

- [ 2 ] HENRY S H, BOSCH F X, BOERS J C. Aflatoxin, hepatitis and worldwide liver cancer risks [J]. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 2002, 504(48):229-233.
- [ 3 ] 刘展华,唐振柱,钟延旭,等. 2014年广西城乡食用植物油黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 污染水平调查[J]. *应用预防医学*,2015,21(6):377-380.
- [ 4 ] 滕南雁,宋宁宁,刘涛. 广西地区市售食用植物油和大米中黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 的采样调查和分析[J]. *中国卫生检验杂志*, 2011,21(6):1531-1532.
- [ 5 ] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 食品中黄曲霉毒素的测定 免疫亲和层析净化高效液相色谱法和荧光光度法:GB/T 18979—2003 [S]. 北京:中国标准出版社,2003.
- [ 6 ] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 食品中真菌毒素的限量标准:GB 2761—2011[S]. 北京:中国标准出版社,2011.
- [ 7 ] 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.
- [ 8 ] BENFORD D, LEBLANC J C, SETZER R W. Application of the margin of exposure (MOE) approach to substances in food that are genotoxic and carcinogenic example aflatoxin B<sub>1</sub> (AFB<sub>1</sub>) [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2010, 48(Suppl 1): S34-S41.
- [ 9 ] WOGAN G N, PAGLIALUNGA S, NEWBERNE P M. Carcinogenic effects of low dietary levels of aflatoxin B<sub>1</sub> in rats [J]. *Food and Cosmetics Toxicology*, 1974, 12(5/6):681-685.
- [ 10 ] Opinion of the Scientific Committee on a request from EFSA related to a harmonised approach for risk assessment of substances which are both genotoxic and carcinogenic [J]. *EFSA Journal*, 2005, 282: 1-31.
- [ 11 ] PORTIER C J. Biostatistical issues in the design and analysis of animal carcinogenicity experiments [J]. *Environ Health Perspectives Supplements*, 1994, 102(Suppl 1):5-8.
- [ 12 ] 王君,刘秀梅. 中国人群黄曲霉毒素膳食暴露量评估[J]. *中国食品卫生杂志*,2007,19(3):238-240.
- [ 13 ] 罗朝礼. 2011—2013年平南县常见食品中化学污染物及有害因素检测结果分析[J]. *应用预防医学*,2014,20(2):102-104.
- [ 14 ] 中华人民共和国国家卫生与计划生育委员会. 2013 中国卫生和计划生育统计年鉴[M]. 北京:中国协和医科大学出版社,2014.

## 风险评估

# 陕西省居民膳食中铝暴露风险评估

聂晓玲,郭荣,刘宇,李天来,王敏娟

(陕西省疾病预防控制中心理化所,陕西 西安 710054)

**摘要:**目的 了解陕西省市售食品中铝污染状况,评估陕西省居民膳食中铝摄入水平及其潜在的健康风险。方法 2013—2015年在陕西省10个地市随机采集8类食品共计666份,按照食品中铝测定的标准操作程序进行检测,结合陕西省开展的居民膳食营养状况调查中各类食物的消费量数据,采用点评估方法,对陕西省不同性别-年龄组人群膳食中铝摄入水平及其潜在的风险进行评估。结果 陕西省居民全人群膳食中铝平均每日摄入量为0.1549 mg/kg BW,不同性别-年龄组人群以18~59岁女性摄入量最高,为0.1785 mg/kg BW。当食物中铝含量取P97.5数值时,膳食中铝摄入量最高的人群是2~7岁儿童。各性别-年龄组人群膳食中铝平均暴露量(铝含量数据采用平均值)安全限值(MOS值)均<1,偏高暴露量(铝含量数据采用P97.5数值)MOS值均>1。2~7岁和8~12岁儿童膳食中铝摄入贡献率较高的食品是油炸食品和焙烤食品,其他组人群膳食中铝摄入贡献率前3位的食品均是油炸食品、凉皮和淀粉制品。结论 陕西省居民不同性别-年龄组人群膳食中铝偏高暴露量已超过最新的健康指导值。女性和儿童是暴露量较高的人群,油炸食品是不同性别-年龄组人群膳食中铝摄入的最主要来源。

