

中国部分沿海海域牡蛎体内多环芳烃和多氯联苯的空间分布及组分特征

苏 惠, 蔡友琼*, 于慧娟, 黄冬梅, 徐 捷, 钱蓓蕾
(中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090)

摘 要: 对中国部分沿海海域牡蛎体内 16 种多环芳烃(PAHs)和 16 种多氯联苯(PCBs)空间分布和组分特征进行分析, 于 2010 年夏、秋季在辽宁、山东、浙江、福建及广东共设置 175 个采样点, 分布采用气相色谱-质谱联和气相色谱方法进行检测分析。结果显示: 所取 175 个采样点牡蛎体内 16 种 PAHs 总含量的平均值为 $3.79 \mu\text{g/kg}$, 其中浙江省被测样品的 PAHs 总含量最低, 辽宁相对略高; 检测样品 16 种 PCBs 总含量在 $1.41 \sim 13.95 \mu\text{g/kg}$ 之间; PCBs 含量总的空间变化趋势是由北向南先增加后减少; 样品的 PAHs 优势组分为三环结构, 五环和六环 PAHs 含量很低; PCBs 被检出的仅有三氯代和五氯代两种。被测牡蛎样品总体 PAHs 和 PCBs 残留量符合中国和一些发达国家贝类卫生标准, 不影响消费者食用安全。

关键词: 多环芳烃; 多氯联苯; 牡蛎; 沿海海域; 空间分布; 组分特征

Geographical Distribution and Composition Characteristics of PAHs and PCBs in Oysters from Coastal Waters of China

SU Hui, CAI You-qiong*, YU Hui-juan, HUANG Dong-mei, XU Jie, QIAN Bei-lei
(East China Sea Fishery Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

Abstract: The geographical distribution and composition characteristics of 16 types of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and 16 types of polychlorinated biphenyls (PCBs) in oysters from parts of Chinese coastal waters were analyzed by GC-MS and GC, respectively. In the summer and fall of 2010, 175 sampling sites were set up in Liaoning, Shandong, Zhejiang, Fujian and Guangdong provinces. The results indicated the average total content of 16 types PAHs in oysters across 175 sampling sites was $3.79 \mu\text{g/kg}$, and the lowest total content of PAHs was found in oyster samples from Zhejiang province while oyster samples from Liaoning province contained slightly more PAHs. The average total content of 16 types of PCBs in oysters across 175 sampling sites was between 1.41 and $13.95 \mu\text{g/kg}$. The geographical distribution of PCBs from north to south first increased and then decreased. PAHs with tricyclic structure were predominant in oyster, and the contents of five- and six-ring PAHs were very low. Only PCBs with three or five chlorine atoms were found in oyster. The overall PAHs and PCBs residues in oyster samples met the sanitary standards for shellfish of China and several developed countries.

Key words: PAHs; PCBs; oysters; coastal waters; geographical distribution; composition characteristics

中图分类号: X131

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)10-0218-05

多环芳烃(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)是环境中常见的污染物之一^[1], 是环境中普遍存在的持久性有机物。多环芳烃脂溶性高, 不易降解且易在生物体内积累, 具有致癌、致畸和致突变的作用, 对人类健康和生态环境具有巨大的潜在危害^[2-3]。到目前为止, 已经发现的致癌性 PAHs 及其衍生物数目已达 400 多种, 是环境致癌化学物质中最大的一类。多氯联苯(polychlorinated

biphenyls, PCBs)是与苯环上碳原子相连接的氢被氯不同程度取代而形成的一类联苯化合物。PCBs 具有疏水性和亲脂性, 化学性质极为稳定, 难于被生物体降解, 因此会通过食物链产生生物富集和放大^[4], 研究表明, PCBs 具有雌激素活性, 能够造成男性精子数量减少, 生殖系统功能紊乱和畸形, 睾丸癌及女性乳腺癌^[5-6]; 极低浓度的 PCBs 就能对大脑的发育造成严重影响^[7]。

收稿日期: 2011-04-07

基金项目: 中国水产科学研究院东海水产研究所科研项目(2009T03)

