

# 南通如东滩涂文蛤产地环境中石油烃污染评价\*

夏培艳<sup>1,2</sup> 袁 骥<sup>1</sup> 蒋 玫<sup>1</sup> 沈新强<sup>1\*\*</sup>

(<sup>1</sup>中国水产科学研究院东海水产研究所, 农业部海洋与河口渔业资源及生态重点开放实验室, 上海 200090; <sup>2</sup>上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306)

**摘 要** 南通如东滩涂是文蛤(*Meretrix meretrix*)的重要产地,本研究于2010年3、5、8和11月对该地区文蛤生长环境及体内的石油烃(TPHs)含量与分布进行了调查。研究表明:表层海水中各季均出现油类轻度污染站位,其中夏秋2季的油类污染程度略高于冬春;虽然4季沉积物中油类含量均符合《海洋沉积物质量》I类标准,但沉积物中油类含量的季节变化显著,最高值出现在夏季,这可能与该时间段内的潮流冲刷等因素导致的沉积物机械组成不同有关;文蛤体内TPHs平均含量的季节分布为春季>夏季>冬季>秋季。文蛤体内TPHs含量易受沉积物和水体中油类含量的影响。

**关键词** 文蛤; 产地; 油类污染; 季节分布

**中图分类号** X842 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2011)10-2283-07

**Petroleum hydrocarbon pollution in *Meretrix meretrix* habitat in Rudong tidal flat of Nantong.** XIA Pei-yan<sup>1,2</sup>, YUAN Qi<sup>1</sup>, JIANG Mei<sup>1</sup>, SHEN Xin-qiang<sup>1\*\*</sup> (<sup>1</sup>Key and Open Laboratory of Marine and Estuarine Fisheries of Agriculture Ministry, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Shanghai 200090, China; <sup>2</sup>College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(10): 2283-2289.

**Abstract:** Rudong tidal flat is an important production area of clam (*Meretrix meretrix*). In order to understand the pollution status of petroleum hydrocarbon in the clam habitat of the tidal flat, an investigation was conducted on the total petroleum hydrocarbon (TPHs) concentration in the clam body and its growth environment in March, May, August, and November 2010. In the surface sea water, there were several observation sites appeared slight oil pollution in each season, and the pollution degree was slightly higher in summer and autumn than in winter and spring. Though the sediment TPHs concentration in four seasons conformed to the first degree of the national standard "Marine Sediment Quality", it had an obvious seasonal variation, being the highest in summer, possibly due to the changes of sediment mechanical components caused by tide flush. The mean concentration of TPHs in the clam body was the highest in spring, followed by in summer, winter, and autumn. It was suggested that the TPHs concentration in the clam body was susceptible to the oil content in the sediment and water body.

**Key words:** *Meretrix meretrix*; production area; oil pollution; seasonal distribution.

石油进入海洋环境后,发生的迁移、转化过程十分复杂,其与水动力条件密切相关(张珞平等,1994)。石油烃(TPHs)在海水中吸附于悬浮物上随着海流迁移,并且同时在海底和海洋潮间带的沉积物上沉积(尚龙生等,1997),沉积物中的石油烃在

潮水作用下迁移,同时又受到沉积物中微生物的降解,微生物降解速度与环境温度、盐度、pH、营养盐等因素有关(丁明宇等,2001);沉积物中的石油污染物除部分被微生物降解外,其余部分将长期滞留在海底。海水和沉积物中残留的石油烃多为难以降解且有剧毒性、致癌性,极大地影响海洋底栖生物的正常生长(王静芳等,1998;Kose *et al.*, 2003);其亲脂性又使之易于在海洋生物的脂肪内蓄积,并可通

\* 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-48)和国家科技支撑计划项目(2009BADB7B02)资助。

