

· 疾病控制 ·

## 河南省居民铅镉汞砷铝膳食暴露风险评估

钞凤，刘秉瑞，付鹏钰，张书芳，李杉，袁蒲

河南省疾病预防控制中心公共卫生研究所，河南 郑州 450016

**摘要：**目的 评估河南省居民铅镉汞砷铝膳食暴露风险，为加强食品安全监管提供依据。方法 采用分层随机抽样方法抽取河南省鹤壁市、开封市祥符区、洛阳市涧西区、禹州市、宝丰县和唐河县为现场采样点，采集食物样品，加工制备成12大类食物混合样品，采用电感耦合等离子体质谱仪测定样品中铅镉汞砷铝含量；收集河南省居民膳食消费量资料，依据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的健康指导值结合暴露边界比(MOE)为评估标准，采用点评估法和分布点评估法分析铅镉汞砷铝膳食暴露水平。结果 河南省居民铅膳食暴露量为 $41.89 \mu\text{g}/\text{d}$ ，折算后相当于其暂定每周可耐受摄入量(PTWI)的18.62%，主要来源为谷类和蔬菜类；其中 $2 < 7$ 岁组和 $7 < 13$ 岁组铅暴露的MOE值均<1。镉暴露量为 $10.79 \mu\text{g}/\text{d}$ ，折算后相当于其暂定每月可耐受摄入量的20.55%，主要来源为谷类和蔬菜类。总汞暴露量为 $0.45 \mu\text{g}/\text{d}$ ，折算后相当于其PTWI的1.25%，主要来源为谷类、蔬菜类和水及饮料类；甲基汞暴露量为 $0.04 \mu\text{g}/\text{d}$ ，折算后相当于PTWI的0.28%，均来源于水产类。总砷暴露量为 $26.65 \mu\text{g}/\text{d}$ ，折算后相当于其每日允许摄入量的0.89%，主要来源为谷类和蔬菜类；无机砷暴露量为 $8.41 \mu\text{g}/\text{d}$ ，折算后相当于其PTWI的6.23%，MOE值为22.47。铝暴露量为 $8.27 \text{ mg}/\text{d}$ ，折算后相当于其PTWI的45.94%，主要来源为谷类和薯类；其中 $2 < 7$ 岁组和 $7 < 13$ 岁组铝暴露量第90、97.5百分位数均>PTWI。结论 河南省居民总体铅镉汞砷铝的膳食暴露风险较低。

**关键词：**铅；镉；汞；砷；铝；膳食暴露；风险评估

中图分类号：R155.5

文献标识码：A

文章编号：2096-5087 (2024) 11-0971-06

## Assessment of dietary exposure to lead, cadmium, mercury, arsenic and aluminum among residents in Henan Province

CHAO Feng, LIU Bingrui, FU Pengyu, ZHANG Shufang, LI Shan, YUAN Pu

Department of Public Health, Henan Provincial Center for Disease Control and Prevention, Zhengzhou, Henan 450016, China

**Abstract:** **Objective** To assess the exposure levels of lead, cadmium, mercury, arsenic and aluminum in the diets of residents in Henan Province, so as to provide the basis for strengthening food safety supervision. **Methods** Six sampling points were selected using stratified random sampling method in Henan Province, including Hebi City, Xiangfu District of Kaifeng City, Jianxi District of Luoyang City, Yuzhou City, Baofeng County and Tanghe County. Food samples were collected and processed into mixed samples of 12 major food categories. The levels of lead, cadmium, mercury, arsenic and aluminum in the samples were measured using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Dietary consumption information in Henan Province was collected. The dietary exposure risks of lead, cadmium, mercury, arsenic and aluminum were analyzed using the point estimation method and distribution point estimation method, based on the health guidance values of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives and the margin of exposure (MOE) as the assessment criteria. **Results** The dietary exposure level of lead among residents in Henan Province was  $41.89 \mu\text{g}/\text{d}$ , which was equivalent to 18.62% of its provisional tolerable weekly intake (PTWI), with cereals and vegetables being the main sources; the MOE values of lead among residents aged 2 to  $<7$  years and 7 to  $<13$

