species
表 1. 生物体种类

站位	坐标	样品种类
A 点	114°41'32.670"E 22°42'29.850"N	无刺口虾蛄
		刀额新对虾
		蓝圆鲹
		锥螺
B 点	114°42'16.890"E 22°39'50"N	变态鲟
		鲜明鼓虾
		褐蓝子鱼
		二长棘鲷
C 点	114°42'31.050"E 22°36'57"N	毛蚶
		伪装关公蟹
		葛氏小口虾蛄
		远洋梭子蟹
D 点	114°42'04.620"E 22°35'27"N	基岛鲷
		金线鱼
		隆线强蟹
		红星梭子蟹
		尖刺糙虾蛄
		李氏鲷
		绿鳍鱼
		隆背强蟹

2.2. 检测方法

本研究选择《海洋监测规范第 4 部分：海水分析》(GB17378.4-2007) [2]的紫外分光光度法对海水石油类含量进行检测，其原理为水体中油类的芳烃组分在紫外光区有特征吸收，其吸收强度与芳烃含量成

正比；用正己烷萃取海水中的石油类，根据标准曲线测量出的吸光值，计算出萃取液中石油类的浓度，通过公式 $\rho = Q \frac{V_1}{V_2}$ ，计算得出海水样品中石油类含量的大小。

沉积物石油类检测采用《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》(GB17378.5-2007) [3]的紫外分光光度法，原理及步骤与海水的类似，但在实验的过程中，除了用正己烷对沉积物进行萃取，测得萃取液吸光值并计算出石油类浓度，还需对未受石油污染的沉积物样品进行萃取效率系数的测量与计算，以及计算出被检沉积物样品中的含水率，最后通过公式 $\omega_{oil} = \frac{\rho \times V}{K \times M \times (1 - \omega_{H_2O})}$ ，计算得出沉积物样品中石油类含量的大小。

生物体石油类含量检测采用《海洋监测规范第 6 部分：生物体分析》(GB17378.6-2007) [4]的荧光分光光度法，生物样品经过皂化，用二氯甲烷萃取蒸发后，以脱芳石油醚溶解残留物，于激发波长 310 nm，发射波长 360 nm 进行荧光分光光度测定，同时测量计算出生物体样品的干湿比，通过公式 $\omega_{oil} = \frac{(m \times V)}{(F \times M)}$ ，计算出生物体样品中石油类含量的大小。

2.3. 数据处理

本研究对采样站位的布点，以及海域中海水和沉积物石油类含量的分布图，使用 surfer 软件进行分析绘制。

2.4. 评价依据

对海水、沉积物和生物体石油类质量状况使用单因子污染指数评价法： $PI_i = C_i / S_i$ [5]，其中海水的 S_i 污染物评价标准参照《海水水质标准》(GB3097-1997) [6]中第 1、2 类标准；沉积物的 S_i 污染物评价标准参照《海洋沉积物质量》(GB 18668-2002) [7]中第 1 类标准；生物体的 S_i 污染物评价标准参照《海洋生物质量》(GB18421-2001) [8]中第 1 类标准。根据《惠州市功能区划(2013~2020 年)》对大亚湾海域不同功能区的划分，本研究将对应不同的海洋环境保护要求(见表 2)，对大亚湾海域进行分区评价。

Table 2. Marine environmental protection requirements of Daya Bay functional area

表 2. 大亚湾海域功能区海洋环境保护要求

海洋功能区	海水水质质量要求	海洋沉积物质量要求	海洋生物质量要求	本研究对应功能区的站位
小桂工业与城镇用海区	三类	二类	二类	6
小桂文体休闲娱乐区	二类	一类	一类	7
小桂保留区	二类	一类	一类	8
惠州港口区	三类	二类	二类	1、2、3、10、11
惠州港荃湾航道区	三类	二类	二类	9
霞涌-稔山文体休闲娱乐区	二类	一类	一类	4、5、14
大亚湾海洋自然保护区	一类	一类	一类	A、B、C、D、12、13、15、16、18、19、20、22、24、25、26、27、28、29、30、31、32、33、34、35、36、37、38、39
巽寮风景旅游区	二类	一类	一类	23
马鞭洲港口区	三类	二类	二类	17、21

