

## 风险评估

## 我国成人居民膳食中铅暴露风险评估

毛伟峰,杨大进,隋海霞,刘爱东

(国家食品安全风险评估中心 卫生部食品安全风险评估重点实验室,北京 100022)

**摘要:**目的 评估我国成人居民膳食中铅暴露量及其健康风险。方法 利用2014年全国21类食物中铅含量数据、2002年中国居民营养与健康状况调查和2013年中国居民饮料、饮料酒消费状况调查中的食物消费量数据,采用简单分布评估的方法,计算我国成人膳食中铅暴露水平及其分布情况,并利用暴露限值(MOE)方法对潜在健康风险进行评估。结果 虽然我国成人膳食的铅暴露水平总体呈下降趋势,但是我国成人仍有0.61%的个体MOE值 $\leq 1$ 。大米及其制品、面粉及其制品、蔬菜和畜肉是我国成人膳食中铅的主要来源,占膳食总暴露量70%以上。结论 我国成人居民膳食中铅暴露导致的健康风险较低,但有0.61%的个体健康风险需要关注。

**关键词:**膳食暴露;铅;风险评估;简单分布评估;暴露限值;成人

中图分类号:R155.5;P618.42 文献标志码:A 文章编号:1004-8456(2016)01-0107-04

DOI:10.13590/j.cjfh.2016.01.024

**Risk assessment of dietary lead exposure in Chinese adult population**

MAO Wei-feng, YANG Da-jin, SUI Hai-xia, LIU Ai-dong

(Key Laboratory of Food Safety Risk Assessment of Ministry of Health, China National Center for Food Safety Risk Assessment, Beijing 100022, China)

**Abstract: Objective** To evaluate Chinese adult dietary lead intake level and its potential health risks. **Methods** Concentration data of lead of 21 food categories in 2014, food consumption data from Chinese Nutrition and Health Survey 2002, and beverage consumption data from Chinese Beverage and Alcoholic Beverage Consumption Survey 2013 were used to calculate dietary exposure of lead among Chinese adult population by simple distribution model. The margin of exposure (MOE) method was adopted to assess the potential health risks of dietary lead exposure. **Results** The MOE values of mean, median and high consumption (P97.5) dietary lead exposure among all adults were over 1, so did the values among different areas and age-gender specified population. However, there were 0.61% of adults whose MOE values were less than or equal to 1. It was indicated that the main sources of dietary lead were rice and its products, flour and its product, vegetables and meat, which contributed more than 70% of total dietary lead exposure. **Conclusion** It suggested that the potential health risks caused by dietary lead exposure in Chinese adult population was of low concern, but there still were 0.61% of the population need further consideration.

**Key words:** Dietary exposure; lead; risk assessment; simple distribution model; margin of exposure; adult

铅(Pb)是一种在自然界中广泛分布的重金属污染物,并被广泛应用于涂料、蓄电池等全国工业生产中,食品生产加工过程中机械、容器、管道也有铅的污染,最终通过环境迁移使粮食、蔬菜、水产品等各类食品受到不同程度地污染,对人体产生健康影响<sup>[1]</sup>。铅在人体内长期蓄积,半衰期可长达14年。长期铅暴露可对神经系统、心血管系统和肾脏

等造成累积危害作用<sup>[2]</sup>。世界卫生组织已经确定铅是引起主要公共卫生问题的十大化学品之一<sup>[3]</sup>。

2010年,联合国粮农组织/世界卫生组织(FAO/WHO)食品添加剂联合专家委员会(JECFA)撤销了铅的健康指导值暂定每周耐受摄入量(PTWI),并认为目前尚无法确定一个可有效保护健康的铅暴露阈值,并要求成员国采取尽可能的措施降低膳食中的铅暴露<sup>[1]</sup>。近年来,我国高度关注环境(包括食品)铅污染问题。因此,了解我国膳食中铅暴露对居民健康的潜在风险至关重要。本文利用我国21类食品中铅含量数据,结合2002年中国居民营养与健康状况调查和2013年中国居民饮料、饮料酒消费状况调查数据,采用简单分布评估进行我国成人居民膳食中铅暴露的风险评估,为制定食

