

江苏近岸海域城市海产品石油烃含量调查与污染分析

徐志华^{1,2}, 夏子涵², 刘熠², 任娣^{1,2}, 李昊泽²,
黄珊², 王鹭², 朱晓华^{1,2}

(1.江苏省淡水水产研究所, 江苏 南京 210017; 2.江苏省水产质量检测中心, 江苏 南京 210017)

摘要:本研究对 2021 年和 2022 年江苏近岸海域城市(连云港、盐城、南通)重点海产品石油烃含量进行了监测,分种类对石油烃含量分布和近岸城市污染情况进行对比分析,并采用单因子污染指数法对石油烃污染情况进行分析。结果表明,江苏近岸海域海产品普遍存在石油烃污染,但大部分含量较低,石油烃含量范围为 ND~25.1 mg/kg(湿重,下同),平均含量为 6.1 mg/kg;从海产品类别来看,双壳类>头足类>甲壳类>鱼类,整体上呈现鱼类含量较小的趋势;3 个抽样城市,连云港海产品石油烃检出率最低,推测可能与区域性污染有关。海产品的污染指数为 0~1.02,平均值为 0.53,97.1% 的海产品污染指数小于 1。综合来看,大部分鱼类和头足类未受石油烃污染,甲壳类未受或受到轻度污染,双壳类受到轻度污染,未出现重度污染。2021 年和 2022 年,江苏近岸海域监测的海产品大部分未受到石油烃污染或受到轻度污染,生物质量良好。

关键词:石油烃;江苏;近岸海域;海产品;污染指数

中图分类号:X55

文献标识码:A

文章编号:1007-6336(2023)06-0886-06

Determination and analysis of petroleum hydrocarbons in seafood caught along the coastal of Jiangsu province

XU Zhihua^{1,2}, XIA Zihan², LIU Yi², REN Di^{1,2}, LI Haoze², HUANG Shan²,
WANG Lu², ZHU Xiaohua^{1,2}

(1.Freshwater Fishery Research Institute of Jiangsu Province, Nanjing 210017, China; 2.Aquatic Products Analysis and Testing Center of Jiangsu Province, Nanjing 210017, China)

Abstract: In this study, the petroleum hydrocarbon content of key seafood in Jiangsu coastal cities (Lianyungang, Yancheng and Nantong) was monitored from 2021 to 2022. The distribution of petroleum hydrocarbon content and the pollution situation between coastal cities were compared and analyzed by species. Single-factor pollution index method was used to evaluate the petroleum hydrocarbon pollution situation. The results showed that petroleum hydrocarbon contamination was widespread in seafood from Jiangsu coastal cities, but that most of the content was low, The range of petroleum hydrocarbon content was ND~25.1 mg/kg (wet weight, the same below) with a mean value 6.1 mg/kg. The content ranked as bivalves > cephalopods > crustaceans > fish by analyzing product types and fish was the smallest in general. Lianyungang had the lowest rate of petroleum hydrocarbon detection, which was thought to be connected to local pollution, according to a

收稿日期:2023-05-06, 修订日期:2023-07-18

基金项目:江苏省农产品质量安全专项风险监测(水产品)项目(2022-SJ-038-03);江苏现代农业(大宗鱼)产业项目(JATS[2022]371)

作者简介:徐志华(1985-)女,江苏南京人,硕士,高级工程师,主要研究方向为水产品质量安全检测与研究, E-mail: 243188769@qq.com

通信作者:朱晓华, 硕士, 研究员, 主要研究方向为水产品质量安全检测与研究, E-mail: xhz824@sina.com

horizontal comparison of the three sample cities. The hydrocarbon pollution of marine products in the coastal of Jiangsu province was evaluated by the single-factor pollution index method. The pollution index was between 0 ~ 1.02, with an average value of 0.53, and 97.1% of the product pollution index was less than 1. In general, the majority of fish and cephalopods were not or just mildly polluted by hydrocarbon contamination, whereas bivalves were moderately but not severely polluted. Most of the marine goods tested in Jiangsu coastal cities between 2021 and 2022 were neither affected or were very marginally polluted by petroleum hydrocarbons, and the biological quality was generally good.