**关键词:**陕西;铝;膳食暴露;风险评估;食品污染物;食品安全

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2017)04-0499-06

DOI:10.13590/j.cjfh.2017.04.023

## Dietary assessment on dietary exposure of aluminium residents in Shaanxi Province

NIE Xiao-ling, GUO Rong, LIU Yu, LI Tian-lai, WANG Min-juan

(Physical and Chemical Laboratory, Shaanxi Center for Disease Control and Prevention, Shaanxi Xi'an 710054, China)

收稿日期:2017-05-05

基金项目:陕西省科技厅社会发展领域一般项目(2017SF400);陕西省科技资源开放共享平台项目(2016FWPT-12)

作者简介:聂晓玲 女 主管技师 研究方向为理化检验 E-mail:m15129267782\_1@163.com

通信作者:王敏娟 女 主管技师 研究方向为理化检验 E-mail:wjmj1010@126.com

**Abstract: Objective** To investigate the contamination and dietary intake of the aluminium in commercial foods in Shaanxi Province, and evaluate its potential health risks in Shaanxi population. **Methods** Six hundred and sixty-six samples from 8 kinds of foods in Shaanxi Province were collected from 2013 to 2015. The aluminium contents were detected according to *National Food Contamination and Harmful Factors in Risk Monitoring Manual*, and dietary intake of aluminium in Shaanxi population was evaluated by point assessment model with of nutritional survey date. **Results** The average dietary intake of aluminium was 0.154 9 mg/kg BW per day, and the dietary intake of woman aged 18 to 59 years old was the highest, with an average of 0.178 5 mg/kg BW per day. When aluminum intake of the 97.5 percentile, the dietary intake of aluminium in children aged 2 to 7 years old was the highest. The margins of safety (MOS) of all age groups were smaller than 1, while the MOS of high exposure (P97.5) group was above 1. Fried and baked food were the main sources of aluminium exposure in two age groups (2-7 years and 8-12 years old group), while fried food, cold noodle and starch products were the main sources of aluminium exposure for others. **Conclusion** Dietary intake (P97.5) of aluminium exceeded the provisional tolerable weekly intake (PTWI). The dietary intake of aluminium in women and children was high. Fried food was the main sources of aluminium exposure in all age groups.

**Key words:** Shaanxi; aluminium; dietary exposure assessment; risk assessment; food contaminant; food safety

铝在环境中广泛存在,是一种人体非必需的金属元素。有研究<sup>[1]</sup>表明,体内过多的铝对人体的中枢神经系统及胚胎发育等有不良影响,铝具有遗传毒性,可以和DNA形成复合物,并与染色体蛋白和DNA交联<sup>[2]</sup>,铝具有发育毒性,可导致生长迟缓和骨骼畸形<sup>[3]</sup>。临床研究<sup>[4]</sup>发现,人类阿尔茨海默病、乳腺肿瘤等疾病与铝在体内的积累有关,且有流行病学调查<sup>[5]</sup>发现,饮水中铝含量高的地区,老年痴呆的患病率和病死率也高。造成人体铝含量偏高的原因,除医疗摄入和职业因素外,膳食中铝暴露是主要原因。为了解陕西省市售食品中铝污染状况,评估陕西省居民膳食中铝摄入水平及其潜在的健康风险,本课题组应用2011—2013年陕西省膳食营养状况调查中食物的消费量数据和2013—2015年陕西省市售含铝添加剂食品中铝含量的监测数据,对陕西省居民膳食中铝暴露状况及其潜在的健康风险进行了评估。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 资料来源

根据2011—2013年陕西省开展的居民膳食营养状况调查数据,选取2岁以上人群的膳食营养调查结果,建立食物的消费量数据库。2013—2015年在陕西省10个地市的超市、商店、农贸市场及批发市场随机采集8类含铝添加剂食品共666份,按照《2014年国家食品污染和有害因素风险监测工作手册》<sup>[6]</sup>中食品中铝测定的标准操作程序进行检测,建立污染物数据库。8类食品是根据食物的铝含量及消费量确定,即选取食物消费量较高或铝含量较高的食品,分别是生湿面制品、发酵面制品、凉皮、油炸食品、焙烤食品、膨化食品、淀粉制品、预制水

产品。

#### 1.1.2 主要仪器与试剂

紫外可见分光光度计(UV-1800,日本岛津)、微波消解仪(MARS6,美国CEM)、电热消解板(EH45A型,北京莱博泰科公司)、Milli-Q纯水机、分析天平。

