

黑龙江省不同产地大米中 几种重金属元素的检测及膳食风险评估

张昌¹, 任晓雨¹, 崔航¹, 梁梦婷¹, 曹冬梅^{1,2}

(1. 黑龙江八一农垦大学食品学院, 黑龙江大庆 163319)

(2. 黑龙江省农产品加工与质量安全重点实验室, 国家杂粮工程技术研究中心, 黑龙江大庆 163319)

摘要: 本文采用电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)对黑龙江省查哈阳、五常、方正、响水、建三江五大水稻主产区大米中的镉、铅、铬、砷四种元素含量进行检测分析,并以每月摄入量值(EMI)值以及铅的暴露边界比(MOE)评估该地区居民膳食中大米的镉、铅、铬、砷暴露情况。结果表明:镉含量总体平均值为0.0085 mg/kg,铅含量总体平均值为0.0040 mg/kg,铬的总体平均值为0.107 mg/kg,砷的总体平均值为0.114 mg/kg,变异系数范围为0.329~2.533,均未超出国家标准。黑龙江省人群铅的暴露边界比为45.06~982.48;镉、铬、砷的每月摄入量分别介于0.171~3.221 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ 、11.773~26.491 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ 、22.596~31.394 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ 之间,分别占JECFA规定限值的0.6%~12.8%、46.7%~92.2%、1.5%~2.1%,均未超出JECFA规定的限值。黑龙江省五大主产区大米中镉、铅、砷、铬四种元素含量及人群摄入总体处于安全水平。

关键词: 电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS); 大米; 重金属; 暴露评估

文章编号: 1673-9078(2020)11-281-286

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.11.0489

Detection and Dietary Risk Assessment of Several Heavy Metals in Rice from Different Origin in Heilongjiang Province

ZHANG Chang¹, REN Xiao-yu¹, CUI Hang¹, LIANG Meng-ting¹, CAO Dong-mei^{1,2}

(1. Heilongjiang 81 Agricultural Reclamation University School of Food, Daqing 163319, China)

(2. Heilongjiang Key Laboratory for Processing and Quality Safety of Agricultural Products, National Center for Research in the Engineering Technology of Miscellaneous Grains, Daqing 163319, China)

Abstract: In this paper, inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) was used to analyze cadmium, lead, chromium and arsenic in rice which were collected from five major rice producing areas of Heilongjiang (Chahayang, Wuchang, Fangzheng, Xiangshui and Jiansanjia). The contents of the four elements (cadmium, lead, chromium, and arsenic) were tested and analyzed, and the exposure to four elements in rice was evaluated by monthly intake value (EMI) and lead exposure boundary ratio (MOE) for the residents in this area. The results showed that the measured average contents of four element (cadmium, lead, chromium, and arsenic) were 0.85×10^{-2} mg/kg, 0.40×10^{-2} mg/kg, 1.07×10^{-1} mg/kg and 1.14×10^{-1} mg/kg, respectively, and the coefficient of variation range is 0.32~2.53, which is within the national standard. The exposure boundary ratio of lead in the population of Heilongjiang province was 45.06~982.48; the monthly intake of cadmium, chromium and arsenic were measured to be 0.17~3.22 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$, 11.77~26.49 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ and 22.596~31.394 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$, accounting for 0.6%~12.8%, 46.7%~92.2%, 1.5%~2.1% of the JECFA prescribed limits respectively, which did not exceed the JECFA prescribed limits. The content of cadmium, lead, arsenic and chromium in rice in the five major producing areas of Heilongjiang province and the population intake are generally at a safe level.

