

· 疾病控制 ·

# 嘉定区儿童膳食铅暴露健康风险评估

董玉婷<sup>1</sup>, 彭慧<sup>1</sup>, 王小卉<sup>1</sup>, 程仁杰<sup>1</sup>, 王和兴<sup>2</sup>

1.上海市嘉定区疾病预防控制中心学校卫生科, 上海 201899; 2.复旦大学, 上海 200032

**摘要:** **目的** 了解上海市嘉定区3~4岁儿童膳食铅暴露水平, 评估铅暴露导致的健康风险, 为儿童食品安全管理提供依据。**方法** 基于2023年嘉定区居民膳食与健康状况监测项目, 采用多阶段分层随机抽样方法, 抽取嘉定区12个街道(乡镇)3~4岁儿童为调查对象, 采用食物频率问卷收集儿童过去3个月豆类(大豆等干豆、豆腐)、谷物类(小麦、大米)、肉类(畜禽内脏)和水产类(虾蛄、双壳贝类)4大类7小类食品的消费频次、每日摄入量等资料。根据嘉定区食品安全风险监测方案采集食品样品, 检测铅含量; 采用单因素污染指数法、内梅罗综合污染指数法和安全限值(MOS)法定量评估3~4岁儿童膳食铅暴露健康风险。**结果** 调查143名3~4岁儿童, 其中男童69人, 占48.25%; 女童74人, 占51.75%。共检测食品样品317份, 7小类食品样品均有铅检出, 所有食品样品铅总检出率为77.29%; 水产类的双壳贝类、虾蛄铅检出率较高, 分别为98.75%和100.00%。各类食品铅含量均值范围为0.003 4~0.090 7, 其中双壳贝类铅含量最高。各类食品铅含量均未超标。7小类食品单因素污染指数范围为0.017 2~0.148 0; 内梅罗综合污染指数范围为0.116 5~0.424 4, 均<0.7; MOS(均)值范围为0.000 3~0.003 9, 合计MOS(均)值为0.012 2; MOS( $P_{95}$ )值范围为0.005 7~0.055 9, 合计MOS( $P_{95}$ )值为0.112 4, 均<1。**结论** 嘉定区3~4岁儿童膳食中铅污染等级为安全, 污染水平为清洁, 对食品安全的影响处于可接受水平; 但铅检出率较高, 膳食铅暴露主要来源于水产类食品。

**关键词:** 膳食; 铅; 儿童; 健康风险评估

中图分类号: R153.2

文献标识码: A

文章编号: 2096-5087(2024)10-0893-04

## Health risk assessment of dietary lead exposure among children in Jiading District

DONG Yuting<sup>1</sup>, PENG Hui<sup>1</sup>, WANG Xiaohui<sup>1</sup>, CHENG Renjie<sup>1</sup>, WANG Hexing<sup>2</sup>

1.Department of School Health, Jiading District Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 201899, China;

2.Fudan University, Shanghai 200032, China

**Abstract: Objective** To investigate the dietary lead exposure level among children aged 3 to 4 years in Jiading District, Shanghai Municipality, and assess the health risk caused by lead exposure, so as to provide the basis for the management of children's food safety. **Methods** Based on the 2023 Dietary and Health Status Surveillance Project in Jiading District, children aged 3 to 4 years from 12 streets (townships) in Jiading District were selected as the subjects using a multi-stage stratified random sampling method. The consumption frequency and daily intake of seven subcategories of four major food groups (beans, tofu), cereals (wheat, rice), meat (animal viscera), and aquatic products (mantis shrimps, bivalves) consumed by children over the past three months were collected using a food frequency questionnaire. Food samples were collected according to the food safety risk monitoring plan in Jiading District, and the lead content was detected. The health risks of dietary lead exposure among 3-4-year-old children were quantitatively assessed using the single-factor pollution index method, the Nemerow comprehensive pollution index method, and the margin of safety (MOS) method. **Results** A total of 143 3-4-year-old children were surveyed, including 69 boys (48.25%) and 74 girls (51.75%). A total of 317 food samples were tested, and lead was detected in all seven subcategories of food samples, with an overall detection rate of 77.29%. The detection rates of lead in bivalves and mantis shrimps of aquatic products were relatively high (98.75% and 100.00%, respectively). The mean lead content of various foods

