

渤海西北部海域表层水体中 PAHs 的 分布、来源及风险评价*

张耀丹 田胜艳 刘宪斌 李国峰 朱文俊 贾睿

(天津市海洋资源与化学重点实验室 天津科技大学 天津 300457)

提要 利用气相色谱质谱仪(GC/MS)测定曹妃甸、山海关及沧州渤海新区表层海水样品中 16 种优先控制 PAHs。结果表明,三个地区近岸海域表层海水中 PAHs 含量分别为 14.1—226ng/L、29.9—229ng/L 和 97.4—254ng/L; 平均含量分别为 108ng/L、102ng/L 和 204ng/L。沧州渤海新区近岸 PAHs 含量高于曹妃甸和山海关近岸的含量,且检出的 PAHs 种类多。与其它国家和地区表层水体样品中 PAHs 含量相比较,本研究区域表层海水中 PAHs 含量处于中等水平。高低分子量比值和异构体比值分析表明,渤海西北部海域表层海水中 PAHs 主要来源于石油污染,此外,生物质及煤的燃烧也有一定贡献。应用商值法对研究区域表层海水中 PAHs 的生态风险进行评价,结果发现生态风险非常小。

关键词 多环芳烃(PAHs), 表层海水, 渤海西北部, 来源, 生态风险

中图分类号 X131

多环芳烃(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)是指含两个或两个以上苯环的烃类化合物,作为一类重要的人为有机污染物,广泛存在于大气、水体及沉积物中(Krisa *et al.*, 2001; Mohamad *et al.*, 2002)。PAHs 的来源主要有三个:生物源 PAHs、石油源 PAHs 和高温热解产生的 PAHs。生物源 PAHs 来自自然生物过程,包括成岩作用;石油源 PAHs 来自石油产品的泄漏输入水环境;高温热解是由于化石燃料的不完全燃烧产生 PAHs (Waverly *et al.*, 2004)。燃烧过程中产生的 PAHs 可经大气颗粒物迁移、沉降等途径进入水体,并以多种形式赋存于此(彭欢等, 2010)。近年来国内外有多项调查研究发现水体中含有高浓度的 PAHs, 例如滦河 PAHs 浓度为 9.8—310ng/L(曹治国等, 2010); 美国切萨皮克湾 PAHs 浓度为 3.2—43.2ng/L(Cristina *et al.*, 1999), 大亚湾海域水体中 PAHs 浓度更是高达 4228—29325ng/L(丘耀文等, 2004)。

渤海三面环陆,属于半封闭型内陆海。渤海西北

部濒临河北省及天津市,石油化工、钢铁、装备制造、港口物流等产业发达,如此繁荣的工业势必会对渤海环境造成污染。关于渤海沉积物中 PAHs 的分布、来源及风险评价已进行了许多研究(林秀梅等, 2005; 程远梅等, 2009),但是关于水体中 PAHs 的研究却鲜有报道。本文以渤海西北部海域(包括河北曹妃甸、山海关和沧州渤海新区)为研究区域,分析研究近岸海域表层海水中 PAHs 的分布特征、污染物同系物组成及污染物的主要来源,并进行生态风险评价,以了解研究地区该类污染物的污染现状,为近海海域该类污染物的治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试剂

16 种 US EPA 优先控制 PAHs 的混合标样: 萘(Nap)、芘(Acy)、芘烯(Ace)、芴(Fl)、菲(Phe)、蒽(Ant)、荧蒽(Flu)、芘(Pyr)、苯并[a]蒽(BaA)、屈(Chr)、苯并[b]荧蒽(BbF)、苯并[k]荧蒽(BkF)、苯并[a]芘(BaP)、

* 国家“十一五”科技重大专项“海河流域河流污染结构、缓冲能力诊断与重点区域案例应用分析”, 2008ZX07209-010-2 号; 天津市滨海新区塘沽科技兴区专项资助, 2010XQ15-01 号。张耀丹, 硕士研究生, E-mail: beihuan2@163.com

通讯作者: 田胜艳, 博士, 高级工程师, E-mail: tiansy@tust.edu.cn; 刘宪斌, 教授, 博士生导师, E-mail: lxb0688@tust.edu.cn

收稿日期: 2011-09-21, 收修改稿日期: 2011-12-04

茚并[1,2,3-cd]芘(InP)、二苯并[a,h]蒽(DBA)、苯并[ghi]芘(BP), 回收率指示物菲-d₁₀, 分析纯及色谱纯正己烷。

1.2 样品采集

样品的采集区域为山海关(16个站位)、曹妃甸(31个站位)及沧州渤海新区(43个站位)(图1)。采样时间为2010年9月。用表层采水器采集表层海水, 装于洁净棕色玻璃瓶中。-4℃保存, 24h内运回实验室进行萃取处理。