**DOI:** 10.19485/j.cnki.issn2096-5087.2024.11.012

**基金项目：**国家重点研发计划项目（2017YFC1600501）；河南省医学

科技攻关计划联合共建项目（LHGJ20190708）

**作者简介：**钞凤，本科，副主任医师，主要从事营养与食品安全工作，

E-mail: chaofhncdc@163.com

years were both less than 1. The dietary exposure level of cadmium was 10.79 μg/d, which was equivalent to 20.55% of the provisional monthly tolerable intake, with cereals and vegetables being the main sources. The dietary exposure level of total mercury was 0.45 μg/d, which was equivalent to 1.25% of its PTWI, with cereals, vegetables, and water and beverage categories being the main sources; the dietary exposure level of methylmercury was 0.04 μg/d, which was equivalent to 0.28% of its PTWI, and it was entirely derived from aquatic products. The dietary exposure level of total arsenic was 26.65 μg/d, which was equivalent to 0.89% of the daily allowable intake, with cereals and vegetables being the main sources; the dietary exposure level of inorganic arsenic was 8.41 μg/d, which was equivalent to 6.23% of its PTWI, with an MOE value of 22.47. The dietary exposure level of aluminum was 8.27 mg/d, which was equivalent to 45.94% of its PTWI, with cereals and tubers being the main sources; the  $P_{90}$  and  $P_{97.5}$  of dietary aluminum exposure among residents aged 2 to <7 years and 7 to <13 years were both greater than PTWI. **Conclusion** The overall dietary exposure risks of lead, cadmium, mercury, arsenic and aluminum among residents in Henan Province are relatively low.

**Keywords:** lead; cadmium; mercury; arsenic; aluminum; dietary exposure; risk assessment

食物中铅镉汞砷铝污染主要来源于农药使用、工业三废排放，以及食品加工、运输或储存过程，并通过食物和饮水途径进入人体<sup>[1]</sup>，长期高水平暴露于有害元素可导致慢性健康危害<sup>[2]</sup>。全球环境监测规划/食品污染监测与评估计划将铅镉汞砷列入核心监测名单<sup>[3]</sup>。我国 GB 2762—2022《食品安全国家标准 食品中污染物限量》明确规定了铅镉汞砷铝在各类食品中的限量<sup>[4]</sup>，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（Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA）也给出了暂定可耐受摄入量<sup>[5]</sup>。本研究分析河南省居民铅镉汞砷铝的膳食暴露风险，为河南省制定食品安全规划、加强食品安全监管提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 食物样品采集与处理

根据膳食消费量调查资料生成采样单，考虑样本量和代表性，于 2017 年采用分层随机抽样方法抽取鹤壁市、开封市祥符区、洛阳市涧西区、禹州市、宝丰县和唐河县 6 个采样点，在每个采样点的超市、副食店、粮店和农贸市场等采集 61 种、重 42.2 kg 的食物样品。加工制备成谷类、豆类、薯类、肉类、蛋类、水产类、乳类、蔬菜类、水果类、糖类、水及饮料类和酒类共 12 大类食物混合样品（加入调味品），装入高压聚乙烯塑料容器中，-20 ℃保存。

### 1.2 铅镉汞砷铝元素检测

参照 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》<sup>[6]</sup>，采用电感耦合等离子体质谱仪测定样品中铅镉汞砷铝含量。以元素特定质量数（质荷比， $m/z$ ）定性，采用外标法，以待测元素质谱信号和内标元素质谱信号的强度比与待测元素的浓度

成正比进行定量分析。

### 1.3 居民膳食消费量资料收集

成人膳食消费量资料来源于 2015 年河南省成人慢性病与营养监测项目。采用多阶段分层随机抽样方法抽取河南省 7 个城市和 7 个农村，共 1 594 户 4 025 人，采用 24 h 回顾法调查连续 3 d 个人食物消费量（包括在外就餐），采用称重法收集 3 d 内被调查户的调味品消费量。

