

监测与评价

宁波市售大米汞含量及健康风险评价

童贵章, 胡长兴

(宁波青杰低碳能源科技有限公司, 浙江 宁波, 315100)

摘要:随着我国大米产量的增加, 大米食用安全问题研究显得尤为重要。本文通过在宁波地区采购市场上销售的大米, 利用 RA-915 M 测汞仪测定大米样品中汞含量, 对宁波市售大米中汞含量做出健康风险评价, 为宁波市的食品风险监管提供科学依据。实验结果发现: 宁波市售的大米总汞含量在 3~13 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 之间, 平均值在 4.7~7.8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 之间, 其中 80% 样品的汞浓度低于 8 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 大米样品中汞含量低于国家规定上限值 20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。人体健康风险系数范围为 $5.79 \times 10^{-4} \sim 3.43 \times 10^{-2}$, 属于轻度风险。宁波市售大米中汞不会对人群形成明显的威胁。

关键词:汞; 大米; 塞曼原子吸收光谱; 回流消解法; 健康风险评价

中图分类号: X836 文献标识码: A 文章编号: 1006-8759(2017)05-0049-06

MERCURY CONCENTRATION OF RICE SOLD IN NINGBO AND HUMAN HEALTH RISK ASSESSMENT

TONG Gui-zhang, HU Chang-xing,

(Ningbo Qinjie Ditan Energy Science and Technology Co., Ltd, Ningbo, 315100, China)

Abstract: With the increase of rice production in China, the research about safe problem of rice is significantly important. Due to provide the scientific basis for Ningbo government food risk regulation and make health risk assessment for the rice sale in Ningbo, it measures the mercury content of rice sale in Ningbo by RA-915 M mercury measurement instrument. Results show that: total mercury concentration of rice sale in Ningbo ranges from 3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ to 13 $\mu\text{g}/\text{kg}$, the average value ranges from 4.7 $\mu\text{g}/\text{kg}$ to 7.8 $\mu\text{g}/\text{kg}$. The mercury concentration of 80% rice samples collected is less than 8 $\mu\text{g}/\text{kg}$. The mercury concentration of total rice collected is lower than 20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ which is the upper limit prescribed by the nation. Besides, the coefficient of human health risk ranges from $5.79 \times 10^{-4} \sim 3.43 \times 10^{-2}$, the rank of human health risk belongs to mild. Mercury of rice sale in Ningbo is clearly not threatening to people's health.

Key words: Mercury ; Rice ; ZAAS-HFM; Reflux digestion ; Health risk assessment.

中国的大米产量逐年增加, 有关数据显示 2014 年中国大米产量达 13 042 万吨, 比上一年同期增长 11%。特别是 2010 年以来中国大米产量的增长趋飞跃式, 2012 年增长高达 22%, 以后三

年一直保持在 1 亿吨以上的高增长^[1]。在大米产量增长的同时保证大米品质是毋庸置疑的。环境中汞的主要来源为自然来源和人为来源^[2-3], 汞的自然排放主要包括火山的活动, 土壤挥发, 自然风化, 植物释放等; 而人为的来源主要是化石燃料的燃烧, 其中燃煤电厂的大气汞又为主要的来源; 此外, 有色金属冶炼、水泥生产、钢铁冶炼、火山活动、医用垃圾和生活垃圾焚烧等也是环境中的汞

收稿日期: 2017-03-14

第一作者简介: 童贵章(1990-), 男, 汉族, 浙江杭州人, 2009 年 6 月毕业于浙江大学宁波理工学院, 能源与环境系统工程专业学士, 助理工程师, 现为宁波青杰低碳能源科技有限公司技术员, 主要从事第三方节能技术服务。

