

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20241012001

# 2021—2023 年南宁市居民主要食品重金属 污染健康风险评估

庞洁\*, 梁善范, 唐琼, 黄艳桃, 黄丽, 张静, 范云燕, 聂伉平

(南宁市疾病预防控制中心, 南宁市食品卫生安全与检测重点实验室, 南宁 530023)

**摘要:** **目的** 调查南宁市居民主要食品重金属砷、镉、铅、汞的污染浓度, 评估食品的砷、镉、铅、汞暴露对当地居民造成的健康风险。**方法** 采集 2021—2023 年的南宁市居民主要食品 7 大类 1076 份监测重金属浓度, 结合本地居民膳食暴露数据, 参照 WS/T 777—2021《化学物质环境健康风险评估技术指南》评估南宁市成年人主要食品重金属暴露的健康风险。**结果** 重金属在 7 类食品中的平均浓度范围: 砷 0.0020~0.0406 mg/kg、镉 0.0015~0.2174mg/kg、铅 0.0020~0.0425 mg/kg、汞 0.0004~0.0312 mg/kg。按浓度平均值计算, 砷日均暴露量贡献率居前 3 位的为大米、蔬菜、水产品; 镉日均暴露贡献率居前 3 位的为大米、水产品、蔬菜; 铅的日均暴露贡献率居前 3 位的为大米、蔬菜、禽畜肉; 汞日均暴露贡献率居前 3 位的为水产品、大米、禽畜肉。风险评估结果显示, 按平均浓度计算, 成年人砷暴露的非致癌风险为男性 1.00、女性 1.00, 致癌风险为男性  $1.93 \times 10^{-4}$ 、女性  $1.92 \times 10^{-4}$ ; 成年人镉暴露的非致癌风险为男性 0.87、女性 0.85, 致癌风险为男性  $1.41 \times 10^{-4}$ 、女性  $1.39 \times 10^{-4}$ ; 成年人铅暴露的非致癌风险为男性 0.23、女性 0.23, 致癌风险为男性  $1.16 \times 10^{-6}$ 、女性  $1.16 \times 10^{-6}$ ; 成年人汞暴露的非致癌风险为男性 0.23、女性 0.24。砷的非致癌风险 HI 等于 1; 镉、砷的累积致癌风险均大于  $1.0 \times 10^{-4}$ , 致癌风险较高; 铅的累积致癌风险为  $1.16 \times 10^{-6}$ 。**结论** 南宁市居民主要食品重金属砷、镉、铅、汞暴露的非致癌风险较低, 砷的非致癌风险已达到阈值、可能有潜在非致癌风险。南宁市居民主要食品重金属砷、镉暴露具有较高致癌风险, 需重点关注; 铅暴露具有一定的致癌风险, 应引起关注。

**关键词:** 食品; 健康风险评估; 重金属; 污染

## Health risk assessment of heavy metal contamination in main food of Nanning City residents during 2021 to 2023

PANG Jie\*, LIANG Shang-Fan, TANG Qiong, HUANG Yan-Tao, HUANG Li,  
ZHANG Jing, FAN Yun-Yan, NIE Kang-Ping

(Nanning Center for Disease Control and Prevention, Nanning Key Laboratory of Food Hygiene Safety and Testing, Nanning 530023, China)

**基金项目:** 广西壮族自治区卫生健康委员会自筹科研项目(Z20200237、GXZYA20220372、Z-A20241130)

**Fund:** Supported by the Health Commission of Guangxi Zhuang Autonomous Region (Z20200237, GXZYA20220372, Z-A20241130)

\***通信作者:** 庞洁, 硕士, 副主任技师, 主要研究方向为食品、水质卫生检测与安全风险评估。E-mail: ada\_pangjie@163.com

\***Corresponding author:** PANG Jie, Master, Associate Chief Technician, Nanning Center for Disease Control and Prevention, No.55, Xiangzhu Road, Xingning District, Nanning 530023, China. E-mail: ada\_pangjie@163.com

**ABSTRACT: Objective** To investigate the contamination of arsenic, cadmium, lead and mercury in main food of Nanning residents, to assess the health risks posed to local residents resulting from arsenic, cadmium, lead and mercury exposure to foods. **Methods** A total of 1076 samples in 7 types of major food of Nanning residents during 2021 to 2023 were collected to monitor the concentration of heavy metals. Combined with the dietary exposure data of local residents, the health risk of heavy metal exposure to major foods of Nanning was assessed by referring to the national health standard WS/T 777—2021 *Technical guidelines for environmental health risk assessment of chemical substances*. **Results** The average concentrations of heavy metals in 7 types of foods were as follows: Arsenic 0.0020–0.0406 mg/kg, cadmium 0.0015–0.2174 mg/kg, lead 0.0020–0.0425 mg/kg and mercury 0.0004–0.0312 mg/kg. Calculated by the average concentration, rice, vegetables and aquatic products were the top 3 in the contribution rate of arsenic. The top 3 contributors to daily average exposure of cadmium were rice, aquatic products and vegetables. The top 3 contributors to daily average exposure of lead were rice, vegetables and meat. The top 3 contributors to daily average exposure of mercury were aquatic products, rice and meat. The results of risk assessment showed that calculated by the average concentration, the non-carcinogenic risk of arsenic exposure was 1.00 for man and 1.00 for woman, with a carcinogenic risk of arsenic exposure was  $1.93 \times 10^{-4}$  for man and  $1.92 \times 10^{-4}$  for woman; the non-carcinogenic risk of cadmium exposure was 0.87 for man and 0.85 for woman, with a carcinogenic risk of cadmium exposure was  $1.41 \times 10^{-4}$  for man and  $1.39 \times 10^{-4}$  for woman; the non-carcinogenic risk of lead exposure was 0.23 for man and 0.23 for woman, with a carcinogenic risk of lead exposure was  $1.16 \times 10^{-6}$  for man and  $1.16 \times 10^{-6}$  for woman; the non-carcinogenic risk of mercury exposure was 0.23 for man and 0.24 for woman. The non-carcinogenic risk of arsenic was equal to 1. The cumulative carcinogenic risk of cadmium and arsenic was greater than  $1.0 \times 10^{-4}$ , and the carcinogenic risk was high. The cumulative carcinogenic risk of lead was  $1.16 \times 10^{-6}$ . **Conclusion** The risk of non-carcinogenic exposure of heavy metals arsenic, cadmium, lead and mercury in the main food of Nanning residents is low. The non-carcinogenic risk of arsenic has reached the threshold and may have a potential non-carcinogenic risk. The carcinogenic risk of arsenic and of cadmium in the heavy metal exposure to the main food of Nanning residents are high, and that requires special attention. Lead exposure has a certain carcinogenic risk and shall be of concern.

