

宁波海产品中多氯联苯的残留与风险评估

苏 晴¹, 翁佩芳^{*1}, 段青源², 柴丽月²,
钟惠英², 王保锋¹, 吴祖芳¹, 张 鑫¹

(1. 宁波大学 海洋学院, 浙江 宁波 315211; 2. 宁波市海洋与渔业研究院, 浙江 宁波 315021)

摘要: 为探讨多氯联苯(PCBs)污染物在宁波市售海产品中的组成规律及季节变化特征,按不同季节采集 10 种宁波居民主要食用海产鱼类,采用气相色谱法检测其中 7 种指示性多氯联苯残留量,并进行人体健康风险评估。结果表明,PCBs 的残留质量分数为 0.06~3.98 $\mu\text{g}/\text{kg}$,其中 PCB-52 和 PCB-153 为主要组分。PCBs 含量分布特征为秋季最高,冬季次之,夏季最低。宁波市售海产品中多氯联苯残留量水平在可接受的范围内。食用上层鱼的健康风险 CV 值小于食用下层鱼,PCBs 监测是风险评估需要控制的关键因素。

关键词: 海产鱼类;多氯联苯;风险评估

中图分类号:S 948 文献标志码:A 文章编号:1673-1689(2017)04-0425-07

Residual Characteristics of Polychlorinated Biphenyls in Seafoods in Ningbo and Health Risk Assessment

SU Qing¹, WENG Peifang^{*1}, DUAN Qingyuan², CHAI Liyue²,
ZHONG Huiying², WANG Baofeng¹, WU Zufang¹, ZHANG Xin¹

(1. School of Marine Science, Ningbo University, Ningbo 315211, China; 2. Institute of Marine and Fisheries, Ningbo 315021, China)

Abstract: The composition characteristics and seasonal variations of polychlorinated biphenyls (PCBs) in fishes sold in Ningbo market were investigated. Ten kinds of fishes were collected in different seasons and the residual contents of seven kinds of involved PCBs were detected by gas chromatography (GC) to discuss health risk assessment. The concentration range of PCBs was determined as 0.06 to 3.98 $\mu\text{g}/\text{kg}$, and PCB-52 and PCB-118 were main components. The highest content of PCBs showed in autumn, successively followed by winter, spring and summer. The residual levels of PCBs in marine products sold in Ningbo market were in an acceptable level. The uncertainty coefficient of variation on PCBs cancer risk caused by pelagic fish intake was lower than that of lower fish. The key to the health risk assessment was the detection of PCBs.

Keywords: marine fish, polychlorinated biphenyls, risk evaluation

收稿日期: 2015-04-26

基金项目: 宁波市科技局农业重点项目(2013C11027); 浙江省重中之重学科开放基金资助项目(XKZSC1427)。

* 通信作者: 翁佩芳(1963—), 女, 浙江舟山人, 教授, 主要从事食品安全及质量控制研究。E-mail: weng-pf@163.com

引用本文: 苏晴, 翁佩芳, 段青源, 等. 宁波海产品中多氯联苯的残留与风险评估[J]. 食品与生物技术学报, 2017, 36(04): 425-431.

多氯联苯 (Polychlorinated biphenyls, PCBs) 曾被广泛用作变压器和电容器绝缘油、涂料、粘合剂以及农药延效剂等,具有生物毒性,会造成脑部、皮肤及内脏的疾病,并影响神经、生殖及免疫系统,聂芳红等研究表明 PCB-77 会引起斑马鱼的脂质过氧化,进而导致机体受到过多氧自由基的攻击^[1]。PCBs 已被许多国家明令禁止生产和使用,但实际上目前还难以被完全禁用。因其具有亲脂性、抗生物降解性和蓄积性等特点,可以在环境中长期滞留,并通过生物链蓄积在生物体中,最终对人体造成极大危害^[2]。研究表明,食物摄入是除了职业暴露外人类接触 PCBs 的最主要途径,超过人体接触量的 90%^[3],尤其是高脂性食品肉类、鱼类。研究表明,食用鱼类摄入的 PCBs 显著高于肉类^[4]。