人为排放的来源。

自然界大气中存在的汞通过降雨等方式进入农田,工厂含汞废水排放进河流里,被污染的水可能被用来浇灌农田。由于水稻田提供的厌氧环境,汞会在植物体内富集起来。大米中的汞主要来自于水稻根系对土壤中重金属汞的吸收,大米作为人们日常主食,随之汞也被人们摄入体内^[4]。随着土壤中汞浓度的增加,水稻不同器官中汞含量呈一定规律增加,且汞含量的分布规律大致为:根>叶>茎>稻壳>米粒^[5,6],说明水稻不同部位对汞具有不同的吸收富集作用。一般重金属在水稻植株内的分布规律往往是:新陈代谢旺盛的器官累积量较大(如根系),营养贮藏器官中累积量较小(如果实大米)^[4,6-8]。因此大米中汞的来源跟土壤,水源,大气等因素都有关。如图1所示,水稻产区主要是南方沿海中部地区以及东三省,新疆等地。

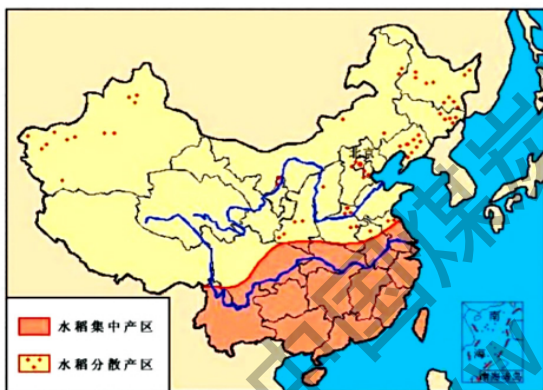


图1 中国水稻产区分布

大米作为我国家庭食用率比较高的主食,其品质尤为重要。为此收集宁波市出售的大米并对收集到的大米样品进行总汞含量的测定,对宁波市售大米的汞含量做出科学分析,最后给出健康风险评价,为宁波市的食品风险监管提供科学的依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集及处理

在宁波市面上销售的大米基本来自于全国各地。根据我国大米的主产区为南方沿海地区,中部四川等地以及东北地区,在宁波不同的超市以及粮食批发市场随机采集袋装或散装的大米,另外也在网上购买了部分大米,共17份。收集到的大米及产地如表1所示。每份大米样品收集300~1

000 g。将收集到的样品在白的底部用杵磨碎,用40目筛筛分,分别转移至密封袋,干燥保存待回流消解使用。

表1 大米及其产地统计

产区	种类	重量(g)
北方主产区	哈尔滨大米	500
	黑龙江方正县大米	500
	辽宁盘锦大米	350
	吉林大米	800
	齐齐哈尔大米	1000
	山东大米	500
南方沿海主产区	福建大米	500
	奉化早米	600
	江苏大米	800
	江苏淮安大米	1000
	江苏糯米	400
中部主产区	江西贡米	500
	芜湖大米	800
	芜湖糯米	600
	贵州香米	500
	广西大米	450
	河南大米	300

1.2 仪器与试剂

测量实验中使用的仪器有:LUMEX RA-915M测汞仪及RP-91液体测量附件,温控加热台,实验室通风厨,电子天平,消化锥形瓶及配套S型冷凝管,250 ml烧杯,100 ml容量瓶,100量筒,漏斗,玻璃珠,抽气泵,移液枪及枪头若干,医用橡胶管,药勺,滤纸,铁架台,水槽。

测量实验中使用的试剂有:玉米汞标样,浓硝酸(优级纯),浓硫酸(优级纯),二水氯化亚锡。

1.3 测量分析方法

样品中汞的测量方法为冷原子光谱法,采用LUMEX测汞仪与配套装置测定大米中的总汞含量,将样品大米中的汞元素离子化,采用硝酸-硫酸混合消解的回流消化法。

1.3.1 直接测量法

利用测汞仪(RA-915M塞曼效应汞分析仪器)和配套的液体测量装置(RP-91)能够直接测量消解液中大米汞含量^[9]。直接测量法:在校核模式下用低浓度标样(玉米标样)制作标准曲线;在分析模式下先向起泡器中加入4 ml氯化亚锡溶液,待SD值稳定在3以下后再加入4 ml消解液。起泡器内样品汞的原子化,经RA-915M塞曼效应汞分析仪在线实时监测,得出样品峰面积换算出样品中汞浓度。

