

## 2012—2020 年陕西省食品中镉污染状况及健康风险评估

刘宇<sup>1</sup> 王彩霞<sup>1</sup> 袁文婷<sup>1</sup> 程国霞<sup>1</sup> 赵迪<sup>1</sup> 聂晓玲<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 陕西省疾病预防控制中心,西安 710054

**摘要:**目的 了解陕西省主要食品类别中镉的污染状况,并对膳食暴露量及其健康风险进行评估。**方法** 利用 2012—2020 年陕西省 16 类食品中镉含量的数据,采用国标限量值评估镉污染程度,结合居民膳食消费量计算镉膳食暴露量、采用安全限值法(margin of safety, MOS)以及美国环保局推荐的健康风险评估模型评价镉引起的健康风险。**结果** 食品中镉含量均值为 0.0317 mg/kg,检出率为 54.10%,超标率为 1.07%;陕西省居民每月平均经食品摄入镉的量为 12.334  $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$ ,占暂定每月允许摄入量的 49.34%。膳食中镉的主要来源为谷物和蔬菜(占 64.93%)。居民膳食镉的 MOS>1,镉的个人平均致癌年风险为  $3.34\times 10^{-5}/\text{年}$ ,小于国际辐射防护委员会推荐的最大可接受年风险水平。**结论** 陕西省食品存在一定程度的镉污染,居民通过食品摄入镉的暴露量基本处于可接受水平。

**关键词:**食品 镉 污染现状 膳食暴露 健康风险

**中图分类号:**R155.5 TS207.5

**文献标志码:**A

**DOI:**10.19813/j.cnki.weishengyanjiu.2022.02.022

## Contamination status and health risk assessment on the dietary exposure of cadmium in foods of Shaanxi Province from 2012 to 2020

Liu Yu<sup>1</sup>, Wang Caixia<sup>1</sup>, Yuan Wenting<sup>1</sup>, Cheng Guoxia<sup>1</sup>, Zhao Di<sup>1</sup>, Nie Xiaoling<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Center for Disease Control and Prevention of Shaanxi Province, Xi'an 710054, China

**ABSTRACT: OBJECTIVE** To investigate contamination status of cadmium in foods, and to assess the health risk of dietary cadmium exposure among residents of Shaanxi Province. **METHODS** Based on the concentration data of cadmium in 2012–2020 of 16 kinds of food and food consumption data from Shaanxi, national standard were used to evaluate the degree of pollution, and dietary exposure to cadmium was calculated based on dietary consumption of residents. Besides, the margins of safety (MOS) and United States environmental protection agency (USEPA) health risk assessment model were used to evaluate the health risk. **RESULTS** The average content of foods was 0.0317 mg/kg, while the total detection rate was 54.10% and violation rate was 1.07%. The average monthly exposed level of cadmium of Shaanxi Province residents was 12.334  $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$ , accounted for 49.34% of provisional tolerable monthly intake (PTMI). The main sources of dietary cadmium were cereals and vegetables, which covering 64.93% of total. The value of MOS>1 and the individual health risk of lead was  $3.34\times 10^{-5}/\text{year}$ , which lower than the standard of international commission on radiation

基金项目:陕西省社会发展科技攻关项目(No. 2016SF-292)

作者简介:刘宇,女,硕士,主管检验师,研究方向:水质、食品、化妆品等中元素的检测,E-mail:lyliuyu2011@163.com

通信作者:聂晓玲,女,硕士,副主任技师,研究方向:理化检验技术,E-mail:38756667@qq.com

protection (ICRP). **CONCLUSION** There is certain degree cadmium pollution in foods in Shaanxi Province. The probability of health risk cadmium via dietary intake is at the acceptable level.

