

苏州市地产大米重金属污染状况及人群膳食暴露风险评估

黄飞飞, 王 瑛, 张 宁*

(苏州市疾病预防控制中心, 苏州 215004)

摘要: 目的 研究苏州地产大米中铅、镉、总汞、总砷 4 种重金属污染状况, 并评估 4 种重金属对苏州居民的膳食暴露风险。**方法** 2019 年从苏州市属 9 个区县采集本地地产大米 93 份, 采用国标方法检测其中铅、镉、总汞、总砷 4 种重金属的含量, 依据 GB 2762-2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》对样品中重金属超标情况进行判定; 采用单因子污染指数法、内梅罗综合污染指数法评价大米中 4 种重金属的污染程度; 采用简单分布模型(确定性评估)的方法评价大米中重金属对苏州居民造成的膳食暴露风险。**结果** 全部大米样品中铅、镉、总汞、总砷 4 种重金属均未超过国家限量标准, 铅、镉、总汞和总砷污染水平均值分别为 0.0208、0.0419、0.0027 和 0.0701 mg/kg, 各区县大米中重金属含量水平之间无统计学差别。大米中 4 种重金属单项污染指数均小于 0.7, 污染程度处于优良水平; 综合污染指数小于 0.7, 污染程度处于安全水平。苏州地产大米中铅的污染对苏州本地居民 95% 的儿童及所有成人均不会产生健康危害, 但可能对 5% 的儿童(高食物消费暴露者)产生潜在健康影响; 镉、总汞、总砷污染对成人和儿童均不会产生健康危害。**结论** 苏州市地产大米中重金属污染水平较低; 大米中铅的污染可能对高食物消费暴露儿童存在潜在健康危害。

关键词: 重金属; 大米; 铅; 镉; 总汞; 总砷; 膳食暴露

Heavy metal pollution status of local rice and human dietary exposure risk assessment in Suzhou city

HUANG Fei-Fei, WANG Ying, ZHANG Ning*

(Center for Disease Control and Prevention of Suzhou, Suzhou 215004, China)

ABSTRACT: Objective To study the pollution status of four heavy metals in Suzhou rice, including lead, cadmium, total mercury and total arsenic, and to evaluate the dietary intake risk of the four heavy metals to Suzhou residents. **Methods** Totally 93 local rice samples were collected from nine counties of Suzhou city in 2019, and the contents of four heavy metals, including lead, cadmium, total mercury and total arsenic, were detected using national standard methods. According to GB 2762-2017 *National food safety standard-Limits of contaminants in food*, heavy metal exceeding standard in the sample were judged. The pollution degree of 4 heavy metals in rice was evaluated using the single factor pollution index and Nemeró comprehensive pollution index, and the dietary exposure risk of

基金项目: 苏州市卫健委“科教兴卫”青年科技项目(KJXW2017055)

Fund: Supported by the “Science, Education and Health” Youth Science and Technology Foundation of Suzhou Health Commission (KJXW2017055)

*通讯作者: 张宁, 主管医师, 主要研究方向为营养与食品安全。E-mail: 454958677@qq.com

*Corresponding author: ZHANG Ning, Physician, Suzhou Center for Disease Control and Prevention, Suzhou 215004, China. E-mail: 454958677@qq.com

heavy metals in rice to Suzhou residents was evaluated by simple distribution model (deterministic assessment) method. **Results** All the 4 heavy metals of lead, cadmium, total mercury and total arsenic in the rice samples did not exceed the national limit standards, and the average pollution levels of lead, cadmium, total mercury and total arsenic were 0.0208, 0.0419, 0.0027 and 0.0701 mg/kg, respectively. There was no statistical difference between the heavy metal content levels in rice from each county. The single pollution index and comprehensive pollution index of rice were less than 0.7, which were below the limits of safety. Lead contamination in Suzhou rice does not pose a health hazard to 95% of children and all adults of Suzhou residents, but may have a potential health impact on 5% of children (those exposed to high food consumption). Cadmium, total mercury and total arsenic pollution would not cause health hazards to adults and children. **Conclusion** The pollution of heavy metals in rice grown in Suzhou is generally low. Lead contamination of rice may cause a potential health hazard to a small number of children exposed to high food consumption.

