

## 调查研究

## 南宁市大米中镉污染现状及膳食暴露研究

范云燕, 欧嵩凤, 张海霞, 陆日贵, 吕忠其, 韦燕燕, 张静

(南宁市疾病预防控制中心, 广西南宁 530023)

**摘要:**目的 了解广西壮族自治区南宁市大米中镉(Cd)含量水平, 评估其对当地居民造成的潜在健康风险。方法 2015—2019年采集南宁市市售大米样品886份, 采用电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法对大米中Cd含量进行测定, 运用美国环境保护署(US EPA)推荐的健康风险评估模型对当地居民因食用大米而暴露于Cd的健康风险进行评估。结果 886份大米中Cd检出率为94.92%(841/886), 超标率为19.19%(170/886), 含量范围为1.50~915.00  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 平均值和中位数分别为126.85和79.00  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。18岁及以上人群大米中Cd膳食月暴露量为12.43~23.95  $\mu\text{g}/\text{kg BW}$ , 目标危害系数(THQ) $<1$ ; 6~17岁人群为15.42~29.80  $\mu\text{g}/\text{kg BW}$ , THQ在0.62~1.19之间, 6~17岁人群膳食Cd月暴露量高于18岁及以上人群, 其中马山县、上林县和隆安县6~17岁人群THQ值均 $>1$ 。结论 南宁市大米中Cd存在一定的污染, Cd含量偏高, 对6~17岁人群可能存在一定的健康风险, 应加强监测, 控制污染。

**关键词:**大米; 镉; 污染; 膳食暴露; 健康风险评估

中图分类号: R155 文献标识码: A 文章编号: 1004-8456(2020)03-0276-04

DOI: 10.13590/j.cjfh.2020.03.011

### Cadmium contamination and dietary exposure assessment in rice in Nanning City

FAN Yunyan, OU Songfeng, ZHANG Haixia, LU Rigui, LYU Zhongqi, WEI Yanyan, ZHANG Jing  
(Nanning Center For Disease Control and Prevention, Guangxi Nanning 530023, China)

**Abstract: Objective** To understand the content of cadmium (Cd) in rice and evaluate the potential health risk to local residents. **Methods** Total of 886 rice samples were collected from Nanning City during 2015-2019, and the content of Cd in rice was determined by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS). The health risk assessment model recommended by the United States Environmental Protection Agency was used to assess the health risk of local residents. **Results** The detection rate of Cd in 886 rice samples was 94.92% (841/886), and the violation rate was 19.19% (170/886). The content of Cd range from 1.50 to 915.00  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , of which mean and median were 126.85 and 79.00  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , respectively. The dietary Cd exposure of people aged 6-17 was higher than that of people aged 18 and above. The dietary exposure to Cd was 12.43-23.95  $\mu\text{g}/\text{kg BW}$  for people aged 18 and above, and the target hazard quotient (THQ) was below 1; however, the dietary exposure of Cd was 15.42-29.80  $\mu\text{g}/\text{kg BW}$  for people aged 6-17, with THQ between 0.62 and 1.19. In Mashan, Shanglin and Longan, the THQ of people aged 6-17 was greater than 1. **Conclusion** There was a certain contamination of Cd in rice in this city, and might pose potential health risks to the people aged 6-17. Therefore, it is necessary to strengthen the monitoring and control of the contamination.

**Key words:** Rice; cadmium; contamination; dietary exposure; health risk assessment

镉(cadmium, Cd)是自然中广泛存在的一种对人体有害的重金属元素, 被世界卫生组织列为 I 类致癌物质<sup>[1]</sup>, 进入人体后常蓄积于人体肝脏与肾脏等部位, 损坏肝脏和肾脏器官中酶系统的正常功能, 此外, 还影响机体钙、磷和小分子蛋白质的吸收

利用, 导致人体骨骼生长代谢受阻, 引发骨骼的各种病变<sup>[2]</sup>, 其致畸、致癌作用已在动物试验中得到证实。水稻富集 Cd 的能力较强, 因此, 大米成为居民膳食中 Cd 摄入的主要来源<sup>[3]</sup>。大米中 Cd 含量调查显示, 各地均有不同程度的超标情况<sup>[4-6]</sup>。2010年, 联合国粮农组织和世界卫生组织食品添加剂联合专家委员会(JECFA)在第73次会议上将每周耐受摄入量(PTWI)改为暂定每月耐受摄入量(PTMI), 并降低为25  $\mu\text{g}/\text{kg BW}$ <sup>[7]</sup>, 以此作为人体Cd摄入量的安全评价依据。大米是广西壮族自治区居民最主要的膳食组成, 因此监测该地区大米中

