

风险评估

2014年陕西省食品中汞含量调查分析与风险评估

王彩霞,郭蓉,程国霞,刘宇,王辛

(陕西省疾病预防控制中心,陕西西安 710054)

摘要:目的 了解陕西省市售食品中汞污染状况,为居民日常膳食提供一定的指导建议,并对膳食中汞的暴露量进行安全性评价。方法 测定2 047份食品的汞含量,根据2002年陕西省居民膳食营养与健康状况调查数据,了解居民日常膳食的汞暴露量,以食品添加剂专家委员会(JECFA)制定的汞暂定每周可耐受摄入量(PTWI)为标准进行评估,同时,应用美国环保署(EPA)的暴露剂量-反应外推模型对汞的暴露量进行健康风险评估。结果 陕西省市售食品汞含量为0.001 31~0.013 3 mg/kg,整体检出率为60.63%(1 241/2 047),超标率为0.93%(19/2 047);陕西省居民汞每日平均暴露量为 3.51×10^{-5} mg/kg,偏高暴露量为 1.61×10^{-4} mg/kg,均低于JECFA制定的汞的暂定每周可耐受摄入量;同时以平均暴露量和偏高暴露量进行风险评估,所得个人年平均风险值均小于国际放射防护委员会(ICRP)推荐的标准 $5.0 \times 10^{-5} a^{-1}$ 。结论 除少数样品受污染外,陕西省市售食品中汞含量总体是安全的,居民通过日常膳食摄入汞所引起的健康风险甚微。

关键词:食品;汞;暴露评估;健康;风险评估;陕西

中图分类号:R155.5;P618.68 文献标志码:A 文章编号:1004-8456(2015)06-0699-04

DOI:10.13590/j.cjfh.2015.06.023

Investigation on mercury contamination in food and potential health risk in Shaanxi Province

WANG Cai-xia, GUO Rong, CHENG Guo-xia, LIU Yu, WANG Xin

(Shaanxi Provincial Center for Disease Control and Prevention, Shaanxi Xi'an 710054, China)

Abstract: Objective To understand the contamination level of mercury in all kinds of foods, and to assess the daily intake of total mercury and the possible adverse health impact. **Methods** 2 047 samples, including grain, vegetable, fruit, meat, fish and other foods were collected from Shaanxi Province, according to the surveillance plan. The dietary intake of total mercury was calculated using the test results and the results of total diet study in Shaanxi in 2002, using the PTWI recommended by WHO as reference. The health risk was assessed by using USEPA health risk assessment model. **Results** The content of mercury ranged from 0.001 31 to 0.013 3 mg/kg, the detection rate and the violation rate were 60.57% and 0.93%, respectively. The average and the higher dietary intake of mercury were 3.51×10^{-5} mg/kg and 1.61×10^{-4} mg/kg, respectively, and both of them were less than the dietary mercuric PTWI recommended by WHO. The individual health risk of mercury was lower than the standard of ICRP, which means the Shaanxi inhabitants' total diet was safe. **Conclusion** Overall, the market food of Shaanxi was safe, and the health risk of dietary mercury was negligibly small.

Key words: Food; mercury; exposure assessment; health; risk assessment; Shaanxi

汞为人体非必须元素,在自然界主要以金属汞、无机汞和有机汞3种形式存在,其中金属汞和有机汞对人体的危害最为明显。金属汞主要通过皮肤黏膜、表皮吸收和呼吸道吸入进入人体,有机汞主要通过消化道进入人体,汞对人体的神经系统、肾脏、肝脏、免疫系统、生殖系统及胚胎、发育均有毒性^[1-3]。本文对陕西省市售的2 047份居民日常消费食品中的总汞进行检测,并对检测结果进行统

计分析,根据2002年陕西省居民膳食营养与健康状况调查数据,了解居民日常膳食的汞暴露量,并与联合国粮农组织和世界卫生组织食品添加剂联合专家委员会(JECFA)制定的汞的暂定每周可耐受摄入量(PTWI)进行比较,同时应用美国环保署(EPA)的健康风险模型评价其安全性。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 样品采集

在全省607个采样地点,包括养殖或种植环节、

收稿日期:2015-08-04

作者简介:王彩霞 女 主管技师 研究方向为食品理化检验

E-mail:wcx1104@163.com

生产加工环节、超市、农贸市场、餐饮店和路边摊位等按照简单随机抽样方法进行样品采集,共采集谷物制品 562 份、新鲜蔬菜 340 份、水果 174 份、乳与乳制品 108 份、肉与肉制品 449 份、蛋及蛋制品 144 份、水产品 100 份及其他食品 170 份,共 2 047 份。