KEY WORDS: heavy metals; rice; lead; cadmium; total mercury; total arsenic; dietary exposure;

1 引言

随着社会经济的快速发展,工业废水排放、污水灌溉等造成重金属污染土壤和水环境的情况日渐严峻,因此粮食、蔬菜等各类食品均受到不同程度的重金属污染^[1-3],重金属通过食物进入人体从而对人体健康产生不良影响。重金属半衰期一般较长,如镉在人体内的半衰期可达 15~30 年。重金属可对人体健康产生多方面危害,包括重金属急性中毒,以及长期低剂量摄入重金属后在体内蓄积导致的慢性健康危害(如致癌作用、致畸作用等),后者较为常见。铅主要损害人体造血系统、神经系统和肾脏等,儿童对铅的毒性作用较成人更为敏感,铅可对其智力和行为发育造成不可逆性损伤^[4];镉的慢性中毒主要损害肾脏、骨骼和消化系统,其中肾脏是主要的靶器官,镉污染大米曾在日本引起“痛痛病”(骨痛病)^[5];汞的长期暴露可损害神经系统,日本和我国松花江流域都曾发生过渔民因长期食用被甲基汞污染鱼类引起的慢性甲基汞中毒事件^[6];砷的慢性中毒可引起消化系统、神经系统和心血管系统功能障碍,国际癌症研究机构(International Agency for Research on Cancer, IARC)已将无机砷认定为人类 I 类致癌物^[7,8]。进入人体的重金属有各不相同的毒性靶器官及毒性作用特点,且会产生联合毒性作用。

苏州地处太湖流域,物产丰富,是著名的江南鱼米之乡。大米是苏州本地居民日常饮食中最常见的主食,能为人体提供能量和多种营养元素。但大米容易受到重金属污染,大米中重金属污染的健康风险已引起社会的广泛关注。戴洪文等^[1]汇总了中国部分地区近年来大米重金属健康风险评估研究,结果可见湖南省大米中铅、镉、砷超标率分别为 21%、36%、39%,广东、浙江、江苏大米中重金属均有不同程度超标,我国大米重金属污染现状并不乐观。

膳食是人体重金属暴露的重要来源,其中谷类贡献

率位于前列,我国大约有 65%以上人口以稻米为主食,大米占我国南方居民谷类主食摄入量 90%^[9],大米对居民膳食重金属暴露贡献率最高^[10-12]。因此评估大米中重金属膳食摄入对人体产生的健康风险,具有重要意义。

本研究分析苏州市地产大米中铅、镉、汞、砷 4 种重金属的污染水平,结合居民大米消费量数据,就大米中重金属污染对本地居民产生的健康风险进行评估,研究苏州地产大米中重金属污染状况,以及苏州大米食用安全性现状,为苏州居民膳食重金属暴露评估健康风险研究积累数据,为相关健康政策的制定提供技术支持。

2 材料与方法

2.1 样品、试剂与仪器

2019 年 10 月在本地稻谷成熟收获季节,从苏州市所辖区县中有稻谷产区的 9 个区县共采集稻谷 93 份,其中昆山和吴江各 30 份,常熟 10 份,太仓、吴中和张家港各 5 份,相城 4 份,高新区和工业园区各 2 份。稻谷样品经过清理、晒干后,用碾米机脱壳加工成大米,以备检测分析。

硝酸(优级纯,济南德厚化工有限公司);高氯酸(优级纯,上海易势化工有限公司);硫酸(优级纯,常州彩杰化工有限公司)。

AX204 电子分析天平[0.3 mg,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司];DMA-80 固液相全自动测汞仪(意大利 MILESTONE 公司);PinAAcle900Z 石墨炉原子吸收光谱仪(美国 PE 公司);AFS922 双通道原子荧光光度计(北京吉天仪器有限公司);Milli-Q 去离子水发生器(美国 Millipore 公司)。

2.2 方法

2.2.1 重金属检测方法

铅的检测方法采用 GB 5009.12-2017《食品中铅的测定》^[13]第一法石墨炉原子吸收光谱法;镉的检测方法

采用 GB 5009.15-2014《食品中镉的测定》^[14]石墨炉原子吸收光谱法; 总汞的检测方法采用 GB 5009.17-2014《食品中总汞及有机汞的测定》^[15]第一法原子荧光光谱分析法; 总砷的检测方法采用 GB 5009.11-2014《食品中总砷及无机砷的测定》^[16]第二法氢化物发生原子荧光光谱法。