1.3 样品预处理

水样的预处理是参照中华人民共和国国家环境保护标准 HJ 478-2009(中华人民共和国环境保护部, 2009)中水质多环芳烃的测定, 采用液液萃取的方法。取1L的水样倒入2L的分液漏斗中, 向海水样品中加入一定量的菲-d₁₀作为回收率指示物, 加50ml分析纯正己烷, 震荡15min, 静置10min, 收集有机相, 如此重复萃取3次, 合并有机相于平底烧瓶中。旋转蒸发浓缩, 氮吹浓缩至200μl, 转移至样品瓶, 用GC/MS测定。

1.4 仪器分析条件

PAHs分析用Agilent 7890A气相色谱/5975C质谱联用仪在SIM模式下进行定性以及定量分析。毛细管柱型号为DB-5 MS (30m×0.25mm×0.25μm)。气相条件: 进样口温度290℃, 初始温度70℃, 保持1min, 然后以10℃/min升到260℃, 保持4min, 5℃/min升到300℃保持4min。质谱条件: 传输线温度280℃, 离子源温度230℃, 电离方式: EI, 扫描方式: SIM。载

气为He, 流速为1ml/min。无分流进样, 进样量1μl。各单体化合物的检出限萘和蒽为0.08ng/L, 芘、菲、蒽、荧蒽和芘为0.2ng/L, 苯并[a]蒽、屈、苯并[b]荧蒽、苯并[k]荧蒽和苯并[a]芘为0.4ng/L, 茚并[1,2,3-cd]芘、二苯并[a,h]蒽和苯并[ghi]芘为2ng/L。

1.5 质量保证与质量控制(QA/QC)

样品萃取时加入定量菲-d₁₀作为回收率指示物。样品处理前, 先进行基质加标试验。每批(20个)样品做一个方法空白, 以检测实验室背景。加标回收率为85%—105%。空白中有低含量的同系物检出, 含量均低于样品中含量, 样品结果进行空白扣除。用6点标准曲线外标法定量。

2 结果与讨论

2.1 PAHs的分布特征

研究检测的16种典型PAHs中, 低环(2—4环)的PAHs(Nap、Acy、Ace、Fl、Phe、Ant、Flu、Pyr、BaA、Chr)在三个调查区域都有检出, 高环(5—6环)的PAHs(BbF、BkF、BaP、InP、DBA、BP)在曹妃甸和山海关近岸海域都没有检出, 调查结果如图2所示。曹妃甸近岸海域海水PAHs总量变化范围为14.1—226ng/L, 平均含量为108ng/L; 山海关近岸海域海水PAHs总量变化范围为29.9—229ng/L, 平均含量为102ng/L; 沧州渤海新区近岸海域海水PAHs总量变化范围为97.4—254ng/L, 平均含量为204ng/L。沧州渤海新区近岸海域海水的PAHs浓度比曹妃甸和山海关近岸海域海水的浓度高, 但差异性不显著, 且检出的PAHs种类多。这可能是由于沧州渤海新区地处环渤海中心地带, 自2007年成立以来, 石油化工、钢铁、电力、港口物流等发展迅速, 工业密集, 相对曹妃甸和山海关海域的污染输入大。而山海关主要为旅游度假区, 周边经济也不及渤海新区发达, 因而污染较轻。

与国内外一些河流与海洋水体中PAHs含量相比(表1), 渤海西北部近岸海域表层海水中PAHs的浓度明显低于大亚湾、厦门西港表层海水及长江武汉段水体中PAHs浓度。大亚湾是典型的亚热带半封闭溺谷型海湾, 经济发达, 大量工业废水和生活污水排入海湾, 且湾内有多座油码头,

与国内外一些河流与海洋水体中PAHs含量相比(表1), 渤海西北部近岸海域表层海水中PAHs的浓度明显低于大亚湾、厦门西港表层海水及长江武汉段水体中PAHs浓度。大亚湾是典型的亚热带半封闭溺谷型海湾, 经济发达, 大量工业废水和生活污水排入海湾, 且湾内有多座油码头,

