

## 风险评估

## 中国居民水产品中四种常见重金属暴露评估

王慧<sup>1,2</sup>,毛伟峰<sup>1</sup>,蒋定国<sup>1</sup>,李建文<sup>1</sup>,刘飒娜<sup>1</sup>,刘兆平<sup>1</sup>,刘思洁<sup>2</sup>,张磊<sup>1</sup>

(1.国家食品安全风险评估中心,北京 100022; 2.吉林省疾病预防控制中心,吉林 长春 130062)

**摘要:**目的 评估中国居民水产品中铅、镉、汞、砷四种重金属的暴露水平和健康风险。方法 利用2013—2017年水产品中铅、镉、汞、砷的含量监测数据和相应食物消费量数据,采用简单分布评估方法,计算中国居民水产品中四种重金属的摄入情况,依据相应健康指导值或基准剂量评估其潜在危险。结果 各性别-年龄组人群镉、甲基汞的暴露量均低于其相应健康指导值,但除66岁以上女性组镉平均暴露量外,平均暴露量均在相应健康指导值的5%以上,高端暴露量(P95)超过健康指导值的20%。各人群铅、无机砷的暴露限值(MOE)均高于1。2~6岁性别-年龄组除无机砷外,另三种重金属平均暴露量和P95在各性别-年龄组中均最高。水产品中四种重金属贡献率最高的为海蟹和鱼类。结论 中国居民通过水产品的铅、镉、汞、砷暴露量总体上低于相应的健康指导值或基准剂量,但达到通过制定限量标准进行管理的水平。鱼类和海蟹是对四种重金属暴露贡献率最高的水产品,高消费人群的重金属暴露需要加以关注,建议进一步开展重金属的累积暴露评估研究,明确水产品中重金属的累积暴露风险。

**关键词:**重金属; 水产品; 暴露限值; 暴露评估

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2019)05-0470-06

DOI:10.13590/j.cjfh.2019.05.014

**Risk assessment of specific heavy metals exposure to aquatic products in China**WANG Hui<sup>1,2</sup>, MAO Weifeng<sup>1</sup>, JIANG Dingguo<sup>1</sup>, LI Jianwen<sup>1</sup>, LIU Sana<sup>1</sup>,LIU Zhaoping<sup>1</sup>, LIU Sijie<sup>2</sup>, ZHANG Lei<sup>1</sup>

(1. China National Center for Food Safety Risk Assessment, Beijing 100022, China;

2. Center for Disease Control and Prevention of Jilin Province, Jilin Changchun 130062, China)

**Abstract: Objective** To assess of the exposure risk and the potential health hazards of four heavy metals in aquatic products in Chinese residents. **Methods** Based on the concentration data of arsenic, cadmium, mercury and lead collected in 2013-2017 and the food consumption data in China, the dietary exposures of the four heavy metals were estimated by semi-probabilistic model. The health guidance value or bench mark dose (BMD) was adopted to assess the potential health risks of the heavy metals. **Results** The exposures of Cd and CH<sub>3</sub>Hg in the general population were lower than the corresponding health guidance value, except for the average cadmium exposure in women over 66 years of age. The Cd and CH<sub>3</sub>Hg average exposure was more than 5% of the corresponding health guidance value, and the high-end exposure (P95) was more than 20% of that. Meanwhile the margin of exposure (MOE) for Pb and iAs were higher than 1. The average consumer exposure and high exposure (P95) of the four heavy metals in 2-6 years old group were the highest among all age groups in the whole population except the exposure to iAs. Sea crab and fish were the main sources of the dietary exposure contribution of the four heavy metals in aquatic products. **Conclusion** The exposures to lead, cadmium, mercury and arsenic through aquatic products were at a relatively safe level, but it reached the level of management through the establishment of limit standards. Fish and sea crab were the main sources of the dietary exposure contribution of the four heavy metals in aquatic products. The heavy metal exposure of high-consuming population needs to be paid attention to. It was suggested that further studies on cumulative exposure assessment of heavy metals be carried out to clarify the cumulative exposure risk of heavy metals in aquatic products.