**KEY WORDS:** food; health risk assessment; heavy metal; contamination

## 0 引言

砷、镉、铅、汞是环境中常见的 4 种重金属污染物, 通过被污染的食品摄入人体后, 引起人体的不良健康效应。砷是国际癌症研究机构(International Agency for Research on Cancer, IARC)确认的人类 I 类致癌物<sup>[1]</sup>, 高水平砷暴露能够引起皮肤癌及膀胱癌、肾癌、肺癌、肝癌等内脏器官肿瘤, 长期砷暴露引起慢性砷中毒, 主要表现为皮肤损害, 包括色素沉着、色素脱失、皮肤角化过度等<sup>[2-4]</sup>。镉主要危害肾脏、骨骼和呼吸系统, 镉中毒常引起“痛痛病”, 主要表现为以疼痛为主, 骨骼萎缩、变形, 并伴血管损害, 导致组织缺血, 引起多系统损伤<sup>[5-6]</sup>。铅是世界卫生组织(World Health Organization, WHO)确定的毒性极高的环境毒物和神经毒物, 可影响机体几乎所有系统, 包括神经系统、血液系统和内分泌系统等, 铅接触还可以引起贫血、高血压、肾功能损害、免疫毒性以及生殖器官毒性, 特别是对儿童

健康具有严重危害<sup>[7-9]</sup>。汞造成的危害以神经系统、口腔病变为主, 并累及呼吸道、胃肠道、肾脏等, 汞还具有生殖、发育毒性, 可通过胎盘进入胎儿体内, 对胎儿脑部及神经生理心理发育产生不良影响<sup>[10]</sup>。食品是环境影响人体健康的一个重要介质, 有研究表明, 膳食摄入是非职业人群暴露于重金属的最主要途径<sup>[11-12]</sup>。2021 年欧盟施行新的食品重金属(铅和镉)含量限值标准, 对于婴儿食品、香料、葡萄酒和部分水果、蔬菜、谷物以及油籽等食品新增铅、镉最高含量限值, 以应对食品中重金属污染日益严峻的形势<sup>[13]</sup>。2022 年美国食品和药物管理局(Food and Drug Administration, FDA)发布食品安全报告称, 在一些常见的食品中查出砷、镉、汞等多种重金属超标, 而婴幼儿食品是食品污染问题的“重灾区”<sup>[14]</sup>。根据我国近年来的食品监管资讯报道, 各地的食品重金属超标的情况时有发生。因此, 为更好地保护人群健康, 开展食品中重金属污染健康风险评估具有重要意义。

本研究采用 2021—2023 年南宁市居民主要食品的重金属监测数据, 结合本地居民膳食暴露数据, 参照最新 WS/T 777—2021《化学物质环境健康风险评估技术指南》评估南宁市主要食品的重金属暴露的健康风险, 旨在为防控当地食品重金属污染的健康风险提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品来源

以国家《食品污染物和有害因素风险监测工作手册》为指导, 制定《南宁市食品安全风险监测方案》, 综合考虑本地区食品生产和消费等实际情况, 确定采样数量、采样点, 采样范围区域覆盖南宁市辖区(5 县 7 区), 采集样品以本地产销为主, 采样点主要为菜市、农贸市场、超市及批发市场等, 采集 2021—2023 年南宁市市售的大米、蔬菜、水果、禽畜肉、水产类、蛋类、乳类 7 大类 1076 份样品。

### 1.2 仪器与试剂

iCAP Q 电感耦合等离子体质谱仪(美国赛默飞世尔科技公司); DMA-80 直接测汞仪(意大利迈斯通公司); SA-20 原子荧光形态分析仪(北京吉天仪器有限公司); PRP-X100 阴离子交换色谱柱(250mm×4.1mm, 10 μm)(美国汉密尔顿公司); MARS6 微波消解仪、EHD-24 微波消解前处理加热器(美国 CEM 公司); XP5003SDR 千分之一电子分析天平(瑞士梅特勒-托利多仪器公司); 密理博 Milli-Q IQ7005 超纯水系统(德国默克公司)。

多元素标准溶液(编号 GNM-M321686-2013, 100 μg/mL)、多元素内标溶液(编号 GSB 04-2826-2011, 10 μg/mL)、汞标准物质溶液(编号 GSB04-1729-2004, 1000 μg/mL)(国家有色金属及电子材料分析测试中心); 亚砷酸根[As(III)]溶液标准物质[编号 GBW08666, (75.7±1.2) μg/g]、砷酸根[As(V)]溶液标准物质[编号 GBW08667, (17.5±0.4) μg/g](中国计量科学研究院); 硝酸(色谱级, 美国赛默飞世尔公司); 磷酸二氢铵、硼氢化钾、氢氧化钠(优级纯, 国药集团化学试剂有限公司); 实验一级纯水(符合 GB/T 6682—2008《分析实验室用水规格和试验方法》规定)。

### 1.3 重金属检测方法

总砷、镉、铅的检测依据 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》的电感耦合等离子体质谱法, 汞的检测依据 GB 5009.17—2021《食品安全国家标准 食品中总汞及有机汞的测定》直接进样测汞法, 无机砷的检测依据 GB 5009.11—2014《食品安全国家标准 食品中总砷及无机砷的测定》中的液相色谱-原子荧光光谱法。