引文格式:

张昌,任晓雨,崔航,等.黑龙江省不同产地大米中几种重金属元素的检测及膳食风险评估[J].现代食品科技,2020,36(11):281-286

ZHANG Chang, REN Xiao-yu, CUI Hang, et al. Detection and dietary risk assessment of several heavy metals in rice from different origin in Heilongjiang province [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(11): 281-286

收稿日期: 2020-05-23

基金项目: 黑龙江省应用技术与开发项目(GA14B104); 黑龙江八一农垦大学三横三纵支持计划(TDJH201906)

作者简介: 张昌(1995-),男,硕士研究生,研究方向:食品质量与安全;通讯作者:曹冬梅(1966-),女,博士,教授,研究方向:食品质量与安全,风险评估

Key words: ICP-MS; rice; Heavy metals; exposure assessment

重金属进入土壤后会长期积累在土壤中无法被降解,并且会通过物质转换和能量循环,间接或者直接转移到农作物中,危害农作物的生长,甚至会通过食物链进入人体,随着时间的推移人体内的重金属含量超过一定浓度,会对人体机能造成损伤,甚至引发癌症^[1]。关于重金属对人体健康的风险,学者们做了大量研究,研究的区域多位于矿区、污水灌溉区或者一些重金属污染较为严重的垦区,研究对象专注于降尘、籼稻、玉米、蔬菜、饮用水^[2-4]等。对于重金属的积累特性、理化特性、赋予形态等,也做了大量盆栽试验,为以后的研究奠定了基础。目前常见的重金属检测方法主要是原子吸收分光光度法(MS)、原子荧光光谱(AFS)^[5]以及电感耦合等离子质谱法(ICP-MS)^[6]。

黑龙江省位于我国最北端,具有光照充足、昼夜温差大,土质肥沃,水质优,污染少等条件,有利于水稻生产。由于产量稳定,米质优良,商品率高,黑龙江已成为我国重要的优质粳米生产基地,2019年其总产量高达75,030,000 t,已经连续8年产量位居全国第一,在大米市场上具有重要的地位和作用。随着粮食的逐年增收,同时化肥和农药的使用量也明显增多,使得重金属大量进入土壤当中,不仅对土壤造成了严重的污染,也对农作物造成了严重的危害。

为了了解黑龙江省地区大米的安全状况,本文对黑龙江大米中四种重金属的含量进行调查,选取了黑龙江五个水稻产区的稻米作检测以了解Cd、Pb、Cr、As的污染情况并对其进行暴露风险评估,旨在为黑龙江省的粮食安全和环境保护提供理论指导和决策依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

69%~70%硝酸,美国J.T.Baker有限公司; 99.9999%氩气(Ar),大庆雪龙气体股份有限公司; 99.9999%氦气(He),大庆雪龙气体股份有限公司; 10 μg/mL Cd、Pb单元素标准样品,北京有色金属研究院; 30 g大米粉成分分析标准物质,国家粮食局科学研究院; 229份大米样本,采集于黑龙江省查哈阳、五常、方正、响水、建三江五个产区。

SE-750高速粉碎机,永康市圣象电器有限公司; MARS6型微波消解仪,美国安培科技有限公司; EHD-24精确控温电热消解器,北京东航科仪仪器有限公司; Smaet-N-15UV超纯水机,苏州江东精密仪

器有限公司; 7800型电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS),安捷伦科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 大米样品采集与前处理

采集成熟期的水稻样本,时间为9月末到10月初。采用棋盘式采样法采样,依据种植范围的大小,分别设计东、南、西、北、中五个采样点,每个点采集稻穗1~2 kg,并记录品种、经纬度等田间信息。其中查哈阳地区选择6个管理区布点,五常地区选择8个乡镇布点,方正地区选择7个乡镇布点,响水地区选择6个乡镇布点,建三江地区选择15个农场布点。

将样品晾晒至水分14%以下,对稻穗进行脱粒、整谷、碾米,获得国家二级精米(参照GB/T5502-2008标准判断加工精度)。将得到的精米粉碎后过100目尼龙筛,最后装入聚乙烯塑料袋备用。