儿童青少年膳食消费量资料来源于 2016 年河南省儿童青少年与乳母营养健康监测项目。采用多阶段分层随机抽样方法抽取河南省 7 个城市和 7 个农村，在幼儿园、学校和社区抽取 2 岁以上 1 405 人（其中儿童青少年 1 207 人），食物和调味品消费量调查方法同上。

### 1.4 居民膳食暴露风险评估

采用点评估法和分布点评估法分析河南省居民铅镉汞砷铝膳食暴露水平。采用 SAS 9.4 软件和 SPSS 21.0 软件描述与分析数据。

#### 1.4.1 点评估法

计算标准人每日铅镉汞砷铝的膳食暴露量，计算公式：

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

式中： $Exp$  为标准人每日暴露量（μg/d，铝为 mg/d）； $F_i$  为标准人第  $i$  类食物消费量（kg/d）； $C_i$  为第  $i$  类食物中元素检测含量（μg/kg，铝为 mg/kg）； $f$  为食品加工系数。营养学概念上的标准人是指年龄 18~59 岁、体重 63 kg、从事轻体力劳动的成年男性，能量约 9 414 kJ。标准人的食物消费量反映人群平均消费水平，由此得出的膳食暴露量可反映人群平均暴露水平<sup>[7]</sup>。评估暴露风险需参照 JECFA 的健康指导值单

位进行折算, 体重统一按 63 kg 计算; 日暴露量×7=周暴露量, 日暴露量×30=月暴露量。各类食物贡献率=来源于各类食物的暴露量/总膳食暴露量。

依据 JECFA 的健康指导值评估铅镉汞砷铝膳食暴露风险, 其中铅和无机砷的暴露风险结合暴露边界比 (margin of exposure, MOE) 评估。MOE 值是造成人类健康危害的基准剂量下限值 (benchmark dose lower confidence limit, BMDL) 与对应元素每日暴露量的比值。铅的 MOE 值是造成儿童智商下降 1 分的 BMDL<sub>0.1</sub> [0.6 μg/(kg 体重·d)] 或成人血压收缩压上升 1 mmHg 的 BMDL<sub>0.1</sub> [1.2 μg/(kg 体重·d)] 与铅膳食暴露量的比值<sup>[8]</sup>; 无机砷的 MOE 值是导致肺癌发病率增加 0.5% 的 BMDL<sub>0.5</sub> [3 μg/(kg 体重·d)] 与无机砷膳食暴露量的比值<sup>[9]</sup>。MOE 值>1 表明摄入的健康风险属于可接受的低水平; MOE 值≤1 表明存在潜在风险。

#### 1.4.2 分布点评估法

计算个体铅镉铝的膳食暴露量, 获得不同年龄组铅镉铝暴露量的均数, 第 50、75、90、97.5 百分位数 ( $P_{50}$ 、 $P_{75}$ 、 $P_{90}$ 、 $P_{97.5}$ ), 以及人群暴露量分布, 依据 JECFA 的健康指导值或采用 MOE 评估暴露风险。计算公式:

$$Exp' = \sum_{i=1}^{12} \frac{F_i' \times C_i}{W} \times f$$

式中:  $Exp'$  为某个体每日暴露量 (μg/kg 体重, 铝为 mg/kg 体重);  $F_i'$  为某个体第  $i$  类食物消费量

(kg/d);  $C_i$  为第  $i$  类食物中元素检测含量 (μg/kg, 铅为 mg/kg);  $W$  为相应组别的平均体重 (kg);  $f$  为食品加工系数。根据膳食消费量资料, 年龄分为 5 组: 2~<7 岁、7~<13 岁、13~<18 岁、18~<60 岁和≥60 岁, 调查人数分别为 373、441、393、2 913 和 1 310 人, 平均体重分别为 16.10、28.62、48.34、58.89 和 52.59 kg。

