

海洋环境中多环芳烃的污染状况及源解析

江锦花¹, 董官真²

(1. 台州学院生命科学学院, 浙江 临海 317000; 2. 台州市环境保护局, 浙江 椒江 318000)

摘要 综述了国内外海洋水体、沉积物和生物体中多环芳烃(PAHs)的污染现状, 分析了海洋环境中 PAHs 的来源。结果发现, 不同海域 PAHs 的质量浓度差别较大, 海水中 PAHs 的最高质量浓度为 34 338.0 ng/L, 最低为 13.0 ng/L; 海洋沉积物中 PAHs 的最高质量比为 1 670.0 $\mu\text{g/g}$, 最低为 24.1 ng/g; 近海工业的发展程度及都市化进程与海域环境中 PAHs 的浓度存在明显的正相关关系; 贝类的 PAHs 浓度比其他生物体高; 海洋环境中的 PAHs 主要来源于海上石油烃的污染和陆地污染源的干湿沉降。

关键词 海洋环境; 多环芳烃(PAHs); 污染源解析

中图分类号: X131.2 文献标识码: A 文章编号: 1004-693X(2008)05-0048-07

Pollution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in oceanic environment

JIANG Jin-hua¹, DONG Guan-zhen²

(1. School of Life Science, Taizhou University, Linhai 317000, China; 2. Taizhou Environmental Protection Bureau of Zhejiang Province, Jiaojiang 318000, China)

Abstract Sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in seawater, sediment and organisms in the oceanic environment are reviewed. The results show that the concentration of PAHs differs in different oceanic environment. The highest and lowest concentrations are 34 338.0 ng/L and 13.0 ng/L, respectively, in seawater, and 1 670.0 $\mu\text{g/g}$ and 24.1 ng/g, respectively, in sediment. The concentration of PAHs in seashells is higher than that in other organisms. The concentration of PAHs is positively related with the developing of coastal industry and urbanization. The sources of PAHs are mainly petroleum hydrocarbons and the wetting and drying deposition of terrestrial pollutants.

Key words oceanic environment; PAHs; pollution; source analysis

海洋环境为人类生存提供了重要的自然资源, 但由于人们对海洋的不合理开发和频繁的经济活动以及陆地各种污染物的排放, 海洋污染严重威胁着海洋生态环境, 如直接影响海产品的产量和质量, 并通过食物链影响人体健康。多环芳烃(PAHs)是一类广泛存在于环境中的持久性有机污染物, 具有“三致”效应, 主要来源于人类活动和能源利用过程, 如石油、煤、木材等的燃烧过程, 海上石油开发及石油运输中的溢漏等^[1]。海洋环境中 PAHs 的研究始于 20 世纪 70 年代^[2], 我国环境科学工作者则从 80 年代开始进行研究^[3], 发现沿海工业的发展程度及都市化进程与近海海洋环境中 PAHs 的浓度呈明显的

正相关关系。本文主要综述了近几十年来海洋环境中 PAHs 的污染状况及源解析, 旨在了解海洋环境中 PAHs 的多介质环境过程, 为防治海洋污染、保障人群健康提供参考依据。

1 海洋环境中 PAHs 的污染状况

1976 年, 联合国教科文组织和联合国环境规划署在西班牙召开的会议上明确指出, 要重视海洋石油污染问题, 并要求对石油污染进行研究和对污染后果的严重性进行监测。20 世纪八九十年代, 人们开始将石油污染同海洋生物体内 PAHs 的积累结合起来, 至今环境工作者对海水、沉积物和生物体内

PAHs 的污染状况作了较为系统的评价。

1.1 海水中 PAHs 的污染状况

PAHs 具有难溶于水的特性,在海水中的浓度较低,Ross 等^[4]分析了 1993 ~ 2001 年间旧金山入海口 18 个不同地点水柱中 25 种 PAHs 的来源及时空变化,发现水中 PAHs 的质量浓度范围为 7 ~ 120 ng/L。Pandit 等^[5]研究了印度的 Creek 港口的空气和海水中的 PAHs 的质量浓度,发现海水中 PAHs 的质量浓度为 84.3 ~ 377.5 ng/L。Telli-Karakoc 等^[6]研究发现马尔马拉海的 Izmit 海湾环境中 PAHs 的质量浓度为 1.16 ~ 13.68 $\mu\text{g/L}$ 。PAHs 在海水中的分布与其化学性质一致,低分子量的 PAHs 通过挥发作用进入大气环境,高分子量难挥发的 PAHs 由于沉积作用从大气进入表层水体中^[7]。小于 3 环的 PAHs 几乎能在 2 d 内从水中消失,而 4 环以上 PAHs 则在水体中的最长存留时间达 9 d 之久,最后有 10% ~ 94% 的 PAHs 沉于水底并被沉积物所吸附,但分散剂的存在使其在水体中的滞留时间增长^[8]。同一海域环境,不同水层中 PAHs 的浓度不同,1995 年 Witt 等^[8]研究了 Baltic 海不同深度海水和沉积物中 PAHs 的浓度,发现上层水中 PAHs 的浓度高于下层水。Elnemr 等^[9]研究了埃及亚历山大港海域,表层水 PAHs 的质量浓度为 103 ~ 523 ng/L,深层水中的质量浓度为 13 ~ 120 ng/L,证实表层水体中 PAHs 的质量浓度高于深层水体中的质量浓度。Wurl 等^[10]研究发现海面微表层(通常被定义为自海面向上 1 000 μm 的极薄层)中 PAHs 的质量浓度是深层水环境中质量浓度的 500 倍。另外,海水中 PAHs 的浓度还与潮汐、季节、气候等因素有关,Srinivasa 等^[11]研究了印度西部坎贝湾海水中 PAHs 的质量浓度,发现冬季是夏季的 2 倍。

