

延边朝鲜族自治州市售稻米 Pb·Cd 含量及其健康风险

王恒^{1,2}, 崔涤尘¹, 常文越¹, 张静静²

(1. 沈阳环境科学研究院, 辽宁沈阳 110169; 2. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林长春 130102)

摘要 [目的]评价吉林省延边朝鲜族自治州市售稻米 Pb、Cd 含量及其对人体健康的影响, 探讨当地居民食用稻米安全性。[方法]在延边州 8 个市随机购买 80 份粳稻精米, 采用石墨炉原子吸收法(GF-AAS)测定稻米样品中的 Pb 和 Cd 含量, 并以食品中重金属 Pb、Cd 每月可耐受摄入量(PTMI)为标准, 运用暴露模型进行健康风险评价。[结果]延边州稻米中重金属 Pb、Cd 含量平均值分别为 0.13 和 0.04 mg/kg, 有 10% 的稻米样品重金属 Pb 含量超过《食品安全国家标准-食品中污染物限量》(GB2762-2012)限值。延边州敦化、安图、和龙、龙井、图们 5 个市市售稻米中存在一定比例的重金属 Pb 污染。延边州市售稻米样品中 Pb、Cd 的 HQ 值均小于 1, 表明此次所检测的延边州市售稻米样品对居民没有健康风险。[结论]延边州市售部分稻米已出现重金属 Pb 污染, 未出现重金属 Cd 污染, 延边州居民通过稻米摄入的重金属 Pb、Cd 不会对其健康构成明显危害。

关键词 稻米; Pb; Cd; 健康风险; 食品安全

中图分类号 TS207.5 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)25-065-03

Contents and Health Risk Assessment of Lead and Cadmium in Rice from Markets of Yanbian Korean Autonomous Prefecture

WANG Heng^{1,2}, CUI Di-chen¹, CHANG Wen-yue¹ et al (1. Shenyang Academy of Environmental Sciences, Shenyang, Liaoning 110169, 2. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130102)

Abstract [Objective] To evaluate the contents and health risk assessment of lead and cadmium in rice from markets of Yanbian Korean Autonomous Prefecture, and to discuss the rice safety of local residents. [Method] Eighty samples were obtained randomly from markets of Yanbian eight cities. Lead and cadmium concentrations in rice samples were measured using graphite furnace atomic absorption spectrometer (GF-AAS). The metal pollution in rice was evaluated by single factor pollution index, and the metal health risk was assessed by exposure model. [Result] The concentrations of Pb and Cd in market rice were 0.13 and 0.04 mg/kg, respectively, in which 10% of the samples contained Pb exceeding the *China Health Standards for Food* (0.2 mg/kg). There were certain proportions of rice samples were contaminated by Pb from Dunhua, Antu, Helong, Longjing and Tumen Cities. The hazard quotients (HQ) of the health risk were all less than 1, indicating there were no potential health risk of Pb and Cd pollution to residents in Yanbian. [Conclusion] The Pb pollution exists but Cd pollution does not appear in rice from markets of Yanbian Korean Autonomous Prefecture. The accumulation of Pb and Cd in market rice is not a significant health risk to consumers of Yanbian Korean Autonomous Prefecture.

Key words Rice; Pb; Cd; Healthy risk; Food safety

我国是世界上水稻总产量最高的国家, 据统计, 2011 年我国稻谷产量为 2.01×10^8 t, 稻谷总产量排名世界第一^[1]。我国的饮食结构中, 稻米是城乡居民日常消费主要粮食品种, 年食用消费量在 1.72×10^8 t 左右。水稻容易吸收并积累土壤中的重金属, 通过食物链进入人体, 对人体健康产生危害, 稻米摄入成为居民重金属暴露的一项主要途径。研究表明, 长期食用受重金属污染的大米, 容易导致重金属慢性中毒^[2]。