1.3.2 回流消解法

样品经过酸消解或者催化消解使汞转为离子的状态,在强酸性的环境下以氯化亚锡还原汞元素^[10-11],以干燥的空气为载体将汞元素吹入测汞仪内,可测出大米中汞的含量。回流消化法:称取约 10 g 大米样品加到锥形瓶中,另外再加入少量去离子水湿润米样,加入 3~4 粒小玻璃珠。加入 50 ml 浓 HNO₃ 和 10 ml 浓硫酸浸没全部大米,电加热板分三阶段加热至 600 °C,200 °C 为间隔,保持消解过程锥形瓶内处于明显的微沸状态,消解大约 2 h。将消解液过滤后定容至 100 ml 的容量瓶,摇匀静置待测。在消解过程保持流动的水回流在回流冷凝管中,温度达到 400~500 °C 后,回流冷凝管上端容易溢出大量带刺激性气味的棕色气流,整个过程必须处于通风厨内进行。采用同样的试剂和步骤重复制备 2~3 个同种消解样品溶液。

1.4 大米中汞健康风险评价^[12,13]

大米中汞的健康风险评价根据美国环保署健康风险评价模型进行评价。经口摄入途径暴露量计算公式:

$$I_{i(\text{found})} = (CF_i \times IR \times ED \times EF) / (BW \times AT) \quad (1)$$

$$R_i = I_i / RFD_i \quad (2)$$

式中: $I_{i(\text{found})}$ 为通过食物途径化学物质的平均摄入量,单位为 mg/(kg×d); CF_i 为化学物质的浓度,单位为 mg/kg; IR 为食物日均摄入量,单位为 kg/d; ED 为暴露持续时间,单位为 a; EF 为暴露频率,单位为 d/a; BW 为平均体重,单位为 kg; AT 为平均接触时间,单位为 d; R_i 为人体健康风险; I_i 为日摄入量; RFD_i 为化学物质的参考剂量,单位为 mg/(kg×a);

2 结果与分析

2.1 线性范围

分别量取 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 5.0, 10.0 mL 浓度为 0.1 μg/mL 的玉米标准溶液于 100 mL 的容量瓶中,用 5% 的硝酸溶液稀释到刻度,得到 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 5.0, 10.0 的标准溶液,得到实验用的玉米标准曲线如图 2, 相关系数为 0.9972。结果表明,玉米标准溶液的测量体积与浓度呈良好的线性关系。由于大米标样未能获得,采用玉米标样进行实验。

2.2 回收率

从 15 份大米样品中随机抽取 1 份样品溶液,

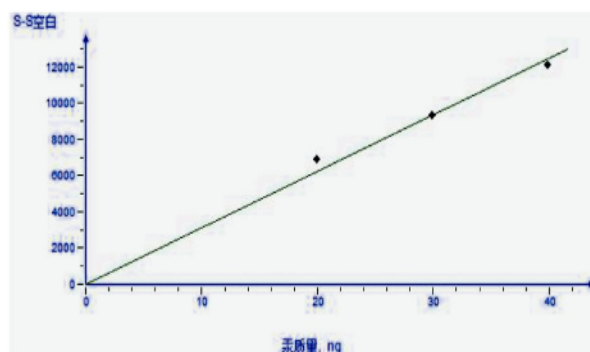


图 2 玉米标准曲线

等分成 8 份,并分别加入 5 ml 玉米标准溶液后定容至 100 ml,按照前面的实验方法做回收实验,回收率测量结果如表 2 所示。

表 2 回收率结果统计

编号	测定值/μg/L	回收量/μg/L	回收率/%
1	10	9.88	98.8
2	10	9.86	98.6
3	10	9.91	99.1
4	10	10.12	101.2
5	10	9.93	99.3
6	10	9.78	97.8
7	10	9.87	98.7
8	10	9.96	99.6