**Key words:** Heavy metal; aquatic products; margin of exposure; exposure assessment

收稿日期:2019-08-08

基金项目:食品污染物定量风险表征技术与综合应用研究(2018YFC1603104)

作者简介:王慧 女 初级技师 研究方向为食品安全风险监测与评估 E-mail:wanghui5288@126.com

通信作者:张磊 男 研究员 研究方向为食品安全风险评估 E-mail:zhanglei@cfsa.net.cn

重金属是指密度在  $5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  以上的金属,其中有些重金属可通过食物进入体内,干扰人体正常生理功能,危害人体健康,被称为有毒重金属。这类重金属主要包括:铅(Pb)、镉(Cd)、汞(Hg)和砷(As)等,其中砷虽然是非金属元素,但是其来源与危害均与重金属相似,故通常都将其列为重金属<sup>[1]</sup>。随着工业飞速发展,先进的化工产品的使用及大城市人们的生活排放,形成了越来越多的重金属富集的生态系统<sup>[2]</sup>。重金属可以通过食物链富集,并具有低降解性、长生物半衰期和在身体不同部位累积的潜能,因而长期摄入低剂量的重金属可能会对身体造成严重的危害<sup>[3-4]</sup>。重金属的危害与其形态有直接关系,无机砷( $\text{As}^{3+}$ )和有机汞(甲基汞)毒性远高于相应的有机砷和无机汞。软组织如肝脏、肾脏及神经系统对重金属更为敏感<sup>[5]</sup>。虽然重金属可以经过多种途径进入人体,大多数情形下膳食仍是重金属进入人体主要途径。其中,水产品重金属污染在世界范围内是较普遍的食品安全问题,如美国、加拿大和日本因河流被污染,大量贝类、鱼的汞含量超标,这些问题给人类健康及社会稳定带来极大的威胁。我国是水产品生产与进出口大国,水产品出口额位居大宗农产品出口额首位<sup>[6]</sup>。随着生活水平的提高,人们对优质蛋白质营养丰富的水产品的摄入量日益增长<sup>[7]</sup>。本研究针对水产品中常见的铅、镉、汞、砷污染,开展中国居民水产品中重金属的膳食暴露风险评估。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

#### 1.1.1 水产品中四种重金属含量数据

评估所用水产品中铅、镉、汞、砷含量数据来自2013—2017年全国食品安全风险监测数据,样品数量共计106 957份,其中铅、镉、汞、砷的样品数量分别为29 269、31 444、29 716、16 528份。检测的水产品主要包括蟹类、虾类、鱼类、双壳类、头足类、腹足类、熟制水产品和干制水产品等。样品采自批发市场、餐饮店、零售店、大中型超市和食杂店等,由全国具有检测能力的地市级疾病预防控制中心依据《食品中化学污染物及有害因素监测技术手册》<sup>[8]</sup>,采用GB 5009.11—2014《食品安全国家标准 食品中总砷及无机砷的测定》、GB 5009.12—2017《食品安全国家标准 食品中铅的测定》、GB 5009.15—2014《食品安全国家标准 食品中镉的测定》、GB 5009.17—2014《食品安全国家标准 食品中总汞及有机汞的测定》中原子吸收(atomic absorption spectrometry, AAS)或等离子体电感耦合-串联质谱

(inductively coupled plasma-mass spectrometry, ICP-MS)等方法进行检测<sup>[9-12]</sup>。

#### 1.1.2 膳食消费量数据来源

水产品消费量数据来自2014年中国居民膳食消费状况调查。该调查根据随机抽样原则,对全国25 862位居民进行了3 d 24 h的膳食问卷调查,包括其在家和外出进食的所有水产品。本研究中将水产品分为12大类,分别为淡水虾、淡水蟹、海虾、海蟹、头足类、双壳类、腹足类、肉食性鱼类、非肉食性鱼类、干制水产品、熟制水产品及水产罐头类。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 无机砷、甲基汞的转换方法

本次评估所采用无机砷(iAs)和甲基汞(MeHg)的含量数据是由总砷和总汞的含量数据乘以相应转换系数得到。食品添加剂联合专家委员会(JECFA)2011年第72次会议上提出鱼和其他水产品的转换系数范围是2%~4%<sup>[13]</sup>,依据风险评估保守原则,本研究中所有水产品无机砷的转换系数均取4%。2015年欧洲食品安全局(EFSA)提出鱼类及其制品甲基汞占总汞的100%,甲壳动物、软体动物和两栖动物的甲基汞占总汞的80%<sup>[14]</sup>。本研究中水产品甲基汞的转换系数参考EFSA的转换系数。世界卫生组织(WHO)推荐对于小于检出限(limit of detection, LOD)的数据,如果超过60%的结果均小于LOD,这些数据按照1/2LOD计算<sup>[15]</sup>。本研究中对于所有未检出数据用1/2LOD代替。