GB 2762—2022《食品安全国家标准 食品中污染物限量》对大米、水产类制定了无机砷限量标准, 故大米、水

产类直接检测无机砷; 其他食品种类先测定总砷, 当总砷水平超过无机砷限量值时, 再测定无机砷。

## 1.4 健康风险评估方法

健康风险评估方法依据 WS/T 777—2021 风险评估“四步法”, 即危害识别、剂量-反应评估、暴露评估和风险评估。

健康风险评估中 4 种重金属的剂量-反应关系参数来源于 IARC、美国环境保护局综合风险信息系统(Integrated Risk Information System, IRIS)和美国加州环境保护局标准(California Environmental Protection Agency, CALEPA)<sup>[15]</sup>, 见表 1。化学物质经口摄入途径的健康风险评估相关计算公式按照 WS/T 777—2021, 见表 2。暴露评估中采用的成人膳食暴露参数参照《广西居民膳食营养与健康状况报告(2010—2015)》<sup>[16]</sup>中广西城乡居民 18 岁以上人群的参数, 见表 3。

表 1 经口摄入途径的剂量-反应关系参数  
Table 1 Parameters of dose-response relationship through oral ingestion

性质	化学物质	RfD/[mg/(kg·d)]	SF/(kg·d/mg)
致癌化学物	砷(As)	0.0003	1.5
	镉(Cd)	0.001	0.38
	铅(Pb)	0.0014	0.0085
非致癌化学物	汞(Hg)	0.0003	—

注: —为无此项内容; RfD (reference dose)为参考剂量, 用于评估非致癌风险; SF (slope factor)为斜率因子, 用于评估致癌风险。

表 2 化学物质经口摄入途径的健康风险评估计算公式  
Table 2 Calculation formula for health risk assessment of chemicals for oral exposure

反应类型	日均暴露量 ADD 计算公式	风险计算公式	风险加和计算公式
非致癌反应	$ADD=C \times IR \times EF \times ED / (BW \times AT)$	$HQ=ADD/RfD$	$HI=\sum HQ_i$
致癌反应	$ADD=C \times IR \times EF \times ED / (BW \times LT)$	$CR=ADD \times SF$	$CCR=\sum CR_i$

注: ADD (average daily dose)为日均暴露量[mg/(kg·d)]; C 为食品中化学污染物浓度(mg/kg); IR (ingestion rate)为经口摄入量(kg/d); EF 为暴露频率(d/年), 取 365 d/年; ED (exposure duration)为暴露周期(年), 成年人取 30 年<sup>[17]</sup>; BW (body weight)为体重(kg); AT (averaging time)为平均时间(d), 对于非致癌效应为 ED 对应的天数, 对于致癌效应固定为 25550 d, 即 70 年对应的天数; HQ (hazard quotient)为危害商; HI (hazard index)为危害指数; CR (carcinogenic risk)为致癌风险; CCR (cumulative carcinogenic risk)为累积致癌风险。

## 1.5 健康风险判定原则

根据 WS/T 777—2021 规定进行评价。单因子非致癌风险使用 HQ 表征, 多因子非致癌风险使用 HI 表征; 单因子致癌风险使用 CR 表征, 多因子致癌风险使用 CCR 表征。

表 3 食物 IR、体重的参数  
Table 3 Parameters of food IR and weight

食品种类	人群组别	IR/(kg/d)	体重/kg
大米	成年男性	0.2752	61.3
	成年女性	0.2228	53.0
蔬菜	成年男性	0.3054	61.3
	成年女性	0.2873	53.0
水果	成年男性	0.1224	61.3
	成年女性	0.1380	53.0
禽畜肉	成年男性	0.1629	61.3
	成年女性	0.1394	53.0
水产品	成年男性	0.0463	61.3
	成年女性	0.0417	53.0
蛋类	成年男性	0.0136	61.3
	成年女性	0.0135	53.0
乳类	成年男性	0.0101	61.3
	成年女性	0.0132	53.0
合计	成年男性	0.9359	61.3
	成年女性	0.8559	53.0

非致癌风险:  $HQ \leq 1$  或  $HI \leq 1$ , 表示暴露量未超过不良反应的阈值, 非致癌风险较低;  $HQ > 1$  或  $HI > 1$ , 表示暴露量

高于不良反应的阈值, 非致癌风险较高, 宜引起关注。

致癌风险:  $CR$  或  $CCR < 1.0 \times 10^{-6}$ , 致癌风险较低;  $CR$  或  $CCR$  为  $1.0 \times 10^{-6} \sim 1.0 \times 10^{-4}$ , 具有一定致癌风险, 应引起关注;  $CR$  或  $CCR > 1.0 \times 10^{-4}$ , 致癌风险较高, 应引起重点关注。

## 1.6 数据处理

检测结果采用 Excel 2016、SPSS 21.0 软件进行统计分析。若未检出则以检出限的 1/2 计入统计数据<sup>[18]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 食品中化学污染物浓度

2021 至 2023 年共采集南宁市 7 大类 1076 份样品, 样品包括: 大米 256 份、蔬菜 116 份、水果 93 份、禽畜肉类 69 份、水产品 373 份、蛋类 60 份、乳类 111 份。经检测, 食品中重金属污染物的浓度  $C$  见表 4。

### 2.2 日均暴露量的贡献率

日均暴露量按表 2 公式计算, 并以不同食品的日均暴露量除以总暴露量计算不同食品的暴露贡献率见表 5。按平均浓度暴露水平, 砷的日均暴露量贡献率居前 3 位的为大米、蔬菜、水产品, 分别占总膳食暴露量的 58.85%、

表 4 食品中重金属污染物的浓度(mg/kg)  
Table 4 Concentration of heavy metal contaminants in food (mg/kg)

