

# 云南省不同产地大米重金属砷污染风险分析

严红梅, 杜丽娟, 和丽忠, 魏茂琼, 尹本林, 樊建麟, 汪禄祥\*

(云南省农业科学院质量标准与检测技术研究所, 农业部农产品质量监督检验测试中心, 昆明 650223)

**摘要: 目的** 分析云南省不同产地大米重金属砷的污染风险。**方法** 采用 LC-AFS6500 型原子荧光光度计, 分析采集自云南省 16 个州(市)水稻主要产区的 118 个县(市/区)2592 份稻谷的无机砷含量, 并进行相关性分析、方差分析和 LSD 多重比较。**结果** 供试样品无机砷含量的平均值为 0.028 mg/kg, 其中, 工矿企业周边农田(0.036 mg/kg) > 一般农田(0.026 mg/kg) > 污水灌溉农田(0.021 mg/kg), 以工矿企业周边农田重金属砷污染风险最大, 经方差分析,  $F$  值为 16.994, 呈极显著差异。工矿企业周边农田和污水灌溉农田无机砷含量均以红河州为最高, 分别为 0.128、0.055 mg/kg, 一般农田则以丽江市为最高, 为 0.078 mg/kg, 且均与其他所有州(市)均呈极显著差异; 普洱市的无机砷均值在 16 个州(市)中为最小, 检出率最低; 2592 个样品中, 有 13 份样品无机砷含量超限, 占供试样品的 0.50%, 均采自红河州, 其中个旧市 6 份、蒙自市 5 份和开远市 2 份。**结论** 农业生态环境是影响大米重金属砷污染的重要因素, 建议应对工矿企业周边农田重金属砷污染给予重点关注。

**关键词:** 重金属砷; 大米; 云南省; 不同产地; 污染分析

## Risk analysis of arsenic in rice from different regions in Yunnan province

YAN Hong-Mei, DU Li-Juan, HE Li-Zhong, WEI Mao-Qiong, YIN Ben-Lin,  
FAN Jian-Lin, WANG Lu-Xiang\*

(Supervision and Testing Center for Farm Products Quality, Ministry of Agriculture, Institute of Quality Standards and Testing Technology, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650223, China)

**ABSTRACT: Objective** To analyze the potential arsenic contamination hazard in rice growing regions across Yunnan province. **Methods** The inorganic arsenic content of 2592 rice grains in 118 counties (cities/districts) of 16 prefectures (cities/districts) of Yunnan province were analyzed by LC-AFS6500 atomic fluorescence photometer, and correlation analysis, variance analysis and LSD multiple comparisons were conducted. **Results** The average value of inorganic arsenic in the samples was 0.028 mg/kg. Among them, the order of inorganic arsenic content was: industrial and mining enterprises surrounding farmland (0.036 mg/kg) > general farmland (0.026 mg/kg) > sewage irrigation farmland (0.021 mg/kg), the risk of heavy metal arsenic pollution in the surrounding farmland of industrial and mining enterprises was the greatest, and differences were significant with  $F$  value of 16.994. The content of inorganic arsenic in farmland and wastewater irrigated farmland in industrial and mining enterprises was the highest

**基金项目:** 公益性行业(农业)科研专项(201203046)、云南省科技惠民专项(农业)重点项目(2014RA054)、云南省科技创新平台建设计划(公共科技服务)项目(2014DA001)、云南省农业科学院农产品质量与食品安全省创新团队计划项目(2015HC025)

**Fund:** Public Welfare Industry (Agriculture) Research Projects (201203046), Yunnan Province Science and Technology Huimin Special (Agriculture) Key Project (2014RA054), Yunnan Province Science and Technology Innovation Platform Construction Plan (Public Science and Technology Service) Project (2014DA001) and Yunnan Agricultural Academy of Agricultural Sciences Produce Quality and Food Safety Province Innovation Team Planning Project (2015HC025)