收稿日期: 2020-03-25

基金项目: 广西壮族自治区卫生健康委员会自筹科研项目  
(Z20190095)

作者简介: 范云燕 女 副主任技师 研究方向为食品化学污染物  
检测分析与风险评估 E-mail: jiandan162@163.com

Cd 的含量,对降低居民 Cd 暴露具有重要的意义。本研究根据 2015—2019 年南宁市大米中 Cd 含量监测数据,运用美国环境保护署(USEPA)推荐的健康风险评估模型对不同组别人群暴露于大米 Cd 的健康风险进行评估,旨在了解南宁市大米中 Cd 污染现状,评估居民大米膳食来源 Cd 暴露的健康风险,为确定重点监测的大米范围、加强市场监管提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 样品来源

按照《国家食品污染和有害因素风险监测工作手册》<sup>[8]</sup>中规定的采样技术要求采集样品。在 2015—2019 年共采集南宁市大米样品 886 份,监测样品主要采集自南宁市的农户、农贸市场、批发市场、超市和生产企业等,采样范围覆盖市区(包含 7 个城区)和周边 5 个县区。

#### 1.1.2 主要仪器与试剂

iCAP Q 电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)仪(德国 Thermoc),微波消解仪器。Cd 国家标准溶液(180002,100 μg/mL,国家有色金属及电子材料分析测试中心),硝酸为优级纯。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 大米中 Cd 检测方法 & 限量标准

Cd 的检测方法参照《国家食品污染和有害因素风险监测工作手册》食品中铅、镉、汞、砷、锰、铝、铬、镍、铜、钒、锡测定的电感耦合等离子体质谱法标准操作程序<sup>[8]</sup>,方法检出限(LOD)为 3 μg/kg,定量限(LOQ)为 9 μg/kg。参照 GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》<sup>[9]</sup>,我国大米中 Cd 含量限值为 0.2 mg/kg。

#### 1.2.2 大米中 Cd 暴露风险评估方法

采用 USEPA 发布的化学污染物暴露风险评估模型<sup>[10]</sup>,采用月暴露量(EMI)与 Cd 的 PTMI 进行比较,对人群暴露于 Cd 的健康风险进行评估,人群体重及大米日均消费量参考《广西居民膳食营养与健康状况报告(2010—2015)》<sup>[11]</sup>。将人群按照年龄、性别分为 4 组,分别为 6~17 岁男、女组和 18 岁及以上男、女组。居民 Cd 日均暴露量(ADD)和 EMI 分别按公式计算<sup>[2]</sup>:

$$ADD = \frac{C \times IR \times ED \times EF}{BW \times AT}$$

$$EMI = 30 \times ADD$$

其中 ADD 为日均暴露量,μg/kg BW;C 为大米中 Cd 含量,μg/kg;IR 为大米日均消费量,kg/d;ED 为暴

露时间,年;EF 为暴露频率,按 365 d 计;AT 为平均暴露时间,d;BW 为平均体重,kg;EMI 为估计的每月暴露量,μg/kg BW。各类人群体重参考《广西居民膳食营养与健康状况报告(2010—2015)》<sup>[10]</sup>,6~17 岁男性和女性体重分别为 37.2、35.5 kg,18 岁及以上男性和女性体重分别为 61.3、53.0 kg。

用目标危害系数(THQ)评估食用受污染大米引起的单一重金属健康风险,以 EMI 与 PTMI 的比值表示,THQ<1 表示 Cd 对居民健康风险可以接受,THQ≥1 表示 Cd 对居民存在一定的潜在健康风险。

### 1.3 统计学分析

检测结果应用 Excel 和 SPSS 21.0 软件进行处理,在少于 60% 的检测值为未检出时,将未检出值用 1/2LOD 值进行替换<sup>[12]</sup>。计数资料采用百分率表示,对计量资料进行 *t* 检验,以 *P*<0.05 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 大米中 Cd 含量检测结果