早在 2002 年, 农业部稻米及制品质量监督检验测试中心对全国市场稻米进行安全性抽检。结果显示, 稻米中超标重金属最严重的是铅, 超标率 28.4%, 其次是镉, 超标率 10.3%^[3]。近年来, 湖南、四川、辽宁、广西、广东、江西等地陆续出现大米重金属污染相关报道, 并有相应人体重金属中毒症状出现。稻米重金属污染已经引起社会的广泛重视, 甚至有地区出台大米检测报告中要将重金属列为必检项目, 没有重金属检验合格证明, 不得采购和销售的相关规定。吉林省是我国粮食主产区之一, 水稻又是其粮食主要种植作物, 延边朝鲜族自治州城乡居民粮食消费以稻米为主, 且延边州水稻产地土壤已经有重金属污染出现^[4]。因此, 有必要对延边州市售稻米 Pb 和 Cd 含量情况及人体摄入的健康风险进

行评估。

1 材料与方法

1.1 材料 在吉林省延边朝鲜族自治州各地市场上随机购买 80 个稻米样品, 每个稻米样品 1.0 kg, 磨成粉末, 密封保存待分析。市售稻米的来源分为 2 类: 一类是购自商超里的零散稻米; 另一类是购自当地粮店的稻米。然后将所购买的稻米样品按相同地区购买的稻米归为一类, 全部样品均为粳稻精米。样品来源地分别是: 敦化、安图、和龙、龙井、延吉、汪清、图们、珲春, 每地各 10 个。

1.2 样品测定分析 市售稻米的分析方法采用密闭系统的微波消解法。分别称取 0.10~0.25 g 稻米粉末样品放入 100 mL 洗净后干燥的 PVC 消解管中, 加入 2 mL 浓 HNO₃ (优级纯), 静置过夜, 然后将消解管随机放入微波消解仪 (MARS5, CEM Microwave Technology Ltd. USA) 进行消解。消解程序如下: 5 min 内升温到 65 ℃, 保持 10 min; 再在 5 min 内继续升温到 85 ℃, 保持 10 min; 然后在 10 min 内升温到 95 ℃, 保持 30 min, 待消解系统降温到室温后取出, 用超纯水定容至 50 mL, 然后用滤纸过滤到干净的 PE 塑料瓶中。根据样品中 Pb 和 Cd 的含量和仪器的最低检测限, 采用石墨炉原子吸收法 (GF-AAS) 测定稻米样品中的 Pb 和 Cd 含量。所有玻璃瓶和塑料瓶都先用 10% HNO₃ (优质纯) 浸泡 12 h, 然后用超纯水洗涤。在样品消煮过程中, 同时进行空白和稻米 (GBW10010, 国家地球化学标准物质) 试验, 以确保消煮过程

作者简介 王恒 (1986-), 男, 吉林四平人, 工程师, 博士, 从事环境生态研究。

收稿日期 2016-07-13

及以后测定的准确度。Pb 和 Cd 的回收率分别为 96% ~ 104% 和 88% ~ 95%。

1.3 稻米中重金属 Pb、Cd 超标评价 依据《食品安全国家标准—食品中污染物限量》(GB2762—2012)^[5],采用单因子指数法对延边州稻米 Pb、Cd 进行污染评价^[6],其计算公式如下:

$$PI=\frac{c_i}{s_i}$$

(1)

式中, PI 为稻米中重金属的污染指数; i 代表不同重金属; c_i 为稻米中重金属的实测浓度 (mg/kg); s_i 为稻米中重金属的限量标准 (mg/kg); Pb、Cd 限量标准均为 0.2 mg/kg (GB2762—2012)。当 $PI\geq 1$ 时,说明稻米被重金属所污染;当 $PI<1$ 时,说明稻米未受到重金属污染。其中, $PI\leq 0.6$ 为优良级, $0.6<PI<1.0$ 为警戒级, $PI\geq 1.0$ 为污染级,且多种污染物时,以最高限制因素计算^[7]。

1.4 稻米中重金属 Pb、Cd 的健康风险评估

1.4.1 膳食暴露评估模型。暴露评估参照美国环境保护署 (USEPA) 发布的化学污染物健康风险评估模型,采用月暴露

量 (CDI) 对延边州稻米中重金属 Pb、Cd 对人群健康风险进行评估^[8]。暴露量评估公式如下:

$$CDI=\frac{Cf\times IR\times EF\times ED\times D}{BW\times AT}$$

(2)

式中, CDI 为重金属的月暴露量 [mg/(kg·月)]; Cf 为稻米中重金属的含量 (mg/kg); IR 为稻米日摄入量 (kg/d); EF 为暴露频率 (d/a); D 为每月天数 (d/月); ED 为暴露年限 (a); BW 为体重 (kg); AT 为平均时间,为 $ED\times 365$ (d)。