3. 结果和讨论

3.1. 海洋环境中石油类含量状况

3.1.1. 海水中石油类含量状况

由检测数据可得(见表3), 海水石油类含量范围为 0.006~0.038 mg/L, 平均值为 0.015 mg/L。大亚湾海域海水石油类含量分布状况详见图 2, 靠近大亚湾石化区的海水石油类含量相对较高, 浓度由大亚湾西北部近岸向东南部外海呈下降趋势, 说明石化产业可能对海水石油类含量的升高具有一定影响。

Table 3. The petroleum content of sea water and sediments and Single factor pollution index (PI_i)

表 3. 海水、沉积物石油类含量及单因子污染指数(PI_i)

站位	海水		沉积物	
	含量(mg/L)	PI_i	含量(mg/kg)	PI_i
1	0.021	0.41	87.1	0.17
2	0.038	0.77	75.7	0.15
3	0.027	0.54	169.7	0.34
4	0.018	0.35	107.5	0.22
5	0.014	0.28	71.0	0.14
6	0.019	0.38	99.1	0.20
7	0.024	0.49	256.7	0.51
8	0.011	0.23	165.1	0.33
9	0.016	0.33	74.7	0.15
10	0.011	0.23	111.5	0.22
11	0.013	0.25	83.6	0.17
12	0.014	0.28	109.0	0.22
13	0.015	0.29	93.6	0.19
14	0.020	0.39	106.0	0.21
15	0.018	0.35	106.4	0.21
16	0.020	0.40	58.2	0.12
17	0.020	0.40	78.5	0.16
18	0.008	0.16	100.1	0.20
19	0.006	0.12	89.7	0.18
20	0.007	0.14	72.9	0.15
21	0.007	0.14	108.1	0.22
22	0.008	0.16	88.6	0.18
23	0.013	0.26	111.0	0.22
24	0.015	0.30	70.7	0.14
25	0.017	0.34	71.4	0.14
26	0.007	0.14	483.4	0.97
27	0.012	0.24	93.5	0.19
28	0.013	0.26	49.3	0.10

Continued

29	0.013	0.26	82.0	0.16
30	0.015	0.30	50.3	0.10
31	0.014	0.28	157.4	0.31
32	0.015	0.30	72.8	0.15
33	0.013	0.26	44.1	0.09
34	0.010	0.19	62.4	0.12
35	0.008	0.16	53.7	0.11
36	0.011	0.23	67.3	0.13
37	0.015	0.30	147.0	0.29
38	0.015	0.30	131.0	0.26
39	0.017	0.34	55.0	0.11
最小值	0.006	0.12	44.1	0.09
最大值	0.038	0.76	483	0.97
平均值	0.015	0.30	105	0.21

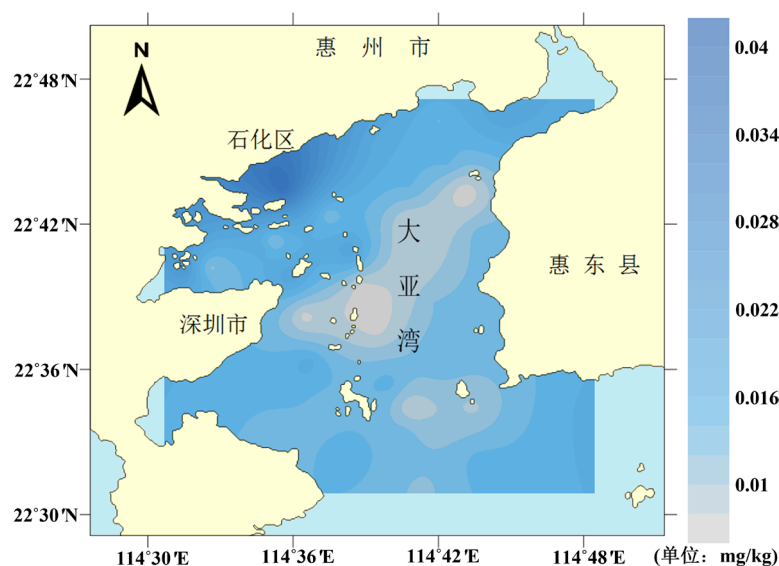


Figure 2. Distribution of Petroleum content in sea water

图 2. 海水中石油类含量分布图

3.1.2. 沉积物中石油类含量状况

沉积物石油类含量范围为 44.1~483 mg/kg, 均值为 105mg/kg (见表 3), 含量分布详见图 3。由此可得, 沉积物的石油类浓度空间分布趋势与海水基本一致, 均是从沿岸石化区向外海逐渐降低。

