

上海市浦东新区中小学生膳食铅暴露水平

胡卉, 邵祥龙, 任亚萍, 邬天凤, 沈惠平, 柏品清

上海市浦东新区疾病预防控制中心学校卫生与营养食品科/复旦大学浦东预防医学研究院, 200136

【摘要】 目的 了解上海市浦东新区中小学生膳食中铅的暴露水平, 为针对目标人群开展食品安全风险评估和管理提供依据。**方法** 采用多阶段分层随机抽样方法抽取上海市浦东新区 616 名中小学生, 采用称重法、3 d 24 h 膳食回顾和食物频率法相结合的方法进行食物消费量调查, 检测采集的 1 145 件食品样本中铅的含量, 计算中小学生的铅暴露水平。**结果** 有 568 件食品样本检出铅, 总检出率为 49.61%; 41 件铅超标, 总超标率为 3.58%。铅平均含量为 (0.12 ± 0.25) mg/kg, 铅含量前 3 位的食品类别依次为菌藻类、豆类及其制品和水产类及其制品。中小学生每周膳食铅暴露量均值为 $9.94 \mu\text{g/kg}$, 占暂定每周可耐受摄入量 (provisional tolerated weekly intake, PTWI) 的 39.76%, 其中膳食高消费学生的每周膳食铅暴露量为 $29.56 \mu\text{g/kg}$, 占 PTWI 的 118.24%。蔬菜类及其制品、豆类及其制品和谷类及其制品是学生膳食铅摄入的主要来源, 其每周膳食铅暴露量均值分别为 2.57, 2.44 和 $1.43 \mu\text{g/kg}$, 占 PTWI 的百分比分别为 10.26%, 9.76% 和 5.74%。**结论** 上海市浦东新区市售食品中存在一定程度的铅污染, 中小学生膳食中铅暴露的总体风险处于可接受水平, 但不同食物消费量人群铅暴露水平有一定差异, 应引起重视。

【关键词】 膳食调查; 铅; 回顾性研究; 学生

【中图分类号】 R 153.2 R 155.5 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-9817(2020)03-0341-04

Dietary exposure of lead in primary, middle and high school students in Pudong new area of Shanghai/HU Hui, SHAO Xianglong, REN Yaping, WU Tianfeng, SHEN Huiping, BAI Pingqiang. Department of School Health and Nutrition Food/Pudong Center for Disease Control and Prevention/Pudong Institute of Preventive Medicine, Fudan University, Shanghai (200136), China

【Abstract】 Objective To obtain the dietary exposure of lead in primary, middle and high school students, and to provide basic foundation for food safety risk assessment and management for children and adolescents. **Methods** Weighing method, 3-days hour dietary survey, combining with the food frequency questionnaire, was applied to obtain basic dietary data in 616 primary, middle and high school students selected through multi-stage random sampling method from Pudong new area of Shanghai. Data on lead concentrations were derived from the food safety risk monitoring system, which included 1 145 samples. **Results** Lead was detected in 568 of 1 145 samples (49.61%) from 10 categories of foods. The exceeding standard rate was 3.58% (41 samples exceeded). The average content of lead was (0.12 ± 0.25) mg/kg, fungi and algae, beans and the aquatic products were found to be the primary food sources of lead exposure. The average dietary lead exposure in primary, middle and high school students was $9.94 \mu\text{g/kg}$ per week, accounted for 39.76% of PTWI. The lead exposure level at the 97.5th percentile which accounted for 118.24% of PTWI was $29.56 \mu\text{g/kg}$. Vegetables, beans and cereal foods were the mainly source of dietary lead exposure, with average dietary lead exposure 2.57, 2.44 and $1.43 \mu\text{g/kg}$ peer week, accounted for 10.26%, 9.76% and 5.74% of PTWI, respectively. **Conclusion** Lead is present in some foods available in local markets in Pudong New Area, Shanghai. Low level of dietary exposure to lead is found in primary, middle and high school students, however, it depends on dietary pattern. Continued efforts are needed to reduce the dietary exposure of lead in school students.

