

produce wash on bacterial contamination of lettuce in a food service setting[J]. Journal of Food Protection, 2003, 66(12): 2359-2361.

[16] 朱江辉,任鹏程,徐海滨,等. 中国鸡肉沙门菌厨房内交叉污染模型初探[J]. 中国食品卫生杂志, 2016, 28(3): 382-388.

[17] Nauta M J, Jacobs-Reitsma W F, Havelaar A H. A risk assessment model for *Campylobacter* in broiler meat[J]. Risk Analysis, 2007, 27(4): 845-860.

[18] M'ikanatha N M, Sandt C H, Localio A R, et al. Multidrug-resistant *Salmonella* isolates from retail chicken meat compared with human clinical isolates[J]. Foodborne Pathogens and Diseases, 2010, 7(8): 929-934.

[19] Wegener H C, Hald T, Lo F W D, et al. *Salmonella* control programs in Denmark[J]. Emerging Infectious Diseases, 2003, 9(7): 774-780.

[20] Pouillot R, Garin B, Ravaonindrina N, et al. A risk assessment of campylobacteriosis and salmonellosis linked to chicken meals prepared in households in Dakar, Senegal[J]. Risk Analysis, 2012, 32(10): 1798-1819.

风险评估

济南市居民膳食中汞暴露评估

刘守钦,杨柳,张军,李士凯,曹晓丽,刘辉  
(济南市疾病预防控制中心,山东 济南 250021)

**摘要:**目的 了解济南市居民主要食品中总汞污染现状,评估汞暴露风险。方法 对 2010—2012 年济南市谷类、蔬菜类、菌藻类、畜肉类、禽肉类(鸡肝)、乳类、蛋类和水产品及其制品中的总汞含量进行监测;以 2002 年山东省居民营养与健康状况调查和 JECFA 2010 年制定的汞的暂定每周耐受摄入量(PTWI)4 μg/kg BW 为参数,应用点评估法计算济南市居民膳食中汞暴露水平,并进行风险特征描述。结果 共监测 8 类 175 份样品,总汞平均含量为 19.01 μg/kg, P50 为 9.00 μg/kg,总检出率为 97.14% (170/175),总超标率为 8.57% (15/175)。8 类食品均检出汞,水产品的检出率最低,为 89.36% (42/47),鸡肝的总汞平均含量最高,达 83.60 μg/kg。济南市居民 7 类(除菌藻类)主要膳食中总汞每周平均暴露量为 1.31 μg/kg BW,占 PTWI 的 32.75%。总汞贡献率较高的食品为谷类、蔬菜类及畜肉类,贡献率分别为 28.24%、22.90% 和 22.14%,3 类食品对居民膳食中汞的总贡献率为 73.28%。结论 济南市居民主要膳食中汞暴露水平在安全限值以内,通过膳食摄入汞风险较小。

**关键词:**汞;重金属;食品污染物;膳食暴露;点评估;风险评估;食品安全;济南

中图分类号:R155 文献标志码:A 文章编号:1004-8456(2016)05-0676-04  
DOI:10.13590/j.cjfh.2016.05.026

Dietary mercury exposure assessment among population in Jinan  
LIU Shou-qin, YANG Liu, ZHANG Jun, LI Shi-kai, CAO Xiao-li, LIU Hui  
(Jinan Center for Disease Control and Prevention, Shandong Jinan 250021, China)

**Abstract: Objective** To investigate the overall dietary mercury contamination in main foods and assess the risk for Jinan residents. **Methods** Surveillance on mercury contents in grains, vegetables, edible fungi and algae, livestock and poultry, dairy products, eggs and aquatic products was conducted in Jinan from 2010 to 2012. According to the average food intake of Shandong residents and the mercury PTWI 4 μg/kg BW in food established by JECFA in 2010, the point assessment method was applied to assess the exposure risk for local residents and to describe the characteristics of the risks. **Results** 175 food samples of 8 kinds were tested. The average mercury contents were 19.01 μg/kg, and the 50<sup>th</sup> percentile (P50) was 9.00 μg/kg. The total detection rate was 97.14% and the violation rate was 8.57%. The mercury was detected in all samples and the detection rate in aquatic products was the lowest (89.36%). The mercury content in chicken liver was the highest (83.60 μg/kg). The average weekly mercury intake from food in Jinan was estimated to be 1.31 μg/kg BW, accounted for 32.75% of PTWI. Grains, vegetables and livestock meat together contributed 73.28% to the total dietary mercury intake. **Conclusion** The level of dietary mercury exposure from food in Jinan was within safety limit.