收稿日期:2015-11-23

基金项目:国家科技重大专项课题(2014ZX09304307-002-006)

作者简介:毛伟峰 女 助理研究员 研究方向为食品中化学物质的风险评估 E-mail:maoweifeng@cfsa.net.cn

通信作者:刘爱东 男 副研究员 研究方向为食品中化学物质的风险评估 E-mail:liuaidong@cfsa.net.cn

品安全标准和食品安全管理措施提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 食物中铅含量数据

铅含量数据来自全国31个省、自治区和直辖市食品采样的检测结果,清理后所使用的数据为71 954条,包括大米及其制品、面粉及其制品、其他谷类、芸薹类蔬菜、嫩茎叶类蔬菜、根茎类蔬菜、豆类蔬菜、茄果椒类蔬菜、薯类、畜肉、禽肉、内脏、鱼类、虾蟹类、软体贝类、浆果和小粒果、其他水果、液态乳、饮料、皮蛋和其他蛋类等21类主要食品中铅含量数据。

#### 1.1.2 食物消费量数据来源

饮料和液态乳消费量数据来自2013年中国居民饮料、饮料酒消费状况调查数据;其余食物消费量数据均来自2002年中国居民营养与健康状况调查数据。食物消费量数据均采用3 d 24 h膳食回顾方法收集,并计算平均每日各类食物的消费量。本研究仅对18岁及以上成年人群进行膳食中铅暴露量评估,并根据人群能量摄入和食物消费模式等,将人群分为18~50岁(男、女)、51~65岁(男、女)和66岁及以上(男、女)6个性别-年龄组。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 食品中铅含量的检测方法

所有样品检测方法均采用石墨炉原子吸收法或电感耦合等离子体质谱法。各省检测数据都经过发放统一制备的质控样品进行考核,数据报送后均完成了数据复审核查<sup>[4]</sup>。在实际检测中,各实验室间的检出限(LOD)存在着一定的差异,实际LOD范围为0.001~0.05 mg/kg,符合评估需求。

#### 1.2.2 食品中铅含量未检出数值的处理

根据WHO全球环境监测系统/食品污染监测与评估规划(GEMS/FOOD)第二次会议上提出的“食品中低水平污染物可信评价”原则,当未检出数据的比例低于60%时,所有未检出数据用 $1/2LOD$ 替代;当未检出数据的比例高于60%时,所有未检出数据用LOD替代<sup>[5]</sup>。

#### 1.2.3 各类食品中铅暴露量计算

本次评估采用简单分布模型,利用2002年中国居民营养与健康状况调查和2013年中国居民饮料、饮料酒消费状况调查中18岁及以上人群每个个体的各类食物消费数据和体重数据,并将2013年中国居民饮料、饮料酒消费状况调查各个性别-年龄组的饮料和液态乳的平均消费量合并到2002年中国居民营养与健康状况调查数据库中,结合每类食品中铅含量数据,计算每个个体每天每公斤体重的铅暴

露量,其公式为:

$$EXP = \sum_{i=1}^n \frac{(F_i \times C_i)}{W_i}$$

其中:EXP为某个体的每日每公斤体重铅暴露量,μg/kg BW; $F_i$ 为某个体第*i*种食物的消费量,g/kg; $C_i$ 为第*i*种食物中铅含量平均值,μg/kg; $W$ 为某个体的体重,kg。

数据清理和统计分析采用IBM SPSS 19.0软件完成。

#### 1.2.4 评估方法

由于目前尚无法确定一个可有效保护健康的铅暴露阈值,所以本研究采用暴露限值(MOE)方法对膳食中铅暴露的潜在危害进行风险评估,计算公式为: $MOE = BMDL_{01}/\text{暴露量}$ 。其中:以成年人心血管效应(收缩压升高)作为毒性效应终点,成年人收缩压基准剂量下限值( $BMDL_{01}$ )为1.3 μg/kg BW<sup>[2]</sup>。MOE值越大,表示风险越低,当 $MOE > 1$ 时,可认为健康风险相对较低。当 $MOE \leq 1$ 时,就认为存在着一定的健康风险。