【Key words】 Diet surveys; Lead; Retrospective studies; Students

铅是一种广泛存在的不可降解的环境污染物, 在环境中可长期蓄积, 通过食物链、土壤、水和空气进入人体内。自然环境中铅的本底值较低, 环境铅污染是人类铅摄入量及铅负荷升高的主要原因^[1]。研究表

明, 儿童铅摄入量、铅吸收率和体内铅负荷水平均比普通成人高, 铅中毒流行率也远超成人, 铅对儿童健康的危害更严重、更深远^[2-3]。

WHO 强调铅是全球儿童面临的最主要的环境污染物, 全球 5 岁以下城市儿童约有半数患有铅中毒, 大部分病例在发展中国家^[4]。研究表明, 食品中铅对健康的影响主要是长期低剂量摄入造成的, 从而对人体造血系统、神经系统及肝、肾等器官产生毒性^[5-6]。2015—2016 年, 本调查针对浦东新区中小学生的食物消费量, 结合主要摄入食品中铅含量, 评估膳食铅的

【基金项目】 上海市浦东新区卫生和计划生育委员会青年科技项目 (PW2015B-5)。

【作者简介】 胡卉 (1990—), 女, 安徽芜湖人, 硕士, 医师, 主要研究方向为营养与健康。

【通讯作者】 柏品清, E-mail: 340bpg@163.com。

DOI: 10.16835/j.cnki.1000-9817.2020.03.006

暴露水平并提出预防措施,为未来针对目标人群的食品安全风险和管理提供依据。

1 对象与方法

1.1 对象 2015 年 10 月到 2016 年 2 月,采用多阶段分层随机抽样方法在上海市浦东新区 3 所小学、4 所初中和 2 所高中的每个年级各抽取 1 个班级,在抽到的班级随机抽取 18 名学生(男、女生各半)进行食物消费量调查。共纳入 666 名学生,实际调查 616 名,其中男生 307 名,女生 309 名;小学生 257 名,初中生 264 名,高中生 95 名。平均年龄(11.41 ± 3.22)岁。本次调查获得上海市疾病预防控制中心伦理委员会的批准,每名调查对象和家长均签署知情同意书。

首先采用分层抽样的方法,分别从市区、城郊、郊区各抽取 2 个街道(乡镇),在抽取的 6 个街道(乡镇)内挑选具有区域代表性的集贸市场和大型超市(沃尔玛、卜蜂莲花和家乐福等)作为采样点;其次根据食物消费量调查结果确定谷类及其制品、豆类及其制品、坚果类及其制品、肉类及其制品、蛋类及其制品、水产类及其制品、乳类及其制品、蔬菜及其制品、水果及其制品和菌藻类共十大类主要消费食品,随机采集 1 145 件样本进行铅含量检测。其中水果类及其制品、菌藻类和水产类及其制品样本量最多,分别为 240、227 和 167 件。

1.2 方法

1.2.1 中小学生食物消费量调查 采用称重法、3 d 24 h 膳食回顾和食物频率法相结合的方法,获得中小学生各类食物消费情况,建立食物消费量数据库,同时体检获得中小学生体重数据。调查问卷来源于上海市中小学生膳食与健康状况监测^[7],为既往研究中较为常见的方法^[8],本次问卷信度和效度相关系数分别为 0.71 和 0.58,具有较好的信度和效度。

1.2.2 市售食品中铅含量检测 按照《2015 年国家食品污染和有害因素风险监测工作手册》^[9]规定的食品中铅测定的标准操作程序对食品样本统一检测。检测方法为石墨炉原子吸收光度法,检出限(limit of detection, LOD)为 0.01 mg/kg。使用仪器为 TOPEX 全能型微波化学工作平台(中国,上海屹尧仪器科技发展有限公司)和 AA240Z 原子吸收分光光度计(美国瓦里安)。

1.2.3 膳食铅暴露水平评估方法 按照 WHO 全球环境监测系统/食品污染监测与评估规划第二次会议关于“食品中低水平污染物可信评价”中对未检出数据处理原则:当检测结果小于 LOD 值的比例 $\leq 60\%$ 时,所有小于 LOD 值的结果按 $1/2$ LOD 值计^[10]。各类食品中铅含量是否超标根据《食品安全国家标准食品中污染物限量》(GB 2762—2017)进行评价^[11]。按

