

福建省稻米镉含量及其健康风险

涂杰峰^{1,2}, 刘兰英^{1,2}, 罗 钦^{1,2}, 陈涵贞^{1,2}, 伍云卿^{1,2}, 陈卫伟^{1,2}, 宋永康^{1,2},
黄 薇^{1,2}, 姚清华^{1,2}

(1.福建省农业科学院中心实验室, 福州 350003; 2.福建省农业科学院农业质量标准与检测技术研究所, 福州 350003)

摘 要:为评价福建省稻米中重金属镉所引起的健康风险,于2013年在全省区域共采集1458份稻米样品,采用石墨炉原子吸收光谱法(GF-AAS)检测稻米中镉含量,应用单因子污染指数法进行稻米镉超标评价,并用非参数概率法对稻米中镉的膳食风险进行评估。结果表明,所检稻米的重金属镉含量为0.001~1.158 mg·kg⁻¹,仅有5%左右的样品超出了我国食品卫生标准值(0.2 mg·kg⁻¹);稻米中镉的风险熵(HQ)在95%、97.5%和99.5%高暴露位点分别为1.34、1.87和3.56,均大于1,潜在风险较大,并且晚稻对镉的吸收能力高于中稻和早稻。表明通过食用稻米途径,福建部分地区居民存在重金属镉过量积累的风险,应引起重视并对稻米中的镉含量进行追踪监测。

关键词:稻米;镉;污染分布;健康风险评估;福建省

中图分类号:S511 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2015)04-0695-07 doi:10.11654/jaes.2015.04.013

Contents and Health Risk Assessment of Cadmium in Milled Rice in Fujian Province

TU Jie-feng^{1,2}, LIU Lan-ying^{1,2}, LUO Qin^{1,2}, CHEN Han-zhen^{1,2}, WU Yun-qing^{1,2}, CHEN Wei-wei^{1,2}, SONG Yong-kang^{1,2}, HUANG Wei^{1,2},
YAO Qing-hua^{1,2}

(1. Central Laboratory, Fujian Academy of Agricultural Science, Fuzhou 350003, China; 2. Institute for Agricultural Standards and Testing Technology, Fujian Academy of Agricultural Science, Fuzhou 350003, China)

Abstract: Cadmium (Cd) accumulated in milled rice has adversely affected human health. Here we collected 1458 rice samples from Fujian Province in 2013 to investigate the health risk caused by Cd in milled rice. Cadmium concentrations in rice samples were measured using graphite furnace atomic absorption spectrometer (GF-AAS). The metal pollution in milled rice was evaluated by single factor pollution index, and the metal health risk was assessed by nonparametric probability method. Cadmium concentrations in all samples ranged from 0.001 to 1.158 mg·kg⁻¹, in which only 5% of the samples contained Cd exceeding the China Health Standards for Food (0.2 mg·kg⁻¹). The hazard quotient (HQ) of the health risk was 1.34, 1.87 and 3.56 for 95%, 97.5% and 99.5% exposure, respectively, all greater than 1, indicating the potential risk of Cd pollution. Moreover, late-season rice had higher Cd absorption than early and mid-season rice did. The present study suggests that the accumulation of Cd in milled rice is a potential health risk to consumers of some areas in Fujian Province. Considering the potential health risk, it is necessary to implement yearly monitoring of Cd contamination in milled rice in Fujian Province.

Keywords: milled rice; cadmium; contamination distribution; health risk assessment; Fujian Province

重金属镉在自然界中广泛分布,它可以通过植物根系的吸收,最终在农产品中累积。进入食品中的镉主要在人体的肾脏和肝脏中积累,且长期暴露会引起肺炎、肺气肿、肠胃炎,在骨骼中积累会造成骨骼软

化、变形、骨折、萎缩^[1-2],从而对人类健康造成不同程度的威胁。环境中的镉可经过呼吸道吸入、皮肤接触、膳食等多种途径进入人体,其中食物消费是人体暴露的最主要途径。在我国的饮食结构中,稻米是城乡居民日常消费的主要粮食作物。水稻对镉的耐受力强,但也是极易吸收和积累镉的粮食作物^[3],因此有必要对稻米镉污染的总体状况及人体摄入量的健康风险进行评估。

收稿日期:2014-11-21

基金项目:农业部稻米质量安全重金属风险评估重大专项(20130119-57);福建省属公益类优势领域重点项目(2014R1025-1)