按照GB 5009.268-2016《食品中多元素的测定》规定的方法对样品进行消化处理,同时做试剂空白试验。

1.2.2 电感耦合等离子质谱(ICP-MS)法测定各元素含量

1.2.2.1 标准曲线的绘制及标准物质的测定

将四种单元素标准溶液用5%硝酸介质逐级稀释至浓度梯度为0、0.02、0.04、0.06、0.08、0.10 mg/mL,用于标准曲线制作。

在测定样品之前对大米粉成分标准物质(GBW080684)中镉、铅、砷含量进行测定并与标准值进行对比,保证分析方法及结果的准确可靠性。

1.2.2.2 大米样品中四种元素含量的测定

检测方法按照GB 5009.268-2016《食品中多元素的测定》标准执行。同时测定空白溶液。

1.3 四种元素的暴露评估方法

1.3.1 铅暴露评估方法

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2010年取消了铅元素的暂定每周可耐受摄入量值,本实验采用暴露边界比(MOE)进行铅暴露评估,公式如下:

$$MOE_{child} = \frac{0.3 \times WAB}{c \times FIR} \quad (1)$$

$$MOE_{adult} = \frac{1.2 \times WAB}{c \times FIR} \quad (2)$$

式中: c 为大米中铅含量, mg/kg; FIR 为食物摄入量, g/d;

WAB 为体重, kg, $1 < MOE < 100$ ^[7], 表示摄入风险较低, $MOE > 100$ 时, 表示不存在暴露风险, MOE 低于 1 说明暴露风险过高, 即 MOE 值越小摄入风险越高^[8]。

1.3.2 镉、铬、砷暴露评估方法

JECFA 在 2010 年起将镉的暂定每周耐受摄入量 (PTWI) 改为暂定每月耐受摄入量 (PTMI), 因此采用每月摄入量值 (EMI) 与 JECFA 规定的标准进行比较, 对人群摄入四种元素的风险进行评价, 公式如下^[9]。

$$EMI_i = \frac{C_i \times FIR \times 30}{WAB} \quad (3)$$

式中: EMI_i 为 i 元素每月摄入量, $\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{BW}$; C_i 为大米中 i 含量, mg/kg ; FIR 为食物摄取量, g/d ; WAB 为体重, kg 。

将测得数据代入公式 (1) (2) 计算每个样品的 MOE 值以及 EMI 值, 根据 MOE 值的大小以及 EMI 值与规定数值进行比较, 分别对五个地区人群摄食大米进行暴露风险评估。

1.4 数据处理

利用 Excel 2013 和 SPSS 20.0 对数据进行处理和分析。

2 结果与分析

2.1 标准曲线的绘制及标准参考物质测定结果

表 1 大米中元素添加回收试验结果

Table 1 Test results of adding elements to rice (n=8)

添加回收	查哈阳	五常	方正	响水	建三江
RSD/%	2.4~3.1	2.6~3.2	2.9~3.5	2.4~3.5	2.7~3.4
回收率/%	93.3~103.3	93.0~100.4	92.4~103.3	93.3~104.2	91.2~103.4

2.3 大米中镉、铅、铬、砷的含量分析

按照 1.2 所述试验方法对黑龙江五个地区的大米中 Cd、Pb、Cr、As 元素进行测定, 测定结果如表 2 所示。

由表 2 可知, 黑龙江五个地区大米中镉、铅含量水平均较低, 在所采集的 110 份样品中, 镉、铅、铬、砷元素含量均未超标, 合格率为 100%, 其中镉的总体平均值为 $0.85 \times 10^{-2} \text{ mg}/\text{kg}$, 铅的总体平均值为 $0.40 \times 10^{-2} \text{ mg}/\text{kg}$, 铬的总体平均值为 $1.07 \times 10^{-1} \text{ mg}/\text{kg}$, 砷的总体平均值为 $1.14 \times 10^{-1} \text{ mg}/\text{kg}$, 均未超出 GB2762-2017 规定的标准 Cr: $\leq 1 \text{ mg}/\text{kg}$, Cd、Pb、As: $\leq 0.2 \text{ mg}/\text{kg}$ 。宋雪建等人曾对 2013 年黑龙江省建三江、五常、查哈阳的大米中 Cr 元素进行检测, 结果为建三江: $1.05 \times 10^{-1} \pm 0.12 \text{ mg}/\text{kg}$; 五常: $0.86 \times 10^{-1} \pm 0.09 \text{ mg}/\text{kg}$; 查哈阳: $0.42 \times 10^{-1} \pm 0.03 \text{ mg}/\text{kg}$ ^[10], 本试验结

