

广东沿岸海域牡蛎和鱼虾中石油烃的残留与风险评估

甘居利^{1,2}, 古小莉^{1,2}, 李刘冬^{1,2}, 吕晓瑜^{1,2}, 贾晓平¹

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300; 2. 农业部水产品加工重点实验室, 广东 广州 510300)

摘要:为探讨石油污染对广东沿岸海域水产品食用安全的影响,探索建立了石油残留风险分级方法,用荧光法测定了 2001~2010 年广东沿岸海域近江牡蛎(*Crassostrea rivularis*)体石油烃,推测了同期该海域鱼虾石油烃残留水平。结果表明,牡蛎体石油烃含量(按湿重计)为 $<0.2 \times 10^{-6} \sim 36 \times 10^{-6}$,不会产生石油气味。平均含量 9.4×10^{-6} 在国内沿岸海域牡蛎体中属较低水平,但高于本海域 1989~1992 年 6.7×10^{-6} 的平均含量。石油烃在 99.3% 的牡蛎样本中检出,在 16.7% 的样本中达到或略超过我国 15×10^{-6} 的限量值。牡蛎体石油烃年均含量、超标率在 2001~2006 年均呈下降趋势,但 2007 年之后略有上升,在珠江口和珠三角产业转移区牡蛎中上升更明显。推测该海域鱼虾石油烃含量大多低于 15×10^{-6} ,较高者一般不超过 30×10^{-6} ,超标或产生石油气味的风险极小。

关键词:水产品;石油烃;风险评估;广东沿岸

中图分类号:X171.5

文献标识码:A

文章编号:1007-6336(2018)02-0187-06

Residual and risk assessment of petroleum hydrocarbons in the oyster, fish and shrimp along Guangdong coast

GAN Ju-li^{1,2}, GU Xiao-li^{1,2}, LI Liu-dong^{1,2}, LV Xiao-yu^{1,2}, JIA Xiao-ping¹

(1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science; Guangzhou 510300, China; 2. Key Laboratory of Aquatic Products Processing, Ministry of Agriculture, Guangzhou 510300, China)

Abstract:In order to explore the effect of oil pollution on the food security of aquatic products in Guangdong coastal waters, a risk grade method of petroleum residue was first proposed, petroleum hydrocarbons (PH) in the oysters (*Crassostrea rivularis*) collected during 2001~2010 were determined by spectrofluorometry, and the PH level in fish and shrimp was speculated. The results indicated that PH contents in our oyster samples ranged from $<0.2 \times 10^{-6}$ to 36×10^{-6} (wet weight), and might not make oil taste. The mean content of PH was 9.4×10^{-6} which was relatively lower in the oysters from coastal waters in China, but higher than the historical data (6.7×10^{-6}) during 1989~1992. PH were detectable in 99.3 percents of our samples. 16.7 percents of our samples contained more PH than the limit value (15×10^{-6} , Chinese standard). The annual PH average and the over standard rate in our samples trended to decline during 2001~2006, but slightly rebounded after 2007, especially in the samples from the Pearl River Estuary and from industry-translation areas. Based on the data of this survey and other literature, we deduced that the PH contents in fish and shrimp in Guangdong coastal waters were probably lower than 15×10^{-6} , seldom higher than 30×10^{-6} , and also might be lower than above limit or oil taste threshold.