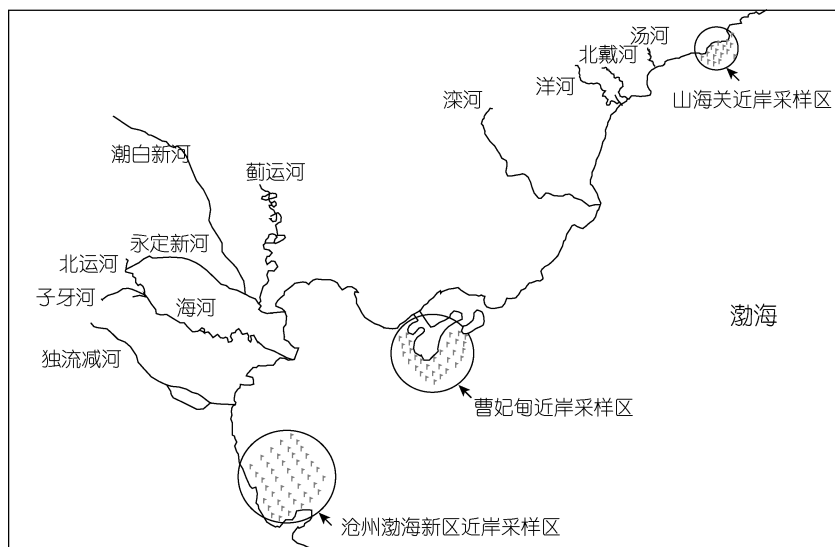


图1 渤海西北部近岸海域表层水体采样区域示意图

Fig.1 Sampling locations of surface water in the northwest Bohai Sea

船舶废水和养殖废水水量可观, 周边城市环绕, 大气沉降的有机物向湾内的输入也不容忽视(丘耀文等, 2004); 厦门港口运作、机动船的含油废水排放、工业废水及市政污水会输入的石油类物质(田蕴等, 2004), 本文所研究区域周边经济不及厦门发达, 且污染历史较短; 长江周边工业发展迅速, 水体有机物的污染越来越严重(冯承莲等, 2007)。与滦河相比, 渤海西北部海域表层海水中 PAHs 的浓度要高, 由于滦河流域工业发展和城市化的时间较短, 化石和生物质燃料的大规模使用历史也较短, 与发达地区相比, 滦河 PAHs 污染水平较低(曹治国等, 2010)。本研究海域比珠江口(罗孝俊等, 2008)表层水体中 PAHs 的浓度略高。由于本研究对水样做的是全萃取, 所测结果包括溶解相和颗粒相中的, 而西江与珠江口表层水体的研究中只是做的溶解相的, 因而这两个区域测得的结果要略低些。比污染少的爱琴海、波罗的海、多瑙河(Cristina *et al.*, 1999)PAHs 浓度要高几个数量级, 比受污染威胁的切萨皮克湾(Cristina *et al.*, 1999)PAHs 的浓度要高。总的来说, 渤海西北部近岸海域表层海水 PAHs 污染为中等水平。

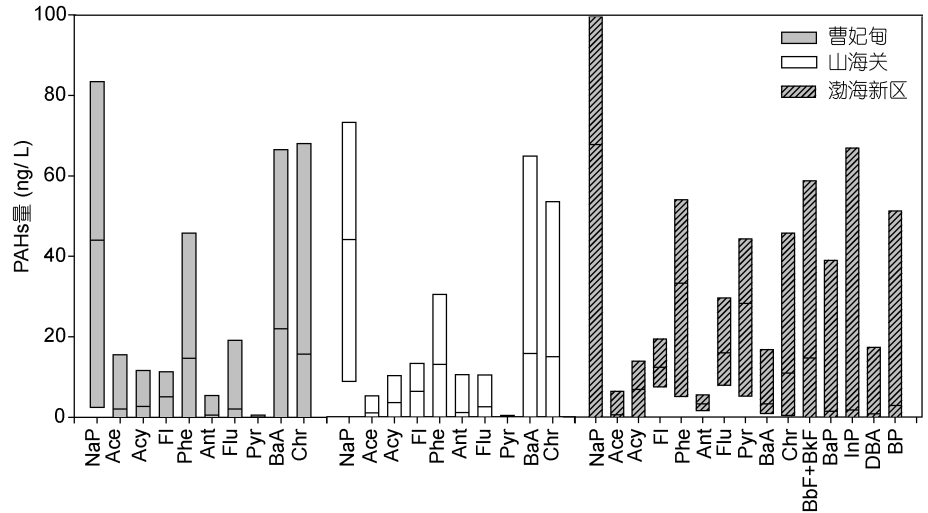


图 2 不同区域 PAHs 同系物的含量变化

Fig.2 Concentrations of PAHs from different areas

注: 各个箱线图最底端及最顶端分别代表最小值及最大值, 中间线为平均值

2.2 PAHs 组成

渤海西北部海域表层海水中检出的 PAHs 主要是 2—4 环, 5 环以上的 PAHs 很少被检出。PAHs 在表层水体中的组成如图 3 所示。该研究区域中 2—3 环 PAHs 占总 PAHs 的 60.9%—67.5%, 其中萘为主要成分, 占总量的 33.2%—43.2%, 其次为菲(12.8%—16.3%)。萘是原油和轻质油类产品的重要组成部分, 所以可作为石油源的指示物。4 环 PAHs 占总 PAHs 的 28.6%—36.4%。5 环以上的 PAHs 只在沧州渤海新区部分站点有检出, 且浓度较低。曹妃甸和山海关近岸海域表层海水各化合物含量基本一致, 说明这两

