

广西钦州湾近岸表层沉积物多环芳烃分布特征及生态风险评价

崔振昂^{1,2}, 黄向青¹

(1. 广州海洋地质调查局, 广东广州 510760; 2. 国土资源部海底矿产资源重点实验室, 广州海洋地质调查局, 广东广州 510075)

摘要 对广西钦州近岸海域9个表层沉积物样品的多环芳烃(PAHs)含量进行分析, 结果表明, 研究区表层沉积物中PAHs总体含量介于1.9~44.7 ng/g, 平均值为23.4 ng/g, 与国内其他近岸区相比处于较低的含量水平, 表明人类活动对区域环境的影响较小。LMW/HMW(低分子质量/高分子质量)和异构体比值分析表明, 广西钦州湾近岸表层沉积物中PAHs可能主要来源于石油热解-燃油污染。PAHs的生态风险评估结果显示, 虽然沉积物中PAHs含量对生态环境的影响较低, 但一些没有最低安全值的PAHs化合物(如苯并(b)荧蒹和苯并(k)荧蒹)的存在, 可能会对区域生态环境造成不利的影响。

关键词 多环芳烃; 分布; 来源; 风险评价; 近岸沉积物

中图分类号 S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)33-11824-03

Distributions and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Surface Sediments from Qinzhou Bay, Guangxi
CUI Zhen-ang^{1,2}, HUANG Xiang-qing¹ (1. Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou, Guangdong 510760; 2. MLR Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou, Guangdong 510075)

Abstract The analysis of PAHs in the surface sediment of 9 sampling sites from the Qinzhou Bay offshore area shows that total PAHs concentration ranged from 1.9-44.7 ng/g, with the average of 23.4 ng/g. Compared with the PHAs in offshore sediments from the other areas in China, the concentrations of PHAs in the study area is in lower level. The ratios of LWM/HWM (low-molecular-weight PAH/high-molecular-weight PAH) and isomer suggested that the fuel consumption is the mainly possible sources of PAHs. Risk assessment indicated that the sediments of Qinzhou-Beihai offshore area are in the low toxicological risk of PAHs. However, the amounts of BbF and BkF in the surface sediment, which had no minimum safety value, suggested the existence of negative ecological impact in the study area.

Key words PAHs; Distribution; Source; Risk assessment; Offshore sediments

多环芳烃(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs)是指2个或2个以上的苯环以直链状、角状或串状排列组成的有机化合物, 其广泛存在于自然环境中。由于多环芳烃具有较强的致癌性和致突变性, 且在环境介质中持久存在, 因此在环境污染物的研究中受到广泛关注, 美国环境保护署将其中16种PAHs确定为优先控制的有机污染物^[1]。环境中PAHs来源主要为有机物质的热分解和燃烧, 如化石燃料(煤和石油)和植物秸秆燃烧^[2-4]。

多环芳烃具有低溶解性和疏水性, 在水体中会被分配到非水相中(如沉积物), 因此沉积物是其主要的环境归宿。近年来随着我国经济的快速发展, PAHs污染也日趋严峻, 尤其在经济发达的近岸海域PAHs污染更为突出, 每年都有大量PAHs通过河流输入和大气沉降进入海洋, 并转移到海底沉积物中^[5-9]。鉴于多环芳烃对环境污染的持久性和严重性, 有关PAHs在各类环境中的分布、来源以及危害程度评估的研究得到社会各界的广泛关注。

目前, 我国相关的PAHs污染研究主要集中在珠江口、渤海湾、胶州湾及湄洲湾等临近经济发达地区的河流、海湾、港口等地区, 而在相对欠发达的北部湾广西近岸海域PAHs污染研究相对较少。但近年来, 随着西部大开发战略的实施, 广西近岸经济发展逐步加快, 人类对环境的影响越来越严重, PAHs等有机物污染物对区域环境的影响已不容忽视。该研究通过对广西钦州近岸海域沉积物中PAHs的16种组