Key words: petroleum hydrocarbon; Jiangsu; coastal area; seafood; pollution index

随着工业发展,人类开发活动不断加强,导致海洋环境中的化学污染物不断累积。近年来,我国近海海域水体污染、生态受损、灾害多发等环境问题越来越突出^[1-2]。海洋生物是海水环境和沉积环境污染的直接受害对象,其体内的污染物含量反映了生存环境的质量,石油烃就是其中备受关注的一种污染物。石油烃污染已引起了国内外学者的普遍关注,我国于2015年将石油污染物列为水产品生产质量管控的7类风险因子之一^[3]。石油烃是石油的副产品,含有多种难以被微生物降解的致癌物质,其亲脂性使之易在海洋生物的脂肪内富集,并可通过食物链的传递直接危害人体健康^[4]。在我国渤海、黄海、东海、南海等4个海区近海海域均存在不同程度的石油烃类污染问题^[2,5]。马朝阳等^[6]指出,我国近海海域石油的平均浓度已达到0.055 mg/L,并且逐年呈上升趋势。

江苏近岸海域位于黄海中南部,全省海岸线954 km,沿海地区人口密集,经济发达,潮差较大且处于开敞陆架边缘,因此物源丰富^[7-8]。由于近海是主要污染物的汇,石油烃类污染物受到了监控,2021年《中国海洋生态环境状况公报》显示,仅黄海80个排污口直排海污水中石油排放量就约为119吨^[9]。国内外学者对我国天津港^[10]、山东半岛^[11-12]、辽东湾^[13]、浙江舟山^[14]等近岸海域生物体内石油污染状况进行了生物监测,但对江苏主要经济渔业海域中海产品体内石油烃总量水平的分布特征研究还鲜见报道,仅孙剑等^[15]2007年对江苏黄海海域鱼类和甲壳类体内石油烃污染水平进行了分析。为此,作者主要调查了2021年和2022年江苏近岸海域3个城市重点海产品石油烃污染情况,初步分析石油烃含量分布及污染状况,以期为该海域的生态环境

及海产品安全问题的研究提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

石油烃标准品 [1000 mg/L, GBW(E)080913, 国家标准物质中心]; 石油醚(分析纯, 南京化学试剂有限公司); 氯化钠(分析纯, 南京化学试剂有限公司); 盐酸(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 氢氧化钠(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 无水乙醇、正己烷、二氯甲烷(色谱纯, 美国 Tedia 公司)。

1.2 仪器与设备

Elix 5+Milli-Q Academic 纯水仪(美国 Millipore 公司); AE200 电子天平(感量 0.0001 g, 瑞士梅特勒—托利多公司); JY5002 电子天平(感量 0.01 g, 上海精天电子仪器厂); LS-55 荧光分光光度计(美国 perkinelme 公司)。

1.3 样品与方法

1.3.1 样品采集及制备

2021年和2022年连续两年于5月—11月对江苏近岸海域的连云港海州湾、盐城黄沙港、南吕四港海产品进行监测。样品共计306个,主要为甲壳类、双壳贝类、鱼类和头足类,其中数量以甲壳类和鱼类居多,分别约占总数量的45%和32%,双壳类为20%,其余为头足类。甲壳类海产品主要为梭子蟹、虾蛄、皮皮虾、金钩虾等;鱼类主要为大黄鱼、小黄鱼、鲳鱼、梅童鱼、带鱼等;双壳贝类主要为文蛤、四角蛤、花蛤等;头足类主要为八爪鱼、鱿鱼、章鱼等。样品来源途径包括近岸定点养殖采样、渔船捕捞、市场直接购买3种方式。