我国 4 大海域海水中 PAHs 的污染程度差别较大,同一水域不同时期污染物浓度也不同。1998 年刘岩等^[12]分析了厦门西港表层海水中 PAHs 分布特征和来源,9 个采样点海水中 PAHs 的质量浓度为 106.1 ~ 4 365.6 ng/L。2001 年,田蕴等^[13]调查了厦门西港表层海水中 16 种 PAHs,其质量浓度为 103.4 ~ 2 141.1 ng/L,并发现年内不同时期 PAHs 的变化较大,但两位学者不同时期的研究结果显示该区域 PAHs 的质量浓度没有明显的变化趋势。1999 年,丘耀文等^[14]首次采集南海大亚湾海域 14 个点位的次表层水,研究了 16 种 PAHs 的质量浓度及其可能的来源,发现质量浓度为 4 228 ~ 29 325 ng/L。2001 年,杨清书等^[15]研究发现珠江虎门潮汐水道水体中 16 种 PAHs 的质量浓度为 226 ~ 34 338 ng/L,其质量浓度较高,且比丰水季高一个数量级。

1.2 海洋沉积物中 PAHs 的污染状况

PAHs 以水体中的悬浮物和大气气溶胶为主要载体,进入海洋环境并在生物体和沉积物中富集,PAHs 一旦结合在沉积物上,很难发生光化学降解或微生物氧化分解,因而累积于沉积物中^[16]。Booij 等^[17]研究发现,95% 的 PAHs 在海洋沉积物中能稳定 2 个月之久,且以大于 4 环的 PAHs 居多。海洋沉积物对 PAHs 的富集能力极强,有的海洋沉积物中 PAHs 的积累量是其背景值的 1 000 倍^[18],是同一环境中贝类富集量的 5 ~ 10 倍^[6],Nakata 等^[19]研究证实,海洋沉积物中的 PAHs 的积累量占沉积物中难降解污染物总量的 97% 以上。

国外对海洋沉积物中 PAHs 的研究较早。1975 年,Youngblood 等^[20]研究了土壤和表层沉积物中 PAHs 的质量比,1977 年 Hites 等^[21]阐述了高分辨的沉积记录有助于反演污染物在环境中的演变过程,追溯其污染历史。1979 年,Platt 等^[22]研究了南极的海洋沉积物层中的 PAHs 类化合物。20 世纪 90 年代开始,经广泛研究,发现沉积物中 PAHs 的质量比为 100 $\mu\text{g/g}$ (以干燥品计,下同)以上的海域比较多,如 1997 ~ 1998 年,美国的 Paul 等^[23]研究了 Narragansett 海湾表层沉积物中 PAHs 的分布及来源,发现该海域中 PAHs 的质量比为 0.569 ~ 216 $\mu\text{g/g}$ 。1999 年,Telli-Karakoc 等^[6]研究了马尔马拉海的 Izmit 海 16 湾表层沉积物中 PAHs 的质量比水平,发现 16 种 PAHs 的质量比为 30.0 ~ 1 670.0 $\mu\text{g/g}$,是迄今为止所见报道中 PAHs 质量比最高海域之一。西班牙北部的 Santander 港 Cantabric 海域的表层沉积物中 16 种 PAHs 的质量比为 0.02 ~ 344.6 $\mu\text{g/g}$ ^[24]。另外,如 Hamilton(Canada), New Orleans(USA)等海洋沉积物中的 PAHs 的质量比均较高。而有的海洋沉积物中 PAHs 的质量比较低,如意大利的塔兰托港(0.4 ~ 12.8 $\mu\text{g/g}$)^[25],爱尔兰西部部分海域(1.4 $\mu\text{g/g}$)^[26],俄罗斯的巴伦支海(1.5 $\mu\text{g/g}$)^[27],韩国的 Ulsan 港(0.017 ~ 3.1 $\mu\text{g/g}$)^[28],希腊的爱琴海(45 ~ 148 ng/g)^[29],意大利的 Adriatic 海域沉积物中 PAHs 的质量比为 24.1 ~ 501.1 ng/g^[30]。

学者对我国 3 大海域近海沉积物中 PAHs 的污染状况作了较为系统的评价。

东海海域沉积物中 PAHs 的污染调查主要集中于厦门西港、长江口等。1993 年,Klamer 等^[31]首次研究了厦门西港沉积物中 PAHs 的污染情况,结果发现沉积物中 PAHs 的质量比为 2.9 ~ 60.0 $\mu\text{g/g}$ 。1994 ~ 2001 年,王新红等^[32]、张珞平等^[33]、张祖麟等^[34]、袁东星等^[35]、田蕴等^[36]分别调查了厦门西港表层沉积物中 PAHs 的质量比,结果发现不同时期