分含量进行测试分析, 研究了其分布特征, 分析了其可能的来源, 并对其潜在生态风险进行了评价。

1 样品采集及分析

1.1 样品采集 采样地点位于广西钦州湾近岸海域。采样工作于2007年5月进行, 采用箱式采样器采集了9个站位表层沉积物样品(0~5 cm), 样品采集后立即冷冻保存, 直至分析。采样位置见图1。

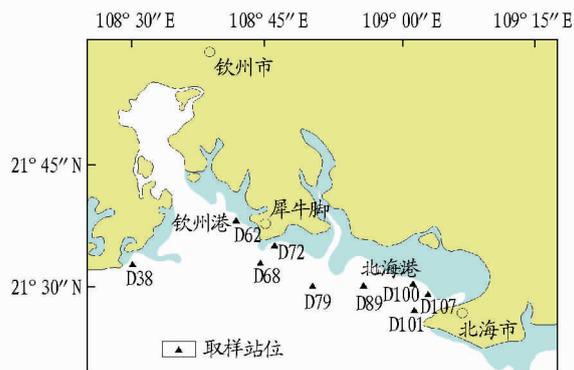


图1 研究区位置及取样站位

1.2 样品提取与净化 分析前, 沉积物样品经冷冻干燥、研磨后过100目筛, 并置于密封袋保存备用。称取备用的5g沉积物样品以100ml二氯甲烷索氏提取48h。提取液旋蒸浓缩至1ml, 然后用硅胶/氧化铝层析柱分离纯化。用15ml正己烷淋洗, 弃去淋洗液, 再用5ml正己烷和70ml二氯甲烷/正己烷(体积比3:7)淋洗, 收集的淋洗液旋蒸浓缩, 柔和的氮气吹至近干, 再向其中加入5ml正己烷, 再次浓缩, 用柔和高纯氮气定量至1ml待测。硅胶/氧化铝层析柱制备: 底端塞玻璃丝, 干法装柱, 依次装入硅胶、氧化铝、无水硫酸钠

基金项目 国土资源部海底矿产资源重点实验室开放基金项目(KLM-MR-2013-A-14)。

作者简介 崔振昂(1974-), 男, 河北枣强人, 高级工程师, 博士, 从事近岸带海洋环境地质研究。

收稿日期 2014-10-15

以及铜粉。试验所用二氯甲烷和正己烷购自德国 MERCK 公司, HPLC 级。分析纯无水硫酸钠 650 °C 烘烤 10 h 后备用。硅胶 650 °C 烘烤 10 h 后, 160 °C 活化 16 h 备用。

1.3 样品分析与质量控制 PAHs 结构用气相色谱质谱联用仪(热电 Finnigan 公司 Trace DSQ GC/MS, J&W DB-5MS 石英毛细管色谱柱: 30 m × 0.25 mm × 0.25 μm) 测定。测定条件为: 载气为高纯氮气, 柱前压 0.03 MPa; 进样口温度 280 °C, 不分流进样, 流速为 1.0 ml/min; 初始温度为 100 °C, 以 5 °C/min 程序升温到 280 °C, 保留 20 min 至样品完全流出。质谱条件为: EI 电离源 70 eV, 质量范围 45 ~ 650 u, 倍增器电压 1 288 eV, 离子源温度 230 °C, 采用选择离子方式。质量保证和质量控制: 采用 EPA 的质量控制方法, 包括空白、基质加标、基质和样品平行样。分析方法的检测线为 $(0.14 \sim 1.23) \times 10^{-9}$, 回收率为 84% ~ 105%。

