

风险评估

江西省米粉镉污染情况分析及其食用人群暴露风险评估

王艳敏¹, 包汇慧², 张磊², 王小丹², 李娟¹, 于晖¹, 邱雪娇², 鲁艳莉³

- (1. 江西省疾病预防控制中心, 重大疫情防控江西省重点实验室, 江西省营养膳食与健康重点实验室, 江西省疾控中心青年科研创新攻关团队, 江西南昌 330029; 2. 国家食品安全风险评估中心, 国家卫生健康委员会食品安全风险评估重点实验室, 中国医学科学院食品安全创新单元, 北京 100022; 3. 大连金普新区海洋发展事务服务中心, 辽宁大连 116100)

摘要:目的 了解江西省市售米粉镉污染现状, 评估米粉食用人群镉暴露的健康风险。方法 在江西省11个地区采集市售干、鲜生米粉样品163份, 采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)检测镉含量; 采用食物频率调查法在对应地区开展米粉食用人群消费量调查, 运用简单分布评估方法, 评估江西省米粉食用人群米粉镉暴露健康风险。结果 江西省163份米粉镉总检出率和超标率分别为87.1%(142/163)和1.23%(2/163), 含量范围为0.003~0.225 mg/kg, 平均值和中位值分别为0.034和0.020 mg/kg。干米粉镉含量和检出率均高于鲜湿米粉。米粉食用人群米粉镉每月暴露量均值和P₉₅分别为1.11和3.46 μg/(kg·BW), 分别占镉每月可耐受摄入量[PTMI, 25 μg/(kg·BW)]的4.4%和13.8%, 儿童和青少年米粉镉暴露量高于18岁以上人群; 鹰潭市米粉消费人群镉暴露量最高[2.57 μg/(kg·BW)], 其次是宜春[2.39 μg/(kg·BW)], 萍乡[1.94 μg/(kg·BW)]和抚州[1.88 μg/(kg·BW)]。结论 江西省市售米粉中镉污染总体水平较低, 米粉食用人群通过米粉摄入镉的暴露风险处于可接受水平。

关键词:米粉; 镉; 米粉食用人群; 消费量调查; 暴露评估

中图分类号: R155 文献标识码: A 文章编号: 1004-8456(2024)11-1258-08

DOI: 10.13590/j.cjfh.2024.11.009

Analysis of cadmium contamination in rice noodles and exposure assessment of consumers in Jiangxi Province

WANG Yanmin¹, BAO Huihui², ZHANG Lei², WANG Xiaodan², LI Juan¹,
YU Hui¹, QIU Xuejiao², LU Yanli³

- (1. Jiangxi Provincial Center for Disease Control and Prevention, Jiangxi Provincial Key Laboratory of Major Epidemic Prevention and Control, Jiangxi Key Laboratory of Nutrition Diet and Health, Youth Research and Innovation Team of Jiangxi Provincial Center for Disease Control and Prevention, Jiangxi Nanchang 330029, China; 2. China National Center for Food Safety Risk Assessment, Chinese Academy of Medical Sciences, NHC Key Laboratory of Food Safety Risk Assessment, Beijing 100022, China; 3. Dalian Jinpu New Area Marine Development Affairs Service Center, Liaoning Dalian 116100, China)

Abstract: Objective To understand the current situation of cadmium pollution in rice noodles sold in Jiangxi Province and to assess the health risk of cadmium exposure among rice noodle consumers. **Methods** A total of 163 samples of raw dried and fresh rice noodles were collected from 11 regions of Jiangxi Province, the cadmium content was detected by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). The food frequency survey method was used to investigate the rice noodles consumption of rice noodle consumers in the corresponding areas, the simple distribution assessment method was used to assess the health risk of rice noodles cadmium exposure among rice noodle consumers in Jiangxi Province.

收稿日期: 2024-06-26

基金项目: 重大疫情防控江西省重点实验室项目(2024SSY06021); 国家重点研发计划资助(2023YFF1103804)

作者简介: 王艳敏 女 副主任技师 研究方向为食品安全风险监测与评估 E-mail: minyanwang2007@126.com

通信作者: 包汇慧 女 研究员 研究方向为食品毒理学和食品风险评估 E-mail: baohuihui@cfsa.net.cn

张磊 男 研究员 研究方向为食品安全风险评估 E-mail: zhanglei@cfsa.net.cn

包汇慧和张磊为共同通信作者

Results The total detection rate and over standard rate of cadmium in 163 rice noodles from Jiangxi Province were 87.1% (142/163) and 1.23% (2/163), respectively. The cadmium content range was 0.003-0.225 mg/kg. The average and median values were 0.034 and 0.020 mg/kg, respectively. The cadmium content and detection rate of raw dried rice noodles were higher than those of fresh rice noodles. The average and P_{95} of the monthly rice noodle cadmium exposure among rice noodle consumers were 1.11 and 3.46 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$, accounting for 4.4% and 13.8% of [PTMI, 25 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$], respectively. The cadmium exposure of rice noodles in children and adolescents was higher than that in people over 18 years old. The cadmium exposure of rice noodle consumers in Yingtian area was the highest [2.57 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$], followed by Yichun [2.39 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$], Pingxiang [1.94 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$] and Fuzhou [1.88 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$]. **Conclusion** The overall cadmium pollution level of rice noodles sold in Jiangxi Province was low, and the cadmium exposure risk of rice noodle consumers through rice noodles was at an acceptable level.