食品种类	砷			镉			铅			汞		
	平均值	P50	P90	平均值	P50	P90	平均值	P50	P90	平均值	P50	P90
大米*	0.0406	0.0200	0.1200	0.1152	0.0782	0.2365	0.0425	0.0105	0.1175	0.0048	0.0033	0.0089
蔬菜	0.0136	0.0071	0.0251	0.0260	0.0149	0.0625	0.0191	0.0107	0.0470	0.0005	0.0003	0.0009
水果	0.0039	0.0020	0.0044	0.0023	0.0015	0.0043	0.0026	0.0020	0.0043	0.0028	0.0024	0.0038
禽畜肉	0.0072	0.0020	0.0167	0.0197	0.0015	0.0410	0.0069	0.0044	0.0151	0.0058	0.0017	0.0180
水产品*	0.0270	0.0200	0.0347	0.2174	0.0044	0.4763	0.0118	0.0020	0.0246	0.0312	0.0160	0.0662
蛋类	0.0140	0.0130	0.0270	0.0015	0.0015	0.0015	0.0020	0.0020	0.0020	0.0034	0.0013	0.0083
乳类	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0015	0.0042	0.0023	0.0020	0.0022	0.0004	0.0003	0.0007
合计	0.1083	0.0661	0.2299	0.2066	0.1006	0.3643	0.0872	0.0336	0.2127	0.0489	0.0253	0.1068

注: \*表示检测的是无机砷浓度, 否则为总砷浓度。

表 5 不同食品中重金属的日均暴露量的贡献率(%)  
Table 5 Contribution rate of average daily dose in different foods (%)

食品种类	砷			镉			铅			汞		
	平均值	P50	P90	平均值	P50	P90	平均值	P50	P90	平均值	P50	P90
大米*	58.85	57.01	70.48	58.12	79.30	55.88	57.95	38.13	61.92	29.95	37.04	25.31
蔬菜	23.57	24.08	17.64	15.68	18.02	17.67	31.25	46.28	29.64	3.53	4.03	3.06
水果	3.03	3.02	1.37	0.61	0.80	0.53	1.87	3.84	1.20	9.18	14.51	5.71
禽畜肉	6.33	3.47	5.97	6.05	0.93	5.89	5.76	9.72	4.83	21.80	11.61	31.13
水产品*	6.96	10.11	3.62	19.45	0.79	19.96	2.87	1.29	2.30	34.26	31.85	33.39
蛋类	1.11	2.03	0.87	0.04	0.08	0.02	0.15	0.40	0.06	1.15	0.80	1.29
乳类	0.14	0.27	0.06	0.05	0.07	0.05	0.15	0.35	0.06	0.12	0.16	0.09
合计	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

注: \*为以非致癌风险的日均暴露量计算贡献率。

23.57%、6.96%; 镉的日均暴露贡献率居前 3 位的为大米、水产品和蔬菜, 分别占总膳食暴露量的 58.12%、19.45%、15.68%; 铅的日均暴露量贡献率居前 3 位的为大米、蔬菜、禽畜肉, 分别占总膳食暴露量的 57.95%、31.25%、5.76%; 汞的日均暴露贡献率居前 3 位的为水产品、大米、禽畜肉, 分别占总膳食暴露量的 34.26%、29.95%、21.80%。

### 2.3 非致癌风险

表征非致癌风险的 HQ、HI 的结果见表 6。

按重金属浓度平均值计算, 单一食品暴露的砷、镉、铅、汞非致癌风险值 HQ 均小于 1, 说明单一食品暴露的非致癌风险不高。但按重金属污染物的浓度 P90 计算的大米砷和镉的 HQ 值大于 1, 提示仍需重点关注大米砷和镉的非致癌风险。根据风险加和原则, 对 7 大类食品的非致癌风险 HQ 加和得到 HI 值, 成年人砷暴露 HI 为男性 1.00、女 1.00, 达到国家卫生标准 WS/T 777—2021《化学物质环境健康风险评估技术指南》推荐的阈值 1, 表示具有潜在的非致癌风险, 应引起关注。

按高端浓度 P90 暴露水平计算, 单一食品暴露的大米砷、镉的非致癌风险值 HQ 均大于 1, 说明大米砷、

镉暴露的非致癌风险较高, 需重点关注大米的砷、镉污染。在 P90 的暴露水平下, 7 大类食品的危害指数 HI 值的结果显示: 成年男性砷暴露的 HI 为 2.50、镉暴露的 HI 为 1.85, 分别达到阈值的 2.50 倍和 1.85 倍, 存在较高的砷、镉非致癌风险。

### 2.4 致癌风险

表征致癌风险的 CR、CCR 的结果见表 7。

按浓度平均值计算的风险评估结果显示: 在单一食品暴露的致癌风险值 CR 中, 只有大米砷 CR 大于  $1.0 \times 10^{-4}$ , 说明大米砷暴露的致癌风险较高, 应引起重点关注。

根据风险加和原则<sup>[13]</sup>, 对所有食品种类的单一污染物作风险加和得到总致癌风险 CCR 值, 成年人砷暴露的致癌风险 CCR 为男性  $1.93 \times 10^{-4}$ 、女性  $1.92 \times 10^{-4}$ ; 成年人镉暴露的致癌风险 CCR 为男性  $1.41 \times 10^{-4}$ 、女性  $1.39 \times 10^{-4}$ ; 成年人铅暴露的致癌风险 CCR 为男性  $1.16 \times 10^{-6}$ 、女性  $1.16 \times 10^{-6}$ 。其中, 镉、砷暴露的 CCR 均大于  $1.0 \times 10^{-4}$ , 表示致癌风险较高, 应重点关注。铅暴露的 CCR 为  $1.16 \times 10^{-6}$ , 表示具有一定的致癌风险。致癌风险从高至低为砷>镉>铅。