表 1 不同水域 PAHs 浓度比较

Tab.1 PAHs concentrations in water from different areas

地点	PAHs (ng/L)		检测 PAHs 数	参考文献
	含量范围	平均值		
曹妃甸近岸	14.1—226	108	16	本研究 ^a
山海关近岸	29.9—229	102	16	本研究 ^a
沧州渤海新区近岸	97.4—254	204	16	本研究 ^a
大亚湾	4228—29325	10984	16	丘耀文等, 2004 ^a
厦门西港	103—2141	665	16	田蕴等, 2004 ^a
滦河	9.8—310	80	16	曹治国等, 2010 ^b
长江武汉段	242—6235	2095	16	冯承莲等, 2007 ^b
珠江口	15.9—182	—	15	罗孝俊等, 2008 ^b
爱琴海(东地中海)	0.11—0.49	0.22	14	Cristina <i>et al.</i> , 1999 ^b
波罗的海	0.30—0.59	0.53	14	Cristina <i>et al.</i> , 1999 ^b
多瑙河	0.14—0.21	0.20	14	Cristina <i>et al.</i> , 1999 ^b
切萨皮克湾, 美国	3.2—43.2	14.7	14	Cristina <i>et al.</i> , 1999 ^b

注: ^a 表示所测 PAHs 结果为溶解相和颗粒相之和, ^b 表示所测 PAHs 结果仅为溶解相中浓度

区域污染源基本一致, 沧州渤海新区近岸海域表层海水除了芘和苯并[a]蒽以及多检出 5 环以上的 PAHs 外, 其余组分差别与前两个区域差别不大。

环境中 PAHs 的来源比较复杂, 不同成因的 PAHs 具有结构和组分差异, 并且在迁移和沉积过程中保持相对稳定, 因此 PAHs 的组分特征可以作为区分污染来源的依据(林秀梅等, 2005)。通常低分子量 PAHs 主要来源于石油、化石燃料中低温不完全燃烧或天然成岩过程, 高分子量 PAHs 主要来源于高温热解(Mai *et al.*, 2003)。有许多研究根据不同分子量 PAHs 相对含量比例判断其来源(Sicre *et al.*, 1987; Lee *et al.*, 2005)。比较本文中各区 PAHs 的组分比例(图 3), 可以看出, 三个调查区域中 2—3 环的 PAHs 比例均高于 4—6 环 PAHs, 曹妃甸、山海关及沧州渤海新区近岸海域表层海水 2—3 环 PAHs 分别占总 PAHs 量的 63.6%、67.5% 和 60.9%, 表明石油类产品的输入或燃料的不完全燃烧可能是 PAHs 的主要来源。