铝单元素溶液标准物质[GBW(E)080219,中国计量科学研究院,100 μg/ml,100 ml],铝单元素标准样品(GNM-SAL-002-2013,国家有色金属及电子材料分析测试中心),硝酸、硫酸、盐酸、无水乙醇均为优级纯,铬天青S溶液(1.0 g/L),聚乙二醇辛基苯醚溶液(3:100,V/V),溴代十六烷基吡啶溶液(CPB,3.0 g/L),试验用水为超纯水(18.2 MΩ/cm)。

## 1.2 方法

### 1.2.1 检测方法

分光光度法:准确称取混匀后的样品0.5~2.5 g(准确至0.1 mg),置于50 ml聚四氟乙烯消化管中,加入10 ml硝酸、0.5 ml硫酸,在可调式控温电热炉上加热,推荐条件:100℃加热1 h,升至150℃加热1 h,再升至180℃加热2 h,最后升至200℃,若变棕黑色,再补加硝酸消化,直至管口冒白烟,消化液呈无色透明或略带黄色,取出定容至25 ml,混匀备用,同时做试剂空白试验。取样品消解液、试剂空白液、铝标准使用溶液于25 ml具塞比色管中,依次滴加反应所需的各种试剂,定容,混匀,放置30 min,于620 nm波长处,用1 cm比色皿以空白管为参比测定吸光度值,并绘制标准曲线比较定量,方法检出限为2 mg/kg。

### 1.2.2 质量控制

空白值的控制:每一批样品至少带2个以上试验空白,以检验分析标准是否存在污染或检验试剂空白。平行样品的质量控制:每一批样品至少20%

的样品做双样平行测定,平行样品的相对偏差不得超过 20%。室内质量控制:每测定 10~20 份样品用标准溶液或标准物质检查仪器的稳定性,每一批样品至少插入同类型国家标准物质 2 份,测定值与理论值比较应在允许误差范围内。如无合适的标准物质可供选择时,可采取空白加标回收或是样品加标回收。标准物质回收率应在 80%~120%,合格率要求 >90%。复检:超标样品全部复检。

### 1.2.3 评价标准

焙烤食品、油炸食品、预制水产品参照 GB 2760—2011《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》<sup>[7]</sup>对铝进行卫生学评价,预制水产品 ≤500 mg/kg 为正常, >500 mg/kg 为超标,焙烤食品、油炸食品 ≤100 mg/kg 为正常, >100 mg/kg 为超标。淀粉制品参照国家卫生计生委 2015 年第 1 号公告<sup>[8]</sup>, ≤200 mg/kg 为正常, >200 mg/kg 为超标。生湿面制品、发酵面制品、凉皮和膨化食品按食物的天然本底铝含量 ≤10 mg/kg 为正常, >10 mg/kg 为超标来评价<sup>[9]</sup>。

### 1.2.4 暴露评估

本研究根据人群能量摄入、膳食消费模式以及铝的危害特征,将人群分为以下 8 个性别-年龄组:2~7 岁(不分性别)、8~12 岁(不分性别)、13~17 岁(男、女)、18~59 岁(男、女)、60 岁及以上(男、女)。评估采用点评估模型<sup>[10]</sup>,以 2011—2013 年陕西省开展的居民膳食营养状况调查中各类食物的消费量数据为基础,结合 2013—2015 年陕西省监测的不同类别食物中铝的含量数据,计算不同性别-年龄组人群每天每公斤体重铝的摄入量,公式为:

$$EXP = \sum_{k=1}^p \frac{X_k C_k}{BW} \times f$$

其中,EXP 为评估人群每天每公斤体重铝的摄入量,mg/kg BW;  $X_k$  为第  $k$  类食品的平均消费量, g/d;  $C_k$  为第  $k$  类食品中铝的含量,mg/kg;  $p$  为消费的食品种类的数目;  $BW$  为被评估人群的平均体重, kg;  $f$  为加工因子,本研究中没有考虑食物加工过程中铝含量的变化,因此取  $f=1$ 。

### 1.2.5 风险评估

计算不同性别-年龄组人群膳食中铝摄入量,与 2011 年联合国粮农组织/世界卫生组织食品添加剂专家委员会第 74 次会议上修定的铝暂定每周允许摄入量(PTWI)2 mg/kg BW<sup>[11]</sup> 进行比较,得出不同性别-年龄组人群膳食中铝的安全限值(MOS),计算公式为:

$$MOS = \frac{EXP \times 7}{PTWI}$$

当  $MOS \geq 1$  时,该物质对食品安全的风险超过了可以接受的限度,应当采取适当的风险管理措施。当  $MOS < 1$  时,认为在初步风险评估中,该物质对食品安全的风险是可以接受的。