由表 2 可知,回收率为 97.8%~101.2%,说明该方法是准确可靠的。该法检出限低、精密度好、回收率高、操作简便、测定结果准确可靠,适用于宁波市售大米中汞含量的实验检测。

2.3 宁波市售大米中的汞含量

在实验室测定了 17 份收集到的宁波市售大米消解溶液,汞含量的测定结果见表 3。粮食卫生标准(GB2715-2005)明确指出^[14]:食品中汞含量小于 0.02 mg/kg。从表 3 数据可得,所测量大米样品中汞浓度均低于 20 μg/kg,汞浓度范围从 3.90 μg/kg 到 13.51 μg/kg,平均值为 6.40 μg/kg。所收集的样品中汞含量均未超标,样品达标率为 100%。说明宁波市售大米中汞含量处于安全区域,可以放心食用。

据表 3 数据,将收集到的大米样品按我国大米主产区分成三类,作为该地区的参考数值;北方地区包括哈尔滨、黑龙江正县、辽宁盘锦、吉林、齐齐哈尔、山东;南方地区包括福建、江苏淮

表 3 宁波市售大米中汞含量统计

地区	汞浓度/ $\mu\text{g}/\text{kg}$	超标率/%
哈尔滨	13.51	0
黑龙江方正县	4.57	0
辽宁盘锦	5.75	0
吉林	5.13	0
齐齐哈尔	5.06	0
山东	3.22	0
福建	3.19	0
江苏淮安	4.56	0
江苏苏州	5.62	0
江苏糯米	3.90	0
宁波奉化	7.51	0
河南	12.09	0
江西贡米	5.66	0
安徽芜湖	3.21	0
芜湖糯米	12.40	0
贵州	7.33	0
广西	6.13	0
平均值	6.40	/

安、江苏苏州、江苏糯米、宁波奉化；中部地区包括河南、江西贡米、安徽芜湖、芜湖糯米、贵州、广西。由图 3 可知，北方地区除哈尔滨大米汞含量较高之外，其余等地大米内的汞含量均低于 $8 \mu\text{g}/\text{kg}$ ，平均值仅为 $4.7 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。国家标准为大米汞含量不得高于 $20 \mu\text{g}/\text{kg}$ ，哈尔滨大米也是安全可食用的。袁晓博^[15]等在普查全国大米中汞含量时测定东北地区大米总汞含量的平均值为 $6 \mu\text{g}/\text{kg}$ ，范围为 $1.2 \mu\text{g}/\text{kg} \sim 19 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。响应国家振兴东北老工业基地的政策，近年来吉林省的工业高速发展，随之吉林地区的汞排放量也在高速增长。从图 3 可知，在实验结果中吉林的大米汞含量还是比较低的，仅有 $5 \mu\text{g}/\text{kg}$ 左右，但是随着复工业化的进程，如果吉林省在汞排放的控制问题处理不当，那么吉林大米可食用性的前景将令人担忧。

由图 4 可知，宁波市售南方沿海地区的大米总体汞含量均低于 $10 \mu\text{g}/\text{kg}$ ，平均值为 $4.9 \mu\text{g}/\text{kg}$ ，不到国家规定标准的 $1/4$ ，产自南方沿海地区的大米可放心食用。袁晓博等^[13]测定江苏地区大米总