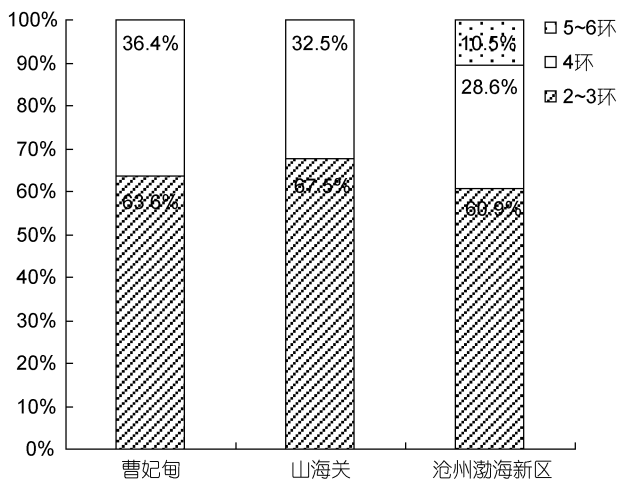


图 3 不同区域表层水体中 PAHs 的组成

Fig.3 Composition of PAHs in surface water from different areas

2.3 异构体比值法判断 PAHs 来源

由于 PAHs 的分布和来源十分复杂, 仅用不同分子量 PAHs 的相对含量这单一指标不能全面指示

PAHs 的来源, 通常用不同 PAHs 异构体的比值来判断其燃烧来源特征(程远梅等, 2009)。表 2 列出了几种常见源产生的 PAHs 特征值的变化范围(程远梅等, 2009; 薛荔栋等, 2008)。比较本文中四类同分异构体的比值, 如图 4 所示, 三个区域绝大多数 $\text{Ant}/(\text{Ant}+\text{Phe})$ 均 <0.1 , 说明其来源为石油污染; 曹妃甸和山海关近岸海域大部分站位表层海水 $\text{BaA}/(\text{Chr}+\text{BaA})$ 比值 >0.35 , 推测可能来源于燃料燃烧或柴油泄漏或燃烧, 沧州渤海新区近岸海域表层海水 $\text{BaA}/(\text{Chr}+\text{BaA})$ 比值多在 0.2—0.4 之间, 可能来源于柴油泄漏或燃烧; 曹妃甸和山海关的 $\text{Flu}/(\text{Flu}+\text{Pyr})$ 均 >0.5 , 表示其来源于煤、生物质等的燃烧, 沧州渤海新区少数站位 $\text{Flu}/(\text{Flu}+\text{Pyr}) >0.5$, 其余均 <0.4 , 表示主要来源于石油污染, 但煤及生物质等的燃烧也不能忽视; 此外, 五环以上的 PAHs 只在沧州渤海新区有检出, 其 $\text{InP}/(\text{InP}+\text{BP})$ 均 <0.5 , 推测其为石油燃烧源。这与根据不同分子量 PAHs 比例分析的来源结果一致。

综合不同分子量 PAHs 相对含量和异构体比值分析, 渤海西北部海域表层海水中 PAHs 以石油污染为主, 生物质及煤的燃烧对其也有一定的贡献。曹妃甸与沧州渤海新区内港口较多, 石油化工、钢铁、化学工业等产业发达, 而且海上活动较多, 可能造成石油泄漏; 山海关虽旅游区较多, 经济不及沧州渤海新区和曹妃甸发达, 但钢厂、电厂、船舶配套等产业也在加速发展, 燃烧源的贡献也很大。

然而, Katsoyiannis 等(2011)对英国 12 个不同地区大气中 PAHs 来源分析研究, 发现大多数地区 $\text{Ant}/(\text{Ant}+\text{Phe})$ 比值均小于 0.1, 为石油源, 而这些地区 $\text{Flu}/(\text{Flu}+\text{Pyr})$ 比值均大于 0.5, 为燃烧源, $\text{BaA}/(\text{Chr}+\text{BaA})$ 比值则在 0.2—0.4 之间, 不能确定具体来源, 用不同比值计算得到的结论不一致; 此外, Katsoyiannis 等(2011)选择的研究区域包括城市、农村、城乡交界, 工业区、公路、港口等, 发现用异构体比值推断的来源分析与区域实际情况有些相悖; 而且 $\text{Ant}/(\text{Ant}+\text{Phe})$ 比值具有季节性变化的(冬季 $>$ 夏

表 2 判定 PAHs 来源的特征比值范围
Tab.2 The diagnostic indicators of PAH sources

污染源	石油污染	柴油泄漏	燃料燃烧	
			煤、生物质等燃烧	石油燃烧
$\text{Ant}/(\text{Ant}+\text{Phe})$	<0.1		>0.1	>0.1
$\text{BaA}/(\text{Chr}+\text{BaA})$	<0.2	0.35 ± 0.24	>0.35	>0.35
$\text{Flu}/(\text{Flu}+\text{Pyr})$	<0.4		>0.5	0.4—0.5
$\text{InP}/(\text{InP}+\text{BP})$			>0.5	0.5