**Key words:** Mercury; heavy metal; food contaminant; dietary exposure; point estimation; risk assessment; food safety; Jinan

汞是一种广泛分布于环境中的毒性金属。作为一种全球性环境污染物,对人体的影响主要表现为低剂量、长期暴露引起的多系统慢性损害,主要对肝脏、肾脏、生殖系统及神经系统产生影响。目前对于非职业人群,食物是人体汞暴露的主要途径<sup>[1-2]</sup>。汞在食物中主要以有机汞和无机汞的形态存在,其中有机汞的毒性大于无机汞,甲基汞的毒性最大。一般情况下,金属汞和无机汞进入人体后大部分可以排泄出去,但当元素汞或无机汞在厌氧甲烷细菌作用下转化为甲基汞后毒性大增,并通过富集作用在人体内蓄积,主要蓄积在中枢神经系统,严重可导致“水俣病”。甲基汞还能通过血脑屏障和胎盘屏障影响胎儿的中枢神经系统<sup>[3]</sup>。本研究通过分析 2010—2012 年济南市 8 类食品中总汞含量的监测数据,对居民膳食中汞暴露水平进行评估,有助于了解济南市主要食品中汞的污染现状,评估济南市居民主要膳食中汞暴露的风险,为食品安全预防工作指引方向,并为指导居民合理调整膳食结构提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 数据来源

1.1.1 含量数据

样品采集于 2010—2012 年,采集过程严格按照《食品安全风险监测工作手册》<sup>[4]</sup>中规定的采样技术要求进行。样品主要来自济南市的商场超市、农贸市场、批发市场、生产企业、农户及餐饮单位等,共 8 类 175 份。其中,谷类包括小麦、大米和玉米面;蔬菜类包括叶菜和茎块菜;食用菌包括香菇、平菇及金针菇;畜肉类包括猪、牛、羊肉及猪肝;乳类包括生乳、发酵乳和奶粉;蛋类包括鸡蛋、鸭蛋、鹌鹑蛋及皮蛋;水产品包括海水鱼类、甲壳类、双壳类、腹足类和头足类等,及禽肉类的鸡肝。采样时间为 4~11 月,采样量不低于 500 g,样品采集后冷藏保存 8 h 内送至实验室检测。

1.1.2 食物消费量数据

研究中引用的食品种类及消费量数据源自 2002 年山东省居民营养与健康状况调查结果<sup>[5]</sup>。该调查中缺乏山东省居民菌藻类食品消费水平,因此,后续的暴露评估仅计算除菌藻类以外的 7 类食品的暴露水平。

1.2 方法

1.2.1 样品检测 and 数据处理

采用 GB/T 5009.17—2003《食品中总汞及有机汞测定》<sup>[6]</sup>规定的原子荧光光度法测定样品中总汞

含量。总汞的检出限(LOD)为 0.000 1 mg/kg。按照 GB 2762—2012《食品安全国家标准 食品中污染物限量》<sup>[7]</sup>规定的汞限量标准进行判定;皮蛋按照 GB 2749—2003《蛋制品卫生标准》<sup>[8]</sup>的规定标准进行评价。总汞含量低于 LOD 的食品样品按 1/2LOD 计算<sup>[9]</sup>。

1.2.2 暴露评估

采用点评估的方法计算膳食暴露量<sup>[10]</sup>。以标准人每种食品的平均消费量(每人每天平均消费量)乘以相应食品中总汞的平均含量,然后累加得到膳食中总汞的总暴露量,并计算不同类别食品总汞的贡献率。标准人体重按 60 kg 计算。计算公式如下:

$$EXP = \frac{\sum_{k=1}^n x_{kmean} \times c_{kmean}}{BW_{mean}} \times 7$$

式中,EXP 为膳食中无机汞的每周平均暴露量(μg/kg BW); $x_{kmean}$ 是标准人中第 k 种食品的平均消费量(g/d), $c_{kmean}$ 是第 k 种食品中总汞的平均含量(μg/g),n 为食品种类数目, $BW_{mean}$ 为标准人平均体重,此处为 60 kg。