1.1.2 主要仪器与试剂

测汞仪(DMA-80,意大利迈尔斯特通)。鸡肉粉(GBW10018)、圆白菜(GBW10014)标准样品均购自中国地质科学院地球物理地球化学勘察研究所。

1.2 方法

1.2.1 检测方法及质量控制

采用直接测汞法,检出限 0.001 mg/kg。测汞仪工作程序:干燥温度 200 ℃,干燥时间 60 s;分解温度 650 ℃,分解时间 90 s;待机时间 60 s,汞齐热解时间 12 s,记录时间 30 s。

在样品测定过程中,采用测定鸡肉粉(GBW10018)、圆白菜(GBW10014)标准样品进行质量控制,测定结果较理想,见表 1。

表 1 标准样品测定结果($\bar{x} \pm s, \mu\text{g}/\text{kg}$)

Table 1 Determination results of standard samples using DMA-80

标准样品	标准值	测定值	平均测定值
圆白菜(GBW10014)	10.9 ± 1.6	11.6	10.8
		10.9	
		10.0	
鸡肉粉(GBW10018)	3.6 ± 1.5	3.0	3.1
		3.0	
		3.2	

1.2.2 膳食中总汞的暴露量计算及健康风险评估

暴露量的计算:日均单位体重暴露量 [D_{ig} , mg/kg] 计算公式如下:

$$D_{ig} = \sum_{i=1} C_i \times W_i / BW$$

式中: C_i 表示某种食物中重金属的含量(mg/kg),其中 C_i 取平均检测值计算得 D_{ig} (平均),取 P95 检测值计算得 D_{ig} (偏高); W_i 表示某种食物的日均摄入量(kg), BW 为体重(kg),以标准人的平均体重 60 kg 计^[4,6]。

膳食暴露量评估:2010 年 JECFA 第 73 次会议将无机汞(用于非鱼类食品的膳食暴露评估以总汞计)人类暂定每周允许摄入量(PTWI)由原来的 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ BW 下降至 4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ BW^[7],经折算后耐受摄入量为 5.71 $\times 10^{-4}$ mg/kg。

日常膳食的汞对人体健康风险评价:采用 EPA 暴露剂量-反应外推模型进行人体健康风险评价,非致癌污染物风险模型:

$$R_{ig}^n = \frac{D_{ig} \times 10^{-6}}{PAD_{ig} \times 70}$$

式中: R_{ig}^n 为非致癌污染物经食入途径所致健

康危害的个人平均年危险(a^{-1}); D_{ig} 为非致癌污染物经食入途径的单位体重日均暴露剂量(mg/kg); PAD_{ig} 为非致癌污染物的食入途径调整剂量(mg/kg), $PAD_{ig} = RfD_{ig}/\text{安全因子}$, RfD_{ig} 为非致癌物质参考剂量,汞为 3.0 $\times 10^{-4}$ mg/kg,安全因子取值为 10;70 为人类平均寿命(岁)^[8-10]。

2 结果与分析

2.1 各类食品中总汞的检测结果

对陕西省市售的 2 047 份日常食品中总汞的检测结果进行统计分析,结果见表 2,各类食品平均汞含量为 0.001 31 ~ 0.013 3 mg/kg,汞含量较高的 3 类食品分别是:水产品(0.013 3 mg/kg)、肉及肉制品(0.005 18 mg/kg)、蛋及蛋制品(0.003 41 mg/kg);粮食与蔬菜作为居民日常膳食的重要部分,两者的汞含量相近,其平均检测值分别为 0.001 91、0.001 98 mg/kg,明显低于中国总膳食研究的调查结果^[11],其中蔬菜总汞含量为 0.003 2 mg/kg、粮食总汞含量为 0.009 0 mg/kg,说明陕西省市售食品中总汞含量的安全性高于全国平均水平。检出率最高的前 3 类食品分别为肉及肉制品(71.05%, 319/449)、水产品(71.00%, 71/100)、粮食(63.52%, 357/562);蔬菜的超标率最高为 3.82%。

2.2 膳食中总汞的暴露量及主要来源

将各类食品中总汞的检测结果结合 2002 年陕西省居民膳食营养与健康状况调查数据^[11],计算得出陕西省居民日常膳食的汞暴露量,见表 3。从表 3 可知,整体上,陕西省农村居民日常膳食的汞 D_{ig} (平均)为 32.5 $\times 10^{-6}$ mg/kg,略高于城市居民的 D_{ig} (平均)28.1 $\times 10^{-6}$ mg/kg。按照本文所统计膳食占居民日常总膳食的 90% 进行折算^[12],汞的平均暴露量分别为城市 3.12 $\times 10^{-5}$ mg/kg、农村 3.61 $\times 10^{-5}$ mg/kg、城乡合计 3.51 $\times 10^{-5}$ mg/kg,依次分别占 PTWI(5.71 $\times 10^{-4}$ mg/kg)的百分比为 5.46%、6.32%、6.15%;汞的偏高暴露量分别为城市 1.43 $\times 10^{-4}$ mg/kg、农村 1.67 $\times 10^{-4}$ mg/kg、城乡合计 1.61 $\times 10^{-4}$ mg/kg,分别占 PTWI(5.71 $\times 10^{-4}$ mg/kg)的百分比为 25.00%、29.25%、28.20%,说明陕西省居民通过日常膳食摄入的汞不具有潜在的健康风险。