### 1.3 统计学分析

对于污染物数据库中低于检出限(LOD)的数据,以方法检测限计算<sup>[12]</sup>。将获得的数据录入 Excel 2010 电子表格,用 SPSS 19.0 进行统计分析。

## 2 结果

### 2.1 市售食品中铝含量检测结果

表 1 可见,8 类食品中铝的检测值范围为未检出(ND)~2 950 mg/kg,铝平均含量为 37.5 mg/kg,其中预制水产品中铝含量均值最大(284 mg/kg),其次是油炸食品(111 mg/kg),再次为淀粉制品(83.2 mg/kg),最小的是生湿面制品(2.48 mg/kg)。8 类食品中均检出了铝,总检出率为 54.1% (360/666),其中检出率最高的食品是预制水产品(90.0%, 18/20),其次为油炸食品(75.7%, 53/70),再次为淀粉制品(73.5%, 25/34),检出率最低的食品为生湿面制品(28.9%, 26/90)。超标率最高的食品是油炸食品(37.1%, 26/70),其次是膨化食品(28.0%, 37/132),再次为凉皮(25.4%, 47/185),超标率最低的食品为生湿面制品(6.67%, 6/90)。各类食品中铝含量检测值范围及不同百分位数含量值详见表 1。

### 2.2 不同性别-年龄组人群膳食中铝摄入水平

采用不同性别-年龄组人群各类食物的平均消费量和相应食物中铝的不同水平含量数据,进行陕西省不同性别-年龄组人群膳食中铝摄入量估算。表 2 可见,陕西省居民全人群膳食中铝平均摄入量为 0.154 9 mg/kg BW,18~59 岁女性膳食中铝平均摄入量最高,为 0.178 5 mg/kg BW,其次是 ≥60 岁女性,为 0.161 3 mg/kg BW,再次是 13~17 岁女性,为 0.159 1 mg/kg BW。当食物中铝的含量取 P50、P90 数据时,膳食中铝摄入量前 3 位的人群均是 18~59 岁女性、2~7 岁儿童和 13~17 岁女性。当食物中铝的含量取 P95 数据,膳食中铝摄入量前 3 位的人群分别是 18~59 岁女性、13~17 岁女性和 ≥60 岁女性。当食物中铝的含量取 P97.5 数据时,膳食中铝摄入量前 3 位的人群分别是 2~7 岁儿童、18~59 岁女性和 8~12 岁儿童。当食物中铝的含量取最大值数据时,膳食中铝摄入量前 3 位的人群分别是 18~59 岁女性、18~59 岁男性和 ≥60 岁女性。

表1 8类食品中铝含量检测结果

Table 1 Contents of aluminum in 8 kinds of food

食品类别	检测份数	检测值范围 /(mg/kg)	平均值 /(mg/kg)	P50 /(mg/kg)	P90 /(mg/kg)	P95 /(mg/kg)	P97.5 /(mg/kg)	检出率 /%	超标率 /%
生湿面制品	90	ND~33.0	2.48	2.00	8.92	11.1	27.0	28.9(26/90)	6.67(6/90)
发酵面制品	85	ND~251	15.0	2.00	28.0	51.0	139	43.5(37/85)	24.7(21/85)
油炸食品	70	ND~950	111	17.2	390	475	698	75.7(53/70)	37.1(26/70)
凉皮	185	ND~2 950	31.7	3.20	54.3	109	150	61.6(114/185)	25.4(47/185)
膨化食品	132	ND~160	16.2	5.00	46.0	67.0	90.0	45.5(60/132)	28.0(37/132)
焙烤食品	50	ND~809	59.3	8.25	141	240	684	54.0(27/50)	12.0(6/50)
淀粉制品	34	ND~420	83.2	11.9	318	406	420	73.5(25/34)	17.6(6/34)
预制水产品	20	ND~960	284	132	860	920	960	90.0(18/20)	20.0(4/20)
合计	666	ND~2 950	37.5	—	—	—	—	54.1(360/666)	23.0(153/666)