3.1.3. 生物体中石油类含量状况

生物体石油类含量范围为 <DL~31.7 mg/kg, 均值为 8.5 mg/kg, 不同种类的生物体石油类含量详见图 4, 甲壳动物虾类石油类含量测量值范围为 <DL~14.1 mg/kg, 均值为 8.7 mg/kg; 蟹类石油类含量测量值范围为 <DL~15.2 mg/kg, 均值为 6.3 mg/kg; 软体动物石油类含量测量值范围为 <DL~21.1 mg/kg, 均值为 10.8 mg/kg; 鱼类石油类含量测量值范围为 <DL~31.7 mg/kg, 均值为 9.8 mg/kg。

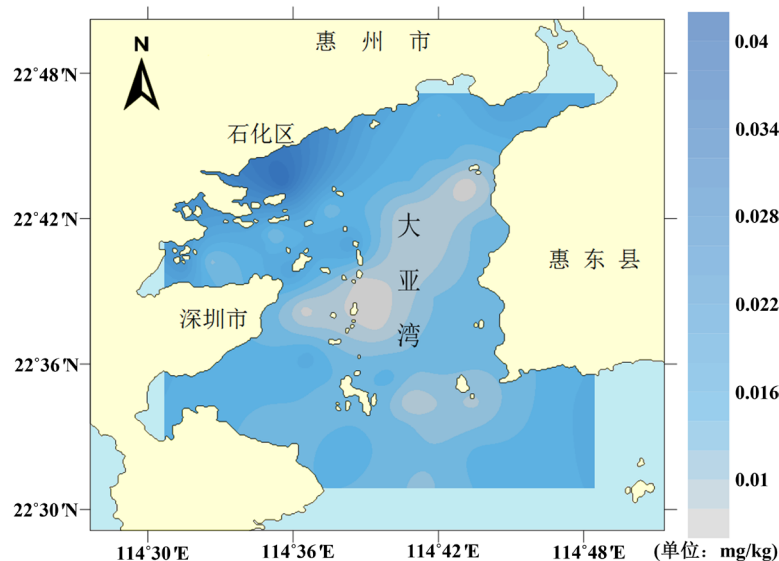
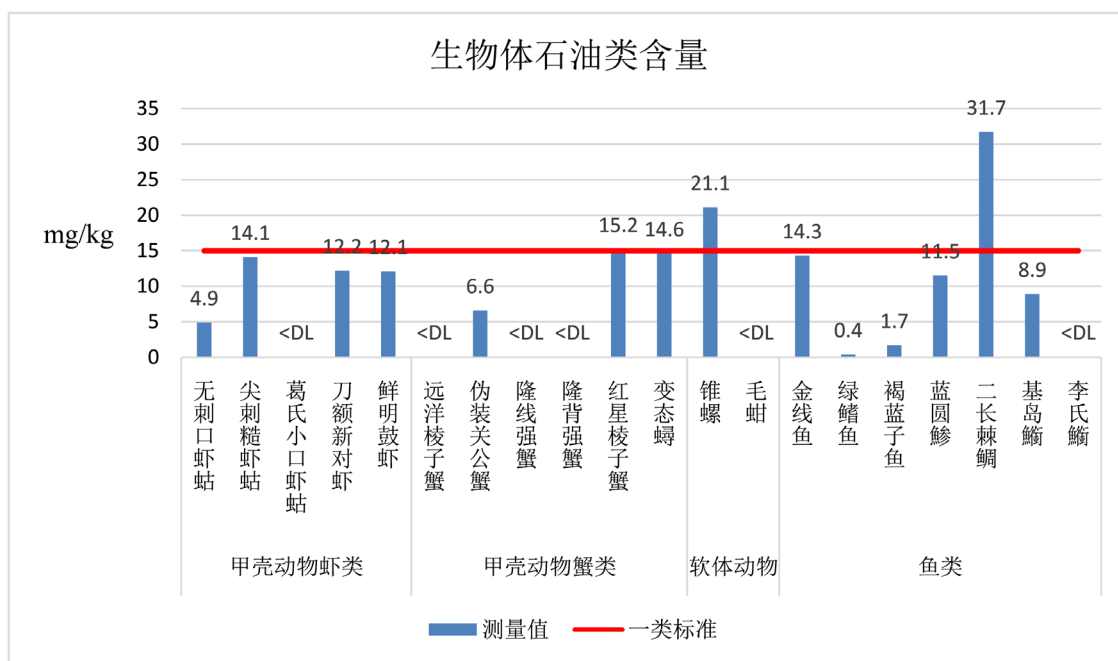