作者简介:涂杰峰(1960—),男,福建明溪人,副研究员,主要从事农产品与土壤重金属污染研究。E-mail: tujiefeng@hotmail.com

目前,国内外学者已就重金属镉摄入量的健康风险评估开展了一些工作。王振兴等^[4]分析了韶关市大宝山矿周边的土壤、蔬菜及大米中镉的含量状况,并对其相应风险进行了分析,发现蔬菜和稻米中的镉含量分别高出限量标准的7倍和5倍,其中对镉暴露的主要贡献来源于稻米。Chabukdhara等^[5]研究了印度Ghaziabad城市土壤中重金属的污染情况,分别评估了儿童和成年人的重金属暴露风险,发现该地区儿童存在较大的镉过量摄入风险。上述研究都是基于点估计法对特定地区开展的调查,无法获取不同概率下的膳食风险大小,而且没有考虑到测量数据的不确定性和变异性。福建省水稻种植面积超过8200 km²,年产量503.8万t,约占中国水稻总产量的2.5%^[6],但至今尚未对全省区域稻米中重金属镉的风险进行系统评估。

为此,本文以福建全省区域的水稻稻米为研究对象,全面测定了稻米样品中的重金属镉含量,应用单因子污染指数法、概率模型分别进行稻米超标评价和膳食暴露评估,并通过风险熵推断稻米中的镉是否对人体健康造成危害,以期能够更好地了解福建地区水稻稻米暴露于重金属镉的基本状况,同时可以为引导市场消费和公众卫生健康提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

本研究于2013年的收获季节,通过田间现场抽样和委托县级农产品质检机构抽样方式,分别在福建省的福州市、莆田市、三明市、泉州市、南平市、龙岩市、宁德市和漳州市各抽样45、27、36、27、75、1167、54份和27份,共计1458份稻谷样品,包括早稻489份、中稻483份和晚稻486份。所选大部分县市的水稻产量均在10万t以上。其中龙岩是福建水稻的主产县市,2012年稻谷播种面积约占全省的18.2%,产量约占全省的20.0%(参考中国龙岩网),因此加大了龙岩市的稻谷样品采集量。据福建统计局的数据显示:2012年福建省早稻播种面积占全省的24.3%,产量占全省的24.0%;中稻播种面积占全省的37.1%,产量占全省的38.3%;晚稻播种面积占全省的38.6%,产量占全省的37.7%(图1)。采样方式为田间现场抽样,在水稻种植面积3.33 hm²以上的田块选择有代表性的稻田5块,每块田采用梅花点取样法,每点取代表性2株左右,共50株混合为一个稻谷样品,每份稻谷样品量保证干燥后籽粒总量在1 kg以上。

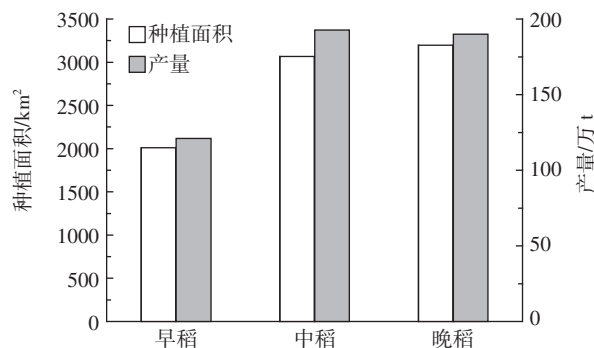


图1 2012年福建省水稻品种种植情况(数据来源于福建统计局)

Figure 1 Planting area and yields of different rice varieties in Fujian in 2012

1.2 样品的前处理与测定

稻谷样品用脱壳机(JLG-II,成都粮食仪器厂)脱壳,然后通过精米机(SDJ-100,杭州汇尔仪器公司)将糙米脱糠得到精米,再将精米用磨样机(JSFM-I,成都粮食仪器厂)磨成粉末,贮于干净塑封袋中备用。

样品消解过程参考GB/T 5009.15—2003中的湿法消解进行。称取0.2 g粉碎均匀的样品与8.0 mL硝酸溶液混合,加热至110℃消化到1 mL左右,冷却后加入2 mL双氧水溶液,再经110℃消化至1 mL左右,取下定容至10 mL,上机待测。同时做空白试验,每个样品均设2个重复,同时在测定过程中不同批次前处理的样品均回测1次标准溶液。分析所用的试剂均为优级纯,所用的水均为超纯水。检测仪器使用PerkinElmer公司生产的石墨炉原子吸收光谱仪(GF-AAS, PinAAcle 900Z)。样品分析过程中加入大米标准物质GBW10010和GBW10045进行对照试验,以确保数据的准确性和监测仪器的稳定性,标准物质均来自国家标准物质中心。从表1可以看出,标准物质GBW10010和GBW10045测定数据较集中,并且平均值接近标准值,说明精密度高,准确度也很高,符合质控要求。