样品制备: 鱼类去鳞,取可食肌肉部分; 虾蟹类去头、去壳,取可食肌肉部分; 贝类清洗、控水

后取其全部内容物,以上所取部分均用匀浆机破碎,冷冻保存。

1.3.2 方法检出限和质量控制

本研究采用《海洋监测规范 第6部分:生物体分析》(GB 17378.6—2007)^[16]中的荧光分光光度法测定石油烃。该方法的检出限为 0.2 mg/kg,因此本研究中石油烃的测定含量小于此数值时,视为未检出,以 ND 形式表示。为验证方法的可靠性,用空白样品和平行样品对处理和测定过程进行质量控制与保证,加标回收率为 98.6%,RSD 为 1.22%。

1.4 评价方法

本研究参照《海洋生物质量监测技术规程》(HY/T 078—2005)^[17],采用《海洋生物质量》(GB 18421—2001)^[18]一类标准值(贝类石油烃含量 ≤ 15 mg/kg)作为评价标准,其余几种海产品参照贝类进行评价,均以石油烃 ≤ 15 mg/kg 为评价标准。

江苏近岸海域海产品受石油烃污染的程度采用单因子污染指数评价法,计算方法如下:

$$P_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (1)$$

式中: P_i 为污染物 i 的污染指数; C_i 为污染物 i 的实测值; S_i 为污染物 i 的标准值。

海产品质量评价以单因子污染指数 1.0 作为该因子是否对海产品产生污染的基本分界线,当 $P_i < 0.5$ 时,表明海产品未受该因子污染;当 P_i 为 0.5 ~ 1.0 时,表明海产品受到该因子轻度污染;当 $P_i > 1.0$ 时,表明海产品受到该因子重度污染。

1.5 数据处理

本文采用 excel 2007、origin 2018 等软件进行数据处理及作图。

2 结果与讨论

2.1 不同种类海产品石油烃含量分析

本文根据监测结果将石油烃含量制作成箱线图(图1),可以直观地了解不同种类海产品石油烃含量的分布情况。从图1可以看出,4类海产品石油烃平均含量的大小排序为双壳类>头足类>甲壳类>鱼类,鱼类石油烃的平均含量最低,大约为 4.3 mg/kg(以湿重计,下同),其余几种海产品约为鱼类石油烃含量的 1~2 倍,头足类、甲

壳类和双壳类之间差异不大,在一定程度上反映出不同种类海产品对石油烃的积累和代谢石油烃的能力存在差异。鱼类相较于海洋软体动物和甲壳类动物,积累石油烃的能力较弱,却有更高的代谢和释放石油烃的能力,甲壳类一般生活在靠近底质环境中,海水中的石油烃吸附在悬浮物上,并且随悬浮物沉淀在海底和潮间带的沉积物中,因此,鱼类石油烃含量低于甲壳类等海洋生物^[19]。本文结论与其他学者的类似研究结果相吻合,例如,孙剑等^[15]通过调查江苏黄海海域生物质量发现,甲壳类比鱼类更容易富集石油烃;蔡玉婷等^[20]发现,福建沿海养殖生物体内石油烃含量类别差异为贝类>甲壳类>鱼类;崔毅等^[21]的调查发现,河北黄骅近岸海域双壳类石油烃含量高于甲壳类和鱼类;林珏等^[22]发现,浙江沿岸海洋生物体内石油烃含量存在软体类>甲壳类>鱼类的趋势。综合这些研究结果,可以得出结论,不同种类、不同地区的海产品,石油烃的含量可能会呈现出不同的分布趋势,但一般而言,贝类和甲壳类会比鱼类更容易富集石油烃。