\***通讯作者:** 汪禄祥, 研究员, 主要研究方向为食品质量安全检测研究。E-mail: wangluxiang@sina.com

\***Corresponding author:** WANG Lu-Xiang, Professor, Ministry of Agriculture, Institute of Quality Standards and Testing Technology, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650223, China. E-mail: wangluxiang@sina.com

in Honghe state, which was 0.128 and 0.055 mg/kg, respectively, whereas from normal field, Lijiang city had the highest arsenic concentration, which was 0.078 mg/kg, and differences were significant from other cities. Puer city has the lowest average arsenic concentration and detection rate among 16 districts. Among 2592 samples, 13 of them were over legal limit, account for 0.50% of the sample, and they were all from Honghe district, of those 6 samples were from Gejiu city, 5 samples were from Mengzi city and 2 samples were from Kaiyuan city. **Conclusion** The agriculture micro-environment of the field is an important factor of arsenic contamination in the rice growing regions and fields adjacent to factory have much higher potential of arsenic contamination which should draw our special attention.

**KEY WORDS:** arsenic; rice; Yunnan province; different regions; pollution analysis

## 1 引言

食品安全是人类的基本生存保障,也是最基本的民生问题,受到全社会的广泛关注。事实上,环境污染对人体健康的危害正是通过最大、最直观的食品安全问题——食源性疾病的生长表现出来<sup>[1,2]</sup>。因环境污染引发的食品安全,已经成为食源性疾病暴发的前 5 大风险因素,且全球因食品安全所导致的食源性疾病仍将继续上升,预计将达到 10 亿例<sup>[3]</sup>。然而,水稻(*Oryza sativa*)作为最重要的粮食作物,为世界上 50%以上的人口提供食物。我国水稻产量占粮食总产的 50%以上,占世界水稻产量的 32%~35%。云南省水稻种植面积与产量分别占全省粮食作物种植面积与产量的 16.0%和 25.0%左右,全省近 90%的人口以大米为主食。因此,保障水稻生产对确保我国乃至全球粮食安全和农业可持续发展具有重大的战略意义<sup>[4-6]</sup>。

近年来,随着工业化、城市化的发展、污水不合理排放及农药化肥的滥用,对土壤、空气及水源造成了巨大的污染。目前,大米的安全问题主要集中在重金属污染、农药残留及添加剂滥用等方面。研究表明,水稻在生长过程中容易从其生长环境中(空气、土壤、水分)富集重金属,导致稻谷中重金属含量超限<sup>[7,8]</sup>。砷及其化合物已被国际癌症组织确认为致癌物<sup>[9,10]</sup>。大米中的砷以有机和无机 2 种形式存在,无机砷的毒性远大于有机砷<sup>[11-14]</sup>,具有卫生学意义的主要是无机砷。因此,我国自 2013 年 6 月 1 日起正式实施的最新国家标准<sup>[15]</sup>中规定了大米中无机砷的限量为 0.2 mg/kg,而对总砷的含量已不作要求。

本研究针对云南省 16 个州(市)水稻主要产区的 118 个县(市/区),根据水稻生长灌溉环境分为工矿企业周边农田(简称工矿农田)、污水灌溉农田(简称污灌农田)和一般农田 3 种类型。2015 年,以县(市/区)为单位,共采集 2592 份稻谷样品,选用测定食品中的重金属具有灵敏、高效、准确等优点的原子吸收光谱法<sup>[16]</sup>,采用 LC-AFS6500 型原子荧光光度计,按照实施的 GB/T5009.11-2003《食品安全国家标准—食品中总砷及无机砷的测定》测定无机砷,采用 Microsoft Office Excel 2003、DPS 数据处理软件进行相关性、方差分析和 LSD 多重比较,旨在分析云南省各个县(市

/区)水稻栽培灌溉环境对重金属砷污染的影响,不同产地间重金属砷污染状况,以及造成的原因,为云南省水稻安全生产提供科学依据,进而指导生产。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料与仪器

#### 2.1.1 样品稻谷的采集

2015 年稻谷收获季节,从云南省 16 个市(州)118 个县(市/区)主要水稻产区共采集稻谷样品 2592 份。稻谷样品根据采集地稻田分为工矿农田、污灌农田和一般农田 3 种类型,其中,工矿农田共采集 927 份样品,污灌农田共采集 500 份样品,一般农田共采集 1165 份样品。供试样品采集信息详见表 1。

表 1 供试样品基本信息  
Table 1 Information of test samples.