运用 ICM-MS 绘制标准曲线。其中 Cd 方程为 $Y=0.0106x+7.0912E-005$, 回归系数为 0.9999, 检出限为 $0.02487 \mu\text{g}/\text{kg}$; Pb 方程为 $Y=0.0935x+0.0050$, 回归系数为 0.9998, 检出限为 $0.01216 \mu\text{g}/\text{kg}$; Cr 方程为 $Y=0.3770x+0.1373$, 回归系数为 0.9999, 检出限为 $0.02916 \mu\text{g}/\text{kg}$; As 方程为 $Y=0.0049x+2.2620E-004$, 回归系数为 0.9999, 检出限为 $0.05306 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。四种元素的 r 值均不低于 0.9995, 线性关系良好, 符合仪器要求标准。同时测定 11 次样品空白所得的标准偏差的 3 倍为对应元素的检出限。

为保证测定结果准确可靠, 对大米粉成分分析标准物质中镉、铅、砷含量进行检测, 分别为 $0.465 \text{ mg}/\text{kg}$ 、 $0.232 \text{ mg}/\text{kg}$ 、 $0.413 \text{ mg}/\text{kg}$, 与标准数值比较 (Cd: 0.482 ± 0.028 、Pb: 0.226 ± 0.019 、As: 0.423 ± 0.023), 均符合 GB/T27404-2008《实验室质量控制规范食品理化检测》的技术要求。

2.2 加标回收试验

分别对大米样品中的元素进行 $30 \mu\text{g}/\text{mL}$ 、 $50 \mu\text{g}/\text{mL}$ 、 $70 \mu\text{g}/\text{mL}$ 的加标, 每个浓度设 8 个平行。试验结果表明如表 1 所示, 元素的加标回收率介于 91.2%~104.2%之间, 相对标准偏差 (RSD) 介于 2.1%~3.5%之间, 表明该试验方法的准确度和精密度较好, 可以用于大米中镉、铅、铬、砷元素的检测。

果与之相比, 发现两次检测结果相近; 谢凤婷等人对黑龙江地区的 Cd、Pb、Cr 三种元素进行检测, 结果为 Cd: $0.40 \times 10^{-2} \pm 0.02 \text{ mg}/\text{kg}$; Pb: $0.42 \times 10^{-1} \pm 0.03 \text{ mg}/\text{kg}$; Cr: $0.84 \times 10^{-1} \pm 0.10 \text{ mg}/\text{kg}$ ^[11], 本次试验测定结果小于谢等人得检测结果。

研究发现五常地区镉、铅、砷元素含量相比其他四个地区高, 且对于 Pb、Cd 元素来说五常和其他四个地区之间差异显著。对研究区域耕地土壤进行检测发现五常地区土壤中 Cd、Pb、As 含量为 $0.15 \text{ mg}/\text{kg}$ 、 $23.60 \text{ mg}/\text{kg}$ 、 $245.60 \text{ mg}/\text{kg}$ 为五个地区中最高。分析发现五常地区水稻品种单一均为稻花香, 这极大的影响了水稻对土壤中镉、铅、砷的吸收, 可能是导致五常地区镉、铅元素含量高的主要原因。有研究表明水稻对重金属的吸收积累受到遗传背景、品种类型和重金属互作的影响较大^[12,13]; 有学者研究发现, 土壤中镉元素会影响水稻植株对铅的吸收^[14]; 先前的研究发

现,不同品种水稻对土壤中镉元素的吸收以及其在籽粒中的积累存在有显著的差异,且高 Se 品种显示出抑制重金属 Cd 积累的倾向^[15];有人研究发现,稻米中镉含量受土壤中有效态锌含量的抑制^[16],五常地区水稻品种单一(稻花香)以及土壤背景是导致五常和其他地区差异较大的主要因素。水稻在对重金属的吸收和积累过程中不仅受到土壤中重金属含量的影响,也受其他因素影响,比如水稻品种,土壤中微生物含量,降水、空气质量等。由于大田条件下土壤环境复杂,具体影响该地区水稻重金属积累的因素还需要进一步深入研究。