作者简介: 苏惠(1983—), 女, 研究实习员, 硕士, 研究方向为环境与水产品加工。E-mail: suhui_mail@163.com

* 通信作者: 蔡友琼(1962—), 男, 研究员, 本科, 研究方向为水产品检测与加工。E-mail: suhui_hit@yahoo.cn

牡蛎对持久性有机污染物等有较强的吸附累积能力。经由食物链的传递,人们食用了受污染的牡蛎后,健康将受到损害。由于其生活方式固定,移动能力很差,对于反映背景水体的各种污染物质含量具有较好的准确性,是沿岸海域持久性有机污染重要的指示生物。因此,综合分析我国自北向南部分沿岸海域牡蛎体内 PAHs 和 PCBs 的残留现状、含量水平、空间分布与变化趋势,对从宏观上探讨我国 4 个领海沿岸海域 PAHs 和 PCBs 污染的生物监控有重要意义。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

研究区域主要范围北起辽宁省庄河市,南至广东省江阳市,涉及辽宁、山东、浙江、福建、广东省的 14 个沿海城市。具体跨度为北纬 $21^{\circ}40' \sim 39^{\circ}27'$ 、东经 $111^{\circ}44' \sim 123^{\circ}04'$ 。共设置取样监测点位 175 个,分布于中国辽长海岸线上的重点牡蛎养殖区,每个省份 35 个取样点。于 2010 年夏、秋季在各点采集牡蛎 30 只以上,每 10 个样品取平行样。取其软组织和体液,冰冻条件下送回实验室于 -20°C 保存。

萘(NA)、蒽(ACL)、芘(AC)、芴(FL)、菲(PHE)、蒎(AN)、荧蒎(FA)、芘(PY)、苯并[a]蒎(BaA)、屈(CHR)、苯并[b]荧蒎(BbFA)、苯并[k]荧蒎(BkFA)、苯并[a]芘(BaP)、茚并[1,2,3-cd]芘(IP)、二苯并[a,h]蒎(DBahA)、苯并[g,h,i]芘(BghiP)多环芳烃混标;PCB28、52、77、101、105、114、118、123、126、138、153、156、167、169、180、189 多氯联苯混标;水(GB/T 6682—2008《中国国家实验室分析用水标准》规定的一级水);正己烷、环己烷、二氯甲烷、乙酸乙酯均为色谱纯;硫酸(优级纯);硅胶(60~100目);Florisil 硅土。

HP-6890N/5973N 气相色谱-质谱联用仪 美国 Agilent 公司;5810R 低温离心机 德国 Eppendorf 公司;KQ-600 型超声波清洗器 昆山舒美超声仪器有限公司;N-2000VW 型旋转蒸发仪 日本 Yamato 公司。

1.2 样品预处理

多环芳烃测定:称取 25g 肉糜试样,置于 250mL 圆底烧瓶,加入 2mol/L 氢氧化钾-甲醇溶液 50mL, 80°C 皂化回流 4h。4000r/min 离心 8min,取上清液至分液漏斗用 75mL 环己烷萃取,依次用 50mL 体积分数 50% 甲醇溶液(分 2 次)、100mL 水(分 2 次)、体积分数 60% 硫酸溶液分别清洗提取液,弃去下层,用 150mL 水(分 3 次)洗至中性。制备 6g 超纯硅胶、6g 无水硫酸钠的净化柱,15mL 环己烷淋洗后将上述样品溶液全部过柱,再用 40mL 环己烷淋洗,用 50mL 环己烷-二氯甲烷(8:2, V/V)的溶液洗脱。于 45°C 水浴中减压旋转蒸发至约 3~4mL,用少量环己烷清洗,浓缩液和清洗液转移至 10mL 玻璃管

中,氮吹至干,正己烷定容至 0.5mL,待测。

多氯联苯测定:称取 5g 肉糜试样,加入足量无水硫酸钠研磨,使样品分散成沙状,置于 150mL 具塞三角瓶中,加入适量正己烷,以样品充分浸泡其中为宜,振荡器上振荡 1h,过滤于 150mL 梨形瓶中,残渣再用同等量正己烷重复提取 1 次,合并滤液,于 35°C 旋转蒸发仪浓缩至 2mL,转移至 10mL 刻度离心管中,再用 3mL 正己烷洗梨形瓶,合并正己烷,加 5mL 浓硫酸振荡 1min,4000r/min 离心 10min。取上层提取液过柱,柱子规格为 $20\text{cm} \times 2\text{cm}$,装有高度 5cm 的硅胶和 5cm 的 Florisil 硅土,上下各装有 1cm 高的无水硫酸钠,上层装少量铜粉,用丙酮充分淋洗。用 8mL 丙酮洗脱,流速为 1 滴/2s,洗脱液浓缩至干,以 1mL 正己烷溶解待测。