2.2.2 检测质量控制

苏州市市辖 9 个区县疾控中心按照《2019 年苏州市食品安全风险监测方案》^[17]、重金属检测质量控制手册^[18]的要求采集稻谷样品, 保证采集稻谷样本具有地区代表性。苏州市疾控中心统一承担大米样品制备和重金属含量检测工作, 检测过程严格按照国标方法中标准操作程序进行, 检测中使用有证标准物质进行质量控制, 随样品检测同批次做质控样品的测定, 用质量控制图进行评价, 并采用空白大米加标回收率实验等措施进行质量控制, 确保测定的重金属含量数据准确可靠。

2.2.3 评价方法

依据 GB 2762-2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》^[19]评价大米中重金属检测结果是否超过国家限量标准。采用单因子污染指数法、内梅罗综合污染指数法评价大米中重金属污染程度^[2]。

单因子污染指数法: $P_i = C_i/S_i$ 。 P_i 为大米中 i 污染物的单项污染指数; C_i 为大米中 i 污染物的实测含量平均值, mg/kg; S_i 为评价标准中 i 污染物的限值, mg/kg。内梅罗综合污染指数法: $P_{综合} = [(P_{iave}^2 + P_{imax}^2)/2]^{1/2}$ 。 $P_{综合}$ 为内梅罗综合污染指数; P_{iave} 为大米中各重金属单因子污染指数平均值; P_{imax} 为大米中各重金属单项污染指数中最大值。 P_i 及 $P_{综合}$ 分级见表 1。

表 1 单因子污染指数和内梅罗综合污染指数分级
Table 1 Grade of the single factor pollution index and Nemerow comprehensive pollution index.

单因子污染指数 P_i	污染程度分级	综合污染指数 $P_{综合}$	污染程度分级
$P_i \leq 0.7$	优良	$P_{综合} \leq 0.7$	安全
$0.7 < P_i \leq 1$	安全	$0.7 < P_{综合} \leq 1$	警戒线
$1 < P_i \leq 2$	轻度污染	$1 < P_{综合} \leq 2$	轻度污染
$2 < P_i \leq 3$	中度污染	$2 < P_{综合} \leq 3$	中度污染
$P_i > 3$	重度污染	$P_{综合} > 3$	重度污染

采用简单分布模型(确定性评估)的方法评估大米中重金属污染的健康风险。

以 2010~2013 年中国居民食物消费状况调查中国居民大米的消费量, 结合大米样品中的铅、镉、总汞、总砷污染水平均值, 采用简单分布模型(确定性评估)的方法, 计算人群中单个个体每日因食用大米而摄入 4 种重金属的

量, 计算公式为:

$$EXP_j = \frac{F \times C}{BW_j}$$

其中 EXP_j 是调查人群中第 j 个个体每日每公斤体重因食用大米而摄入重金属的量, $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{bw}/\text{d}$; F 是该个体每日大米的消费量, g/d; C 为大米中重金属含量均值, mg/kg; BW_j 为该个体的体重, kg。

铅和总砷对健康的有害效应没有确定的阈值, 因此采用暴露限值(margin of exposure, MOE)方法评价其健康效应, 即用毒性参考点(基准剂量 95% 的可信区间下限, 95% benchmark dose lower confidence limit, BMDL)与人群铅、总砷暴露量的比值计算 MOE 值。当 $MOE > 1$ 时, 基本无健康风险, 在公共卫生学上不需要给予关注, 而 $MOE < 1$ 时, 存在一定的健康风险, 需要给予关注。铅的儿童神经发育毒性(IQ 值降低) $BMDL_{01 \text{ 儿童}} = 0.6 \mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{bw}/\text{d}$, 铅对成人心血管的效应(收缩压升高) $BMDL_{01 \text{ 成人}} = 1.2 \mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{bw}/\text{d}$ ^[20]。以人类肺癌为毒性效应终点的无机砷基准剂量 $BMDL_{0.5} = 3 \mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{bw}/\text{d}$ ^[7], 由于无机砷的毒性强, 国际上以无机砷为依据对砷进行安全评价, 食品中无机砷大约占总砷 70% 左右^[21], 从保守性的角度, 本研究中将总砷作为无机砷来进行评价。

$$\text{暴露限值}(MOE_{\text{铅}}) = \frac{\text{毒性参考点}(BMDL_{01})}{\text{人群铅暴露量}}$$

$$\text{暴露限值}(MOE_{\text{总砷}}) = \frac{\text{毒性参考点}(BMDL_{0.5})}{\text{人群总砷暴露量}}$$

