

北京市密云区居民膳食镉暴露风险评估

冯月明*, 郑德生, 李建超, 张 杰, 李春和

(北京市密云区疾病预防控制中心, 北京 101500)

摘要: **目的** 了解北京市密云区 7 类食品中的镉污染状况, 对居民膳食镉暴露的健康风险进行初步评估。**方法** 2014~2015 年, 在辖区内农贸市场、超市和食品店随机抽取 7 类, 共 368 份样品, 用石墨炉原子吸收光谱法检测镉含量, 按照 GB 2762-2012 进行评价; 并结合密云区居民膳食消费量数据和 FAO/WHO 食物添加剂联合专家委员会(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA) 2010 年制定的镉暂定每月可耐受摄入量 0.025 mg/kg·BW 对密云区居民进行初步的膳食镉暴露评估。**结果** 7 类食品样品中镉的总检出率为 61.4%, 其中动物内脏的镉检出率及含量最高, 分别为 100%和 0.05152 mg/kg。密云区居民每月膳食镉总暴露量为 0.002204 mg/kg·BW, 未超过暂定每月可耐受摄入量 0.025 mg/kg·BW, 主要来源为蔬菜(55.3%)、大米(20.8%)、动物内脏(14.4%)和蛋及蛋制品(6.4%)。**结论** 北京市密云区居民主要消费的 7 类食品受到的重金属镉污染在安全范围内, 膳食中镉暴露水平低于暂定可耐受摄入量, 通过膳食摄入的镉对人体不造成健康风险。

关键词: 镉; 食品污染; 风险评估; 监测

Risk assessment of residents' dietary exposure of cadmium in Miyun district of Beijing

FENG Yue-Ming*, ZHENG De-Sheng, LI Jian-Chao, ZHANG Jie, LI Chun-He

(Miyun District Center for Diseases Control and Prevention, Beijing 101500, China)

ABSTRACT: Objective To understand the status of cadmium contamination in 7 kinds of foods in Miyun district of Beijing, and to assess the exposure risk of dietary cadmium of residents in Miyun district. **Methods** A total of 368 samples were extracted from farmers markets, supermarkets and food stores in Miyun district from 2014 to 2015. The cadmium content in food were determined by graphite furnace atomic absorption method and assessed by GB 2762-2012. According to the dietary consumption data of residents in Miyun district and the tolerable monthly intake which was 0.025 mg/kg·BW set by Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) in 2010, preliminary assessment of dietary cadmium exposure of residents in Miyun district was conducted. **Results** The total detection rate of cadmium in 7 kinds of food samples was 61.4%, and the detection rate and the content of cadmium in animal viscera were the highest, which were 100% and 0.05152 mg/kg, respectively. The total dietary cadmium exposure in Miyun area was 0.002204 mg/kg·BW, which did not exceed the tolerable monthly intake of 0.025 mg/kg·BW. The main sources of cadmium were vegetables (55.3%), rice (20.8%), animal offal (14.4%) and egg and egg products (6.4%). **Conclusion** The overall level of cadmium contamination in 7 kinds of food in Miyun district was safe. The dietary exposure of cadmium was lower than the provisional tolerable intake, and the dietary intake of cadmium does not pose a health risk to the human body.

*通讯作者:冯月明, 医师, 主要研究方向为营养与食品卫生。E-mail:402948634@qq.com

*Corresponding author: FENG Yue-Ming, Physician, Miyun District Center for Diseases Control and Prevention, Beijing 101500, China. E-mail:402948634@qq.com

KEY WORDS:cadmium; food contamination; risk assessment; monitoring

1 引言

镉是一种在自然界中广泛分布的重金属元素,具有高毒、难降解和蓄积性强等特点,生物半衰期长达 10~35 年。人体可通过食物、水、空气和吸烟等多种途径接触镉,除了职业暴露者,普通人群体内的镉主要来自于膳食摄入^[1]。镉可通过食物链富集进入人体,蓄积过量会引起慢性中毒。镉中毒主要损害肾脏、骨骼和消化系统,并且对人体有一定的致畸、致突变和致癌作用。近年来食品中重金属污染问题受到国家高度重视,食品中镉的含量监测及膳食暴露风险评估也越来越受到研究者的关注。