照食品添加剂专家委员会规定铅的每周可耐受摄入量(PTWI)为 0.002 5 mg/kg 进行暴露评估^[12]。暴露量评估指标包括每周膳食中暴露量、膳食中暴露量均值、膳食摄入量 P_{90} 、膳食摄入量 $P_{97.5}$ 、某类膳食贡献率、PTWI、每周膳食中暴露量均值占 PTWI 的百分比和安全消费水平。此处膳食摄入量为个体每日每千克体重膳食摄入量,膳食摄入量 P_{90} 、膳食摄入量 $P_{97.5}$ 为该人群膳食摄入量数据中第 90 百分位和第 97.5 百分位的个体每日每千克体重膳食摄入量,膳食中暴露量即膳食高消费人群的每周暴露量。

每周膳食中暴露量 = Σ (食品中含量 $\times$ 膳食摄入量 $\times 7$ d)

膳食中暴露量均值 = 食品中含量均值 $\times$ 膳食摄入量均值

膳食中暴露量(膳食摄入量 P_{90}) = 食品中含量均值 $\times$ 膳食摄入量 P_{90}

膳食中暴露量(膳食摄入量 $P_{97.5}$) = 食品中含量均值 $\times$ 膳食摄入量 $P_{97.5}$

某类膳食贡献率 = [某类膳食中暴露量/各类膳食中暴露量之和] $\times 100\%$

PTWI = 每人每日允许铅摄入量 $\times 7$ d

每周膳食中暴露量占 PTWI 的百分比 = 每周膳食中暴露量/PTWI $\times 100\%$

安全消费水平 = PTWI $\times$ 体重 / (食品中含量均值 $\times 7$ d)

1.2.4 质量控制 食物消费量调查前进行预调查,由经过培训的调查员进行调查和数据录入,由专人负责质控,发现问题及时核实修改。对采样人员进行规范化培训,每次采样至少 2 名人员;对检测人员进行盲样考核,检测样本的同时附带国家一级标准物质,且检测样本均进行平行样的测定。

1.3 统计学处理 将数据导入 Excel 2007 和 SAS 9.3 统计软件进行数据汇总、处理与统计学描述。统计描述使用均值、标准差、中位数、 P_{90} 、 $P_{97.5}$ 、最小值和最大值,污染水平评估使用检出数、检出率、超标数、超标率,暴露水平评估使用每周膳食中暴露量、膳食中暴露量均值、膳食中暴露量、某类膳食贡献率、PTWI 和安全消费水平。

2 结果

2.1 中小学生各类食物消费量 中小学生每月平均食物消费量为 (30.35 ± 18.73) g/kg,消费量前 3 名食物分别为谷类及其制品、蔬菜类及其制品和肉类及其制品,平均消费量分别为 (8.89 ± 5.34) (7.80 ± 6.81) (4.84 ± 4.14) g/kg。

2.2 食品中铅污染水平 所有食品样本中铅的平均含量为 (0.12 ± 0.25) mg/kg,最大值为 4.11 mg/kg,最小值为 0.01 mg/kg。1 145 件样本中有 568 件检出铅,总检出率为 49.61%;41 件铅超标,总超标率为 3.58%。铅平均含量前 3 位的食品种类为菌藻类、豆类及其制品和水产类及其制品,平均含量分别为 (0.30 ± 0.23)

(0.22±0.57)(0.09±0.22)mg/kg。见表 1~2。

表 1 不同食品样本中铅污染水平/(mg·kg⁻¹)