\*\* 通讯作者 E-mail: xinqiang\_shen@hotmail.com

收稿日期: 2011-02-26 接受日期: 2011-06-08

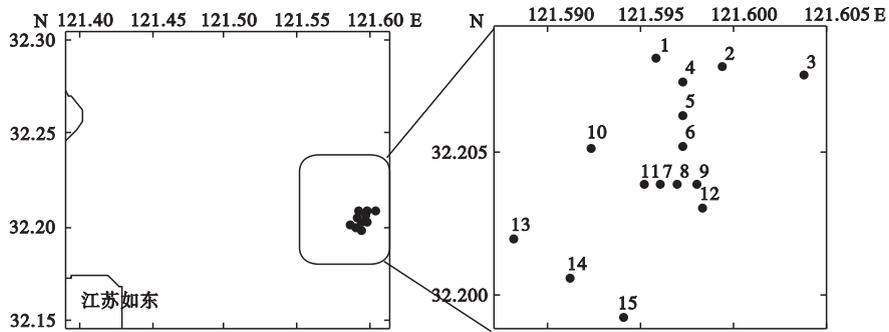


图1 采样站位设置示意图

Fig. 1 Distribution of sampling sites

过食物链传给人体危害人体健康。石油烃污染已经引起世界各国人们的重视(郭志平, 2004; Fung & Zheng, 2005)。贝类地理分布广, 生活方式固定, 能够累积其生活环境中的石油烃, 被许多国家和地区作为石油烃污染的监测生物(阎铁和吕海经, 1993)。因此, 研究滩涂文蛤产地环境中石油烃的时空分布迁移转化特征, 对探讨石油污染对底栖生物的影响是极其重要的, 但迄今为止, 有关该研究领域的报道尚不多见。

南通如东县地处江苏省东南部、长江三角洲北翼, 东面和北面濒临黄海。境内海岸线全长 106 km, 0 m 以上滩涂面积  $8.0 \times 10^4$   $\text{hm}^2$ , 辐射沙洲约  $6.7 \times 10^4$   $\text{hm}^2$ , 分别占全省滩涂面积的 1/9、南通市的 1/2, 2.0 m 以上滩涂面积也有约  $4.0 \times 10^4$   $\text{hm}^2$ 。由于受特殊的地理、地质、水流水质影响, 如东滩涂不断缓慢地向外淤长, 属典型的淤长型淤泥质滩涂海岸(李新, 2004)。滩涂上蕴藏着丰富的贝类资源, 是双壳贝类文蛤 (*Meretrix meretrix*) 的重要产地, 滩涂兼有海、陆 2 种不同属性的环境特征, 环境和生态系统比较脆弱(赵叔松, 1991)。近年来, 由于贝类养殖规模和密度的不断扩大, 以及各种自然和人为原因, 该文蛤产地污染愈来愈严重, 近两年该县连续发生大面积文蛤死亡, 且蔓延很快、很广(沈豹, 2004), 环境污染是直接原因(詹文毅等, 2003), 其中包括不同程度的石油污染。本文根据 2010 年的 4 次调查数据, 分析了江苏南通如东滩涂文蛤产地环境中文蛤体内石油烃含量分布及污染状况, 为文蛤养殖及海洋滩涂环境监测和保护提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

在南通如东滩涂文蛤养殖密集区及其周边区域

共设置 15 个监测点位(图 1), 所涉及面积约 900  $\text{hm}^2$ , 在潮间带的中低潮区, 属东海海域。分别于 2010 年 3 月 2 日、5 月 16 日、8 月 24 日和 11 月 9 日进行各类样品(包括水样、沉积物样和文蛤样品)采集, 每月 1 次, 采集样品的具体数量如表 1 所示, 由于实地调查区域情况以及天气原因等, 有样品在个别站位无法采集到。所有样品的预处理、制备及保存均参照《海洋监测规范》(GB 17378-1998)要求。

水样以玻璃瓶采集, 现场用稀  $\text{H}_2\text{SO}_4$  调节至弱酸性(pH 约为 4); 采集表层沉积物作为测试样品, 装入聚四氟乙烯样品袋中封存; 文蛤样品冲洗干净后, 取出软组织和体液, 装入样品袋中保存。所有样品在冷藏条件下, 带回实验室保存至分析。

### 1.2 分析测定方法

水样按 GB 17378.4-2007 分析测定, 即采用正己烷萃取, 紫外分光光度法测定; 沉积物土样按 GB 17378.5-2007 分析测定, 即待样品自然风干后, 用正己烷萃取,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  多次洗涤萃取液, 收集有机相, 使用紫外分光光度计测定; 文蛤按 GB 17378.6-2007 分析测定, 即加入  $6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  NaOH 和乙醇室温避光皂化 5~6 h, 氟里昂萃取,  $65^\circ\text{C}$  蒸馏近干, 环己烷定容, 采用荧光分光光度法(GB 17378.6-2007)。油标由国家海洋环境监测中心提供(20-3#)。