#### 1.2.2 暴露评估方法

本次评估采用简单分布评估模型,利用水产品中重金属含量数据的平均值乘以单个个体各类水产品消费量,除以每个个体体重,获得人群水产品重金属暴露量个体分布,其公式为:

$$Exp = \sum_{i=1}^{12} \frac{F_i \times C_i}{w}$$

其中,Exp为某个体每日暴露量, $\mu\text{g}/\text{kg BW}$ ;  $F_i$ 为某个体第*i*种食物的消费量, $\text{g}/\text{d}$ ;  $C_i$ 为第*i*种食物中重金属的平均含量, $\text{mg}/\text{kg}$ ;  $w$ 为相应个体的体重, $\text{kg}$ 。在得到个体暴露量的基础上,可获得不同性别-年龄组重金属摄入分布以及平均暴露量水平和高消费量人群(P95)的膳食暴露水平。不同性别-年龄人群从2岁婴幼儿到66岁以上老年人,分成10个性别-年龄组,每个性别-年龄组分别计算重金属的暴露水平。

#### 1.2.3 风险特征描述方法

依据JECFA的评价报告,目前尚无明确可用于无机砷和铅风险特征描述的健康指导值,本研究采用暴露边界(MOE)的方法对中国居民水产品

中无机砷和铅暴露进行风险评估,即无机砷或铅的基准剂量与相应暴露量的比值,MOE 值越大暴露风险越低。例如,以无机砷导致人类肺癌为毒性效应终点的基准剂量的下限(BDML<sub>0.5</sub>)为3~5 μg/kg BW<sup>[13]</sup>。依据风险评估的安全保护原则,本研究取3 μg/kg BW 为 BDML<sub>0.5</sub>的值。对于铅,用于成人的 BMDL<sub>0.1</sub>为1.2 μg/kg BW(收缩压上升1 mmHg),儿童的 BMDL<sub>0.1</sub>为0.6 μg/kg BW(智商下降1个IQ点)<sup>[16]</sup>。

对于甲基汞,EFSA 规定甲基汞的每周允许摄入量(tolerable weekly intake, TWI)为1.3 μg/kg BW<sup>[17]</sup>(相当于每日0.186 μg/kg BW)。对于镉, JECFA 2011年第73次会议制定的食品中镉的暂定每月允许摄入量(provisional tolerable monthly intake, PTMI)为25 μg/kg BW<sup>[18]</sup>(相当于每日0.833 μg/kg BW)。将甲基汞和镉的暴露量与其相应的健康指导值相比较,低于健康指导值说明风险可以接受。

### 1.3 统计学分析

数据清理和统计分析采用 Excel 2007 和 IBM SPSS 17.0 软件完成。

## 2 结果

### 2.1 水产品中四种重金属的污染情况

由表1可知,对于无机砷平均含量最高的水产品是干制水产品(0.162 mg/kg),其次为海蟹(0.108 mg/kg)。对于镉,海蟹和腹足类污染最严重,平均含量分别为0.598和0.481 mg/kg。干制水产品和熟制水产品中甲基汞的平均含量最高,分别为0.085和0.078 mg/kg。干制水产品和双壳类中铅的平均含量最高,分别为0.225和0.181 mg/kg。

表1 不同种类水产品中四种重金属的平均含量(mg/kg)

Table 1 Mean concentration of the four heavy metals

食品分类	in different aquatic products			
	无机砷	镉	甲基汞	铅
淡水虾	0.006	0.041	0.017	0.057
淡水蟹	0.015	0.107	0.030	0.062
海虾	0.021	0.066	0.016	0.061
海蟹	0.108	0.598	0.024	0.063
头足类	0.071	0.398	0.020	0.072
双壳类	0.044	0.447	0.018	0.181
腹足类	0.065	0.481	0.019	0.124
肉食性鱼类	0.009	0.018	0.026	0.065
非肉食性鱼类	0.003	0.007	0.016	0.055
干制水产品	0.162	0.343	0.085	0.225
熟制水产品	0.040	0.068	0.078	0.102
水产罐头	0.021	0.025	0.028	0.097