市(州)	县(市/区)	工矿 农田	污灌 农田	一般农田	样本数
昆明市	8	21	15	74	110
普洱市	10	35	13	94	142
红河州	12	33	10	136	179
楚雄州	10	85	31	180	296
昭通市	10	115	1	60	176
曲靖市	9	130	208	77	415
西双版纳州	2	1	0	49	50
迪庆州	3	15	12	7	34
怒江州	4	3	0	26	29
丽江市	5	50	0	39	89
文山州	8	74	16	121	211
保山市	5	107	35	90	232
玉溪市	7	48	58	15	121
临沧市	8	105	0	39	144
大理州	12	65	101	99	265
德宏州	5	40	0	59	99
合计	118	927	500	1165	2592

### 2.1.2 主要仪器和试剂

LC-AFS6500 型原子荧光光度计(北京海光公司); 电热板、KQ500E 型超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司)。

硝酸(苏州晶瑞化学股份有限公司); 高氯酸(上海国药 GR 公司); 盐酸(上海国药 GR 公司); 1000  $\mu\text{g}/\text{mL}$  砷标准溶液(GBW08611, 上海国药 GR 公司); 正辛醇(优级纯, 上海国药 GR 公司); 2 g/L 氢氧化钾-7 g/L 硼氢化钾混合溶液; 实验用水为电导率不高于 0.08  $\mu\text{S}/\text{cm}$  的超纯水。

## 2.2 样品重金属砷含量的测定

根据中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会 2015 年 9 月 21 日发布、2016 年 3 月 21 日实施的《食品安全国家标准—食品中总砷及无机砷的测定》测定无机砷。根据 GB/T5009.11-2003, 首先将样品稻谷经脱粒成精米, 磨粉过 100 目筛后, 每个样品称样 2.5000 g 放入 25 mL 的比色管中, 加入 1:1 的优级纯盐酸定容到 25 mL, 在 60  $^{\circ}\text{C}$  的水浴中超声 35 min 取出、冷却、过滤, 取滤液 4 mL, 加 1 mL 流脉定容至 10 mL, 再加入 8 滴正辛醇并摇匀即可上机。

## 2.3 数据统计分析

数据采用 Microsoft Office Excel 2003 软件进行处理, 采用 DPS 数据处理软件进行均值 LSD 多重比较, 小写字母表示 5% 显著水平, 大写字母表示 1% 显著水平。

## 3 结果与分析

### 3.1 16 个州(市)大米砷含量的总体情况

在供试的 2592 份大米样品中, 无机砷含量平均值为 0.028 mg/kg, 其中, 工矿农田(0.036 mg/kg) > 一般农田(0.026 mg/kg) > 污灌农田(0.021 mg/kg), 经方差分析,  $F$  值为 16.994, 呈极显著差异。根据中华人民共和国国家标准(GB2762-2012)《食品安全国家标准 食品中污染物限量》规定, 大米中无机砷限量为 0.2 mg/kg, 有 13 份样品无机砷含量超限(见表 2), 占采集样品的 0.50%。13 份超限样品均来自红河州, 其中个旧市 6 份, 占该市总采集样品 16 份的 37.5%; 蒙自市 5 份, 占总采集样品 15 份的 33.3%; 开远市 2 份, 占总采集样品 15 份的 13.3%。13 份超限样品有 7 份采自工矿农田, 6 份采自一般农田。表明云南省主要大米产区砷污染超限集中在红河州个旧市、蒙自市和开远市, 其他供试的 115 个县(市/区)均未检出无机砷超限样品。16 个州(市)大米的无机砷含量均值(见图 1), 不同州(市)间差异明显, 除红河州、丽江市和西双版纳州外, 其余州(市)均低于 0.050 mg/kg。其中, 工矿企业周边农田和污灌农田均以红河州为最高, 分别为 0.128 mg/kg 和 0.055 mg/kg, 一般农田则以丽江为最高(为 0.078 mg/kg), 红河州次之(为 0.047 mg/kg)。