随着沿岸城市化和工业化的发展,海洋污染问题与日俱增,海洋生物富集其中多氯联苯等污染物,最终对食物链顶端的人类健康造成危害。迄今为止,国内外对不同地区、不同水产品中 PCBs 残留情况已有相关报道,如王莎莎等^[5]对近渤海地区 10 种不同海产品中 PCBs 进行分析,杨永亮等^[6]对青岛及崇明岛食用鱼体内的 PCBs 的研究,Zacs 等^[7]对 Latvian 地区湖水鱼中 PCBs 的含量及组成特征的分析,但对于 PCBs 的季节分布特征仅见于对大气或水体的研究^[8-9]。而有关宁波市居民食用的海产品中 PCBs 污染情况的报道仅限于滩涂养殖贝类^[10],未见相关海水鱼中的报道。此外,已有的报道仅对有限的几种鱼类中 PCBs 进行了研究,不能满足进行健康风险评估的要求。因此,对宁波当地主要海产鱼类中 PCBs 残留情况的研究分析具有重要意义。

为了更准确地分析宁波地区居民日常食用的

主要海产品中 PCBs 的残留量,做出科学的健康风险评估,本文通过季节性采样,分析不同季节海产品中 PCBs 的富集规律,对宁波居民食用海产品造成的健康风险进行评估,并通过蒙特卡洛模拟分析健康风险评估中的不确定性因素,为相关部门对海洋环境保护和海产品质量安全管理等的研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

主要仪器:气相色谱仪 (Aglient 6890):Aglient 公司产品。

主要试剂:多氯联苯混合标准溶液(含 7 种多氯联苯单体,即 PCB-28、PCB-52、PCB-101、PCB-118、PCB-153、PCB-138、PCB-180,质量浓度均为 0.1 μg/mL):上海安谱科学仪器有限公司产品;正己烷(色谱纯)、丙酮(色谱纯):美国 TEDIA 公司产品。

1.2 样品及其前处理方法

2013 年 10 月(秋季)、12 月(冬季),2014 年 4 月(春季)、7 月(夏季),在宁波市路林市场(宁波市水产品主要集散地)随机采集 10 种宁波市居民主要食用海产品,根据其生活的海区分为近海底层鱼类(小黄鱼、带鱼、鳗鱼、肉秃鱼、多宝鱼)和近海上层鱼类(卵形鲳鲹、马鲛鱼、真鲷、青占鱼、乌鲳鱼)。采完后冰藏运回至实验室放入 4℃冰箱保存,第二天分别取鱼肉(不包含鱼皮)后匀浆,置于-20℃冰箱中冷冻备用。每种鱼类都尽量采集体重和体长比较一致的个体,其中春夏季的鱼类大小和体重普遍偏低。样品信息见表 1。

表 1 采集的鱼样信息

Table 1 Information of collected fish samples

样品	拉丁名	数量	秋		冬		春		夏	
			体质量/g	体长/cm	体质量/g	体长/cm	体质量/g	体长/cm	体质量/g	体长/cm
小黄鱼	<i>Pseudosciaena polyactis</i>	16	60~80	17~19	60~80	16~18	50~75	14~19	40~60	13~16
带鱼	<i>Trichiurus lepturus</i>	7	166~180	60~70	163~180	57~68	158~175	60~70	140~160	55~70
鳗鱼	<i>Anguilliformes</i>	3	2 000~2 030	100~108	1 986~2 000	96~100	1 880~2 000	95~100	1 690~1 900	80~93
肉秃鱼	<i>Cynoglossus robustus</i>	3	258~280	30~42	255~270	30~40	255~275	28~39	240~260	26~32
多宝鱼	<i>Pandalichthys lethostigma</i>	3	550~566	28~35	547~560	24~30	546~559	25~35	520~532	22~31
卵形鲳鲹	<i>Trachinotus ovatus</i>	3	470~485	27~33	466~488	25~30	458~475	25~33	430~444	20~29
马鲛鱼	<i>Scomberomorus niphonius</i>	3	630~650	45~60	630~650	42~55	625~645	42~52	605~620	41~55
真鲷	<i>Pagrosomus major</i>	4	23~35	22~29	23~30	18~24	21~34	20~23	18~30	18~25
青占鱼	<i>Pneumatophorus japonicus</i>	5	260~280	25~36	255~280	23~33	260~270	21~31	220~240	20~32
乌鲳	<i>Formio niger</i>	6	125~140	18~24	115~132	14~21	115~128	16~20	105~130	14~20