本研究共检测了 886 份大米中的 Cd 含量,检出率为 94.92% (841/886),总超标率为 19.19% (170/886),Cd 含量范围为 1.50~915.00 μg/kg,平均值为 126.85 μg/kg,中位数为 79.00 μg/kg。南宁市市区及 5 个县区大米中 Cd 的检出率均高于 90.00%,其中上林县大米中 Cd 含量平均值最高,为 177.83 μg/kg,南宁市市区大米 Cd 含量平均值最低,为 98.56 μg/kg。各地区大米中 Cd 含量均有不同程度的超标,马山县和上林县的大米中 Cd 超标率均高于 30.00%,超标率最低的为南宁市市区,为 12.39%,见表 1。

### 2.2 不同组别人群大米中 Cd 膳食暴露健康风险

根据《广西居民膳食营养与健康状况报告(2010—2015)》<sup>[11]</sup>中提供的不同年龄及性别组人群的每日大米膳食消费量和体重参数,结合本研究中 5 个县区及市区市售大米中 Cd 平均含量,可计算南宁市居民 Cd 的 EMI 及 THQ 值,见表 2。结果表明南宁市人群 Cd 的 EMI 值范围为 12.43~29.80 μg/kg BW;其中,18 岁及以上人群为 12.43~23.95 μg/kg BW,THQ 在 0.50~0.96 之间均<1,表明该类人群食用大米暴露于 Cd 所造成的健康风险处于可接受范围内;6~17 岁人群 Cd 的 EMI 值为 15.42~29.80 μg/kg BW,THQ 在 0.62~1.19 之间,其中马山县、上林县和隆安县 6~17 岁人群 Cd 的 EMI 值超过 JECFA 规定的 25.0 μg/kg BW,THQ 值均>1,略超出可接受范围。南宁市 6~17 岁人群经食用大米暴露于 Cd 的健康风险高于 18 岁及以上人群,差

表1 南宁市大米中Cd含量及超标情况

Table 1 Cadmium content and violation rate in rice in Nanning City

地区	样品份数	检出份数 (检出率/%)	超标份数 (超标率/%)	Cd含量/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )		
				含量范围	平均值	中位数
马山县	92	83 (90.22)	29 (31.52)	1.50~645.00	161.92	80.95
上林县	79	76 (96.20)	25 (31.65)	1.50~799.00	177.83	114.00
隆安县	70	67 (95.71)	18 (25.71)	1.50~737.00	168.73	123.00
横县	107	107 (100.00)	22 (20.56)	7.94~666.00	140.93	107.00
宾阳县	86	86 (100.00)	20 (23.26)	8.00~425.00	139.54	123.00
市区	452	422 (93.36)	56 (12.39)	1.50~915.00	98.56	61.00
合计	886	841 (94.92)	170 (19.19)	1.50~915.00	126.85	79.00

表2 南宁市不同地区人群膳食中Cd暴露的健康风险

Table 2 Health risk of dietary Cd exposure in different counties and districts of Nanning City

地区	性别	大米中Cd含量 平均值/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	大米日均消费量 /( $\text{kg}/\text{d}$ )	EMI /( $\mu\text{g}/\text{kg BW}$ )	THQ
马山县	6~17岁-男性	161.92	0.2078	27.13	1.09
	6~17岁-女性		0.1851	25.33	1.01
	18岁及以上-男性		0.2752	21.81	0.87
	18岁及以上-女性		0.2228	20.42	0.82
上林县	6~17岁-男性	177.83	0.2078	29.80	1.19
	6~17岁-女性		0.1851	27.82	1.11
	18岁及以上-男性		0.2752	23.95	0.96
	18岁及以上-女性		0.2228	22.43	0.90
隆安县	6~17岁-男性	168.73	0.2078	28.28	1.13
	6~17岁-女性		0.1851	26.39	1.06
	18岁及以上-男性		0.2752	22.72	0.91
	18岁及以上-女性		0.2228	21.28	0.85
横县	6~17岁-男性	140.93	0.2078	23.62	0.94
	6~17岁-女性		0.1851	22.04	0.88
	18岁及以上-男性		0.2752	18.98	0.76
	18岁及以上-女性		0.2228	17.77	0.71
宾阳县	6~17岁-男性	139.54	0.2078	23.38	0.94
	6~17岁-女性		0.1851	21.83	0.87
	18岁及以上-男性		0.2752	18.79	0.75
	18岁及以上-女性		0.2228	17.60	0.70
市区	6~17岁-男性	98.56	0.2078	16.52	0.66
	6~17岁-女性		0.1851	15.42	0.62
	18岁及以上-男性		0.2752	13.27	0.53
	18岁及以上-女性		0.2228	12.43	0.50