DOI: 10.19485/j.cnki.issn2096-5087.2024.10.016

作者简介: 董玉婷, 硕士, 主管医师, 主要从事营养食品卫生工作

通信作者: 王和兴, E-mail: wanghexing@fudan.edu.cn

ranged from 0.003 4 to 0.090 7, with the highest level found in bivalves. The lead content of all food samples did not exceed the standard. The single-factor pollution index of seven subcategories ranged from 0.017 2 to 0.148 0, and the Nemerow comprehensive pollution index ranged from 0.116 5 to 0.424 4, both of which were less than 0.7. The MOS (mean) ranged from 0.000 3 to 0.003 9, with an overall MOS (mean) of 0.012 2. The MOS ( $P_{95}$ ) ranged from 0.005 7 to 0.055 9, with an overall MOS ( $P_{95}$ ) of 0.112 4, both of which were less than 1. **Conclusions** The lead pollution level in the diet among children aged 3 to 4 years in Jiading District is safe and clean, with an acceptable impact on food safety. However, the detection rate of lead is relatively high, and the main source of dietary lead exposure is aquatic products.

**Keywords:** diet; lead; children; health risk assessment

铅是自然环境中分布最广泛的重金属元素之一, 人群铅暴露主要通过摄入被铅污染的食物和水, 以及吸入被铅污染的气溶胶或粉尘颗粒, 长期铅暴露会损伤消化系统、循环系统和中枢神经系统<sup>[1]</sup>。儿童是食品安全监测的重点人群, 处于生长发育阶段的儿童对铅暴露较敏感, 有研究发现我国 3~4 岁儿童铅暴露与生长迟缓发生风险之间存在正向关联<sup>[2-4]</sup>。为了解上海市嘉定区 3~4 岁儿童膳食铅暴露情况, 本研究基于嘉定区居民膳食与健康状况监测项目, 结合 2018—2023 年食品安全风险监测资料, 检测豆类、谷物类、肉类和水产类食品铅含量, 定量评估 3~4 岁儿童膳食铅暴露水平及其导致的健康风险, 为儿童食品安全管理提供依据。

## 1 对象与方法

### 1.1 对象

基于 2023 年嘉定区居民膳食与健康状况监测项目, 采用多阶段分层随机抽样方法抽取嘉定区 12 个街道(乡镇) 3~4 岁儿童为调查对象。纳入标准: (1) 愿意参加调查; (2) 儿童家长能理解问卷内容且签署知情同意书。本研究通过嘉定区疾病预防控制中心伦理委员会审查(2020-003)。

### 1.2 铅暴露水平调查

#### 1.2.1 膳食调查

由经过统一培训的调查人员采用食物频率问卷面对面调查儿童家长, 回顾收集儿童过去 3 个月豆类(大豆等干豆、豆腐)、谷物类(小麦、大米)、肉类(畜禽内脏)和水产类(双壳贝类、虾蛄) 4 大类 7 小类食物的消费频次、平均每次摄入量和每日摄入量等资料。食物摄入量根据 2002 年第 5 版《中国食物成分表》中食物可食部的比例折算<sup>[5]</sup>。

#### 1.2.2 样品采集

根据嘉定区食品安全风险监测方案, 通过嘉定区 12 个街道(乡镇) 食品安全风险监测点采集食品样品, 如批发市场、农贸市场、超市、零售店、网店和餐饮单位等。散装样品每份采集 500~1 000 g, 定型

包装每份采集不少于 500 g, 且每种样品一式两份, 一份用于检测分析, 另外一份备检。按照制样规范, 取食品样品的可食用部分制样, 且每份样品制备双份样, 放入密封袋中-20℃以下保存, 待测。

#### 1.2.3 铅含量检测

采用石墨炉原子吸收光谱法测定食品样品铅含量。仪器参考条件: 波长为 283.3 nm, 狭缝 0.2~1.0 nm, 灯电流 5~7 mA; 干燥温度 120℃, 20 s; 灰化温度 450℃, 15~20 s; 原子化温度 1 700~2 300℃, 4~5 s。参照 GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》<sup>[6]</sup> 标准判断铅含量是否超标。