1.3 不同样品分析的仪器条件及质量控制

1.3.1 多环芳烃

色谱条件:色谱柱为 DB-17MS 石英毛细管柱($30\text{m} \times 0.125\text{mm}$, $0.125\mu\text{m}$);柱箱升温程序:初始温度 60°C ,保持 1min,以 $15^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 110°C ,保持 1min,再以 $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 180°C ,然后以 $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 203°C , $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 250°C 保持 2min, $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 280°C 保持 2min, $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 300°C 保持 1min;载气为氦气(纯度 $\geq 99.999\%$),流速 110mL/min,恒流模式;进样口为 PTV 进样口,恒温不分流模式,温度 260°C ;进样方式为无分流进样,0.175min 后开阀;进样量 $210\mu\text{L}$ 。

质谱条件:传输线温度 250°C ;离子源温度 230°C ;电离方式为电子轰击(electron impact, EI)离子源;电子能量 70eV;测定方式:选择离子(selected ion monitoring, SIM)监测方式;溶剂延迟 710min。

1.3.2 多氯联苯

毛细管色谱柱为 HP-5MS(Crolinked 5% Phenyl Methyl Siloxane, $30\text{m} \times 0.32\text{mm}$, $0.25\mu\text{m}$)。进样口温度 280°C ;检测器温度 320°C ;升温程序:初温 150°C ,以 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 210°C ,保持 1min, $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$,升至 240°C ,保持 7min, $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$,升至 290°C ,保持 0min;采用不分流进样,0.75min 后开阀,流速 1.2mL/min,进样量 $1\mu\text{L}$ 。

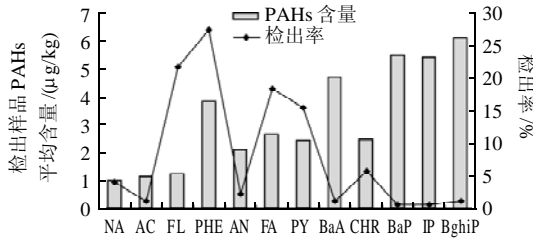
16 种多环芳烃的加标回收率在 76.03%~103.14% 之间,16 种多氯联苯加标回收率在 77.82%~101.2% 之间。每 10 个样品取平行样,共计 17 个平行测试样,相对标准偏差 $\leq 2.3\%$ 。

2 结果与分析

2.1 被测牡蛎多环芳烃和多氯联苯总体含量水平

目前我国国家标准中对多环芳烃的食用安全限量尚未有明确规定。从 16 种多环芳烃总含量来看,本研究所取 175 个采样点的牡蛎体内的平均含量水平为 $3.79\mu\text{g}/\text{kg}$ 。远小于德国安全性认证(Germany safety, GS)认证规定的

1mg/kg,同时也低于其他国家或地区通过书面法律或法令确定下来的安全限量^[8]。因此,研究海域牡蛎样品内PAHs残留量符合中国和一些发达国家贝类卫生标准,不影响消费者食用安全。



苯并[b]荧蒽(BbFA)和苯并[k]荧蒽(BkFA)总含量以BFA的形式体现。
图1 各采样点样品中多环芳烃不同组分的平均含量
Fig.1 Average contents of PAHs components in oysters from different sampling sites

由图1可知,16种组分中苯并[g,h,i]花(BghiP)的平均含量最高,萘烯(ACL)、苯并[b]荧蒽(BbFA)、苯并[k]荧蒽(BkFA)和二苯并[a,h]蒽(DBahA)在所有样品中均未检出。其中,致癌作用显著的苯并[a]花(BaP)检出率仅为0.6%,平均含量水平为5.47 μg/kg,低于大部分国家和国际组织制定的标准^[9]。检出率最高的多环芳烃是非(PHE),175个样品中它的检出率为27.4%。