1.3 样品预处理

称取 15.00 g 鱼肉样品匀浆于研钵中, 加 20 g 左右无水 Na_2SO_4 研磨成砂状, 转移至具塞锥形瓶中。加入 40 mL 正己烷, 在振荡器上振荡 0.5 h。经无水 Na_2SO_4 过滤, 样品转移至蒸发浓缩瓶中, 残渣用 20 mL 正己烷分两次淋洗, 合并滤液于蒸发浓缩瓶中。经旋转蒸发仪浓缩到 2 mL, 转移至 10 mL 离心管中, 用 3 mL 正己烷洗涤浓缩瓶, 并合并至离心管中。加入 5 mL 浓 H_2SO_4 溶液, 振摇, 4 000 r/min 离心 15 min。

10 mL 正己烷分两次活化 SPE(固相萃取装置) Lc-Si 硅胶柱, 加入 1 mL 上述正己烷提取液同时开始接液, 并用 9 mL $V(\text{正己烷}):V(\text{乙酸乙酯})=95:5$ 的混合溶液分 3 次洗脱, 并抽干柱子。洗脱液经氮气吹干。正己烷定容至 1 mL, 供 GC(ECD)检测。

1.4 色谱条件

气相色谱仪(GC)选用 Aglient 6890, 配 Ni^{63} 电子捕获检测器(ECD), 色谱柱为 DB-1701 毛细管柱 (30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25 μm)。进样口温度为 290 $^{\circ}\text{C}$, 检测器温度为 300 $^{\circ}\text{C}$ 。程序升温: 初始温度为 90 $^{\circ}\text{C}$, 保持 0.5 min, 15 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 200 $^{\circ}\text{C}$, 保持 5 min, 2.5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 250 $^{\circ}\text{C}$, 保持 2 min, 20 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 265 $^{\circ}\text{C}$ 并保持 5 min。载气为高纯氮气, 纯度 $>99.99\%$ 。不分流进样, 进样量为 1 μL 。

1.5 质量控制和质量保证

为验证方法的可靠性, 在进行样品分析的同时, 进行方法空白、平行样测定和加标回收率实验, 加标回收率为 84.6%~105%。样品的 7 种 PCBs 定量分析采用 5 种质量浓度 (分别为 2.5、5、7.5、10、20 ng/mL) 的 PCBs 混合标样绘制工作曲线, 回归曲线的拟合程度 $R^2>0.98$ 。每批样品测试之前, 用已知浓度的标准混合溶液检测所建立的标准曲线是否可用, 已知值和测定值的差值不得大于 20%。

1.6 数据处理与健康风险评估方法

使用 Microsoft excel 2007 和 SPSS Statistics 18.0 软件对不同季节的海产品中的 PCBs 残留量进行统计与分析, 用 Origin 8.5 绘制数据频率分布状况图及 PCBs 残留量变化图。利用 R 语言软件进行蒙特卡洛模拟 5 000 次抽样, 量化相关参数的灵敏度并通过模拟变异系数 CV 来比较健康风险评估模型中的不确定性。

根据 WHO 设定的人体 PCBs 每日耐受量

(tolerable daily intake, TDI) 和美国 EPA 推荐的 PCBs 参考剂量 (reference dose, RfD) 以及宁波居民对水产品的消费量, 评价食用安全性。使用公式(1) 计算居民每日通过消费水产品所摄入的 PCBs 量。

$$\text{ID} = \left(\frac{C_m \cdot m_1}{m_2} \right) \quad (1)$$

式中, ID 为摄入量 (ng/kg); C_m 为鱼类中 PCBs 的质量分数 ($\mu\text{g}/\text{kg}$); m_1 为居民每日鱼类的消费量 (g); m_2 为人体质量 (kg)。

参考 Karen 等^[11]的建议, 将公式(2)作为可接受的致癌风险 (CRI)。

$$\text{CRI} = \left(\frac{C_m \cdot m_1 \cdot \text{CSF}}{m_2} \right) \quad (2)$$

式中, CSF 为致癌强度系数 2.0 mg/(kg $\cdot$ d)。

2 结果与讨论

2.1 宁波海产鱼类中 PCBs 的残留量

在 10 种水产品中检测到不同残留水平的 PCBs, 结果如表 2 所示。10 种水产品中 PCBs 的残留浓度范围在 0.06~3.98 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 平均值为 0.97 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。根据国标 (GB 2762-2012)^[12]中关于海产食品中多氯联苯允许限量 ($\leq 0.5 \text{ mg}/\text{kg}$) 的规定, 所采集的鱼类样品中多氯联苯含量均远低于此标准限量, 且低于国内外其他地区鱼类中 PCBs 残留量, 见表 3 所示。