## 1.3 健康风险评估

### 1.3.1 单因素污染指数法

单因素污染指数法依据污染物检测的平均值和污染物在食品中的国家限值比值计算。评估模型为  $P_i = C_i/S_i$ , 其中,  $P_i$  为某类食品样品的铅污染指数;  $C_i$  为某类食品样品的铅实际测量平均值;  $S_i$  为某类食品样品的铅评价标准限值<sup>[6]</sup>。参照食品质量等级,  $P_i$  以 0.7、1.0、2.0 和 3.0 划分污染等级为安全、警戒线、轻污染、中污染和重污染 5 个等级, 划分污染水平为清洁、尚清洁、开始受到污染、受中度污染和受污染已相当严重 5 个水平。

### 1.3.2 内梅罗综合污染指数法

内梅罗综合污染指数法根据单因子污染指数评价结果评价某类食品整体铅污染水平。评估模型为  $P_i = \{ [(C_i/S_i)_{max}^2 + (C_i/S_i)_{ave}^2] / 2 \}^{1/2}$ , 其中,  $P_i$  为某类食品样品的综合污染指数;  $(C_i/S_i)_{max}$  为某类食品样品铅污染指数最大值;  $(C_i/S_i)_{ave}$  为某类食品样品铅污染指数平均值。参照食品质量等级,  $P_i$  划分污染等级和污染水平同单因素污染指数法。

### 1.3.3 安全限值法

安全限值(margin of safety, MOS)法可分为有阈值污染物和无阈值污染物, 铅为有阈值污染物, 可用实际摄入量与暂定每月耐受摄入量(provisional tolerable monthly intake, PTMI)的比较评估人群健康风

险。评估模型为  $MOS = (C \times IR \times F) / (SI \times BW)$ ，其中，C 为该污染物检测浓度 (mg/kg)，采用均值及第 95 百分位数 ( $P_{95}$ ) 值计算；IR 为该类食品的摄入量 (kg/d)，采用均值及  $P_{95}$  值计算；F 为校正因子，本研究取 7<sup>[7]</sup>；SI 为联合国粮农组织和世界卫生组织规定的 PTWI 值；BW 为体重，取本次调查的 3~4 岁儿童平均体重 20.00 kg。MOS 值  $\leq 1$  表明该污染物对食品安全的影响处于可接受水平；MOS 值  $> 1$  表明该污染物对食品安全的影响超出可接受范围，应当采取一定的风险管控措施。

#### 1.4 统计分析

采用 Excel 2007 软件整理数据。铅含量低于检出限 (limit of detection, LOD) 的比例  $< 60\%$  时，以  $1/2$  LOD 录入；低于 LOD 的比例  $\geq 60\%$  时，以 LOD 录入。本研究选择均值、最大值、中位数和  $P_{95}$  分析

膳食铅含量，并与国家标准限值比较评价。

## 2 结果

### 2.1 膳食铅含量

调查 3~4 岁儿童 143 人，其中男童 69 人，占 48.25%；女童 74 人，占 51.75%。共检测食品样品 317 份，7 小类食品样品均有铅检出，所有食品样品铅总检出率为 77.29%，各类食品样品铅检出率范围为 16.67%~100.00%，其中水产类的双壳贝类和虾蛄铅检出率较高，分别为 98.75% 和 100.00%。各类食品样品铅含量均值范围为 0.003 4~0.090 7，其中，水产类的双壳贝类铅含量最高，其次为大豆等干豆，虾蛄和畜禽内脏。参照 GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》<sup>[6]</sup> 判断，各类食品样品铅含量均未超标。见表 1。