1.3 稻米中重金属镉的超标评价

采用单因子污染指数法对福建省稻米镉进行污染评价,其计算公式如下^[7]:

$$PI = \frac{C_i}{S_i}$$

式中:PI为稻米中重金属镉的污染指数; C_i 为稻米中重金属镉的实测浓度,mg·kg⁻¹; S_i 为稻米中重金属镉的限量标准,mg·kg⁻¹。当PI≥1时,说明稻米被重金属镉所污染;当PI<1时,说明稻米未受到重金属镉污染。

表 1 大米标准物质镉含量
Table 1 Contents of Cd in rice reference material

标准物质 Reference material	Cd/mg·kg ⁻¹					平均值 Average value/ mg·kg ⁻¹	标准值 Standard value/ mg·kg ⁻¹
	1	2	3	4	5		
GBW10010	0.084	0.085	0.087	0.088	0.084	0.086±0.002	0.087±0.005
GBW10045	0.193	0.185	0.186	0.188	0.184	0.187±0.004	0.190±0.020

1.4 稻米中重金属镉的健康风险评估

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)对福建省稻米中重金属镉对人群健康风险进行评估。暴露量评估公式如下^[8]:

$$CDI=\frac{Cf\times IR\times EF\times ED\times D}{BW\times AT\times 365}$$

式中:CDI 为镉元素的月暴露量,mg·kg⁻¹·月⁻¹;Cf 为稻米中镉的含量,mg·kg⁻¹;IR 为稻米日摄入量,kg·d⁻¹;EF 为暴露频率,d·a⁻¹;D 为每月天数,d·月⁻¹;ED 为暴露年限,a;BW 为体重,kg;AT 为平均时间,d。

1.4.2 健康风险定量评估

以食品中镉每月可耐受摄入量(PTMI)为标准进行评价,通过膳食暴露量 CDI 和镉的 PTMI 计算风险熵(HQ),并以此来表征稻米中重金属镉的风险大小。当 HQ<1 时,说明稻米中的镉不会对人体健康产生危害;当 HQ≥1 时,表明稻米中的镉存在对人体健康产生不利影响的危险,并且这种风险随着数值的增大而增大。风险熵计算公式如下^[9]:

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

应用基于 Monte Carlo 模拟技术的 Crystal Ball 软件对福建省稻米中重金属镉的 CDI 和 HQ 进行模拟,每次模拟过程循环次数均选择 10 000 次。稻米中镉的模拟概率模型相关参数详见表 2。

在 Monte Carlo 模拟过程中,由于 100%的百分位数是个理论极值,因此在风险评估过程中,通常采用

HQ 的平均值、中位数、95%、97.5%和 99.5%高暴露位点作为指标进行分析^[14]。

1.5 数据处理

采用 Origin Pro9.0 和 Crystal Ball 软件进行数据和统计分析,同时完成相关图表制作。

2 结果与分析

2.1 稻米中镉含量的分布情况

1458 份稻米样品的镉检测结果(图 2)表明:稻米中镉的检出率达到 100%,所测样品的镉含量范围在 0.001~1.158 mg·kg⁻¹ 之间,并且呈高度右偏分布。根据《食品中污染物限量标准》(GB 2762—2012),大米中镉 ≤0.2 mg·kg⁻¹^[15],对照图 2 中的数据可知,所抽检的稻米大部分是符合标准要求,但其中仍有部分样品含量超出限量标准。由此可见,福建省稻米中镉含量的总体合格率比较高。镉含量超标的稻米主要集中在龙岩、三明和南平等地区,其中镉含量的最大值达到了 1.158 mg·kg⁻¹,约为限量标准的 6 倍。

2.2 稻米中重金属镉的超标评价

应用基于 Monte Carlo 模拟技术的 Crystal Ball 软件对所得到的稻米镉含量检测数据进行概率分布拟合,结果如图 3 所示。图中左侧的纵坐标表示概率累积曲线的概率值,右侧的纵坐标表示频率分布直方图的频率密度值,下同。