镉和总汞的健康风险评估方法是将人体镉和总汞的暴露量与铅、总汞有害效应阈值即每月耐受摄入量(provisional tolerable monthly intake, PTMI)或每周耐受摄入量(provisional tolerable weekly intake, PTWI)进行比较, 若暴露量低于阈值, 则认为是安全的。

$$PTMI_{\text{镉}} = 25 \mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{bw}/\text{d}$$
^[5], $PTWI_{\text{总汞-儿童}} = 1 \mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{bw}/\text{d}$, $PTWI_{\text{总汞-成人}} = 4 \mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{bw}/\text{d}$ ^[6]。

2.3 数据处理与分析

采用 Excel 2013 整理分析大米中重金属污染水平数据, 采用 SPSS 20.0 对重金属污染水平数据进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 大米中重金属污染状况

重金属铅、镉、总汞、总砷在全部 93 份大米样品中均有检出, 检出率 100%, 但大米中 4 种重金属均未超过国家限量标准, 具体见表 2。各区县大米中重金属污染水平均值比较结果显示(见图 1), 吴江大米中铅含量最高, 工业园区、太仓、吴中含量相对较低; 相城大米中镉含量最高, 吴中最低; 太仓大米中总汞含量最高, 吴江最低; 工业园区大米中总砷含量最高, 吴中最低。

3.2 大米中重金属污染状况评价

苏州市 9 个区县地产大米中铅、镉、总汞、总砷的单项污染指数均小于 0.7, 地产大米中 4 种重金属的污染程度处于

优良水平。大米中重金属污染的内梅罗综合污染指数均小于 0.7, 提示污染处于安全水平, 表明苏州市地产大米中 4 种重金属总体污染程度较轻。污染程度评价详细结果见表 3。

表 2 苏州市地产大米中重金属污染水平概况

Table 2 Concentrations and detection rate of heavy metals in locally grown rice in Suzhou

重金属	N	检出率/%	均值/(mg/kg)	中位数/(mg/kg)	P_{75} /(mg/kg)	P_{90} /(mg/kg)	最小值/(mg/kg)	最大值/(mg/kg)
铅	93	100	0.0208	0.0114	0.0213	0.0486	0.0001	0.1836
镉	93	100	0.0419	0.0316	0.0485	0.0855	0.0108	0.1715
总汞	93	100	0.0027	0.0022	0.0033	0.0047	0.0009	0.0090
总砷	93	100	0.0701	0.0735	0.0860	0.0922	0.0129	0.0990

注: P_{75} 指 75% 百分位数, P_{90} 指 90% 百分位数。

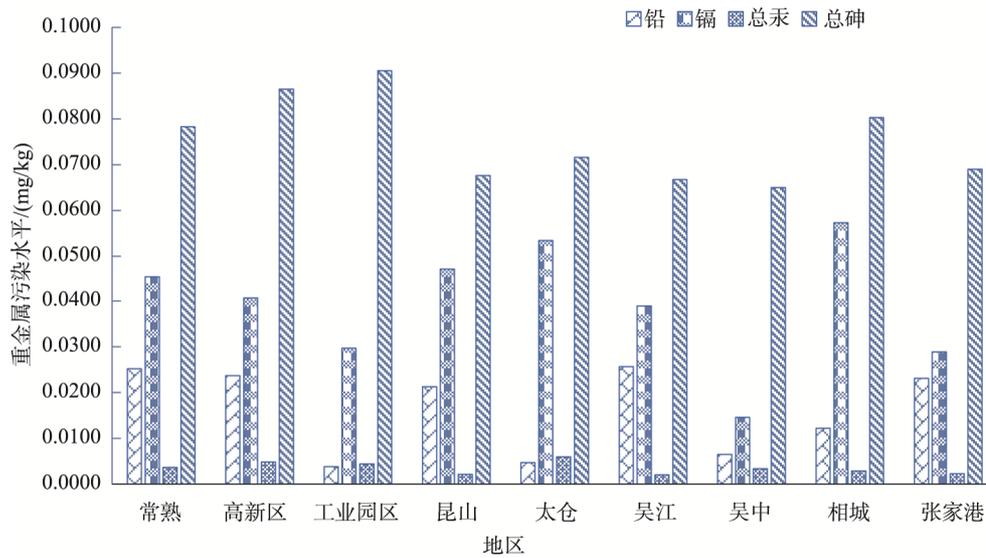


图 1 各区县大米中重金属污染水平均值

Fig.1 Mean level of heavy metals in locally grown rice in nine counties of Suzhou