2 结果与分析

2.1 多环芳烃空间分布特征

美国 EPA 所规定的 16 种优

先控制的多环芳烃, 在钦州湾近岸表层沉积物中共检出 11 种, 各站位检出的多环芳烃的组分及质量分数见表 1 和图 2。由表 1 可以看出, 钦州湾表层沉积物中 $w(\text{PAHs})$ 含量介于 1.9 ~ 44.7 ng/g 之间, 平均含量为 23.4 ng/g。从分布特征看, 钦州湾口及靠近北海市区的站位相对较高, 其他站位相对较低。最高值出现在北海市西侧的 D101 站位, $w(\text{PAHs})$ 达到 60.1 ng/g; 另外钦州湾口两侧的 D38、D62 和 D68 取样站位也有着较高的含量值, 分别为: 44.7、48.2 和 30.6 ng/g。从地理位置上看, 此 4 个高值点分别临近或位于企沙港、钦州港和北海港内, 由于港内船只出入频繁, 船舶靠港停泊及出港过程中污水及油污排放, 有可能产生大量的多环芳烃, 可能导致区内表层沉积物中的 PAHs 高值。而 D72、D79、D100 和 D107 这 4 个站位距离港口较远, 受船舶的影响较小, $w(\text{PAHs})$ 值较低。

相对于国内其他地区的近海沉积物, 钦州湾沉积物中 PAHs 浓度相对较低。同处于华南近岸的大亚湾、深圳湾和

表 1 钦州湾近岸海域表层沉积物 PAHs 组分含量

ng/g

PAHs 组分	取样站位										均值
	D38	D62	D68	D72	D79	D89	D100	D101	D107		
3 环	萘	0.39	1.89	0.74	0.17	< 0.08	< 0.08	0.32	0.82	0.55	0.56
	二氢萘	0.89	1.53	< 0.08	< 0.08	0.45	0.08	< 0.08	1.03	0.27	0.68
	蒽	1.85	3.03	1.18	0.37	0.19	0.16	0.04	2.11	1.01	1.10
4 环	芘	8.89	7.98	7.04	1.73	0.31	0.85	0.48	10.02	3.27	4.51
	荧蒽	0.72	2.30	1.71	0.51	< 0.08	< 0.08	< 0.08	1.46	0.32	0.81
	苯并(a)蒽	4.04	4.08	2.54	< 0.08	0.06	0.17	0.25	7.32	1.95	2.28
	屈	3.73	4.69	1.21	< 0.08	< 0.08	0.09	< 0.08	6.24	1.34	1.95
5 环	苯并(b)荧蒽	14.06	12.25	10.65	< 0.08	1.43	0.95	0.55	16.78	4.84	6.84
	苯并(k)荧蒽	3.53	3.17	2.58	< 0.08	< 0.08	0.20	0.09	3.90	1.20	1.65
	苯并(a)芘	5.12	6.17	2.15	< 0.08	< 0.08	0.03	0.15	8.50	2.48	2.75
	二苯并(a,h)蒽	1.49	1.08	0.76	< 0.08	< 0.08	0.04	0.01	1.92	0.40	0.65
Σ PAHs	44.71	48.16	30.55	2.77	2.44	2.57	1.89	60.08	17.62	23.42	
HMW/LMW	13.30	6.50	15.00	4.00	2.80	9.80	4.30	14.20	8.70	9.10	
芘/荧蒽	12.30	3.50	4.10	3.40	3.80	10.70	6.00	6.90	10.30	5.60	

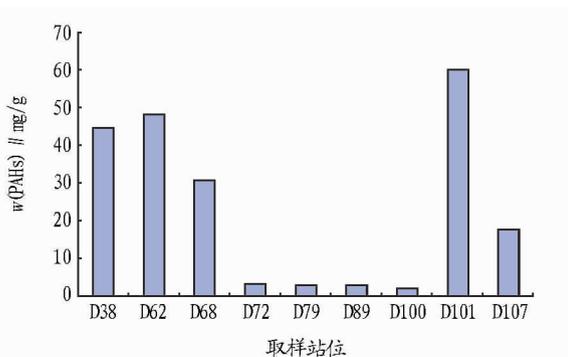


图 2 研究区表层沉积物 PAHs 含量站位对比

厦门港等地区的近岸沉积物 PAHs 的含量比钦州湾要高出 3 ~ 10 倍; 而在香港维多利亚港等一些经济高度发达地区, 其沉积物中 PAHs 含量比钦州湾要高出 10 ~ 500 倍(表 2)。对不同地域沉积物中 PAHs 含量的对比表明, 钦州湾近岸表层沉积物中的 PAHs 污染处于较低水平, 这与钦州湾近岸带开发相对较晚和经济发展现状相对应。总体而言, PAHs 对钦