由图 3 拟合结果可以看出,稻米中重金属镉含量

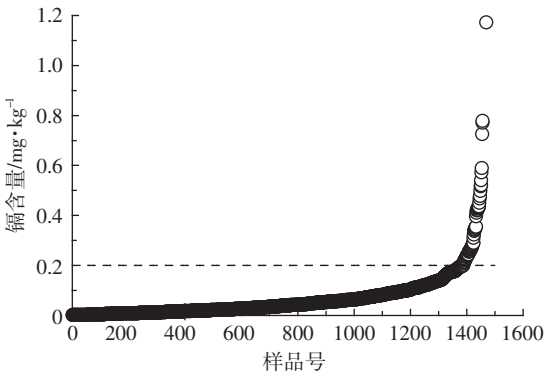


图 2 稻米样品中镉含量分布

Figure 2 Distribution of Cd contents in rice samples

表 2 稻米中镉的模拟概率模型参数

Table 2 Parameters for probability model of Cd in rice samples		
计算参数 Calculation Parameters	数值 Value	来源 Source
稻米每日摄入量 IR/kg·d ⁻¹	0.337	Li 等 ^[10]
暴露频率 EF/d·a ⁻¹	350	USEPA 等 ^[11]
暴露年限 ED/a	70	USEPA 等 ^[11]
平均时间 AT/d	70	USEPA 等 ^[11]
平均体重 BW/kg	60	Singh 等 ^[12]
镉每月可耐受摄入量 PTMI/mg·kg ⁻¹ ·月 ⁻¹	0.025	曾艳艺等 ^[13]

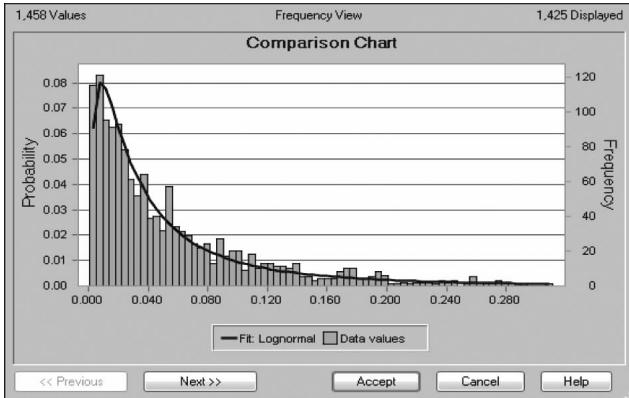


图3 稻米中重金属镉含量数据分布拟合情况

Figure 3 Fitting distribution of cadmium contents in rice samples

数据服从对数正态分布,绝大多数稻米中镉含量相对较低。应用单因子污染指数 PI 来评定福建地区稻米受到镉污染的情况,采用分项污染指标对测定数据进行处理,以增加分析结果的精度,PI 的概率分布结果如图 4 所示。

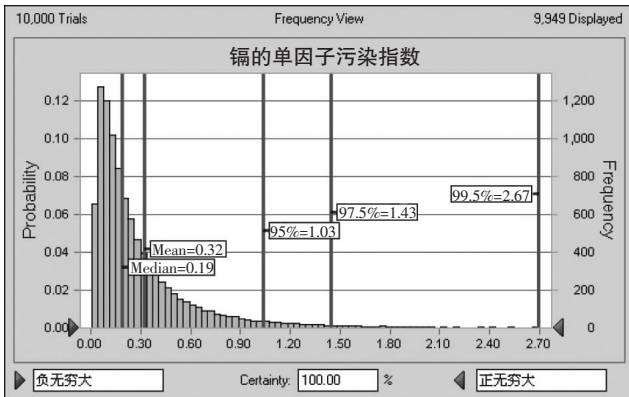


图4 稻米重金属镉的单因子污染指数

Figure 4 Index of cadmium pollution in rice samples

单因子污染指数能直观地反映稻米是否受到重金属污染。从图 4 可以看出,福建省稻米镉的 PI 值在绝大多数百分位数上都小于 1,而在 95%、97.5% 和 99.5% 高暴露位点的 PI 值都大于 1,说明抽样区域中只有部分稻米受到了重金属镉污染,并且受镉污染样品的概率仅为 5% 左右。

2.3 稻米中重金属镉的暴露评估

参照表 2 中的相关参数,利用基于 Monte Carlo 模拟的 Crystal Ball 软件对稻米中镉的 CDI 进行模拟,结果如图 5 所示。

福建省稻米中镉的 CDI 模拟结果显示:居民摄食稻米中镉的 CDI 平均值为 $1.04\text{E}-02 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{月}^{-1}$,中位数为 $6.06\text{E}-03 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{月}^{-1}$,95%、97.5% 和