### 2.2 不同性别-年龄组居民水产品中四种重金属暴露量

由表2可知,我国不同性别-年龄组居民水产品

中四种重金属平均暴露量和高端暴露量(P95)均远低于其相应的健康指导值或基准剂量,但镉和甲基汞的平均暴露量基本均在相应健康指导值的5%以上,P95均超过健康指导值的20%。各性别-年龄组中2~6岁男孩的暴露量最高,尤其是对于镉和铅,镉的P95占健康指导值的74.07%,铅的P95 MOE值低于2,男性暴露量大于女性。

### 2.3 不同种类水产品中四种重金属暴露的贡献率分析

不同种类水产品中四种重金属的平均暴露量和P95见表3,对水产品总暴露量的贡献率见图1。对于无机砷,海蟹贡献率达到64.1%,其次为肉食性鱼类,贡献率为24.3%。对于镉,也以海蟹的贡献率最高,达到59.7%,其次是双壳类贡献率为13.3%;同时,海蟹每日P95为8.857 μg/kg BW,超过镉的PTMI;对于甲基汞,肉食性鱼类和非肉食性鱼类的贡献率较高,分别为48.5%和27.0%;来自肉食性鱼类每日P95为0.261 μg/kg BW,超过甲基汞的PTWI。对于铅,非肉食性鱼类和肉食性鱼类贡献率大致相当,分别为42.6%和40.9%,合计占各类水产品来源铅总暴露的80%以上。

## 3 讨论

本研究评估结果表明,我国各性别-年龄组人群通过水产品的铅、镉、汞、砷平均暴露量和P95均低于相应的健康指导值或基准剂量,但是对于某些污染水平较高食品的高消费量人群,存在重金属暴露量过高的风险,例如海蟹中的镉、肉食性鱼类中的甲基汞。同时,各性别-年龄组人群镉和甲基汞的平均暴露量大都在相应健康指导值的5%以上,P95均超过健康指导值的20%,铅的MOE接近于2,符合国际食品法典委员会(CAC)认定对总暴露贡献显著,需要制定限量标准进行管理的情形<sup>[19]</sup>。

水产动物体内富集重金属主要有三个途径,水产动物鳃吸收周围环境中的重金属并输送到全身各个器官;摄食途径,通过饵料进入身体;体表与水交换也可以渗透重金属。但是,最主要的途径是通过鳃的摄入<sup>[20]</sup>。本研究结果表明,对于甲基汞,肉食性鱼类中含量更高,且为居民水产品中甲基汞暴露的主要来源。研究<sup>[21]</sup>表明,水产品是甲基汞总膳食暴露的主要来源。由于肉食性鱼类多为海鱼,富含二十二碳六烯酸(DHA)等益智的脂肪酸<sup>[22]</sup>,所以WHO仍推荐儿童每周食用一定数量的海鱼<sup>[23]</sup>。此外,鱼类因其相对较高的消费量,也是水产品中铅暴露量的主要来源。非鱼类水产品中,海蟹也是水产品中重金属的重要来源,特别是对于

表2 不同性别-年龄组居民水产品中四种每日重金属暴露量及与其相应健康指导值和基准剂量比较

Table 2 Exposure of four heavy metals to aquatic products in different age groups and comparison with their health guidance values or bench mark doses

人群	无机砷				镉			
	平均暴露量 /( $\mu\text{g}/\text{kg BW}$ )	MOE	P95 /( $\mu\text{g}/\text{kg BW}$ )	MOE	平均暴露量 /( $\mu\text{g}/\text{kg BW}$ )	PTMI /%	P95 /( $\mu\text{g}/\text{kg BW}$ )	PTMI /%
2~6岁男	0.02	150.00	0.12	25.00	0.102	12.24	0.617	74.07
2~6岁女	0.02	150.00	0.09	33.33	0.072	8.64	0.406	48.74
7~17岁男	0.01	300.00	0.08	37.50	0.067	8.04	0.416	49.94
7~17岁女	0.01	300.00	0.08	37.50	0.064	7.68	0.422	50.66
18~40岁男	0.01	300.00	0.06	50.00	0.045	5.40	0.263	31.57
18~40岁女	0.02	150.00	0.09	33.33	0.085	10.20	0.513	61.58
41~65岁男	0.02	150.00	0.08	37.50	0.077	9.24	0.446	53.54
41~65岁女	0.02	150.00	0.09	33.33	0.073	8.76	0.461	55.34
66岁以上男	0.01	300.00	0.07	42.86	0.057	6.84	0.368	44.18
66岁以上女	0.01	300.00	0.05	60.00	0.039	4.68	0.204	24.49
合计	0.02	200.00	0.08	37.04	0.068	8.16	0.412	49.46