### 3.2 工矿农田无机砷含量分析

从表 3 可知, 16 个州(市)工矿企业周边农田大米的无机砷含量经方差分析,  $F$  值为 20.328, 呈极显著差异。因此又做了 LSD 多重比较(见表 4), 16 个市(州)的无机砷含量大小顺序为: 红河 > 丽江 > 版纳 > 文山 > 保山 > 曲靖 > 大理 > 临沧 > 昭通 > 怒江 > 德宏 > 昆明 > 迪庆 > 玉溪 > 楚雄 > 普洱, 以红河州为最高, 为 0.128 mg/kg, 其次是丽江市, 为 0.089 mg/kg, 以普洱市为最小, 为 0.002 mg/kg。在  $\alpha=0.05$  和  $\alpha=0.01$  水平, 分别分成 8 个组和 7 个组。其中, 红河州与其他所有州(市)均呈极显著差异, 丽江市与版纳州呈显著差异, 而与文山州等 13 个州(市)则均呈极显著差异; 版纳州与文山州等 13 个州(市)呈极显著差异; 普洱与版纳、文山、保山、曲靖、大理、临沧、昭通、怒江和德宏州(市)均呈极显著差异, 与昆明呈显著差异, 与迪庆、玉溪、楚雄州(市)间无显著差异。表明云南省 16 个市(州)工矿企业周边农田大米中无机砷差异明显, 以红河州砷污染风险最大, 其次是丽江市和版纳州, 而以迪庆、玉溪、楚雄和普洱等州(市)为最小。

表 2 无机砷含量超限样品清单  
Table 2 Sample list with inorganic arsenic content exceed the limit

州(市)	县(市)	样品编号	处理类型	无机砷含量(mg/kg)
红河	个旧市	270	工矿农田	0.252
红河	个旧市	271	工矿农田	0.403
红河	个旧市	272	工矿农田	0.414
红河	个旧市	273	工矿农田	0.529
红河	个旧市	282	一般农田	0.534
红河	个旧市	283	一般农田	0.782
红河	蒙自市	262	一般农田	0.204
红河	蒙自市	261	一般农田	0.248
红河	蒙自市	255	工矿农田	0.494
红河	蒙自市	256	工矿农田	0.615
红河	蒙自市	258	工矿农田	0.727
红河	开远市	292	一般农田	0.234
红河	开远市	299	一般农田	0.242

### 3.3 污灌农田无机砷含量分析

从表 3 可知, 全省 16 个州(市)中, 由于西双版纳、德宏、丽江、怒江和临沧等 5 个州(市)因污灌农田样品无或少于 2, 因此, 11 个州(市)污灌农田大米的无机砷含量经方差分析,  $F$  值为 7.699, 呈极显著差异。因此又做了 LSD 多重比较(见表 4), 11 个州(市)的无机砷含量大小顺序则为: 红河 > 昆明 > 迪庆 > 文山 > 楚雄 > 曲靖 > 保山 > 昭通 > 大

理 > 玉溪 > 普洱, 以红河州最高, 为 0.055 mg/kg, 其次是昆明市, 为 0.041 mg/kg, 以普洱市为最小, 为 0。在  $\alpha=0.05$  和  $\alpha=0.01$  水平, 均分成 5 组。其中, 红河州与其他 10 个州(市)均呈极显著差异; 普洱市与其他 10 个州(市)均呈极显著差异; 昆明市、迪庆州和文山州为一组, 未呈显著差异; 楚雄州、曲靖市、保山市、昭通市、大理市和玉溪市间均未呈极显著差异, 但是玉溪市与楚雄州、曲靖市和保山市间呈显著差异。表明云南省 11 个州(市)污灌农田大米中无机砷以红河州砷污染风险最大, 其次是昆明市, 而以普洱市为最小。

### 3.4 一般农田无机砷含量分析

从表 3 可知, 16 个州(市)一般农田大米的无机砷含量经方差分析,  $F$  值为 17.859, 呈极显著差异。因此又做了 LSD 多重比较(见表 4), 全省 16 个市(州)的无机砷含量大小