由图 1 可见,陕西省居民汞暴露量比较低的原因:①蔬菜 and 粮食占居民日常膳食的 70% ~ 80%,是汞暴露量的主要来源,其总汞含量明显低于全国平均水平,是陕西省居民总汞暴露量较低的主要原因;②按照 2002 年陕西省居民膳食营养与健康状况调查数据,水产品人均日消费量为城市 4.6 g、

表2 2014年陕西省市售各类食品中总汞检测结果
Table 2 Total mercury content of all kinds of foods in Shaanxi

样品种类	样品数 /份	平均值 /(mg/kg)	P95 /(mg/kg)	最大值 /(mg/kg)	检出率 /%	超标率 /%	国家限量值 /(mg/kg)
蔬菜	340	0.001 98	0.008 70	0.029 7	57.35 (195/340)	3.82 (13/340)	0.01
水果	174	0.001 18	0.006 80	0.014 0	48.28 (84/174)	0.00(0/174)	0.01
粮食	562	0.001 91	0.008 20	0.022 9	63.52 (357/562)	0.18 (1/562)	0.02
乳与乳制品	108	0.001 31	0.006 50	0.015 0	50.93 (55/108)	1.85 (2/108)	0.01
肉及肉制品	449	0.005 18	0.025 2	0.076 2	71.05 (319/449)	0.67 (3/449)	0.05
蛋及其制品	144	0.003 41	0.015 9	0.044 4	48.61 (70/144)	0.00(0/144)	0.05
水产品	100	0.013 3	0.047 9	0.186	71.00 (71/100)	0.00(0/100)	—
其他食品	170	0.001 76	0.012 7	0.023 0	52.94 (90/170)	0.00(0/170)	—
合计	2 047	0.003 19	0.014 0	0.186	60.63 (1 241/2 047)	0.93 (19/2 047)	—

注:—表示无相应国家标准限值

表3 陕西省居民日常膳食的汞暴露量($\times 10^{-6}$ mg/kg)

Table 3 Total mercury intake of Shaanxi Province habitants

样品种类	城市		农村		城乡合计	
	D_{ig} (平均)	D_{ig} (偏高)	D_{ig} (平均)	D_{ig} (偏高)	D_{ig} (平均)	D_{ig} (偏高)
蔬菜	6.16	27.1	8.29	36.4	7.78	34.20
水果	0.33	1.92	1.3	7.47	1.07	6.15
粮食	12.9	55.3	16.8	72.0	15.9	68.1
乳及乳制品	1.60	7.94	0.57	2.84	0.82	4.05
肉及肉制品	2.96	14.4	2.07	10.1	2.28	11.1
蛋及蛋制品	1.38	6.41	1.01	4.69	1.10	5.11
水产品	1.02	3.67	0.33	1.20	0.51	1.84
其他	1.73	12.50	2.17	15.70	2.07	14.9
合计	28.1	129	32.5	150	31.5	145

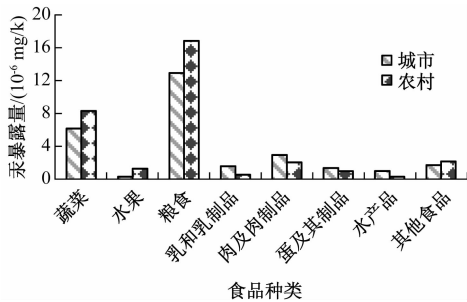


图1 汞暴露量来源示意图

Figure 1 Sources of dietary mercuric intakes

农村 1.5 g、城乡合计 2.3 g,虽然水产中汞的含量偏高,平均检测值为 0.013 3 mg/kg,但因其消费量较低,因此对汞暴露量的贡献不大。但对于水产品消费量比较高的居民,由于汞在人体内具有高富集效应,其暴露量可能较高,应引起警示。

2.3 健康风险评价

采用 EPA 暴露剂量-反应外推模型对居民日常膳食中汞的摄入量进行人体健康风险评价,健康危害的平均个人年风险值见表 4。无论是以平均摄入量参与评估,还是以偏高摄入量参与评估,所得个人年风险值均在 $10^{-8} a^{-1}$ 数量级,远小于国际放射防护委员会(ICRP)推荐的标准 $5.0 \times 10^{-5} a^{-1}$ [13],说明居民由日常膳食所摄入的汞引起的健康风险甚微。

表4 日常膳食中总汞的健康危害平均个人年风险值(a^{-1})