表 2 不同季节鱼类中 PCBs 的质量分数

Table 2 PCBs concentrations of fish samples from different seasons ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

水产品种类	秋季	冬季	春季	夏季
小黄鱼	2.11 $\pm$ 0.10	1.16 $\pm$ 0.01	0.15 $\pm$ 0.03	0.06 $\pm$ 0.01
带鱼	2.8 $\pm$ 0.22	2.53 $\pm$ 0.20	0.72 $\pm$ 0.13	0.13 $\pm$ 0.02
鳗鱼	1.21 $\pm$ 0.01	2.42 $\pm$ 0.19	0.65 $\pm$ 0.03	0.07 $\pm$ 0.01
肉秃鱼	3.98 $\pm$ 0.38	2.09 $\pm$ 0.21	0.20 $\pm$ 0.02	0.66 $\pm$ 0.05
多宝鱼	2.38 $\pm$ 0.41	2.52 $\pm$ 0.32	1.39 $\pm$ 0.11	0.37 $\pm$ 0.03
卵形鲳鲹	0.15 $\pm$ 0.02	1.24 $\pm$ 0.11	0.77 $\pm$ 0.05	0.11 $\pm$ 0.01
马鲛鱼	0.3 $\pm$ 0.03	1.49 $\pm$ 0.08	0.98 $\pm$ 0.03	0.26 $\pm$ 0.04
真鲷	0.38 $\pm$ 0.01	0.12 $\pm$ 0.04	0.22 $\pm$ 0.03	0.4 $\pm$ 0.09
青占鱼	1.48 $\pm$ 0.23	0.44 $\pm$ 0.02	0.51 $\pm$ 0.11	0.23 $\pm$ 0.03
乌鲳	1.13 $\pm$ 0.04	0.43 $\pm$ 0.05	0.34 $\pm$ 0.03	0.21 $\pm$ 0.03

注: 表内数据为检出量 $\pm$ 标准偏差

表 3 国内外不同地区水产品中 PCBs 质量分数比较
Table 3 Comparison of PCBs in aquatic products from different regions in the world

地区	采样种类	PCBs 质量分数/ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	参考文献
江苏省	鳊鱼	ND-5.22	[13]
莱州湾	21 种水产品	ND-6.51	[14]
福建省	大黄鱼	1.32-5.57	[15]
河北省	8 种鱼类	8.9-80.4	[16]
意大利	10 种鱼类	1.3-195	[17]
波罗的海	鲱鱼	14.7-30.4	[18]
美国普吉湾	大马哈鱼	53	[19]
宁波	10 种鱼类	0.06 - 3.98	本实验检测

注:ND 为未检出

以上 10 种鱼类中 PCBs 残留量频率分布如图 1 所示。鱼类样品多氯联苯质量分数差异比较大,基本呈偏态分布,样品中多氯联苯质量分数水平多数集中在 $1 \mu\text{g}/\text{kg}$ 以下,其中质量分数在 $0.1\sim 2.0 \mu\text{g}/\text{kg}$ 之间的样本占 75%,质量分数小于 $0.1 \mu\text{g}/\text{kg}$ 和大于 $3 \mu\text{g}/\text{kg}$ 的样品仅分别占 5%和 2.5%。取自然对数后鱼类样品多氯联苯浓度呈正态分布(图 2),样品中多氯联苯含量分布几率最高的为 $0.57 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。