注:—表示无统计数据

表2 不同性别-年龄组人群膳食中铝摄入量

Table 2 Dietary intake of aluminum in different age groups

人群分组	体重/kg	膳食中铝每日摄入量(mg/kg BW)					
		平均值	P50	P90	P95	P97.5	最大值
2~7岁	18.6	0.152 1	0.024 2	0.444 8	0.623 4	1.148	2.662
8~12岁	32.4	0.145 8	0.022 9	0.425 4	0.600 3	1.068	2.979
13~17岁男	55.4	0.143 1	0.021 4	0.402 7	0.580 7	0.953 6	4.546
13~17岁女	48.3	0.159 1	0.023 6	0.440 8	0.643 1	1.051	5.469
18~59岁男	67.8	0.157 7	0.021 9	0.408 7	0.618 4	0.985 2	6.993
18~59岁女	57.3	0.178 5	0.024 8	0.468 2	0.704 7	1.109	7.748
≥60岁男	63.3	0.150 8	0.021 4	0.401 2	0.597 4	0.980 4	5.891
≥60岁女	54.4	0.161 3	0.022 9	0.429 0	0.639 2	1.041	6.385
全人群	60.0	0.154 9	0.022 7	0.424 2	0.621 0	1.036	5.292

## 2.3 不同性别-年龄组人群膳食中铝暴露风险评估

表3可见,各性别-年龄组人群膳食中铝平均暴露量(铝含量数据采用平均值)MOS值均<1,其中18~59岁女性MOS值最高(0.62),其次是13~17岁女性和≥60岁女性(均为0.56),再次是18~59岁男性(0.55),全人群MOS值为0.54。各性别-年龄组人群膳食中铝偏高暴露量(铝含量数据采用P97.5数值)MOS值均>1,值介于3.34~4.02之间,其中2~7岁儿童MOS值最高(4.02),其次是18~59岁女性(3.88),再次是8~12岁儿童(3.74),全人群MOS值为3.63。

表3 不同性别-年龄组人群膳食中铝暴露量评估

Table 3 Evaluation for dietary exposure to aluminium of the different age groups of people

人群分组	PTWI /(mg/kg BW)	不同水平膳食中铝暴露量下 MOS值	
		平均暴露量	偏高暴露量
2~7岁	2.0	0.53	4.02
8~12岁	2.0	0.51	3.74
13~17岁男	2.0	0.50	3.34
13~17岁女	2.0	0.56	3.68
18~59岁男	2.0	0.55	3.45
18~59岁女	2.0	0.62	3.88
≥60岁男	2.0	0.53	3.43
≥60岁女	2.0	0.56	3.64
全人群	2.0	0.54	3.63

## 2.4 各类食品对不同性别-年龄组人群膳食中铝摄入的贡献率

采用不同性别-年龄组人群膳食中铝平均摄入

量,计算各类食品对人群膳食中铝摄入的贡献率。表4可见,全人群膳食中铝摄入贡献率前3位的食品分别是油炸食品(29.32%),凉皮(29.26%),淀粉制品(14.11%)。2~7岁儿童膳食中铝摄入贡献率前3位的食品分别是油炸食品(37.91%),焙烤食品(16.17%),发酵面制品(16.04%)。8~12岁儿童膳食中铝摄入贡献率前3位的食品分别是油炸食品(33.03%),淀粉制品(15.83%),焙烤食品(15.62%)。其他各组人群膳食中铝摄入贡献率前3位的食品均是油炸食品,凉皮和淀粉制品。

## 3 讨论

人们通过进食未加工的食品摄入的铝量通常较小,而食用用含铝添加剂加工过的食品,摄入的铝量要增加十几倍甚至上百倍<sup>[13]</sup>。几年来不断有报道各地对食品中铝含量监测并发现严重超标现象<sup>[14-15]</sup>,已引起了有关部门的高度重视。

从8类食品铝含量监测结果来看,含量均值最高的是预制水产品,其次为油炸食品,再次为淀粉制品,从次为焙烤食品。预制水产品主要采集了即食海蜇,淀粉制品包括粉条和粉丝,油炸食品主要包括油条、油饼,焙烤食品主要包括蛋糕和面包。马爱英等<sup>[16]</sup>调查2007—2013年北京市海淀区监测的9类食品中,20份海蜇类食品中铝全部超标。程国霞等<sup>[17]</sup>调查陕西省面制食品中铝污染监测及膳食暴露量评估显示油条、油饼铝污染最严重。孙