人群	甲基汞				铅			
	平均暴露量 /( $\mu\text{g}/\text{kg BW}$ )	TWI /%	P95 /( $\mu\text{g}/\text{kg BW}$ )	TWI /%	平均暴露量 /( $\mu\text{g}/\text{kg BW}$ )	MOE	P95 /( $\mu\text{g}/\text{kg BW}$ )	MOE
2~6岁男	0.027	14.52	0.110	59.14	0.08	7.50	0.32	1.88
2~6岁女	0.019	10.22	0.083	44.62	0.07	8.57	0.29	2.07
7~17岁男	0.017	9.14	0.064	34.41	0.08	7.50	0.25	2.40
7~17岁女	0.017	9.14	0.061	32.80	0.05	12.00	0.21	2.86
18~40岁男	0.014	7.53	0.050	26.88	0.05	12.00	0.19	3.16
18~40岁女	0.026	13.98	0.101	54.30	0.08	7.50	0.29	2.07
41~65岁男	0.019	10.22	0.083	44.62	0.06	10.00	0.30	2.00
41~65岁女	0.019	10.22	0.067	36.02	0.06	10.00	0.22	2.73
66岁以上男	0.016	8.60	0.060	32.26	0.06	10.00	0.20	3.00
66岁以上女	0.011	5.91	0.047	25.27	0.05	12.00	0.22	2.73
合计	0.019	10.22	0.073	39.25	0.06	18.75	0.25	4.82

表3 不同种类水产品中四种重金属暴露量( $\mu\text{g}/\text{kg BW}$ )

Table 3 Exposure of four heavy metals to different kinds of aquatic products

食品分类	平均暴露量				P95			
	无机砷	镉	甲基汞	铅	无机砷	镉	甲基汞	铅
淡水虾	$0.00 \times 10^0$	$6.67 \times 10^{-4}$	$0.00 \times 10^0$					
淡水蟹	$0.00 \times 10^0$	$1.00 \times 10^{-3}$	$0.00 \times 10^0$					
海虾	$1.27 \times 10^{-3}$	$3.62 \times 10^{-3}$	$9.67 \times 10^{-4}$	$3.68 \times 10^{-3}$	$9.66 \times 10^{-3}$	$8.28 \times 10^{-1}$	$5.15 \times 10^{-2}$	$2.80 \times 10^{-2}$
海蟹	$7.03 \times 10^{-3}$	$3.89 \times 10^{-2}$	$1.56 \times 10^{-3}$	$4.10 \times 10^{-3}$	$5.33 \times 10^{-2}$	$8.85 \times 10^0$	$8.29 \times 10^{-2}$	$3.11 \times 10^{-2}$
头足类	$0.00 \times 10^0$	$1.00 \times 10^{-3}$	$0.00 \times 10^0$					
双壳类	$0.00 \times 10^0$	$8.67 \times 10^{-3}$	$0.00 \times 10^0$					
腹足类	$0.00 \times 10^0$	$2.00 \times 10^{-3}$	$0.00 \times 10^0$					
肉食性鱼类	$2.66 \times 10^{-3}$	$5.30 \times 10^{-3}$	$7.69 \times 10^{-3}$	$1.92 \times 10^{-2}$	$1.29 \times 10^{-2}$	$7.71 \times 10^{-1}$	$2.61 \times 10^{-1}$	$9.31 \times 10^{-2}$
非肉食性鱼类	$0.00 \times 10^0$	$2.00 \times 10^{-3}$	$4.29 \times 10^{-3}$	$2.00 \times 10^{-2}$	$0.00 \times 10^0$	$2.90 \times 10^{-1}$	$1.60 \times 10^{-1}$	$8.00 \times 10^{-2}$
干制水产品	$0.00 \times 10^0$	$6.67 \times 10^{-4}$	$0.00 \times 10^0$					
熟制水产品	$0.00 \times 10^0$	$1.33 \times 10^{-3}$	$1.43 \times 10^{-3}$	$0.00 \times 10^0$				
水产罐头	$0.00 \times 10^0$							