目前据中国环境保护部和中国国土资源部主导的《全国土壤污染状况调查公报》显示,全国被调查的

630 万 km²的土地中,土壤总点位超标率为 16.10%,大约有 100.80 万 km²的土地重金属和农药残留等污染物超标^[17]。2016 年 5 月 28 日中国国务院印发的《土壤污染防治行动计划》中明确要求从土壤污染防治、调查与监测、分类管理、监督管理等方面为农用地土壤环境管理工作提供依据,以防控农用地土壤污染风险,保障农产品质量安全^[18]。我国土壤污染形式尤为严峻,土壤作为农作物生长的主要场所,土壤被污染就意味着农作物被污染,只有土壤污染治理好了,长出来的农作物才不会受到污染,群众才能安心食用。本文理论角度客观的评价了黑龙江省五大产区地理标志产品中的重金属 Cd、Pb、Cr、As 含量情况,进行了分析评价,具有一定的参考价值和实践意义。

表 2 黑龙江镉地区大米的铅、镉、铬、砷含量汇总

Table 2 Cadmium and Lead Contents of Rice in Heilongjiang Province (mg/kg)

区域	Pb	范围	变异系数	Cd	范围	变异系数
查哈阳	0.08×10 ⁻¹ ±0.08×10 ⁻¹ ab	0.01×10 ⁻² ~0.03	1.09	0.07×10 ⁻² ±0.09×10 ⁻² b	3.96×10 ⁻⁶ ~0.03×10 ⁻¹	1.15
五常	0.14×10 ⁻¹ ±0.10 ^a	0.01×10 ⁻² ~0.04	0.74	1.28×10 ⁻² ±1.46×10 ⁻² a	5.48×10 ⁻⁵ ~0.56×10 ⁻¹	1.14
方正	0.06×10 ⁻¹ ±0.01 ^b	1.87×10 ⁻⁵ ~0.07	2.53	0.24×10 ⁻² ±0.39×10 ⁻² b	1.88×10 ⁻⁵ ~0.12×10 ⁻¹	1.57
响水	0.79×10 ⁻² ±0.01 ^{ab}	0.01×10 ⁻² ~0.03	1.31	0.29×10 ⁻² ±0.30×10 ⁻² b	0.50×10 ⁻⁵ ~0.11×10 ⁻¹	1.06
建三江	0.67×10 ⁻² ±0.59×10 ⁻² b	0.01×10 ⁻² ~0.02	0.89	0.12×10 ⁻² ±0.14×10 ⁻² b	1.49×10 ⁻⁵ ~0.06×10 ⁻¹	1.09
总计	0.85×10 ⁻² ±0.01	1.87×10 ⁻⁵ ~0.07	1.26	0.40×10 ⁻² ±0.81×10 ⁻²	3.96×10 ⁻⁶ ~0.56×10 ⁻¹	2.01

区域	Cr	范围	变异系数	As	范围	变异系数
查哈阳	1.15×10 ⁻¹ ±0.98×10 ⁻¹ ab	0.01×10 ⁻¹ ~0.26	0.85	1.14×10 ⁻¹ ±0.06 ^a	0.01×10 ⁻¹ ~0.25	0.55
五常	1.18×10 ⁻¹ ±0.94×10 ⁻¹ ab	0.03×10 ⁻¹ ~0.31	0.79	1.25×10 ⁻¹ ±0.04 ^a	0.68×10 ⁻¹ ~0.21	0.35
方正	0.53×10 ⁻¹ ±0.92×10 ⁻¹ b	0.01×10 ⁻¹ ~0.44	1.73	1.14×10 ⁻¹ ±0.06 ^a	0.01×10 ⁻¹ ~0.22	0.56
响水	1.72×10 ⁻¹ ±3.06×10 ⁻¹ a	0.03×10 ⁻¹ ~0.49	1.77	1.03×10 ⁻¹ ±0.03 ^a	0.01×10 ⁻¹ ~0.16	0.32
建三江	0.77×10 ⁻¹ ±0.59×10 ⁻¹ ab	0.01×10 ⁻¹ ~0.22	0.76	1.15×10 ⁻¹ ±0.03 ^a	0.08×10 ⁻¹ ~0.19	0.33
总计	1.07×10 ⁻¹ ±1.60×10 ⁻¹	0.01×10 ⁻¹ ~0.49	1.48	1.14×10 ⁻¹ ±0.05	0.01×10 ⁻¹ ~0.25	0.44