表4 各类食品对不同性别-年龄组人群膳食中铝摄入的贡献率

Table 4 Contribution of dietary intake to aluminium of the different age groups in foods

食品类别	贡献率/%								
	2~7岁	8~12岁	13~17岁男	13~17岁女	18~59岁男	18~59岁女	≥60岁男	≥60岁女	全人群
生湿面制品	5.90	5.67	5.00	4.56	4.28	3.66	4.47	4.12	4.68
发酵面制品	16.04	13.48	7.81	6.65	7.13	6.76	9.53	8.36	9.43
油炸食品	37.91	33.03	29.84	28.16	25.36	25.17	27.33	27.26	29.32
凉皮	8.22	12.23	26.67	29.81	41.79	40.77	35.13	35.93	29.26
膨化食品	4.24	3.94	1.48	1.90	0.67	0.68	0.60	0.75	1.76
焙烤食品	16.17	15.62	11.33	11.90	7.53	7.66	8.93	9.36	10.99
淀粉制品	11.33	15.83	17.24	16.65	12.69	14.81	13.40	13.66	14.11
预制水产品	5.90	5.67	5.00	4.56	4.28	3.66	4.47	4.12	4.68

伟等<sup>[18]</sup>对2010年北京市昌平区市售粉丝(条)中铝的污染现状调查显示,辖区内市售粉条、粉丝中铝超标率为43.75%,邹晓华等<sup>[19]</sup>对2012年石家庄市部分食品的铝含量分析及健康指导中显示,焙烤食品蛋糕和面包中铝超标也很严重。表明预制水产品、油炸食品、淀粉制品和焙烤食品中铝含量偏高已是普遍现象,说明这几类食品在生产加工过程中可能没有准确的操作规程来限制含铝添加剂的使用,过量使用含铝添加剂最终造成了这些食品中铝含量偏高。

不同性别-年龄组人群膳食中铝摄入量结果表明,陕西省居民全人群膳食中铝平均摄入量为0.1549 mg/kg BW,与2011年刘弘等<sup>[20]</sup>对上海市居民每周来自面制食品铝暴露量平均值(3.51 mg/kg BW)和孙延斌等<sup>[21]</sup>2011—2012年监测济南市4类食品中铝平均每周摄入量(9.07 mg/kg BW)相比均要低,这可能与GB 2760《食品安全国家标准食品添加剂使用标准》在2011和2014年的修订中均对含铝食品添加剂的使用进行了调整并作出严格规定有关。2008年欧洲食品安全局(EFSA)将铝每周耐受摄入量(TWI)降低到了1.0 mg/kg BW<sup>[22]</sup>。2012年EFSA对5种含铝添加剂膳食暴露评估的结果<sup>[23]</sup>显示,幼婴、儿童、青少年、成年人、老年人5个人群含铝食品添加剂的每周暴露量平均值介于2.3~76.9 mg/kg BW,英国2006年总膳食研究(TDS)显示<sup>[24]</sup>,人群膳食中铝暴露量为5.4 mg/d,贡献率最大的是谷物(42%)。2000、1997、1994、1991年英国TDS显示<sup>[24]</sup>膳食中铝暴露量分别为4.7、3.4、11和10 mg/d。当食品中铝的含量取P50、P90数据时,膳食中铝摄入量前3位的人群均是18~59岁女性、2~7岁儿童和13~17岁女性,当食品中铝的含量取P97.5数据,膳食中铝摄入量前3位的人群分别是2~7岁儿童、18~59岁女性和8~12岁儿童。由此看出,女性和儿童是膳食中铝暴露较高的人群,这与蒋琦等<sup>[25]</sup>、李拥军等<sup>[26]</sup>的研究结果一致。对不同性别-年龄组人群膳食中铝暴露量进行评估结果显示,各性别-年龄组人群膳食

中铝平均暴露量(铝含量数据采用平均值)MOS值均<1,膳食中铝偏高暴露量(铝含量数据采用P97.5数值)MOS值均>1,表明风险已超过了可以接受的限度,需要采取适当的风险管理措施。