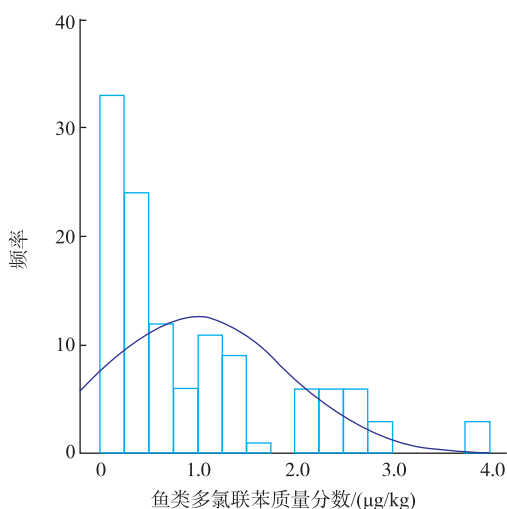


图 1 鱼类多氯联苯含量频率分布图
Fig. 1 Frequency distribution of PCBs in fish

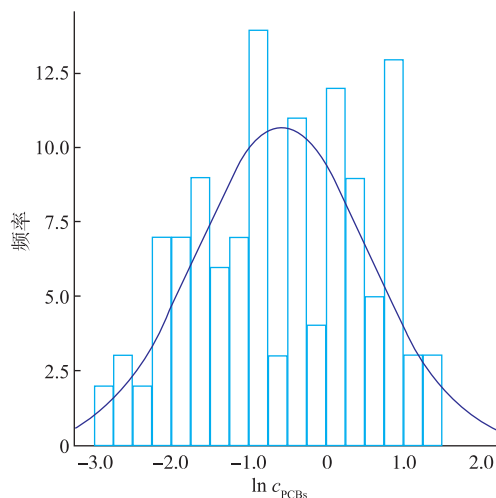


图 2 鱼类多氯联苯质量分数对数频率分布图
Fig. 2 Frequency distribution of PCBs $\ln\text{PCBs}$ in fish in fish

PCB 单体在不同季节鱼类中的残留量见表 4。由表 4 可知,PCB-52 和 PCB-153 为主要污染物,两者之和占 PCBs 总量的 59.5%。PCB-138 和 PCB-153 检出值范围分别为 ND~ $1.11 \mu\text{g}/\text{kg}$ 和 $0.02\sim 4.41 \mu\text{g}/\text{kg}$,远低于 GB 2762-2005《食品中污染物限量》^[20]中对这两个单体规定的 $0.5 \text{ mg}/\text{kg}$ 的限量值。动物对 PCBs 的代谢率主要取决于氯取代基的数目,氯化程度越高,代谢率越低,但是,高氯代联苯因分子结构和相对分子量较大,即使产生积累也有可能在生物体内代谢、脱氯成低氯代产物。研究表明,水产品体内 PCBs 的富集程度与其氯原子的取代个数成抛物线关系,即在生物体内富集更多的是中等氯原子取代的同系物^[21]。作者检测结果是以四氯和六氯取代的同系物为主,基本符合这一规律。

2.2 宁波市海产鱼类中 PCBs 的季节分布特征

综合分析表 2 和表 4 可知,PCBs 残留的平均值由高到低分别是秋季为 $1.59 \mu\text{g}/\text{kg}$,冬季为 $1.44 \mu\text{g}/\text{kg}$,春季为 $0.59 \mu\text{g}/\text{kg}$,夏季为 $0.25 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。

通过表 2、表 4 可知上、下层鱼类中 PCBs 的分布特征:秋季下层鱼类 PCBs 平均值为 $(2.49\pm 1.01) \mu\text{g}/\text{kg}$,含量最高的异构体为 PCB-52,上层鱼类中 PCBs 平均值为 $(0.69\pm 0.58) \mu\text{g}/\text{kg}$,含量最高的异构体为 PCB-52。冬季下层鱼类 PCBs 平均值为 $(2.14\pm 0.58) \mu\text{g}/\text{kg}$,含量最高的异构体为 PCB-52,上层鱼类 PCBs 平均值为 $(0.74\pm 0.59) \mu\text{g}/\text{kg}$,含量最高的异构体为 PCB-52。春季下层鱼类 PCBs 平均值为

表 4 不同季节不同鱼类体内 PCB 单体的平均质量分数

Table 4 Average concentrations of PCB isomers in different seasons

($\mu\text{g}/\text{kg}$)

化合物	2.13-10(秋季)		2013-12(冬季)		2014-04(春季)		2014-07(夏季)	
	下层鱼类	上层鱼类	下层鱼类	上层鱼类	下层鱼类	上层鱼类	下层鱼类	上层鱼类
PCB-28	0.24 (1.94)	ND (0)	0.36 (6.02)	0.42 (11.34)	ND (0)	0.41 (14.67)	0.07 (5.27)	0.13 (11.09)
PCB-52	5.62 (45.00)	1.76 (51.33)	2.65 (43.78)	1.42 (37.41)	ND (0)	ND (0)	0.84 (65.39)	0.34 (27.83)
PCB-101	0.68 (5.43)	0.50 (14.76)	0.00 (0.02)	0.55 (14.64)	0.67 (21.63)	1.14 (40.68)	0.21 (16.49)	0.40 (32.80)
PCB-118	1.10 (8.82)	0.52 (15.08)	1.86 (30.67)	0.25 (6.71)	0.76 (24.48)	0.26 (9.38)	0.04 (3.50)	0.17 (13.70)
PCB-153	4.41 (35.35)	0.55 (16.09)	0.02 (0.33)	0.80 (21.04)	1.02 (32.56)	0.63 (22.39)	0.12 (9.32)	0.17 (14.19)
PCB-138	0.43 (3.46)	0.10 (2.98)	1.11 (18.28)	0.34 (9.07)	0.56 (17.83)	0.26 (9.13)	ND (0)	ND (0)
PCB-180	ND (0)	ND (0)	0.05 (0.84)	ND (0)	0.11 (3.46)	0.10 (3.59)	ND (0)	ND (0)