### 1.3 数据处理

表层海水石油污染状况采用单因子质量指数法

表 1 各季节所测指标样品种类和数量(个)

Table 1 Types and quantities of the samples for the indications in each season

项目	3月	5月	8月	11月
水样	10	13	11	11
沉积物样	15	13	15	15
文蛤样	10	10	10	12

表2 海水水质状况分级

Table 2 Classification of marine water quality

石油类污染指数( $P_i$ )	等级	质量评价
<0.4	1	自然本底
0.4~0.6	2	清洁
0.6~0.8	3	较清洁
0.8~1.0	4	轻度污染
1.0~2.0	5	污染
>2.0	6	严重污染

评价,评价标准采用海水水质标准(1997)中的 I 类海水标准。其评价公式为:

$$P_i = C_i / C_s$$

式中, $P_i$ 为评价因子的质量指数, $C_i$ 为评价因子的实测浓度值, $C_s$ 为海水水质标准中 I 类海水水质标准( $0.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )。评价等级参照表 2 所列分级划分(贾晓平等,2003)。

## 2 结果与讨论

### 2.1 海水中石油烃分布特征

由表 3 可知,3、5、8 和 11 月表层海水中石油烃含量变化范围分别为  $0.009 \sim 0.082$ 、 $0.005 \sim 0.086$ 、 $0.028 \sim 0.095$  和  $0.042 \sim 0.065 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 平均值分别为  $0.033$ 、 $0.029$ 、 $0.053$  和  $0.054 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

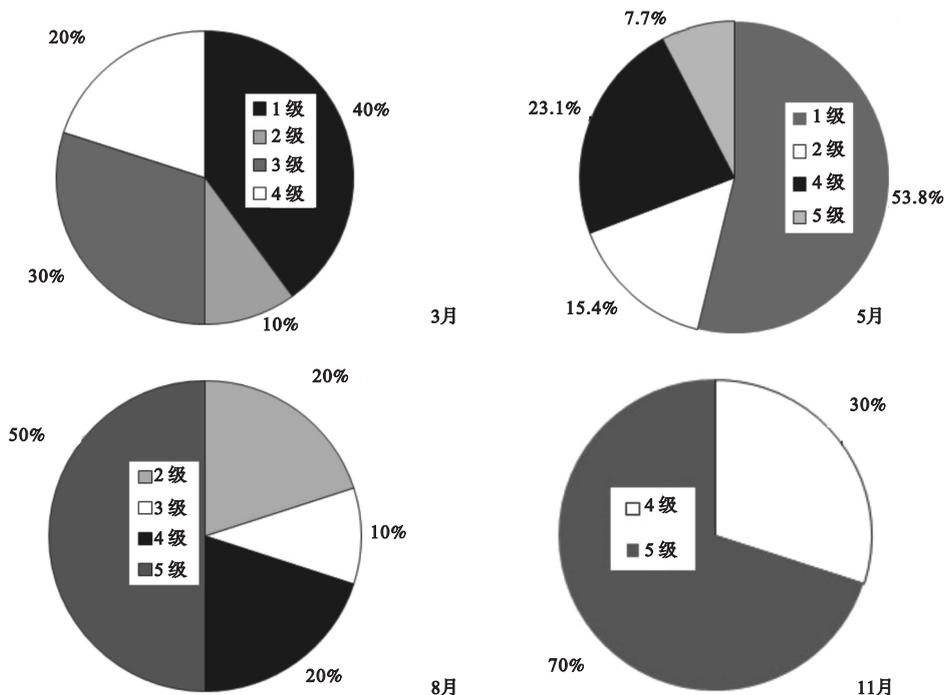


图2 不同划分等级所占比例

Fig. 2 Proportion of water quality classification in different seasons

表3 各季文蛤产地海水中石油烃的含量( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )

Table 3 Concentration of petroleum hydrocarbon in surface seawater

月份	范围	平均值
3	0.009 ~ 0.069	0.033
5	ND ~ 0.086	0.029
8	0.028 ~ 0.095	0.053
11	0.042 ~ 0.065	0.054

ND 表示未检出。

其中,11月表层海水中石油烃平均含量最高,5月最低,而5月的变幅却最大。说明,随着时间的变化研究区域海水中石油烃含量水平有所不同。

### 2.2 文蛤产地表层海水石油烃污染评价

由表 4 可见,各季节  $P_i$  平均值顺序为 11月 > 8月 > 3月 > 5月,其中 11月是 I 类标准的 1.08 倍。各个调查月份均有不同程度超标(图 2),3月在所