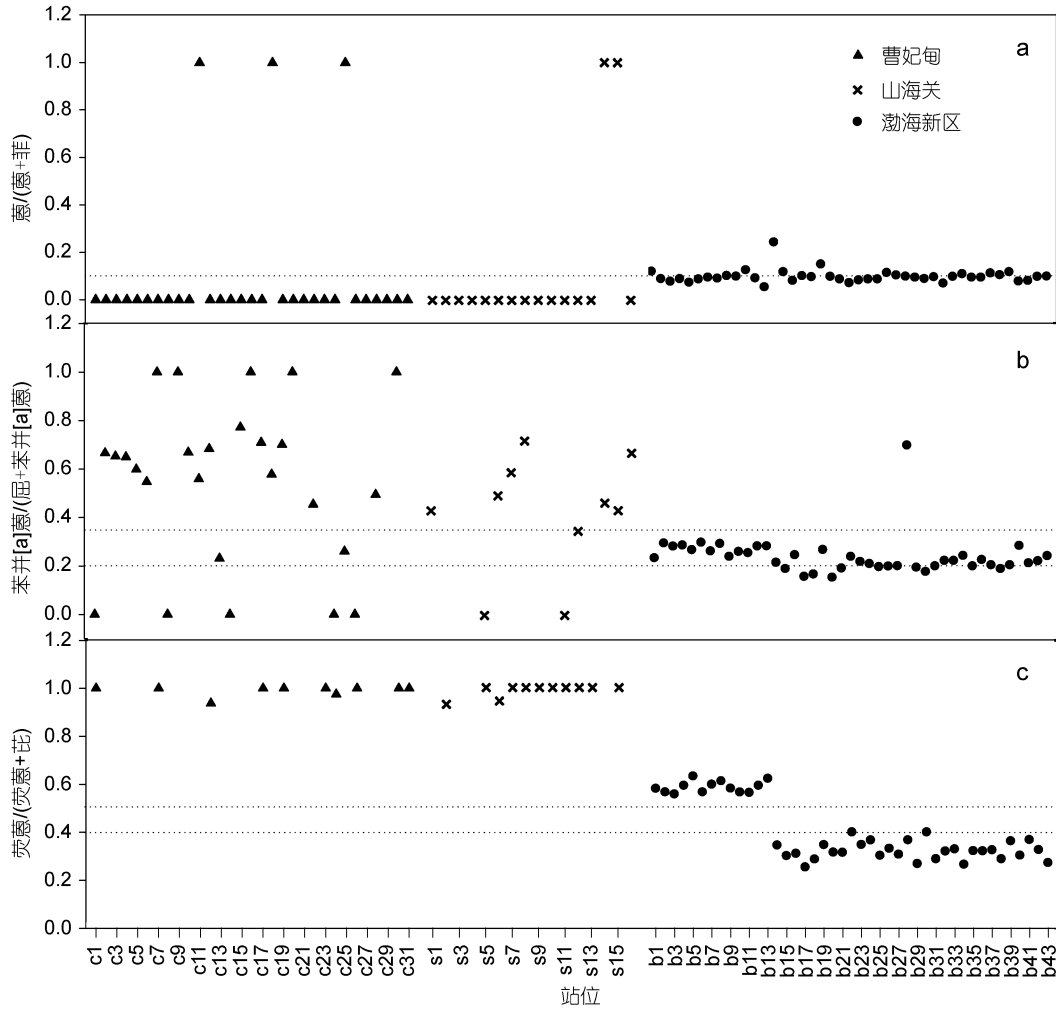


图 4 渤海西北部海域表层水体中 Ant/(Ant+Phe)(a)、BaA/(Chr+BaA)(b)和 Flu/(Flu+Pyr)(c)的特征比值

Fig.4 Isomer ratio plots of PAHs [Ant/(Ant+Phe)(a), BaA/(Chr+BaA)(b), Flu/(Flu+Pyr)(c)] in surface water of the northwest Bohai Sea

季)。以上研究说明, 利用异构体比值判断 PAHs 来源的方法存在不确定性, 不能有效地指示污染源的种类和类型(Katsoyiannis *et al*, 2011)。但由于目前尚没有非常精确的判定方法, 本文依然利用这种异构体比值判断方法对表层海水中 PAHs 来源进行分析, 所得的结论具有一定的参考意义。

2.4 PAHs 的生态风险评价

由于 PAHs 具有急性毒性及致癌性, 早在 1976 年, US EPA 就将 16 种 PAHs 列入优先控制的有毒有机污染物黑名单(焦文涛等, 2010)。目前, 我国国家海水水质标准只规定了苯并[a]芘的量应小于 2.5ng/L (GB 3097-1997)(国家海洋局第三海洋研究所, 2004)。本研究中所有站点苯并[a]芘含量虽均低于该值, 但是我国尚未对其它 PAHs 作出相应标准, 有必要对该区域 PAHs 的生态风险进行综合评价。目前常用的生态风险评价方法有商值法、概率风险评价方法及统计

分析方法(董继元等, 2011)。商值法是使用最普遍、最广泛的风险表征方法, 本文采用该法。

本研究参考 Smith 等(1996)及 MacDonald 等(2000)的研究, 用危害商值(HQ)对 PAHs 的生态风险进行评估。

$$HQ = \text{暴露}/TRV$$

暴露是指测定的暴露浓度, TRV 指毒性参考值(生态基准值)。HQ>1 表示存在潜在风险, HQ<1 则表示生态风险相对较小。各 PAHs 的 TRV 及本研究中 PAHs 的 HQ 结果列于表 3。可以看出所有研究区域的 HQ 均远远小于 1, 说明其生态风险非常小。