1.4.2 健康风险定量评估。以食品中重金属 Pb、Cd 每月可耐受摄入量 (PTMI) 为标准进行评价,通过重金属 Pb、Cd 膳食暴露量 CDI 和 Pb、Cd 的 PTMI 分别计算风险熵 (HQ),并以此表征稻米中重金属 Pb、Cd 的风险大小。当 $HQ\geq 1$ 时,说明稻米中重金属存在对人体健康产生不利影响的风险,并且风险随着数值的增大而升高;当 $HQ<1$ 时,说明稻米重金属不会对人体健康产生危害。风险熵计算公式如下:

$$HQ=\frac{CDI}{PTMI}$$

(3)

稻米中评估模型中相关参数详见表 1。

表 1 稻米中评估模型相关参数
Table 1 Parameters for evaluation model of rice samples

计算参数 Calculating parameter	数值 Numerical value	参考来源 Reference source
稻米每日摄入量 (IR) Rice daily intake	0.255 kg/d	中国人群暴露参数手册 ^[9]
暴露频率 (EF) Exposed frequency	350 d/a	USEPA ^[10]
暴露年限 (ED) Exposed years	76.18 a	中国人群暴露参数手册 ^[9]
平均体重 (BW) Average body weight	67.2 kg	中国人群暴露参数手册 ^[9]
Pb 每月可耐受摄入量 (PTMI) Monthly tolerable intake of Pb	0.1 mg/(kg·月)	FAO/WHO ^[11]
Cd 每月可耐受摄入量 (PTMI) Monthly tolerable intake of Cd	0.025 mg/(kg·月)	FAO/WHO ^[12]

2 结果与分析

2.1 稻米中重金属 Pb、Cd 含量分布情况 图 1 是延边州各地市场购买的 80 个稻米样品中重金属 Pb、Cd 含量分析测定结果。由图 1a 可知,延边州稻米中重金属 Pb 的检出率达到 100%,含量范围在 0.02 ~ 0.32 mg/kg,平均值为 0.13 mg/kg,

有 10% 的稻米样品重金属 Pb 含量超过《食品安全国家标准—食品中污染物限量》(GB2762—2012) 中 Pb 限量值 0.2 mg/kg,超标稻米分别购于敦化、安图、和龙、龙井,最大值达到 0.32 mg/kg,约为限量值的 1.6 倍。

从图 1b 可以看出,延边州稻米中重金属 Cd 检出率达到

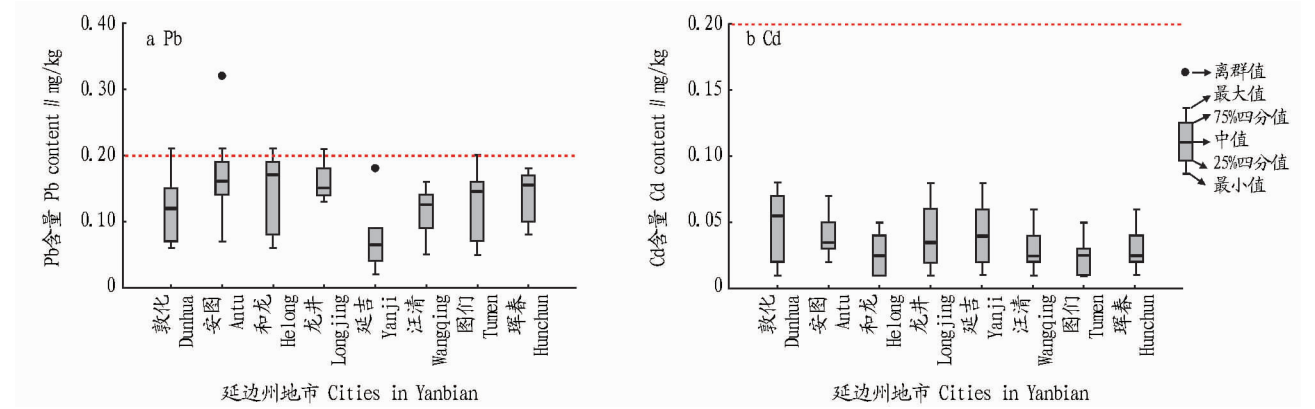


图 1 延边州市售稻米重金属 Pb、Cd 含量水平

Fig.1 Contents of Pb and Cd in market rice from Yanbian Korean Autonomous Prefecture