#### 1.4.3 评估标准

参照 JECFA 的健康指导值, 铅暂定每周可耐受摄入量 (provisional tolerable weekly intake, PTWI) 为 25 μg/(kg 体重·周)<sup>[10]</sup>; 镉暂定每月可耐受摄入量 (provisional tolerable monthly intake, PTMI) 为 25 μg/(kg 体重·月)<sup>[8]</sup>; 汞 PTWI 为 4 μg/(kg 体重·周) (鱼贝类除外), 甲基汞 PTWI 为 1.6 μg/(kg 体重·周)<sup>[9]</sup>; 总砷每日允许摄入量 (acceptable daily intake, ADI) 为 3 mg/d, 无机砷 PTWI 为 15 μg/(kg 体重·周)<sup>[9]</sup>; 铝 PTWI 为 2 mg/(kg 体重·周)<sup>[11]</sup>。

## 2 结 果

### 2.1 铅膳食暴露风险评估

河南省居民铅膳食暴露量为 41.89 μg/d, 折算后相当于其 PTWI 的 18.62%; 主要来源为谷类和蔬菜类, 合计贡献率为 74.71%, 见表 1。2~<7 岁组和 7~<13 岁组铅暴露量均数、 $P_{50}$ 、 $P_{75}$ 、 $P_{90}$  和  $P_{97.5}$  的 MOE 值均<1, 其他年龄组的 MOE 值均>1, 见表 2。

表 1 河南省标准人每日 5 种元素膳食暴露量和各类食物贡献率

Table 1 Daily dietary exposure levels of five elements and food contribution rates per standard person in Henan Province

食物类别	铅		镉		总汞		甲基汞		总砷		无机砷		铝	
	暴露量 / (μg/d)	贡献率/%	暴露量 / (mg/d)	贡献率/%										
	23.83	56.88	7.25	67.24	0.23	51.48	—	—	11.13	41.76	7.01	83.38	5.15	62.27
谷类	0.66	1.58	1.17	10.85	0.02	4.45	—	—	0.38	1.41	0.12	1.47	0.72	8.67
豆类	1.00	2.40	0.24	2.26	<0.01	0.89	—	—	0.29	1.07	0.18	2.11	1.53	18.51
薯类	1.60	3.82	0.18	1.67	0.01	2.84	—	—	0.38	1.42	0.03	0.34	0.10	1.25
肉类	0.33	0.79	0.03	0.26	0.01	1.59	—	—	0.07	0.25	0.03	0.39	0.01	0.14
蛋类	0.04	0.09	0.12	1.11	0.05	10.26	0.04	100.00	1.18	4.43	<0.01	0.03	0.01	0.11
水产类	0.03	0.08	<0.01	0.01	<0.01	0.22	—	—	0.01	0.03	0.01	0.08	<0.01	0.03
乳类	7.47	17.83	1.73	16.03	0.06	14.25	—	—	11.91	44.70	0.41	4.82	0.55	6.66
蔬菜类	0.15	0.35	0.03	0.23	<0.01	0.70	—	—	0.21	0.80	0.01	0.14	<0.01	0.04
水果类	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	—	—	0.01	0.03	0.01	0.07	<0.01	<0.01
糖类	6.76	16.14	0.04	0.33	0.06	13.28	—	—	1.09	4.07	0.60	7.09	0.19	2.31
水及饮料类	0.01	0.03	<0.01	<0.01	<0.01	0.04	—	—	0.01	0.02	0.01	0.06	<0.01	0.01
酒类	41.89	100.00	10.79	100.00	0.45	100.00	0.04	100.00	26.65	100.00	8.41	100.00	8.27	100.00

表 2 河南省不同年龄组居民铅膳食暴露量

Table 2 Dietary exposure levels of lead among residents with different age groups in Henan Province