注:不同的字母表示有显著差异($p < 0.05$)。

2.4 大米镉、铅、铬、砷的暴露评估

按照 1.3.1 中公式(1)~(3)对铅暴露边界比(MOE)和每月摄入量 EMI 进行计算,结果如表 3 所示。

由表 3 可知黑龙江省居民食用大米的铅暴露边界比(MOE)均大于 1,查哈阳、五常、响水、建三江四个地区儿童的铅暴露边界比值在 1~100 之间,摄入风险较低。其他地区成人、儿童大米的铅 MOE 值均大于 100,不存在暴露风险。

黑龙江省居民食用大米镉的每月摄入量 EMI 值介于 0.17~3.22 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$ 之间,占 PTMI 的 0.60%~12.80%,各地区之间差异较大,五常地区 EMI 值最高,与 JECFA 所规定的镉每月摄入量(PTMI) 25 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$ 相比所有地区 EMI 值均远远小于所规定的限值。

JECFA 规定总砷每日最大耐受摄入量(TDMI)

为 50 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$;铬暂定每周最大耐受摄入量(PTWI)为 6.70 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$;即总砷的每月最大耐受摄入量为 1500 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$,铬的每月最大耐受摄入量为 28.71 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$ 。由表 3 可知黑龙江省居民食用大米铬、砷的每月摄入量(EMI)分别介于 11.77~26.49 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$ 、22.59~31.39 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$ 之间,分别占 JECFA 规定限值的 46.70%~92.20%、1.50%~2.10%,均未超出 JECFA 规定的限值,其中铬元素在各地区之间差异较大,As 元素差异较小,查哈阳地区铬元素 EMI 值最高,五常地区砷元素 EMI 值最高。

根据数值来看,黑龙江省地区关于儿童的大米中铅的暴露风险还可能存在,这是一个需要去重视的问题,造成此种风险存在的原因还需深入调查分析才能定论。五常地区镉、砷元素的暴露风险明显高于其他地区,其中铬元 EMI 值所占规定值比例最大,这需要

当地部门加以重视, 加大大米生产的监控力度, 将暴露风险降到最低。

表3 居民食用大米镉、铅暴露风险评估结果

Table 3 Risk assessment results of cadmium and lead exposure in rice ($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$)

地区	Cd				Pb			
	每月摄入量		占 PTMI 百分比/%		暴露边界比			
	Child	Adult	Child	Adult	Child	Adult		
查哈阳	0.17	0.19	0.60	0.70	87.03	305.49		
五常	2.82	3.22	11.30	12.80	45.06	158.16		
方正	0.54	0.62	2.18	2.48	279.91	982.48		
响水	0.63	0.72	2.54	2.91	85.17	298.97		
建三江	0.28	0.32	1.11	1.29	70.35	250.47		

地区	Cr				As			
	每月摄入量		占 JECFA 规定百分比/%		每月摄入量		占 JECFA 规定百分比/%	
	Child	Adult	Child	Adult	Child	Adult	Child	Adult
查哈阳	23.24	26.49	80.90	92.20	25.09	28.59	1.60	1.90
五常	23.03	26.25	80.20	91.40	27.54	31.39	1.80	2.10
方正	11.77	13.41	41.10	46.70	25.00	28.54	1.60	1.90
响水	22.36	25.48	77.80	88.70	22.59	25.75	1.50	1.70
建三江	17.10	19.49	59.50	67.90	25.30	28.84	1.60	1.90

注: 体重以及摄入量指标来源于美国环境保护局 (USEPA); 儿童体重 (16 kg); 成人 (60 kg); 儿童摄入量 (117 g/d); 成人摄入量 (500 g/d) [19]。