100%,含量范围在 0.01 ~ 0.08 mg/kg,平均值为 0.04 mg/kg,没有稻米样品重金属 Cd 含量超过《食品安全国家标准—食品中污染物限量》(GB2762—2012) 中 Cd 限量值 0.2 mg/kg。

2.2 稻米中重金属 Pb、Cd 超标评价 以《食品安全国家标准—食品中污染物限量》(GB2762—2012) 中 Pb、Cd 限量 0.2 mg/kg 为标准,采用单因子指数法对延边州稻米 Pb、Cd

进行污染评价,运用 PI 值来评定延边州市售稻米受到重金属 Pb、Cd 污染情况,按照公式(1)计算结果如表 2 所示。

表 2 延边州市售稻米单因子污染指数值及各等级比例
Table 2 Single factor pollution indexes and grade proportions in market rice samples from Yanbian Korean Autonomous Prefecture

地区 Region	PI 值范围 Range of PI		优良 Excellent %	警戒 Alert %	污染 Polluted %
	Pb	Cd			
敦化 Dunhua	0.30 ~ 0.75	0.05 ~ 0.40	50	40	10
安图 Antu	0.35 ~ 1.60	0.14 ~ 0.35	20	40	20
和龙 Helong	0.30 ~ 1.05	0.05 ~ 0.25	30	50	20
龙井 Longjing	0.65 ~ 1.05	0.05 ~ 0.40	0	80	20
延吉 Yanji	0.10 ~ 0.90	0.06 ~ 0.40	80	20	0
汪清 Wangqing	0.25 ~ 0.80	0.04 ~ 0.30	40	60	0
图们 Tumen	0.25 ~ 1.00	0.05 ~ 0.25	40	50	10
珲春 Hunchun	0.40 ~ 0.90	0.04 ~ 0.30	30	70	0

由表 2 可知,延边州敦化、安图、和龙、龙井、图们 5 市市售稻米中存在重金属 Pb 污染,污染稻米所占比例分别为 10%、20%、20%、20%、10%,延吉、汪清、珲春市售稻米虽然不存在重金属 Pb 污染,但是均有一定比例警戒级别样品存在,仍需相应关注。延边州各地市售稻米均未受到重金属 Cd 污染。

2.3 稻米中重金属 Pb、Cd 的健康风险评估 利用延边州各地市售稻米中重金属 Pb、Cd 含量的平均值,根据公式(2)、(3)计算得到延边州市售稻米样品中重金属 Pb、Cd 的 CDI 和 HQ 值。由表 3 可知,延边州市售稻米样品中 Pb、Cd 的 HQ 值均小于 1,表明此次所检测的延边州市售稻米样品对居民没有健康风险,即延边州居民每月通过稻米这一途径摄入的重金属 Pb、Cd 在安全范围内,不会对其健康构成明显危害。

表 3 延边州市售稻米中 Pb、Cd 的 CDI 和 HQ 值
Table 3 CDI and HQ values of Pb and Cd of market rice samples from Yanbian Korean Autonomous Prefecture

地区 Region	CDI//mg/(kg·月)		HQ	
	Pb	Cd	Pb	Cd
敦化 Dunhua	1.28×10^{-2}	5.35×10^{-3}	1.28×10^{-1}	2.14×10^{-1}
安图 Antu	1.81×10^{-2}	4.48×10^{-3}	1.81×10^{-1}	1.79×10^{-1}
和龙 Helong	1.58×10^{-2}	2.84×10^{-3}	1.58×10^{-1}	1.14×10^{-1}
龙井 Longjing	1.75×10^{-2}	4.48×10^{-3}	1.75×10^{-1}	1.79×10^{-1}
延吉 Yanji	8.62×10^{-3}	4.48×10^{-3}	8.62×10^{-2}	1.79×10^{-1}
汪清 Wangqing	1.26×10^{-2}	3.27×10^{-3}	1.26×10^{-1}	1.31×10^{-1}
图们 Tumen	1.36×10^{-2}	2.73×10^{-3}	1.36×10^{-1}	1.09×10^{-1}
珲春 Hunchun	1.56×10^{-2}	3.17×10^{-3}	1.56×10^{-1}	1.27×10^{-1}