镉和砷,主要原因是海蟹作为水底栖息生物,以底泥中生物为食,因而重金属污染较为严重。海蟹和鱼类的污染主要来源是周围的生活环境,建议进一步加强环境的综合治理,控制污染源。

中国总膳食研究结果显示,2000年我国2~7岁年龄组水产品中镉摄入量为 $0.14 \mu\text{g}/\text{kg BW}$ ,20~50岁成人水产品中镉摄入量为 $0.07 \mu\text{g}/\text{kg BW}$ ;2006年我国全人群水产品中甲基汞摄入量为 $0.08 \mu\text{g}/\text{kg BW}$ ;2012年2~7岁年龄组水产品中铅

摄入量为 $0.16 \mu\text{g}/\text{kg BW}$ ,20~50岁成年人水产品中铅摄入量为 $0.11 \mu\text{g}/\text{kg BW}$ <sup>[21,24-25]</sup>。与中国总膳食研究比较,本研究中我国水产品中甲基汞摄入量有所增加,但是铅和镉摄入量有所下降,尤其是儿童水产品中铅摄入量下降很多。与欧洲其他国家比较,欧洲各国成人水产品中无机砷、镉、甲基汞、铅摄入量分别为 $0.0060$ 、 $0.24$ 、 $0.24$ 、 $0.0050$ ~ $0.020 \mu\text{g}/\text{kg BW}$ ,儿童水产品中镉和甲基汞的摄入量分别为 $0.56$ 和 $0.32 \mu\text{g}/\text{kg BW}$ <sup>[14,26-28]</sup>。我国水

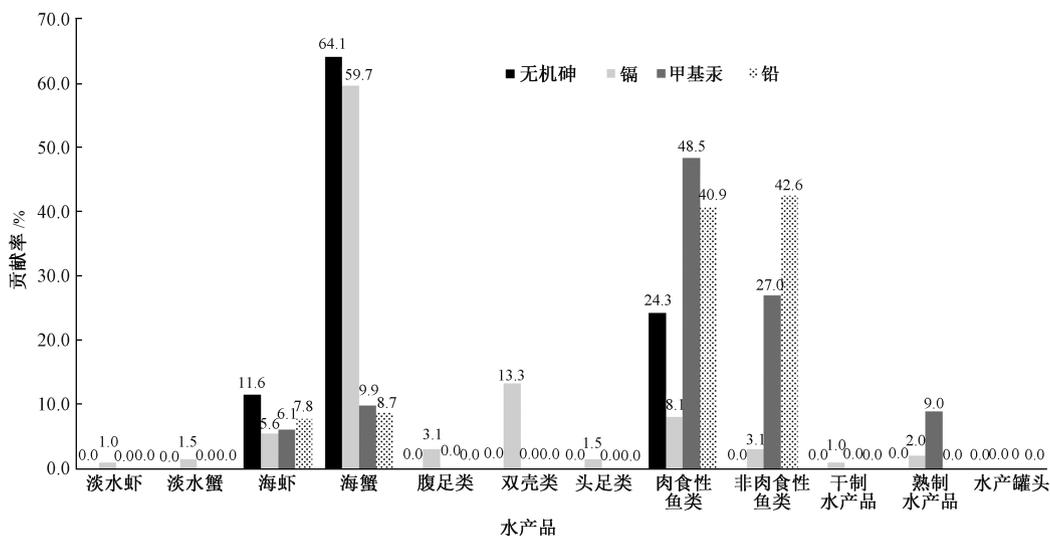


图1 不同种类水产品对四种重金属暴露的贡献率

Figure 1 Exposure contribution rate of different aquatic products to four heavy metals