Key words: Rice noodles; cadmium; rice noodle consumers; consumption survey; exposure assessment

镉(Cd)是环境中广泛存在的一种重金属污染物,铅锌矿开采、有色金属冶炼、电镀以及化工产品制造等工业“三废”的排放,会造成土壤、水和空气中镉污染,进一步导致食物链的镉污染^[1]。镉可通过环境迁移并经食物链在人体蓄积,生物体半衰期长达10~30年。流行病学数据表明,职业性和环境性镉接触可能与各种癌症发生有关,包括乳腺癌、肺癌、前列腺癌和肾癌等^[1]。长期镉暴露还可诱导肾病、骨质疏松症和生殖系统疾病发生的增加^[2]。米粉是以大米为主要原料,经清洗、浸泡、磨浆、熟制成型等传统工艺加工制成的条状或丝状米制品。江西米粉作为传统特色食品,具有口感爽滑、低过敏性等特点^[3],不仅在中国广为人知,而且远销海外。据海关部门统计,2023年江西省米粉出口量和出口额均位居全国第二^[4]。江西是米粉消费大省,米粉销售门店有近3万家,每日鲜米粉消费量超1000吨^[5]。米粉作为一种产销量巨大的大众食品,产品品质和食用安全性直接关系到广大人民群众的身体健康。

研究表明,人体镉暴露来源包括吸烟在内的多种途径,而非吸烟人群中食物镉暴露约占90%^[6]。大米是我国南方居民膳食镉暴露的主要来源(不包括职业接触和吸烟)^[7],目前,我国南方地区稻米仍存在一定程度的镉污染^[8-9]。因此,以大米为主要原料的米粉也可能存在较高镉暴露风险。以往监测结果显示,江西省大米和干米粉制品仍有个别镉超标样品^[10]。但目前尚缺乏对江西省市售米粉中镉污染现状,以及不同年龄人群尤其是敏感人群(儿童、青少年、老年)通过食用米粉摄入镉的健康风险方面的研究。本研究在2023年采集江西省市售干湿米粉并分析镉污染水平,在餐饮环节开展不同性别-年龄米粉食用人群米粉消费量调查,并开展米粉镉暴露健康风险评估,以掌握江西省居民米粉镉暴露水平,为制定相关风险管理措施提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 米粉样品采集

采用分层随机抽样的方法,在江西省11个地区采集市售米粉样品,综合各地区人口分布和采样工作实际情况,确定每个地区的采样量。其中在米粉餐饮店采集81份鲜湿米粉,在超市和农贸市场采集82份干米粉,共采集米粉样品163份。同时收集2017—2022年江西省食品安全风险监测中干米粉镉含量数据,其中2017年58份,2019年84份,样品均采用《国家食品污染和有害因素风险监测工作手册》食品中多元素分析的标准操作程序ICP-MS方法进行检测。

1.2 仪器与试剂

Agilent 7700 电感耦合等离子体质谱仪(美国安捷伦公司); Millipore-Q 超纯水机(美国密理博公司); TANK PLUS 微波消解系统(上海新仪公司); MS304S 电子天平(美国梅特勒-托利多公司)。镉单元素标准溶液(中国计量科学研究院,100 mg/L); Rh、In、Re 内标液(国家有色金属研究院,100 mg/L); 硝酸(美国 Fisher, trace mental 级)。

1.3 检测方法与质量控制

2023年采集的样品仍按照《国家食品污染和有害因素风险监测工作手册》中ICP-MS方法进行检测。为保证检测数据准确可靠,采用测定国家标准样品湖南大米(GBW10045a)、加标回收试验和平行双样等方法进行质量控制,方法检出限为0.003 mg/kg,定量限为0.009 mg/kg,精密密度为5.6%,加标回收率为93.2%~96.8%。参考《食品安全国家标准 食品中污染物限量》(GB 2762—2022)中谷物及其制品项下大米(粉)中镉限量 ≤ 0.2 mg/kg进行超标评价^[11],对超标及检出值高于0.15 mg/kg的样品进行复检。

1.4 米粉食用人群消费量调查

根据国家统计局发布的江西省人口分布和数量确定调查点和调查人数,采用多阶段分层整群随机抽样方法和方便抽样法结合抽取研究对象。第

一阶段在江西省每个地市抽取1个县/区作为调查点,共抽取11个调查点。第二阶段每个调查点随机抽取5家米粉消费量大的餐饮店。第三阶段从每个餐饮店随机调查8名米粉食用者。本次调查共抽取55家餐饮店440名米粉食用者,所有被访者均签署知情同意书。采用食物频率回顾法,调查被访者过去一年内米粉消费量、消费方式、消费频率等情况,调查员均经过统一培训考核,面对面以访问形式开展调查,并记录调查对象体质量等人口学基本信息。

1.5 米粉食用人群米粉暴露量评估

利用调查人群米粉实际消费量和体质量数据为基础,结合米粉中镉含量检测数据,采用简单分布评估(确定性评估)模型,计算江西省米粉消费者每月每千克体质量镉的暴露量。

个体米粉镉暴露量计算公式为:

$$\text{Exp}_i = \frac{C \times F_i}{W_i} \times 30$$

式中:Exp_i为某个体每月每千克体质量镉的暴露量,单位为μg/kg·BW;C为鲜湿米粉镉平均含量,单位为mg/kg;F_i为个体i日均鲜湿米粉消费量,单位为g/d;W_i为个体i体质量,单位为kg。