年龄/ 岁	均数/ (kg 体重 · d) [μg]	MOE (均) 值	$P_{50}/$ [μg/ (kg 体重 · d)]	MOE ( $P_{50}$ ) 值	$P_{75}/$ [μg/ (kg 体重 · d)]	MOE ( $P_{75}$ ) 值	$P_{90}/$ [μg/ (kg 体重 · d)]	MOE ( $P_{90}$ ) 值	$P_{97.5}/$ [μg/ (kg 体重 · d)]	MOE ( $P_{97.5}$ ) 值
2~	0.94	0.64	0.86	0.70	1.13	0.53	1.64	0.37	2.45	0.25
7~	0.84	0.72	0.77	0.78	0.99	0.61	1.26	0.47	1.61	0.37
13~	0.62	1.94	0.60	2.01	0.75	1.61	0.94	1.28	1.09	1.10
18~	0.55	2.17	0.52	2.32	0.64	1.87	0.81	1.48	1.07	1.12
≥60	0.58	2.05	0.55	2.19	0.68	1.76	0.88	1.37	1.14	1.05

## 2.2 镉膳食暴露风险评估

河南省居民镉膳食暴露量为  $10.79 \mu\text{g}/\text{d}$ , 折算后相当于其 PTMI 的 20.55%; 主要来源为谷类和蔬菜类, 合计贡献率为 83.27%, 见表 1。各年龄组镉暴露量均数、 $P_{50}$ 、 $P_{75}$ 、 $P_{90}$  和  $P_{97.5}$  均 < PTMI;

2~<7 岁组镉暴露水平最高, 镉暴露量均数、 $P_{50}$  分别占 PTMI 的 34.00% 和 30.72%; 镉暴露量占 PTMI 的比例随年龄增加而下降, 见表 3。不同年龄组镉膳食暴露量  $\geq$  PTMI 的人数仅占 0~0.46%。

表 3 河南省不同年龄组居民镉膳食暴露量

Table 3 Dietary exposure levels of cadmium among residents with different age groups in Henan Province

年龄/ 岁	均数/ (kg 体重 · 月) [μg]	占 PTMI 比例/%	$P_{50}/$ [μg/ (kg 体重 · 月)]	占 PTMI 比例/%	$P_{75}/$ [μg/ (kg 体重 · 月)]	占 PTMI 比例/%	$P_{90}/$ [μg/ (kg 体重 · 月)]	占 PTMI 比例/%	$P_{97.5}/$ [μg/ (kg 体重 · 月)]	占 PTMI 比例/%
2~	8.50	34.00	7.68	30.72	10.24	40.96	15.28	61.12	22.02	88.08
7~	7.66	30.64	6.98	27.92	8.92	35.68	11.44	45.76	15.99	63.96
13~	5.68	22.72	5.35	21.40	6.66	26.64	8.60	34.40	10.40	41.60
18~	5.09	20.36	4.73	18.92	5.98	23.92	7.42	29.68	9.95	39.80
≥60	5.44	21.76	5.00	20.00	6.47	25.88	8.27	33.08	11.70	46.80
合计	5.42	21.68	5.06	20.24	6.53	26.12	8.25	33.00	11.07	44.28

## 2.3 汞膳食暴露风险评估

河南省居民总汞膳食暴露量为  $0.45 \mu\text{g}/\text{d}$ , 折算后相当于其 PTWI 的 1.25%; 主要来源为谷类、蔬菜类和水及饮料类, 合计贡献率为 79.01%。甲基汞膳食暴露量为  $0.04 \mu\text{g}/\text{d}$ , 折算后相当于其 PTWI 的 0.28%, 均来源于水产类。见表 1。

## 2.4 砷膳食暴露风险评估

河南省居民总砷膳食暴露量为  $26.65 \mu\text{g}/\text{d}$ , 折算后相当于其 ADI 的 0.89%; 主要来源为谷类和蔬菜类, 合计贡献率为 86.46%。无机砷膳食暴露量为  $8.41 \mu\text{g}/\text{d}$ , 折算后相当于其 PTWI 的 6.23%; 主要来源为谷类, 贡献率为 83.38%。见表 1。无机砷的 MOE 值为 22.47。

## 2.5 铝膳食暴露风险评估

河南省居民铝膳食暴露量为  $8.27 \text{ mg}/\text{d}$ , 折算后相当于其 PTWI 的 45.94%; 主要来源为谷类和薯类, 合计贡献率为 80.78%, 见表 1。除 18~<60 岁组,