表 6 4 种重金属的非致癌风险  
Table 6 Non-carcinogenic risk of 4 kinds of heavy metals

食品类别	人群组别	HQ(砷)			HQ(镉)			HQ(铅)			HQ(汞)		
		平均值	P50	P90	平均值	P50	P90	平均值	P50	P90	平均值	P50	P90
大米	成年男性	0.6070	0.2993	1.7958	0.5172	0.3511	1.0617	0.1362	0.0337	0.3768	0.0724	0.0494	0.1332
	成年女性	0.5684	0.2803	1.6815	0.4843	0.3287	0.9942	0.1275	0.0315	0.3528	0.0678	0.0462	0.1247
蔬菜	成年男性	0.2254	0.1172	0.4168	0.1294	0.0740	0.3114	0.0681	0.0379	0.1673	0.0079	0.0050	0.0149
	成年女性	0.2453	0.1276	0.4535	0.1408	0.0805	0.3389	0.0741	0.0412	0.1820	0.0086	0.0054	0.0163
水果	成年男性	0.0263	0.0133	0.0293	0.0046	0.0030	0.0085	0.0037	0.0029	0.0062	0.0186	0.0163	0.0253
	成年女性	0.0342	0.0174	0.0382	0.0060	0.0039	0.0111	0.0048	0.0037	0.0080	0.0243	0.0212	0.0330
禽畜肉	成年男性	0.0636	0.0177	0.1479	0.0524	0.0040	0.1088	0.0132	0.0084	0.0286	0.0513	0.0151	0.1594
	成年女性	0.0629	0.0175	0.1464	0.0519	0.0039	0.1077	0.0130	0.0083	0.0283	0.0507	0.0149	0.1578
水产品	成年男性	0.0681	0.0504	0.0874	0.1642	0.0033	0.3598	0.0064	0.0011	0.0133	0.0785	0.0403	0.1667
	成年女性	0.0709	0.0525	0.0911	0.1710	0.0035	0.3747	0.0067	0.0011	0.0138	0.0818	0.0420	0.1736
蛋类	成年男性	0.0104	0.0096	0.0200	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0025	0.0010	0.0061
	成年女性	0.0119	0.0110	0.0229	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0029	0.0011	0.0070
乳类	成年男性	0.0011	0.0011	0.0011	0.0003	0.0002	0.0007	0.0003	0.0002	0.0003	0.0002	0.0002	0.0004
	成年女性	0.0017	0.0017	0.0017	0.0005	0.0004	0.0010	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0002	0.0006
HI	成年男性	1.00	0.51	2.50	0.87	0.44	1.85	0.23	0.08	0.59	0.23	0.13	0.51
	成年女性	1.00	0.51	2.44	0.85	0.42	1.83	0.23	0.09	0.59	0.24	0.13	0.51