Table 4 Values of individual health risk of total mercury

暴露量	城市	农村	城乡合计
平均暴露量	1.49×10^{-8}	1.72×10^{-8}	1.67×10^{-8}
偏高暴露量(P90)	6.81×10^{-8}	7.95×10^{-8}	7.67×10^{-8}

3 小结

本研究表明,陕西省除少数食品汞含量超出中国食品卫生中总汞限量外,大部分食品均未超过此标准。通过对陕西省居民日常膳食的汞暴露量 and 其所引起的健康风险进行研究,表明陕西省居民经日常膳食所致的汞暴露量明显低于 JECFA 制定的 PTWI,其所致的个人年风险值亦明显低于 ICRP 推荐的最大可接受值 $5.0 \times 10^{-5} a^{-1}$,所以整体而言,陕西省市售食品总汞含量是安全的,日常膳食所致汞暴露量引起的健康风险甚微。

此外,近年来随着社会经济的发展,居民生活水平的提高,饮食结构随之变化,居民的日常膳食结构必定存在大幅度的调整,因此为了实现科学有效的健康风险评估,必须加快居民日常膳食调查的步伐,尤其是汞含量偏高食品的消费量调查,希望有关部门尽快行动起来。

参考文献

[1] 郑徽,金银龙.汞的毒性效应及作用机制研究进展[J].卫生

- 研究,2006,35(5):663-666.
- [2] 许韞,李积胜.汞对人体健康的影响及其防治[J].国外医学卫生学分册,2005,32(5):278-281.
- [3] 张燕萍,颜崇淮,沈晓明.环境中汞污染来源、人体暴露途径及其检测方法[J].广东微量元素科学,2004,11(6):11-15.
- [4] 张从.环境评价教程[M].北京:中国环境科学出版社,2002:141-149.
- [5] 王陇德.中国居民营养与健康状况调查报告之一:2002综合报告[M].北京:人民卫生出版社,2005:4-15.
- [6] International Programme on Chemical Safety. ICPS environmental health criteria 240: principles and methods for the risk assessment of chemicals in food[M]. Geneva: WHO, 2009:6-13.
- [7] World Health Organization Technical Report Series. Evaluation of certain food additives and contaminations: seventy-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives[R]. Geneva: WHO, 2010:162-212.
- [8] 国家环保总局.中国环境影响评价培训教材[M].北京:化学工业出版社,2000:281-292.
- [9] US EPA. Risk-based concentration table[R]. Washington DC: United States Environment Protection Agency, 2000.
- [10] US EPA. Mercury study report to congress health effects of mercury and mercury compounds(V01.V)[R]. Washington DC: United States Environment Protection Agency, 1997.
- [11] 李筱薇,高俊金,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.
- [12] 张颖,徐曾康,郁惠莲,等.陕西省城乡居民膳食营养状况对比分析[J].公共卫生与预防医学,2009,20(3):20-23.
- [13] US EPA. Available information on assessment exposure from pesticides in food[R]. Washington DC: United States Environment Protection Agency, Office of Pesticide Programs, 2000.

《食品科学》杂志 2016 年征订启事

- 2013 中国百强报刊
- 国家自然科学基金资助重点学术期刊
- 百种中国杰出学术期刊
- 中国精品科技期刊
- 中国权威学术期刊
- 中文核心期刊
- 中国科技核心期刊
- 中国期刊方阵双效期刊
- 中国农业核心期刊
- 第三届中国出版政府奖期刊提名奖
- 学位与研究生教育中文重要期刊
- 中国科学引文数据库核心库收录期刊
- 美国《化学文摘》收录期刊
- 英国《食品科技文摘》收录期刊
- 日本科学技术社数据库收录期刊
- 中国生物学文献数据库收录期刊

●中国学术期刊文摘(英文版)收录期刊 2016 年《食品科学》杂志,大 16 开,信息量大,收纳范围广,信息传递快,内容丰富,印刷精美。每月 15 日、25 日出版。栏目有:基础研究、工艺技术、成分分析,安全检测,营养卫生、生物工程、包装贮运、专题论述。

邮发代号:2-439 国内刊号:CN11-2206/TS 国外刊号:ISSN 1002-6630

全国各地邮局均可订阅 发行部常年办理邮购

半月刊 定价:40 元/册 全年定价:960 元

订阅方法:

1. 现金订阅:直接通过邮局汇款至北京市西城区禄长街头条 4 号《食品科学》编辑部收。

邮政编码:100050 手机:0-13621026321

联系电话:010-83155446/47/48/49/50 转 8010

传 真:010-83155436 联系人:李向芳

网 址:www.chnfood.cn 电子邮箱:foodsci@126.com

2. 银行汇款:账 户:中国食品杂志社 开户行:工行阜外大街支行

账 号:0200049209024922112