顺序为: 丽江 > 红河 > 版纳 > 文山 > 曲靖 > 怒江 > 昭通 > 保山 > 大理 > 迪庆 > 昆明 > 玉溪 > 德宏 > 临沧 > 楚雄 > 普洱, 以丽江市最高, 为 0.078 mg/kg, 其次是红河州, 为 0.047 mg/kg, 以普洱市最小, 为 0.001 mg/kg。在  $\alpha=0.05$  和  $\alpha=0.01$  水平, 分别分成 11 个组和 9 个组。其中, 丽江市与其他所有州(市)均呈极显著差异; 红河州、版纳州、文山州、曲靖市和怒江州间均未呈极显著差异, 但是, 红河州与曲靖市和怒江州间呈显著差异; 昭通市、保山市、大理州、迪庆州、昆明市和玉溪市间均未呈极显著差异, 但是, 昭通市与保山市、大理州、迪庆州、昆明市和玉溪市间均呈显著差异; 德宏州、临沧市、楚雄市和普洱市间均未呈极显著差异, 但是, 德宏州与普洱市间呈显著差异。表明云南省 16 个州(市)一般农田大米无机砷以丽江市污染风险最大, 其次是红河州, 以普洱市、楚雄市和临沧市为最小。

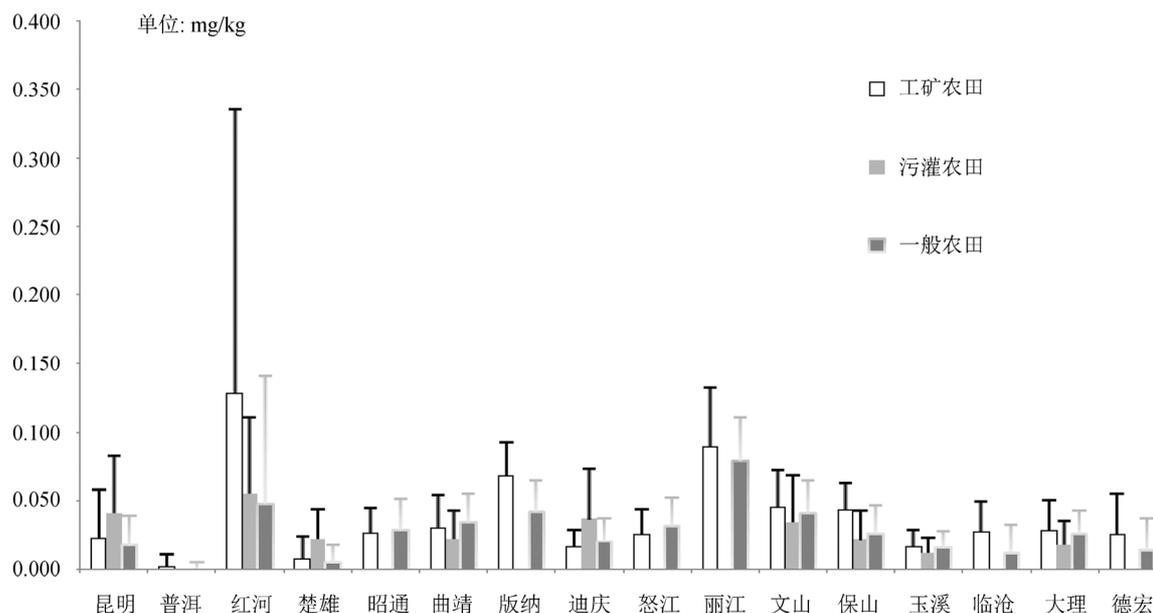


图 1 16 州(市)大米无机砷含量柱状分布图( $n=3$ )

Fig. 1 The histogram of inorganic arsenic content of rice of 16 cities ( $n=3$ )

表 3 16 个州(市)3 种类型农田无机砷方差分析表

Table 3 The variance analysis of inorganic arsenic of 3 types of farmland in 16 cities

类型	变异来源	平方和	自由度	均方	$F$ 检验	$P$ 值
工矿农田	市(州)	0.637	15	0.040	20.328	0.000
	误差	1.849	944	0.002		
	总变异	2.486	960			
污灌农田	市(州)	0.035	10	0.0035	7.699	0.000
	误差	0.224	490	0.0005		
	总变异	0.259	500			
一般农田	市(州)	0.370	15	0.025	17.859	0.000
	误差	1.539	1114	0.001		
	总变异	1.909	1129			

表 4 不同市(州)3 种类型农田有机砷均值 LSD 法多重比较表  
Table 4 The LSD multiple comparison of the average value of organic arsenic of 3 types of farmland of different cities.