表 7 4 种重金属的 CR 与 CCR  
Table 7 CR and CCR of 4 kinds of heavy metals

食品类别	人群组别	CR(砷)			CR(镉)			CR(铅)		
		平均值	P50	P90	平均值	P50	P90	平均值	P50	P90
大米	成年男性	1.17×10 <sup>-4</sup>	5.77×10 <sup>-5</sup>	3.46×10 <sup>-4</sup>	8.42×10 <sup>-5</sup>	5.72×10 <sup>-5</sup>	1.53×10 <sup>-4</sup>	1.56×10 <sup>-6</sup>	1.72×10 <sup>-7</sup>	1.92×10 <sup>-6</sup>
	成年女性	1.10×10 <sup>-4</sup>	5.40×10 <sup>-5</sup>	3.24×10 <sup>-4</sup>	7.89×10 <sup>-5</sup>	7.04×10 <sup>-5</sup>	1.72×10 <sup>-4</sup>	1.75×10 <sup>-6</sup>	1.61×10 <sup>-7</sup>	1.80×10 <sup>-6</sup>
蔬菜	成年男性	4.35×10 <sup>-5</sup>	2.26×10 <sup>-5</sup>	8.03×10 <sup>-5</sup>	2.11×10 <sup>-5</sup>	1.02×10 <sup>-5</sup>	7.60×10 <sup>-5</sup>	3.32×10 <sup>-7</sup>	1.93×10 <sup>-7</sup>	8.53×10 <sup>-7</sup>
	成年女性	4.73×10 <sup>-5</sup>	2.46×10 <sup>-5</sup>	8.75×10 <sup>-5</sup>	2.29×10 <sup>-5</sup>	1.31×10 <sup>-5</sup>	9.78×10 <sup>-5</sup>	4.30×10 <sup>-7</sup>	2.10×10 <sup>-7</sup>	9.28×10 <sup>-7</sup>
水果	成年男性	5.06×10 <sup>-6</sup>	2.57×10 <sup>-6</sup>	5.65×10 <sup>-6</sup>	7.44×10 <sup>-7</sup>	4.88×10 <sup>-7</sup>	1.39×10 <sup>-6</sup>	1.88×10 <sup>-8</sup>	1.45×10 <sup>-8</sup>	3.14×10 <sup>-8</sup>
	成年女性	6.60×10 <sup>-6</sup>	3.35×10 <sup>-6</sup>	5.737×10 <sup>-6</sup>	9.70×10 <sup>-7</sup>	6.36×10 <sup>-7</sup>	1.81×10 <sup>-6</sup>	2.45×10 <sup>-8</sup>	1.89×10 <sup>-8</sup>	4.09×10 <sup>-8</sup>
禽畜肉	成年男性	1.23×10 <sup>-5</sup>	3.42×10 <sup>-6</sup>	2.85×10 <sup>-5</sup>	8.54×10 <sup>-6</sup>	6.49×10 <sup>-7</sup>	1.77×10 <sup>-5</sup>	6.72×10 <sup>-8</sup>	4.26×10 <sup>-8</sup>	1.46×10 <sup>-7</sup>
	成年女性	1.21×10 <sup>-5</sup>	3.38×10 <sup>-6</sup>	2.82×10 <sup>-5</sup>	8.45×10 <sup>-6</sup>	6.43×10 <sup>-7</sup>	1.75×10 <sup>-5</sup>	6.65×10 <sup>-8</sup>	4.22×10 <sup>-8</sup>	1.44×10 <sup>-7</sup>
水产品	成年男性	1.31×10 <sup>-5</sup>	9.71×10 <sup>-6</sup>	1.69×10 <sup>-5</sup>	2.67×10 <sup>-5</sup>	5.41×10 <sup>-7</sup>	5.86×10 <sup>-5</sup>	3.26×10 <sup>-8</sup>	5.50×10 <sup>-9</sup>	6.77×10 <sup>-8</sup>
	成年女性	1.37×10 <sup>-5</sup>	1.01×10 <sup>-5</sup>	1.76×10 <sup>-5</sup>	2.79×10 <sup>-5</sup>	5.64×10 <sup>-7</sup>	6.10×10 <sup>-5</sup>	3.39×10 <sup>-8</sup>	5.73×10 <sup>-9</sup>	7.05×10 <sup>-8</sup>
蛋类	成年男性	2.00×10 <sup>-6</sup>	1.85×10 <sup>-6</sup>	3.85×10 <sup>-6</sup>	5.42×10 <sup>-8</sup>	5.42×10 <sup>-8</sup>	5.42×10 <sup>-8</sup>	1.62×10 <sup>-9</sup>	1.62×10 <sup>-9</sup>	1.62×10 <sup>-9</sup>
	成年女性	2.29×10 <sup>-6</sup>	2.13×10 <sup>-6</sup>	4.42×10 <sup>-6</sup>	6.22×10 <sup>-8</sup>	6.22×10 <sup>-8</sup>	6.22×10 <sup>-8</sup>	1.86×10 <sup>-9</sup>	1.86×10 <sup>-9</sup>	1.86×10 <sup>-9</sup>
乳类	成年男性	2.12×10 <sup>-7</sup>	2.12×10 <sup>-7</sup>	2.12×10 <sup>-7</sup>	5.42×10 <sup>-8</sup>	4.02×10 <sup>-8</sup>	1.13×10 <sup>-7</sup>	1.37×10 <sup>-9</sup>	1.20×10 <sup>-9</sup>	1.34×10 <sup>-9</sup>
	成年女性	3.20×10 <sup>-7</sup>	3.20×10 <sup>-7</sup>	3.20×10 <sup>-7</sup>	8.19×10 <sup>-8</sup>	6.08×10 <sup>-8</sup>	1.71×10 <sup>-7</sup>	2.07×10 <sup>-9</sup>	1.81×10 <sup>-9</sup>	2.02×10 <sup>-9</sup>
CCR	成年男性	1.93×10 <sup>-4</sup>	9.81×10 <sup>-5</sup>	4.81×10 <sup>-4</sup>	1.41×10 <sup>-4</sup>	7.10×10 <sup>-5</sup>	3.02×10 <sup>-4</sup>	1.16×10 <sup>-6</sup>	4.30×10 <sup>-7</sup>	3.02×10 <sup>-6</sup>
	成年女性	1.92×10 <sup>-4</sup>	9.79×10 <sup>-5</sup>	4.70×10 <sup>-4</sup>	1.39×10 <sup>-4</sup>	6.86×10 <sup>-5</sup>	2.98×10 <sup>-4</sup>	1.16×10 <sup>-6</sup>	4.42×10 <sup>-7</sup>	2.99×10 <sup>-6</sup>

### 3 讨论与结论

本研究对重金属污染水平的调查结果显示, 重金属在 7 类主要食品中的平均浓度范围: 砷 0.0020~0.0406 mg/kg、镉 0.0015~0.2174 mg/kg、铅 0.0020~0.0425 mg/kg、汞 0.0004~0.0312 mg/kg。砷含量均值最高为大米 0.0406 mg/kg、其次水产品 0.0270 mg/kg; 镉含量均值最高为水产品 0.2174 mg/kg、其次大米 0.1152 mg/kg; 铅含量均值最高为大米 0.0425 mg/kg、其次蔬菜 0.0191 mg/kg; 汞的含量均值最高为水产品 0.0312 mg/kg。南宁市居民主要食品中重金属污染的特点是: 大米、水产品的砷、镉污染最为突出, 水产品的汞污染较高。与陕西、河南、重庆<sup>[19-21]</sup>等地调查结果的同类数据相比, 砷、镉、铅、汞的污染水平特点不同, 与武汉市水产品的砷、汞污染水平相当<sup>[22]</sup>。提示南宁市食品风险防控的重点在于大米的砷、镉和水产品的砷、镉、汞。

本研究对单一食物的暴露贡献率进行分析, 结果显示, 膳食砷暴露量贡献率居前 3 位的食品是大米、蔬菜类和水产类, 与广西的调查结果基本一致<sup>[23-24]</sup>; 与其他地区的调查结果类似<sup>[25-26]</sup>。膳食镉暴露量贡献率居前 3 位的食品是大米、水产品类及蔬菜类, 与欧嵩凤等<sup>[27]</sup>的调查结果一致, 与蒋玉艳等<sup>[28]</sup>、黄建萍等<sup>[29]</sup>的调查结果略有排序差别。提示必须严格监控这些食品中的砷、镉含量, 才能有

效降低膳食砷、镉暴露的风险。

本研究的风险评估结果显示, 按居民主要食品的平均浓度暴露水平, 砷、镉、铅、汞的非致癌风险 HI 值和砷、镉、铅致癌风险 CCR 值处于正常或相当的水平, 与相关有同类数据的研究比较, 镉、铅非致癌风险高于北京、铅非致癌风险稍低于北京<sup>[30]</sup>, 与安徽六安市砷、镉、铅的致癌风险水平相当<sup>[31]</sup>, 与兰州地区的调查结果“砷膳食暴露的非致癌风险 HQ>1, 铬和砷暴露的致癌风险均超过 10<sup>-4</sup>, 可能存在致癌风险<sup>[12]</sup>”相似。且在本次调查评估中, 发现南宁市居民主要食品的砷、镉的致癌风险超出国家卫生标准推荐的限值, 铅的致癌风险尚在可接受范围; 砷的非致癌风险达到限值 1.0。提示南宁市居民主要食品中镉、砷污染的问题突出, 经食物摄入的镉、砷存在较高致癌风险, 经食物摄入砷可能存在非致癌风险。应加强食品监管, 采取措施降低食品中镉、砷污染。