州湾近岸海域环境的影响程度较小。

表 2 国内其他地区近岸带或海湾表层沉积物中 PAHs 含量特征

采样位置	PAHs 含量		文献来源
	平均值 // ng/g	范围 // ng/g	
渤海湾近岸	162	107 ~ 256	黄国培等 ^[6]
南海近岸带	135	75 ~ 219	罗孝俊等 ^[5]
青岛近海	685	256 ~ 1 884	王江涛等 ^[7]
大亚湾	126	42.5 ~ 158.2	Yan 等 ^[8]
厦门港	367	247 ~ 480	张祖麟等 ^[9]
深圳湾	409	238 ~ 726	Zhang 等 ^[10]
珠江口	362	189 ~ 637	Luo 等 ^[11]
香港维多利亚港	5 277	700 ~ 26 100	Hong 等 ^[12]
钦州湾近岸	23.4	1.9 ~ 60.1	该研究

2.2 沉积物中 PAHs 的组分特征及来源分析 钦州湾近岸海域 9 个站位的表层沉积物 PAHs 组分特征如图 3 所示, 由图 3 可知, 各站位表层沉积物中 PAHs 组分均以 4 环和 5 环为主, 除 D79 站位外, 其他站位 4 环和 5 环组分之和可占到

PAHs总量的85%以上,相对而言,3环及以下的组分相对较少。从单组分上看 w (芘)和 w (苯并(b)荧蒹)含量较高,几乎在各个站位此两种组分都可占到PAHs总量的50%以上。各个站位相近的PAHs组分,指示钦州湾近岸带表层沉积物中PAHs可能存在着相似的污染来源。

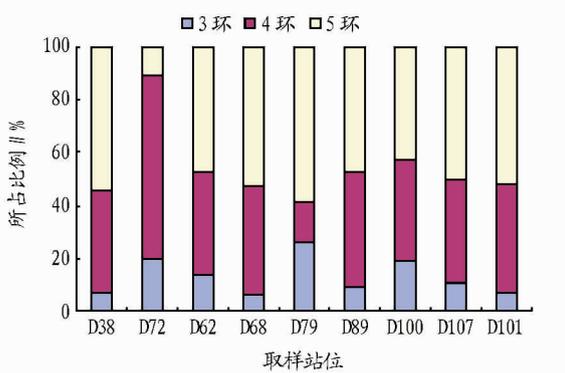


图3 钦州湾近岸海域站位表层沉积物PAHs组分特征

PAHs具有较强疏水性和难降解性,决定了其在迁移和沉淀过程的稳定性,沉积物中PAHs的组成可在较长时间内不发生变化。另外,不同来源的PAHs,其组分和结构也不尽相同,籍此可以判断其来源。目前,环境中的PAHs来源识别的方法主要有比值法、特征化合物法、多元统计法等,其中比值法最为常用^[13]。虽然沉积物中多环芳烃来源广泛,但热解(煤、石油等矿物质的燃烧)和成岩化(石油及其产品)是最主要的两个来源,并分别产生了两类截然不同的PAHs,其中,热解来源的PAHs其成分表现为组分的高分子量(HMW,4环及其以上),而成岩化来源的PAHs其组分的分子量较低(LMW,2~3环),因此,当 $HMW/LMW > 1$ (或者远大于1)时,则主要来源为热解。反之,当 $HMW/LMW < 1$ 时,表明PAHs主要来源是成岩化。此外,一些PAHs同分异构体的比值,如菲/蒹和荧蒹/芘,也可用来鉴定PAHs的来源。由于在石油及其产品中,芘的含量远远超过荧蒹,因此,当芘/荧蒹小于1时,指示主要来源是成岩化;当荧蒹/芘大于1,则指示主要来源为热解^[14]。