**KEY WORDS:** food, cadmium, pollution status, dietary exposure, health risk assessment

镉是一种人体非必需元素,广泛分布在自然界,具有高毒性、难降解、蓄积性强的特点,潜伏期长达10~30年<sup>[1-2]</sup>。人体可通过食品、水、空气等途径接触镉<sup>[3]</sup>,其中膳食摄入是非职业人群镉暴露的主要途径<sup>[4-5]</sup>,镉通过食物链在人体中蓄积,进而引起一定的中毒症状。镉中毒主要表现在对人体的肾脏、肝、呼吸系统、消化系统、骨骼和免疫系统造成一系列的损伤,同时具有致畸、致突变、致癌作用<sup>[6-7]</sup>,1993年镉被国际癌症研究协会修订为A级致癌物,即人体致癌物。近年来,有研究报道,人群镉暴露与高血压、糖尿病有一定的关联性<sup>[8-9]</sup>。

陕西省土壤受到重金属镉污染程度较高<sup>[10]</sup>,结合镉污染具有累积性、食物链传递性和不易降解性的特点<sup>[3]</sup>,这有可能造成陕西农作物受到一定程度的镉污染。本研究利用2012—2020年陕西省16类共计7911份食品中镉含量数据,结合第五次中国总膳食研究中陕西地区食品消费量数据,计算陕西居民膳食中各类食品中镉暴露量,同时应用安全限值法(margin of safety, MOS)和美国环保署(United States Environmental Protection Agency, USEPA)化学致癌物风险模型评价人体摄入镉引起的健康风险,旨在了解陕西省主要食品镉污染现状,评估居民膳食镉暴露的危险程度,为风险预警交流提供科学依据,为居民合理膳食提供一定的指导意见。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品

2012—2020年,在陕西省10个地市采用随机抽样的方法,选择具有代表性和典型性的采样地点(包括超市、农贸市场、路边摊位和网络购买)采集当地消费量大的食物样品,包括谷物及其制品、豆类及其制品、蔬菜、水果及其制品、肉类及其制品、水产动物及其制品、乳及其制品、调味品、酒类、坚果及籽类、茶叶、蛋及蛋制品、食用菌、特殊膳食用食品、焙烤食品、膨化食品16种食品类别,共计7911份。

### 1.2 仪器和试剂

ICE-3500原子吸收光谱仪、X-II电感耦合等

离子质谱仪(美国,Thermo Fisher);Mars6微波消解仪(美国,CEM);Milli-Q超纯水制备系统(美国,Millipore);镉标准物质GBW(E)080119(100 μg/mL,中国计量科学研究院);硝酸(优级纯, Merk)。

### 1.3 分析方法与质量控制

采用GB/T 5009.15—2003<sup>[11]</sup>和GB 5009.15—2014<sup>[12]</sup>中镉的石墨炉原子吸收光谱法以及GB 5009.268—2016<sup>[13]</sup>中镉的电感耦合等离子体质谱法测定,检出限均为0.0001 mg/kg。

测定样品时采用空白试验、平行双样、质控样品测定等进行内部质量控制。超标样品均进行复检,依据GB 2762—2017《食品中污染物限量》<sup>[14]</sup>进行食品中镉超标情况的判定。

### 1.4 食物消费量数据

食物消费量数据参考第五次中国总膳食研究陕西省食品样品品种及消费量<sup>[15]</sup>,食物消费量数据采用3天24小时膳食回顾法和3天入户称量调查结合的方法进行收集。

### 1.5 统计学分析

根据低水平数据的处理,参照世界卫生组织(World Health Organization, WHO)处理原则:当未检出数据占比>60%时,未检出数据用检出限(limit of detection, LOD)代替;占比≤60%时,用1/2 LOD代替<sup>[16]</sup>。数据的统计使用SPSS 25.0软件进行数据的统计分析。

### 1.6 膳食暴露量及贡献率计算

单位体重每月经口途径的镉暴露量计算公式如下:

$$EXP = \frac{C_i \times DC \times f \times 30}{BW}$$

式中,EXP为镉经口途径的单位体重每月暴露量[μg/(kg·BW)], $C_i$ 为第*i*种食品中镉含量(mg/kg),取含量均值计算为EXP;DC为对应的食品标准人每日平均消费量(g/d),BW为体重(kg),以标准人体重60 kg计<sup>[17]</sup>。 $f$ 为加工因子,本研究未考虑食物加工过程中镉含量的变化,取 $f=1$ 。