## 2 结果

### 2.1 我国成人膳食中铅暴露水平

采用全国各类食品中铅平均含量和相应食物的个体消费量数据,计算我国不同性别-年龄组人群膳食中铅暴露量,见表1。我国成人每日膳食中铅均数暴露量为0.54 μg/kg BW,中位数暴露量为0.51 μg/kg BW,高端暴露人群(P97.5)膳食中铅暴露量为1.04 μg/kg BW;农村成人每日膳食中铅暴露量平均值和各百分位数均高于城市;按性别年龄分组可见,除66岁及以上人群组暴露量较低之外,其余各组暴露量均数和各百分位数相差不大。

### 2.2 我国成人膳食中铅暴露水平的MOE值

我国18岁及以上人群、农村和城市以及不同性别-年龄组膳食中铅均数、中位数和高端暴露人群(P97.5)暴露量的MOE值均大于1,说明我国成人膳食中铅暴露的风险相对较小。但我国18岁及以上人群、城市和农村分别有0.61%、0.17%和0.83%的个体其MOE值 $\leq 1$ ,存在一定的健康风险,提示可能会导致成人的血压升高,结果见表2。

### 2.3 我国成人各类食物膳食中铅暴露量及食物贡献率

本次评估所检测的各类食物对我国成人膳食中铅暴露的贡献率见图1。由图可见,大米及其制品对我国成人膳食中铅暴露的贡献率为25.82%,远高于其他类别食物;其次为面粉及其制品和嫩茎叶类蔬菜,其贡献率分别为16.48%和15.93%;除

表1 我国成人不同性别-年龄组和地区人群膳食中的铅暴露量

Table 1 Dietary exposure of lead in different age-sex groups and areas of Chinese adult

人群分组	人数	膳食中铅暴露量/( $\mu\text{g}/\text{kg BW}$ )						
		均数	P50	P75	P90	P95	P97.5	最大值
18~50岁男	15 936	0.55	0.52	0.66	0.81	0.92	1.04	2.47
18~50岁女	18 687	0.56	0.53	0.68	0.83	0.95	1.08	2.33
51~65岁男	6 432	0.54	0.51	0.65	0.80	0.92	1.02	2.32
51~65岁女	6 630	0.53	0.49	0.64	0.80	0.92	1.05	2.39
$\geq 66$ 岁男	2 853	0.48	0.45	0.58	0.74	0.84	0.93	2.33
$\geq 66$ 岁女	2 856	0.49	0.45	0.60	0.76	0.88	0.98	2.41
城市	17 831	0.47	0.44	0.58	0.73	0.82	0.93	2.47
农村	35 563	0.58	0.55	0.69	0.85	0.97	1.09	2.41
全人群	53 394	0.54	0.51	0.66	0.81	0.93	1.04	2.47

表2 我国成人不同性别-年龄组和地区膳食中铅均数和中位数暴露量 MOE 值

Table 2 MOE values of dietary lead in different age-sex groups and areas of Chinese adult

人群分组	均数 MOE 值	中位数 MOE 值	P97.5 MOE 值	MOE $\leq 1$ 的个体比例/%
18~50岁男	2.36	2.50	1.25	0.63
18~50岁女	2.32	2.45	1.20	0.72
51~65岁男	2.41	2.55	1.27	0.62
51~65岁女	2.45	2.65	1.24	0.47
$\geq 66$ 岁男	2.71	2.89	1.40	0.28
$\geq 66$ 岁女	2.65	2.89	1.33	0.39
城市	2.77	2.95	1.40	0.17
农村	2.24	2.36	1.19	0.83
全人群	2.41	2.55	1.25	0.61

此之外,贡献率超过 5% 以上的食品还有畜肉和茄果椒类蔬菜,贡献率分别为 8.24% 和 5.31%。大米及其制品、面粉及其制品、嫩茎叶类蔬菜、畜肉和茄果椒类蔬菜 5 类食物累加贡献率已达 71.78%。