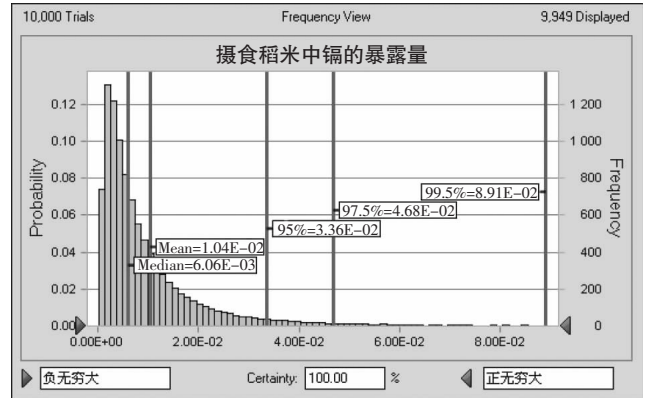


图5 稻米镉月暴露量概率分布情况

Figure 5 Probability distribution of CDI for cadmium in rice samples

99.5% 高暴露位点镉的 CDI 分别为 $3.36\text{E}-02 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{月}^{-1}$, $4.68\text{E}-02 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{月}^{-1}$, $8.91\text{E}-02 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{月}^{-1}$ 。将稻米镉 CDI 与 FAO/WHO 食品添加剂联合专家委员会 (JECFA) 推荐的镉 PTMI (表 2) 进行比较,发现通过食用稻米途径,稻米中镉的 CDI 在绝大多数百分位数上都要小于 PTMI,但其高暴露位点的暴露量均超过镉的 PTMI。

2.4 稻米中重金属镉的健康风险评估

在 CDI 分析的基础上,采用 Crystal Ball 软件模拟通过食用稻米途径摄入重金属镉的 HQ 概率分布,结果如图 6 所示。

稻米中镉的 HQ 模拟结果显示:福建省稻米中镉 HQ 的平均值为 $4.18\text{E}-01$,中位数为 $2.43\text{E}-01$,高暴露位点 95%、97.5% 和 99.5% 上的 HQ 值分别为 1.34、1.87 和 3.56。表 3 将不同百分位镉的 HQ 值进行了统计,发现福建省稻米镉的 HQ 值在绝大多数百分位数上都要小于 1,因此本次所检的大部分稻米中镉的含量对普通人群是没有风险的,但稻米中镉的高暴露位

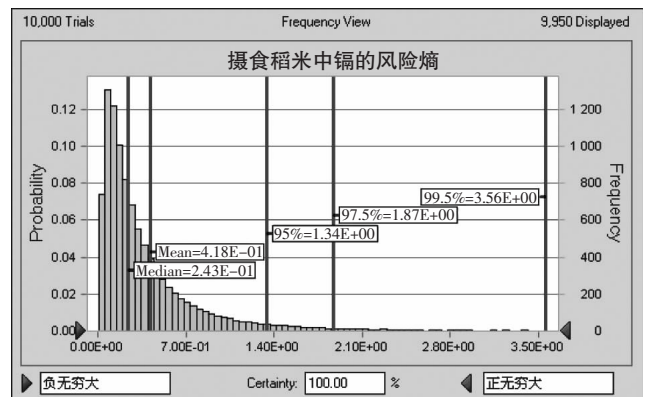


图6 稻米中镉风险熵评估结果

Figure 6 Result of risk assessment of cadmium in rice samples

表 3 稻米中镉的 CDI 和 HQ 百分位数

Table 3 Percentiles of CDI and HQ of cadmium in rice samples

百分位数 Percentile	镉月均暴露量 CDI/ mg·kg ⁻¹ ·月 ⁻¹	镉风险熵 HQ
10%	1.59E-03	6.38E-02
20%	2.51E-03	1.01E-01
30%	3.50E-03	1.40E-01
40%	4.64E-03	1.86E-01
50%	6.06E-03	2.43E-01
60%	7.90E-03	3.16E-01
70%	1.05E-02	4.19E-01
80%	1.46E-02	5.83E-01
90%	2.30E-02	9.21E-01
100%	4.05E-01	1.62E+01

点百分位上的 HQ 值均大于 1。以 HQ 大于 1 时可能对人体健康产生风险来评估,通过食用稻米对普通人群带来镉危害的概率约为 8.67%。

2.5 不同季别稻米镉吸收累积量比较

通过 Monte Carlo 模拟了不同季别摄食稻米中镉的 HQ,初步比较了不同季别稻米重金属镉的积累差异(表 4)。从表 4 可以看出,晚稻稻米镉 HQ 在高暴露位点上的值均为最大,中稻次之,早稻最低,风险概率顺序为早稻<中稻<晚稻,说明不同季别水稻间稻米镉积累含量存在一定差异,而晚稻对镉的吸收积累能力更强。