表4 表层海水石油污染指数分布

Table 4 Oil pollution index of marine water

月份	范围	平均值
3	0.18 ~ 1.64	0.67
5	0 ~ 1.72	0.49
8	0.56 ~ 1.90	1.05
11	0.84 ~ 1.30	1.08

有监测站位中,水质状况等级为1级的测站占40%,2级占10%,3级占30%,5级占20%;5月在所有监测站位中,水质状况等级为I级的测站占53.8%,2级占15.4%,4级占23.1%,5级占7.7%;8月在所有监测站位中,水质状况等级为1级的测站为0,2级占20%,3级占10%,4级占20%,5级占50%;11月在所有监测站位中,水质状况等级为1级、2级、3级的测站均为0,4级占30%,5级占70%。由上述分析可以看出,4个监测月份均出现轻度污染以上等级的站位,特别是8和11月,较3和5月出现4~5级站位的比例有所上升,这说明8和11月石油污染程度略有增加。3和5月各调查站位属清洁等级以上的测站仍占主要部分,8月轻度污染以上等级的测站占主要部分,11月则全部测站均属轻度污染以上等级,说明该文蛤产地11月已受到较严重的石油污染,造成该结果的原因还有待进一步研究。

### 2.3 文蛤产地沉积物中石油烃含量分布及评价

由表5可见,沉积物中石油烃8月平均值最高,变化幅度也最大,均值和变化范围分别为257.89和40.6~395.1 mg·kg<sup>-1</sup>;5月份的平均值最低,为12.85 mg·kg<sup>-1</sup>,各站点石油烃含量在7.3~23.7 mg·kg<sup>-1</sup>;3和11月平均值分别为72.92和31.94 mg·kg<sup>-1</sup>,变化范围分别为60.3~97.9和10.08~63.62 mg·kg<sup>-1</sup>。总体来看,所测站位各月份沉积物的石油烃含量相差较大,尤其是8月,各站位沉积物中的石油烃含量均远高于其他几个监测月份,这可能与该时间段内的潮流冲刷等因素导致的沉积物机械组成不同有关(潘建明等,2002;李海明等,2006),同时夏季采样时,所调查区域由于受到海流作用,出现淤积堆泥现象,在原本的砂质沉积物上堆积了20~50 cm的淤泥,改变了原有的沉积环境,直至9月才基本被冲干净,这可能也是夏季石油烃含量高的重要原因之一。

根据海洋沉积物质量I类标准(≤500 mg·kg<sup>-1</sup>)可知,各月份所测站位沉积物中石油烃含量水平均符合I类标准。

### 2.4 文蛤体内石油烃含量分布特征及其污染水平

所测月份中各个站位采集的文蛤体内石油烃含量差别较大(表6),3月各站位石油烃含量变化范围为ND~16.10 mg·kg<sup>-1</sup>,5月为1.70~47.00 mg·kg<sup>-1</sup>,8月为1.70~17.60 mg·kg<sup>-1</sup>,11月为1.18~13.73 mg·kg<sup>-1</sup>;4个监测月份的平均值依次

表5 各季文蛤产地沉积物中石油烃的含量(mg·kg<sup>-1</sup>)  
Table 5 Concentration of petroleum hydrocarbon in sediments of different seasons

月份	范围	平均值
3	60.3~97.9	72.92±11.73
5	7.3~23.7	12.85±4.17
8	40.6~395.1	257.89±68.94
11	10.08~63.62	31.94±18.88

表6 各季文蛤体内石油烃的含量(mg·kg<sup>-1</sup>,湿重)  
Table 6 Concentration of petroleum hydrocarbon in *Meretrix meretrix* in different seasons

月份	变化范围	平均值
3	ND~16.10	7.28±7.14
5	1.70~47.00	21.87±14.23
8	1.70~17.60	7.61±5.50
11	1.18~13.73	6.01±3.91

ND表示未检出。

分别为7.28±7.14、21.87±14.23、7.61±5.50和6.01±3.91 mg·kg<sup>-1</sup>,由此可知,各月份文蛤体内石油烃含量平均值大小顺序为5月>8月>3月>11月,其中5月最高,比最低的11月高出3倍多,而其他月份之间相差不大。