根据上述公式计算米粉消费者个体镉的暴露量,并以此为基础计算不同性别-年龄组人群米粉镉暴露量的均值、P90和P95百分位数值。

粮农组织/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)暂定人群镉可耐受月摄入量

(Provisional tolerable monthly intake, PTMI)为25 μg/kg·BW^[12],本研究以此为基础,同时参考我国居民全膳食镉暴露研究结果^[7],对江西省米粉食用人群通过米粉摄入镉的健康风险进行评估。

1.6 统计学分析

根据WHO全球环境监测系统/食品污染监测与评估规划(GEMS/FOOD)第2次会议“食品中低水平污染物可信评鉴”中对未检出数据的处理原则^[13],当未检出数据的比例低于60%时,所有未检出数据以1/2检出限替代;当未检出数据的比例高于60%时,所有未检出数据以检出限替代。采用SPSS 22.0软件对检测数据进行描述性统计分析,如数据不符合正态分布,则采用Kruskal-Wallis H检验比较镉含量和暴露量数据,检出率和超标率的比较采用χ²检验,以P<0.05为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 米粉镉检测结果

结果显示,在江西省11地市采集的163份米粉镉含量平均值为0.034 mg/kg,中位值为0.020 mg/kg,含量范围为0.003~0.225 mg/kg,总检出率为87.1%(142/163),超标率为1.23%(2/163),分别有1份干米粉和鲜湿米粉镉超标。干米粉镉平均含量(0.046 mg/kg)高于鲜湿米粉(0.022 mg/kg),且干米粉镉检出率也高于鲜湿米粉,统计分析结果表明,二者镉含量差异具有统计学意义(P<0.05)。结果详见表1。

表1 江西省米粉镉检测结果

Table1 Cadmium detection results of rice noodles in Jiangxi Province

类别	采样量/份	检出率/%	超标率/%	平均值±SD/(mg/kg)	P ₅₀ /(mg/kg)	P ₉₀ /(mg/kg)	P ₉₅ /(mg/kg)	范围/(mg/kg)
干米粉	82	98.8	1.22	0.046±0.035	0.045	0.089	0.100	0.003~0.216
鲜湿米粉	81	75.3	1.23	0.022±0.033	0.009	0.059	0.094	0.003~0.225
合计	163	87.1	1.23	0.034±0.036	0.020	0.083	0.097	0.003~0.225

不同地区米粉镉含量有所不同,九江市干米粉镉含量最高(0.067 mg/kg),其次是景德镇市(0.065 mg/kg)、萍乡市(0.059 mg/kg)和鹰潭市(0.058 mg/kg),其他地区均较低;鹰潭市湿米粉镉含量最高(0.076 mg/kg),其次是宜春市(0.037 mg/kg)和抚州市(0.037 mg/kg),其他地区均较低。除鹰潭市外,其他地区鲜湿米粉镉含量均低于干米粉。除抚州市外,其他地区干米粉镉检出率均为100%;新余市和鹰潭市鲜湿米粉镉检出率为100%,其次是抚州市(90.9%)、南昌市(88.9%)和吉安市(85.7%),其他地区均低于75%(表2)。

2.2 不同年份干米粉镉含量监测结果分析

江西省分别于2017、2019和2023年开展了干

米粉镉含量监测,3年监测数据分析结果表明,2017、2019和2023年干米粉镉含量中位值(四分位距)分别为0.035(0.06)、0.073(0.07)和0.045(0.05)mg/kg。Kruskal-Wallis H检验结果显示,3个年份干米粉镉含量水平不全相同(H=21.55, P<0.05)。两两比较结果显示,不同年份干米粉镉含量差异具有统计学意义(P<0.05),但2017与2023年干米粉镉含量差异无统计学意义(H=-8.398, P>0.05)。干米粉镉含量在2019年有所上升,2023年与2019年比较呈下降趋势。干米粉镉检出率随年份呈上升趋势,3个年份米粉镉检出率差异具有统计学意义(χ²=43.28, P<0.05)。2017、2019和2023年米粉镉超标率分别为1.72%、1.19%和1.22%,超

表2 不同地区米粉镉检测结果

Table 2 Cadmium detection results of rice noodles in different regions of Jiangxi Province

地区	干米粉					鲜湿米粉				
	采样量/份	检出率/%	平均值/(mg/kg)	P ₅₀ /(mg/kg)	最大值/(mg/kg)	采样量/份	检出率/%	平均值/(mg/kg)	P ₅₀ /(mg/kg)	最大值/(mg/kg)
南昌	9	100	0.039	0.046	0.065	9	88.9	0.009 1	0.003 7	0.041
景德镇	4	100	0.065	0.062	0.082	4	25.0	0.008 9	0.003 0	0.026
萍乡	4	100	0.059	0.058	0.077	4	75.0	0.022	0.024	0.037
九江	8	100	0.067	0.052	0.216	7	71.4	0.005 8	0.005 3	0.012
新余	4	100	0.046	0.048	0.074	4	100	0.026	0.021	0.044
鹰潭	4	100	0.058	0.056	0.102	4	100	0.076	0.079	0.098
赣州	14	100	0.034	0.029	0.100	12	58.3	0.016	0.007 8	0.057
吉安	8	100	0.040	0.028	0.098	7	85.7	0.011	0.007 9	0.021
宜春	8	100	0.050	0.057	0.084	7	71.4	0.037	0.031	0.095
抚州	10	90.0	0.038	0.026	0.111	11	90.9	0.037	0.018	0.225
上饶	9	100	0.047	0.063	0.090	12	66.7	0.013	0.005	0.097