全球环境监测系统/食品规划部分(GEMS/FOOD)中规定了7种“指示性PCB”单体(PCB28、PCB52、PCB101、PCB118、PCB153、PCB138、PCB180)作为监测PCBs污染情况的指标^[10]。我国颁布的GB 2762—2005《食品中污染物限量》也是以这7种指示性PCBs单体的总和作为指标,规定海产食品中PCBs最大允许

量为2.0mg/kg,并特别规定了PCB153和PCB138单体的最大允许量分别为0.5mg/kg^[11]。本研究中,检测样品16种PCBs总含量在1.41~13.95 μg/kg之间。检出样品7种指示性PCBs单体的总和最高含量值为10.91 μg/kg,远远低于我国及世界其他国家和地区的安全限量。

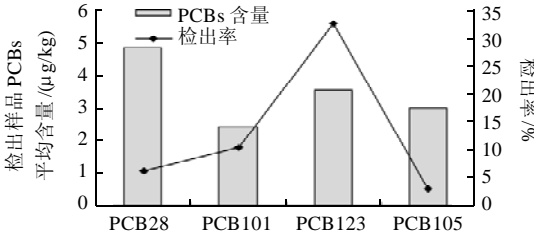


图2 各采样点样品中多氯联苯不同组分的平均含量
Fig.2 Average contents of PCBs components in oysters from different sampling sites

由图2可知,16种多氯联苯中仅有PCB28、101、105、123被检出。其中,平均含量最高的是PCB28(平均含量为4.86 μg/kg),其检出率仅为6.28%。检出率最高的是PCB123(平均含量是3.56 μg/kg),其检出率为32.57%。

2.2 不同地区牡蛎内多环芳烃和多氯联苯的含量及组成

2.2.1 不同地区牡蛎内多环芳烃和多氯联苯的含量水平

由图3可知,浙江省被测样品的多环芳烃总和含量最低,平均含量约为0.09 μg/kg,辽宁省被测样品的多环芳烃含量相对略高,福建省、广东省含量水平相当,山东省样品PAHs平均含量为4.44 μg/kg。PAHs含量总的空间变化趋势是由北向南先减少后增加。检出省份中,多氯联苯总和含量最少的省份是山东省,平均含

表1 不同地域多环芳烃和多氯联苯的组分含量
Table 1 Geographical distribution of individual PAHs and PCBs

PAHs	平均含量/(μg/kg)					PCBs(IUPAC)编码	平均含量/(μg/kg)				
	辽宁	山东	浙江	福建	广东		辽宁	山东	浙江	福建	广东
NA	ND	0.03	ND	0.06	0.11	PCB28	ND	ND	3.52	6.46	ND
ACL	ND	ND	ND	ND	ND	PCB52	ND	ND	ND	ND	ND
AC	ND	0.04	ND	ND	0.02	PCB77	ND	ND	ND	ND	ND
FL	0.47	0.41	ND	0.20	0.27	PCB101	ND	2.25	2.54	1.60	2.73
PHE	2.54	1.40	ND	0.39	0.95	PCB105	ND	2.07	3.20	ND	3.78
AN	0.17	0.07	ND	ND	ND	PCB114	ND	ND	ND	ND	ND
FA	1.15	0.81	ND	0.16	0.35	PCB118	ND	ND	ND	ND	ND
PY	0.88	0.58	ND	0.04	0.39	PCB123	ND	3.18	3.56	3.72	ND
BaA	0.03	0.24	ND	ND	ND	PCB126	ND	ND	ND	ND	ND
CHR	0.16	0.41	0.09	0.06	ND	PCB138	ND	ND	ND	ND	ND
BbFA	ND	ND	ND	ND	ND	PCB153	ND	ND	ND	ND	ND
BkFA	ND	ND	ND	ND	ND	PCB156	ND	ND	ND	ND	ND
BaP	ND	0.16	ND	0.02	ND	PCB167	ND	ND	ND	ND	ND
IP	ND	0.16	ND	ND	ND	PCB169	ND	ND	ND	ND	ND
DBahA	ND	ND	ND	ND	ND	PCB180	ND	ND	ND	ND	ND
BghiP	ND	0.13	ND	0.22	ND	PCB189	ND	ND	ND	ND	ND