食品种类	样本数	$\bar{x}\pm s$	<i>M</i>	<i>P</i> ₉₀	<i>P</i> _{97.5}	最小值	最大值
谷类及其制品	90	0.02±0.03	0.02	0.04	0.15	0.01	0.24
豆类及其制品	100	0.22±0.59	0.06	0.46	2.49	0.01	4.11
坚果类及其制品	60	0.03±0.09	0.01	0.05	0.48	0.01	0.48
肉类及其制品	91	0.02±0.04	0.01	0.06	0.14	0.01	0.34
蛋类及其制品	80	0.02±0.03	0.01	0.04	0.08	0.01	0.18
水产类及其制品	167	0.09±0.22	0.01	0.27	0.86	0.01	1.83
乳类及其制品	30	0.01±0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
蔬菜类及其制品	60	0.05±0.08	0.02	0.12	0.36	0.01	0.45
水果类及其制品	240	0.07±0.15	0.04	0.13	0.44	0.01	1.84
菌藻类	227	0.30±0.23	0.24	0.61	0.91	0.04	1.72
合计	1 145	0.12±0.25	0.03	0.30	0.72	0.01	4.11

表 2 不同食品样本中铅污染检出情况

食品种类	样本数	检出数	超标数
谷类及其制品	90	30(33.33)	1(1.11)
豆类及其制品	100	13(13.00)	14(14.00)
坚果类及其制品	60	50(83.33)	2(3.33)
肉类及其制品	91	44(48.35)	0
蛋类及其制品	80	48(60.00)	0
水产类及其制品	167	85(50.90)	1(0.60)
乳类及其制品	30	0	0
蔬菜类及其制品	60	21(35.00)	1(1.11)
水果类及其制品	240	50(20.83)	18(7.50)
菌藻类	227	227(100.00)	4(1.76)
合计	1 145	568(49.61)	41(3.58)

注:()内数字为检出率/%。

2.3 膳食铅暴露水平评估 中小学生合计每周膳食铅暴露量均值为 9.94 μg/kg,占 PTWI 的 39.76%;其中膳食高消费学生的合计每周膳食铅暴露量为 29.56 μg/kg,占 PTWI 的 118.24%。蔬菜类及其制品、豆类及其制品和谷类及其制品是学生膳食铅摄入的主要来源,每周膳食铅暴露量均值分别为 2.57,2.44 和1.43 μg/kg,膳食贡献率分别为 25.82%,24.55%和 14.43%,占 PTWI 的百分比分别为 10.26%,9.76%和 5.74%。见表 3。

表 3 上海市浦东新区中小学生膳食中铅暴露水平

食品种类	每周铅暴露量 (μg·kg ⁻¹)			膳食贡 献率/%	每周暴露量占 PTWI 百分比/%	
	$\bar{x}$	<i>P</i> ₉₀	<i>P</i> _{97.5}		$\bar{x}$	<i>P</i> _{97.5}
谷类及其制品	1.43	2.80	3.66	14.43	5.74	14.65
豆类及其制品	2.44	5.65	8.86	24.55	9.76	35.44
坚果类及其制品	0.01	0.04	0.11	0.12	0.05	0.46
肉类及其制品	0.81	1.84	2.95	8.13	3.23	11.78
蛋类及其制品	0.14	0.31	0.45	1.44	0.57	1.82
水产类及其制品	0.54	1.37	2.56	5.47	2.17	10.26
乳类及其制品	0.11	0.26	0.43	1.09	0.43	1.73
蔬菜类及其制品	2.57	6.15	9.06	25.82	10.26	36.24
水果类及其制品	0.75	1.94	3.88	7.52	2.99	15.50
菌藻类	1.14	4.28	6.04	11.43	4.54	24.15
合计	9.94	21.38	29.56		39.76	118.24

注:合计食品中铅暴露量无法计算膳食贡献率。

2.4 各学段学生各类食品的安全消费水平 根据 PTWI 和各类食品中铅的平均含量,以及本次食物消费量调查中各学段学生的平均体重(小学生 30 kg,初中生 53 kg,高中生 61 kg),计算铅摄入量不超过 PTWI 时各学段学生各类食品的安全消费水平。小学生、初中生、高中生铅安全消费水平最低的 3 类食品均为菌藻类、豆类及其制品和水产类及其制品。见表 4。

表 4 不同学段学生各类食品安全消费水平/(g·d⁻¹)