Figure 3. Distribution of petroleum content in sediments

图 3. 沉积物中石油类含量分布图



“<DL” 视为小于检出限 0.2 mg/kg 的未检出值[9]。

Figure 4. Test result of the petroleum content of organisms (unit: mg/kg)

图 4. 生物体石油类含量检测结果(单位: mg/kg)

3.2. 海洋环境质量评价

3.2.1. 海水

通过海洋环境单因子污染分析, 海水石油类 P_i 值范围为 0.12~0.76, 均值为 0.30 (见表 3), 符合《海水水质标准》(GB3097-1997) [6] 中第 1、2 类质量标准; 除了靠近石化区的站位 2 和 3 中海水石油类含量值偏高, 大亚湾海域整体海水质量优良。站位 2 和 3 属于大亚湾惠州港口区, 该区域总体开发强度较大,

沿岸建有石化基地,海底布设电缆管道、建众多石化码头、集装箱码头、煤码头、渔港及渔业码头等,并停泊大量渔船,使用类型为交通运输用海及适度兼容旅游开发。海洋环境保护要求执行海水水质第 3 类标准,故站位 2 和 3 的海水石油类含量虽偏高,但海水质量仍远低于管控标准。

3.2.2. 沉积物

通过单因子污染分析,沉积物石油类 PI_i 值范围 0.09~0.97,均值为 0.21 (见表 3),符合《海洋沉积物质量》(GB 18668-2002) [7] 中第 1 类质量标准;其中,站位 7 和 26 的沉积物石油类含量值偏高,站位 7 所处小桂文体休闲娱乐区,该区域存在较大面积的浮筏养殖、网箱养殖等开放式养殖用海;零星分布有几个小型码头,停泊大量渔船,相适宜的海域使用类型为旅游娱乐用海及适度兼容网箱养殖用海,海洋环境保护要求执行海洋沉积物质量 1 类标准。而站位 26 所处大亚湾海洋保护区,该海域总体未开发,建有大亚湾水产资源省级自然保护区,对该海域进行保护和管理采取严格的生态保护措施,相适宜的海域使用类型为特殊用海,用海要求高,海洋环境保护要求执行海洋沉积物质量 1 类标准。故站位 7 及 26 的沉积物石油类含量虽未超过 1 类标准,但其偏高的石油类含量值得关注且需做长期监测。值得一提的是,站位 26 的沉积物石油类含量达到了 483 mg/kg 的高值,已经接近超 1 类标准,而该站位对应的海水石油类含量却属低值范围,造成这种差异有可能是因为相比起水质,沉积物的石油类含量更为稳定,而水体具有流动性,得到的数值稳定性较差。

3.2.3. 生物体

根据生物体石油类含量情况分析(见图 4),除了锥螺的 21.1 mg/kg、二长棘鲷的 31.7 mg/kg 超出了《海洋生物质量》(GB18421-2001) [8] 中 1 类生物体质量的标准,其余的生物体石油类含量基本符合 1 类标准。超出 1 类的生物体锥螺是软体动物,相比其他动物,软体动物代谢石油类能力弱[10],且锥螺的运动习性缓慢,难以规避石油类污染的风险[11],这可能导致其石油类含量数值偏高;而二长棘鲷属于洄游小型鱼类,虽具有较强的回避风险能力及较高的石油类代谢能力[10] [11],但也受到了石油类的污染,这说明除去生存环境与运动习性,影响生物体受到石油类污染的因素很多。

若除掉二长棘鲷这一异常值,鱼类石油类含量范围为 < DL~14.3 mg/kg,均值为 5.3 mg/kg,4 种生物体石油类含量的富集程度为软体动物 > 甲壳动物虾类 > 甲壳动物蟹类 > 鱼类,这一结论与任娜 [12]、王召会[11]等人的研究所得基本相符。

参照海洋生物体单因子污染评价法的评价标准[12] [14], $PI_i < 0.2$ 为正常污染程度, $0.2 \leq PI_i \leq 0.6$ 为轻度污染程度, $0.6 < PI_i < 1.0$ 为中度污染程度, $PI_i \geq 1.0$ 为重度污染程度。本研究调查的生物体石油类单因子污染指数详见表 4,虽大多数生物体石油类含量不超过 1 类标准,但污染程度大多集中在正常到中度污染的范围内;其中,处正常污染范围的生物体占总体的 40%,处轻度污染范围的占 15%,处中度污染范围的占 30%,处重度污染范围的占 15%,频率分布见图 5。