本次健康风险评估是应用新国标 WS/T 777—2021 的评估方法对食品暴露的重金属健康风险的新探讨, 讨论的食品种类较广泛, 较全面地评估了砷、镉、铅、汞 4 种常见重金属的健康风险, 包括非致癌风险和致癌风险。本评估存在一定的局限性和不确定性: 首先, 评估所用的食品品种仅为居民的主要食品种类, 未包含食品的全部种类, 并且畜禽肉类、蛋类样品量较小, 数据代表性存在局限性, 影响居民总体膳食暴露量及健康风险评估结果的准确性;

其次, 本次评估中采用的人群膳食暴露参数的食物摄入量、体重参考 2010—2015 年广西居民膳食营养与健康状况调查的研究结果, 居民饮食习惯及消费结构可能发生改变, 影响数据的时效性和精确性; 第三, 毒理学参数参考国际癌症研究机构、美国环保局的数据, 未考虑到人种和国情的差异, 结果存在不确定因素。第四, 暴露环境的不确定性, 评估对象所处环境的改变, 可能带来暴露浓度随时间变化, 从而影响评估结果的准确性; 第五, 统计模型本身的局限性带来的不确定性。

## 参考文献

- [1] IARC. A review of human carcinogens: Arsenic, metals, fibres, and dusts (monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans) [M]. Lyon: International Agency for Research on Cancer, 2012.
- [2] 郑飞, 郭欣, 郭博洋, 等. 重金属污染评估及其生物健康效应[J]. 中国科学: 生命科学, 2021, 51(9): 1264–1273.  
ZHENG F, GUO X, GUO BY, *et al.* Risk assessments and health impacts of heavy metal pollution [J]. *Sci China (Series C)*, 2021, 51(9): 1264–1273.
- [3] 冉茂霞, 吴迪, 史永富, 等. 砷在水生生物中的生物累积、转化及在其他生物体内的代谢毒理学研究进展[J]. 环境化学, 2024, 43(4): 1069–1084.  
RAN MX, WU D, SHI YF, *et al.* Research progress on arsenic's bioaccumulation and biotransformation in aquatic organisms, and its metabolism and toxicology in other organisms [J]. *Environ Chem*, 2024, 43(4): 1069–1084.
- [4] YUAN Y, MARSHALL G, FERRECCIO C, *et al.* Kidney cancer mortality fifty-year latency patterns related to arsenic exposure [J]. *Epidemiology*, 2010, 21(1): 103–108.
- [5] SHEN K, XIYU C, NI Z, *et al.* Cadmium contamination of rice from various polluted areas of China and its potential risks to human health [J]. *Environ Monit Assess*, 2015, 187(7): 1–11.
- [6] 安红敏, 郑伟, 高扬. 镉的健康危害及干预治疗研究进展[J]. 环境与健康杂志, 2007, 24(9): 739–742.  
AN HM, ZHENG W, GAO Y. Research progress in cadmium toxicity [J]. *J Environ Health*, 2007, 24(9): 739–742.
- [7] WHO. Media centre: Lead poisoning and health—facts sheet [Z]. 2016. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs379/en/>
- [8] 陈晨, 顾媛媛, 李惠子, 等. 铅的神经毒性研究进展[J]. 西南国防医药, 2021, 31(3): 260–262.  
CHEN C, GU YY, LI HZ, *et al.* Research progress on neurotoxicity of lead-induced neurotoxicity [J]. *Med J Nat Defending Forces Southwest China*, 2021, 31(3): 260–262
- [9] 朱元州, 赵慧, 甘泉, 等. 成人铅中毒[J]. 巴楚医学, 2023, 6(4): 14–28.  
ZHU YZ, ZHAO H, GAN Q, *et al.* Lead poisoning in adults [J]. *Bachu Med J*, 2023, 6(4): 14–28.
- [10] 周旭航, 张刚. 膳食中汞的摄入及其健康风险评估[C]//中国环境科学学会. 中国环境科学学会 2021 年科学技术年会论文集(三), 2021.  
ZHOU XH, ZHANG G. Intake and health risk assessment of mercury in dietary [C]//Chinese Society for Environmental Sciences. Proceedings of the 2021 Science and Technology Annual Meeting of the Chinese Society of Environmental Sciences (III), 2021.
- [11] MERGLER D, ANDERSON HA, CHANLH M, *et al.* Methylmercury exposure and health effects in humans: A worldwide concern [J]. *Ambio*, 2007, 36(1): 3–11.
- [12] 牛兆澄. 基于食品重金属赋存水平的人群膳食暴露及健康风险评估[D]. 兰州: 兰州大学, 2022.  
NIU ZC. Dietary exposure and health risk assessment of population based on the level of heavy metal occurrence in food [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2022
- [13] Official Journal of the European Union. L 288/13: Commission regulation (EU) 2021/1323 of 10 August 2021 amending regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of cadmium in certain Foodstuffs [EB/OL]. [2021-08-11]. <http://www.efsa.europa.eu/efsa/en/efsajournal/doc/5811/5811.pdf> [2023-04-19].
- [14] 王瑶. 美国食品和药物管理局报告: 婴幼儿食品成重金属超标“重灾区”[Z]. 2022.  
WANG Y. US Food and Drug Administration report: Baby food as heavy metals exceed the standard “disaster areas” [Z]. 2022.
- [15] 王兰化, 李明明, 张鸢, 等. 华北地区某蔬菜基地土壤重金属污染特征及健康风险评估[J]. 地球学报, 2014, 35(2): 191–196.  
WANG LH, LI MM, ZHANG Y, *et al.* Pollution characteristics and health risk assessment of heavy metals in soil of a vegetable base in north China [J]. *Acta Geosci Sin*, 2014, 35(2): 191–196.
- [16] 唐振柱. 广西居民膳食营养与健康状况报告(2010—2015) [M]. 南宁: 广西科学技术出版社, 2016.  
TANG ZZ. Report on dietary nutrition and health status of residents in Guangxi Province (2010—2015) [M]. Nanning: Guangxi Science and Technology Press, 2016.
- [17] 杜艳君, 莫杨, 李滔滔. 环境健康风险评估方法第四讲暴露评估(续三)[J]. 环境与健康杂志, 2015, 32(6): 556–559.  
DU YJ, MO Y, LI TT. Environmental health risk assessment methods, lecture 4: Exposure assessment [J]. *J Environ Health*, 2015, 32(6): 556–559.
- [18] 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]. 中国预防医学杂志, 2002, 36(4): 278–279.  
WANG XQ, WU YN, CHEN JS. Low level data processing issues in food contamination monitoring [J]. *Chin J Prev Med*, 2002, 36(4): 278–279.
- [19] 聂晓玲, 程国霞, 王敏娟, 等. 2014 年陕西省市售食品中重金属污染调查及评价[J]. 中国食品卫生杂志, 2016, 28(2): 240–243.  
NIE XL, CHENG GX, WANG MJ, *et al.* Survey and evaluation of heavy metal contamination in foods in Shaanxi Province in 2014 [J]. *Chin J Food Hyg*, 2016, 28(2): 240–243.
- [20] 付鹏钰, 李杉, 杨丽, 等. 2015 年河南省常见食品中重金属污染调查分析[J]. 华南预防医学, 2018, 44(4): 395–397.  
FU PY, LI S, YANG L, *et al.* Investigation and analysis of heavy metal pollution in common foods in Henan Province in 2015 [J]. *South China J Prev Med*, 2018, 44(4): 395–397
- [21] 吴艾琳, 罗书全, 赵怡楠, 等. 基于污染指数法对重庆市市售食品中重金属污染调查及评价[J]. 中国食品卫生杂志, 2021, 33(2): 175–180.  
WU AIL, LUO SQ, ZHAO YN, *et al.* Survey and evaluation of heavy metal pollution of food in Chongqing by contamination index method [J]. *Chin J Food Hyg*, 2021, 33(2): 175–180.