本研究结合 2014~2015 年北京市密云区 7 类食品中镉含量的监测数据和“2002 年北京市居民营养与健康状况调查”膳食消费数据,拟了解密云区主要食品中镉污染状况及居民膳食镉摄入情况,评估居民膳食镉暴露的危险性,为系统开展食品中镉的健康风险评估提供科学依据。

2 材料与方法

2.1 仪器与试剂

AA2402 石墨炉原子吸收分光光度计(美国安捷伦公司);微波消解仪(美国 CEM 公司)。

硝酸(BV-III 级,北京市化学试剂研究所);磷酸二氢铵溶液(纯度 99.5%,国药集团化学试剂有限公司)。

2.2 样品来源

2014~2015 年,在密云区 18 个乡镇、街道按照随机抽样原则抽取农贸市场、超市、食品店等作为监测点,采集当地居民消费量高的 7 类食品共计 368 份,包括蔬菜 130 份、水果 75 份、大米 53 份、鱼虾 40 份、动物内脏 30 份、奶及奶制品 20 份和蛋及蛋制品 20 份。

2.3 检测方法

采集的所有样品均按照 GB 5009.15-2003《食品中镉的测定》^[2]中第一法(石墨炉原子吸收光谱法)检测镉含量。

2.4 食品中镉含量未检出数值的处理

根据 2000 年世界卫生组织(World Health Organization, WHO)的推荐方法,当检测结果 < 检出限(limit of determination, LOD)的比例低于 60%时,所有低于 LOD 的结果用 1/2 LOD 表示;当检测结果 < 检出限的比例高于 60%时,所有低于 LOD 的结果用 LOD 表示^[3]。

2.5 居民食物消费数据来源

由于暂无最新的密云区居民食物消费量数据,本研

究中 7 类食品的消费量数据均来自 2002 年北京市居民营养与健康状况调查数据。参照 2002 年《北京市居民营养健康状况调查实施方案》,采取多阶段整群随机抽样的方法,在辖区内抽取 240 户家庭,共计 758 人(2 岁及以上)。采用 24 h 膳食回顾法对调查户家庭成员进行连续 3 天个人食物摄入量问卷调查,用称重法连续收集膳食户 3 d 内的调味品和食物消费数据,获得平均标准/人日食物摄入量。标准人指 18 岁从事轻体力劳动的男性^[4]。

2.6 质量控制

样品采集和检测均严格按照《国家食品污染和有害因素风险监测工作手册》^[5]完成。所有监测人员均经过统一技术培训,检测用仪器定期维护保养、完成期间核查,实验采用标准物质测定、加标回收试验和平行双样测定等方法进行质控,保证食品中镉浓度数据的准确性。

2.7 评价方法

2.7.1 食品中镉污染限量标准

食品中镉的检测按照 GB 2762-2012《食品安全国家标准食品中污染物限量》^[6]进行评价。各类食品样品的检出限量(以 Cd 计)分别为:大米 0.2 mg/kg,蔬菜 0.05~0.2 mg/kg,水果 0.05 mg/kg,畜禽肝脏 0.5 mg/kg,鱼虾类 0.1~2.0 mg/kg,蛋及蛋制品 0.05 mg/kg。

2.7.2 暴露评估方法

本研究采用点评估法^[7]计算密云区居民膳食中某类食品每月镉平均暴露量和每月膳食镉总暴露量,并计算各类食品镉的贡献率。计算公式为:

①每月膳食镉总暴露量(mg/kg·BW)=∑[某类食品日消费量(kg)×该类食品中镉的平均含量(mg/kg)]×p×30/BW,其中 BW 为标准人体重 60 kg, p 为加工因子,本研究未考虑食品加工过程中镉含量的变化,取 p=1。