异有统计学意义( $t=2.803, P<0.05$ )。

### 3 讨论

Cd主要蓄积于人体的肾脏和肝脏,其在人体内的生物半衰期可长达10~35年,期间不断向血液中释放,从而产生持续毒性和累积危害效应,对人体造成危害<sup>[13]</sup>。在中国,居民膳食中Cd暴露最主要来源是谷物和蔬菜<sup>[14]</sup>。本研究大米中Cd检出率为94.92%,平均含量为126.85  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,低于桂林市大米中Cd含量(146  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )<sup>[15]</sup>;总超标率高达19.19%,按地区分类发现,除了市区大米外,其他地区大米中Cd超标率均超过20.00%,其中马山县和上林县大米中Cd超标率分别为31.52%(29/92)和31.65%(25/79);虽然本研究大米中Cd超标率低于广西河池大厂矿区(100%)<sup>[16]</sup>,但与邻近地区柳州市(9.09%)<sup>[17]</sup>、赣南地区(8.7%)<sup>[18]</sup>、广东省

(0.0%)<sup>[19]</sup>以及中国其他部分地区(10.0%)<sup>[20]</sup>比较,仍偏高。广西壮族自治区素有“有色金属之乡”的美誉,其土壤重金属Cd的超标率大于75%<sup>[21]</sup>,南宁市城郊土壤Cd污染较为突出<sup>[22]</sup>,再加上南方地区长期使用酸性肥料加重土壤酸化<sup>[23]</sup>,造成Cd环境本底过高;水稻根系发达,对Cd有较强的富集作用,大米与土壤样品Cd含量存在正相关关系<sup>[24]</sup>,南宁市大米中Cd检出率及超标率均处于较高水平,可能与土壤中Cd含量、周边工业生产污染以及农药、化肥的大量使用有关。

本研究中南宁市各县(区)食用大米Cd的EMI值为12.43~29.80  $\mu\text{g}/\text{kg BW}$ ,占PTMI的49.7%~119.2%,不同年龄人群、不同地区存在一定差异。其中,各个地区6~17岁人群THQ值均高于18岁及以上人群,部分县区6~17岁人群Cd的EMI值已超过JECFA推荐的PTMI(25  $\mu\text{g}/\text{kg BW}$ ),如马山

县、上林县、隆安县的 EMI 值占 PTMI 的 101.3%~119.2%,高于柳州市<sup>[17]</sup>、广东省<sup>[19]</sup>和贵州省<sup>[25]</sup>等地区。大米作为南方居民的主要膳食组成,提供每日膳食总能量的 70%,南宁市成年人一般消费情况下源于大米的 Cd 膳食暴露风险在可接受范围内;但 6~17 岁低龄人群 Cd 暴露风险高于成年人,特别是部分县区大米中 Cd 暴露量已超过 PTMI。6~17 岁人群正处于生长发育阶段,各组织器官发育尚未成熟,该阶段人群更易受 Cd 的毒性影响,具有潜在风险,因此,对低龄人群的膳食结构进行干预,在日常膳食中优先选择其他谷类主食,避免长期过量消费 Cd 含量高的大米是降低其暴露风险最直接的方法。然而,要从源头解决 Cd 污染问题,还需制订防治 Cd 污染的有效政策,多部门协同治理土壤污染,加紧培育 Cd 低富集的新品种大米;同时,持续开展食品安全风险监测工作,防止污染食品在市场流通,加强人群膳食干预与指导是降低居民暴露风险的重要举措。

本研究采用 US EPA 推荐的健康风险评估方法对居民大米膳食中 Cd 暴露风险进行评估,基本描述了南宁市居民大米中 Cd 暴露的总体状况,但仍存在以下两点不足:(1)由于缺乏 6 岁以下人群体重、大米消费量的数据,评估范围存在局限性;(2)实际消费人群的膳食结构复杂多样(如小麦、蔬菜等也是 Cd 膳食暴露风险的主要贡献者),但本研究仅以大米作为唯一暴露途径与来源,因此可能低估了膳食中 Cd 暴露的风险。