标率差异无统计学意义 ($\chi^2=0.088, P>0.05$)。详见图 1。

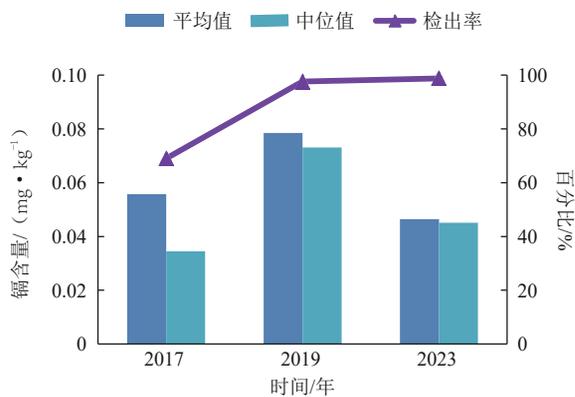


图1 不同年份干米粉镉检测结果比较

Figure 1 Comparison of cadmium detection results of dried rice noodles in different years

2.3 米粉食用人群米粉消费量分析

2023年江西省米粉食用人群调查结果显示,鲜湿米粉消费者共440人,问卷应答率为100%。调查对象中男女比例为1.01:1,2~17岁、18~59岁、≥60岁人群分别占总调查人数的22.3%、57.7%和20.0%。结果表明江西省米粉食用人群鲜湿米粉平均消费量为78.2 g/d,消费量中位值为65.0 g/d,日消费量最高为300.0 g/d。男性米粉消费量高于女性,不同性别米粉消费量差异具有统计学意义 ($P<0.05$),详见表4。米粉食用频率最多为3次/d,最低为1次/月。每天食用米粉的人数占15.9%(70/440),每周食用米粉的人数占74.5%(328/440),每月食用米粉的人数占9.5%(42/440)。

2.4 米粉镉暴露量评估

2.4.1 不同人群米粉镉暴露量

江西省米粉食用人群米粉镉每月平均和P₉₅(高消费人群)暴露量分别为1.11和3.46 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$,分别占PTMI的4.4%和13.8%。6~9岁人群镉暴露量最高,暴露量均值和P₉₅分别为1.84和

表4 米粉食用人群鲜湿米粉消费量/(g/d)

Table 4 Typical population consumption of fresh and wet rice noodles/(g/d)

组别	分组	人数	平均值±SD	P ₅₀	P ₇₅	P ₉₀	P ₉₅	最大值
年龄组	2~5	27	33.8±33.7	21.4	42.9	110.0	113.0	115.0
	6~9	37	58.2±56.4	42.9	89.5	131.0	163.0	280.0
	10~17	34	65.8±47.1	50.0	100.0	145.0	162.5	200.0
	18~59	254	90.2±63.1	74.3	128.6	160.0	213.3	300.0
	≥60	88	71.7±53.8	50.7	120.0	140.3	155.5	300.0
性别组	男	221	86.8±67.6	71.4	128.6	160.0	260.0	300.0
	女	219	70.6±50.3	60.0	110.0	133.7	150.0	300.0
总计		440	78.2±59.8	65.0	120.0	150.0	171.4	300.0

8.27 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$,分别占PTMI的7.4%和33.1%,镉暴露量最大值为13.6 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$,占PTMI的54.4%;其次是2~5岁和10~17岁人群,暴露量均值分别为1.30和1.18 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$,分别占PTMI的5.2%和4.7%,60岁以上人群镉暴露量最低,不同年龄组镉暴露量差异无统计学意义 ($H=0.185, P>0.05$)。18岁以上成人按性别分组,成年男性镉暴露量均值和P₉₅分别为1.03和3.41 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$,成年女性镉暴露量均值和P₉₅分别为0.99和2.85 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$,不同性别镉暴露量差异无统计学意义 ($H=0.138, P>0.05$)。详见表5。

2.4.2 不同地区米粉镉暴露量

采用简单分布评估模型,以11个地区鲜湿米粉镉含量对应其米粉消费量,计算不同地区米粉食用人群米粉镉暴露量。其中鹰潭地区米粉食用人群米粉镉每月暴露量均值和P₉₅最高,分别为2.57和7.67 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$,分别占PTMI的10.3%和30.7%;其次是宜春[均值为2.39 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$]、萍乡[均值为1.94 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$]、抚州[均值为1.88 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$]和新余[均值为1.15 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$],5个地区米粉镉暴露量差异无统计学意义 ($P>0.05$)。其他地区米粉镉暴露量均较低。不同地区人群米粉镉暴露量差异具有统计学意义 ($P<0.05$)。详见表6和图2。

表5 米粉食用人群米粉镉每月暴露量

Table 5 Monthly exposure of cadmium to rice noodles in typical population

年龄/岁	人数	平均值±SD/($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$)	P_{50} /($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$)	P_{90} /($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$)	P_{95} /($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$)	暴露量范围/($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$)	占PTMI比例/%
2~5	27	1.30±1.45	0.65	4.10	4.53	0.012~4.76	0.048~19.0
6~9	37	1.84±2.54	0.94	3.70	8.27	0.029~13.6	0.12~54.4
10~17	34	1.18±1.58	0.64	2.88	5.87	0.023~7.58	0.092~30.3
18~59	254	1.06±1.00	0.74	2.38	3.25	0.021~6.66	0.084~26.6
≥60	88	0.88±0.89	0.57	2.10	2.88	0.022~3.68	0.088~14.7
总计	440	1.11±1.60	0.68	2.75	3.46	0.012~13.6	0.048~54.4