的测定结果差别较大:1994年、1995年、1998年3年测定的结果均小于 $0.6\mu\text{g/g}$,而1996年的测定结果竟达到 $0.8\sim 54.0\mu\text{g/g}$,经过对比发现,不同时间内的变化趋势亦不十分明显。袁东星等^[35]调查的厦门西港表层沉积物中PAHs的质量比为 $0.4\sim 1.5\text{ng/g}$ 。田蕴等^[36]的研究结果为 $0.1\sim 5.1\text{ng/g}$ 。刘敏等^[37]详细分析长江口潮滩表层沉积物中PAHs的分布特征,得出PAHs的质量比为 $263\sim 6372\text{ng/g}$ 。

南海海域沉积物中PAHs的研究内容涉及质量比、时空变化及沉积物的粒径对吸附PAHs能力的影响等。罗孝俊等^[38]分析了珠江三角洲河流、河口及南海北部近海区域16种PAHs污染情况,发现PAHs的质量比为 $255.9\sim 16670.3\text{ng/g}$,分布特征为珠三角河流>伶仃洋>南海。胶州湾沉积物中23种PAHs的质量比为 $82\sim 4567\text{ng/g}$,总趋势是东部高于西部^[39]。1999年,丘耀文等^[14]研究了大亚湾海域沉积物中PAHs污染,表层沉积物中PAHs的变化范围为 $115\sim 1134\text{ng/g}$ 。吴启航等^[40]在2001年分析了珠江广州河段不同粒径沉积物对PAHs的吸附能力,发现 $22\sim 63\mu\text{m}$ 颗粒物对PAHs的质量比最大达 $49.1\mu\text{g/g}$ 。康跃惠等^[41]采集了珠江三角洲澳门河口区的沉积物柱状样品,对1959~1996年期间该海域沉积物中有机污染物的污染史进行研究,结果发现柱芯样品中PAHs的质量比为 $0.6\sim 4.5\mu\text{g/g}$,其中在20世纪60年代和80年代分别记录到两个高的污染峰,且从90年代初期开始至1996年,毒性呈线性趋势增加。

20世纪80年代,渤海近岸沉积物中PAHs的质量比为 $50\sim 330\text{ng/g}$ ^[42]。1997年,林秀梅等^[43]利用第2次全国海洋污染基线调查数据,分析了渤海表层沉积物中PAHs的空间分布特征和输入来源,发现沉积物中PAHs的质量比为 $24.7\sim 2079.4\text{ng/g}$,高低顺序为秦皇岛沿岸、辽东湾、莱州湾、辽东半岛近岸、外海海区 and 渤海湾近岸。吴莹等^[44]在1998年对渤海海峡柱状沉积物中PAHs的分布进行了研究,发现13种PAHs的质量比为 $60.3\sim 2076.5\text{ng/g}$ 。1999年,刘现明等^[45]研究发现大连湾沉积物中PAHs的质量比为 $32.70\sim 3558.88\text{ng/g}$ 。

1.3 海洋生物体内PAHs的污染状况

由于PAHs具有高的脂溶性,所以易被水体中的生物吸收,海洋沉积物中的PAHs能通过各种途径进入海洋生物体中,在海洋生物体各组织中积累,并通过食物链对海岸居民及海产品食用者造成威胁。不同生活习性的海洋生物对PAHs的富集能力不同,与底泥直接接触的底栖动物对PAHs的富集能力往往强于与水体直接接触的水生生物,低营养

级的生物积累PAHs的能力更强,如海蚯蚓和蟹中PAHs的富集量远远高于同一环境中生长的鱼类、乌贼和海豚体内的积累量,蚌体内PAHs的质量比是蟹体内PAHs的3~5倍,这是由于这些生物体与受PAHs污染的沉积物的接触程度不同造成的^[19]。

牡蛎和贻贝是常用来监测海洋环境中PAHs的生物指示物之一。自1975年Goldberg等^[46]首先提出用贻贝来监测、评价近海环境污染以来,许多学者利用双壳类软体动物(如贻贝和牡蛎)作为海洋环境污染的指示生物,通过对其体内的污染物残留量分析,监测和评价污染状态及污染物的时空变化,取得令人满意的效果。通过对贻贝和牡蛎体内PAHs的蓄积程度研究,能有效反映其栖息环境特别是海洋沉积物中PAHs的污染程度。Guinan等^[47]研究发现北爱尔兰海湾的贻贝积累的PAHs的质量比为 $95\sim 184\text{ng/g}$ (以湿品计,下同),Minier等^[48]测定了法国Seine海湾生长的贻贝体内14种PAHs的质量比为 1000ng/g ,贻贝体内PAHs的含量与沉积物中PAHs的含量和接触时间有直接关系。生物体对PAHs的富集能力还与环境中PAHs的生物利用度有关,因此,贻贝个体的大小对PAHs的富集能力也不相同。王明俊^[49]研究了不同大小的贻贝富集PAHs的能力,发现贻贝体内PAHs的总量呈小个体>中个体>大个体的趋势,小个体中PAHs的总量约为中个体的1.5倍,为大个体的10倍。原因一方面可能是个体大的贻贝抗污染能力强,另一方面,贻贝在生长繁殖时,因细胞分裂身体增大,也会对污染物产生稀释作用。贻贝对PAHs的富集能力还与其生长时期有关,对PAHs的蓄积量顺序为短生长期>中生长期>长生长期^[50]。