注:ND表示未检出。

量为 $4.22 \mu\text{g/kg}$, 福建省被测样品多氯联苯含量相对较高, 约为 $5.00 \mu\text{g/kg}$ 。浙江省和福建省的含量水平基本一致。多氯联苯的空间分布与多环芳烃恰好相反, 呈现出由北向南先增加后减少的趋势。

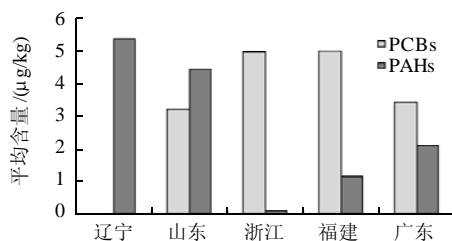


图3 多环芳烃和多氯联苯平均含量空间分布
Fig.3 Geographical distribution of PAHs and PCBs

2.2.2 不同地区牡蛎内多环芳烃和多氯联苯的组分构成

由表1可知, 各省份样品中的多环芳烃组分中含量最高的均是菲, 萘烯(ACL)、两种苯并荧蒹和二苯并[a,h]蒹均未检出。辽宁被测样中荧蒹的含量相对其他省份和其他组分较高, 在 $1 \mu\text{g/kg}$ 以上, 这可能是中国部分黄海海域海水中荧蒹等组分已达到生态毒理评价标准^[12]的原因。此外, 辽宁省的被测牡蛎中有9种组分未检出, 包括目前在PAHs控制中较敏感的苯并[a]芘。山东省是唯一被测样中茚并[1,2,3-cd]芘被检出的省份, 但是含量非常低, 被检出的样品数目也非常少, 是较个别现象。山东省是16种多环芳烃检出组分最多的省份共有12种组分被检出。本次浙江省的被测样中仅有一种多环芳烃组分屈被检出。福建在本研究中共有8中组分被检出, 其苯并[g,h,i]芘含量是5个省份中最高的, 苯并[a]芘平均含量约为 20ng/kg 。广东省被测样中有6种组分未检出, 主要集中为相对分子质量较低的PAHs。

辽宁省的样品在本研究的16种PCBs组分中均未检出; 山东省有PCB101、105、123三种多氯联苯被检出, 其中含量最高的是PCB123($3.18 \mu\text{g/kg}$); 浙江省4种PCBs均有检出, 其中含量最高的仍为PCB123, 含量为 $3.56 \mu\text{g/kg}$; 福建省被检出的为PCB28、101和123, 其中福建省被检出样品PCB28的平均含量为 $6.46 \mu\text{g/kg}$; 广东省被检出的为PCB101和105, 被检出样品平均含量分别是 $2.73 \mu\text{g/kg}$ 和 $3.78 \mu\text{g/kg}$ 。

2.3 被测牡蛎内多环芳烃的组分特征分析

PAHs大致可分为2环的萘, 3环的萘烯、萘、芴、菲和蒽, 4环的荧蒹、芘、苯并[a]蒽和屈, 5环的苯并[b]荧蒹、苯并[k]荧蒹、苯并[a]芘、二苯并[a,h]蒽, 6环的茚并[1,2,3-cd]芘、苯并[g,h,i]芘。PAHs在环境中的组成分布取决于其来源和传输过程^[13]。从组分环的数目分析多环芳烃的组分特征能更明确样品的污染特征, 并有助于初步判定多环芳烃污染的来源。

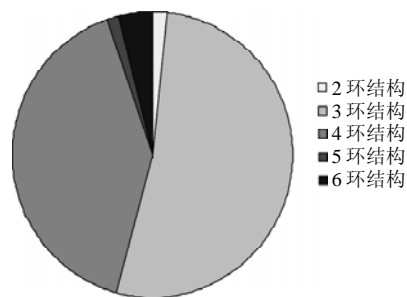


图4 总体组分构成
Fig.4 PAHs composition chart

由图4可知, 本研究中样品的多环芳烃优势组分为3环结构, 其次是4环结构。低相对分子质量(LMW, 2~4环的PAHs)占总含量的比例在94%以上。高相对分子质量(HMW, 5~6环的PAHs)总的比例不足6%, 其中, 5环的PAHs比例最小, 占1%左右, 本次5环结构PAHs检测出的组分只有苯并[a]芘一种。总的结构比例3环>4环>6环>2环>5环。