本研究中2~7岁儿童膳食中铝摄入贡献率前3位的食品是油炸食品,焙烤食品和发酵面制品。8~12岁儿童膳食中铝摄入贡献率前3位的食品分别是油炸食品,淀粉制品和焙烤食品。其他各組人群膳食中铝摄入贡献率前3位的食品均是油炸食品,凉皮和淀粉制品。由此看出,影响陕西省13岁以上人群膳食中铝摄入量的主要食品是油炸食品、凉皮和淀粉制品,因此要降低陕西省居民膳食中铝摄入量,首先必须降低这3类食物中铝的含量。这3类食物中油炸食品和淀粉制品允许使用含铝食品添加剂,并有相应的国标限值,建议食品安全监管部门加强对这两类食品的监管,积极引导食品制作者选用低铝食品添加剂,并规范添加。凉皮是陕西省的有名小吃,也是陕西省居民餐桌上必不可少的食物,多使用小麦面粉或米粉制作,制作工艺中不允许使用含铝添加剂。但有相关部门又提出湿制粉皮类产品生产原料、加工工艺与粉丝、粉条基本一致,仅产品形态不同,可参照硫酸铝钾、硫酸铝铵在粉丝、粉条中的使用规定执行<sup>[27]</sup>。鉴于凉皮中铝含量偏高,又是陕西省居民膳食中铝摄入贡献率较大的一类食品,应该引起有关部门的高度重视,需进一步明确凉皮中是否可以添加含铝添加剂,如果可以,怎样做到严格按照规定用量标准添加,若不允许,就该加强监管,及时制止这种不规范滥用现象。焙烤食品是2~7岁儿童和8~12岁儿童膳食中铝摄入的一个重要来源,表明陕西省焙烤食品的加工过程中含铝添加剂的使用存在滥用现象,需要有关部门加强监管。综上,陕西省居民中女性和低年龄组人群膳食中铝暴露风险较高,建议低年龄组人群应尽量减少油炸食品和焙烤食品的摄入,发酵面制品中已禁止使用含铝添加剂,可适当增加摄入量。女性人群暴露风险高,可能与女性朋友更喜欢食用凉皮及粉条、粉丝等淀粉类制品有关,建议减少这

几类食品的摄入。

本研究存在一定的不确定性。首先,研究所选的食品种类没有包括居民所进食的所有食品种类,如蔬菜、水果、肉、蛋、奶及谷物中的大米及其制品。尽管通过进食未加工的食物摄入的铝量较小,但是有研究表明,不少天然食品中铝含量也偏高,丘汾等<sup>[28]</sup>2010—2011年从深圳市福田区监测13类日常食品,结果显示各种食品中的含铝量为蛋类0.5 mg/kg、畜肉类0.5 mg/kg、蔬菜类17.1 mg/kg、粮食1.9 mg/kg,杨梅等<sup>[29]</sup>对深圳市居民铝的膳食暴露概率评估中居民每周每公斤体重从叶菜中摄入铝量为0.270 mg,因此,食品种类的缺失可能造成膳食中铝的摄入量的低估。其次,研究所使用的食物消费量数据来自2011—2013年陕西省开展的居民膳食营养状况调查数据,调查的时间较短,调查人口数比较少,覆盖率也不是很全,因此研究中所用的食物摄入量可能与实际有一些差别。再次,研究中采用了LOD值代替未检出值,属于对结果的偏高估计。采用含量高百分位数值(P97.5)的估计,仅代表长期持续食用高污染水平食品的人群,也属于一种特定的高估状态。