表6 不同地区人群米粉镉每月暴露量

Table 6 Monthly exposure of cadmium to rice noodles in different regions

地区	平均值±SD/($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$)	P_{50} /($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$)	P_{90} /($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$)	P_{95} /($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$)	暴露量范围/($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$)	占PTMI比例/%
鹰潭	2.57±2.44	2.13	5.14	7.67	0.22~13.6	0.87~54.4
宜春	2.39±1.40	2.00	4.15	4.76	0.72~6.66	2.88~26.6
萍乡	1.94±0.75	1.68	2.08	3.15	1.16~4.19	4.64~16.8
抚州	1.88±0.89	1.68	3.25	3.83	0.36~4.34	1.44~17.4
新余	1.15±0.65	1.02	2.00	2.71	0.15~2.75	0.59~11.0
吉安	0.64±0.38	0.62	1.19	1.41	0.071~1.58	0.28~6.32
赣州	0.62±0.38	0.57	1.08	1.41	0.045~1.75	0.18~7.00
上饶	0.31±0.26	0.25	0.59	0.83	0.034~1.45	0.14~5.80
南昌	0.27±0.21	0.19	0.66	0.69	0.021~0.74	0.084~2.97
景德镇	0.26±0.18	0.20	0.57	0.73	0.059~0.75	0.24~2.99
九江	0.22±0.24	0.16	0.44	0.82	0.023~1.32	0.092~5.28

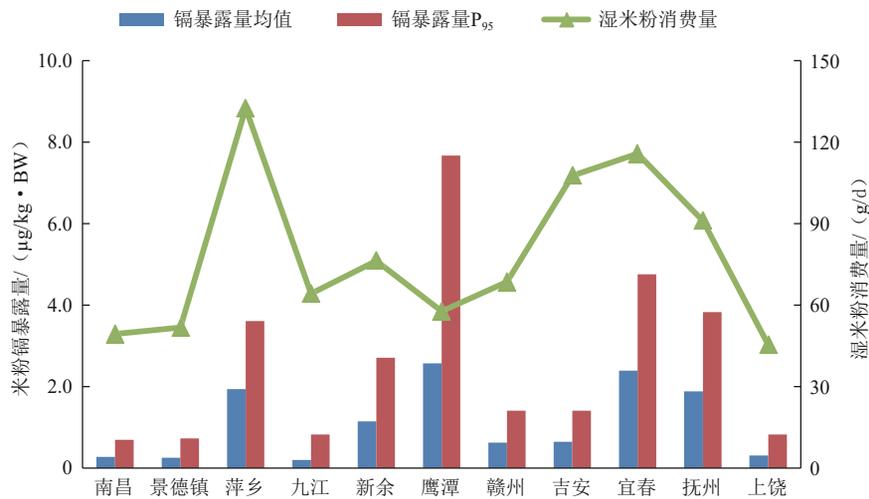


图2 江西省不同地区人群米粉镉暴露量

Figure 2 Monthly exposure of cadmium to rice noodles in different regions of Jiangxi Province

3 讨论

大米作为米粉的主要原料,其对镉具有较强的吸附和蓄积作用,因此,大米及米制品中镉污染水平及由此带来的人体健康风险受到广泛关注。江西是中国传统米粉生产和消费大省,米粉是江西省具有代表性的米制品,全省各地区均生产米粉并各具特色,但不同地区米粉加工工艺有所差别,经现场调研了解市辖区区域内鲜湿米粉一般为本地1~2家加工厂生产并提供给餐饮,此外在本地米粉加工时可能使用本地区产大米。本研究为了解江西省米粉镉污染情况及江西省居民通过米粉摄入镉的健康风险,在全省11地市开展了米粉样品采集检测及消费量调查,并开展针对米粉镉暴露开展风险评估,以期风险管理提供科学依据。本研究对江西

省11个地市采集的163份干湿米粉镉含量进行了检测,总检出率和超标率分别为87.1%和1.23%,九江地区干米粉镉含量略高于其他地区,米粉镉总体污染水平较低。因鲜湿米粉水分含量较高,故其镉含量和检出率均低于干米粉。对2017~2023年江西省干米粉镉含量进行趋势分析表明市售干米粉镉总体污染水平呈下降趋势。

米粉镉的来源主要有两个方面:一是原料大米,与土壤、灌溉水、肥料、种植环境等密切相关^[14];二是生产加工过程使用的水以及辅料。本次监测的干米粉镉含量(0.046 mg/kg)低于2018年广州市干米粉镉^[15](0.074 mg/kg)和福建省米粉镉^[16](0.16 mg/kg),其中福建省米粉镉的合格率仅60.0%,显著低于广州市、深圳市^[17]、南充市^[18]、贵

阳市^[19]以及本研究的调查结果。本次监测的鲜湿米粉镉平均含量(0.022 mg/kg)略高于广州市湿沙河粉镉平均含量^[15](0.010 mg/kg),与袁爱华等^[20]报道的南昌市2014—2018年鲜湿米粉监测结果基本一致,但与张顺等^[21]调查的2016年长沙市鲜湿米粉(米线)镉平均含量(0.30 mg/kg)差异较大,其样品镉超标率为70%,显著高于本次调查结果。因原料大米来源各异,不同生产厂家加工米粉的工艺、卫生条件和加工器械等可能存在差别,导致米粉镉含量有所不同。