3 结论与讨论

水稻作为我国第一大粮食作物,目前其总产、种植面积和单产分别居世界第 1、2 和 7 位^[1,13],我国有超过 60% 的人口以大米为主食^[14-15]。稻田重金属污染不仅导致水稻生长发育受阻,产量下降,而且稻米的品质与人们的健康密切相

关,水稻中重金属通过食物链在人体中积累,可以导致精神系统紊乱和免疫力低下等疾病^[16],对人的生命和健康构成严重威胁,直接影响农产品安全。

该研究对延边朝鲜族自治州全部区域(敦化、安图、和龙、龙井、延吉、汪清、图们、珲春)的市售稻米进行抽样检测,运用单因子污染指数法进行稻米重金属 Pb 和 Cd 的污染评价,应用暴露模型对稻米重金属 Pb 和 Cd 的摄入健康风险进行评估。结果表明,所检市售稻米中未出现重金属 Cd 污染但出现重金属 Pb 污染,延边州居民通过稻米摄入的重金属 Pb、Cd 不会对其健康构成明显危害。此结果与孙昕炆对我国大米的重金属水平分析及其健康风险评估中对东北区大米的分析结果基本一致^[17]。

尽管该研究中稻米重金属 Pb 和 Cd 对延边州居民健康不构成明显危害,但是居民重金属摄入除稻米外仍然存在其他食品途径,以及其他手-口接触途径和暴露风险,所以延边朝鲜族自治州重金属污染危害仍需持续关注。

参考文献

[1] Food and Agriculture Organization of the United Nations(FAO). FAO statistical yearbook 2014; Asia and the Pacific food and agriculture[EB/OL]. [2016-01-12]. <http://www.fao.org/3/a-i3590e.pdf>.

[2] PATRA M, BHOWMIK N, BANDOPADHYAY B, et al. Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance[J]. Environ Exp Bot, 2004, 52: 199-233.

[3] 程旺大, 张国平, 姚海根, 等. 晚梗稻籽粒中砷、镉、铬、镍、铅等重金属含量的品种和粒位效应[J]. 中国水稻科学, 2005(19): 273-279.

[4] 王恒. 吉林省土壤-水稻系统环境质量分析评估及重金属复合污染研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2014.

[5] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准食品中污染物限量: GB2762—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.

[6] 陈怀满. 环境土壤学[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 522.

[7] 中华人民共和国农业部. 农、畜、水产品污染监测技术规范: NY/T398—2000[S]. 北京: 中国标准出版社, 2000.

[8] USEPA. Risk assessment guidance for superfund, vol. I; Human health evaluation manual (Part A); EPA 540/1-89/002[R]. Washington, D. C.: Environmental Protection Agency, 1989: 35-52.

[9] 环境保护部. 中国人群暴露参数手册[M]. 北京: 中国环境出版社, 2013.

[10] USEPA. Exposure factors handbook; EPA 540/1-89/002[R]. US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, USEPA, 1997: 104-126.

[11] The joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO Technical Report Series No. 930. Evaluation of certain food additives and contaminants[R]. Geneva: WHO, 2011.

[12] FAO/WHO. Safety evaluation of certain food additives and contaminants (Sevnty-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives)[R]. WHO Technical Report Series, No. 64, 2011.

[13] 胡培松, 翟虎渠, 万建民. 中国水稻生产新特点与稻米品质改良[J]. 中国农业科技导报, 2002(4): 33-39.

[14] 中国国家统计局. 中国 2015 年统计年鉴[EB/OL]. [2016-01-08]. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2010/indexch.htm>.

[15] YANG Q W, LAN C Y, WANG H B, et al. Cadmium in soil-rice system and health risk associated with the use of untreated mining wastewater for irrigation in Lechang, China[J]. Agric Water Manag, 2006, 84: 147-152.

[16] COEN N, MOTHERSTILL C, KADHIM M. Heavy metals of relevance to human health induce genomic instability[J]. J Pathol, 2001, 195: 293-299.

[17] 孙昕炆. 中国大米重金属水平分析及其健康风险评估[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.