其他年龄组铝暴露量  $P_{97.5}$  均  $>$  PTWI; 其中 2~<7 岁组和 7~<13 岁组铝暴露量  $P_{90}$  均  $>$  PTWI, 铝暴露量  $P_{97.5}$  分别达 PTWI 的 2.03 倍、1.36 倍, 见表 4。不同年龄组铝膳食暴露量  $\geq$  PTWI 的比例为 2.16%~23.61%, 其中 2~<7 岁组和 7~<13 岁组  $\geq$  PTWI 人数的比例较高, 分别占 23.61% 和 13.94%。

## 3 讨论

本研究评估了河南省居民铅镉汞砷铝膳食暴露情况, 结果显示, 铅镉汞砷铝的膳食暴露风险均较低。

铅对神经系统、骨骼系统和造血系统有明显损害, 对消化系统、免疫系统及生长发育有毒性作用<sup>[12]</sup>。儿童的脑组织对铅蓄积所引起的毒性较成人敏感, 高浓度的铅易引起中毒性脑病、脑水肿和脊髓运动细胞损伤, 导致运动和平衡功能失调, 而长期接触低浓度铅对儿童智商也有影响<sup>[13]</sup>。本研究结果显示

表 4 河南省不同年龄组居民铝膳食暴露量

Table 4 Dietary exposure levels of aluminum among residents with different age groups in Henan Province

年龄/ 岁	均数/ (kg 体重 · 周) ]	占 PTWI 比例/%	$P_{50}/$ [mg/ (kg 体重 · 周) ]	占 PTWI 比例/%	$P_{75}/$ [mg/ (kg 体重 · 周) ]	占 PTWI 比例/%	$P_{90}/$ [mg/ (kg 体重 · 周) ]	占 PTWI 比例/%	$P_{97.5}/$ [mg/ (kg 体重 · 周) ]	占 PTWI 比例/%
2~	1.53	76.36	1.33	66.66	1.95	97.28	2.85	142.74	4.05	202.69
7~	1.36	68.24	1.31	65.30	1.69	84.71	2.20	109.95	2.73	136.29
13~	0.98	49.16	0.91	45.49	1.11	55.66	1.46	72.87	2.20	109.87
18~	0.89	44.68	0.82	41.20	1.05	52.54	1.35	67.46	1.88	94.10
≥60	0.98	48.91	0.89	44.68	1.19	59.38	1.50	75.21	2.18	108.98
合计	0.96	48.00	0.89	44.50	1.16	58.15	1.49	74.54	2.09	104.50

示，铅主要来源于谷类和蔬菜类，合计贡献率为 74.71%；2~<7 岁组和 7~<13 岁组铅膳食暴露量均数、 $P_{50}$ 、 $P_{75}$ 、 $P_{90}$  和  $P_{97.5}$  的 MOE 值均<1，提示存在潜在风险，与广东省<sup>[14]</sup>和重庆市<sup>[15]</sup>居民铅膳食暴露评估结果类似，应密切监测并控制儿童青少年由食物摄入铅的风险<sup>[16]</sup>。

镉可损害肾脏和消化系统，还会损害骨骼，造成软骨症和骨质疏松<sup>[17]</sup>。汞是有毒重金属元素，烷基汞的毒性大于芳基汞和无机汞，烷基汞中甲基汞毒性最强，主要表现在对中枢神经系统的危害，特别是对婴幼儿的大脑发育具有阻滞作用<sup>[18]</sup>。砷化合物的毒性与形态密切相关，无机砷毒性很强，砷中毒主要表现为急性肠胃炎，慢性中毒主要损害神经系统，已被国际癌症机构确认为 I 级致癌物<sup>[19]</sup>。本研究结果显示，河南省各年龄组居民镉膳食暴露量均数、 $P_{50}$ 、 $P_{75}$ 、 $P_{90}$  和  $P_{97.5}$  均<PTMI，≥PTMI 人数的比例较低，表明镉膳食暴露的健康风险属于可接受的低水平。总汞、甲基汞、总砷和无机砷膳食暴露量占其健康指导值的比例较低，提示健康风险较低。