表 3 大米中重金属污染程度评价结果

Table 3 Pollution assessment of heavy metals in rice

地区	单项污染指数				单项污染指数评价结果	综合污染指数	综合污染指数评价结果
	$P_{铅}$	$P_{镉}$	$P_{总汞}$	$P_{总砷}$			
常熟	0.13	0.23	0.18	0.39	优良	0.32	安全
高新区	0.12	0.20	0.24	0.43	优良	0.35	安全
工业园区	0.02	0.15	0.22	0.45	优良	0.35	安全
昆山	0.11	0.24	0.11	0.34	优良	0.28	安全
太仓	0.02	0.27	0.30	0.36	优良	0.30	安全
吴江	0.13	0.19	0.10	0.33	优良	0.27	安全
吴中	0.03	0.07	0.17	0.33	优良	0.25	安全
相城	0.06	0.29	0.15	0.40	优良	0.32	安全
张家港	0.12	0.14	0.12	0.35	优良	0.28	安全
全部样品	0.10	0.21	0.13	0.35	优良	0.29	安全

3.3 不同人群大米重金属的膳食暴露评估

本地居民经食用大米摄入铅、镉、总汞、总砷的暴露量及 4 种重金属对机体造成的健康风险评估结果见表 4。儿童组经食用大米铅和总汞的平均暴露量(均值)和高食物消费暴露量(P_{95})均高于成人组相应的暴露量。儿童组经食用大米摄入铅的高食物消费暴露的 MOE 值为 0.6, 小于 1, 儿童组铅的平均暴露、成人组铅的平均及高食物消费暴露、全人群总砷暴露的 MOE 值均 > 1 。健康风险评估结果表明, 苏州地区大米中的铅污染对成人及 95% 的儿童均不会产生健康危害, 但对高食物消费暴露的儿童(5%)可能产生潜在的不良健康影响。苏州地区大米中的总砷污染对成人和儿童均不会产生健康危害。

本地居民成人和儿童经食用大米摄入镉的平均暴露量占镉 $PTMI < 5\%$, 高食物消费暴露量(P_{95})占镉 $PTMI < 10\%$ 。儿童组经进食大米摄入总汞的暴露量占总汞 $PTWI < 10\%$, 成人组总汞暴露量占总汞 $PTWI < 2\%$ 。结果表明苏州地产大米中镉和总汞污染均不会对成人和儿童的健康产生危害。

4 讨论与结论

随着城市化、工业化进程的加快, 环境重金属污染问题日益严重。土壤环境重金属污染的来源包括大气沉降、畜牧业养殖、废水灌溉等, 农田土壤中的重金属通过迁移作用, 富集在生长在其中的农作物中, 进而通过膳食途径进入人体, 对健康造成潜在影响。大米作为我国大部分居民的主食, 其中的重金属污染问题受到研究者的广泛关注。李应文等^[9]检测了 2015 年珠三角地区市售大米中重金属含量, 大米中铅、镉、总汞、总砷含量均值为分别 0.085、0.113、0.015、0.126 mg/kg, 4 种重金属均有不同程度的超标, 仅通过食用大米, 珠三角地区居民 Pb、Cd、Hg、As 的平均最高摄入量分别为 0.53、0.81、0.14、0.67 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{d}$, 珠三角地区市售大米中重金属对人体存在一定的健康风险。珠三角地区市售大米重金属污染水平高于本研究中苏州地区大米, 居民经食用大米重金属暴露量也高于苏州居民。

南宁市自产稻米重金属铅、镉、总汞、无机砷污染水平平均值分别为 0.058、0.194、0.004、0.132 mg/kg, 总体超标率为 31.59%, 污染水平高于苏州地产大米^[22]。上海市松江区市售大米中铅、镉、总汞和无机砷的平均含量分别为 0.032、0.018、0.0023 和 0.054 mg/kg, 污染水平与苏州地产大米相当; 居民通过大米摄入铅、镉、无机砷和总汞的量远远低于可耐受摄入量, 但无机砷、镉在高暴露点位(P_{90} 、 P_{95})摄入量大于 10%可耐受摄入量, 镉在 P_{95} 暴露点位摄入量接近可耐受摄入量 20%, 高于本研究中 8.8%^[23]。雷鸣等^[24]研究发现, 湖南省各地市售大米中铅、镉和砷的平均含量分别是 0.20、0.28 和 0.20 mg/kg, 远高于苏州地产大米, 可能与湖南省较多矿区和冶炼区对水稻种植土壤造成污染有关, 其中镉是湖南各地稻米中影响健康的主要因子。Wei 等^[25]研究北京市市售大米中铅和镉的污染水平平均值分别为 0.070、0.019 mg/kg, 其中铅污染水平高于苏州大米, 镉污染水平低于苏州, 人群谷物、豆类及其产品铅和镉摄入量分别为 0.335、0.077 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{d}$, 健康风险评估危险指数 (hazard index, HI) 大于 1 小于 10, 提示长期暴露对北京居民可能产生非致癌性有害作用。