膳食中汞的贡献率(%) = 某类食品总汞的暴露量/各类食品总汞暴露量之和

1.2.3 风险特征描述

采用联合国粮农组织(FAO)/世界卫生组织(WHO)食品添加剂联合专家委员会(JECFA)2010 年制定的食品中无机汞的暂定每周耐受摄入量(PTWI)4 μg/kg BW 作为健康指导值<sup>[11]</sup>。暴露水平与 PTWI 进行比较,暴露量低于 PTWI,则风险可以接受。

1.3 统计学分析

运用 SPSS 20.0 进行数据分析。

2 结果

2.1 食品中总汞含量

共检测 8 类 175 份样品,总汞平均含量为 19.01 μg/kg,总检出率为 97.14% (170/175),总超标率为 8.57% (15/175),见表 1。超标样品分别为蔬菜中芹菜、菠菜、茼蒿、莴苣及小白菜各 1 份;畜肉类中羊肉 1 份、猪肝 2 份;鸡肝 3 份以及生乳 4 份。其他类食品均无超标。谷类、蔬菜类、菌藻类、畜肉类、禽肉类(鸡肝)、乳类及蛋类的检出率为 100%,水产品的检出率最低为 89.36%。猪肝总汞含量较高为 195.4 μg/kg,其次为鸡肝,总汞含量为 83.60 μg/kg。

表 1 2010—2012 年济南市主要食品中总汞含量  
Table 1 Main content of total mercury in food in Jinan, 2010-2012

食物类别	样品数/份	检出率/%	超标率/%	总汞含量/(μg/kg)			
				$\bar{x} \pm s$	P50	最小值	最大值
谷类	30	100.00(30/30)	0.00(0/30)	8.83 ± 2.31	8.00	6.00	15.00
蔬菜类	10	100.00(10/10)	50.00(5/10)	12.60 ± 7.76	10.00	5.00	26.50
菌藻类	7	100.00(7/7)	0.00(0/7)	10.00 ± 5.80	6.00	5.00	20.00
畜肉类	25	100.00(25/25)	12.00(3/25)	49.88 ± 170.36	13.50	6.00	865.00
禽肉类(鸡肝)	5	100.00(5/5)	60.00(3/5)	83.60 ± 75.32	55.00	21.00	213.00
乳类	21	100.00(21/21)	19.05(4/21)	9.19 ± 5.84	7.00	6.00	32.50
蛋类	30	100.00(30/30)	0.00(0/30)	11.80 ± 5.59	10.00	7.00	36.00
水产品	47	89.36(42/47)	0.00(0/47)	27.86 ± 40.77	18.00	ND	208.00
合计	175	97.14(170/175)	8.57(15/175)	19.01 ± 65.27	9.00	ND	865.00

注:ND 为未检出

2.2 膳食中总汞暴露水平

济南市居民 7 类食品中总汞的每周平均摄入量为 1.31 μg/kg BW,未超过 PTWI(4 μg/kg BW),表明经膳食暴露于总汞的健康风险较低。其中谷类中总汞的平均每周暴露量较高,蔬菜类和畜肉类次之,分别为 0.37、0.30 和 0.29 μg/kg BW。膳食中总汞暴露主要来源于谷类(28.24%)、蔬菜类(22.90%)及畜肉类(22.14%)3 类食品,累计贡献率为 73.28%,见表 2。

表 2 居民膳食总汞暴露水平

Table 2 Levels of total dietary exposure to mercury				
食物类别	平均含量 /(μg/kg)	平均日消费量 /(g/标准人)	汞平均周暴露量 /(μg/kg BW)	贡献率 /%
谷类	8.7	363.1	0.37	28.24
蔬菜类	12.7	202.2	0.30	22.90
畜肉类	49.5	50.2	0.29	22.14
禽肉类(鸡肝)	86.4	11.9	0.12	9.16
乳类	8.8	39.1	0.04	3.05
蛋类	10.9	47.0	0.06	4.58
水产品	28.1	39.7	0.13	9.92
合计	14.9	753.2	1.31	100.00