Table 4. Single factor pollution index of petroleum in organisms (PI_i)

表 4. 生物体单因子污染指数(PI_i)

类别	种类	单因子污染指数(PI_i)
	无刺口虾蛄	0.33
	尖刺糙虾蛄	0.94
甲壳动物虾类	葛氏小口虾蛄	<DL
	刀额新对虾	0.81
	鲜明鼓虾	0.81

Continued

甲壳动物蟹类	远洋梭子蟹	<DL
	伪装关公蟹	0.44
	隆线强蟹	<DL
	隆背强蟹	<DL
	红星梭子蟹	1.01
	变态蟳	0.97
软体动物	锥螺	1.41
	毛蚶	<DL
鱼类	金线鱼	0.95
	绿鳍鱼	0.03
	褐蓝子鱼	0.11
	蓝圆鲈	0.77
	二长棘鲷	2.11
	基岛鲷	0.59
	李氏鲷	<DL

数据分析中，未检出值按照《海洋检测规范第2部分：数据处理与分析质量控制》处理[13]。

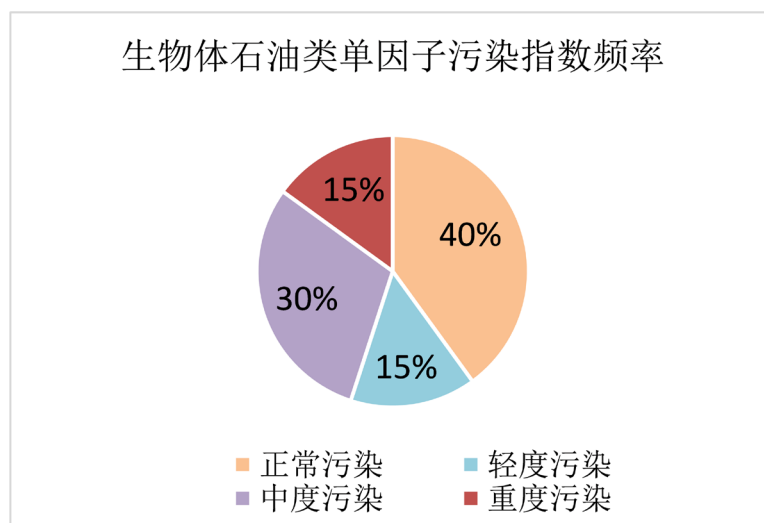


Figure 5. The frequency of single factor pollution index of petroleum in organisms
图 5. 生物体石油类单因子污染指数频率

3.3. 讨论

3.3.1. 大亚湾海域海水石油类含量历年比较

本研究收集了大亚湾海域 2005 至 2018 年以来海水石油类含量的数据，从而进行计算对比。整体上看(见表 5)，2005 到 2018 年间，大亚湾海水石油类含量范围虽逐年以微弱形式增加，但仍属 1 类水标准；2012 年到 2015 年期间，海水石油类含量范围和平均含量变大，除去 2014 年，其余的年份均超出 1 类水范围。

Table 5. Analysis of petroleum content in sea water and sediments from Daya Bay in different years
表 5. 大亚湾历年来海水、沉积物石油类含量分析

年份季度	海水				沉积物				来源
	范围(mg/L)	均值(mg/L)	PI_i 范围	PI_i 均值	范围(mg/kg)	均值(mg/kg)	PI_i 范围	PI_i 均值	
1996~1997 四季	-	-	-	-	68.2~107.2	-	0.14~0.21	-	[15]
2005 春、夏	<DL~0.049	-	<DL~0.98	-	-	-	-	-	[16]
2006 春、夏	<DL~0.118	-	<DL~2.36	-	-	-	-	-	[16]
2007 春、夏	0.011~0.067	-	0.22~1.34	-	31.8~493.0 (夏季)	103.43 (夏季)	0.06~0.99 (夏季)	0.21 (夏季)	[16][17]
2008 春、夏	0.017~0.108	-	0.34~2.16	-	-	-	-	-	[16]
2012 冬	0.048~0.089	0.065	0.952~1.774	1.297	-	-	0.074~0.427	0.206	[18]
2013 夏	0.044~0.083	0.059	0.88~1.66	1.18	-	-	-	-	[19]
2014 四季	0.017~0.019	-	0.35~0.39	-	-	-	-	-	[20]
2015 四季	0.005~0.268	0.067	0.1~5.36	1.34	7~559	183.4	0.014~1.12	0.367	[21]
2018 春	0.006~0.038	0.015	0.12~0.76	0.30	44.1~483	105	0.09~0.97	0.21	本研究