某类食品的膳食贡献率计算公式:某类食品贡献率=(某类食品中镉暴露量)/(各类食品镉

暴露量之和)×100%。

## 1.7 健康风险评估

**1.7.1** MOS 采用联合国粮食与农业组织和世界卫生组织食品添加剂联合专家委员会(Joint Expert Committee on Food Additives, JECFA) 2010 年第 73 次会议制定的食品中镉的暂定每月可耐受摄入量(provisional tolerable monthly intake, PTMI)  $25\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$  进行膳食暴露评估<sup>[17]</sup>。MOS 计算公式为:  $\text{MOS} = \text{PTMI}/\text{EXP}$ ,  $\text{MOS} \geq 1$  表示镉对居民健康风险可以接受,  $\text{MOS} < 1$  表示镉对居民健康风险较高。

**1.7.2** 化学致癌物风险模型 2017 年, 世界卫生组织国际癌症研究机构公布的致癌物将镉及镉化合物列为一类致癌物。采用 USEPA 暴露剂量-反应外推模型进行人体健康风险评估, 致癌危险度除以人均寿命, 表示人群在一年之中患癌症的概率, 即年均超额风险度。对于人群来说, 年均超额风险度具有重要的指导意义。化学致癌物风险模型:

$$R^c = \frac{1 - \exp(-D_{\text{ig}} q_{\text{ig}})}{N}$$

$$D_{\text{ig}} = \frac{\text{EXP}}{30 \times 1000}$$

式中,  $R^c$  为化学致癌物经食入途径产生的个人平均致癌年风险(/年);  $D_{\text{ig}}$  为化学致癌物经食入途径的单位体重日均暴露剂量 [ $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ ];  $q_{\text{ig}}$  为镉的致癌强度系数, 为  $6.1(\text{kg}\cdot\text{d})/\text{mg}$ ;  $N$  为人均寿命, 国家统计局第六次全国人口普查结果显示, 我国人口平均寿命为 74.83 岁。

## 2 结果

### 2.1 陕西省各类食品中镉污染状况

从表 1 可见, 陕西省大部分食品中镉的含量处于安全水平。陕西省各类食品镉含量水平差异很大, 其中镉平均含量较高的食品种类有茶叶、坚果及籽类、食用菌、肉类及其制品; 陕西省不同食品中镉检出率高的食品种类有茶叶、焙烤食品、谷物及其制品、膨化食品、豆类及其制品等。

以 GB 2762—2017 为限量标准评价食品中镉的污染情况, 在有镉限量标准的食品类别中, 除豆类、调味品、坚果、蛋类及食用菌外, 其余食品种类均有不同程度的超标, 其中超标率最高的有特殊膳食用食品、蔬菜。

表 1 2012—2020 年陕西省食品中镉污染状况

食品类别	样本量	平均值/ (mg/kg)	P50/ (mg/kg)	P90/ (mg/kg)	P95/ (mg/kg)	最大值/ (mg/kg)	检出率/ %	超标率/ %
谷物及其制品	1304	0.0214	0.0130	0.0550	0.0790	0.400	73.93	0.84
豆类及其制品	200	0.0222	0.0080	0.0490	0.0771	0.880	66.00	0.00
蔬菜	1639	0.0158	0.0030	0.0457	0.0780	0.410	57.84	2.07
水果及其制品	668	0.0025	$0.500 \times 10^{-4}$	0.0060	0.0110	0.108	25.90	0.45
肉类及其制品	852	0.0344	0.0015	0.1100	0.1800	0.940	52.58	1.06
水产动物及其制品	668	0.0232	$0.500 \times 10^{-4}$	0.0360	0.1080	4.450	47.60	0.15
乳及其制品	515	0.0034	$0.500 \times 10^{-4}$	0.0087	0.0160	0.223	27.18	—
调味品	54	0.0293	0.0055	0.0712	0.2070	0.245	57.41	0.00
酒类	66	0.0029	$0.500 \times 10^{-4}$	0.0098	0.0200	0.041	34.85	—
坚果及籽类	344	0.0570	0.0227	0.1630	0.2450	0.479	65.99	0.00
茶叶	282	0.2040	0.0530	0.3190	0.4460	14.600	83.33	—
蛋类	274	0.0035	$0.500 \times 10^{-4}$	0.0120	0.0210	0.049	32.48	0.00
食用菌	338	0.0502	0.0090	0.1300	0.2140	1.200	64.20	0.00
特殊膳食用食品	491	0.0089	$0.500 \times 10^{-4}$	0.0300	0.0520	0.160	35.03	3.05
焙烤食品	120	0.0138	0.0094	0.0335	0.0485	0.115	82.50	—
膨化食品	96	0.0145	0.0086	0.0499	0.0526	0.151	66.67	—
合计	7911	0.0317	0.0020	0.0706	0.1160	14.600	54.10	1.07