前期一项我国居民膳食镉暴露研究表明,大米是我国南方居民膳食镉暴露的主要来源,占全膳食暴露的65.1%^[7]。此外,广西壮族自治区、广东省、杭州市居民主要膳食镉暴露评估结果表明^[22-24],大米及米制品对居民膳食镉的贡献率为50.1%~64.2%。本次米粉食用人群消费量调查中同时调查了消费人群大米的消费量,结果表明,消费人群大米及米粉消费量总和与我国最新调查的一般人群大米消费量(未公开数据)基本持平。本次调查的部分食用者的米粉食用频率高于一般人群,但实际调查中发现米粉食用人群仍以大米为主食,在无法获得江西省米粉消费人群全食品镉暴露量的情况下,本次评估将镉PTMI的20%分配给米粉,以此作为米粉食用人群镉暴露健康风险评估标准。本次评估结果显示,米粉食用人群米粉每月暴露量均值和 P_{95} 分别为1.11和3.46 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$,分别占PTMI的4.4%和13.8%,均低于PTMI的20%。6~9岁人群米粉镉暴露量最高,其次是2~5岁和10~17岁人群,18岁以上人群镉暴露量相对较低。儿童和青少年镉暴露量较高的可能原因是,作为体质量因素的食物摄入量在儿童和青少年中比其他人群更高^[7]。一项对中国华东地区2~17岁儿童膳食镉暴露的研究表明,随着年龄的增长,月镉暴露水平呈下降趋势,与本研究基本一致^[25]。考虑到镉的累积毒性和较长的半衰期,长期暴露评估在风险评估中更为重要^[7]。

本次评估结果高于广州人群湿沙河粉镉的每月暴露量^[15][0.30 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$],可能与米粉镉含量以及评估人群不同有关。鹰潭地区鲜湿米粉镉含量高于其他地区,但消费量与其他地区差别不大,消费人群米粉镉暴露量最高,其次是宜春、萍乡和抚州,其他地区米粉镉暴露量均较低。研究表明,江西省受镉污染的土壤主要集中在矿区及冶炼厂周边,粮食主产区总体状况良好,局部污染较重,如早期开发的鹰潭贵溪冶炼厂周边土壤被镉严重污染^[26],通过土壤-稻米系统使大米中镉不断积累。

鹰潭鲜湿米粉镉含量可能与原料大米有关,但米粉镉和原料大米的相关性还需进一步研究。

综上所述,江西省米粉食用人群通过米粉摄入镉的平均暴露量和P95暴露量均未超过PTMI的20%,健康风险处于可接受水平。但本研究只针对米粉食用人群镉暴露的风险进行评估,结合单一食品风险分配法以及其他膳食镉暴露的情况综合评价米粉镉暴露风险,从长期暴露风险的角度一定程度上高估了全人群米粉镉的暴露风险;部分地区采样量较少,故样品量差异会带来一定的不确定性;另外,本次米粉消费量调查采用频率回忆法,与实际消费量存在一定的差异,会给评估结果带来误差。

目前我国尚未制定米粉食品安全国家标准,广西、云南、广东等地根据辖区特点制定了仅适用于该辖区范围内的米粉地方标准。目前江西仅有一项鲜湿米粉地方标准^[27],干米粉尚无标准可依,可能存在米粉产品品质差异,制约了该行业的发展,部分企业质量安全管理意识薄弱、米粉产业整体发展不平衡等^[28]。随着米粉产量和消费量的日益扩大,亟须对米粉的食用安全进行更严格的管理。本次监测的米粉总体合格率较高,但仍存在个别样品超标,建议相关部门继续加强原料来源和生产加工过程的监管,重视环境重金属污染治理工作,进一步降低大米及米粉镉含量,保障群众饮食健康。

参考文献

- [1] GENCHI G, SINICROPI M S, LAURIA G, et al. The effects of cadmium toxicity [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, 17(11): 3782.
- [2] PEANA M, PELUCELLI A, CHASAPIS C T, et al. Biological effects of human exposure to environmental cadmium [J]. *Biomolecules*, 2022, 13(1): 36.
- [3] 傅晓如, 吕齐明, 何胜军, 等. 江西米粉产业技术现状、借鉴和创新[J]. *粮食与饲料工业*, 2023(3): 1-3.
FU X R, LYU Q M, HE S J, et al. Nowadays technological situation, comparison and innovations of rice noodles industry in Jiangxi[J]. *Cereal and Feed Industry*, 2023(3): 1-3.
- [4] 江西省发展和改革委员会. 江西出口数据出炉 更多隐藏特产浮出水面[EB/OL]. (2024-02-22) [2024-06-10]. http://drc.jiangxi.gov.cn/art/2024/2/22/art_14688_4792453.html.
Jiangxi Development and Reform Commission. Jiangxi export data released more hidden specialties surfaced[EB/OL]. (2024-02-22) [2024-06-10]. http://drc.jiangxi.gov.cn/art/2024/2/22/art_14688_4792453.html.
- [5] 江西省商务厅. 第一届中国米粉节新闻发布会[EB/OL]. (2021-05-25) [2024-07-18]. http://swt.jiangxi.gov.cn/art/2021/5/25/art_35195_3375576.html.
Department of Commerce of Jiangxi Province. The first Chinese