学段	人数	谷类及 其制品	豆类及 其制品	坚果类 及其制品	肉类及 其制品	蛋类及 其制品	水产类 及其制品	乳类及 其制品	蔬菜类 及其制品	水果类 及其制品	菌藻类
小学	257	4 713.56	489.03	4 175.66	4 557.49	6 485.99	1 163.33	21 735.71	2 311.49	1 537.12	362.26
初中	264	8 215.81	852.38	7 278.25	7 943.78	11 305.19	2 027.71	37 885.71	4 028.97	2 679.23	631.43
高中	95	9 456.54	981.11	8 377.40	9 143.43	13 012.48	2 333.93	43 607.14	4 637.41	3 083.84	726.79

3 讨论

本次调查食品样本中铅的总检出率为 49.61%,总超标率为 3.58%,低于北京密云区调查^[13]的检出率(83.47%),但高于其超标率(1.38%)。与北京密云区调查^[13]相比,蔬菜类及其制品、水果类及其制品和蛋类及其制品铅的污染水平较高;与浙江省调查^[14]相比,豆类及其制品、蛋类及其制品和水果类及其制品铅的污染水平较高,肉类及其制品和乳类及其制品铅的污染水平较低;与第四次中国总膳食研究结果^[15]相

比,豆类及其制品、水产类及其制品、蔬菜类及其制品和水果类及其制品铅的污染水平较高,谷类及其制品、肉类及其制品和蛋类及其制品铅的污染水平较低。可见谷类、坚果类、蔬菜类和水果类铅污染水平偏高是全国较为普遍的问题,可能是因为环境污染日趋严重,导致土地、植物铅蓄积,从而污染食品。

本调查发现,水产类及其制品和菌藻类食品铅污染水平较高,一方面可能与越来越严重的水体污染及水产类养殖饲料中含铅过量有关^[16-17],另一方面也可

能与本调查采集不同食品种类数量有关。

本次调查结果显示,浦东新区中小学生膳食中铅暴露的主要来源是蔬菜类及其制品、豆类及其制品和谷类及其制品,占总膳食暴露量的 64.81%,与第四次中国总膳食研究全国结果一致^[15],与上海市居民调查中主要来源是大米、蔬菜、鱼虾略有不同^[3]。提示人群膳食中铅暴露的主要来源排位顺序、食品种类虽因年龄、性别或饮食结构差异略有不同,但蔬菜类及其制品、豆类及其制品和谷类及其制品仍是我国人群膳食中铅的主要暴露来源,可能与谷类及其制品和蔬菜类及其制品在人群中消费量较高有关,降低以上食品中铅污染水平也将有效减少中小学生膳食铅暴露量^[18]。

本次调查结果中,学生每周膳食铅暴露量均值、 P_{90} 和 $P_{97.5}$ 均低于第四次中国总膳食的研究结果^[15],但高于浙江省调查同龄人的铅暴露量^[14]、上海市居民每周 6.20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 的膳食铅暴露量均值和 12.30 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 的膳食铅暴露量 P_{90} ^[3] 以及深圳市居民每周 3.40 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 的膳食铅暴露量均值^[19],可能由于本次调查覆盖食品种类较全,也有可能与本调查中铅污染水平较高的菌藻类、水产类食品样本较多,导致暴露水平偏高。

综上所述,上海市浦东新区市售食品中存在一定程度的铅污染,中小学生膳食中铅暴露的总体风险处于可接受水平,但不同食物消费量人群铅暴露水平有一定差异,仍应引起重视。

4 参考文献

- [1] 周云. 铅元素对人体的危害及防治[J]. 化学教育, 2005(11): 4-5.
- [2] 刘玉莹. 环境铅污染的来源及对儿童的危害[J]. 职业与健康, 2003, 19(6): 8-9.
- [3] 刘弘, 吴春峰, 陆屹, 等. 上海市居民膳食中铅镉暴露水平评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2011, 23(3): 218-223.