从国外研究情况来看, 各地大米中也存在不同程度的重金属污染。伊朗市售大米中 Pb、Cd、As 含量均值分别为 0.123、0.034、0.369 mg/kg, 镉水平与苏州大米相当, 但铅和砷水平显著高于苏州大米, 居民经大米摄入铅镉砷 0.28、0.086、1.2 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{d}$, 均高于本研究结果^[26]。巴西大米中铅和砷水平低于检出限 (检出限分别为 As: 0.015 mg/kg, Pb: 0.040 mg/kg), 镉均值为 0.029 mg/kg, 镉水平与本研究相当, 因其铅、砷因检出限高于本研究, 结果无法比较^[27]。厄瓜多尔大米中铅、镉污染水平均值为 0.10、0.02 mg/kg, 铅水平高于苏州大米, 而镉低于苏州大米^[28]。泰国大米中镉、无机砷污染水平为 0.015、0.198 mg/kg, 镉低于本研究水平而砷高于本研究水平^[29]。澳大利亚本国产大米中铅、镉污染水平均值为 0.375、0.007 mg/kg, 铅高于本研究水平而镉低于本研究水平^[30]。

表 4 本地居民经食用大米摄入重金属的量及风险评估结果

Table 4 Amount of heavy metals ingested by local residents through rice consumption and the risk assessment results

	人数	暴露量/ $(\mu\text{g}/\text{kg bw}/\text{d})$			MOE (铅、总砷)			$PTMI$ %(镉) 或 $PTWI$ %(总汞)		
		均值	P_{50}	P_{95}	均值	P_{50}	P_{95}	均值	P_{50}	P_{95}
铅(2~12 岁儿童组)	1286	0.303	0.203	1.006	1.98	2.95	0.60	—	—	—
铅(≥ 13 岁成人组)	22362	0.185	0.139	0.553	7.04	9.32	2.35	—	—	—
镉	23648	0.024	0.018	0.073	—	—	—	2.9	2.2	8.8
总汞(2~12 岁儿童组)	1286	0.004	0.003	0.013	—	—	—	2.8	1.9	9.3
总汞(≥ 13 岁成人组)	22362	0.002	0.002	0.007	—	—	—	0.4	0.3	1.3
总砷	23648	0.194	0.144	0.588	15.5	20.8	5.1	—	—	—

综合比较以上研究结果,苏州地产大米中铅、镉、总汞、总砷 4 种重金属污染处于较低水平,苏州本地居民经食用大米 4 种重金属暴露量也处于相对较低水平,潜在健康风险较低。苏州地产大米中铅污染可能对 5%儿童(高食物消费者)产生潜在不良健康影响,儿童正处于生长发育的关键时期,按单位体重计算时,儿童能量和各种营养素的需要量高于成年人,因此其单位体重食物摄入量也高于成年人,所以膳食中的重金属污染对儿童的不良健康影响高于对成年人的影响,重金属对儿童的不良健康效应引起重视。

由于重金属污染在各种食物和环境普遍存在,在将来的进一步深入研究中,人群通过除大米以外的其他食物,如水产品、蔬菜、肉类等摄入的重金属,以及经由其他途径,如呼吸道、皮肤接触等暴露于重金属,造成的健康风险也应该全面考虑,才可以全面评估重金属的潜在健康风险。