Key words: aquatic products; petroleum hydrocarbons; risk assessment; Guangdong coast

收稿日期:2017-05-05, 修订日期:2017-08-14

基金项目:国家农产品质量安全风险评估项目(GJFP2014009);中国水产科学研究院南海水产研究所中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2015TS18)

作者简介:甘居利(1958-),男,四川自贡人,研究员,从事渔业环境及水产品质量监控与研究, E-mail: ganjuli@163.com

广东是我国经济大省和渔业大省,在2001~2010年经济高速发展,但沿海地区石油污染问题尚未得到较好解决。石油污染物可分散在水体,吸附于沉积物,进入海洋生物体并被吸收和积累,对水产品质量安全构成一定威胁^[1]。因此,水产品中石油污染物残留倍受关注和重视,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^[2]。由于石油烃的化学组成十分复杂,所以食品中石油烃残留对人体健康风险评估尚未见报道,目前除我国之外尚未见发布水产品中石油烃限量标准。

我国是全球最大的水产养殖国,从1985年到2010年,海水养殖贝类产量从38万t增长到1108万t,占海养总产量的比例从54%增长为75%^[3]。海贝中的牡蛎(俗称蚝)富含人体需要的优质蛋白和氨基酸,被誉为价廉味美的“海中牛奶”。近江牡蛎(*Crassostrea rivularis*)广泛分布于我国沿岸海域,盛产于华南和东海南部,颇受港澳台和大陆多地消费者青睐,并出口到海外。本文通过2001~2010年采样观测获得的宝贵数据,评价石油烃残留对广东沿岸海域牡蛎口感和食用安全性的影响,并结合文献资料推测该海域鱼虾石油烃残留及其食用安全风险。这比根据短期的或局部的观测数据得到的评价结果更具有宏观参考价值,便于从更大的时空尺度上把握石油污染对广东沿岸海域水产品质量安全的影响效应。

1 材料与方法

1.1 样品采集与保存

于2001~2010年每年春季,在广东沿岸海域15个观测站(图1),每站每次采集成体近江牡蛎30只,现场取其软组织和全部体液装入铝箔,密封后冷藏于冰粒中运回实验室-20℃保存备用^[4]。

1.2 样品测定和数据处理

将牡蛎软组织于室温下解冻,取5g(准确至0.01g)经15mL浓度为6mol/L的NaOH溶液消化,用乙醚萃取消化液3次,每次10mL。置通风柜中让乙醚挥发至干,用5mL正己烷溶解萃取物并定容。用荧光分光光度计测定石油烃含量,狭缝宽度5nm,激发波长310nm和发射波长364nm^[4]。标准溶液是国家海洋环境监测中心提供的20-3号油品。加标回收率79%~105%。

批内相对标准偏差<5.1%,批间相对标准偏差<11.6%。测定结果取2次平行测定的均值,以 $\times 10^{-6}$ 湿重表示,低于方法检出限(0.2×10^{-6})的视为未检出。

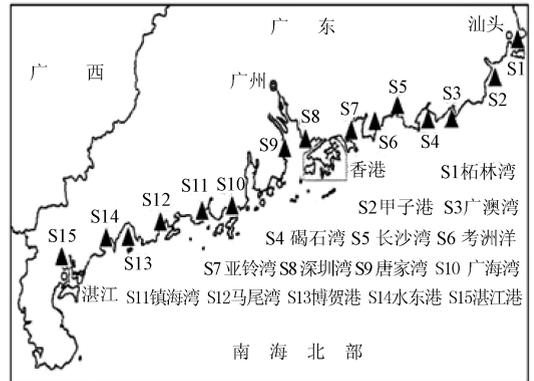


图1 牡蛎采样站位

Fig. 1 Sketch map of theoyster sampling sites

1.3 健康风险分级

为了直观和简明地描述石油烃残留对人体健康风险,本研究参照我国水产品中石油烃的残留限量^[5]和《海洋生物质量》标准^[6],尝试将水产品石油烃残留对人体健康风险分为4级(表1)。

表1 水产品石油烃残留的健康风险分级

Tab. 1 Degree of health risk for PH level in aquatic products

项目	水产品中石油烃残留量 $C/\times 10^{-6}$ 湿重			
	$0 < C < 15$	$15 \leq C < 50$	$50 \leq C < 80$	$C \geq 80$
健康风险分级	1	2	3	4
健康风险简述	低	中	高	极高
参考	第一类标准 第二类标准 第三类标准 —			
	《海洋生物质量》			