(上接第 340 页)

- [15] JETTE M, SIDNEY K, BLÄMCHEN G. Metabolic equivalents (METS) in exercise testing, exercise prescription, and evaluation of functional capacity[J]. Clin Cardiol, 1990, 13(8): 555-565.
- [16] BARBARA E A, WILLIAM L H, STEPHEN D H. 2011 compendium of physical activities; a second update of codes and MET values[J]. Med Sci Sports Exerc, 2011, 43(8): 1575-1581.
- [17] HELLMANN K, WEINER J S. Antidiuretic substance in urine following exposure to high temperatures[J]. Jappl Physiol, 1953, 6(3): 194-198.
- [18] 郑婵娟, 赵秀阁, 黄楠, 等. 我国成人饮水摄入量研究[J]. 环境与健康杂志, 2014, 31(11): 967-970.
- [19] GASPAR P M. Water Intake of nursing home residents[J]. J Gerontol Nurs, 1999, 25(4): 23-29.

- [4] GAVAGHAA H. Lead, unsafe at any level[J]. Bull World Health organ, 2020, 80(1): 82.
- [5] 许宁, 郭亚菲, 于钊钊, 等. 高度重视儿童对环境暴露的易感性[J]. 中国学校卫生, 2016, 37(3): 321-324.
- [6] 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.
- [7] 汪正园, 朱珍妮, 臧嘉捷, 等. 上海市高中生能量和主要营养素摄入情况[J]. 中国学校卫生, 2019, 40(3): 339-343.
- [8] 肖应婷. 我国九省区成年居民食物消费和超重肥胖状况变化及食物价格的相关影响(CHNS 1991-2011)[D]. 北京: 中国疾病预防控制中心, 2015.
- [9] 国家食品安全风险评估中心. 2015 年国家食品污染物和有害因素风险监测工作手册[M]. 北京: 中国质检出版社, 2015: 160-167.
- [10] 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): 63-64.
- [11] 原中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准食品中污染物限量 GB 2762-2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [12] JECFA. Evaluation of certain food additive and contaminants, forty-ninth report of the joint FAO/WHO expert committee on food additive[R]. Geneva: WHO, 1999: 59-63.
- [13] 冯月明, 郑德生, 李建超, 等. 2013-2015 年北京市密云区部分食品中铅污染状况分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(5): 1933-1937.
- [14] 黄李春, 汤玺, 章荣华, 等. 2009-2010 年浙江省三个地区居民膳食铅和镉暴露评估[J]. 中华预防医学杂志, 2012, 46(1): 42-45.
- [15] 吴永宁, 李筱薇. 第四次中国总膳食研究[M]. 北京: 化学工业出版社, 2015: 90-102, 108-110.
- [16] 黄薇, 王舟, 潘柳波, 等. 深圳市食品中铅污染的暴露量评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2008, 20(5): 405-408.
- [17] 杨磊, 崔建超. 保定地区食品中有害元素污染状况调查[J]. 中国卫生检验杂志, 2017, 27(22): 3307-3309.
- [18] NORTON G J, DEACON C M, MESTROT A, et al. Cadmium and lead in vegetable and fruit produce selected from specific regional areas of the UK[J]. Sci Total Environ, 2015, 533(6): 520-527.
- [19] 罗贤如, 黄薇, 张锦周, 等. 深圳市居民铅镉膳食摄入水平评估[J]. 中国热带医学, 2016, 16(12): 1204-1207.

收稿日期: 2019-10-30; 修回日期: 2019-12-09

- [20] PERRIER, RONDEAU, POUPIN, et al. Relation between urinary hydration biomarkers and total fluid intake in healthy adults[J]. European J Clin Nutr, 2013, 67(9): 939-943.
- [21] TUCKER M A, GONZALEZ M A, ADAMS J D, et al. Reliability of 24-h void frequency as an index of hydration status when euhydrated and hypohydrated[J]. Europ J Clin Nutr, 2016, 70(8): 908.
- [22] CASH T F, FLEMING E C. The impact of body image experiences: development of the body image quality of life inventory[J]. Int J Eat Disor, 2002, 31(4): 455-460.
- [23] PREISS K, BRENNAN L, CLARKE D. A systematic review of variables associated with the relationship between obesity and depression[J]. Obes Rev, 2013, 14(11): 906-918.

收稿日期: 2019-12-17; 修回日期: 2020-02-09