②某类食品镉的贡献率(%)=某类食品每月镉平均暴露量/每月膳食镉总暴露量×100%。

根据 FAO/WHO 食物添加剂联合专家委员会(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA)制订的镉的暂定每月可耐受摄入量(provisional tolerable monthly intake, PTMI)为 0.025 mg/kg·BW^[8],计算居民膳食镉的安全限值(margin of safety, MOS),并进行初步的镉暴露评估。公式:

$$MOS = \frac{PTMI}{\text{每月膳食镉暴露量}}$$

MOS > 1 表示该物质对人体健康的风险可以接受; MOS ≤ 1 表示存在一定的健康风险。

2.8 数据处理与统计分析

数据处理和统计分析采用 SPSS 13.0 软件完成,利用

卡方检验对不同种类食品镉检出率情况进行比较。

3 结果与分析

3.1 密云区 7 类食品中镉含量的监测结果

本研究监测的 368 份食品样品的镉总检出率为 61.4%。按照 GB 2762-2012《食品安全国家标准食品中污染物限量》^[6]中的要求,动物内脏、蛋及蛋制品、蔬菜、大米、鱼虾和水果 6 类食品中未见镉超标样品。其中动物内脏的镉检出率最高,为 100.0%,其次为蔬菜类(80.8%)、大米(75.5%)、水果类(50.7%)、蛋及蛋制品(50.0%)。不同种类食品样品中镉检出率差异有统计学意义($\chi^2=141.69, P<0.05$)。镉含量相对较高的 4 类食品依次为动物内脏、蛋及蛋制品、蔬菜类和水果类,平均含量分别为 0.05152、0.00868、0.00732、0.00653 mg/kg。虽然奶及奶制品暂无镉限量标准,但其镉

平均含量在 7 类食品中最低,为 0.00029 mg/kg。总体而言,密云区居民主要消费的 7 类食品中重金属镉的污染程度较轻。具体结果见表 1。

3.2 密云区居民膳食中镉暴露风险评估

本研究以各类食品镉含量的平均浓度,结合 2002 年密云区居民营养与健康状况调查的食物消费量数据,根据 JECFA 指定的食品中镉的暂定 PTMI(0.025 mg/kg·BW),计算居民膳食镉的 MOS,对居民主要膳食镉暴露量进行初步风险评估。结果显示,密云区居民每月 7 类主要食品膳食总镉暴露量为 0.002204 mg/kg·BW,未超过 PTMI(0.025mg/kg·BW)标准, MOS 值大于 1,表明经膳食摄入的镉对人体健康的风险是可以接受的。膳食镉的主要来源为蔬菜(55.3%)、大米(20.8%)、动物内脏(14.4%)、蛋及蛋制品(6.4%),占膳食总暴露量的 95%以上。具体结果见表 2。

表 1 密云区 7 类食品中镉含量监测结果
Table 1 Surveillance results of cadmium content in 7 kinds of food in Miyun district

| 食品种类 | 样品(份) | 检出数(检出率)(%) | 平均值(mg/kg) | 检测值(mg/kg) | | 超标数(超标率)(%) |
|-------|-------|-------------|------------|------------|---------|-------------|
| | | | | 最小 | 最大 | |
| 动物内脏 | 30 | 30(100.0) | 0.05152 | 0.02200 | 0.09400 | 0(0.0) |
| 蛋及蛋制品 | 20 | 10(50.0) | 0.00868 | 0.00150 | 0.03600 | 0(0.0) |
| 蔬菜类 | 130 | 105(80.8) | 0.00732 | 0.00013 | 0.03750 | 0(0.0) |
| 大米 | 53 | 40(75.5) | 0.00653 | 0.00100 | 0.02500 | 0(0.0) |
| 鱼虾类 | 40 | 2(5.0) | 0.00315 | 0.00300 | 0.00700 | 0(0.0) |
| 水果类 | 75 | 38(50.7) | 0.00138 | 0.00013 | 0.00936 | 0(0.0) |
| 奶及奶制品 | 20 | 1(5.0) | 0.00029 | 0.00027 | 0.00068 | — |
| 合计 | 368 | 226(61.4) | 0.00021 | 0.00013 | 0.09400 | 0(0.0) |