此外, 杨建丽等(2009)依据欧盟适用于现有化学物质与新化学物质的风险评价技术指南(TGD)中的商值法, 用 PEC/PNEC 的商值来评价污染物在研究区域的风险范围。PEC 为化学物质的环境浓度, PNEC 为人类或环境无影响浓度, 其预测的四种 PAHs: 蔡、

蒽、菲、荧蒽在水体中的 PNEC 分别为 200、44、48、104ng/L。PEC/PNEC>1, 表示存在风险; PEC/PNEC<1 则表示不存在风险。本研究的区域水体中四种 PAHs 的 PEC/PNEC 见表 4。可以看出四种 PAHs 的 PEC/PNEC 均小于 1, 目前尚未对环境造成威胁。由于商值法有时会忽略环境中污染浓度的不同和对不同生物危害的差别, 因而具有一定的不确定性, 只能作为初步评价。

表 3 各 PAHs 的 TRV 及 HQ (ng/L)
Tab.3 TRV and HQ of PAHs (ng/L)

PAHs	TRV($\times 10^3$)	HQ($\times 10^{-4}$)		
		曹妃甸	山海关	沧州渤海新区
萘	490	1	1	1
蒽	23	1	2	3
芴	11	5	6	11
菲	30	5	4	11
蒽	3	2	3	11
荧蒽	6.16	3	4	26
芘	7	0.03	0.04	40
苯并[a]蒽	34.6	6	5	1
屈	7	22	21	16
苯并[a]芘	0.014	0	0	1000
二苯并[a,h]蒽	5	0	0	2

表 4 渤海西北部海域表层水体中四种 PAHs 的 PEC/PNEC

Tab.4 PEC/PNEC of 4 PAHs in surface water of the northwest Bohai Sea

PAHs	研究区域		
	曹妃甸	山海关	沧州渤海新区
萘	0.22	0.22	0.34
蒽	0.01	0.02	0.07
菲	0.30	0.27	0.69
荧蒽	0.02	0.02	0.15

3 结论

(1) 渤海西北部海域表层海水中 PAHs 的含量范围为 14.1—254ng/L, 主要由 2—4 环 PAHs 组成。其中, 沧州渤海新区海域 PAHs 平均含量为 204ng/L, 高于曹妃甸(平均值 108ng/L)及山海关(平均值 102ng/L), 可能是由于该地区码头众多, 石油、钢铁、化工等产业发达, 污染源较多。与国内外关于水体中 PAHs 研究报道相比, 渤海西北部海域 PAHs 污染水平相对较低。

(2) 对不同分子量 PAHs 相对含量和异构体比值分析表明, 渤海西北部海域表层海水中 PAHs 来源以

石油污染为主, 生物质及煤的燃烧对其也有一定的贡献。

(3) 采用商值法对渤海西北部海域表层海水中 PAHs 进行初步生态风险评价, 结果表明, 研究区域 PAHs 的生态风险非常小。

致谢 国家海洋局秦皇岛海洋环境监测中心站在采样方面提供了帮助, 谨致谢忱。

参 考 文 献

- 中华人民共和国环境保护部, 2009. HJ 478-2009. 中华人民共和国国家环境保护标准: 水质 多环芳烃的测定. 液液萃取和固相萃取高效液相色谱法. 北京: 中国环境科学出版社, 1—12
- 田 蕴, 郑天凌, 王新红, 2004. 厦门西港表层海水中多环芳烃(PAHs)的含量、组成及来源. 环境科学学报, 24(1): 50—55
- 丘耀文, 周俊良, Maskaoui K 等, 2004. 大亚湾海域水体和沉积物中多环芳烃分布及生态危害评价. 热带海洋学报, 23(4): 72—80
- 冯承莲, 夏星辉, 周 追等, 2007. 长江武汉段水体中多环芳烃的分布及来源分析. 环境科学学报, 27(11): 1900—1908
- 杨建丽, 刘征涛, 冯 流等, 2009. 长江口水体中 PAHs 的基本生态风险特征. 环境科学研究, 22(7): 784—787
- 林秀梅, 刘文新, 陈江麟等, 2005. 渤海表层沉积物中多环芳烃的分布与生态风险评价. 环境科学学报, 25(1): 70—75
- 国家海洋局第三海洋研究所, 2004. GB 3097-1997. 中华人民共和国国家标准: 海水水质标准. 北京: 环境科学出版社, 200—205
- 罗孝俊, 陈社军, 余 梅等, 2008. 多环芳烃在珠江口表层水体中的分布与分配. 环境科学, 29(9): 2385—2391
- 曹治国, 刘静玲, 栾 芸等, 2010. 滦河流域多环芳烃的污染特征、风险评价与来源辨析. 环境科学学报, 30(2): 246—253
- 彭 欢, 杨 毅, 刘 敏等, 2010. 淮南-蚌埠段淮河流域沉积物中 PAHs 的分布及来源辨析. 环境科学, 31(5): 1192—1197
- 董继元, 王式功, 尚可政, 2011. 黄河兰州段多环芳烃生态风险的初步评价. 干旱区资源与环境, 25(4): 50—55
- 程远梅, 祝凌燕, 田胜艳等, 2009. 海河及渤海表层沉积物中多环芳烃的分布与来源. 环境科学学报, 29(11): 2420—2426
- 焦文涛, 王铁宇, 吕永龙等, 2010. 环渤海北部沿海地区表层土壤中 PAHs 的污染特征及风险评价. 生态毒理学报, 5(2): 193—201
- 薛荔栋, 郎印海, 刘爱霞等, 2008. 黄海近岸表层沉积物中多环芳烃来源解析. 生态环境, 17(4): 1369—1375
- Cristina M, Josep M B, Laurent B, 1999. Source, distribution, and water column processes of aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in the Northwestern Black Sea Water. Environmental Science and Technology, 33(16): 2693—2702