铝被广泛应用于食品添加剂、混凝土、药物及炊具，长期摄入会在人体内蓄积并产生毒性<sup>[20]</sup>。本研究结果显示，河南省居民铝膳食暴露量为 8.27 mg/d，折算后相当于其 PTWI 的 45.94%；2~<7 岁组和 7~<13 岁组铝暴露量  $P_{90}>$ PTWI， $P_{97.5}$  已达 PTWI 的 2.03 倍、1.36 倍，与陕西省<sup>[21]</sup>和吉林省<sup>[22]</sup>报道结果类似。铝主要来源为谷类和薯类（合计贡献率为 80.78%），如发酵面制品、油条、粉丝和粉条等，这些食品在制作中会加入含铝添加剂以改善口感，导致铝含量较高。有关部门应重点加强对餐饮环节的监督和管理，密切关注食品中有害元素的污染状况，进一步开展儿童膳食有害元素暴露与疾病关系的研究。

本研究存在一定的局限性。膳食消费量采用了 2015 年河南省成人慢性病与营养监测和 2016 年儿童青少年与乳母营养健康监测项目的膳食调查资料，年份较早，随着时间的推移，居民各类食品的消费量可能会发生改变。仅采集了 6 个采样点的食物样品，且为混合样品，可能会影响评估结果的准确性，也无法追溯有害元素的污染来源。

#### 参考文献

- 孙长颢, 凌文华, 黄国伟, 等. 营养与食品卫生学(第 8 版)[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2017.
- 徐映如, 陈道湧, 沈俊毅, 等. 虹口区市售蔬菜类重金属污染与健康风险评估[J]. 预防医学, 2021, 33(4): 406~410.
- 李敬光, 张磊, 吕冰, 等. 中国总膳食研究化学检测技术[M]. 北京: 科学出版社, 2023.
- 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中污染物限量: GB 2762—2022[S]. 2022.
- 吴永宁, 刘沛, 孙金方, 等. 膳食暴露评估技术与中国总膳食研究[M]. 北京: 化学工业出版社, 2019.
- 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 食品安全国家标准食品中多元素的测定: GB 5009.268—2016[S]. 2016.
- 吴永宁, 赵云峰, 李敬光, 等. 第五次中国总膳食研究[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Evaluation of certain food additives and contaminants: seventy-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives [R]. Geneva: WHO, 2010.
- The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Evaluation of certain food additives and contaminants: seventy-second report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives [R]. Geneva: WHO, 2010.
- The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Evaluation of certain food additives and contaminants: forty-fourth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives [R]. Geneva: WHO, 1993.
- The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Evaluation of certain food additives and contaminants: seventy-fourth re-

(下转第 979 页)

≤5岁儿童为高发人群,CA16和其他肠道病毒为主要型别。建议在5—7月加强针对≤5岁儿童的手足口病防控,关注托幼机构等重点场所,加强儿童监护人健康教育,促进儿童养成良好的卫生习惯,并不断推进高水平的EV71疫苗接种率。加强针对CA16、CA6等肠道病毒的疫苗研发,为易感人群提供手足口病优势毒株免疫保护。