3 讨论

稻米是我国居民的主要消费食品,随着人们生活水平的不断提高,稻米的健康风险问题也越来越受到重视。本研究对福建全省区域(福州、莆田、三明、泉州、南平、龙岩、宁德和漳州)的稻米进行了抽检,运用单因子污染指数法进行稻米污染评价,同时基于 Monte Carlo 模拟的 Crystal Ball 软件对稻米中镉的健康风险进行了全面评估。研究结果表明,所检稻米中仅有部分样品受到了重金属镉污染,但通过食用稻米这条途径,福建居民存在重金属镉过量积累的风险。

表 4 不同季别水稻稻米中镉的风险熵及风险概率

Table 4 HQ and risk probability of cadmium in different season rice samples

类别 Category	百分位数 Percentiles			风险概率 Risk probability
	95%	97.5%	99.5%	
早稻	9.82E-01	1.38E+00	2.63E+00	4.84%
中稻	1.34E+00	1.87E+00	3.52E+00	8.61%
晚稻	1.63E+00	2.17E+00	3.88E+00	13.04%

本研究结果可以更为真实地反映福建地区稻米重金属镉污染的状况及膳食暴露的潜在风险,以期更好地保障人群健康。

从本研究中的稻米镉超标情况来看,稻米中的镉仅有约 5%超出我国食品卫生标准值($0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,图 2),可见虽然稻米中的镉含量总体处于安全水平,但仍然有部分样品存在安全隐患,说明福建省部分区域稻米的生长环境已经受到了一定程度的镉污染,这与我国其他省份报道结果基本一致。张良运等^[16]对南方江西、湖南、安徽和广东等典型产地稻米重金属含量进行分析,结果显示,南方部分产地稻米中镉的含量有相当比例超过国家食品卫生标准限量值,消费人群存在不同程度的镉暴露风险。本次调查分析结果显示,福建省稻米镉超标的样品主要集中在龙岩、三明和南平等地区,其原因可能与这些区域的地质和土壤性质有关。任荣富等^[17]通过研究重金属在土壤与稻米中的分布及其相关性中发现,土壤酸碱度直接影响生物对重金属的吸收,土壤 pH 值为 5.0 时,稻米中镉含量达最高值,pH 值为 5.65 时稻米含镉量为最小,并随土壤酸度减弱而降低。另外,土壤中肥料应用情况及有机质含量等因素也都影响着土壤对重金属的吸收,从而间接影响土壤中重金属对种植作物的生物毒性^[18]。因此,为控制稻米中重金属镉污染,应当优先对土壤重金属污染的治理加以考虑。有关稻米-土壤中镉含量的相关性问题有待进一步研究。

本研究首次使用国际上普遍采用的非参数概率法对福建省稻米镉进行了风险评估,概率评估模型主要通过 Monte Carlo 模拟来量化数据的变异性。许多研究由于缺乏大量的基础数据,一般采用计算的方式得到人群平均风险值^[19-24],这样就产生了很大的不确定性,并且评估结果也不具有代表性。Monte Carlo 模拟通过用计算机多次的运算,采用随机抽样方式从重金属含量数据中抽取随机数来模拟个体的暴露量,拟合出的风险更加接近实际,近年来也逐渐在农产品风险评估中使用。Kim 等^[25]通过概率模型对韩国人口饮食摄入镉的情况进行了研究,发现食用稻米是人群镉暴露的主要来源,稻米中镉含量及稻米消费量对镉暴露的贡献较大。苏倩怡^[26]根据收集到的 1044 个贝类样品的检测数据,建立了贝类中重金属镉风险评估中膳食暴露非参数概率评估模型。本研究的评估结果表明,通过食用本地稻米,福建居民存在重金属镉过量积累的风险概率达到了 8.67%左右,这一评估结果可能存在一定的偏差。主要原因是本次评估并没有在当

地开展膳食消费量调查,缺乏完整的稻米膳食消费量信息,评估模型中使用的稻米消费量和相关参数均参考了文献报道值,尤其是稻米消费量可能与镉暴露的程度有很大的关系。因此,为减少健康风险的发生概率,可以优先考虑在日常饮食中减少稻米的摄入量。本研究结果还表明,晚稻稻米镉积累高于中稻和早稻,即水稻对镉的吸收累积受季别的影响较大,这可能与不同季别水稻对镉的吸收累积量或栽培季节的气候环境不同有关。

此外,由于重金属镉进入人体的方式有很多种,如大气呼吸、饮用水和外界接触等,而本次研究中仅考虑膳食途径作为单一的暴露源进行评估,未考虑其他途径摄入重金属镉的影响,导致评估结果可能存在一定的不确定性。因此,今后还需要进一步完善模型和评估中涉及的相关参数,使风险评估结果更为全面和可靠。