注:—表示为无国家限量标准。

表 2 密云区居民主要膳食中镉暴露风险评估
Table 2 Risk assessment of dietary cadmium exposure from the major foods of residents in Miyun district

| 食品种类 | 膳食平均消费量(g/标准人·日) | 每月镉平均暴露量(mg/kg·BW·30) | 贡献率(%) | MOS |
|-------|------------------|-----------------------|--------|---------|
| 蔬菜类 | 332.8 | 0.001218 | 55.28 | 20.52 |
| 大米 | 140.3 | 0.000458 | 20.78 | 54.59 |
| 动物内脏 | 12.3 | 0.000317 | 14.38 | 78.91 |
| 蛋及蛋制品 | 32.4 | 0.000141 | 6.38 | 177.89 |
| 水果类 | 64.8 | 0.000045 | 2.03 | 558.61 |
| 鱼虾类 | 12.9 | 0.000020 | 0.92 | 1230.47 |
| 奶及奶制品 | 36.2 | 0.000005 | 0.24 | 4805.90 |
| 合计 | 631.7 | 0.002204 | 100.00 | 11.34 |

4 讨论与结论

4.1 密云区食品镉污染状况分析

监测的密云区蔬菜、水果、大米、鱼虾、动物内脏、奶及奶制品和蛋及蛋制品 7 类食品中重金属镉的平均浓度为 0.00021 mg/kg, 检测值范围为 0.00013~0.09400 mg/kg, 未见超标样品, 食品中镉的污染情况低于国内其他地区污染水平^[9-12]。研究结果显示, 密云区居民主要消费的食品中镉污染水平总体是安全的。

不同食品类别样品中镉检出率差异有统计学意义, 其中以动物内脏类食品的检出率最高, 为 100.0%, 其次为蔬菜类(80.8%)、大米(75.5%)和水果类(50.7%)。结果显示, 动物内脏类食品更容易受到重金属镉的污染。原因在于重金属污染具有累积性、食物链传递性和不易降解性, 而且生物具有很强的富集能力, 污染物可以在食物链内逐步积累, 以致在食物链末端营养级体内浓缩到很高的浓度^[13]。因此, 处于食物链较顶端的动物机体体内富集的镉含量要高于植物。镉通过污染水和饲料添加剂被畜禽吸收后, 主要蓄积于肝、肾、脾等脏器中, 且不会自然消失或被降解^[14,15]。因此, 本研究中动物内脏类食品中的镉污染水平高于其他 6 类食品。

镉在自然界中分布极为广泛, 基本上人类所有的食品和饮料中都含有少量的镉, 因低浓度镉通常不会影响人体的健康^[16]。虽然本研究中所有样品均未超标, 但是由于镉毒性高、具有富集作用, 长期食用被镉污染的食品会增加食用者慢性中毒的风险。因此应加强环境治理, 从源头控制镉的污染; 加强市场监管, 改善种养殖环境, 降低镉在农产品中的二次污染; 继续对污染水平较高的食品开展监测工作, 了解各类食品重金属镉污染的变化趋势, 做好风险预警。

4.2 密云区居民膳食中镉暴露风险评估

本次评估结果显示, 密云区居民膳食镉的每月平均暴露水平位于安全限值以内, 表明对居民(非职业人群)而言, 通过膳食摄入镉风险较低, 这与北京市一些地区(顺义、丰台)及其他省市膳食镉暴露的评估结果基本一致^[17-20]。