注:—:无限量标准

### 2.2 膳食暴露量及主要膳食来源

由于食用菌缺乏消费量; 特殊膳食用食品属于特定人群使用, 相对消费人群少, 缺乏消费量数据, 故此次暴露量评估不计入这两类食品。调味品、坚果及籽类、茶叶、烘焙食品、膨化食品由于缺

乏陕西省本省消费量数据, 本文选择邻近省份、全国或者相近食物类别的消费量作为参考来计算其膳食暴露量, 结果见表 2。陕西省居民主要膳食镉每月平均总暴露量为  $12.3\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$ , 占 PTMI 的 49.34%。

表 2 2012—2020 年陕西省不同食品类别镉平均膳食暴露量及健康风险评估 (标准人)

食品类别	平均消费量/ (g/d)	EXP/[ $\mu\text{g}/$ ( $\text{kg}\cdot\text{BW}$ )]	贡献率/ %	安全限值	个人年均致癌 风险/年
谷物及其制品	443.33	4.74	38.47	5.27	$1.29\times 10^{-5}$
豆类及其制品	83.32	0.96	7.50	27.00	$2.51\times 10^{-6}$
蔬菜 <sup>(1)</sup>	413.04	3.26	26.46	7.66	$8.86\times 10^{-6}$
水果及其制品	21.75	0.03	0.22	938.00	$7.23\times 10^{-8}$
肉类及其制品	59.74	1.03	8.33	24.30	$2.80\times 10^{-6}$
水产动物及其制品	8.23	0.10	0.77	262.00	$2.59\times 10^{-7}$
乳及其制品	48.56	0.08	0.67	304.00	$2.24\times 10^{-7}$
调味品	87.10 <sup>[18]</sup>	1.28	10.35	19.60	$3.48\times 10^{-6}$
酒类	1.94	<0.01	0.02	8796.00	$7.72\times 10^{-9}$
坚果及籽类	4.90 <sup>[19]</sup>	0.14	1.13	179.00	$3.80\times 10^{-7}$
茶叶	5.00 <sup>[20]</sup>	0.51	4.14	49.00	$1.39\times 10^{-6}$
蛋类	30.12	0.05	0.42	481.00	$1.41\times 10^{-7}$
焙烤食品	13.40 <sup>[19]</sup>	0.09	0.75	270.00	$2.51\times 10^{-7}$
膨化食品	13.40 <sup>[19]</sup>	0.10	0.79	257.00	$2.64\times 10^{-7}$
合计	1233.83	12.30	100.00	2.03	$3.34\times 10^{-5}$

注:(1)蔬菜消费量包含薯类消费量;EXP:单位体重每月暴露量

由于谷类食品消费量最高,镉的暴露量在所有食品类别中最高,其均值暴露量占均值总暴露量的 38.47%。陕西省居民膳食中镉主要来源是谷类和蔬菜类,两者贡献率之和为 64.93%。此外肉类、豆类、调味品也有一定的贡献率。

### 2.3 健康危害风险评价

由表 2 可见, MOS 值为 2.03, 表明陕西省主要膳食摄入的镉对人体健康的风险是可以接受的。

镉的个人平均致癌年风险为  $3.34\times 10^{-5}$ /年, 均低于国际辐射防护委员会 (international commission on radiation protection, ICRP) 推荐的最大可接受年风险水平  $5.00\times 10^{-5}$ /年和 USEPA 致癌风险评价指南推荐的风险水平  $1.00\times 10^{-4}$ /年, 表明陕西省居民通过日常膳食摄入的镉基本上处于可接受水平。