参考文献

- [1] 戴洪文, 宋秀贤, 辛俊亮, 等. 中国大米重金属健康风险评估研究进展[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(29): 60–62, 77.
Dai HW, Song XX, Xin JL, *et al.* Research progress on health risk assessment of heavy metal via consumption of rice in China [J]. J Anhui Agric Sci, 2016, 44(29): 60–62, 77.
- [2] 杨丽, 李杉, 袁蒲, 等. 2013-2014 年河南省新鲜蔬菜中重金属污染状况调查[J]. 中国卫生产业, 2019, 1(2): 143–147.
Yang L, Li S, Yuan P, *et al.* Investigation on heavy metal pollution in the fresh vegetables in Henan province from 2013 to 2014 [J]. China Health Ind, 2019, 1(2): 143–147.
- [3] 黄飞飞, 张宁, 赵敏娟, 等. 2016–2018 年苏州市水生蔬菜重金属污染状况分析及健康风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(2): 648–654.
Huang FF, Zhang N, Zhao MX, *et al.* Analysis of heavy metal pollution status and health risk assessment of aquatic vegetables in Suzhou from 2016 to 2018 [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(2): 648–654.
- [4] Joint FAO/WHO Expert Committee. Safety evaluation of certain food additives and contaminants-Lead, JECFA/73/SC [R]. 2011.
- [5] Joint FAO/WHO Expert Committee. Safety evaluation of certain food additives and contaminants-Cadmium, JECFA/73/SC [R]. 2011.
- [6] Joint FAO/WHO Expert Committee. Safety evaluation of certain contaminants in food-Mercury, JECFA/72/SC [R]. 2011.
- [7] Joint FAO/WHO Expert Committee. Safety evaluation of certain contaminants in food-Arsenic, JECFA/72/SC [R]. 2011.
- [8] International Agency for Research on Cancer. A review of human carcinogens: arsenic, metal, fibres and dusts (Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to human) [Z]. 2012.
- [9] 李应文, 李泳兴, 苏丰, 等. 2015 年珠三角地区市售大米和蔬菜中重金属含量及健康风险评估[J]. 环境保护前沿, 2017, 7(2): 155–163.
Li YW, Li YX, Su F, *et al.* Concentrations and health risk assessment of heavy metals from market rice and vegetables in Pearl Delta river area [J]. Adv Environ Protect, 2017, 7(2): 155–163.
- [10] Zhuang P, Lu H P, Li ZA, *et al.* Multiple exposure and effects assessment of heavy metals in the population near mining area in south China [J]. PLoS One, 2014, 35, 198–200.
- [11] Tsukahara T, Ezaki T, Moriguchi J, *et al.* Rice as the most influential source of cadmium intake among general Japanese population [J]. Sci Total Environ, 2003, 305: 41–51.
- [12] 杨菲, 白卢哲, 梁春穗, 等. 2009 年广东省市售大米及其制品镉污染状况调查[J]. 中国食品卫生杂志, 2011, 23(4): 358–362.
Yang F, Bai LX, Liang CS, *et al.* Investigation of the cadmium contamination on retailed rice and rice products in Guangdong province in 2009 [J]. Chin J Food Hyg, 2011, 23(4): 358–362.
- [13] GB 5009. 12-2017 食品安全国家标准 食品中铅的测定[S].
GB 5009. 12-2017 National food safety standard-Determination of lead in foods [S].
- [14] GB 5009. 15-2014 食品安全国家标准 食品中镉的测定[S].
GB 5009. 15-2014 National food safety standard-Determination of cadmium in foods [S].
- [15] GB 5009. 17-2014 食品安全国家标准 食品中总汞及有机汞的测定[S].
GB 5009. 17-2014 National food safety standard-Determination of total mercury and organic mercury in foods [S].
- [16] GB 5009. 11-2014 食品安全国家标准 食品中总砷及无机砷的测定[S].
GB 5009. 11-2014 National food safety standard-Determination of total and inorganic arsenic in foods [S].
- [17] 苏州市疾病预防控制中心. 2019 年苏州市食品安全风险监测方案[Z].
Suzhou Center for Disease Control and Prevention. Suzhou food safety risk monitoring program [Z].
- [18] 苏州市疾病预防控制中心. 理化实验室质量控制手册(重金属检测分册)[Z].
Suzhou Center for Disease Control and Prevention. Quality control manual for physical and chemical laboratories (heavy metal detection sub-volume) [Z].
- [19] GB 2762-2017 食品安全国家标准 食品中污染物限量[S].
GB 2762-2017 National food safety standard-Limit contaminants in food [S].
- [20] 国家食品安全风险评估中心. 中国居民膳食铅暴露风险评估[Z]. 2005.
China National center for food safety risk assessment, Risk assessment of dietary exposure to lead in Chinese population [Z]. 2005.
- [21] 刘思洁, 王慧, 王博, 等. 吉林省主要食品中砷污染状况及居民膳食暴露风险评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2018, 30(6): 645–649.
Liu SJ, Wang H, Wang B, *et al.* Arsenic contamination in main foods and the dietary exposure assessment for the population of Jilin province, China [J]. Chin J Food Hyg, 2018, 30(6): 645–649.
- [22] 张静, 施向东, 吕忠其, 等. 广西某市自产稻米重金属污染状况分析及控制对策[J]. 应用预防医学, 2019, 25(5): 361–364.
Zhang J, Shi XD, Lv ZQ, *et al.* Analysis of the pollution status and the control measures of heavy metals in local produced rice in a city of Guangxi [J]. Appl Prev Med, 2019, 25(5): 361–364.
- [23] 石春红, 曹美萍, 胡桂霞, 等. 松江区消费环节大米重金属污染状况及安全评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(21): 7241–7244.
Shi CH, Cao MP, Hu GX, *et al.* Contamination status and safety assessment of heavy metals in rice consumed in Songjiang district [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(21): 7241–7244.
- [24] 雷鸣, 曾敏, 王利红, 等. 湖南市场和污染区稻米中 As, Pb, Cd 污染及