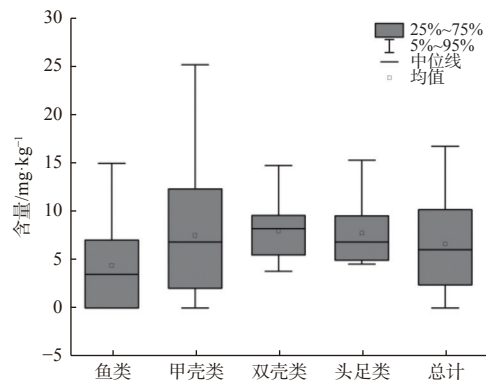


图1 各类海产品含量箱线图

Fig. 1 Box diagram of various seafood contents

由样本频数分布图(图2)可以看出,鱼类石油烃含量范围为 ND ~ 15.0 mg/kg,平均值为 4.3 mg/kg, 66.3% 的样本石油烃含量集中在 0 ~ 5.0 mg/kg,所有样品均符合一类生物质量[《海洋生物质量》(GB 18421—2001)^[18]一类标准]的要求(参照贝类标准要求);甲壳类含量范围为 ND ~ 25.1 mg/kg,平均值为 7.1 mg/kg, 97.1% 的样本石油烃含量集中在 ND ~ 15.0 mg/kg;双壳类含量范围为 ND ~ 14.7 mg/kg,平均值为 8.1 mg/kg,

76.7%的样本石油烃含量集中在5~9.0 mg/kg; 头足类含量范围为4.6~15.3 mg/kg, 平均值为7.9 mg/kg, 70%的样本石油烃含量集中在7.5~10.5 mg/kg。需要注意的是, 个别甲壳类梭子蟹的石油烃含量超标, 最高达到25.1 mg/kg。翟明丽等^[23]在青岛近海海产品中发现少数甲壳类梭子蟹石油烃含量存在超标的现象。此外, 与其他海域相比, 江苏近岸海域海产品石油烃总体含量

低于2010年山东半岛南岸近海海域的海产品^[12], 鱼类的含量与宁波舟山群岛的鱼类含量相近^[24], 甲壳类含量高于2001年浙江沿海的甲壳类^[22], 双壳类含量低于2015年辽宁海域养殖贝类^[25]和2012年宁波市滩涂养殖贝类^[26], 表明江苏近岸海域海产品质量普遍较好。孙剑等^[15]也指出江苏黄海海域生物质量普遍较好, 石油烃污染程度较轻。