注:ND 为未检出;括号内数字表示鱼体中单体所占 PCBs 总含量的比例(%)

(0.62 ± 0.50) $\mu\text{g}/\text{kg}$, 含量最高的异构体为 PCB-153, 上层鱼类 PCBs 平均值为 (0.56 ± 0.31) $\mu\text{g}/\text{kg}$, 含量最高异构体为 PCB101。夏季下层鱼类 PCBs 平均值为 (0.26 ± 0.26) $\mu\text{g}/\text{kg}$, 含量最高异构体为 PCB-52, 上层鱼类 PCBs 平均值为 (0.24 ± 0.10) $\mu\text{g}/\text{kg}$, 含量最高的异构体为 PCB-101。

上层鱼类和下层鱼类中 PCBs 含量均值的季节变化情况见图 3。在宁波市售鱼类中,不同季节的下层鱼类 PCBs 含量均高于上层鱼类。下层鱼类在秋季的 PCBs 含量最高,上层鱼类在冬季的 PCBs 含量最高,秋季和春季含量相当。上、下层鱼类中 PCB 异构体在秋、冬及夏季均以 PCB-52 为主,在春季是下层鱼类以 PCB-153 为主,上层鱼类以 PCB-101 为主。

不同鱼类对 PCBs 的富集随季节的变化趋势各不相同。夏季是大多数鱼类的生长期,此时鱼类的体积较小、体重较轻,由于 PCBs 具有高亲脂性的特点,在生长期脂肪含量较少的鱼类中 PCBs 含量也较低,且夏季正值雨季和汛期,流水携带的含 PCBs 组分的污水进入海水,由于 PCBs 具有生物富集性

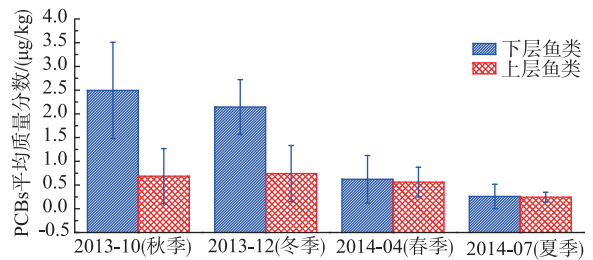


图 3 不同季节鱼类中多氯联苯均值含量的变化

Fig. 3 Average value of PCBs content in fish in different seasons

的特点,最终积累到鱼类体内。因此,当秋季、冬季收获时,鱼类体内有较高的 PCBs 含量。在水环境中,有机氯物质被微粒物质吸附,并在沉积物中积累,因此,下层鱼类体内的 PCBs 含量高于上层鱼类。

2.3 多氯联苯污染的人体暴露评估

参考《中国居民膳食指南(2007)》^[22]建议,鱼虾类摄入量为 100 g/(人·日),成人体重按 60.0 kg 计算^[23],以每种鱼类样品中多氯联苯的最高含量计算每日摄入量和致癌风险指数,结果见表 5。

表 5 居民每日最高 PCBs 摄入量及不同鱼类的致癌风险指数

Table 5 Maximum intakes of PCBs and carcinogenic risk indexes in aquatic products

水产品	小黄鱼	带鱼	鳗鱼	肉鳊鱼	多宝鱼	卵形鲳鲹	马鲛鱼	真鲷	青占鱼	乌鲳
每日最大 PCBs 摄入量/(ng/(kg·d))	3.52	4.67	4.03	6.63	4.20	2.07	2.48	0.67	2.47	1.87
CRI($\times 10^{-6}$)	7.03	9.33	8.07	13.27	8.40	4.13	4.97	1.33	4.93	3.73