海水鱼类对PAHs的富集与污染物类型、生物类型、生物的不同组织器官、季节等因素有关。Woodward等^[51]将乌贼暴露于原油90d后,发现其组织中的主要PAHs与原油中相同,而萘的富集倍数竟高达150倍。在大多数情况下,鱼体直接从水体中富集PAHs。1997年,俄罗斯油轮在日本海发生油的泄漏事故,在该漏油事件发生后的第1个月,该环境中一种鱼体内的PAHs浓度迅速上升,但在第2个月,该鱼体内PAHs浓度又恢复到原来的浓度^[52]。Vuorinen等^[53]研究了波罗的海3种不同鱼类对PAHs的积累情况,发现同一环境中,河鲈和粘鱼胆汁中PAHs的浓度相近,而比目鱼体内的积累量却低得多,雄性体内积累PAHs的浓度比雌性体内高;鱼体不同组织对PAHs的积累量不同,富含脂肪的组织积累PAHs的量往往更高^[54],如鱼体内的肝脏和胆汁中PAHs的积累量最大。Bodin等^[55]研究了

地中海的 PAHs 污染状况,发现冬季鱼体内积累的 PAHs 是其他季节的 6 倍。

2 海洋环境中 PAHs 的源解析

海洋环境中的 PAHs 主要来源于天然源和人为源。人为源是海洋环境中 PAHs 的主要来源,包括石油开采、油轮和机动船舶正常和不正常的废物排放、沿海城市生活污水、工业废弃物、汽车尾气、化石燃料的不完全燃烧等。不同污染源产生 PAHs 的类型和浓度不同,对海洋环境的贡献率也不一样。因此,正确判断 PAHs 的来源,可以有效控制 PAHs 的污染,更好地保护海洋生态环境。

2.1 源解析方法

目前,海洋环境中的 PAHs 源识别技术主要有比值法、特征化合物法、多元统计法等。比值法是目前 PAHs 源识别的最主要方法,该方法利用 PAHs 中各成分如菲/蒽^[56]、荧蒽/芘^[57]、荧蒽/(荧蒽+芘) $[FluA/(FluA + Pyr)]$ 、茚并[1,2,3-cd]芘/(茚并[1,2,3-cd]芘+苯并[ghi]芘) $In/(In + BghiP)$ ^[58]、晕苯(Cor)/苯并[ghi]芘 $[H_{ghi}P]$ ^[59]等来推断环境中 PAHs 的来源。Budzinski 等^[56]认为石油中菲的含量比蒽高,成岩作用输入的 PAHs 具有菲/蒽比值高的特点,而化石燃料不完全燃烧输入的 PAHs 菲/蒽比值较低,菲/蒽比值小于 15(或小于 10)和荧蒽/芘比值大于 1 提示 PAHs 污染可能来自燃烧过程,反之则提示 PAHs 污染可能是化石燃料不完全燃烧输入的。Sicre 等^[57]提出当荧蒽/芘的质量浓度比值大于 1 时,PAHs 主要来源于化石燃料燃烧,而比值小于 1 则指示污染来源于石油类产品的输入。芘/BaP 是用以区分汽油燃烧(尾气)的,通常认为该比值小于 1 可归结为燃煤排放,比值介于 1~6 属于尾气排放。 $FluA/(FluA + Pyr)$ 比值小于 0.4 则意味着污染来源于石油,大于 0.5 表明污染来源主要木柴、煤的燃烧,位于 0.4 与 0.5 之间则意味着污染源石油及其精炼产品的燃烧。 $In/(In + BghiP)$ 之比小于 0.2 表明主要是油类排放污染,大于 0.5 则主要是木柴、煤燃烧污染,此间为化石燃料燃烧污染。Greenberg 等^[59]提出 $BghiP/Cor$ 是车辆的较好标志物,汽油、柴油燃烧后,其比值分别为 1.5、2.5,而一般燃煤排放的 $BghiP/Cor$ 大于 1,汽车尾气中的 $BghiP/Cor$ 小于 1。另外,也可根据低分子量(178~202)母体 PAHs/高分子量(226~302)母体 PAHs 之比,与烷基化 PAHs/母体 PAHs 比值($Alkyl-PAHs/Parent-PAHs$)来识别样品中 PAHs 的组成及有关来源的信息,如受油类排放 PAHs 污染的样品,具有高 $l_{kyl-PAHs}/Parent-PAHs$ 比值^[60]。