2 结果与分析

2.1 牡蛎中石油烃含量分布

本研究的150份牡蛎样石油烃含量范围在未检出~ 36.0×10^{-6} (湿重,下同)之间,平均含量为 9.35×10^{-6} 。总体呈偏态分布,含量为 5×10^{-6} ~ 10 (不包含 10) $\times 10^{-6}$ 的样品约占47%,含量为 0 ~ 5 (不包含 5) $\times 10^{-6}$ 、 10×10^{-6} ~ 15 (不包含 15) $\times 10^{-6}$ 的样品各占18%,含量为 15×10^{-6} ~ 20 (不包含 20) $\times 10^{-6}$ 的样品占10%,含量 $\geq 20 \times 10^{-6}$ 的样品不足7%(图2)。

与国内用荧光法测定的部分沿岸海域牡蛎体石油烃平均含量相比(表2),本研究牡蛎样石油烃含量虽然高于同海域1989~1992年的历史水

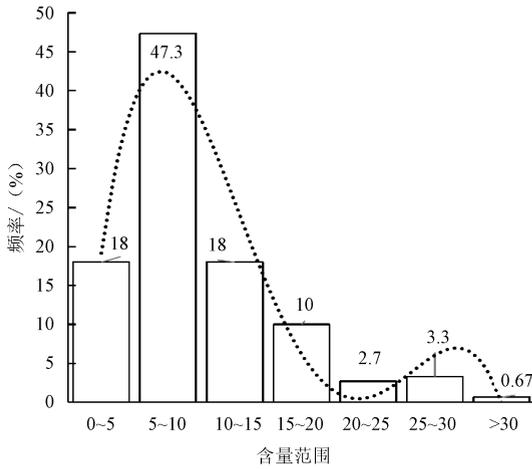


图 2 广东牡蛎石油烃含量频率分布

Fig. 2 Frequency distribution of PH content in the oysters
 平^[4],但低于浙江牡蛎的水平^[7],明显低于天津^[8]和深圳湾^[9]牡蛎的水平,略低于东海牡蛎的水平^[10],略高于长江口以北^[11]和山东桑沟湾^[12]

表 2 国内部分海域牡蛎石油烃含量($\times 10^{-6}$ 湿重)

Tab. 2 Comparison of PH level ($\times 10^{-6}$ w. w.) in oysters from some coasts

沿岸海域	广东	浙江	天津	深圳湾	东海	长江口以北	山东桑沟湾	福建	广东
范围	1.6 ~ 18	2.4 ~ 160	24.9 ~ 32.3	11 ~ 28	3.3 ~ 38	5 ~ 14.4	4.69 ~ 11.9	1.7 ~ 46	未检出 ~ 36.0
平均值	6.66	63.4	27.6	23	15.6	9.7	8.21	11.1	9.35
样品数	30	6	3	7	85	2	16	40	150
观测年份	1989 ~ 1992	1998	2010 ~ 2012	2010	2006	1990 ~ 1991	2008	2005	2001 ~ 2010
数据来源	[4]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	本文

表 3 广东沿岸牡蛎石油烃含量年际变化($\times 10^{-6}$ 湿重,nd 表示未检出)

Tab. 3 Annual variation of PH level ($\times 10^{-6}$ w. w.) in the oysters from Guangdong coast

观测年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	总体
含量范围	2.4 ~ 27.7	nd ~ 36	4.9 ~ 21.4	2.7 ~ 28	1.4 ~ 16.6	3 ~ 17.8	5.6 ~ 13.3	2.5 ~ 17.5	5.0 ~ 20	3.5 ~ 26.5	nd ~ 36
平均值±标准差	11.2±7.1	9.5±10.2	11.9±6.4	8.4±6.8	7.6±4.6	7.3±3.9	8.3±2.1	8.4±4.1	10.5±4.9	10.6±6.6	9.4±6
方差	49.8	104	41	45.6	20.8	15.4	4.48	16.8	23.6	43.6	36.6
超标率/(%)	20	20	33.3	20	6.7	6.7	0	6.7	20	33.3	16.7