3.3.2. 大亚湾海域沉积物石油类含量历年比较

大亚湾海域沉积物石油类含量的历年数据收集不足, 单从 1996~1997 年、2007 年、2012 年、2015 年和 2018 年六个年度看, 沉积物石油类含量大体上处于较为稳定的状态, 都属 1 类沉积物标准。

通过与本研究的数据比较, 历年来大亚湾海水石油类含量偏高, 这可能是近些年来, 由于人们对海洋生态环境保护意识的提高, 政府对海洋环境保护工作力度的加大, 使得大亚湾海水的石油类污染情况得到改善; 而历年来的沉积物石油类含量偏低且变化趋势稳定, 这与海水的情况存在着差异, 造成这一差异的原因, 一是可能海水的流动性大而沉积物的稳定性大, 二是海水存在的悬浮颗粒, 对水体中石油类污染物具有较高的富集系数, 而沉积物由于其粒度相对于海水中悬浮颗粒较大, 故对石油类的凝絮作用就相应较小[21]。

3.3.3. 生物体石油类含量与其他地区相比较

本研究通过收集和计算我国各地海域生物体石油类含量的均值, 与大亚湾海域的生物体石油类含量进行对比分析(见表 6), 大亚湾海域鱼类的石油类含量高于均值, 而甲壳类和软体动物的石油类含量低于均值, 生物体质量情况整体处中低水平。由于收集到的数据时间跨度较长, 在此只能借以参考。由此可见, 尽管近些年来开展了一系列历史围填海生态修复工作, 但大亚湾海域的生物体质量仍受到石化产业一定程度的影响, 需要加强政府部门与企业间的联系, 做好石化污染源的控制与监管工作, 共同维护好海域的生态环境。

Table 6. Analysis of petroleum content in organisms from different seas (unit: mg/kg)
表 6. 不同海域生物体石油类含量分析(单位: mg/kg)

地区	年份季度	鱼类		甲壳类		软体动物		数据来源
		范围	均值	范围	均值	范围	均值	
广东大亚湾海域	2018 春	<DL~31.7	9.8	<DL~15.2	7.3	<DL~21.1	10.8	本研究
河北沧州近岸海域	-	<0.2~6.62	2.94	<0.2~8.19	4.53	4.14~23.05	12.16	[5]
浙江沿海	1998 春	<1~8.26	2.17	<1~11.1	3.79	<1~159	20.2	[22]

Continued

天津渤海湾近岸海域	2016 春	-	2.51	-	8.27	-	8.6	[12]
辽宁辽东湾海域	2013 夏	2.76~17.82	9.56	3.15~25.70	11.22	5.08~41.81	16.59	[11]
山东半岛南部近海	2007 冬	2.24~30.31	11.59	2.72~49.07	18.47	4.19~36.49	19.83	[23]
东海海域	2006 夏	-	-	-	-	1.28~37.6	10.78	[24]
福建海域	2005~2007	-	2.36	-	3.87	-	13.77	[25]
台湾浅滩西部水域	1989 夏	1.47~19.2	5.55	-	5.07	-	5.51	[26]
均值		-	5.81	-	7.82	-	13.14	-

“-”为未查到详细数据。

4. 结论

本研究通过对大亚湾海域石油类质量状况的调查分析, 得出以下结论:

大亚湾海域海水、沉积物石油类含量均符合 1 类标准, 生物体石油类含量基本符合 1 类标准; 靠近石化区的海水与沉积物石油类含量偏高, 浓度大体呈现从北部石化区向外海降低的分布状况; 生物体的石油类含量富集程度为软体动物 > 甲壳动物虾类 > 甲壳动物蟹类 > 鱼类。

通过对大亚湾海域历年石油类含量的情况比较, 2018 年春季大亚湾海水、沉积物的石油类质量相对良好; 而通过与我国各地海域生物体石油类含量的均值对比, 大亚湾的生物体石油类含量大体上处于中低水平。