表 1 嘉定区 3~4 岁儿童膳食铅含量检测结果

Table 1 Dietary lead content among children aged 3 to 4 years in Jiading District

| 食品类别  | 样品数 | 检出率/%  | 均值/ (mg/kg) | 最大值/ (mg/kg) | 中位数/ (mg/kg) | $P_{95}$ 值/ (mg/kg) | 超标率/% |
|-------|-----|--------|-------------|--------------|--------------|---------------------|-------|
| 大豆等干豆 | 25  | 76.00  | 0.029 6     | 0.107 0      | 0.027 0      | 0.085 5             | 0     |
| 豆腐    | 15  | 60.00  | 0.014 2     | 0.055 3      | 0.009 4      | 0.050 0             | 0     |
| 小麦    | 19  | 73.68  | 0.003 4     | 0.120 0      | 0.039 5      | 0.079 8             | 0     |
| 大米    | 42  | 16.67  | 0.004 4     | 0.014 5      | 0.004 0      | 0.005 0             | 0     |
| 畜禽内脏  | 82  | 76.83  | 0.014 7     | 0.082 6      | 0.011 3      | 0.058 6             | 0     |
| 双壳贝类  | 80  | 98.75  | 0.090 7     | 0.372 0      | 0.065 6      | 0.241 0             | 0     |
| 虾蛄    | 54  | 100.00 | 0.022 5     | 0.124 0      | 0.019 5      | 0.034 0             | 0     |

### 2.2 膳食铅暴露健康风险

7 小类食品单因素污染指数范围为 0.017 2~0.148 0，内梅罗综合污染指数范围为 0.116 5~0.424 4，均  $< 0.7$ ；参照食品质量等级划分，7 小类食品中铅污染等级为安全，污染水平为清洁。MOS 法评估结果显示，7 小类食品 MOS (均) 值范围为 0.000 3~0.003 9，合计 MOS (均) 值为 0.012 2；MOS ( $P_{95}$ ) 值范围为 0.005 7~0.055 9，合计 MOS ( $P_{95}$ ) 值为 0.112 4，均  $< 1$ ；表明市售 7 小类食品中铅含量对食品安全的影响处于可接受水平。见表 2。

表 2 不同种类食品铅暴露健康风险评估结果

Table 2 Health risk assessment results of lead exposure from different types of food

| 食品类别  | 单因素污染指数 | 内梅罗综合污染指数 | MOS (均) 值 | MOS ( $P_{95}$ ) 值 |
|-------|---------|-----------|-----------|--------------------|
| 大豆等干豆 | 0.148 0 | 0.116 5   | 0.000 9   | 0.006 8            |
| 豆腐    | 0.047 4 | 0.134 6   | 0.001 1   | 0.009 9            |
| 小麦    | 0.022 0 | 0.424 4   | 0.000 9   | 0.055 9            |
| 大米    | 0.017 2 | 0.378 3   | 0.003 1   | 0.006 3            |
| 畜禽内脏  | 0.029 4 | 0.118 6   | 0.000 3   | 0.005 7            |
| 双壳贝类  | 0.060 5 | 0.180 5   | 0.002 0   | 0.014 2            |
| 虾蛄    | 0.045 0 | 0.178 2   | 0.003 9   | 0.013 6            |

## 3 讨论

研究显示，嘉定区 3~4 岁儿童 7 小类食品样品中均有铅检出，总检出率为 77.29%，提示嘉定区市售食品中存在一定的铅污染问题。水产类的双壳贝类和虾蛄的铅检出率较高，其中双壳贝类的铅含量最高，可能是因为贝类能将水中的铅富集于体内<sup>[8]</sup>。谷类的小麦和大米铅含量相对较低，但 3~4 岁儿童

每日摄入量较高，仍需持续关注膳食中重金属及其他污染物暴露风险<sup>[9-10]</sup>。嘉定区市售食品中铅含量均未超标，低于浙江省桐乡市<sup>[11]</sup>和上海市研究结果<sup>[12]</sup>。表明嘉定区膳食铅暴露处于可接受水平，应继续监测和管理，加强食品安全。

本研究使用 3 种评估模型定量评估嘉定区 3~4 岁儿童膳食铅暴露健康风险，结果均显示嘉定区 3~4

岁儿童膳食中铅污染等级为安全, 污染水平为清洁, 对食品安全的影响处于可接受水平, 对人体健康造成危害的风险在容许范围内。儿童膳食摄入较为简单, 但某时期内某种食物摄入量较大, 该年龄段儿童体重较轻, 食物中残留的有害物质可能会对儿童造成较大风险, 需积极采取预防策略。建议增强居民食品安全意识, 食用前认真清洗食物, 以控制膳食铅的摄入, 从而预防铅对人体健康的危害; 并通过改善饮食结构、合理膳食等降低铅暴露风险。