- Katsoyiannis A, Sweetman A J, Jones K C, 2011. PAHs molecular diagnostic ratios applied to atmospheric sources: a critical evaluation using two decades of source inventory and air concentration data from the UK. *Environmental Science and Technology*, 45(20): 8897—8908
- Krisa M A, Rebecca M D, Elizabeth A C, 2001. Fate of atmospherically deposited polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Chesapeake Bay. *Environmental Science and Technology*, 35(11): 2178—2183
- Lee B C, Shimizu Y, Matsuda T *et al*, 2005. Characterization of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in different size fractions in deposited road particles (DRPs) from Lake Biwa Area, Japan. *Environmental Science and Technology*, 39(19): 7402—7409
- MacDonald D D, Ingersoll C G, Berger T A, 2000. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 39: 20—31
- Mai B X, Qi S H, Zeng E Y *et al*, 2003. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the coastal region off Macao, China: Assessment of input sources and transport pathways using compositional analysis. *Environmental Science and Technology*, 37(21): 4855—4863
- Mohamad P Z, Hideshige T, Shinobu T *et al*, 2002. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in rivers and estuaries in Malaysia: a widespread input of petrogenic PAHs. *Environmental Science and Technology*, 36(9): 1907—1918
- Sicre M A, Marty J C, Saliot A *et al*, 1987. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in different sized aerosols over the Mediterranean Sea: Occurrence and origin. *Atmospheric Environment*, 21(10): 2247—2259
- Smith S L, MacDonald D D, Keenleyside K A *et al*, 1996. A preliminary evaluation of sediment quality assessment values for freshwater ecosystems. *Journal of Great Lakes Research*, 22(3): 624—638
- Waverly A T, W Gregory C, Damian S, 2004. Bioavailability of PAHs: Effects of soot carbon and PAH source. *Environmental Science and Technology*, 38(7): 2029—2037

DISTRIBUTION, SOURCE AND ECOLOGICAL RISK ASSESSMENT OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN SURFACE WATER FROM THE NORTHWEST BOHAI SEA, CHINA

ZHANG Yao-Dan, TIAN Sheng-Yan, LIU Xian-Bin, LI Guo-Feng,
ZHU Wen-Jun, JIA Rui

(Tianjin Key Laboratory of Marine Resource and Chemistry, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin, 300457)

Abstract Surface water samples were collected from the northwest Bohai Sea, including Caofeidian, Shanhaiguan and Cangzhou areas, to determine the 16 priority polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) by GC/MS in September, 2010. Total PAHs concentrations in the surface water of Caofeidian, Shanhaiguan and Cangzhou area varied in the range of 14.1—226ng/L, 29.9—229ng/L and 97.4—254ng/L, with mean values of 108ng/L, 102ng/L and 204ng/L, respectively. The level of PAHs in Cangzhou area was higher than those in Caofeidian and Shanhaiguan areas, with more PAHs congeners detected. Compared with the reports about PAHs in water samples from different area, the concentrations of PAHs in the surface water from the northwest Bohai Sea were at the median level. The main sources of PAHs came from oil pollution by assessing the profile of different molecular weight and the ratios of isomer. Ecological risk was very low by the quotient assessment method.

Key words Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), Surface water, The northwest Bohai Sea, Sources, Ecological risk