从表 4 可见,石油烃单次观测值除粤东的考洲洋(S6)、粤西的镇海湾(S11)和马尾湾(S12)未见超标之外,在 80% 的测站均有程度不同的超标。超标率最高的测站在珠江口西侧的唐家湾(S9)(60%),较高的在珠江口东侧的深圳湾(S8)、粤东的亚铃湾(S7)和碣石湾(S4)(均为 30%),在其它测站超标率为 10% 或 20%。石油烃含量($\times 10^{-6}$ 湿重,下同)测站平均值最高并超

牡蛎的水平,接近福建牡蛎的水平^[13]。因此,本研究牡蛎样石油烃含量在我国属于较低水平。

2.2 牡蛎体石油烃时空变化

表 3 数据显示,本研究牡蛎样石油烃年平均值和总体平均值都未超过我国水产品中石油烃的限量值(15×10^{-6})^[5]。但是,石油烃单次观测值除 2007 年之外,大多数年份均有程度不同的超标。超标率最高的年份为 2003 和 2010 年(均为 33.3%),较高的年份为 2001、2002、2004 和 2009 年(均为 20%),较低的年份为 2005、2006 和 2008 年(均为 6.7%)。石油烃年均含量、超标率在 2001 ~ 2006 年均呈下降趋势,但 2007 年之后略有反弹,并有上升趋势。方差分析表明,石油烃年均含量、超标率较高的年份,测站间的差异相对较大,即在个别或部分测站出现了异常偏高的值。

标的也在唐家湾(17.0×10^{-6}),其次为深圳湾(11.8×10^{-6})、粤东的亚铃湾(11.9×10^{-6})和碣石湾(11.2×10^{-6}),较低的在马尾湾(7.5×10^{-6})、水东港(6.9×10^{-6})和镇海湾(6.4×10^{-6}),最低的在柘林湾(5.5×10^{-6})。方差分析表明,石油烃测站平均含量、超标率较高的测站,年际变化相对较大,即在某些年份出现了异常偏高的值。

表4 广东沿岸牡蛎石油烃含量测站差异($\times 10^{-6}$ 湿重,nd表示未检出)
Tab.4 Variation of PH level ($\times 10^{-6}$ w. w.) in the oysters in different sites

观测站	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15
平均值	5.46	9.73	10.4	11.2	8.26	7.05	11.9	11.8	17.0	9.44	7.46	6.41	8.35	6.91	8.85
标准差	4.04	6.31	6.98	5.66	4.18	3.33	7.08	7.69	10.7	4.19	3.36	3.06	3.74	4.35	3.93
最小值	0.75	0.63	2.44	4.50	2.50	0.01	4.55	3.00	5.00	4.49	3.50	3.55	5.16	2.69	3.56
最大值	15.0	21.3	25.5	21.4	15.0	11.5	26.5	27.0	36.0	19.5	13.3	13.9	16.6	16.0	15.5
方差	39.8	16.3	48.8	32.1	17.5	11.1	50.1	59.1	115	17.5	11.3	9.4	14.0	18.9	15.4
超标率/(%)	20	10	20	30	10	0	30	30	60	10	0	0	10	10	10

本研究牡蛎体石油烃含量水平虽然总体上不高,但在珠江口为主的部分水域出现相对较高的情况,且在多年下降态势之后出现轻度反弹,应当引起重视,继续进行观测和研究。

广东省汕尾市承接珠三角产业转移建设碣石湾石油化工和船舶制造基地,珠江口水域接纳大量陆源与港航含油废水,亚铃湾附近扩建港航设施、建设大型石化项目和物流配送中心,这些因素对海洋贝类的栖息环境和产品质量的影响尚需进一步探讨。马尾湾、镇海湾和柘林湾等重要的贝类产地,需要倍加珍惜和保护。