- Rice Noodle Festival press conference [EB/OL]. (2021-05-25) [2024-07-18]. http://swt.jiangxi.gov.cn/art/2021/5/25/art_35195_3375576.html.
- [6] EFSA. Scientific opinion of the panel on contaminants in the food chain on a request from the European Commission on cadmium in food. *The EFSA Journal*, 2009, 980: 1-139.
- [7] SONG Y, WANG Y B N, MAO W F, et al. Dietary cadmium exposure assessment among the Chinese population [J]. *PLoS One*, 2017, 12(5): e0177978.
- [8] LU Q X, XIAO Q T, Wang Y J, et al. Risk assessment and hotspots identification of heavy metals in rice: A case study in Longyan of Fujian province, China [J]. *Chemosphere*, 2020, 270: 128626.
- [9] 范云燕, 欧嵩凤, 张海霞, 等. 南宁市大米中镉污染现状及膳食暴露研究[J]. *中国食品卫生杂志*, 2020, 32(3): 276-279.
- FAN Y Y, OU S F, ZHANG H X, et al. Cadmium contamination and dietary exposure assessment in rice in Nanning City [J]. *Chinese Journal of Food Hygiene*, 2020, 32(3): 276-279.
- [10] 王艳敏, 周鸿, 游兴勇, 等. 江西省居民主要膳食镉暴露风险的初步评估[J]. *现代预防医学*, 2018, 45(21): 3887-3890.
- WANG Y M, ZHOU H, YOU X Y, et al. Preliminary risk assessment on residents' dietary exposure of cadmium in Jiangxi [J]. *Modern Preventive Medicine*, 2018, 45(21): 3887-3890.
- [11] 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]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- National Health Commission of the People's Republic of China, State Administration for Market Regulation. National standards for food safety limits of contaminants in food: GB 2762—2022 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2022.
- [12] Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). Summary and conclusions of the seventy-third meeting of joint FAO/WHO expert committee on food additives [R]. Geneva: FAO/WHO, 2010: 352.
- [13] GEMS/FOOD. GEMS/Food-EURO second workshop on reliable evaluation of low-level contamination of food [C]. Kulmbach, Federal Republic of Germany, 1995.
- [14] OLYMPIO K P K, SILVA R D P J, SILVA D S A, et al. Blood lead and cadmium levels in preschool children and associated risk factors in São Paulo, Brazil [J]. *Environmental Pollution*, 2018, 240: 831-838.
- [15] 段夏菲, 潘翊, 凌东辉, 等. 2018年广州市米制品中膳食营养素摄入评价及重金属膳食暴露评估[J]. *中国卫生检验杂志*, 2020, 30(11): 1397-1400, 1403.
- DUAN X F, PAN Y, LING D H, et al. Evaluation of dietary nutrients intake and heavy metal exposure in rice products in Guangzhou in 2018 [J]. *Chinese Journal of Health Laboratory Technology*, 2020, 30(11): 1397-1400, 1403.
- [16] 吴云兵, 周章轩. 福建省4设区市米制品中铅镉汞砷含量监测分析[J]. *海峡预防医学杂志*, 2019, 25(3): 59-61.
- WU Y B, ZHOU Z X. Monitoring and analysis of lead, cadmium, mercury and arsenic in rice products in 4 districts of Fujian Province [J]. *Straits Journal of Preventive Medicine*, 2019, 25(3): 59-61.
- [17] 杨冬燕, 王舟, 雷伶俐, 等. 2018~2019年深圳市米面及其制品中重金属污染状况的监测与分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(24): 9261-9265.
- YANG D Y, WANG Z, LEI L G, et al. Monitoring and analysis of heavy metal pollution in rice, flour and their products in Shenzhen from 2018 to 2019 [J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2020, 11(24): 9261-9265.
- [18] 黎东, 潘婉舒, 刘春艳, 等. 南充市米粉中重金属污染物调查与分析[J]. *现代食品*, 2020(7): 195-197.
- LI D, PAN W S, LIU C Y, et al. The investigation and analysis of heavy metal contaminants in rice noodles in Nanchong city [J]. *Modern Food*, 2020(7): 195-197.
- [19] 贺士军, 汪蛟龙, 李海龙, 等. 2020年贵阳市市售大米及其制品中铅、镉、铝和砷污染情况卫生学调查[J]. *食品安全导刊*, 2022(14): 68-71, 75.
- HE S J, WANG J L, LI H L, et al. Hygienic investigation on the pollution of lead, chromium, cadmium, aluminum and arsenic in rice and its products sold in Guiyang in 2020 [J]. *China Food Safety*, 2022(14): 68-71, 75.
- [20] 袁爱华, 骆瑜, 王维亚. 2014—2018年鲜湿米粉监测结果分析[J]. *实验与检验医学*, 2019, 37(6): 1158-1161.
- YUAN A H, LUO Y, WANG W Y. Analysis of monitoring results of fresh and wet rice noodles from 2014 to 2018 [J]. *Experimental and Laboratory Medicine*, 2019, 37(6): 1158-1161.
- [21] 张顺, 陈亮, 王小瑜, 等. 鲜湿米线中Cd、Pb含量测定及其食品安全风险评估[J]. *粮食与饲料工业*, 2016, 5: 16-19.
- ZHANG S, CHEN L, WANG X Y, et al. Determination and risk assessment of Cd, Pb in fresh rice noodle [J]. *Cereal and Feed Industry*, 2016, 5: 16-19.
- [22] 蒋玉艳, 马宁, 蒙浩洋, 等. 广西居民重金属膳食摄入水平及其健康风险评估[J]. *中国食品卫生杂志*, 2021, 33(2): 191-195.
- JIANG Y Y, MA N, MENG H Y, et al. Risk assessment on the dietary exposure of cadmium in Guangxi residents [J]. *Chinese Journal of Food Hygiene*, 2021, 33(2): 191-195.
- [23] 王桂安, 梁春穗, 黄琼, 等. 广东省居民主要膳食镉暴露风险的初步评估[J]. *中国食品卫生杂志*, 2012, 24(4): 353-357.
- WANG G A, LIANG C H, HUANG Q, et al. Preliminary risk assessment on the dietary exposure of Cd in Guangdong residents [J]. *Chinese Journal of Food Hygiene*, 2012, 24(4): 353-357.
- [24] 王玲莉, 刘辉, 王姝婷. 杭州市居民主要膳食镉暴露评估[J]. *中国食品卫生杂志*, 2015, 27(5): 585-589.
- WANG L L, LIU H, WANG S T. Assessment on the dietary exposure of cadmium in Hangzhou residents [J]. *Chinese Journal of Food Hygiene*, 2015, 27(5): 585-589.
- [25] CHEN Y F, CHEN J X, QU J Y, et al. Health risk assessment of dietary cadmium intake in children aged 2-17 years in East China [J]. *Environ Geochem Health*, 2023, 45(7): 5311-5322.
- [26] 吕贵芬, 杨涛, 陈院华, 等. 江西省土壤重金属污染治理研究进展[J]. *能源研究与管理*, 2016(2): 16-18.
- LYU G F, YANG T, CHEN Y H, et al. Advance in remediation research of soil contaminated by heavy metals in Jiangxi Province [J]. *Energy Research and Management*, 2016(2): 16-18.