表1列出了钦州湾各站位的 HMW/LMW 和芘/荧蒹的比值,所有站位的 HMW/LMW 比值和芘/荧蒹都大于或远大于1,可断定钦州湾近岸沉积物中的PAHs的主要来源是石油热解,即燃油污染。这明显与钦州湾近岸带内分布的企沙港、钦州港及北海港有关,港内来往船舶较多,而燃油是船体行进的主动动力,大量燃油残余通过水体转入到沉积物中,导致了近岸带沉积物中的PAHs含量高值。

2.3 多环芳烃生态风险评价 PAHs对环境的污染,最终表现为对区域生态环境的破坏。因此生态风险效应评估也是PAHs环境污染研究的重要内容。Long等^[15]提出用于确定海洋与河口沉积物中有机污染物的潜在生态风险的效应区间低值(Effects Range Low, ERL)和效应区间中值(Effects Range Median, ERM),借助ERL和ERM可评估多环芳烃对生物体产生的潜在生态风险效应:若污染物含量小于ERL,则产生负面生态效应的可能性不大;若污染物含量在二者之

间,则具有潜在的生态风险;若污染物含量大于ERM,则可能产生严重的生态风险。该研究借助ERL和ERM对广西钦州湾近岸表层沉积物的多环芳烃的潜在生态风险进行了评估(表3),结果表明各站位中PAHs浓度均远远低于ERM,说明区内沉积物不存在严重的生态风险。但值得注意的是对于苯并(b)荧蒹和苯并(k)荧蒹没有最低安全值的PAHs化合物来说,只要在环境中存在就会对生物产生不利影响^[16-17],而这两种组分在研究区沉积中均有检出,在一定程度上对区域生态环境造成污染。因此,尽管研究区内沉积物的PAHs含量较低,但并不能忽视其对生态环境的负作用。随着西部大开发战略的逐步实施,近岸带人类活动势必会逐渐增强,若不及时控制该类污染物的排放,PAHs对环境的污染将日益严重,进而影响近岸生态环境、危害人类健康,因此有必要加强对PAHs的监测与研究。

表3 广西钦州湾近岸沉积物中多环芳烃含量与风险效应低值和风险效应中值比较

项目	ERL//ng/g	ERM//ng/g	实测值//ng/g
芘	44	640	0.08~1.89
二氢芘	16	500	0.08~1.53
蒹	853	1100	0.04~3.03
芘	665	260	0.31~10.02
荧蒹	600	5100	0.08~2.30
苯并(a)蒹	261	1600	0.06~7.32
屈	384	2800	0.08~6.24
苯并(b)荧蒹	NA	NA	0.08~16.78
苯并(k)荧蒹	NA	NA	0.08~3.90
苯并(a)芘	430	1600	0.03~8.50
二苯并(a,h)蒹	63.4	260	0.01~1.92
PAHs	4022	44792	1.89~60.80

注:NA表示未检测到。

3 结论

(1)广西钦州湾近岸表层沉积物中PAHs的总量污染范围在1.9~44.7 ng/g之间,平均值为23.4 ng/g,与国内其他河流和近岸区相比处于较低含量水平,说明人类活动对钦州湾近岸海洋环境的影响相对较小。

(2)钦州湾近岸沉积物中PAHs的 HMW/LMW 比值和芘/荧蒹都大于或远大于1,因此PAHs主要来源于石油热解-燃油污染。钦州湾近岸带的企沙港、钦州港及北海港有关,港内来往船舶较多,大量船舶燃油残余通过水体转入到沉积物中,导致了近岸带沉积物中的PAHs含量高值。

(3)钦州湾近岸表层沉积物中PAHs化合物均远低于ERL值,表明PAHs对区域生态环境的影响有限,但苯并(b)荧蒹和苯并(k)荧蒹等一些没有最低安全值的PAHs化合物存在,说明PAHs已对区内的生态环境产生一些不利影响。

参考文献

- [1] SVERDRUP L E, NIELSEN T, KROGH P H. Soil ecotoxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons in relation to soil sorption, lipophilicity and water solubility[J]. Environmental Science and Technology, 2002, 36(11): 2429-2435.
- [2] BAEK SO, FIELD R A, GOLDSTONE M E, et al. A review of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: source, fate and behavior[J]. Water Air and Soil Pollution, 1991, 60: 279-300.