其健康风险评估[J]. 环境科学学报, 2010, 30(11): 2314–2320.

Lei M, Zeng M, Wang LH, *et al.* Arsenic, lead, and cadmium pollution in rice from Hunan markets and contaminated areas and their health risk assessment [J]. *Acta Sci Circumst*, 2010, 30(11): 2314–2320.

[25] Wei JX, Cen K. Contamination and health risk assessment of heavy metals in cereals, legumes, and their products: A case study based on the dietary structure of the residents of Beijing, China [J]. *J Cleaner Product*, 2020, 260: 121001.

[26] Babak D, Mahmoud T, Mehdi F, *et al.* Stochastic exposure and health risk assessment of rice contamination to the heavy metals in the market of Iranshahr, Iran [J]. *Food Chem Toxicol*, 2018, (115): 405–412.

[27] Corguinha APB, Souza GA, Goncalves VC. Assessing arsenic, cadmium, and lead contents in major crops in Brazil for food safety purposes [J]. *J Food Compos Anal*, 2014, 35: 143–150.

[28] Martin O, Wladimir T, Diego STY, *et al.* Assessment of cadmium and lead contamination in rice farming soils and rice (*Oryza sativa* L.) from Guayas province in Ecuador [J]. *Environ Pollut*, 2020, (260): 114050.

[29] Kukusamude C, Sricharoen P, Limchoowong N, *et al.* Heavy metals and probabilistic risk assessment via rice consumption in Thailand [J]. *Food Chem*, 2020, 334: 127402.

[30] Rahman MA, Rahman MM, Reichman SM, *et al.* Heavy metals in Australian grown and imported rice and vegetables on sale in Australia: Health hazard [J]. *Ecotoxicol Environ Saf*, 2014, 100: 53–60.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



黄飞飞, 硕士, 主管医师, 主要研究方向为营养与食品安全。

E-mail: hff_0928@126.com



张宁, 主管医师, 主要研究方向为营养与食品安全。

E-mail: 454958677@qq.com



“农兽药残留研究与检测”专题征稿函

食用农产品中农药、兽药残留问题是国内外广泛关注的课题。本刊特组织“农兽药残留研究与检测”专题, 征集的稿件主要围绕农兽药残留标准制定与风险评估、农兽药的代谢与迁移转化、农兽药残留样品前处理方法、农兽药残留检测技术与应用、农兽药残留现场检测技术、农兽药残留市场监测与结果分析等或者您认为与本专题相关有意义的领域。该专题计划在 2021 年 1~2 月出版。

鉴于您在该领域的成就, 学报主编国家食品安全风险评估中心吴永宁研究员和专题主编刘宏程研究员和编辑部全体成员特别邀请有关食品领域研究人员为本专题撰写稿件, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。综述及研究论文均可, 请在 2020 年 11 月 30 日前通过网站或 E-mail 投稿。我们将快速处理并经审稿合格后优先发表。

同时烦请您帮忙在同事之间转发一下, 再次感谢您的关怀与支持!

投稿方式(注明专题农兽药残留研究与检测):

网站: www.chinafoodj.com(备注: 投稿请登录食品安全质量检测学报主页-作者

登录-注册投稿-投稿选择“专题: 农兽药残留研究与检测”)

邮箱投稿: E-mail: jfoodsqq@126.com(备注: 农兽药残留研究与检测专题投稿)

《食品安全质量检测学报》编辑部