基金项目

惠州市海洋与渔业资源环境调查项目(F2017-01-2)。

参考文献

- [1] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB17378.3-2007. 海洋监测规范第 3 部分: 样品采集、贮存与运输[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [2] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB17378.4-2007. 海洋监测规范第 4 部分: 海水分析[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [3] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB17378.5-2007. 海洋监测规范第 5 部分: 沉积物分析[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [4] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB17378.6-2007. 海洋监测规范第 6 部分: 生物体分析[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [5] 孙雷, 贾方, 刘江. 沧州近岸海域水产品中石油烃含量调查与分析[J]. 河北渔业, 2015(12): 14-19+56.
- [6] 国家环境保护局. GB3097-1997. 海水水质标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 1997.
- [7] 国家质量监督检验检疫总局. GB 18668-2002. 海洋沉积物质量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [8] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB18421-2001. 海洋生物质量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [9] 生态环境部. HJ442.5-2020. 近岸海域环境检测技术规范第五部分近岸海域生物质量监测[S]. 北京: 中国环境出版社集团, 2020.
- [10] Neff, J.M., Boehm, P.D. and Haensly, W.E. (1985) Petroleum Contamination and biochemical Alterations in Oysters (*Crassostrea gigas*) and Plaice (*Pleuronectes platessa*) from Bays Impacted by the *Amoco Cadiz* Crude Oil Spill. *Marine Environmental Research*, 17, 281-283. [https://doi.org/10.1016/0141-1136\(85\)90106-0](https://doi.org/10.1016/0141-1136(85)90106-0)
- [11] 王召会, 胡超魁, 吴金浩, 刘桂英, 马志强, 田甲申, 等. 辽东湾海域生物体内石油烃污染状况[J]. 环境科学学报, 2016, 36(1): 324-331.

- [12] 任娜, 朱同, 方义, 王占领, 冯婧楠, 季雨晴, 等. 天津渤海湾近岸海域生物体内重金属和石油烃含量的监测与评价[J]. 海洋信息, 2017(2): 37-43+51.
- [13] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB17378.2-2007. 海洋检测规范第2部分: 数据处理与分析质量控制[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [14] 李厦, 刘宪斌, 田胜艳, 任丽君, 王晨, 郑昊柯, 等. 天津大港近岸海域生物体内重金属、石油烃含量及其安全风险评价[J]. 安全与环境学报, 2013, 13(3): 157-160.
- [15] 丘耀文, 颜文, 王肇鼎, 张干. 大亚湾海水、沉积物和生物体中重金属分布及其生态危害[J]. 热带海洋学报, 2005, 24(5): 69-76.
- [16] 袁国明, 何桂芳. 大亚湾水环境质量变化与环境容量评估[J]. 台湾海峡, 2012, 31(4): 472-478.
- [17] 陈嘉辉, 卢楚谦, 李冬梅. 倾倒活动对大亚湾倾倒区沉积环境影响变化分析[J]. 海洋开发和管理, 2012, 29(7): 76-80.
- [18] 徐娇娇, 徐姗楠, 李纯厚, 刘永, 林琳. 大亚湾石化排污区海域冬季生态环境质量评价[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(7): 1456-1466.
- [19] 黄道建, 于锡军, 陈晓燕, 黄献华, 范文杰. 大亚湾南海石化排污口海域海水总有机碳的分布特征[J]. 水生态学杂志, 2015, 36(2): 1-5.
- [20] 聂永康, 陈丕茂, 余景, 冯雪, 袁华荣, 赵漫. 大亚湾中央列岛海域水质分析[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(16): 57-60.
- [21] 孙涛, 肖雅元, 王腾, 刘永, 付亚男, 李纯厚. 大亚湾海域水体和沉积物中石油类含量与分布特征[J]. 南方水产科学, 2018, 14(4): 1-9.
- [22] 林珏, 章红波. 浙江沿岸海域海洋动物体内的石油烃水平[J]. 海洋环境科学, 2001, 20(1): 47-50+63.
- [23] 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.
- [24] 马继臻, 袁骐, 蒋玫, 沈新强. 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): 73-78.
- [25] 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.
- [26] 贾晓平, 林钦, 吕晓瑜, 宗志伦. 台湾浅滩西部水域海洋动物的石油烃含量和荧光光谱特征[J]. 台湾海峡, 1990(3): 256-261.