产品中甲基汞比欧洲各国摄入量低,但是水产品中无机砷、镉和铅明显高于欧洲各国;因此,我国人群水产品中重金属暴露量仍有较大下降空间。

本次评估仅针对水产品来源的重金属暴露。考虑到重金属在各类食品中普遍存在,因此并不代表人群重金属的总暴露风险。两种或两种以上可引起相同健康效应的化学物质通过不同途径和媒介共同引起的总暴露称作累积暴露<sup>[29]</sup>,即使单独暴露于具有相同作用机制的任何一种化学物质均无健康风险,但联合暴露于这类化学物质的风险也可能需要引起关注。研究表明,重金属间可能存在协同作用。本研究2~6岁人群水产品中镉P95接近健康指导值,2~6岁男孩铅暴露量MOE为1.88略高于1,说明一种重金属暴露虽然风险很低,但是四种重金属累积暴露可能会存在健康风险,因此,有必要继续进行四种重金属累积暴露风险评估的研究。

综上所述,本研究对2013—2017年中国居民水产品中无机砷、镉、甲基汞和铅的暴露量进行了风险评估。结果表明,中国居民水产品中四种重金属暴露量均低于相应的健康指导值或基准剂量,但达到需要通过制定限量标准进行风险控制水平。鱼类和海蟹是对四种重金属暴露贡献率最高的水产品,高消费人群的重金属暴露需要加以关注,建议进一步开展重金属的累积暴露评估研究,明确水产品中重金属的累积暴露风险。

参考文献

[ 1 ] 游勇,鞠荣.重金属对食品的污染及其危害[J].环境,2007(2):102-103.  
 [ 2 ] CHARY N S, KAMALA C T, SUMAN RAJ D S. Assessing risk of heavy metals from consuming food grown on sewage irrigated

soils and food chain transfer[J]. Ecotoxicol Environ Saf,2008,69(3):513-524.

[ 3 ] ORISAKWE O E, NDUKA J K, AMADI C N, et al. Heavy metals health risk assessment for population via consumption of food crops and fruits in Owerri, South Eastern, Nigeria [J]. Chem Cent J,2012, 6(77):1-7.  
 [ 4 ] ARORA M, KIRAN R, RAIN S, et al. Heavy metal accumulation in vegetables irrigated with water from different sources[J]. Food Chemistry,2008,111(4): 811-815.  
 [ 5 ] ZUKOWSKA J, BIZIUK M. Methodological evaluation of method for dietary heavy metal intake [J]. J Food Sci, 2008, 73(2): 21-29.  
 [ 6 ] 陈胜军,李来好,杨贤庆,等.我国水产品安全风险来源与风险评估研究进展[J].食品科学,2015,36(17):300-304.  
 [ 7 ] 张罗娟,张森,袁信,等.我国水产品体内重金属含量的研究现状[J].食品研究与开发,2017,38(21):212-215.  
 [ 8 ] 王竹天,杨大进.食品中化学污染物及有害因素监测技术手册[M].北京:中国标准出版社,2011.  
 [ 9 ] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准 食品中总砷及无机砷的测定:GB 5009.11—2014[S].北京:中国标准出版社,2014.  
 [ 10 ] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品中铅的测定:GB 5009.12—2017[S].北京:中国标准出版社,2017.  
 [ 11 ] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准 食品中镉的测定:GB 5009.15—2014[S].北京:中国标准出版社,2014.  
 [ 12 ] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准 食品中总汞及有机汞的测定:GB 5009.17—2014[S].北京:中国标准出版社,2014.  
 [ 13 ] FAO/WHO. Safety evaluation of certain contaminants in food [R]. WHO,2011(8):153-316.  
 [ 14 ] European Food Safety Authority (EFSA). Statement on the benefits of fish/seafood consumption compared to the risks of methylmercury in fish/seafood[J].The EFSA Journal, 2015,13(1):3982.  
 [ 15 ] 王绪卿,吴永宁,陈君石.食品污染监测低水平数据处理问