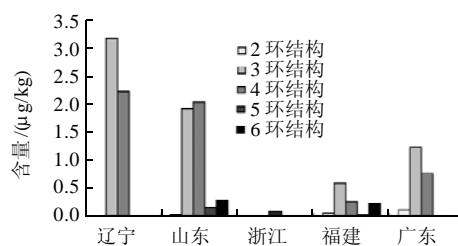


图5 不同地域多环芳烃组分特征
Fig.5 Geographical distribution of PAHs components

各个省份PAHs组分特征见图5。3环PAHs是辽宁、福建和广东省被测牡蛎体内多环芳烃的优势组分, 浙江、山东被测样品的PAHs以4环为优势组分。辽宁的组分特征结构简单, 由3环和4环PAHs构成, 浙江仅由4环结构组成。结构组成较丰富的是山东和福建, 5种结构的组分都有。本研究中广东省被测样品没有5环以上结构的组分。

LMW的PAHs主要来源于石油及其产品, 尤其是精炼油产品, 基本是低相对分子质量的PAHs及烷基化PAHs, HMW的主要来源是矿物燃料燃烧及工业活动等焦化过程。因此, 低相对分子质量与高相对分子质量PAHs的比率(LMW/HMW)可作为考察PAHs来源的一项指标^[14-16]。LMW/HMW比值大于1则PAHs较大程度上可能来源于自石油类污染, 若比值小于1则可能来自化石燃料高温燃烧。这5个省份中福建省的LMW/HMW比值最大, 但仍大于1。辽宁、浙江、广东3省的HMW为未检出。总体来看, 各省LMW/HMW比值均大于1, 且比值较高, 因此本研究中被测牡蛎PAHs污染的主要

来源很大程度上可能是石油类污染。

菲(Phe)和蒽(An)互为同分异构体, 由于它们的理化性质、在环境中的行为不同, 而使二者的比值可以作为判断PAHs来源的信息^[17]。菲较蒽具有更高的热力学稳定性, Phe/An比值高(> 10)表明PAHs来源于石油污染, Phe/An比值低(< 10)表明PAHs来源于燃烧^[18]。辽宁省Phe/An比值为14.72, 山东省Phe/An比值为20.05。其余3个省被测牡蛎样品蒽均为未检出。175个样品总的Phe/An大于10, 因此, 进一步印证了被测牡蛎PAHs污染的主要来源是石油类污染的可能性。

2.4 被测牡蛎体内多氯联苯的组分特征分析

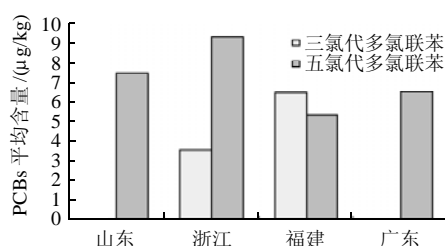


图6 不同地域牡蛎体内多氯联苯组分特征

Fig.6 Geographical distribution of PCBs components

本研究中16种多氯联苯被检出的仅有三氯代和五氯代两种。PCB28是三氯代多氯联苯, PCB101、105、123均为五氯代多氯联苯。一般认为, 由于多氯联苯高氯代同族体相比于低氯代的具有更强的亲脂性, 因此在生物体内高氯代的积蓄含量要高于低氯代的同族体。而更高氯代的多氯联苯同族体含量, 例如九氯代和十氯代的含量很低, 可能是这些氯代化合物具有较大的体积, 在通过生物体的细胞膜时受阻而导致低积蓄水平^[19]。本研究的检测结果显示被测牡蛎对五氯代的富集效能是比较高的。各省的多氯联苯组分特征见图6, 山东省和广东省的被测样品中只有五氯代被检出, 福建省的三氯代多氯联苯含量高于五氯代。

3 结论

3.1 本研究所取175个采样点牡蛎体内的平均含量水平为3.79 μg/kg, 检测样品16种PCBs总和含量在1.41~13.95 μg/kg之间。检出样品7种指示性PCBs单体的总和最高含量值为10.91 μg/kg, 残留量符合中国和一些发达国家贝类卫生标准, 不影响消费者食用安全。