2.2 污染源研究

海洋环境石油烃类污染、内陆环境污染源的输入以及大气中 PAHs 的干湿沉降是决定海洋环境中 PAHs 的种类、含量及分布特征的主要因素。

2.2.1 海洋环境中石油烃类污染源输入

石油烃类污染主要来源于石油的开采、炼制、储运、使用和加工过程,海洋石油污染物主要是由沿岸城市工业和生活污水排放、航道排污以及船舶油漏等造成的。据统计,每年通过各种渠道泄入海洋的石油和石油产品,约占全世界石油总产量的 0.5%。倾注到海洋的石油量达 200 万~1 000 万 t,由于航运而排入海洋的石油污染物达 160 万~200 万 t,其中 1/3 左右是油轮在海上发生事故导致石油泄漏造成的,有些沿海地区海水含油量已超过规定的海水水质标准的 2~8 倍^[61]。石油类污染对水质和水生生物危害很大,漂浮在水面上的油类可迅速扩散,形成油膜,阻碍水面与空气接触,使水中溶解氧减少,导致水生生物因缺氧而死亡。油类不仅含有低环的 PAHs,还能通过各种环境因素转变为 PAHs 等致癌物质。生物体内 PAHs 的积累程度及在体内的蓄积时间与海域环境的石油污染程度有关,油船在海上作业的活动程度也对该海域环境 PAHs 的成分、含量及分布具有重要影响。油类污染的 PAHs 往往以烷基化 PAHs 及低分子量 PAHs 为主。

2.2.2 内陆环境污染源的输入

随着沿海区域经济高速发展和人口迅速增长,人类活动所产生的大量污染物质通过降水和径流作用进入沿海水域,陆源污染物入海量居高不下,造成海洋沉积物中 PAHs 的浓度升高。海洋环境中的 PAHs 除了石油类物质的输入外,交通、养殖等行业产生的 PAHs 也是不可忽视的因素。据研究资料显示,靠近交通要道、城市和工业区的近海沉积物中 PAHs 的含量均比较高^[62];工业发达地区、靠近油田和其他污染源的 PAHs 质量浓度可高达 50 $\mu g/L$,而大洋和未污染湖水中 PAHs 含量往往低于 1 $\mu g/L$ ^[63]。炼钢厂、炼铝厂、船只修理场附近,沉积物中、近海海洋养殖区环境中 PAHs 的浓度明显高于其他人类活动较少的海域环境。Paine 等^[64]的研究也发现,靠近冶炼厂的沉积物中 BaP 的质量比高达 110 $\mu g/g$,而远离冶炼厂的只有 0.135 $\mu g/g$ 。

2.2.3 大气中的 PAHs 通过干湿沉降输入

人类活动所进行的燃煤等过程使 PAHs 首先在大气中积累,进入大气环境中的 PAHs 经过较长距离的空间迁移后,通过雨雪的淋溶和冲刷作用进入地表或水体环境,PAHs 的沉降作用存在很大的时空可变性,其中风速和风向影响其在大气中的滞留时

间^[65] , 开阔的海面环境为 PAHs 的远距离迁移提供有利条件 , 这一方面能降低 PAHs 的局部浓度 , 但又使污染的范围扩大 , 对海洋生态系统造成更大的危害。大气颗粒物的干湿沉降是大气中 3 ~ 6 环 PAHs 的主要迁移过程^[66] , 也是表层水体中 PAHs 的重要来源。大气颗粒物中 PAHs 的含量随季节变化突出 , 一般冬季大于夏季 , 决定了表层水体中 PAHs 的含量冬天较高的现象^[67]。

3 结 论

不同海域环境中 PAHs 的浓度差别较大 , 海水中 PAHs 的最高质量浓度为 34 338.0 ng/L , 最低为 13.0 ng/L ; 海洋沉积物中 PAHs 的最高质量比为 1 670.0 $\mu\text{g/g}$, 最低为 24.1 ng/g。近海工业的发展程度及都市化进程与海域环境中 PAHs 的浓度存在明显的正相关关系 ; 不同生活习性的海洋生物对 PAHs 的富集能力不同 , 与底泥直接接触的底栖动物对 PAHs 的富集能力往往强于与水体直接接触的水生生物 , 低营养级的生物积累 PAHs 的能力更强 , 贝类的富集能力最强。海洋环境中的 PAHs 主要来源于海上石油烃的污染和陆地污染源的干湿沉降。

参考文献 :

[1] 朱利中 , 松下秀鹤. 空气中 PAHs 的研究现状 [J]. 环境科学进展 , 1997 , 5 (5) : 19-29.

[2] YOUNGBLOOD W W , BLUMER M. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the environment : homologous series in soils and recent sediments [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta* , 1975 , 39 : 1303-1314.

[3] 余顺. 东京湾及河口表层沉积物中污染物行为的研究 [J]. 海洋环境科学 , 1988 , 7 (3) : 10-16.

[4] ROSS J R , OROS D R. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the San Francisco Estuary water column : sources , spatial distributions , and temporal trends (1993—2001) [J]. *Chemosphere* , 2004 , 57 (8) : 909-920.

[5] PANDIT G G , SAHU S K , PURANIK V D. Exchange of polycyclic aromatic hydrocarbons across the air-water interface at the creek adjoining Mumbai Harbour , India [J]. *Environ Int* , 2006 , 32 (2) : 259-264.