## 参考文献

- [1] LACATUSU R, CORNELIU R, STELIAN C, et al. Soil-plant-man relationships in heavy metal polluted areas in Romania[J]. *Applied Geochemistry*, 1996, 11(1): 105-107.
- [2] KE S, CHENG X Y, ZHANG N, et al. Cadmium contamination of rice from various polluted areas of China and its potential risks to human health[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2015, 187(7): 408.
- [3] 世界卫生组织. 食源性疾病暴发: 调查和控制指南[M]. 周祖木, 仝振东, 译. 北京: 人民卫生出版社, 2009.
- [4] LEI M, TIE B Q, SONG Z G, et al. Heavy metal pollution and potential health risk assessment of white rice around mine areas in Hunan Province, China[J]. *Food Security*, 2015, 7(1): 45-54.
- [5] 朱炳泉. 世界大米镉含量和超标情况[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2015, 34(6): 1089.
- [6] 蔡文华, 胡曙光, 许秀敏. 2012—2014 年广东省大米中铅镉的暴露风险评估[J]. *食品与机械*, 2015, 31(4): 47-50.
- [7] FAO/WHO. Evaluation of certain food additives and contaminants (seventy-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives) [R]. WHO Technical Report Series, 2011.
- [8] 国家食品安全风险评估中心. 国家食品污染和有害因素风险监测工作手册[Z]. 2015—2019.
- [9] 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]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [10] USEPA. Risk assessment guidance for superfund volume i: human health evaluation manual (part A) EPA/540/1-89/002 [R]. Washington, D. C.: Office of Emergency and Remedial Response, U. S. Environmental Protection Agency, 1989.
- [11] 唐振柱, 方志峰. 广西居民膳食营养与健康状况报告(2010—2015)[M]. 南宁: 广西人民出版社, 2018: 198-221.
- [12] WHO. Second workshop on reliable evaluation of low-level contamination of food. Report on a workshop in the frame of GEMS/Food-EURO [R]. Kulmbach Germany: WHO regional office for Europe, GEMS/Food-EURO, 1995.
- [13] 梁辉, 刘志婷, 周少君, 等. 广东省居民贝类水产品中镉暴露的风险评估[J]. *中国食品卫生杂志*, 2017, 29(4): 492-495.
- [14] 林祥田, 罗贤标, 冀慧玲. 连云港市食品和生活饮用水中镉的调查结果及其风险评估[J]. *中国食品卫生杂志*, 2016, 28(3): 389-391.
- [15] 秦友燕, 何柳莹, 蔡江帆, 等. 2012 年某地区种植大米重金属污染状况 [J]. *中国卫生检验杂志*, 2014, 24(13): 1939-1940.
- [16] 张丽娥. 广西大厂矿区下游某村水体-土壤-农作物重金属污染及健康风险评估[D]. 南宁: 广西医科大学, 2015.
- [17] 覃芸, 冯莲, 冯看, 等. 2016—2017 年柳州市市售大米镉污染状况及其健康风险评估[J]. *职业与健康*, 2018, 34(22): 3068-3070.
- [18] 刘贤标, 李枝明, 黄赤忠, 等. 2014—2016 年赣南地区大米中铅、镉的污染状况调查[J]. *食品安全导刊*, 2017(24): 106-108.
- [19] 焦泽鹏, 李焕勇. 广东省市售大米中镉的污染水平及其健康风险评估[J]. *食品与发酵科技*, 2017, 53(4): 104-108.
- [20] 甄燕红, 成颜君, 潘根兴, 等. 中国部分市售大米中 Cd、Zn、Se 的含量及其食品安全评价[J]. *安全与环境学报*, 2008, 8(1): 119-122.
- [21] 唐豆豆, 袁旭音, 汪宜敏, 等. 地质高背景农田土壤中水稻对重金属的富集特征及风险预测[J]. *农业环境科学学报*, 2018, 37(1): 18-26.
- [22] 钟雪梅, 夏德尚, 宋波, 等. 广西土壤镉含量状况与风险评估研究进展[J]. *自然资源学报*, 2017, 32(7): 1256-1270.
- [23] 毛雪飞, 汤晓艳, 王艳, 等. 从“镉大米”事件谈我国种植业产品重金属污染的来源与防控对策[J]. *农产品质量与安全*, 2013(4): 57-59, 73.
- [24] SINGH A, SHARMA R K, ACRAWAL M, et al. Health risk assessment of heavy metals via dietary intake of food stuffs from the wastewater irrigated site of a dry tropical area of India[J]. *Food Chem Toxicol*, 2010, 48(2): 611-619.
- [25] KONG X Y, LIU T, YU Z H, et al. Heavy metal bioaccumulation in rice from a high geological background area in Guizhou Province, China[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, 15(10): e2281.