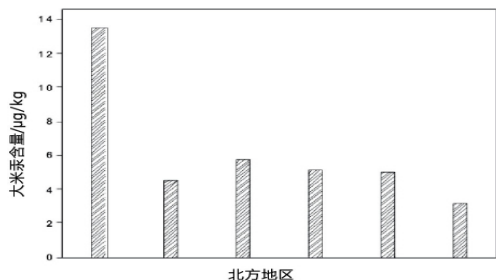


图 3 宁波市售北方地区的大米汞含量

汞含量超过国家规定限值。图 6 中汞浓度最高的是来自宁波奉化的早米。早米与晚米的生长周期不一样，早米的生长周期较短，所需施用化肥较少，其汞含量应比晚米低一些，但实验室测量结果显示早米的汞含量要高于其他来自南方产区的大米，原因可能是种植时为了缩短早米生长周期而施加过多的农药化肥而致，再者可能由于奉化地区的土壤汞含量相对较高所致。

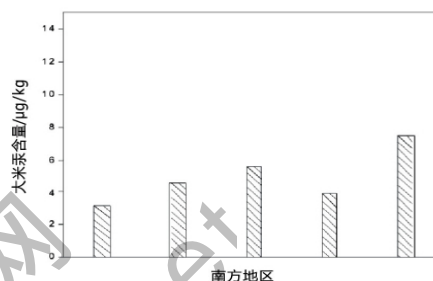


图 4 宁波市售南方地区大米的汞含量

由图 5 可知，宁波市售中部地区的大米总体汞含量整体上较北方和南方沿海大米主产区要高一些，平均值为 $7.8 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。许瑶^[16]测定安徽等地大米中汞含量为 $1 \mu\text{g}/\text{kg} \sim 11 \mu\text{g}/\text{kg}$ ，与本次测量中安徽芜湖大米汞含量接近。图 5 中安徽芜湖糯米，河南大米分别为 $12.09 \mu\text{g}/\text{kg}$ 、 $12.40 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。安徽和河南产的大米低于国家规定的上限值。改革开放以来我国经济高速发展，不可避免地自然向自然界排放一些工业污染物，使中部地区生态环境遭受较为严重的污染，水稻中相对较高的汞含量也从侧面反映这一现实问题，但是国家很快地出台相应的治理方针，将该地区大米中汞含量控制在安全范围内，确保大米等生活食品绝对安全。

2.4 宁波市售大米中汞的健康风险评价

根据实验室所测量的宁波市售大米汞含量数

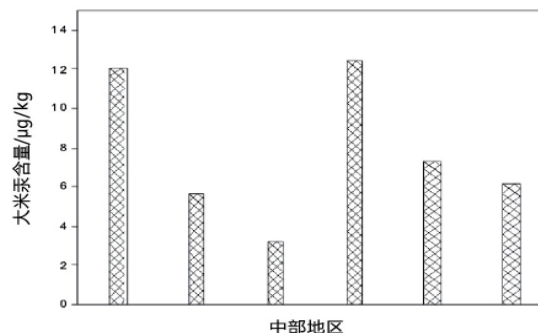


图 5 宁波市售中部地区大米的汞含量

据,对宁波市售大米中汞的健康风险评价。在计算过程中,暴露频率(EF)、暴露持续时间(ED)、平均接触时间(AT)均采用国家环保总局推荐的数据:365 d/a,30,非致癌作用时间 365 d×30 a。成年人的体重参考袁晓航论文^[13]取 60 kg。根据 2014 年国务院发布的《中国食物与营养发展纲要(2014-2020 年)》,我国人均年消费谷类粮食 135 kg,假设谷物均为大米,则我国人均每天消费大米 0.37 kg^[17]。2010 年 JECFA 第 72 次会议将汞的每周可耐受摄入量(PTWI)调整为 4 μg /kg·bw^[18]。成人体重以 60 kg 计,则汞对成人的参考剂量为 0.034 mg / (kg·d);儿童体重参考杨冰等文章^[12]以 16 kg 计算,则汞对儿童的参考剂量为 0.0091 mg / (kg·d)。风险值及风险分级如表 4 所示。