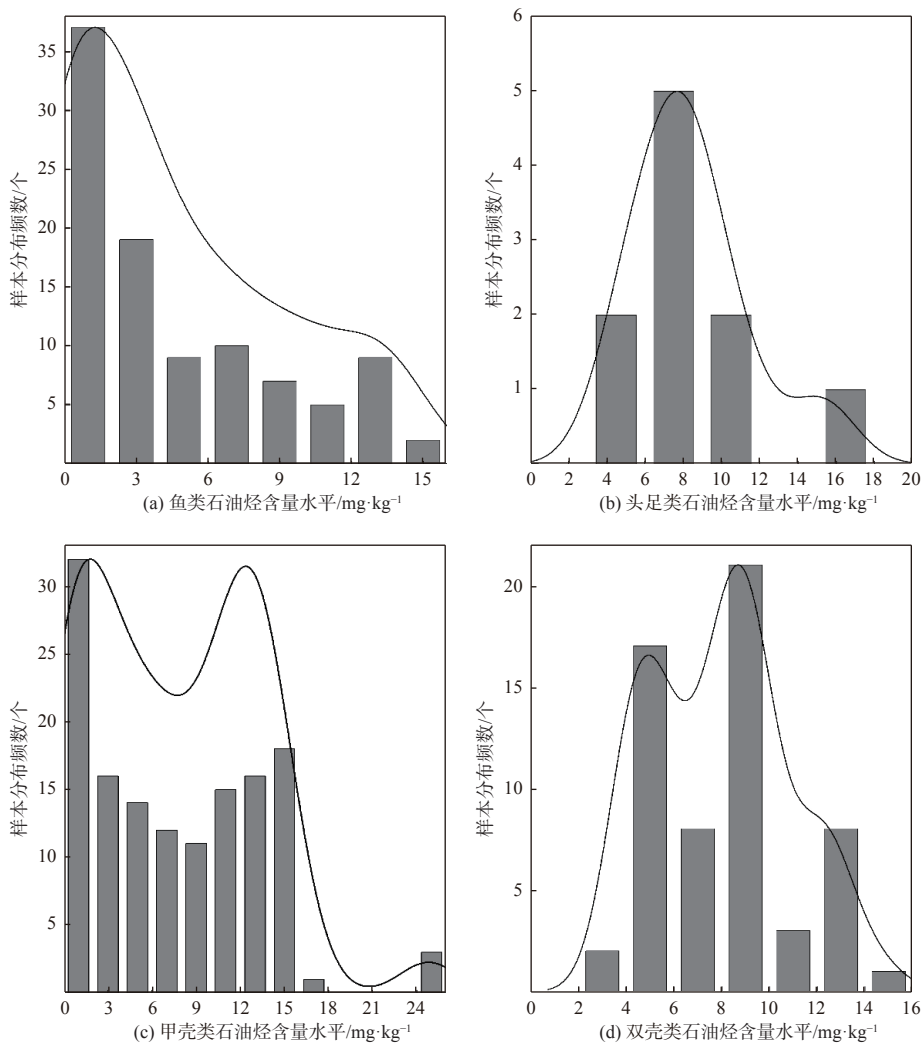


图2 各类海产品样本含量频数分布

Fig. 2 Distribution of the content and frequency of various seafood samples

2.2 抽样城市海产品石油烃含量与差异分析

3个城市所抽检的海产品石油烃含量范围为ND~25.1 mg/kg, 平均值为6.1 mg/kg, 72.8%的海产品含量集中在0~10.0 mg/kg, 石油烃总检出率为85.3%。连云港、盐城、南通海产品石油烃含量范围分别为ND~14.2 mg/kg、ND~

25.1 mg/kg、ND~15.3 mg/kg。与近年来该区域调查结果进行对比发现, 石油烃含量差异不大。李强等^[27]于2014年对赣榆港功能区划海域生物体中石油烃含量进行了监测, 石油烃含量范围为3.4~18.5 mg/kg; 夏培艳等^[28]对南通如东文蛤的调查发现, 石油烃含量范围为ND~47.0 mg/kg。

对比3个城市石油烃检出率(图3),检出率排序为连云港(74.4%)<盐城(88.9%)<南通(90.5%),可见连云港随机抽取的海产品石油烃检出率最低。这与其他学者对此区域的石油烃含量监测结果一致,其中一项研究^[15]发现,长江口、吕四港石油烃的平均污染水平较高,海州湾、东沙污染水平相当;另一项研究^[29]发现,长江口水域和江苏的如东、海门水域石油烃含量较高。这些城市的石油烃污染情况各不相同,推测可能与区域性污染有关。调查发现,海域港口沿岸地区工业发达,经济活动频繁,船舶排放的含油废水以及工业和城市排污水可能通过食物链传递至海产品体内,进而导致海产品的石油烃含量较高。为了全面了解和治理这些海域的石油烃污染问题,需要加强对海域港口地区石油烃污染情况的监测工作,这将为石油烃污染治理提供依据,并对保护和开发海洋渔业资源具有重要的意义。

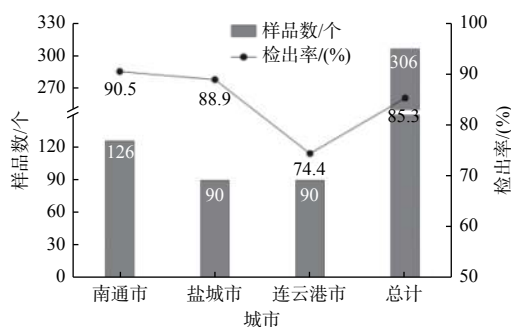


图3 抽样城市样本数、石油烃检出率

Fig. 3 Number of sampling cities and detection rate of petroleum hydrocarbons

2.3 海产品石油烃的污染评价

上文参照贝类评价标准,对江苏近岸海域城市的海产品石油烃污染进行了海洋生物质量评价。江苏近岸海域总体的海产品石油烃污染指数为0~1.02,平均值为0.53,鱼类、甲壳类、双壳类和头足类的污染指数均值分别为0.22、0.48、0.54、0.53,97.1%的海产品污染指数小于1,仅有2.9%的海产品污染指数大于1,属于重度污染。因此,可以得出结论,江苏近岸海域海产品大部分未受到石油烃污染或仅受到轻度污染。然而,对于不同种类的海产品,受到石油烃污染的程度有所不同。为了具体分析不同种类海产品受污染程度,将污染指数分为3个区间