[6] TELLİ-KARAKOC F , TOLUN L , HENKELMANN B. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) distributions in the Bay of Marmara Sea , Izmit Bay [J]. *Environ Pollut* , 2002 , 119 (3) : 383-397.

[7] YAMADA M , TAKADA H , TOYODA K. Study on the fate of petroleum-derived polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and the effect of chemical dispersant using an enclosed ecosystem , mesocosm [J]. *Mar Pollut Bull* , 2003 (1-6) : 105-113.

[8] WITT G , LEIPE T , EMEIS K C. Using fluffy layer material to study the fate of particle-bound organic pollutants in the southern Baltic Sea [J]. *Environ Sci Technol* , 2001 , 35 (8) : 1567-1573.

[9] ELNEMR A , ABD-ALLAH A M. Contamination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in microlayer and subsurface waters along Alexandria Coast , Egypt [J]. *Chemosphere* , 2003 , 52 (10) : 1711-1716.

[10] WURL O , OBBARD J P. A review of pollutants in the sea-surface microlayer (SML) : a unique habitat for marine organisms [J]. *Mar Pollut Bull* , 2004 , 48 (11/12) : 1016-1030.

[11] SRINIVASA R M , BASHA S. Seasonal distribution and contamination levels of total PHCs , PAHs and heavy metals in coastal waters of the Alang-Sosiya ship scrapping yard , Gulf of Cambay , India [J]. *Chemosphere* , 2005 , 61 (11) : 1587-1593.

[12] 刘岩 , 张祖麟 , 洪华生. 厦门西港表层海水中 PAHs 含量分布特征和来源进行分析 [J]. 海洋通报 , 1999 , 18 (4) : 38-43.

[13] 田蕴 , 郑天凌 , 王新红. 厦门西港表层海水中 PAHs (PAHs) 的含量、组成及来源 [J]. 环境科学学报 , 2004 , 24 (1) : 50-55.

[14] 丘耀文 , 周俊良 , MASKAOUI K , 等. 大亚湾海域水体和沉积物中 PAHs 分布及其生态危害评价 [J]. 热带海洋学报 , 2004 , 23 (4) : 72-80.

[15] 杨清书 , 欧素英 , 谢萍 , 等. 珠江虎门潮汐水道水体中 PAHs 的分布及季节变化 [J]. 海洋学报 , 2004 , 26 (6) : 37-48.

[16] SICRE M A , MARTY J C , SALIOT A. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in the Mediterranean aerosol [J]. *International J of Environ Anal Chem* , 1987 , 29 (1/2) : 73-94.

[17] BOOIJ K , HOEDEMAEKER J R , BAKKER J F. Dissolved PCBs , PAHs and HCB in pore waters and overlying waters of contaminated harbor sediments [J]. *Environ Sci Technol* , 2003 , 37 (18) : 4213-4220.

[18] CARR R S , BIEDENBACH J M , HOOTEN R L. Sediment quality assessment survey and toxicity identification evaluation studies in Lavaca Bay , Texas , a marine superfund site [J]. *Environ Toxicol* , 2001 , 16 (1) : 20-30.

[19] NAKATA H , SAKAI Y , MIYAWAKI T. Bioaccumulation and toxic potencies of polychlorinated biphenyls and polycyclic aromatic hydrocarbons in tidal flat and coastal ecosystems of the Ariake Sea [J]. *Japan Environ Sci Technol* , 2003 , 37 (16) : 3513-3521.

[20] YOUNGBLOOD W W , BLUMER M. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the environment : homologous series in soils and recent sediments [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta* , 1975 , 39 : 1303-1314.

[21] HITES R A , LAFLAME R E , FARRINGTON J W. Sediment polycyclic aromatic hydrocarbons : the historical record [J]. *Science* , 1977 , 198 : 829-831.