按《海洋生物质量》(GB 18421-2001)I类标准和《海洋生物质量监测技术规程》中规定,海洋生物质量评价以单因子污染指数1.0作为该因子是否对生物产生污染的基本分界线,<0.5为文蛤未受石油烃污染,0.5~1.0之间为文蛤受到石油烃污染(轻度污染),>1.0表明生物已受到该因子污染(重度污染)。对江苏如东滩涂文蛤体内的石油烃采用单因子污染指数法进行评价,3、5和8月均有站位受到重度污染的现象,只有11月仅有部分站位受到轻度污染,总体平均水平未受污染。其中5月最高,超出I类海洋生物质量标准3.13倍,变化范围为0.11~3.13,平均值1.46;其次为8月,变化范围在0.11~1.17,平均值为0.51;3和11月平均污染指数分别为0.29和0.40。

在该研究区域文蛤产地中,5月文蛤体内石油烃含量最高,而5月沉积物中石油烃含量并不高,这可能主要与沉积物粒度较粗糙有关(de Mora *et al.*, 2010)。同时5月文蛤体内石油烃含量较其他海域也要高很多。其中,较东海沿岸不同区域文蛤体内石油烃的含量(4.72±4.55 mg·kg<sup>-1</sup>)高4倍多(马继臻,2008),比黄渤海沿岸文蛤体内石油烃含量(9.48 mg·kg<sup>-1</sup>)高2倍多(尚龙生等,1996),比

表7 江苏如东滩涂文蛤体内石油烃污染指数

Table 7 Pollution index of *Meretrix meretrix* from Rudong tidal flat in Jiangsu

月份	变化范围	平均值	污染等级
3	0 ~ 1.07	0.29	未受污染
5	0.11 ~ 3.13	1.46	重度污染
8	0.11 ~ 1.17	0.51	轻度污染
11	0.08 ~ 0.91	0.40	未受污染

Fowler 等(2007)对于阿曼南部沿岸贝类体内石油烃含量( $5.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )的研究结果略高。说明该研究区域文蛤体内石油烃含量处于较高水平。

## 2.5 文蛤体内石油烃含量与表层海水、沉积物中石油烃含量的关系

利用 SPSS 统计软件对文蛤体内石油烃与水体中石油烃含量进行回归分析,文蛤体内 TPHs 含量与表层水体中的石油烃各个月份表现出细微差异,其中3月、5月和8月相关性分别为  $r=0.875$ 、 $r=0.813$ 、 $r=0.745$ ,  $P<0.05$ ,而11月未表现出明显的相关性( $r=0.432$ ,  $P>0.05$ ),由此看来,3月相关性最明显,5月次之,11月最差(图3)。

同时利用 SPSS 对文蛤体内石油烃与沉积物中石油烃进行回归分析,3月、5月、8月和11月相关性分别为  $r=0.915$ ,  $P<0.05$ 、 $r=0.863$ ,  $P<0.05$ 、 $r=0.677$ ,  $P>0.05$ 、 $r=0.865$ ,  $P<0.05$ ,其相关性大小顺

序为3月>11月>5月>8月(图4)。在3月、11月和5月均表现出显著相关,而8月相关性不显著。

从上述相关系数大小可看出,文蛤体内石油烃与沉积物中石油烃的相关性要稍高于其与表层水体中石油烃的线性相关性,该分析结果与马继臻等(2008)对东海沿岸贝类体内石油烃的研究结果一致。同时,文蛤受石油烃污染的程度要高于沉积物,并且根据污染指数评价,各月沉积物中石油含量均符合 I 类标准,而文蛤在8月受到石油烃污染较重,这与8月表层海水的污染指数超标具有一致性。

以上分析表明,文蛤体内石油烃含量同时受到沉积物和水体中石油烃含量的影响。这一方面因为文蛤是双壳贝类,属底栖类滤食性生物(姜朝军等,2006),对亲脂性化合物如石油烃有高度的富集作用,同时由于自身用于代谢的混合氧化系统存在缺陷,因而体内污染物的释放与鱼类和甲壳类动物相比就慢得多(Boehm & Quinn, 1977)。Neff 等(1976)和 Langston 等(1978)研究表明,滤食性双壳类动物能大量累积有机污染物;而且文蛤等贝类生活于水体底部,其营埋栖生活方式,因此易于受周围环境的影响;另一方面石油烃等有机物质溶解性较低(Jokuty *et al.*, 1999),较易吸附到水体中的颗粒物表面上,随着颗粒物的沉降沉淀在海底和潮间带