(图4):0~0.5、0.5~1、>1。鱼类海产品污染指数均小于1,无重度污染,其中73.5%的污染指数小于0.5,可见江苏近岸海域鱼类受石油烃污染的程度较轻且具有较好的生物质量。甲壳类和头足类海产品的污染指数大于1的出现频率分别为5.8%和10%,表明石油烃污染程度较轻,个别海产品受到了石油烃的重度污染,这可能是由于石油烃在生物组织中的累积受到诸多因素的影响,如采样地点和生长环境等。对于不同污染指数的范围,出现频率较高的海产品类别也有所不同。当污染指数为0~0.5时,出现频率较高的是鱼类和双足类;当污染指数为0.5~1时,双壳类和甲壳类出现频率较高。双壳类相较其他几种类别的海产品,污染程度较高,但是污染指数均小于1,说明双壳类海产品受到了一定程度的污染,但未出现重度污染的情况,然而,这些污染仍然会对海洋渔业资源产生负面影响和污染生态效应,因此需要引起足够的重视。福建沿海贝类污染指数范围为0.37~1.26,平均值为0.70,总体上属于轻度污染^[30]。江苏近岸海域文蛤、四角蛤蜊的污染指数平均值为0.30、0.50,也属于轻度污染^[29]。这些研究结果与本文的结论相似。

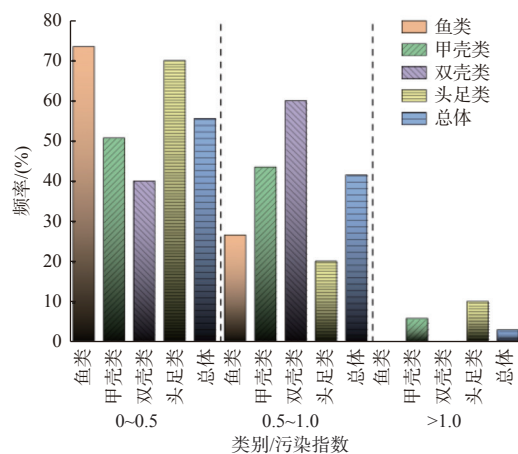


图4 江苏近岸海域各类海产品石油烃污染指数分布

Fig. 4 Distribution of petroleum hydrocarbon pollution index of various marine products in Jiangsu coastal waters

3 结论

(1)2021年和2022年,江苏近岸海域海产品

石油烃总检出率为85.3%,含量范围为ND~25.1 mg/kg, 72.8%的海产品石油烃含量为0~10.0 mg/kg。总体而言,江苏近岸海域海产品普遍存在石油烃污染,但大部分含量较低,鱼类的石油烃含量小于甲壳类和双壳类海产品。3个抽样城市中,连云港的海产品石油烃检出率最低,推测与区域污染有关,有待进一步调查研究。

(2)单因子污染指数评价结果显示,江苏近岸海域海产品石油烃的污染指数为0~1.02,平均污染指数为0.53,97.1%的海产品污染指数小于1,可见江苏近岸海域海产品大部分未受到石油烃污染或受到轻度污染,且生物质量良好。大部分鱼类和双足类未受到石油烃污染;甲壳类未受到污染或受到轻度污染;双壳类海产品受到了一定程度的污染,未出现重度污染,但其生态效应仍需要引起足够的重视,并应制定相应的保护措施,保护海洋生态环境和人类健康。

参考文献:

- [1] OGBUKA J C, NWANMUOH E E, OGBO A I, et al. Offshore oil spill response base and management of Deepwater/offshore oil resources in the Nigerian marine waters: a review[J]. *International Journal of Environmental Impacts: Management, Mitigation and Recovery*, 2022, 5(1): 65-81.
- [2] WU X G, JING B, CHEN W J, et al. Optical particle size distribution and petroleum hydrocarbon analysis of offshore produced water from the Bohai Sea[J]. *Desalination and Water Treatment*, 2017, 99: 315-321.
- [3] 甘居利, 古小莉, 李刘冬, 等. 广东沿岸海域牡蛎和鱼虾中石油烃的残留与风险评估[J]. *海洋环境科学*, 2018, 37(2): 187-192.
- [4] 侯俊妮, 张传松, 石晓勇. 北黄海石油烃含量的季节变化和分布特征[J]. *渔业科学进展*, 2011, 32(5): 121-125.
- [5] LI L, SHEN X Q, JIANG M. Characteristics of total petroleum hydrocarbon contamination in sediments in the Yangtze Estuary and adjacent sea areas[J]. *Continental Shelf Research*, 2019, 175: 110-115.
- [6] 马朝阳, 齐树亭, 李 斯, 等. 中国近海海域石油烃类污染及生物防治[J]. *应用化工*, 2016, 45(增刊2): 103-109.
- [7] 何佩东, 郭惠明, 曹 兵, 等. 江苏近岸海域水位变化特征分析[J]. *海洋预报*, 2020, 37(2): 54-59.
- [8] 邢 飞, 汪亚平, 高建华, 等. 江苏近岸海域悬沙浓度的时空分布特征[J]. *海洋与湖沼*, 2010, 41(3): 459-468.
- [9] 生态环境部. 2021年中国海洋生态环境状况公报[R]. 北京: 生态环境部, 2022.
- [10] 李 厦, 刘宪斌, 田胜艳, 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.
- [11] 乔向英, 陈碧鹃, 周明莹, 等. 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[J]. *环境科学*, 2011, 32(8): 2391-2396.
- [12] 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.
- [13] 王召会, 胡超魁, 吴金浩, 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.
- [14] 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.
- [15] 孙 剑, 顾雪元, 张爱茜, 等. 江苏省黄海海域生物质量调查及污染评价[J]. *海洋科学*, 2010, 34(6): 28-33.
- [16] GB 17378.6—2007. 海洋监测规范 第6部分: 生物体分析[S].
- [17] HY/T 078—2005. 海洋生物质量监测技术规程[S].
- [18] GB 18421—2001. 海洋生物质量[S].
- [19] BOEHM P D, QUINN J G. The persistence of chronically accumulated hydrocarbons in the hard shell clam *Mercenaria mercenaria*[J]. *Mar Biol*, 1977, 44(1): 227-233.
- [20] 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.
- [21] 崔 毅, 陈碧鹃, 宋云利, 等. 河北黄骅近岸石油污染对海洋生物体内石油烃含量的影响[J]. *黄渤海海洋*, 2000, 18(3): 66-71.
- [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] 翟明丽, 赵艳芳, 翟毓秀, 等. 青岛近海主要海捕水产品中金属元素与石油烃含量分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2016, 7(5): 1996-2002.
- [24] 曹宏梅, 李广楼, 张光玉, 等. 舟山港海域海洋生物体内主要污染物分析[J]. *水道港口*, 2009, 30(6): 437-439.
- [25] 郭 楠, 罗 靳, 薄尔琳. 石油烃在辽宁省水产品中的生物富集与分析[J]. *河北渔业*, 2015 (5): 12-13, 25.
- [26] 朱云海. 宁波市滩涂养殖贝类农药残留与石油烃污染及其安全性评价[D]. 宁波: 宁波大学, 2012.
- [27] 李 强, 张 晴. 赣榆港区石油类污染状况调查与评价[J]. *水产养殖*, 2015, 36(4): 49-52.
- [28] 夏培艳, 袁 骐, 蒋 玫, 等. 南通如东滩涂文蛤产地环境中石油烃污染评价[J]. *生态学杂志*, 2011, 30(10): 2283-2289.
- [29] 马继臻, 袁 骐, 蒋 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): 73-78.
- [30] 钟硕良. 福建沿海养殖贝类体石油烃总量水平的分布特征[J]. *海洋通报*, 2005, 24(6): 33-40.