2.3 牡蛎食用安全性评价

我国沿海人均海产品消费量高于全国或世界平均水平,海产品是石油烃进入沿海地区人体的主要途径之一,为控制或减少沿海地区人群对石油烃的摄入量,我国在2006年修订农业行业标准NY 5073时,新增了水产品中石油烃的限量值为 15×10^{-6} [5]。与此标准相比,150份牡蛎样中石油烃含量为未检出 $\sim 36.0 \times 10^{-6}$ (湿重,下同),总体超标率为16.7%,25份超标样中20份达到或略超限,2份接近限量值的2倍,1份为限量值的2.4倍。

试验结果显示,0号柴油使蛤类产生石油气味的阈值为 30×10^{-6} [14],原油使菲律宾蛤仔产生石油气味的阈值为 $20 \times 10^{-6} \sim 30 \times 10^{-6}$ [15]。本研究的150份牡蛎样本中只有1份的石油烃含量略超过 30×10^{-6} ,因此笔者推测,食用者基本不会感到本研究的牡蛎有石油气味。与表1比较表明,广东沿岸海域的牡蛎受到石油污染,虽然总体上污染程度较轻和人体健康风险较低,但少数站

次牡蛎中石油烃有中等程度的食用安全风险,可能对人体健康产生一定影响。

积累与释放试验结果显示,在一定程度上,贝类对石油烃的吸收与海水中石油烃浓度成正比,对石油烃的排出与海水中石油烃浓度成反比[16]。这表明利用积累与释放的可逆性,受污染的贝类放入清洁的海水中可以降低体内的石油烃残留。我国大力推行贝类健康养殖,开展贝类质量监测,先后在多省区沿海建立了贝类净化基地,对部分污染物超标的贝类实施净化,关闭或搬迁品质难以达标的水产养殖场。我国农业部于2015年发布了水产养殖产地选择及其环境管理要求,进一步明确了海水贝类养殖环境管控措施[2]。认真执行这些规定和落实有关措施,在一定程度上会降低石油烃通过水产品进入消费者体内的风险。

2.4 鱼虾食用安全性推测

许多研究表明,不同类别的海洋生物体对石油烃的积累和代谢能力存在差异,海洋软体动物比甲壳类动物和鱼类具有较高的积累石油烃的能力,而其代谢和释放石油烃的能力却远小于鱼类[17]。

表5调查和研究结果显示,固着生活的软体双壳类中石油烃残留量通常高于移动生活的鱼类、甲壳类和软体头足类。根据表5所得一般性结论,结合表2~表4数据,笔者推测,本研究海域2001~2010年的鱼虾体内石油烃含量大多低于 15×10^{-6} ,较高者也难以超过 30×10^{-6} ,石油烃含量超过我国限量标准或产生石油味的可能性极小。

表5 部分沿岸海域海洋动物体内石油烃含量($\times 10^{-6}$)
Tab. 5 PH contents($\times 10^{-6}$) in marine animals from some coastal waters