(下转第11933页)

分利用自身条件,选择有区域影响、品质独特、具备发展潜力的优势茶类农产品进行重点帮扶,监督、管理茶产品的质量,使其达到国际标准,并积极申报并注册地理标志,增强在国内外市场上特色茶叶产业的知名度。

5.4 强化产品质量和市场监管 茶叶由于其特定品质,对于消费者来说很难在市场上识别真假。因此,在申请注册地理标志保护以后,可以通过使用地理标志产品专用标志与防伪标识结合的方法,规范市场经济秩序。同时,六安政府相关部门应对当地茶叶地理标志农产品质量标准制定规范,严格考核地理标志农产品生产经营者的身份以及茶产品的质量,只有达到规定标准的茶产品才能受到地理标志的保护,以防止质量不达标的产品影响品牌形象和声誉。同时,还应发挥茶叶协会的作用,规范六安市茶生产企业的行为,使六安茶类地理标志产品朝着标准化方向发展。

5.5 研究国际相关法律制度,积极开展国际注册 地理标志在国内注册,只能保障生产经营者在国内市场的法律权利。茶类农产品地理标志如果不在国外进行注册,就无法在国外获得法律保障。六安瓜片在美国遭到抢注的事实,说明茶类地理标志农产品要想走出国门,就必须借助国际注册得到充分的法律保护。因此,六安政府应仔细研究国际立法对茶类地理标志保护的相关规定,提升茶类农产品地理标志的国际保护意识,并积极开展六安特色茶类产品的国际注册和保护,进而拓展其国际市场。

6 结语

农产品地理标志是一种涉农的知识产权,它可以用来保护地方特色农产品。对六安市来说,如果能合理地利用茶类地理标志,便能在一定程度上提高茶产品的经济效益,除此

之外,更有助于提升茶类产品的市场竞争力,帮助其树立更优的品牌形象。茶类地理标志由于涉及到茶叶生产者、茶叶协会、茶叶专业化合作社、茶农及当地政府等多方面的经济利益,更应该重视其申报、注册及宣传保护工作,促进茶叶地理标志保护机制的形成。

作为一个农业大市和著名的茶乡,六安市应充分利用区位优势 and 资源优势,加强对农产品茶叶地理标志的保护,积极实施品牌战略,努力提升特色茶产品的知名度,使其走出国内、走向国际,推动六安市整体农业经济发展。