工矿农田				污灌农田				一般农田			
市(州)	均值	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$	市(州)	均值	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$	市(州)	均值	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$
红河	0.128	a	A	红河	0.055	a	A	丽江	0.078	a	A
丽江	0.089	b	B	昆明	0.041	b	B	红河	0.047	b	B
版纳	0.068	c	B	迪庆	0.036	b	B	版纳	0.041	bc	BC
文山	0.045	d	C	文山	0.034	b	BC	文山	0.041	bcd	BC
保山	0.044	de	CD	楚雄	0.022	c	CD	曲靖	0.034	cde	BCD
曲靖	0.03	def	CDE	曲靖	0.021	c	CD	怒江	0.031	cdef	BCDE
大理	0.028	ef	CDEF	保山	0.021	c	CD	昭通	0.029	defg	CDEF
临沧	0.027	ef	CDEF	昭通	0.018	cd	D	保山	0.026	efgh	CDEFG
昭通	0.027	f	CDEF	大理	0.017	cd	D	大理	0.026	efgh	CDEFG
怒江	0.026	f	CDEF	玉溪	0.012	d	D	迪庆	0.02	fghi	EFGH
德宏	0.025	f	CDEF	普洱	0	e	E	昆明	0.017	ghij	EFGHI
昆明	0.022	fg	DEFG					玉溪	0.015	hij	EFGHI
迪庆	0.016	fgh	EFG					德宏	0.014	hij	FGHI
玉溪	0.016	fgh	EFG					临沧	0.012	ijk	GHI
楚雄	0.008	gh	FG					楚雄	0.005	jk	HI
普洱	0.002	h	G					普洱	0.001	k	I

#### 4 结论与讨论

近年来,随着工业“三废”的排放、城市生活污水和垃圾的污染以及含有重金属的农药、化肥的不合理使用,使全球农田土壤中重金属的含量急剧增加,造成农产品污染与生态环境破坏等严重问题,已经成为阻碍农业生产可持续发展的主要因素之一。以及金属矿山的开采、冶炼,重金属尾矿、冶炼废渣和矿渣随意堆放等造成重金属被酸溶出,含重金属离子的酸性废水随着矿山排水和降雨进入水环境或直接进入土壤,直接或间接地污染农田土壤。总之,由于城市化、工业化的迅速发展,大量的废水涌入河道,有的甚至是未经处理的污水,致使水中含有大量重金属等污染物,经灌溉后污染土壤,导致土壤中的重金属通过植物吸收后转运至可食部位,进而经食物链进入人体,从而对人体健康构成潜在威胁<sup>[17]</sup>。研究表明食物链传递是人体暴露砷的主要途径之一<sup>[18]</sup>。因此,针对全世界约 30 亿人口为主食的水稻,水稻生产对保障全球粮食安全具有重要作用<sup>[19]</sup>。然而,水稻也是全球用水量最大的灌溉作物,亚洲 80% 的淡水用于水稻灌溉,水稻生产的生态效应也已引起广泛的关注<sup>[20,21]</sup>。

我国是世界上砷污染最严重的国家之一,尤其是湖

南、云南、广西包括湖北一些地区面临着严重的砷污染问题。因此,本文通过对云南省 16 个州(市)水稻主要产区的 118 个县(市/区),根据水稻生长环境分为工矿农田、污灌农田和一般农田 3 种类型,采用 LC-AFS6500 型原子荧光光度计,按照 2016 年 3 月 21 日实施《食品安全国家标准—食品中总砷及无机砷的测定》测定无机砷。研究发现,3 种不同类型农田中重金属无机砷均值呈极显著差异,表现为工矿农田(0.036 mg/kg)>一般农田(0.026 mg/kg)>污灌农田(0.021 mg/kg),表明不同的土壤和灌溉用水,直接影响该田块生长出来的水稻重金属无机砷的含量。其中,工矿农田和污灌农田均以红河州为最高,分别为 0.128 和 0.055 mg/kg,表明工矿农田重金属砷污染最为严重,应引起相关部门的高度重视,其中以红河州的污染风险最大。针对一般农田高于污灌农田,这一方面可能与采样分类标准的误差有关。另一方面可能以污灌农田样本量少有关,因为污灌农田样本仅为 500 份,而一般农田样本为 1165 份,同时,还有 5 个州(市)即版纳、怒江、丽江、临沧和德宏没有采集到样本,昭通市也仅有 1 份样本有关。然而,普洱市的无机砷均值在 16 个州(市)中最低,检出率最低,这与当地良好的农业生态密切相关。因此,当地农业生态环境是影响重金属砷污染的重要因素。