本研究通过评估 3~4 岁儿童膳食铅暴露健康风险, 可针对特定人群采取预防策略, 食品铅污染监测数据也可为政策制定提供依据。本研究也存在一定局限性。儿童膳食摄入量采用 2023 年调查数据, 与 2018—2023 年食品铅污染监测数据在时效性方面可能有差异; 其次, 监测的食品样品种类覆盖不完全, 可能导致暴露评估数值偏低。今后继续做好食品安全风险监测, 关注居民食品安全, 尤其是对本研究发现的铅含量较高的食品种类持续监测, 加大水产类和豆类的铅含量检测力度, 同时积极开展嘉定区人群食品精确摄入水平的调查工作, 加强多种重金属元素的监测工作<sup>[13-15]</sup>, 掌握居民健康风险水平, 为居民科学合理膳食提供依据。

#### 参考文献

- [1] RALPH M I, CHAPLYN A, CATTANI M. A review of radiation doses and associated parameters in Western Australian mining operations that process ores containing naturally occurring radionuclides for 2018-2019 [J]. J Radiol Prot, 2020, 40 (4): 1476-1496.
- [2] 董玉婷, 鲍勇, 彭慧, 等. 上海市嘉定区中小学生膳食中营养素摄入情况分析 & 政策建议 [J]. 中华全科医学, 2020, 18 (1): 134-138.
- [3] 程庆秋, 彭琪, 梁健行, 等. 东莞地区 28 986 例儿童微量元素检测结果分析 [J]. 中国实验诊断学, 2021, 25 (8): 1182-1186.
- [4] 李峥, 吕跃斌, 赵峰, 等. 中国 3~5 岁儿童铅暴露与生长迟缓和低体重的关联研究 [J]. 中华预防医学杂志, 2022, 56 (11): 1597-1603.
- [5] 罗宝章, 吴春峰, 朱珍妮, 等. 上海市 15 岁及以上居民膳食摄入量分析 [J]. 上海预防医学, 2022, 34 (5): 417-424.
- [6] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中污染物限量: GB 2762—2017 [S]. 2017.
- [7] 杨洋. 2013—2016 年六安市主要膳食食品中重金属铅、镉、汞、砷的暴露量及风险评估 [D]. 合肥: 安徽医科大学, 2019.
- [8] 吴丹, 张小军, 曾军杰, 等. 崆崆区域贻贝重金属污染研究及健康风险评估 [J]. 安徽农业科学, 2021, 49 (22): 164-169.
- [9] 蒋莹, 邹森, 平小红, 等. 辽宁省大米中无机砷残留的膳食风险评估 [J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13 (10): 3326-3270.
- [10] 周煜, 沈毅, 王姝婷, 等. 杭州市居民谷物和烧烤油炸类食品多环芳烃暴露风险评估 [J]. 预防医学, 2019, 31 (3): 260-264, 270.
- [11] 李秋月, 许皓, 方惠千, 等. 桐乡市 2015 年—2018 年食品中重金属污染物的监测分析 [J]. 中国卫生检验杂志, 2021, 31 (7): 892-895.
- [12] 齐人杰, 刘弘. 上海市 15 岁及以上居民膳食铅的暴露风险评估 [J]. 上海预防医学, 2023, 35 (6): 529-535.
- [13] 陈晟, 高四海, 林丹, 等. 温州市动物性海产品镉残留健康风险评估 [J]. 预防医学, 2018, 30 (5): 446-449.
- [14] 申磊, 楚浩, 刘小美, 等. 株洲市市区市售辣椒铅和镉污染现状评价 [J]. 中国食品, 2021 (12): 132-134.
- [15] 李瑞琴, 于安芬, 许文艳, 等. 戈壁设施蔬菜重金属污染特征及健康风险评估 [J]. 中国食物与营养, 2023, 29 (7): 10-14.

收稿日期: 2024-05-16 修回日期: 2024-07-22 本文编辑: 徐亚慧

欢迎广大卫生健康科技工作者向《预防医学》投稿

www.zjfyxzz.com