本文理论角度客观的评价了当地人群摄食当地水稻给人体带来的健康风险情况, 具有一定的参考价值 and 实践意义。由于暴露评估指标参数的国际性和研究区域的地域性, 以及不同生活环境下人体素质状况的差异性, 本文研究结果存在一定的局限性和片面性。另外由于本文在研究过程中并未考虑到水稻品种造成的影响, 因此在后续的研究中, 应该在综合考虑当前各种影响因子的基础上, 更加全面的分析风险存在的原因, 以期为黑龙江省粮食安全提供数据参考。

3 结论

3.1 根据测定结果显示, 黑龙江省大米中镉含量总体平均值为 $0.85 \times 10^{-2} \text{ mg}/\text{kg}$, 铅含量总体平均值为 $0.40 \times 10^{-2} \text{ mg}/\text{kg}$, 铬的总体平均值为 $1.07 \times 10^{-1} \text{ mg}/\text{kg}$, 砷的总体平均值为 $1.14 \times 10^{-1} \text{ mg}/\text{kg}$, 均未超出国标所规定的水平。黑龙江省五大产区大米中镉、铅、铬、砷含量均处于安全水平。

3.2 根据本研究结果表明, 铅暴露边界比均大于 1, 镉的 EMI 值介于 $0.17 \sim 3.22 \mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ 之间, 占 PTMI 的 $0.60\% \sim 12.80\%$; 总砷 EMI 值介于 $11.77 \sim 26.49 \mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ 之间, 占 JECFA 规定限值的 $46.70\% \sim 92.20\%$; 铬的 EMI 值介于 $22.59 \sim 31.39 \mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ 之间, 占 JECFA 规定限值的 $1.50\% \sim 2.10\%$ 。黑龙江省地区在儿童方面大米中铅的暴露风险还可能存在, 五常地区

铅、镉、砷的暴露风险均大于其他几个地区, 铬元素的占比最高, 相关部门应在今后加大此地区大米食用安全的监控力度。总体来看黑龙江省的大米四种元素含量均在 JECFA 规定的范围内, 则该地区人群通过大米而摄入的镉、铅、铬、砷的量均处于安全水平。

参考文献

- [1] FANG Yong, SUN Xin-yang, YANG Wen-jian, et al. Concentrations and health risks of lead, cadmium, arsenic, and mercury in rice and edible mushrooms in China [J]. Food Chemistry, 2014, 147C: 147-151
- [2] 牟仁祥, 陈铭学, 朱智伟, 等. 水稻重金属污染研究进展 [J]. 生态环境, 2004, 3: 417-419
MOU Ren-xiang, CHEN Ming-xue, ZHU Zhi-wei, et al. Advances in heavy metal pollution in rice [J]. Ecological Environment, 2004, 3: 417-419
- [3] 陈轶楠, 马建华. 河南省某市驾校地表灰尘重金属污染及健康风险评估 [J]. 环境科学学报, 2016, 36(8): 3017-3026
CHEN Yi-nan, MA Jian-hua. Assessment of surface dust and heavy metal pollution and health risk in a driving school in Henan province [J]. Journal of Environmental Sciences, 2016, 36(8): 3017-3026
- [4] Mehr M R, Keshavarzi B, Moore F, et al. Contamination level and human health hazard assessment of heavy metals