沿岸海域所在岸段	鱼类		甲壳类		头足类		双壳类		数据来源
	范围	均值	范围	均值	范围	均值	范围	均值	
浙江	nd~8.3	2.2	nd~11.1	3.8	1.2~6.3	2.9	6.2~160	21.4	[7]
天津	0.3~13.7	3.4	1.3~11.0	4.1	3.6~14.2	6.7	2.5~33.2	17.0	[8]
福建	-	2.4	-	3.9	-	-	-	13.8	[13]
南海北部 ^a	7.2~12.1	-	12.7~30.1	-	-	-	13.6~71.3	-	[17]
美国东西海岸 ^a	1~50	-	15.5~60.4	-	-	-	5.3~90	-	[17]
美国布扎兹污染海域 ^a	25~250	-	183~287	-	-	-	63~530	-	[17]
广东大亚湾	0.4~2.3	1.0	1.2~3.8	2.1	2.9~6.3	4.4	nd~6.0	3.5	[18]
山东半岛南部	2.2~30.3	11.6	8.4~49.1	18.5	4.2~36.5	19.8	-	-	[19]
河北沧州	nd~6.6	2.94	nd~8.2	4.5	-	-	4.1~23.0	12.2	[20]
东海	1.4~21.8	7.2	9.4~59.4	25.7	5.4~9.1	7.7	13.8~88.6	51.9	[21]
浙江舟山群岛 ^a	nd~188	20.8	nd~113	17.3	nd~6.9	4.4	nd~1153	169	[22]
黄河口	1.9~20.2	4.6	2.6~13.4	6.0	4.5~8.9	6.4	4.1~11.1	8.4	[23]

注:^a表示其含量按干重计,其余按湿重计;nd表示未检出;-表示文献中无此数据

3 结论

(1)本研究的近江牡蛎样石油烃含量为未检出 $\sim 36.0 \times 10^{-6}$ (湿重),基本不会产生石油气味,平均值 9.35×10^{-6} 高于同海域1989~1992年的均值,与国内部分沿岸海域观测结果相比属中下水平。

(2)用我国石油烃残留限量 15×10^{-6} 进行评价,150份近江牡蛎样总体超标率为16.7%,25份超标样中20份达到或略超限,2份接近限量值的2倍,1份为限量值的2.4倍。超标率最高的年份为2003和2010年(均为33.3%),较高的年份为2001、2002、2004和2009年(均为20%),较低的年份为2005、2006和2008年(均为6.7%),2007年未见超标。广东蚝石油烃年均含量、超标率在2001~2006年均呈下降趋势,但2007年之后略有反弹,并有上升趋势。

(3)石油烃含量测站平均值最高的在唐家湾(17.0×10^{-6}),其次为深圳湾(11.8×10^{-6})、粤东的亚铃湾(11.9×10^{-6})和碣石湾(11.2×10^{-6}),较低的在马尾湾(7.5×10^{-6})、水东港(6.9×10^{-6})和镇海湾(6.4×10^{-6}),最低的在柘林湾(5.5×10^{-6})。

(4)根据本次观测结果,结合文献资料,推测本研究海域2001~2010年的鱼虾石油烃含量大

多低于 15×10^{-6} ,较高者也难以超过 30×10^{-6} ,因而超过我国限量标准或产生石油气味的风险极小。

鸣谢:衷心感谢中国水产科学研究院南海水产研究所渔业环境研究室提供牡蛎样品。

参考文献:

- [1] XU S S, SONG J M, YUAN H M, et al. Petroleum hydrocarbons and their effects on fishery species in the Bohai Sea, North China [J]. Journal of Environmental Science, 2011, 23(4): 553-559.
- [2] NY/T 2798. 13-2015, 无公害农产品生产质量安全控制技术规程第13部分: 养殖水产品[S].
- [3] 岳冬冬, 王鲁民. 我国海水养殖贝类产量与其碳汇的关系 [J]. 江苏农业科学, 2012, 40(11): 246-248.
- [4] 贾晓平, 林钦, 李纯厚, 等. 南海渔业生态环境与生物资源的污染效应研究[M]. 北京: 海洋出版社, 2004: 75-107.
- [5] NY 5073-2006, 无公害食品 水产品中有毒有害物质限量[S].
- [6] GB 18421-2001, 海洋生物质量[S].
- [7] 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.
- [8] 孙万胜, 王秀芹, 王德兴, 等. 渤海湾(天津近岸)主要海洋生物中石油烃含量调查分析[J]. 天津水产, 2012(2): 22-25.
- [9] 李飞, 刘玉, 陈冠秋, 等. 红树种植-养殖耦合系统牡蛎石油烃含量及红树净化效果[J]. 应用与环境生物学报, 2012, 18(3): 432-437.
- [10] 马继臻, 袁骥, 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.