- [22] PLATT H M ,MACKIE P R. Aspects of the polycyclic aromatic hydrocarbons in Antarctic marine sediment layers[J]. Nature , 1979 ,280 :576-578.
- [23] PAUL C ,HARTMANN J G. The distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in Narragansett Bay surface sediments[J]. Marine Pollution Bulletin ,2004 ,48 (3/4) :351-358.
- [24] VIGURI J ,VERDE J ,IRABIEN A. Environmental assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments of the Santander Bay [J]. Northern Spain Chemosphere 2002 ,48 (2) :157-165.
- [25] LERARIO V L ,GIANDOMENICO S ,LOPEZ L. Sources and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments from the Mar Piccolo of Taranto ,Ionian Sea , southern Italy[J]. Ann Chim 2003 ,93 (4) :397-406.
- [26] CHARLESWORTH M ,SERVICE M ,GIBSON C E. PAH contamination of western Irish Sea sediments[J]. Mar Pollut Bull 2002 (12) :1421-1426.
- [27] SAVINOV V M ,SAVINOVA T N ,MATISHOV G G. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and organochlorines (OCs) in bottom sediments of the Guba Pechenga ,Barents Sea ,Russia [J]. Sci Total Environ 2003 (1/2/3) :39-56.
- [28] KHIM S ,LEE K T ,KANNAN K. Trace organic contaminants in sediment and water from Ulsan Bay and its vicinity[J]. Environ Contam Toxicol 2001 ,40 (2) :141-150.
- [29] PAPADOPOULOU D ,SAMARA C. Polycyclic aromatic hydrocarbon contamination and lumistox solvent extract toxicity of marine sediments in the North Aegean Sea ,Greece [J]. Environ Toxicol 2002 ,17 (6) :556-566.
- [30] MAGI E ,BIANCO R ,IANNI C ,et al. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of the Adriatic Sea [J]. Environmental Pollution 2002 ,119 (1) :91-98.
- [31] KLAMER H J C ,FOMSGAARD L. Geographic distribution of chlorinated biphenyls (CBs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments from the Humber Plume ,North Sea[J]. Marine Pollution Bulletin ,1993 ,26 :201-206.
- [32] 王新红 ,徐立 ,陈伟琪. 厦门-金门海域表层沉积物中 PAHs 在丰枯水期的含量及分布变化特征[J]. 厦门大学学报 ,1998 ,37 (6) :903-907.
- [33] 张珞平 ,陈伟琪 ,林良牧. 厦门西港和香港维多利亚港表层沉积物中 PAHs 的含量分布和来源分析[J]. 海洋学报 ,1996 ,18 (4) :120-124.
- [34] 张祖麟 ,王新红 ,哈里德. 厦门西港表层沉积物中 PAHs 的含量分布特征及其污染来源[J]. 海洋通报 ,2001 ,20 (1) :35-39.
- [35] 袁东星 ,杨东宁 ,陈猛. 厦门西港及闽江口表层沉积物中 PAHs 和有机氯污染物的含量及分布[J]. 环境科学学报 2001 ,21 (1) :107-112.
- [36] 田蕴 ,郑天凌 ,王新红. 厦门西港表层沉积物中 PAHs 的含量、分布及来源[J]. 海洋与湖沼 2004 ,35 (1) :15-20.
- [37] 刘敏 ,侯立军 ,邹惠仙. 长江口潮流表层沉积物中 PAHs 分布特征[J]. 中国环境科学 2001 ,21 (4) :343-346.
- [38] 罗孝俊 ,陈社军 ,麦碧娴. 珠江及南海北部海域表层沉积物中 PAHs 分布及来源[J]. 环境科学 ,2005 ,26 (4) :129-134.
- [39] 杨永亮 ,麦碧娴 ,潘静. 胶州湾表层沉积物中 PAHs 的分布及来源[J]. 海洋环境科学 2003 ,23 (4) :38-43.
- [40] 吴启航 ,麦碧娴 ,彭平安 ,等. 不同粒径沉积物中 PAHs 和有机氯农药分布特征[J]. 中国环境监测 ,2004 ,20 (5) :1-6.
- [41] 康跃惠 ,盛国英 ,李芳柏. 珠江口现代沉积物柱芯样 PAHs 高分辨沉积记录研究[J]. 环境科学学报 ,2005 ,25 (1) :45-51.
- [42] TANG Y. Alkane and aromatic hydrocarbons in sediments in the sea area near the Antarctic Peninsula :symposium on cooperation programs between China and France[J]. Mar Pollut Bull ,1989 ,31 :87-92.
- [43] 林秀梅 ,刘文新 ,陈江麟. 渤海表层沉积物中 PAHs 的分布与生态风险评价[J]. 环境科学学报 ,2005 ,25 (1) :70-75.
- [44] 吴莹 ,张经. PAHs 在渤海海峡柱状沉积物中的分布[J]. 环境科学 2001 ,23 (3) :74-77.
- [45] 刘现明 ,徐学仁 ,张笑天. 大连湾沉积物中 PAHs 的初步研究[J]. 环境科学学报 ,2001 ,21 (4) :507-509.
- [46] GOLDBERG E D. The mussel watch-a first step in global marine monitoring[J]. Mar Pollut Bull ,1975 (6) :111.
- [47] GUINAN J ,CHARLESWORTH M ,SERVICE M. Sources and geochemical constraints of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments and mussels of two Northern Irish Sea-loughs[J]. Mar Pollut Bull 2001 ,42 (11) :1073-1081.
- [48] MINIER C ,ABARNOU A ,JAOUEN-MADOULET A. Pollution-monitoring pilot study involving contaminant and biomarker measurements in the Seine Estuary , France , using zebra mussels (Dreissena polymorpha) [J]. Environ Toxicol Chem , 2006 ,25 (1) :112-119.
- [49] 王明俊. 海洋生物与海洋环境质量 I :海洋生物与海洋污染[J]. 海洋环境科学 ,1988 ,7 (3) :48-53.
- [50] 王淑红 ,王新红 ,洪华生. 不同生长期翡翠贻贝 (*Pernaviridis*) 体内 PAHs 富集的组织特异性研究[J]. 海洋环境科学 2005 ,24 (3) :28-32.
- [51] WOODWARD D F. Accumulation and sublethal effects of amy owing crude oil in cutthroat trout[J]. Transactions of the American Fisheries Society ,1981 ,110 :437-445.
- [52] KOYAMA J ,UNO S ,KOHNO K. Polycyclic aromatic hydrocarbon contamination and recovery characteristics in some organisms after the Nakhodka oil spill[J]. Mar Pollut Bull 2004 (11/12) :1054-1061.
- [53] VUORINEN P J ,KEINANEN M ,VUONTISJARVI H. Use of biliary PAHs metabolites as a biomarker of pollution in fish from the Baltic Sea[J]. Mar Pollut Bull 2006 ,5 :45-49.
- [54] MEADOR J P ,STEIN J E ,REICHERT W L. Bioaccumulation

of polycyclic aromatic hydrocarbons by marine organisms[J].
Rev Environ Contam Toxicol ,1995 ,143 :79-86 ,165 .