由表 5 可知,居民每日食用鱼类摄入 PCBs 的最高水平为 6.63 ng/(kg·d),远低于 WHO 设定的人体 PCBs 每日耐受量 (tolerable daily intake,TDI) 和美国 EPA 推荐的 PCBs 参考剂量 (reference dose,RfD),均为 20 ng/(kg·d),且仅为规定的 33.2%;总致癌风险指数范围为 $1.33 \times 10^{-6} \sim 13.27 \times 10^{-6}$,除肉秃鱼外,其他鱼类的总致癌风险指数均远低于 10^{-4} ,表明除肉秃鱼外的 9 种海产鱼类均在可接受的致癌风险内。

食用海产品是宁波地区居民主要的 PCBs 暴露途径,虽然居民每日食用鱼类摄入 PCBs 的最高水平远低于 WHO 设定的人体 PCBs 每日耐受量,但由于 PCBs 在人体内代谢缓慢,长期富集,因此,对于 PCBs 含量较高的海产鱼类有必要控制其摄入量。

2.4 不确定性及灵敏度分析

食用上层鱼的健康风险 CV 值(0.28)小于食用下层鱼的健康风险 CV 值(0.32),这表明了食用下层海产品的不确定度高于上层海产品。

量化分析相关参数的灵敏度,各个参数对健康风险评估结果的灵敏度分析结果见图 4。海产品中 PCBs 的浓度 (Cm) 对结果方差的贡献率最大,为 84.52%;其次为致癌强度系数(CSF),为 14.16%,贡献率最低的是体重(BW),仅为 -0.10%,表明海产品中 PCBs 浓度越大致癌风险越大,人体重越大致癌风险越小。因此,为降低 PCBs 健康风险评估中的

不确定性,必须准确监测海产品中 PCBs 数据,获得更准确的 PCBs 残留浓度。

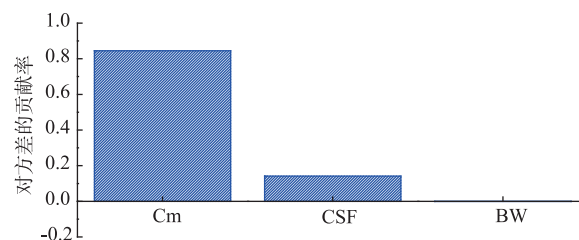


图 4 主要参数灵敏度比较

Fig. 4 Comparison of sensitivity of the parameters

3 结 语

通过对宁波居民主要食用的 10 种海产鱼类中的 7 种指示性多氯联苯污染情况进行了调查与分析及食用水产品健康风险的评估,发现宁波居民主要食用的 10 种海产鱼类已经受到不同程度的多氯联苯污染物污染。PCBs 残留质量分数范围是 0.06~3.98 $\mu\text{g/kg}$, 低于 GB 2762-2012《食品中污染物限量》中 0.5 mg/kg,其中 PCB-52 和 PCB-153 为主要污染物;秋季为宁波市售鱼类中 PCBs 残留量最高的季节,不同季节的下层鱼类 PCBs 含量均高于上层鱼类,上、下层鱼类中 PCB 异构体在秋、冬及夏季均以 PCB-52 为主,在春季均有所变化。食用上层鱼的健康风险小于食用下层鱼,海产品中 PCBs 的残留浓度是风险评估需要控制的关键因素。

参考文献:

- [1] NIE Hongfang, KONG Qingbo, LIU Lianping, et al. Effects of two DLCs on hepatic MDA, SOD and GST in zebrafish [J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2009, 28(2): 210-213. (in Chinese)
- [2] KONISHI K, SASAKI S, KATO S, et al. Prenatal exposure to PCDDs/PCDFs and dioxin-like PCBs in relation to birth weight [J]. *Environmental Research*, 2009, 109(7): 906-913.
- [3] EFSA. Opinion of the scientific panel on contaminants in the food chain on a request from the Commission related to the presence of non-dioxin-like polychlorinated biphenyls (PCBs) in feed and food [J]. *The EFSA Journal*, 2005, 284: 1-137.
- [4] HAN Shuyuan, YU Yingxin, LI Junling, et al. Concentrations and human bioaccessibility of polychlorinated biphenyls in meat and fish in Shanghai [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2010, 30(6): 1322-1330. (in Chinese)
- [5] WANG Shasha, GAO Lirong, TIAN Yiling, et al. Levels distribution and risk assessment of the indicator and dioxin-like polychlorinated biphenyls in ten different species of marine fish of Bohai Bay, China [J]. *Environmental Science*, 2014, 35(6): 2281-2286. (in Chinese)
- [6] YANG Yongliang, PAN Jing, ZHU Xiaohua, et al. Studies on coplanar-PCBs and PCNs in edible fish and duck in Qingdao and Chongming island [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2009, 22(2): 187-193. (in Chinese)
- [7] ZACS D, BARTKEVICS V, VIKSNA A. Content of polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans and dioxin-like polychlorinated biphenyls in fish from Latvian lakes [J]. *Chemosphere*, 2013, 91(2): 179-186.