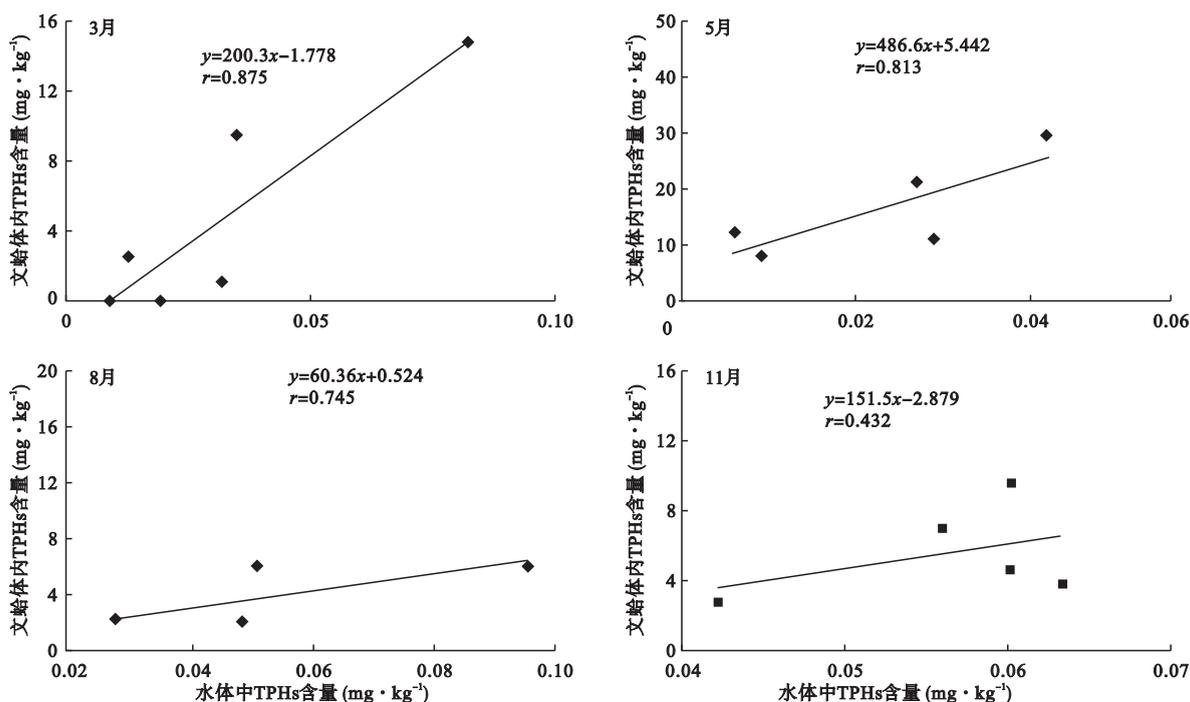


图3 不同季节文蛤体内 TPHs 与表层水体中 TPHs 含量间的关系

Fig. 3 Relationship between content of TPHs in *Meretrix meretrix* and surface water during different seasons