- and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in street dust deposited in Mahshahr, Southwest of Iran [J]. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2016, 22(8): 1726-1748
- [5] 钟利彬.土壤-水稻-人体系统中的镉迁移动态模型及健康风险评估[D].杭州:浙江大学,2018
ZHONG Li-bin. Dynamic model of cadmium migration and health risk assessment in soil-rice-human system [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018
- [6] MOU Ren-xiang, CHEN Ming-xue, ZHU Zhi-wei, et al. Advances in heavy metal pollution in rice [J]. *Ecological Environment*, 2004(3): 417-419
- [7] 秦鱼生,喻华,冯文强,等.成都平原北部水稻土重金属含量状况及其潜在生态风险评价[J].*生态学报*,2013,33(19): 6335-6344
QIN Yu-sheng, YU Hua, FENG Wen-qiang, et al. Status and potential ecological risk assessment of heavy metals in paddy soil in Northern Chengdu plain [J]. *Journal of Ecology*, 2013, 33(19): 6335-6344
- [8] 金英良,张亚非,闵捷,等.个体暴露边界比在铅膳食暴露健康风险评估中的应用[J].*中国卫生统计*,2014,6:943-945
JIN Ying-liang, ZHANG Ya-fei, MIN Jie, et al. Application of individual exposure boundary ratio in health risk assessment of lead dietary exposure [J]. *China Health Statistics*, 2014, 6: 943-945
- [9] 李天元,袁旭音,赵学强,等.苏南典型污染区土壤重金属迁移与风险评估[A].农业部环境保护科研监测所、中国农业生态环境保护协会.农业环境与生态安全-第五届全国农业环境科学学术研讨会论文集[C].农业部环境保护科研监测所、中国农业生态环境保护协会:中国农业生态环境保护协会,2013:7
LI Tian-yuan, YUAN Xu-yin, ZHAO Xue-qiang, et al. Heavy metal migration and risk assessment of soils in typical polluted areas of southern Jiangsu [A]. Research and Monitoring Institute for Environmental Protection of the Ministry of Agriculture, China Agricultural Ecological Environment Protection Association. Proceedings of the Fifth National Symposium on Agricultural Environmental Science of the-of Agricultural Environment and Ecological Security [C]. Ministry of Agriculture, Scientific Research and Monitoring Institute for Environmental Protection, China Agricultural Ecological Environment Protection Association: China Agricultural Ecological Environment Protection Association, 2013: 7
- [10] 宋雪健,冷侯喜,张爱武,等.黑龙江省不同产地大米中矿物元素含量分析与比较[J].*黑龙江八一农垦大学学报*,2016, 28(3):66-70,128
SONG Xue-jian, LENG Hou-xi, ZHANG Ai-wu, et al. Analysis and comparison of mineral element content in rice from different origin in Heilongjiang province [J]. *Journal of August 1, Heilongjiang Agricultural Reclamation University*, 2016, 28(3): 66-70, 128
- [11] 谢凤婷,于果,宋春蕾,等.黑龙江不同产区精米中重金属铅、镉、铬含量状况调查[J].*食品工业*,2018,39(2):211-213
XIE Feng-ting, YU Guo, SONG Chun-lei, et al. A survey on the contents of heavy metals lead, cadmium and chromium in fine rice in different areas of Heilongjiang province [J]. *Food Industry*, 2018, 39(2): 211-213
- [12] Giri S, Singh A K. Human health risk assessment via drinking water pathway due to metal contamination in the groundwater of Subamarekha river Basin, India [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2015, 187(3): 63
- [13] Joint FAO/WHO Expert Committee. Food Additives Summary and Conclusion, JECFA/73/SC [R]. Geneva: WHO, 2010
- [14] Reffstrup T K, Larsen J C, Meyer O. Risk assessment of mixtures of pesticides. Current approaches and future strategies [J]. *Regulatory Toxicology & Pharmacology*, 2010, 56(2): 174-192
- [15] 张建辉,王芳斌,汪霞丽,等.湖南稻米镉和土壤镉锌的关系分析[J].*食品科学*,2015, 36(22):180-184
ZHANG Jian-hui, WANG Fang-bin, WANG Xia-li, et al. the relationship between cadmium and soil cadmium and zinc in Hunan rice [J]. *Food Science*, 2015, 36 (22): 180-184
- [16] 林小兵,周利军,王惠明,等.不同水稻品种对重金属的积累特性[J].*环境科学*,2018,39(11):360-368
LIN Xiao-bing, ZHOU Li-jun, WANG Hui-ming, et al. The characteristics of heavy metals accumulation in different rice varieties [J]. *Environmental Science*, 2018, 39(11): 360-368
- [17] 中华人民共和国国家发展和改革委员会.全国土壤污染状况调查公报 [EB/OL]. http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/qt/201404/t20140417_270670.htm,2014-04-17
National Development and Reform Commission of the People's Republic of China. National survey of soil pollution [EB/OL]. http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/qt/201404/t20140417_270670.htm, 2014-04-17

(下转第 195 页)