## 参考文献

- [1] PETO M V. Aluminium and iron in humans: bioaccumulation, pathology, and removal[J]. *Rejuvenation Research*, 2010, 13(5): 589-598.
- [2] LANKOFF A, BANASIK A, DUMA A, et al. A comet assay study reveals that aluminium induces DNA damage and inhibits the repair of radiation-induced lesions in human peripheral blood lymphocytes[J]. *Toxicol Lett*, 2006, 161(1): 27-36.
- [3] WHO. Environmental health criteria 194: aluminium [R]. Geneva: WHO, 1997.
- [4] CAMPDELACREU J. Parkinson disease and Alzheimer disease: environmental risk factors [EB/OL]. (2012-07-13) [2017-03-13]. <http://www.ncbi.nlm.gov/pubmed>.
- [5] FERREIRA P C, DE ALMEIDA PIAI K, TAKAYANAGUI A M, et al. Aluminum as a risk factor for Alzheimer's disease[J]. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, 2008, 16(1): 151-157.
- [6] 杨大进,李宁. 2014年国家食品污染和有害因素风险监测工作手册[M]. 北京:中国质检出版社,2014:104-106.
- [7] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准;GB 2760—2011[S]. 北京:中国标准出版社,2011.
- [8] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 国家卫生计生委关于批准β-半乳糖苷酶为食品添加剂新品种等的公告;2015年第1号[A/OL]. (2015-01-23) [2017-03-13]. <http://www.nhfp.gov.cn/sps/s7890/201501/8455dc01b026484ebdef3122808abccd.shtml>.
- [9] WHO. Aluminium (environmental health criteria 194). Geneva: International Programme on Chemical Safety (IPCS) [EB/OL]. (2012-04-05) [2017-03-13]. <http://www.inchem.Org/documents/ehc/ehc/ehc194.htm>.
- [10] IPCS. 食品中化学物风险评估原则和方法[M]. 刘兆平,李凤琴,贾旭东,译. 北京:人民卫生出版社,2012:198-204.
- [11] World Health Organization. Evaluation of certain food additives and contaminants[J]. *World Health Organ Tech Rep Ser*, 2011, 710(966): 1-136.
- [12] 吴绪卿,吴永宁,陈君石,等. 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(7): 278-279.
- [13] 梁雪金. 膳食暴露评估及食品中铝限量安全标准研究进展[J]. *实用预防医学*, 2016, 23(2): 254-257.
- [14] 方亚敏,邱歆磊,路刚. 上海市食品中铝污染情况分析[J]. *广东微量元素科学*, 2006, 13(3): 62-64.
- [15] 薛利新,孙建云. 2010—2012年甘肃省面制品中铝的污染现状调查[J]. *卫生研究*, 2013, 42(2): 202-204.
- [16] 马爱英,王轶晗. 2007年—2013年北京市海淀区食品中铝的监测分析[J]. *中国卫生检验杂志*, 2014, 24(17): 2556-2560.
- [17] 程国霞,王彩霞,聂晓玲,等. 陕西省面制食品中铝污染监测及膳食暴露量评估[J]. *中国卫生检验杂志*, 2016, 26(2): 270-275.
- [18] 孙伟,刘国蓉,刘小兵,等. 2010年北京市昌平区市售粉丝(条)中铝的污染现状调查[J]. *现代预防医学杂志*, 2012, 39(6): 1373-1374.
- [19] 邹晓华,刘建忠,曹丽玲,等. 2012年石家庄市部分食品的铝含量分析及健康指导[J]. *医学动物防制*, 2014, 30(10): 1074-1076.
- [20] 刘弘,秦璐昕,罗宝章,等. 上海市居民面制品中铝暴露的概率评估[J]. *中国食品卫生杂志*, 2011, 23(6): 496-501.
- [21] 孙延斌,孙婷,李士凯,等. 济南市高含铝食品铝残留量监测及人群暴露评估[J]. *中国食品卫生杂志*, 2013, 25(6): 564-567.
- [22] EFSA. Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on food additives [A/OL]. (2012-04-05) [2017-03-13]. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2008R1333:20111202:EN:HTML>.
- [23] EFSA. 欧盟食品安全局评估含铝食品添加剂的膳食暴露情况[J]. *饮料工业*, 2013, 16(5): 21.
- [24] YSART G, MILLER P, CREWS H, et al. Dietary exposure estimates of 30 elements from the UK total diet study[J]. *Food Addit Contam*, 1999, 16(9): 391-403.
- [25] 蒋琦,黄琼,梁旭霞,等. 广东省居民面制品中铝的暴露评估研究[J]. *中国食物与营养*, 2012, 18(4): 14-17.
- [26] 李拥军,孙建云,薛利新,等. 甘肃省粮食类薯类制品中铝的暴露量评估[J]. *卫生研究*, 2015, 44(2): 324-329.
- [27] 国家食品药品监督管理总局. 食品药品监管总局办公厅关于食品添加剂明矾在粉皮中使用有关问题的复函:食药监办食监一函[2015]735号[Z]. *中国食品卫生杂志*, 2016, 28(1): 114.
- [28] 丘汾,黄慧萍,李可,等. 深圳市福田区日常食物的铝含量及居民暴露评估[J]. *中国卫生检验杂志*, 2012, 22(8): 1944-1949.
- [29] 杨梅,蒋立新,曾胜波,等. 深圳市居民铝的膳食暴露概率评估[J]. *中国热带医学*, 2014, 14(12): 1449-1452.