4 结论

(1)福建地区稻米的镉污染状况总体较轻,与《食品中污染物限量标准》(GB 2762—2012)中的限量值相比较,95%左右的样品中镉含量低于限量标准。

(2)就重金属镉引起的健康风险而言,通过食入途径对普通人群带来镉危害的概率约为8.67%,而实际镉的超标率仅为5%左右,可能与稻米每日摄入量过多有关。因此,建议相关部门加强对居民合理均衡膳食的宣传,控制稻米日摄入量,以降低其对人体膳食健康的影响。

(3)不同季别稻米中的镉含量存在一定差异,总体上早稻对镉的吸收能力比中稻和晚稻低,因此可以考虑加大早稻的种植比例,以降低重金属镉的暴露风险。

参考文献:

- [1] Järup L, Åkesson A. Current status of cadmium as an environmental health problem[J]. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 2009, 238(3):201–208.
- [2] Järup L. Hazards of heavy metal contamination[J]. *British Medical Bulletin*, 2003, 68(1):167–182.
- [3] 彭 华,戴金鹏,纪雄辉,等.稻田土壤与稻米中的镉含量关系初探[J]. *湖南农业科学*, 2013(7):68–72.
PENG Hua, DAI Jin-peng, JI Xiong-hui, et al. Correlation between cadmium content in paddy soil and in rice[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2013(7):68–72.
- [4] Wang Z X, Hu X B, Xu Z C, et al. Cadmium in agricultural soils, vegetables and rice and potential health risk in vicinity of Dabaoshan Mine in Shaoguan, China[J]. *Journal of Central South University*, 2014, 21(5):2004–2010.
- [5] Chabukdhara M, Nema A K. Heavy metals assessment in urban soil around industrial clusters in Ghaziabad, India: Probabilistic health risk approach[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2013, 87:57–64.
- [6] 福建统计局. 福建统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社, 2012:278–285.
Fujian Province Bureau of Statistics. Fujian statistical yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2012:278–285.
- [7] 孟忠常, 吴 迪, 邓 琴, 等. 贵州典型铅锌矿区土壤重金属污染特征与生态危害风险评价[J]. *贵州农业科学*, 2012, 40(8):218–221.
MENG Zhong-chang, WU Di, DENG Qin, et al. Characteristics of heavy metal pollutions in soils of typical lead–zinc mining areas in Guizhou Province and the ecological risk assessment[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2012, 40(8):218–221.
- [8] USEPA. Risk assessment guidance for superfund. Volume I: Human health evaluation manual (Part E, supplemental guidance for dermal risk assessment)[R]. Washington DC: USEPA, 2004.
- [9] Cao H, Chen J, Zhang J, et al. Heavy metals in rice and garden vegetables and their potential health risks to inhabitants in the vicinity of an industrial zone in Jiangsu, China[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2010, 22(11):1792–1799.
- [10] Li G, Sun G X, Williams P N, et al. Inorganic arsenic in Chinese food and its cancer risk[J]. *Environment International*, 2011, 37(7):1219–1225.
- [11] USEPA. Exposure factors handbook[R]. Washington DC: Office of Research and Development, USEPA, 1997:104–126.
- [12] Singh A, Sharma R K, Agrawal M, et al. Health risk assessment of heavy metals via dietary intake of foodstuffs from the wastewater irrigated site of a dry tropical area of India[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2010, 48(2):611–619.
- [13] 曾艳艺, 赖子尼, 许玉艳. JECFA 对食品中镉的风险评估研究进展[J]. *中国渔业质量与标准*, 2013, 3(2):11–17.
ZENG Yan-yi, LAI Zi-ni, XU Yu-yan. Advancement of JECFA report on risk assessment of cadmium dietary exposure[J]. *China Fishery Quality and Standards*, 2013, 3(2):11–17.
- [14] 段文佳. 水产品中甲醛的暴露评估与风险管理研究[D]. 青岛:中国海洋大学, 2011:42–47.
DUAN Wen-jia. Primary study on exposure assessment and risk management of formaldehyde in aquatic products[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011:42–47.
- [15] 中华人民共和国卫生部. GB 2762—2012 食品安全国家标准食品中污染物限量[S]. 北京:中国标准出版社, 2012.
Ministry of Health of PRC. GB 2762—2012 National food safety standards in food contaminants[S]. Beijing: China standards Press, 2012.
- [16] 张良运, 李恋卿, 潘根兴. 南方典型产地大米 Cd、Zn、Se 含量变异及其健康风险探讨[J]. *环境科学*, 2009, 30(9):2792–2797.
ZHANG Liang-yun, LI Lian-qing, PAN Gen-xing. Variation of Cd, Zn and Se contents of polished rice and the potential health risk for subsistence–diet farmers from typical areas of South China[J]. *Environmental Science*, 2009, 30(9):2792–2797.