- [8] HAN Deming,ZHANG Chengzhong,MAWanli,et al. Seasonal variation and source identification of ambient polychlorinated biphenyls in Xi'an city[J]. **Acta Scientiae Circumstantiae**,2014,34(7):1818-1824.(in Chinese)
- [9] BAI Hongyan,HAN Bin,SUN Peixi,et al. Temporal and spatial distributions of polychlorinated biphenyls in the seawater of Sanggou Bay[J]. **Environmental Chemistry**,2013,32(4):557-563.(in Chinese)
- [10] ZHU Yunhai,YOU Zhongjie,SHEN Tujikang,et al. Residual level and ecological risk assessment of OCPs and PCBs in sediments of mudflat shellfish culturing areas in Ningbo,Zhejiang Province of East China [J]. **Chinese Journal of Applied Ecology**,2012,23(6):1689-1694.(in Chinese)
- [11] KAREN H W,FRANK W D,ARUNTHAVARANI T,et al. Fish tissue quality in the lower mississippi river and health risks from fish consumption[J]. **The Science of the Total Environment**,2003,302:109-126.
- [12] GB 2762-2012,食品中污染物限量[S].
- [13] WANG Ying, QIU Yanling,FEI Yong,et al. Measurement and preliminary human health risk assessment of representative organochlorines in farmed mandarin fish[J]. **Environmental Science**,2011,32(8):2385-2390.(in Chinese)
- [14] LIU Huihui,XU Yingjiang,DENG Xuxiu,et al. Risk assessment of OCPs and PCBs in organisms in Laizhou bay offshore areas, Bohai Sea[J]. **Oceanologia Et Limnologia Since**,2013,44(5):1325-1332.(in Chinese)
- [15] YE Mei,WU Chengye,YU Ying,et al. Risk assessment of residual PCBs in cultured large yellow croakers in Fujian Province, China[J]. **Marine Sciences**,2011,35(11):63-68.(in Chinese)
- [16] HU Guocheng,LI Xuemei,PENG Xiaowu,et al. Bioaccumulation and toxicity assessment of polychlorinated biphenyls in freshwater fish from Baiyangdian Lake,North China [J]. **Journal of Agro-Environment Science**,2012,31 (4):667-672.(in Chinese)
- [17] PACINI N,ABATE V,BRAMBILLA G,et al. Polychlorinated dibenzodioxins,dibenzofurans,and biphenyls in fresh water fish from Campania Region,southern Italy[J]. **Chemosphere**,2013,90(1):80-88.
- [18] KARL H,BLADT A,ROTTLER H,et al. Temporal trends of PCDD,PCDF and PCB levels in muscle meat of herring from different fishing grounds of the Baltic Sea and actual data of different fish species from the Western Baltic Sea[J]. **Chemosphere**,2010,78(2):106-112.
- [19] O'NEILL S M, WEST J E. Marine distribution,life history traits,and the accumulation of polychlorinated biphenyls in Chinook salmon from Puget Sound, Washington[J]. **Transactions of the American Fisheries Society**,2009,138(3):616-632.
- [20] GB 2762-2005,食品中污染物限量[S].
- [21] WU J P,LUO X J,ZHANG Y. Bioaccumulation of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in wild aquatic species from an electronic waste(e-waste) recycling site in South China[J]. **Environment International**,2008,34(8):1109-1113.
- [22] GE Keyou,YANG Xiaoguang,CHENG Yiyong. Balanced diet,sensible nutrition,health promotion-interpretation of "Dietary guidelines of China residents(2007)"[J]. **Food and Nutrition in China**,2008(5):58-61.(in Chinese)
- [23] JIANG Q T,LEE T K M,CHEN K,et al. Human health risk assessment of organochlorines associated with fish consumption in a coastal city in China[J]. **Environmental Pollution**,2005,136(1):155-165.