#### 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家卫生健康委员会.手足口病诊疗指南(2018年版)[J].中华临床感染病杂志,2018,11(3):161-166.
- [2] 张静,李秀惠,李丽,等.手足口病病原学和流行病学研究进展[J].中华流行病学杂志,2022,43(5):771-783.
- [3] 庞孟涛,李傅冬.2016—2019年浙江省手足口病流行特征[J].预防医学,2022,34(3):307-310.
- [4] 王祚亚,叶莉霞.宁波市2018—2021年出生儿童肠道病毒71型疫苗接种情况分析[J].预防医学,2023,35(10):895-898.
- [5] 曾四清.Joinpoint回归模型及其在传染病流行趋势分析中的应用[J].中国卫生统计,2019,36(5):787-791.
- [6] 李芳,杨广树.2009—2021年广元市手足口病流行趋势的Joinpoint回归分析[J].预防医学情报杂志,2023,39(7):772-776,781.
- [7] 李慧,蒋丽娜.2008—2022年广西壮族自治区手足口病流行病学Joinpoint回归模型趋势分析[J].疾病监测,2024,39(2):229-234.
- [8] 丁克琴,易波.宁波市儿童家长EV71疫苗接种认知、态度及影响因素[J].预防医学,2017,29(8):850-854.
- [9] 袁月荣,高志杰.海曙区托幼儿童家长手足口病知识及儿童手卫生行为调查[J].预防医学,2021,33(7):742-744,748.
- [10] 曾四清,孙立梅.2008—2017年广东省手足口病流行趋势变化特征的Joinpoint回归模型分析[J].疾病监测,2019,34(2):141-146.
- [11] 梁兆毅,孟君.深圳市2008—2020年手足口病流行特征及EV71疫苗接种对其发病率影响[J].中国公共卫生,2023,39(2):249-252.
- [12] 杨溪,姜黎黎.云南省2009—2019年手足口病流行特征及病原学特征分析[J].现代预防医学,2021,48(5):789-792.
- [13] 马婉婉,龚磊.2015—2022年安徽省手足口病流行病学特征及病原谱变化[J].安徽医科大学学报,2023,58(10):1763-1768.
- [14] 衣贵鹏,庞振陆.2012—2019年山东省手足口病流行特征及空间聚集性分析[J].现代预防医学,2021,48(15):2710-2715.
- [15] 万丽,周吉坤.2009—2021年石家庄市手足口病流行特征及病原学变迁分析[J].公共卫生与预防医学,2023,34(2):60-64.

收稿日期:2024-08-05 修回日期:2024-10-15 本文编辑:徐亚慧

#### (上接第975页)

- port of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives [R].Geneva: WHO, 2011.
- [12] 董玉婷,彭慧,王小卉,等.嘉定区儿童膳食铅暴露健康风险评估[J].预防医学,2024,36(10):893-896.
- [13] XU X H, ZHAO Y C, ZHAO X Y, et al. Sources of heavy metal pollution in agricultural soils of a rapidly industrializing area in the Yangtze Delta of China [J]. Ecotoxicol Environ Saf, 2014, 108: 161-167.
- [14] 蔡文华,胡曙光,苏祖检,等.2007—2014年广东省膳食中铅、镉、砷、汞元素的人群健康风险评估[J].食品安全质量检测学报,2015,6(6):2308-2316.
- [15] 陈佳辉,陈京蓉,冯萍,等.重庆市居民铅暴露概率风险评估[J].卫生研究,2023,52(4):611-617.
- [16] 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.
- [17] 李艳飞,谢昌平,李德洁,等.柳州地区自产大米中镉、铅和砷污染状况及其健康风险评价[J].中国卫生检验杂志,2020,30(24):3026-3029.
- [18] 蒋沙沙,霍永红,李德海,等.大米中主要重金属污染分析及风险评估研究现状[J].食品工业科技,2023,44(2):417-426.
- [19] LI H B, ZHANG H Q, YANG Y J, et al. Effects and oxygen-regulated mechanisms of water management on cadmium (Cd) accumulation in rice (*Oryza sativa*) [J/OL]. Sci Total Environ, 2022 [2024-09-10]. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157484>.
- [20] CAO P, LIU A D, YANG D J, et al. Assessment of dietary exposure of young Chinese children to aluminium residues [J]. Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess, 2019, 36(4): 582-591.
- [21] 聂晓玲,王敏娟,刘宇,等.2013—2015年陕西省居民膳食铅暴露风险评估[J].卫生研究,2018,47(2):307-311.
- [22] WANG B, LIU Y, WANG H, et al. Contamination and health risk assessment of lead, arsenic, cadmium, and aluminum from a total diet study of Jilin Province, China [J]. Food Sci Nutr, 2020, 8(10): 5631-5640.

收稿日期:2024-06-03 修回日期:2024-09-10 本文编辑:徐文璐