- [17] 任荣富, 葛送来, 解怀生, 等. 重金属铬和镉在土壤与稻米中的分布及其相关性[J]. 浙江农业科学, 2011(1):138-141.
REN Rong-fu, GE Song-lai, XIE Huai-sheng, et al. Distribution and correlation of chromium and cadmium in soil and rice grain[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Science*, 2011(1):138-141.
- [18] 孙晋伟, 黄益宗, 石孟春, 等. 土壤重金属生物毒性研究进展[J]. 生态学报, 2008, 28(6):2861-2869.
SUN Jin-wei, HUANG Yi-zong, SHI Meng-chun, et al. The review of heavy metals biotoxicity in soil[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(6):2861-2869.
- [19] 申屠平平, 罗进斌, 陈高尚, 等. 大米重金属污染的健康风险评价[J]. 浙江预防医学, 2014, 26(2):128-132.
SHENTU Ping-ping, LUO Jin-bin, CHEN Gao-shang, et al. A health risk assessment of heavy metals in rice[J]. *Zhejiang Journal of Preventive Medicine*, 2014, 26(2):128-132.
- [20] 宋波, 伏凤艳, 张学洪, 等. 桂林市菜地土壤和蔬菜砷含量调查与健康风险评估[J]. 环境科学学报, 2014, 34(3):728-735.
SONG Bo, FU Feng-yan, ZHANG Xue-hong, et al. A survey of arsenic concentrations in vegetables and soils in Guilin and the human health risks assessment[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2014, 34(3):728-735.
- [21] 宋波, 袁立竹, 钟雪梅, 等. 桂林市菜地土壤和蔬菜铜含量及其健康风险[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(5):942-948.
SONG Bo, YUAN Li-zhu, ZHONG Xue-mei, et al. A survey of copper concentrations in vegetables and soils in Guilin and the potential risks to human health[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 31(5):942-948.
- [22] 吴燕明, 吕高明, 周航, 等. 湘南某矿区蔬菜中 Pb、Cd 污染状况及健康风险评估[J]. 生态学报, 2014, 34(8):2146-2154.
WU Yan-ming, LÜ Gao-ming, ZHOU hang, et al. Contamination status of Pb and Cd and health risk assessment on vegetables in a mining area in Southern Hunan[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(8):2146-2154.
- [23] Singh A, Sharma R K, Agrawal M, et al. Risk assessment of heavy metal toxicity through contaminated vegetables from waste water irrigated area of Varanasi, India[J]. *Tropical Ecology*, 2010, 51(2):375-387.
- [24] Liu X, Song Q, Tang Y, et al. Human health risk assessment of heavy metals in soil-vegetable system: A multi-medium analysis[J]. *Science of the Total Environment*, 2013, 463:530-540.
- [25] Kim M, Wolt J. Probabilistic risk assessment of dietary cadmium in the South Korean population[J]. *Food Additives and Contaminants*, 2011, 28(1):62-70.
- [26] 苏倩怡. 贝类中重金属镉的风险评估[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012:19-26.
SU Qian-yi. Study on risk assessment of cadmium in molluscs[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012:19-26.



新书推荐

水处理新技术与案例

周国成、凌建军 主编。

本书收集了 60 项城市污水和工业废水处理工程的处理技术方案、施工设计等方面的典型案例与实例,涉及的内容主要有:湖泊、流域等水体富营养化问题;城市污水处理厂升级改造与深度处理;焦化废水、煤化工废水、造纸废水、循环冷却水、淀粉废水、稀土废水、柠檬酸废水、啤酒废水、硅棒切片废水、木糖废水、电子工业废水、肉类加工工业废水、医药工业废水、油脂加工工业废水、钢铁废水、制药废水、纺织印染废水、化工废水、制糖废水、味精废水、重金属废水、含油废水、皮毛废水、集约化牲畜养殖场废水等各种废水的处理;生态公厕微生物与水处理技术;污泥处理处置;Orbal 氧化沟工艺与设备等。

※书号:9787122197238

※定 价:138.0 元

※开本:16

※出版日期:2015 年 1 月



如需更多图书信息,请登录 www.cip.com.cn

服务电话:010-64518888, 64518800(销售中心)

网上购书可登录化学工业出版社天猫旗舰店:<http://hxgycbs.tmall.com>

邮购地址:(100011)北京市东城区青年湖南街 13 号 化学工业出版社

如要出版新著,请与编辑联系,联系电话:010-64519525。