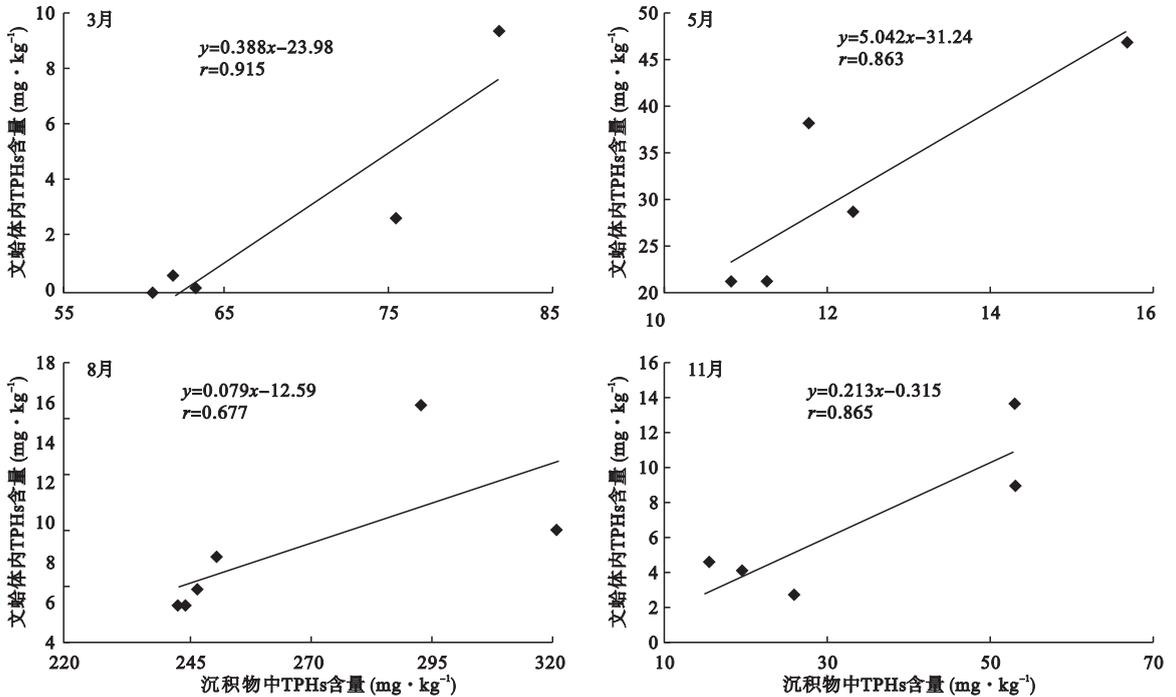


图4 在不同季节文蛤体内TPHs与沉积物中TPHs含量间的关系

Fig. 4 Relationship between content of TPHs in *Meretrix meretrix* and sediments during different seasons

的沉积物上(张建乐等,1996),同时沉积在滩涂沉积物层的石油烃在迁移过程中,被沉积物固体颗粒吸附残留于沉积物中,受到沉积物中微生物的降解(Thouand *et al.*,1999;丁明宇等,2001)。微生物首先降解低分子量的烷烃和芳烃,然后降解大分子量的物质,然而,在细砂质海滩上风浪的搅拌作用不足以提供微生物新陈代谢所消耗的氧气量(Ian & Richard,1999),因此,滩涂环境中的石油污染物质,除一部分被需氧微生物降解外,其余部分将长期滞留在底栖环境中。贝类通过滤食底层环境中的颗粒物和有机物进行摄食,使得各种石油烃组分在贝类体内富集。

### 3 结论

各月文蛤产地表层海水中石油烃的平均含量大小顺序为11月>8月>3月>5月,各月份的变化对研究区域海水中石油烃含量水平有一定影响。4个监测月份均出现轻度污染以上等级的站位,8月和11月石油污染程度较3月和5月略有增加。造成该文蛤产地11月受到较严重石油污染的原因还有待进一步研究。

所测站位各月沉积物的石油烃含量相差较大,8月各站位沉积物中的石油烃含量均远高于其他监测月份,这可能与该时间段内的潮流冲刷等因素导致

的沉积物机械组成不同有一定关系。

各月文蛤体内石油烃含量平均值大小顺序为5月>8月>3月>11月,最高的5月明显高出其他3个月几倍。对江苏如东滩涂文蛤体内的石油烃采用单因子污染指数法进行评价表明,3月、5月和8月均出现有站位受到重度污染的现象。只有11月仅有部分站位受到轻度污染,该月总体平均水平未受污染。

文蛤体内TPHs含量同时受到沉积物和水体环境中TPHs含量的影响。这主要与文蛤的滤食生活习性有关。

### 参考文献

- 丁明宇,黄健,李永祺. 2001. 海洋微生物降解石油的研究. 环境科学学报, **21**(1): 84-88.
- 郭志平. 2004. 我国近海面临的石油污染及其防治. 浙江海洋学院学报(自然科学版), **23**(3): 269-272.
- 贾晓平,杜飞雁,林钦,等. 2003. 海洋渔场生态环境质量状况综合评价方法探讨. 中国水产科学, **10**(2): 160-164.
- 姜朝军,乔庆林,蔡友琼,等. 2006. 菲律宾蛤仔对石油烃的污染动力学和阈值研究, 海洋渔业, **28**(4): 314-320.
- 李新. 2004. 如东县滩涂资源可持续利用研究. 苏州科技学院学报(自然科学版), **21**(4): 8-12.
- 李海明,郑西来,刘宪斌. 2006. 渤海滩涂沉积物中石油烃