[55] BODIN N ,BURGEOT T ,STANISIERE J Y . Seasonal variations
of a battery of biomarkers and physiological indices for the
mussel Mytilus galloprovincialis transplanted into the northwest
Mediterranean Sea[J]. Comp Biochem Physiol C Toxicol
Pharmacol 2004 ,138(4) :411-427 .

[56] BUDZINSKI H ,JONES I ,BELLOCQ J . Evaluation of sediment
contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the
Gironde Estuary[J]. Mar Chem ,1997 ,58 :85-97 .

[57] SICRE M A ,MARTY J C ,SALOT A . Aliphatic and aromatic
hydrocarbons in the different size aerosols over the
Mediterranean Sea :occurrence and origin[J]. Atmospheric
Environment ,1987 ,181 :265-278 .

[58] YUNKER M B ,MACDONALD R W ,VINGARZAN R . PAHs
in the Fraser River Basin :a critical appraisal of PAH ratios as
indicators of PAH source and composition[J]. Organic
Geochemistry 2002 ,33 :489-515 .

[59] GREENBERG A ,BOZZELLI J W ,CANNOVA F . Correlation
between lead and coronenat urban suburban and industrial sites
in New Jersey[J]. Environ Sci Technol ,1981 ,15 :566-570 .

[60] 麦碧娴 杨清书 傅家谟 . 珠江澳门水域水柱 PAHs 初步
研究[J]. 环境科学研究 2004 ,17(3) :28-33 .

[61] TOLOSA I ,DEMORA S ,SHEIKHOESLAMI M R ,et al .

Aliphatic and aromatic hydrocarbons in coastal Caspian Sea
sediments[J]. Mar Pollut Bull 2004 ,48(1-2) :44-60 .

[62] VIGURI J ,VERDE J ,IRABIEN A . Environmental assessment
of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface
sediments of the Santander Bay , Northern Spain [J].
Chemosphere 2002 ,48(2) :157-165 .

[63] 赵云英 ,马永安 . 天然环境中 PAHs 的迁移转化及其对
生态环境的影响[J]. 海洋环境科学 ,1998 ,17(3) :68-72 .

[64] PAINE M D ,CHAPMAN P M ,ALLARD P J . Limited
bioavailability of sediment PAH near an aluminium smelter :
contamination does not equal effects[J]. Environmental
Toxicology and Chemistry ,1996 ,15 :2003-2018 .

[65] NOTAR M ,LESKOVSEK H ,FAGANELI J . Composition ,
distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in
sediments of the Gulf of Trieste ,Northern Adriatic Sea[J]. Mar
Pollut Bull 2001(1) :36-44 .

[66] LANG Q ,ZHANG Q ,JAFJE R . Organic aerosols in the Miami
area ,USA :temporal variability of atmospheric particles and
wet/dry deposition[J]. Chemosphere 2002 ,47(4) :427-441 .

[67] KISS G ,VARGA-PUCHONY Z ,TOLNAI B et al . The seasonal
changes in the concentration of polycyclic aromatic
hydrocarbons in precipitation and aerosol near Lake Balaton ,
Hungary[J]. Environ Pollut 2001(1) :55-61 .

(收稿日期 2007-06-18 编辑 徐 娟)

《水资源保护》征订启事

全国中文核心期刊

中国科技核心期刊

《水资源保护》是河海大学和环境水利研究会主办的科学技术期刊 ,创刊于 1985 年 ,双月刊 ,96 页 ,国内外公开发行 ,国内统一连续出版物号 :CN32-1356/TV。现为全国中文核心期刊、中国科技核心期刊和江苏省一级期刊。

《水资源保护》主要刊登与水资源保护有关的基础研究 ,应用技术 ,工程措施 ,综合述评 ,专题讲座 ,国外动态 ,书刊评介 ,科技简讯 ,水资源管理、评价、监测、优化配置 ,节水技术 ,水环境污染控制等方面的文章。近年来 ,重点关注与水有关的生态环境领域中的研究方向 ,新增设相关的基础研究、防治技术、城市水环境治理等内容。

主要读者对象 :全国从事与水资源保护工作有关的工程技术人员、科研人员、管理干部以及大专院校的师生。

《水资源保护》邮发代号 28-298 ,双月刊 ,8 元/期 ,全年 48 元 ,每逢单月 30 日出版。可在全国各地邮局订阅 ,也可直接与编辑部联系。

编辑部地址 210098 南京市西康路 1 号 河海大学《水资源保护》编辑部
电话 (025) 83786642 传真 (025) 83786642 E-mail :zh@hhu.edu.cn

· 54 ·