- [11] 尚龙生, 孙茜, 王静芳, 等. 中国北方沿海食用贝类油污染特征研究[J]. 黄渤海海洋, 1996, 14(4): 34-41.
- [12] 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.
- [13] 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, 30(3): 40-43.
- [14] 蔡友琼, 乔庆林, 徐捷. 贝类产生异味的体内石油烃阈值试验[J]. 上海水产大学学报, 2001, 10(2): 176-178.
- [15] 牟刚, 陈燕珍, 王静, 等. 菲律宾蛤仔对石油烃的累积和排出规律探讨[J]. 中国科技信息, 2013(13): 34, 36.
- [16] 高萍, 夏斌, 崔毅, 等. 菲律宾蛤仔对石油烃的富集与释放特征[J]. 海洋环境科学, 2013, 32(1): 63-66.
- [17] 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): 33-37.
- [18] 甘居利, 贾晓平, 林钦, 等. 广东大亚湾经济水产品中总石油烃分析与评价[J]. 中国水产科学, 2003, 10(增刊): 38-43.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 袁骥, 王云龙. 东海近岸石油污染对海洋生物体内石油烃含量的影响[J]. 水产学报, 1998, 22(增刊): 36-40.
- [22] 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.
- [23] 崔毅. 黄河口附近海域海洋生物体中石油烃总量变化的研究[J]. 中国水产科学, 1994, 1(2): 60-67.

(上接第186页)

- [8] ZHANG Q Q, YING G G, PAN C G, et al. Comprehensive evaluation of antibiotics emission and fate in the river basins of china: source analysis, multimedia modeling, and linkage to bacterial resistance[J]. Environmental Science & Technology, 2015, 49(11): 6772-6782.
- [9] 张瑞杰, 张干, 郑芊, 等. 喹诺酮类抗生素在莱州湾及主要入海河流中的含量和分布特征[J]. 海洋环境科学, 2012, 31(1): 53-57, 61.
- [10] ZHANG R J, TANG J H, LI J, et al. Antibiotics in the offshore waters of the Bohai Sea and the Yellow Sea in China: Occurrence, distribution and ecological risks[J]. Environmental Pollution, 2013, 174: 71-77.
- [11] 聂湘平, 何秀婷, 杨永涛, 等. 珠江三角洲养殖水体中喹诺酮类药物残留分析[J]. 环境科学, 2009, 30(1): 266-270.
- [12] ZOUS C, XU W H, ZHANG R J, et al. Occurrence and distribution of antibiotics in coastal water of the Bohai Bay, China: impacts of river discharge and aquaculture activities [J]. Environmental Pollution, 2011, 159(10): 2913-2920.
- [13] 徐维海, 张干, 邹世春, 等. 香港维多利亚港和珠江广州河段水体中抗生素的含量特征及其季节变化[J]. 环境科学, 2006, 27(12): 2458-2462.
- [14] 王敏, 俞慎, 洪有为, 等. 5种典型滨海养殖水体中多种类抗生素的残留特性[J]. 生态环境学报, 2011, 20(5): 934-939.
- [15] 梁惜梅, 施震, 黄小平. 珠江口典型水产养殖区抗生素的污染特征[J]. 生态环境学报, 2013(2): 304-310.
- [16] TAMTAM F, MERCIER F, LE BOT B, et al. Occurrence and fate of antibiotics in the Seine River in various hydrological conditions[J]. Science of the Total Environment, 2008, 393(1): 84-95.
- [17] KOLPIN D W, FURLONG E T, MEYER M T, et al. Pharmaceuticals, hormones, and other organic wastewater contaminants in U. S. Streams, 1999-2000: a national reconnaissance [J]. Environmental Science & Technology, 2002, 36(6): 1202-1211.