根据国际癌症研究机构认为甲基汞化合物可能引发癌症,金属和无机汞化合物能否致癌还未确定^[19]。本次测量大过程主要是以总汞的形式测

表 4 风险值及风险分级^[2]

风险级别	风险值(非致癌物)(×10 ⁻²)	风险值(致癌物)(×10 ⁻⁶)
轻度风险	0-5.5	5-7
偏中度	5.5-6.5	7-8
中度	6.5-7.5	8-9
偏重度	7.5-9	9-10
重度	>9	>10

定的,因此本次研究认定大米中的汞为非致癌物。由表 5 可知,不同地区不同种类大米的汞健康风险系数不相同,收集到大米样品的人体健康风险系数范围为 5.79×10⁻⁴~3.43×10⁻²,属于轻度风险,不会对人群形成明显的威胁。儿童的人体健康风险系数要高于成人的人体健康风险系数,高达 3.43×10⁻²,可能是由于儿童对重金属汞较为敏感,但仍属于轻度风险。

3 结论

表 5 大米中汞的健康风险评价

大米种类	参考值	暴露评价参数						大米种类	参考值	暴露评价参数					
		EF	ED	BW	AT	I _{1(found)}	R _i			EF	ED	BW	AT	I _{1(found)}	R _i
哈尔滨	成人	365	30	60	365×30	8.33×10 ⁻⁵	2.45×10 ⁻³	江苏糯米	成人	365	30	60	365×30	2.4×10 ⁻⁵	7.07×10 ⁻⁴
	儿童	365	30	16	365×30	3.12×10 ⁻⁴	3.43×10 ⁻²		儿童	365	30	16	365×30	9.02×10 ⁻⁵	9.91×10 ⁻³
黑龙江方正县	成人	365	30	60	365×30	2.82×10 ⁻⁵	8.29×10 ⁻⁴	宁波奉化	成人	365	30	60	365×30	4.63×10 ⁻⁵	1.36×10 ⁻³
	儿童	365	30	16	365×30	1.06×10 ⁻⁴	1.16×10 ⁻²		儿童	365	30	16	365×30	1.73×10 ⁻⁴	1.9×10 ⁻²
辽宁盘锦	成人	365	30	60	365×30	3.54×10 ⁻⁵	1.04×10 ⁻³	河南	成人	365	30	60	365×30	7.45×10 ⁻⁵	2.19×10 ⁻³
	儿童	365	30	16	365×30	1.33×10 ⁻⁴	1.46×10 ⁻²		儿童	365	30	16	365×30	2.79×10 ⁻⁴	3.07×10 ⁻²
吉林	成人	365	30	60	365×30	3.16×10 ⁻⁵	9.3×10 ⁻⁴	江西贡米	成人	365	30	60	365×30	3.49×10 ⁻⁵	1.02×10 ⁻³
	儿童	365	30	16	365×30	1.18×10 ⁻⁴	1.3×10 ⁻²		儿童	365	30	16	365×30	1.31×10 ⁻⁴	1.43×10 ⁻²
齐齐哈尔	成人	365	30	60	365×30	3.12×10 ⁻⁵	9.18×10 ⁻⁴	安徽芜湖	成人	365	30	60	365×30	1.98×10 ⁻⁵	5.82×10 ⁻⁴
	儿童	365	30	16	365×30	1.17×10 ⁻⁴	1.28×10 ⁻²		儿童	365	30	16	365×30	7.42×10 ⁻⁵	8.15×10 ⁻³
山东	成人	365	30	60	365×30	1.98×10 ⁻⁵	5.84×10 ⁻⁴	芜湖糯米	成人	365	30	60	365×30	7.65×10 ⁻⁵	2.24×10 ⁻³
	儿童	365	30	16	365×30	7.45×10 ⁻⁵	8.18×10 ⁻³		儿童	365	30	16	365×30	2.87×10 ⁻⁴	3.15×10 ⁻²
福建	成人	365	30	60	365×30	1.96×10 ⁻⁵	5.79×10 ⁻⁴	贵州	成人	365	30	60	365×30	4.52×10 ⁻⁵	1.32×10 ⁻³
	儿童	365	30	16	365×30	7.38×10 ⁻⁵	8.1×10 ⁻³		儿童	365	30	16	365×30	1.69×10 ⁻⁴	1.86×10 ⁻²
江苏淮安	成人	365	30	60	365×30	2.81×10 ⁻⁵	8.27×10 ⁻⁴	广西	成人	365	30	60	365×30	3.78×10 ⁻⁵	1.11×10 ⁻³
	儿童	365	30	16	365×30	1.05×10 ⁻⁴	1.15×10 ⁻²		儿童	365	30	16	365×30	1.42×10 ⁻⁴	1.55×10 ⁻²
江苏苏州	成人	365	30	60	365×30	3.46×10 ⁻⁵	1.01×10 ⁻³								
	儿童	365	30	16	365×30	1.29×10 ⁻⁴	1.42×10 ⁻²								