3 讨论

近年来随着我国经济的持续发展,城乡居民的营养状况得到明显改善。在满足了食物量供应的同时,食品安全越来越引起全社会的广泛关注。随着近代工业的发展,重金属向大气、水和土壤中不断转移,进而间接污染农产品。因此,食品中重金属污染是导致食品安全问题的一个重要原因。一些重金属可以通过食物链富集,使人类对重金属污染物的暴露量明显增加,长期接触或摄入重金属,会对人体的各个脏器造成严重危害。全球气候变暖、酸雨、臭氧层耗损、森林砍伐以及矿山活动等引发环境变化的同时,全球汞的环境过程亦在不断变化<sup>[12]</sup>。汞及其化合物可通过工业三废污染环境,进而污染食品,长期摄入被汞污染的食物可引起慢性汞中毒,尤以甲基汞中毒为甚<sup>[13]</sup>。

为了控制汞的健康危害,1976 年联合国环境规划署(UNEP)、FAO 及 WHO 共同制定了全球食品污染物监测计划,其目的是保护全球食品消费者健康,目前已有近 70 个国家加入此项计划,我国是成员国之一。2010 年 JECFA 第 72 次会议将无机汞(用于非鱼贝类食品的膳食暴露评估以总汞计)的 PTWI 由 5 μg/kg BW 下降至 4 μg/kg BW,对于鱼贝类食品则采用甲基汞 PTWI(1.6 μg/kg BW,2003 年 JECFA 提出,2006 年 JECFA 第 67 次会议确认)进行限量管理。我国参照 CAC 标准以及我国大宗、热点产品及其加工情况,制定了 GB 2762—2012 对食物中汞含量进行限定。根据规定,水产品可先测定总汞,当总汞不超过甲基汞时,不必测定甲基汞<sup>[7]</sup>。2010—2012 年济南市监测的水产品中总汞水平均未超过甲基汞限量值,因此未进行甲基汞的检测。

通过对济南市居民主要膳食中汞暴露的评估发现,食品中总汞的检出率高,超标食品为蔬菜类、畜禽产品及乳制品,水产品总汞含量均在限值之内。宋晓昀<sup>[14]</sup>利用 2002 年全国居民营养与健康状况调查中连续 3 天 24 小时膳食回顾法收集的食物消费量,以及 2000—2002 年全国 12 个食品污染物监测网及 2005—2006 年全国 22 个海关出口农产品中汞的监测数据,计算中国居民膳食中总汞暴露水平。其所运用的食物消费量与本研究中的数据收集方法一致,但食品中汞的监测数据来源不同,宋晓昀的数据来源于全国各监测点,本文的数据为济南市的监测数据,用来评价济南市居民的暴露水平。宋晓昀<sup>[14]</sup>的结果显示城市居民平均每日膳食中汞暴露量为 3.725 μg/kg BW,农村居民为 4.625 μg/kg BW,均高于本研究中对济南市汞暴露评估水平。郑晓南等<sup>[15]</sup>的研究结果显示,2011—2012 年大连市食品中汞的超标率为 15.56%,高于本研究的 8.57%,并且畜肉类超标为主与本研究结果一致。但郑晓南等<sup>[15]</sup>的研究未对食品中汞的暴露水平进行评估。

本研究运用点评估的方法评价 2010—2012 年济南市居民主要膳食中汞暴露风险。采用食物中总汞的平均含量,结合标准人的平均消费量,计算膳食中总汞的平均暴露量,因此无法计算高消费食物量人群的暴露水平,以及相应的健康风险;另外,对于水产品中的汞进行风险评估时,应采用甲基汞含量,结合食物消费量,计算甲基汞暴露水平,再与甲基汞的 PTWI 比较,进行风险特征描述。但本研究中水产品中的总汞含量低于甲基汞的限量标准,未检测甲基汞含量水平,因此运用总汞含量计算暴露水平,并采用无机汞的 PTWI 进行风险特征描述,具有一定的不确定性。研究中引用的食品种类及消费量依据 2002 年山东省居民营养与健康状况调查结果<sup>[5]</sup>,调查中未列出山东省居民菌藻类食品消费水平。监测数据显示,济南市市售菌藻类食品总汞含量未超标,并且菌藻类在食品中的消费比重较低,所以研究中未计算菌藻类总汞的暴露水平。此外,该调查数据距今已有十年,饮食习惯及消费结构的变化,以及监测的食品种类未包括所有含汞的食品,均可能使评估结果产生一定的偏差。