4.3 密云区居民膳食中镉的主要来源

密云区居民膳食镉的主要来源中, 位于前 3 位的食品依次为蔬菜、大米和动物内脏(贡献率为 90%左右)。其中蔬菜和aris是密云区居民消费量较高的两类食品, 两者的膳食镉贡献率合计达 75%以上。肖贵勇等^[18]对北京市丰台区居民膳食镉暴露的风险评估显示, 蔬菜、谷物及其制品分别贡献了膳食镉摄入量的 52.4%和 25.8%。高彭等^[17]研究发现, 北京市顺义区居民膳食中镉暴露量的主要来源是谷物及其制品、蔬菜和肉类, 贡献率分别为 70.0%、11.1%和 7.3%。在我国广东^[19]和杭州^[21]等南方地区, 大米和蔬菜

是居民膳食镉暴露的主要来源, 累计贡献率达 80%以上。由此可见, 密云区居民食品中膳食镉主要贡献食物种类与北京市其他区以及国内其他省市居民基本一致。大米和蔬菜因其消费量高, 在居民的膳食结构中镉贡献率最大。本研究发现, 动物内脏的消费量在 7 类食品中最低, 但由于其镉含量最高, 贡献率也较高(14.38%)。因此针对贡献率高的蔬菜、大米和动物内脏类食品应加强食品安全监管及风险预警, 防止超标食品流入市场, 从而控制污染, 降低居民膳食镉的暴露水平。

4.4 暴露评估数据的不确定性分析

本研究中采用的食物消费量数据和化学污染物浓度数据分别来自《2002 年北京市居民营养与健康状况调查报告》^[4]和 2014~2015 连续 2 年的食品安全风险监测, 调查间隔较长和监测样本量有限可能导致评估结果准确性降低。评估时采用标准人(60 kg)进行分析, 未考虑个体年龄、体重差异和不同人群的消费模式等, 因此暴露量数据可能存在偏倚。另外, 未考虑食品加工、储存及烹饪等过程对食品中镉浓度的影响, 评估结果存在一定的不确定性。今后应继续加强食品安全风险监测和居民膳食调查, 进一步补充和完善本研究中的不足之处, 为风险评估提供更科学、更准确的依据。

参考文献

- [1] 林程程, 王桂安, 黄琼. 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.
Lin CC, Wang GA, Huang Q. The exposure assessment research progress of dietary cadmium progress with non-occupational crowd [J]. Chin J Food Hyg, 2014, 26(6): 624-627.
- [2] GB 5009.15-2003 食品中镉的测定法[S].
GB 5009.15-2003 Determination of cadmium in foods [S].
- [3] 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]. 中华预防医学杂志, 2002, 36(4): 278-279.
Wang XQ, Wu YN, Chen JS. Food contamination monitoring low data processing problems [J]. Chin J Prev Med, 2002, 36(4): 278-279.
- [4] 刘泽军. 2002 年北京市居民营养与健康状况调查报告[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2006.
Liu ZJ. The nutrition and health status of the Beijing people in 2002 [M]. Beijing: China Science & Technology Press, 2006.
- [5] 杨大进, 李宁. 2014 年国家食品污染和有害因素风险监测工作手册[M]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
Yang DJ, Li N. Manual for China national food contamination and harmful factors risk monitoring in 2014 [M]. Beijing: Standard Press of China, 2014.
- [6] GB 2762-2012 食品安全国家标准食品中污染物限量[S].
GB 2760-2012 National food safety standard Maximum levels of contaminants in foods [S].
- [7] 罗伟, 吴永宁. 食品安全风险分析化学危害评估[M]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
Luo W, Wu YN. Food safety risk analysis chemical hazard risk assessment