- 题[J]. 中华预防医学杂志, 2002, 36(4):278-279.
- [16] Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Safety evaluation of certain food additives and contaminants [R]. 2011 (64):381-497.
- [17] EFSA Scientific Committee. Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food [J]. The EFSA Journal, 2012, 10 (12): 2985.
- [18] FAO/WHO. Evaluation of certain food additives and contaminants [R] WHO Technical Report Series, 2011(64):305-380.
- [19] Codex Alimentarius Commission. Codex Alimentarius Commission; procedural manual, 27<sup>th</sup> ed [M]. Rome: FAO/WHO, 2019.
- [20] 刘丽, 邓时铭, 黄向荣, 等. 浅谈水产动物中的重金属污染[J]. 河北渔业, 2011, 7(19):51-54.
- [21] 李筱薇, 高俊全, 陈君石. 2000 年中国总膳食研究——膳食汞摄入量[J]. 卫生研究, 2006, 35(3):323-325.
- [22] 刘镜恪. 海鱼早期阶段必需脂肪酸和磷脂的研究现状与展望 [J]. 海洋水产研究, 2002, 23(2):58-63.
- [23] Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Safety evaluation of certain food additives and contaminants [R]. 2016 (995):1-132.
- [24] 李筱薇, 刘卿, 刘丽萍, 等. 应用中国总膳食研究评估中国人膳食铅暴露分布状况[J]. 卫生研究, 2012, 41(3):379-384.
- [25] 张磊, 高俊全, 李筱薇. 2000 年中国总膳食研究——不同性别年龄组人群膳食镉摄入量 [J]. 卫生研究, 2008, 37(3):338-342.
- [26] European Food Safety Authority (EFSA). Cadmium dietary exposure in the European population European Food Safety Authority [J]. The EFSA Journal, 2012, 10(1):2551-2588.
- [27] European Food Safety Authority (EFSA). Scientific opinion on arsenic in food [J]. The EFSA Journal, 2009, 7(10):1351-1550.
- [28] European Food Safety Authority (EFSA). Scientific opinion on lead in food [J] The EFSA Journal, 2010, 8(4):1570.
- [29] 隋海霞, 杨大进, 蒋定国, 等. 相对效能因子法在有机磷农药慢性累积膳食暴露风险评估中的应用研究 [J]. 中国食品卫生杂志, 2016, 28(4):523-527.

## 风险评估

# 云南省新鲜蔬菜中 11 种有机磷农药残留情况及慢性累积暴露评估

张婷, 万玉萍, 段毅宏, 李彦生, 刘建辉, 许燕  
(云南省疾病预防控制中心, 云南 昆明 650022)

**摘要:**目的 分析云南省新鲜蔬菜中 11 种有机磷农药的残留情况, 评估云南省居民有机磷农药的慢性累积暴露风险。方法 对 2012—2017 年云南省新鲜蔬菜中 11 种有机磷农药含量数据进行统计分析, 结合 2012 年中国居民营养与健康状况调查中新鲜蔬菜消费量数据, 采用危害指数法评估云南省居民有机磷农药的慢性累积暴露风险。结果 2 150 份样品中 11 种有机磷农药总检出率为 14.1%(303/2 150), 超标率为 4.3%(93/2 150)。危害指数法评估结果显示云南省居民平均危害指数为 0.382 5, 城市男性和城市低收入人群危害指数较高, 分别为 0.526 7 和 0.489 0, 但均小于 1。氧化乐果的慢性累积暴露量贡献率最高(48.3%)。结论 云南省新鲜蔬菜存在有机磷农药残留情况, 云南省居民经新鲜蔬菜摄入的有机磷农药慢性累积暴露风险小, 但仍存在违规使用和滥用农药的问题, 需加强对农药生产使用的监管。

**关键词:**有机磷农药; 蔬菜; 残留情况; 累积暴露; 风险评估; 云南

中图分类号: R155 文献标识码: A 文章编号: 1004-8456(2019)05-0475-06

DOI: 10.13590/j.cjfh.2019.05.015

## Contamination and cumulative risk assessment of 11 organophosphorus pesticides in fresh vegetables from Yunnan Province

ZHANG Ting, WAN Yuping, DUAN Yihong, LI Yansheng, LIU Jianhui, XU Yan  
(Yunnan Center for Disease Control and Prevention, Yunnan Kunming 650022, China)

**Abstract: Objective** To analyze the contamination of 11 organophosphorus pesticides in fresh vegetables from Yunnan Province and to assess the cumulative risk after chronic exposure. **Methods** Eleven organophosphorus pesticides content

收稿日期: 2019-08-19

作者简介: 张婷 女 主管技师 研究方向为理化检验、食品风险监测和食品安全 E-mail: zting15@163.com

通信作者: 许燕 女 副主任技师 研究方向为理化检验、食品风险监测和食品安全 E-mail: xuyan\_yncdc@163.com