### 3 讨论

本文对 2012—2020 年陕西省市售 16 类食品中镉含量进行了统计分析, 各类食品中镉的平均含量为 0.0317 mg/kg, 超标率为 1.07%, 低于 2012—2017 年江西省<sup>[2]</sup>、2013—2018 年山东省<sup>[16]</sup>报道的食品中镉的平均含量和超标率, 略高于河南省 2013—2014 年 7668 份食品中镉平均含量 (0.02 mg/kg) 和总超标率 (0.70%)<sup>[19]</sup>, 远低于北京市密云区食品中镉的含量<sup>[21]</sup>, 整体来看, 陕西省食品中镉污染总体情况相对较轻。但某些食品类别如特殊膳食食品中的婴幼儿辅助食品、蔬菜超标率较高, 分别为 3.05%、2.07%, 尤其是

婴幼儿谷类辅助食品中镉的污染更应该引起关注, 其超标率占特殊膳食食用食品的 11.81%; 叶类蔬菜中镉含量均值和检出率最高, 分别为 0.0299 mg/kg, 70.65%, 其次是茎类蔬菜和鳞茎类蔬菜, 含量均值分别为 0.0191 和 0.0157 mg/kg, 鳞茎类蔬菜超标率最高, 为 7.11%, 远高于其余 8 类蔬菜, 说明此类蔬菜镉污染严重, 应引起关注, 这与国内其他地区如广西省售蔬菜中镉的污染状况<sup>[3]</sup>基本一致; 考虑其镉污染可能与土壤、空气等环境污染, 以及原材料及加工环节被污染有关, 同时婴幼儿辅助食品受众群体为幼儿、且蔬菜作为日常摄入食品, 消费量大, 建议相关部门加强监管, 有效控制镉的污染; 此外, 茶叶中镉的最大值为 14.6 mg/kg, 远高于其他食品类别中镉的含量, 但因缺少评价标准, 本文未能给出茶叶中镉的超标率, 因此建议相关部门尽早制定茶叶国家卫生安全标准中镉的限量标准, 以保障茶叶食品安全。

膳食暴露风险评估显示, 陕西省全人群每月膳食中镉平均暴露量为 12.3  $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$ , 占 PTMI 的 49.34%, 与河南省居民镉暴露量<sup>[19]</sup>接近, 低于江苏省暴露量占比 (84%)<sup>[2]</sup>; 同时应用 MOS 和 USEPA 风险模型进行评价, MOS>1, 陕西居民膳食摄入镉的个人平均致癌年风险为  $3.34\times 10^{-5}$ /年, 均低于 ICRP 和 USEPA 致癌风险评价指南推荐值, 表明陕西省居民通过日常膳食摄入的镉基本上处于安全水平。

第五次中国总膳食研究中指出, 膳食镉暴露的食物主要来源是谷物和蔬菜, 总贡献率达到 83.4%<sup>[15]</sup>。本文研究结果显示, 陕西省居民膳食

镉暴露的主要来源也是谷物和蔬菜,两类食品的贡献率低于全国水平,占到了 64.93%,其次是调味品、肉类和豆类。

本研究仍存在一定的不确定性。第一,本文评估时采用标准人(60 kg)进行分析,未考虑到个体年龄、体重、性别差异以及人群消费模式等因素,因此暴露量数据可能存在一定的偏倚;第二,本研究评估了大部分食品类别,但仍未包含所有食品(如特殊膳食用食品、食用菌等),部分食品类别消费量参照全国、邻近省份或者相近类别食品,且某些食品类别数量较少(如酒类),同时未考虑食品加工对于镉含量的影响,对评估结果造成一定不确定度。第三,本研究仅考虑经膳食摄入的镉暴露量,未将饮用水、空气、土壤等其他摄入途径纳入评估范围。第四,本研究只参照了标准人消费量进行评估,缺乏高食物消费人群 P90、P95 消费量数据,因此评估数据存在一定的局限性。今后应完善食品安全风险监测数据,扩大检测范围,同时开展本地居民膳食调查,丰富消费量数据,为更科学、更精准地进行本地居民膳食风险评估提供依据。