- [27] 江西省卫生健康委员会. 食品安全地方标准 鲜湿类米粉生产卫生规范: DB 36/1091—2018[S]. 南昌: 2018.
Health Commission of Jiangxi Province. Local standards for food safety hygienic standard for production of fresh and wet rice flour: DB 36/1091—2018[S]. Nanchang: 2018.
- [28] 何胜军, 付赖鹏, 张志明, 等. 我国干湿米粉的标准探讨[J]. 粮食与饲料工业, 2019, 2: 1-4, 7.
HE S J, FU L P, ZHANG Z M, et al. Discussion on domestic standards of rice vermicelli[J]. Cereal and Feed Industry, 2019, 2: 1-4, 7.

[上接第1245页]

著作或编著:[序号] 主要责任者. 文献题名[文献类型标志]. 其他责任者. 版本项(版次为第一版的不用标明). 出版地:出版者,出版年:起页-止页.

举例 图书:[3] 吴阶平,裘法祖,黄家驹. 外科学[M]. 4版. 北京:人民卫生出版社, 1979: 82-93.

译著:[4] ZIEGLER E E, FILER L J. 现代营养学[M]. 闻之梅,陈君石,译. 7版. 北京:人民卫生出版社, 1998: 126-129.

著作中的析出文献:[序号] 析出文献主要责任者. 析出文献题名[文献类型标志]//原文献主要责任者. 原文献题名. 版本项. 出版地:出版者,出版年:析出文献起页-止页.

举例 [5] 白书农. 植物开花研究[M] // 李承森. 植物科学进展. 北京:高等教育出版社, 1998: 146-163.

会议文献中的析出文献:[序号]析出文献主要责任者. 析出文献题名[文献类型标志/文献载体标志]//会议文献主要责任者. 会议文献题名:其他题名信息. 出版地:出版者,出版年:析出文献起页-止页[引用日期]获取和访问路径.

举例 [6] 董家祥,关仲英,王兆奎,等. 重症肝炎的综合基础治疗[C]//张定凤. 第三届全国病毒性肝炎专题学术会议论文汇编,南宁,1984. 北京:人民卫生出版社, 1985: 203-212.

科技报告:著录格式同著作或编著.

举例 [7] World Health Organization. Factors regulating the immune response: report of WHO Scientific Group [R]. Geneva:WHO,1970:1-74.

法令、条例:[序号]主要责任者. 题名[文献类型标志]. 公布日期.

举例 [8] 中华人民共和国全国人民代表大会. 中华人民共和国著作权法[A]. 2012-03-31.

标准:[序号]主要责任者. 标准名称:标准编号[文献类型标志]. 出版地:出版者,出版年.

举例 [9] 全国文献工作标准化技术委员会第七分委员会. 科学技术期刊编排格式:GB / T 3179—1992 [S]. 北京:中国标准出版社,1992.

电子文献:[序号]主要责任者. 题名[文献类型标志 / 文献载体标志]. 出版地:出版者,出版年(更新或修改日期) [引用日期]. 获取和访问路径.

举例 [10] 肖钰. 出版业信息迈入快道 [EB/OL]. (2001-12-19) [2002-04-15]. <http://www.creader.com/news/20011219/200112190019.html>.

专利文献:[序号]专利申请者. 题名:专利国别,专利号[P]. 公告或公开日期.

3 声明

本刊已进入中国所有主要期刊数据库,本刊所付稿酬已包含这些数据库的稿酬。编辑部对来稿将作文字性修改,若涉及内容修改会与作者商榷。编辑部收到稿件后,于3个月内通知处理意见。投稿6个月后如未收到修稿或录用通知,作者可自行处理稿件,所收稿件纸质版概不退还。来稿一经采用,即收取版面费,按规定向作者支付稿酬,并赠送杂志。

4 投稿

投稿请登录《中国食品卫生杂志》网站 <http://www.zgspws.com>,并同时邮寄单位介绍信和稿件纸版1份(需第一作者、通信作者和副高以上作者签名)。来稿中应有清楚完整的作者通信地址、联系电话和E-mail地址。编辑部地址:北京市朝阳区广渠路37号院2号楼802室《中国食品卫生杂志》编辑部 邮政编码:100021 电话:010-52165596 E-mail:spws462@163.com