## 2.4 与国内外研究结果比较

本次研究所获得的膳食中铅暴露量均数和中

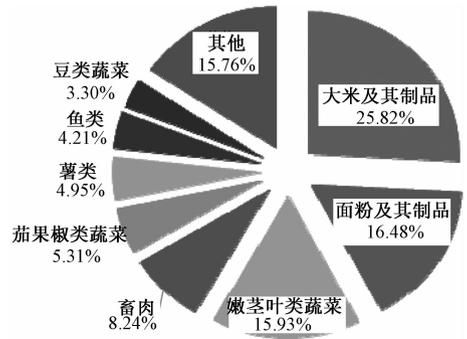


图1 不同食物对膳食中铅暴露的贡献率  
Figure 1 Contribution of dietary exposure of lead in different foods

位数与 2000 年<sup>[6]</sup>和 2007 年<sup>[7]</sup>中国总膳食研究结果相比,各性别-年龄组中位数暴露量呈明显下降趋势,而膳食中铅暴露量均数的变化趋势则先保持基本不变再明显下降,而 97.5 百分位数膳食中铅暴露量则呈先明显升高再明显下降趋势,所以我国成人居民膳食中铅暴露水平总体上是逐渐下降的,见表 3。

表3 不同性别-年龄组 2014 年简单分布评估与 2000 年和 2007 年总膳食研究中铅暴露量比较

Table 3 Comparison of 2014 simple distribution model and 2000 and 2007 total diet study

年龄	2014 年			2000 年			2007 年		
	均数	中位数	P97.5	均数	中位数	P97.5	均数	中位数	P97.5
18~50岁男	0.55	0.52	1.04	1.79	1.51	4.89	1.71	0.71	9.38
18~50岁女	0.56	0.53	1.08	1.64	1.47	4.99	1.74	0.86	8.59
51~65岁男	0.54	0.51	1.02	1.73	1.52	5.05	1.73	0.71	9.08
51~65岁女	0.53	0.49	1.05	1.60	1.51	4.37	1.36	0.51	8.43
$\geq 66$ 岁男	0.48	0.45	0.93	1.71	1.45	4.22	1.49	0.37	14.63
$\geq 66$ 岁女	0.49	0.45	0.98	1.53	1.45	3.90	1.56	0.52	7.74

由表 4 可见,我国成人膳食中铅暴露平均水平和欧洲相当,但高于其他国家,并远高于美国、加拿大、澳大利亚和新西兰,分别是其 18.00 倍、4.15 倍、4.15 倍和 4.15 倍。

## 3 讨论

### 3.1 我国成人居民膳食中铅暴露的风险

基于全国食品铅污染整体水平的暴露评估结果显示,我国 18 岁及以上成人膳食中铅暴露量为 0.54  $\mu\text{g}/\text{kg BW}$ ,其 MOE 值为 2.41,大于 1;高端暴

表4 不同国家和地区人群膳食中铅暴露量

Table 4 Dietary exposure of lead in different countries and areas

国家/地区	人群	膳食中铅均数暴露量 /( $\mu\text{g}/\text{kg BW}$ )
澳大利亚 <sup>[8]</sup>	$\geq 17$ 岁	0.13
新西兰 <sup>[9]</sup>	成年男性	0.11~0.13
欧洲 <sup>[10]</sup>	成人	0.50
加拿大 <sup>[11]</sup>	$\geq 20$ 岁	0.10~0.13
美国 <sup>[2]</sup>	所有人群	0.03
中国香港 <sup>[12]</sup>	成人	0.21
中国大陆	$\geq 18$ 岁	0.54

注:中国大陆的膳食中铅均数暴露量来自本研究

露人群( $P97.5$ )膳食中铅暴露量为 $1.04 \mu\text{g}/\text{kg BW}$ ,其 $MOE$ 值为 $1.25$ ,也大于 $1$ ,表明目前的膳食中铅暴露量对我国成人居民健康造成的风险处于可以接受水平,健康风险较低。不同性别-年龄组和地区人群的膳食摄入评估结果也显示,均数、中位数和高端暴露人群膳食中铅暴露量的 $MOE$ 值也均大于 $1$ ,健康风险都相对较低。但全国仍有 $0.61\%$ 的成人其 $MOE$ 值小于 $1$ ,存在一定的健康风险,可能会导致成人的血压升高。