## 参考文献

- [ 1 ] JULIN B, WOLK A, THOMAS L D, et al. Exposure to cadmium from food and risk of cardiovascular disease in men: a population-based prospective cohort study [J]. *Eu J Epidemiol*, 2013, 28 ( 10 ): 837-840.
- [ 2 ] 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.
- [ 3 ] 覃艳淑,唐文,周芳华,等. 2018年广西省售蔬菜镉污染现状及其暴露评估[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10( 12 ): 3952-3956.
- [ 4 ] 林程程,王桂安,黄琼,等.非职业人群膳食镉暴露评估研究进展[J]. *中国食品卫生杂志*, 2014, 26 ( 6 ): 624-627.
- [ 5 ] 高彭,陈东宛,吕金昌,等.北京市顺义区居民膳食镉暴露风险评估[J]. *现代预防医学*, 2016, 43 ( 19 ): 3505-3508.
- [ 6 ] 张维蔚,侯建荣,余超,等.广州市居民膳食镉含量监测及暴露评估[J]. *职业与健康*, 2017, 33( 4 ): 477-480.
- [ 7 ] 任韧,龚立科,王姝婷,等.杭州产大米中重金属污

染状况调查及暴露风险评估[J]. *中国卫生检验杂志*, 2020, 30( 12 ): 1516-1519.

- [ 8 ] 张斯蒙,田沛茹,辛芳冉,等.镉暴露与高血压发病风险相关性的 Meta 分析[J]. *中国循证医学杂志*, 2018, 18( 10 ): 1062-1069.
- [ 9 ] XIAO L L, ZHOU Y, MA J X, et al. Roles of C-reactive protein on the association between urinary cadmium and type 2 diabetes [J]. *Environ Pollut*, 2019, 255( 2 ): 113341.
- [ 10 ] 郑晶利,孟昭伟,雷佩玉,等. 2015年陕西省农村土壤铅和镉含量调查[J]. *环境与健康杂志*, 2019, 36 ( 2 ): 169-170.
- [ 11 ] 国家标准化管理委员会,卫生部.食品中镉的测定:GB/T 5009.15—2003 [S].北京:中国标准出版社,2004.
- [ 12 ] 国家卫生和计划生育委员会.食品中镉的测定:GB/T 5009.15—2014 [S].北京:中国标准出版社,2015.
- [ 13 ] 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 食品中多元素的测定:GB 5009.268—2016 [S].北京:中国标准出版社,2017.
- [ 14 ] 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.
- [ 15 ] 吴永宁,赵云峰,李敬光.第五次中国总膳食研究[M].北京:科学出版社,2018:262-263.
- [ 16 ] 肖培瑞,李素云,李明,等. 2013—2018年山东省食品镉污染状况调查与分析[J]. *现代预防医学*, 2020, 47( 5 ): 824-826.
- [ 17 ] 王彩霞,郭蓉,程国霞,等.陕西省谷物中重金属污染状况及健康风险评估[J]. *卫生研究*, 2016, 45 ( 1 ): 35-38.
- [ 18 ] 李筱薇.中国总膳食研究应用于膳食元素暴露评估[D].北京:中国疾病预防控制中心,2012:40.
- [ 19 ] 李杉,杨丽,袁蒲,等.河南省居民膳食中铅、镉暴露水平评估[J]. *中国健康教育*, 2016, 32( 9 ): 791-794.
- [ 20 ] 李艳霞,李含芬,赵磊,等.消费者日常茶叶饮用习惯对健康的影响[J]. *农学学报*, 2017, 7( 2 ): 91-95.
- [ 21 ] 冯月明,郑德生,李建超,等.北京市密云区居民膳食镉暴露量风险评估[J]. *食品安全质量检测学报*, 2017, 8( 1 ): 355-359.

收稿日期:2021-02-05