大米作为家庭主食,安全问题显得尤为重要。在宁波地区购买市场上销售的大米测量大米样品中汞含量,其中来自北方地区的大米汞含量低于 8 μg/kg,平均值为 4.7 μg/kg;来自南方沿海地区的大米总体汞含量低于 10 μg/kg,平均值为 4.9 μg/kg;来自中部地区的大米总体汞含量整体上较北方和南方沿海大米主产区要高一些,平均值为 7.8 μg/kg;但收集到的大米样品汞含量都低于国家规定上限值。人体健康风险系数范围为 $5.79 \times 10^{-4} \sim 3.43 \times 10^{-2}$,属于轻度风险,儿童的人体健康风险系数要高于成人的人体健康风险系数,但仍属于轻度风险,不会对人群形成明显的威胁。宁波市售的大米没有受到严重的汞污染,居民可以放心食用。

参考文献

[1] 苗珊珊. 大米市场价格波动态势及周期性特征分析[J]. 华中农业大学学报:社会科学版, 2014(2):68-73.
 [2] Stephen Niksa, N. Fujiwara, Y. Fujita, et al. A Mechanism for Mercury Oxidation in Coal-Derived Exhausts[J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2011, 52(8):894-901.
 [3] Hower J C, Senior C L, Suuberg E M, et al. Mercury capture by native fly ash carbons in coal-fired power plants [J]. Progress in Energy & Combustion Science, 2010, 36(4):510-529.
 [4] 杜心. 汞砷复合污染及铁膜对水稻吸收汞的影响 [D]. 吉林农业大学, 2004.
 [5] 吴亮, 孙波. 不同品种对水稻铅汞耐性和富集能力的影响 [J]. 土壤, 2014(6):1061-1068.