与既往的研究相比,我国 $18$ 岁及以上成人居民各性别-年龄组整体膳食中铅暴露量呈明显下降趋势,表明我国食品中铅污染总体情况有了明显的改善。这与我国日益重视环境污染并采取的一系列防治铅污染的措施密不可分。但由于我国食品中铅污染背景水平较高,即环境中铅污染水平相对较高,因此与不同的国家和地区相比,我国成人膳食中铅暴露量仍高于北美和澳洲等发达国家和地区,这一结果一方面可能反映了我国的实情,但另一方面也有可能是由于各个国家和地区不同的评估方法、评估时间、食物分类方法、食物消费量数据的采集方法、铅含量分析方法和数据处理方法所产生,需要进一步开展相关研究。JECFA认为目前尚无法确定一个可有效保护健康的铅暴露阈值,仅要求成员国采取尽可能的措施降低膳食中铅暴露,我国也应采纳这一要求,进一步降低我国居民膳食中铅暴露量。

本研究发现,大米及其制品、面粉及其制品、嫩茎叶类蔬菜、畜肉和茄果椒类蔬菜 $5$ 类食物是我国成人膳食中铅的主要来源,占总膳食暴露量 $70\%$ 以上。因此应将大米、面粉、蔬菜和肉类作为食品安全监管的重点食品,防止超标食品流入市场。

### 3.2 不确定性分析

本次评估采用的消费量数据分别来自 $2013$ 年中国居民饮料、饮料酒消费状况调查数据和 $2002$ 年中国居民营养与健康状况调查,不同年份调查人群食物消费模式和消费量存在一定差异,给评估结果带来不确定性。此外,由于 $2002$ 年开展的全国性调查,因调查时间较久,可能已无法全面反映当前人群食物的消费状况。

本次评估所使用的食品中铅含量数据虽然包含了我国绝大多数食物种类,但并未包括所有可能含铅的食品,另外,本次评估仅包括膳食中铅暴露量,未考虑空气、皮肤和吸入等其他途径的暴露水平。这均可能会影响膳食中铅暴露量及其健康风险评估的精确性。

### 3.3 建议

鉴于铅暴露无健康阈值,且食品中铅主要来自于环境,建议加强环境综合治理,控制源头污染。此外,建议进一步改善生产工艺以降低食品生产加工过程中产生的铅污染,同时加强减少铅污染科学认识的宣传,采纳正确加工处理家庭食物的方法,以有效降低居民膳食中铅暴露量。

### 参考文献

- [1] 吴永宁. 现代食品安全科学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003:183-185.
- [2] FAO/WHO. Safety evaluation of certain food additives and contaminants[Z]. 2011.
- [3] WHO. Lead poisoning and health[Z]. 2011.
- [4] 杨大进, 李宁. 2014年食品污染物和有害因素风险监测工作手册[M]. 北京: 中国标准出版社, 2014:532-542.
- [5] 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]. 中国预防医学杂志, 2002, 36(4):278-279.
- [6] 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铅摄入量[J]. 卫生研究, 2007, 36(4):459-467.
- [7] 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.
- [8] Food Standards Australia New Zealand. 23<sup>rd</sup> Australian total diet study[Z]. 2011.
- [9] Ministry of Agriculture and Forestry. 2009 New Zealand total diet study: agricultural compound residues, selected contaminants and nutrient elements[Z]. 2011.
- [10] European Food Safety Authority. Scientific opinion on lead in food[Z]. 2012.
- [11] Health Canada. Canadian total diet study: dietary intakes of contaminants & other chemicals for different age-sex groups of Canadians[EB/OL]. [2015-12-15]. [http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/surveill/total-diet/intake-apport/chem\\_age-sex\\_chim\\_2007-eng.php](http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/surveill/total-diet/intake-apport/chem_age-sex_chim_2007-eng.php).
- [12] 香港食物安全中心. 香港首个总膳食研究[Z]. 2013.