- [M]. Beijing: Standard Press of China, 2012.
- [8] 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.
- [9] 古文娟, 吴云钊, 孟鹏, 等. 北京市昌平区 2012 年~2013 年食品中铅、镉、总砷、总汞检测结果分析[J]. 中国卫生检验杂志, 2015, 25(8): 1256-1258.
- Gu WJ, Wu YZ, Meng P, *et al.* Analysis of test results of lead, cadmium, total arsenic and total mercury in foods during 2012~2013 in Changping district of Beijing [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2015, 25(8): 1256-1258.
- [10] 蒋立新, 杨梅, 李玥, 等. 深圳居民镉的膳食暴露评估[J]. 中国热带医学, 2016, 16(10): 981-985.
- Jiang LX, Yang M, Li Y, *et al.* Assessment on the level of dietary cadmium exposure of residents in Shenzhen [J]. *China Trop Med*, 2016, 16(10): 981-985.
- [11] 付鹏钰, 张书芳, 周昇昇, 等. 2010 年河南省部分食品中重金属污染状况分析[J]. 中国食品卫生杂志, 2014, 26(4): 391-393.
- Fu PY, Zhang SF, Zhou SS, *et al.* Heavy metals contamination in food in Henan province in 2010 [J]. *Chin J Food Hyg*, 2014, 26(4): 391-393.
- [12] 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 Shanxi Province in 2014 [J]. *Chin J Food Hyg*, 2016, 28(2): 240-243.
- [13] 吴银彪. 生物富集导致的食品污染与危害[J]. 环境与健康, 1999, 10(19): 45-46.
- Wu YB. Food pollution and damages caused by bio-accumulation [J]. *Environ Protect*, 1999, 10(19): 45-46.
- [14] 李洁, 陈波, 吴佳倩, 等. 上海市 2008 年猪肉相关食品中镉污染特征分析[J]. 上海预防医学杂志, 2010, 22(3): 124-125.
- Li J, Chen B, Wu JQ, *et al.* Cadmium contamination in pork and its related foods in Shanghai in 2008 [J]. *Shanghai Prev Med*, 2010, 22(3): 124-125.
- [15] Satarug S, Garrett SH, Sens MA, *et al.* Cadmium environmental exposure [J]. *Environ Health Perspect*, 2010, 118(2): 182-190.
- [16] 覃志英, 唐振柱, 谢萍. 农产品中铅镉污染监测的研究进展[J]. 广西医学, 2006, 28(9): 1403-1405.
- Tan ZY, Tang ZZ, Xie P. The research on lead and cadmium pollution monitoring of agricultural products [J]. *Guangxi Med*, 2006, 28(9): 1403-1405.
- [17] 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.
- Gao P, Chen DW, Lv CJ, *et al.* Risk assessment on residents' dietary exposure of cadmium in Shunyi District [J]. *Mod Prev Med*, 2016, 43(19): 3505-3508.
- [18] 肖贵勇, 王佳佳, 安军静, 等. 北京市丰台区居民主要膳食镉暴露评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2014, 26(1): 88-91.
- Xiao GY, Wang JJ, An JJ, *et al.* Assessment on the dietary exposure of cadmium in Fengtai District residents [J]. *Chin J Food Hyg*, 2014, 26(1): 88-91.
- [19] 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 GA, Liang CH, Huang Q, *et al.* Preliminary risk assessment on the dietary exposure of Cd in Guangdong residents [J]. *Chin J Food Hyg*, 2012, 24(4): 353-357.
- [20] 刘弘, 吴春峰, 陆屹, 等. 上海市居民膳食中铅镉暴露水平评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2011, 23(3): 218-223.
- Liu H, Wu CF, Lu Y, *et al.* Assessment on the dietary exposure of lead and cadmium in Shanghai residents [J]. *Chin J Food Hyg*, 2011, 23(3): 218-223.
- [21] 王玲莉, 刘辉, 王妹婷, 等. 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 LY, Liu H, Wang ZT, *et al.* Assessment on the dietary exposure of cadmium in Hangzhou residents [J]. *Chin J Food Hyg*, 2015, 27(5): 585-589.

(责任编辑: 刘 丹)

作者简介



冯月明, 医师, 主要研究方向为营养与食品卫生。
E-mail: 402948634@qq.com