参考文献

- [1] 毛姗姗. 我国地理标志的法律保护——兼论《商标法》第三次修改草案[J]. 中华商标, 2012(7): 7-11.
- [2] 翟宝红. 我国地理标志法律保护制度研究[J]. 郑州航空工业管理学院学报:社会科学版, 2013(2): 148-151.
- [3] 孙志国, 熊晚珍, 王树婷, 等. 浙江茶类地理标志知识产权保护的现状与发展对策[J]. 浙江农业科学, 2011(3): 467-471.
- [4] 截至 2013 年年底我国初步审定公告和注册地理标志商标 2190 件 [EB/OL]. (2014-01-15) http://www.saic.gov.cn/fwzf/dllbz/201401/t20140116_141271.html.
- [5] 中国已注册和初步审定地理标志商标名录(二)(截止至 2011.12.31) [EB/OL]. (2012-02-03) http://www.saic.gov.cn/fwzf/dllbz/201202/t20120222_124144.html.
- [6] 董秀云, 郑金贵. 福建省茶叶标准化发展现状与对策[J]. 福建农业学报, 2013(12): 1298-1302.
- [7] 第十三届中国六安瓜片茶文化节为何要赴京举办[EB/OL]. (2013-06-22) http://news.10001.com/2013/0622/article_158524.html.
- [8] 王文, 方维亮. 特色农产品地理标志保护与安徽农业[J]. 安徽农业大学学报, 2006(6): 24-27.
- [9] 余佳华, 韩旭. 六安市茶叶产业的 SWOT 分析与发展战略[J]. 皖西学院学报, 2009(4): 73-76.
- [10] 邵伟杰. 农产品地理标志保护的意及其路径[J]. 齐鲁学刊, 2009, 36(1): 105-110.
- [11] 陈敏. 浅析我国农产品地理标志保护的现状[J]. 长春理工大学学报, 2011(1): 103-104.
- [12] China[J]. Marine Pollution Bulletin, 2004, 49(5/6): 479-486.
- [11] LUO X J, CHEN S J, MAI B X, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons in suspended particulate matter and sediments from the Pearl River Estuary and adjacent coastal areas, China[J]. Environmental Pollution, 2006, 139: 9-20.
- [12] HONG H, XU L, ZHANG L, et al. Environmental fate and chemistry of organic pollutants in the sediments of Xiamen and Victoria Harbours[J]. Marine Pollution Bulletin, 1995, 31: 229-236.
- [13] 程远梅, 祝凌燕, 田胜艳, 等. 海河及渤海表层沉积物中多环芳烃的分布与来源[J]. 环境科学学报, 2009, 29(11): 2420-2426.
- [14] CHEN Y, ZHU L, ZHOU R. Characterization and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon in surface water and sediment from Qiantang River, China[J]. Journal of Hazardous Materials, 2007, 141(1): 148-155.
- [15] LONG E R, MACDONALD D D, SMITH S L, et al. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuary sediments[J]. Environ Manag, 1995, 19: 8-97.
- [16] 朱文锋. 广东省沿海表层沉积物中多环芳烃研究[D]. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所, 2007: 40-47.
- [17] 徐绍箐, 马启敏, 李泽利, 等. 锦州湾表层沉积物中多环芳烃测定与生态风险评估[J]. 环境化学, 2011, 30(11): 1900-1905.

(上接第 11826 页)

- [3] KHALILI N R, SCHEFF P A, HOLSEN T M. PAH source fingerprints for coke ovens, diesel and gasoline engines, highway tunnels, and wood combustion emissions[J]. Atmospheric Environment, 1995, 29: 533-542.
- [4] XU SS, LIU WX, TAO S. Emission of polycyclic aromatic hydrocarbons in China[J]. Environmental Science and Technology, 2006, 40: 702-708.
- [5] 罗孝俊, 陈社军, 麦碧娴, 等. 珠江及南海北部海域表层沉积物中多环芳烃分布及来源[J]. 环境科学, 2005, 26(4): 129-134.
- [6] 黄国培, 陈颖军, 林田, 等. 渤海湾潮间带表层沉积物中多环芳烃的含量分布和生态风险[J]. 中国环境科学, 2011, 31(11): 1856-1863.
- [7] 王江涛, 谭丽菊, 张文浩, 等. 青岛近海沉积物中多环芳烃、多氯联苯和有机氯农药的含量和分布特征[J]. 环境科学, 2010, 31(11): 2713-2722.
- [8] YAN W, CHI J, WANG Z, et al. Spatial and temporal distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments from Daya Bay, South China[J]. Environmental Pollution, 2009, 157(6): 1823-1830.
- [9] 张祖麟, 王新红, 哈里德, 等. 厦门西港表层沉积物中多环芳烃(PAHs)的含量分布特征及其污染来源[J]. 海洋通报, 2001, 20(1): 35-39.
- [10] ZHANG J, CAI L Z, YUAN D X, et al. Distribution and sources of polynuclear aromatic hydrocarbons in mangrove surficial sediments of Deep Bay,