- 迁移特征. 海洋学报, **28**(1): 163-168.
- 马继臻, 袁 骐, 蒋 玫, 等. 2008. 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. 海洋通报, **27**(2): 73-78.
- 马继臻. 2008. 东海沿岸贝类体内石油烃和有机氯农药的分布特征及评价(硕士学位论文). 北京: 中国科学院研究生院.
- 潘建明, 扈传昱, 刘小涯, 等. 2002. 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, **21**(2): 24-27.
- 尚龙生, 孙 茜, 徐恒振, 等. 1997. 海洋石油污染与测定. 海洋环境科学, **16**(1): 16-21.
- 尚龙生, 孙 茜, 王静芳, 等. 1996. 黄渤海沿岸经济贝类体内的石油烃的测定. 环境科学, **17**(5): 56-58.
- 沈 豹. 2004. 合理发展养殖实现滩涂利用的可持续发展. 中国渔业经济, (3): 43-44.
- 王静芳, 韩庚辰, 韩建波. 1998. 近岸海洋沾污沉积物中石油烃类化合物释放过程的实验室研究. I. 实验室动态模拟研究. 海洋环境科学, **17**(2): 29-34.
- 阎 铁, 吕海经. 1993. 贻贝在海洋污染生物监测中的作用. 海洋通报, **12**(3): 117-125.
- 詹文毅, 王南平, 叶 辉, 等. 2003. 江苏如东文蛤大面积死亡原因探究. 海洋水产研究, **24**(4): 62-65.
- 张建乐, 张彦龙, 张淑萍, 等. 1996. 秦皇岛沿岸海域石油污染状况初探. 海洋通报, **15**(5): 74-79.
- 张珞平, 曾继业, 吴瑜端. 1994. 河口港湾水体污染物迁移转化模式-厦门港石油烃有限水体迁移和风化混合模型. 海洋学报, **16**(1): 44-50.
- 赵叔松. 1991. 中国海岸带和海涂资源综合调查报告. 北京: 海洋出版社.
- Boehm PD, Quinn JG. 1977. The persistence of chronically accumulated hydrocarbons in the hard shell clam *Mercenaria mercenaria*. *Marine Biology*, **44**: 227-233.
- de Mora S, Tolosa I, Fowler SW, *et al.* 2010. Distribution of petroleum hydrocarbons and organochlorinated contaminants in marine biota and coastal sediments from the ROPME Sea Area during 2005. *Marine Pollution Bulletin*, **60**: 2323-2349.
- Fowler SW, Villeneuve JP, Wyse E, *et al.* 2007. Temporal survey of petroleum hydrocarbons, organochlorinated compounds and heavy metals in benthic marine organisms from Dhofar, southern Oman. *Marine Pollution Bulletin*, **54**: 357-367.
- Fung CN, Zheng GJ. 2005. Risks posed by trace organic contaminants in coastal sediments in the Pearl River Delta, China. *Marine Pollution Bulletin*, **50**: 1036-1049.
- Ian MH, Richard PJS. 1999. Bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminants in marine habitats. *Current Opinion in Biotechnology*, **10**: 234-239.
- Jokuty P, Whittear S, Wang Z, *et al.* 1999. Propemes of Crude Oils and Oil Products. Ottawa, Ontario; Environment Canada.
- Kose T, Mukai T, Takimoto K, *et al.* 2003. Effect of non-aqueous phase liquid on biodegradation of PAHs in spilled oil on tidal flat. *Water Research*, **37**: 1729-1736.
- Langston WJ. 1978. Accumulation of polychlorinated biphenyls in the cockle *Cerastoderma edule* and the tellin *Macoma balthica*. *Marine Biology*, **45**: 265-272.
- Neff JW, Cox BA, Dixit D, *et al.* 1976. Accumulation and release of petroleum-derived aromatic hydrocarbons by four species of marine animals. *Marine Biology*, **38**: 279-289.
- Thouand G, Bauda P, Oudot J, *et al.* 1999. Laboratory evaluation of crude oil biodegradation with commercial natural microbial inocula. *Canadian Journal of Microbiology*, **45**: 106-115.

---

作者简介 夏培艳,女,1984年生,硕士研究生,研究方向为海洋污染监测及生态保护。E-mail: xiapeiyan@126.com  
责任编辑 魏中青

---