[6] 吴亮. 基于水稻富集系数的水稻土铅、铬、汞环境安全阈值研究[D]. 中国科学院大学, 2014.
 [7] 周涛发, 陶春军, 李湘凌, 等. 磷酸根对水稻土中重金属镉汞铅吸附特性的影响研究[J]. 资源调查与环境, 2009, 30(2):130-138.
 [8] Gürses A, Karaca S, ? Do?ar, et al. Determination of adsorptive properties of clay/water system: methylene blue sorption[J]. Journal of Colloid & Interface Science, 2004, 269(2):310-4.
 [9] 陆皓昀, 杨柳, 刘兆莹, 等. 对 RA-915M 型塞曼效应汞分析仪在环保监测领域实用性的研究[J]. 现代科学仪器, 2015(2).
 [10] 姜丽华, 翁少梅, 陈洁. 冷凝回流消解-原子荧光光谱法测定枸杞中汞[J]. 上海预防医学, 2010, 22(5):257-258.
 [11] 钟志光, 张海峰, 谢燕良, 等. 回流冷凝试样消解-电感耦合等离子体原子发射光谱法测定铝合金中铅、镉、铬和汞[J]. 理化检验:化学分册, 2006, 42(12):1000-1002.
 [12] 杨冰, 王雅洁, 代姣, 等. 贵州大米总汞富集及人体健康风险评价[J]. 安徽农业科学, 2015(21):263-265.
 [13] 袁晓博. 大米汞含量及居民汞暴露风险研究 [D]. 西南大学, 2011.
 [14] 银尧明. 浅谈在粮食卫生标准中增加大米等成品粮食密度限制标准 [C]// 第一届中国粮油标准质量年会暨中国粮油学会粮油质检研究会第一次代表大会. 2009.
 [15] 袁晓博, 冯新斌, 仇广乐, 等. 中国大米汞含量研究[J]. 地球与环境, 2011, 39(3):318-323.
 [16] 许瑶. 安徽省市售大米铅、镉、汞污染状况及健康风险评价[J]. 江西食品工业, 2011(3):32-33.
 [17] 赵丽云, 刘素, 于冬梅, 等. 我国居民膳食营养状况与《中国食物与营养发展纲要(2014-2020年)》相关目标的比较分析[J]. 中国食物与营养, 2015, 21(8):5-7
 [18] 王彩霞, 郭蓉, 程国霞, 等. 2014年陕西省食品中汞含量调查分析与风险评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2015, 27(6):699-702.
 [19] 吴一萍. 光电及电化学发光传感器研究环境污染导致的DNA 特异性损伤[D]. 中国科学院大学, 2014.

(上接第 41 页)

参考文献

[1] 刘军会, 高吉喜, 马苏, 等. 内蒙古生态环境敏感性综合评价[J]. 中国环境科学. 2015, 35(2):591-59
 [2] 刘康, 欧阳志云, 王效科. 甘肃省生态环境敏感性评价及其空间分布[J]. 生态学报, 2003, 23(12): 2711-2718.
 [3] 李建军, 苏志珠, 王言荣. 基于 GIS 的万荣县生态敏感性评价与区划[J]. 中国农业资源与区划, 2014, 35(5):48-54
 [4] 欧阳志云, 王效科, 苗茜. 中国生态环境敏感性及其区域差异研究 [J]. 生态学报, 2000, 20(1): 9-12.
 [5] 李东梅, 吴晓青, 于德永, 等. 云南省生态环境敏感性评价[J]. 生态学报, 2008, 28(11):5270-5278.
 [6] 刘春霞, 李月臣, 杨华, 等. 三峡库区重庆段生态与环境敏感性综合评价[J]. 地理学报, 2011, 66(5):631-642.

[7] 胡金龙, 王金叶, 罗楠. 基于 GIS 的桂林市生态敏感性分析[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(7):1561-1564.
 [8] 潘峰, 田长彦, 邵峰, 等. 新疆克拉玛依市生态敏感性研究[J]. 地理学报, 2011, 66(11):1497-1507.
 [9] 克力木·买买提, 杜培军, 丁建丽. 吐鲁番市历史文化遗址环境生态敏感性综合评价[J]. 环境保护科学 2015, 41(1):95-98.
 [10] 刘耀龙, 王军, 许世远, 等. 黄河靖南峡-黑山峡河段的生态敏感性[J]. 应用生态学报, 2009, 20(1):1135-120.
 [11] 余济云, 周丹华, 刘照程, 等. 基于 GIS 的万泉河流域生态敏感性分析[J]. 中国农学通报, 2012, 28(10):69-73.
 [12] 何英彬, 陈佑启, 常欣, 等. 基于 GIS 的自然生态与社会经济综合区划-以黄土高原延河流域为例. 中国农业资源与区划, 2004, 25(4):36-39
 [13] 王丹, 郭冻. 基于 GIS 的海南省乐东黎族自治县生态敏感性评价[J]. 西南林业大学学报, 2013, 33(6):66-71.