- [22] 程良宇, 殷娇娇. 武汉市 14 种市售淡水鱼类中砷和汞的污染特征及膳食暴露风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(17): 108–114.  
CHENG LY, YIN JJ. Pollution characteristics and dietary exposure risk assessment of arsenic and mercury in 14 kinds of freshwater fish sold in Wuhan [J]. *J Food Saf Qual*, 2024, 15(17): 108–114.
- [23] 蒋玉艳, 蒙浩洋, 陈晖, 等. 广西主要食品中砷污染及居民膳食暴露风险评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2017, 29(6): 745–749.  
JIANG YY, MENG HY, CHEN H, *et al.* Risk assessment on the dietary exposure of arsenic in Guangxi residents [J]. *Chin J Food Hyg*, 2017, 29(6): 745–749.
- [24] 庞洁, 梁善范, 唐琼, 等. 南宁市居民主要食品砷暴露健康风险评估[J]. 实验室检测, 2023(1): 44–49.  
PANG J, LIANG SF, TANG Q, *et al.* Health risks assessment of arsenic exposure in main foods of residents in Nanning City [J]. *Lab Test*, 2023(1): 44–49.
- [25] 袁文婷, 刘宇, 程国霞, 等. 陕西主要食品中砷污染及居民膳食暴露风险评估[J]. 现代预防医学, 2021, 48(1): 55–58.  
YUAN WT, LIU Y, CHENG GX, *et al.* Arsenic contamination in main foods and risk assessment of residents' dietary exposure in Shaanxi Province [J]. *Mod Prev Med*, 2021, 48(1): 55–58.
- [26] 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 [J]. *Chin J Food Hyg*, 2018, 30(6): 645–649.
- [27] 欧嵩凤, 范云燕, 唐琼, 等. 南宁市膳食镉污染现状及健康风险评估[J]. 职业与健康, 2021, 37(09): 1193–1196.  
OU SF, FANG YY, TANG Q, *et al.* Cadmium contamination in foods and health risk assessment in Nanning City [J]. *Occupat Health*, 2021, 37(9): 1193–1196.
- [28] 蒋玉艳, 马宁, 蒙浩洋, 等. 广西居民重金属镉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 YY, MA N, MENG HY, *et al.* Risk assessment on the dietary exposure of cadmium in Guangxi residents [J]. *Chin J Food Hyg*, 2021, 33(2): 191–195.
- [29] 黄建萍, 陶艳芳, 陈秀斌, 等. 2019—2021 年杭州市居民主要膳食的镉暴露风险评估[J]. 现代预防医学, 2022, 49(18): 3316–3319.  
HUANG JP, TAO YF, CHEN XB, *et al.* Risk assessment of cadmium exposure in the main diets of Hangzhou residents from 2019 to 2021 [J]. *Mod Prev Med*, 2022, 49(18): 3316–3319.
- [30] 魏军晓. 北京市售食品重金属含量特征与健康风险评估[D]. 北京: 中国地质大学, 2019.  
WEI JX. Characteristics of heavy metal content and health risk assessment in food sold in Beijing [D] Beijing: China University of Geosciences, 2019.
- [31] 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.  
YANG Y. Exposure and risk assessment of heavy metals lead, cadmium, mercury, and arsenic in major dietary foods in Lu'an City from 2013 to 2016 [D]. Hefei: Anhui Medical University, 2019.

(责任编辑: 韩晓红 蔡世佳)

## 作者简介



庞洁, 硕士, 副主任技师, 主要研究方向为食品、水质卫生检测与安全风险评估。  
E-mail: ada\_pangjie@163.com