3.2 辽宁、山东、浙江、福建以及广东5个省份中浙江省被测样品的多环芳烃总含量最低, 辽宁相对略高。多氯联苯空间分布与多环芳烃恰好相反, 呈现出由北向南先增加后减少的趋势。

3.3 本研究中样品的多环芳烃优势组分为3环结构。低相对分子质量(LMW, 2~4环的PAHs)占总含量的比例

在94%以上, 175个样品总的Phe/An大于10。被测牡蛎PAHs污染的主要来源很大程度上可能是石油类污染。多氯联苯被检出的仅有三氯代和五氯代两种。本研究的检测结果显示被测牡蛎对五氯代的富集效能比较高。

参考文献:

- [1] 袁彦华, 孙连军, 郭秀兰. 多环芳烃化合物环境污染研究[J]. 环境与健康, 1999, 16(3): 182-185.
- [2] 岳敏, 谷学新, 邹洪, 等. 多环芳烃的危害与防治[J]. 首都师范大学学报: 自然科学版, 2003, 24(3): 40-44.
- [3] 杨发忠, 颜阳, 张泽志, 等. 多环芳烃研究进展[J]. 云南化工, 2005, 32(2): 44-48.
- [4] 孙成, 许士奋, 姚书春, 等. 香港海域翡翠贻贝中多氯联苯的研究[J]. 环境化学, 2003, 22(2): 182-188.
- [5] GARCIA-RORIGUEZ L R, GARCIA-MARTIN M, NOGUERAS-OCANA M, et al. Exposure to pesticides and cryptorchidism: geographical evidence of a possible association[J]. Environ Health Perspect, 1996, 104(10): 1090-1095.
- [6] Jr. FALCK F, Jr. RICCI A, WOLFFM S, et al. Pesticides and polychlorinated biphenyl residues in human breast lipids and their relation to breast cancer[J]. Arch Environ Health, 1992, 47(2): 143-146.
- [7] 罗夏. 多氯联苯影响大脑发育的机理得到证实[N]. 科学时报, 2002-12-18(3).
- [8] HUSAIN S. Literature overview: Microbial metabolism of high molecular weight polycyclic aromatic hydrocarbons[J]. Remediation, 2008, 18(2): 131-161.
- [9] LAW R J, DAWES V J, WOODHEAD R J, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in seawater around England and Wales[J]. Marine Pollution Bulletin, 1997, 34(5): 306-322.
- [10] 王绪卿, 吴永宁, 邵兵, 等. 色谱在食品安全分析中的应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 66-94.
- [11] GB 2762—2005 食品中污染物限量[S].
- [12] 张新庆, 杨佰娟, 黎先春, 等. 南黄海中部分海域中多环芳烃的分布特征[J]. 岩矿测试, 2009, 28(4): 325-328.
- [13] NEFF J M. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment: sources, fates and biological effects[M]. London: Applied Science Publishers Ltd., 1979: 262.
- [14] 袁东星, 杨东宁, 陈猛, 等. 厦门西港及闽江口表层沉积物中多环芳烃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.
- [15] SICRE M A, MARTY J C, SALIOT A. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in the different sized aerosols over the Mediterranean Sea: occurrence and origin[J]. Atmospheric Environment, 1987, 21(10): 2247-2259.
- [16] WISE S A, BENNER B A, BYRD G D. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in a coal tar standard reference material[J]. Analytical Chemistry, 1988, 60(9): 887-894.
- [17] GSCHWENG P M, HITES R A. Fluxes of polycyclic aromatic hydrocarbons to marine and lacustrine sediments in the northeastern United States[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1981, 45(12): 2359-2367.
- [18] SOULO H H, GARRIGUES P H, EWALD M. Origin of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coastal marine sediments: case studies in Cotonou (Benin) and Aquitaine (France) areas[J]. Marine Pollution Bulletin, 2000, 40(5): 387-396.
- [19] BEMES C. Persistent organic pollutants: A Swedish view of an international problem[M]. Stockholm: Swedish Environmental Protection Agency, 1998.