总体而言,济南市居民膳食中汞累积平均暴露水平位于安全限值以内,表明对普通居民而言,通过膳食摄入汞风险较低。但值得注意的是,监测中发现鸡肝和猪肝的总汞水平较高应引起重视。

参考文献

[ 1 ] Mergler D, Anderson H A, CHAN L H M, et al. Methylmercury

exposure and health effects in humans;a worldwide concern[ J]. Ambio,2007,36( 1 ):3-11.

[ 2 ] ZHANG L,WANG M H. Environmental mercury contamination in China:sources and impacts[ J]. Environ International,2007,33( 1 ):108-121.

[ 3 ] 曹会兰. 汞的污染和危害[ J]. 陕西环境,2003,10( 1 ):44-45.

[ 4 ] 梁春穗,罗建波. 食品安全风险监测工作手册[ M]. 北京:中国标准出版社,2012.

[ 5 ] 周景洋,张俊黎. 山东省居民膳食营养与健康状况[ M]. 济南:山东电子音像出版社,2008:28-31.

[ 6 ] 中华人民共和国卫生部. GB/T 5009. 17—2003 食品中总汞及有机汞测定[ S]. 北京:中国标准出版社,2003.

[ 7 ] 中华人民共和国卫生部. GB 2762—2012 食品安全国家标准食品中污染物限量[ S]. 北京:中国标准出版社,2012.

[ 8 ] 中华人民共和国卫生部. GB 2749—2003 蛋制品卫生标准[ S]. 北京:中国标准出版社,2003.

[ 9 ] 罗炜. 食品安全风险分析化学危害评估[ M]. 北京:中国质检出版社,中国标准出版社,2012:133.

[ 10 ] Renwick A G. Pesticide residue analysis and its relationship to hazard characterization ( ADI/ARfD ) and intake estimations ( NEDI/NESTI ) [ J ]. Pest Manag Sci, 2002, 58 ( 10 ): 1073-1082.

[ 11 ] JECFA. Evaluation of certain food additives and contaminants [ R]. Geneve:WHO Technical Report Series,2011.

[ 12 ] 王起超,刘汝梅,吕宪国,等. 湿地汞环境过程研究进展[ J]. 地球科学进展,2002,17( 6 ):881-885.

[ 13 ] 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.

[ 14 ] 宋晓昀. 中国居民汞、砷膳食暴露评估研究[ D]. 南京:东南大学,2010.

[ 15 ] 郑晓南,王智勇,李瑞,等. 2011—2012 年大连市食品中镉、汞含量的调查[ J]. 预防医学论坛,2014,20( 12 ):905-906.

· 资讯 ·

《2016 中国国民果蔬关注度大数据》首次发布

《2016 中国国民果蔬关注度大数据》近日发布。该报告是由中华预防医学会健康传播分会、今日头条、清华大学健康传播研究所联合首次发布的,这也是由国家卫生计生委相关部门、中国记协、中国营养学会联合发起、Zespri 佳沛新西兰奇异果支持的“中国健康知识传播激励计划(果蔬营养与膳食平衡)”的一部分。中国疾病预防控制中心营养与健康所所长、中国营养学会副理事长丁钢强表示,近期调查显示,近十年间,中国人均果蔬摄入量仍在减少。鉴于蔬菜、水果在均衡膳食中的重要作用,建议成年人应该按照膳食指南推荐,每天吃 300 ~ 500 g 蔬菜、200 ~ 350 g 水果,其中深色蔬菜应占一半以上。

( 摘自北京青年报,相关链接: [http://epaper.ynet.com/html/2016-09/06/content\\_216630.htm](http://epaper.ynet.com/html/2016-09/06/content_216630.htm) )