本研究在采集供试的 2592 份稻谷样品中,有 13 份样品无机砷含量超限,超限率为 0.50%。13 份超限样品均来自红河州,其中个旧市 6 份、蒙自市 5 份和开远市 2 份。这与叶玉瑶等<sup>[22]</sup>和肖青青等<sup>[23]</sup>的研究认为,个旧是有名的“世界锡都”,矿业活动频繁,环境污染严重,该区域矿区农田多以冶炼厂废水进行灌溉,土壤受到重金属严重污染密切相关。陈迪云等<sup>[24]</sup>采集了福建沿海地区的 185 个水稻样品,分析了籽粒中的镉、汞、铅、砷等重金属元素的含量,对比大米国家食品限制值,有 0.5% 的样品砷超限相一致。邹梦遥等<sup>[25]</sup>采集了广东某铅锌矿周边 90 个水稻样品,分析大米中重金属 As 的平均含量分别为 0.0401 mg/kg。李优琴等<sup>[26]</sup>根据 38 份市售大米重金属污染状况及健康风险评估表明,砷含量为 0.04~0.29 mg/kg,平均为 0.15 mg/kg,样品砷检出率为 100%。郭朝晖等<sup>[27]</sup>根据有色矿业区耕作土壤、蔬菜和大米中重金属污染认为应采取积极措施防止重金属污染蔬菜和米危害人体健康。还有,长江三角洲地区水稻普遍遭遇重金属污染,部分样本污染严重,已超出限值,其中砷、镉和铅有 29.50%、5.76% 及 1.44% 的样本超过国家粮食卫生标准<sup>[28]</sup>。总之,由于伴随矿产资源的开采、选矿和冶炼,农田土壤中重金属污染日趋严重,过量的重金属进入土壤环境,能通过“土壤-植物-人”的途径进入人体,危及食品安全和人类健康<sup>[29-31]</sup>。因此,应加强对工矿企业相对集中的周边农田,进行重金属污染的风险评估常态化,以更好地保障周边群众的身体健康。在云南省,应该重点监测红河州个旧市、蒙自市和开远市等工矿企业周边区域农田的健康状况。

云南省 118 个县(市/区)采集的 2592 份稻谷样品中,有 13 份样品无机砷含量超限,占供试样品的 0.50%。3 种不同类型农田中重金属砷含量呈极显著差异,以工矿企业周边农田重金属砷污染风险最大;工矿企业周边农田和污水灌溉农田均以红河州为最高,分别为 0.128 和 0.055,一般农田则以丽江市为最高,为 0.078;普洱市的无机砷均值在 16 个州(市)中为最小,检出率最低。表明农业生态环境是影响大米重金属砷污染的重要因素,应对工矿企业周边农田重金属砷污染给予重点关注。

## 参考文献

- [1] 徐明焕. 论质量安全型经济[M]. 北京: 中国标准出版社, 2013.  
Xu MH. Study quality safety economy [M]. Beijing: Chinese Industrial Standards Press, 2013.
- [2] 陈君石. 食源性疾病成为我国头号食品安全问题[J]. 中国科技信息, 2012, (9): 71-71.  
Chen JS. Foodborne disease has become China's number one food safety [J]. China Sci Technol Inf, 2012, (9):71-71.
- [3] Mozumder P, Flugman E, Randhir T. Adaptation behavior in the face of global climate change: survey responses from experts and decision makers serving the Florida keys [J]. Ocean Coast Manage, 2011, 54 (1): 37-44.
- [4] 薛大伟, 钱前. 中国超级稻遗传基础与资源创新[J]. 沈阳农业大学学报, 2007, 38 (5): 667-675.  
Xue DW, Qian Q. Genetic basis and resources innovation of super rice breeding in China [J]. J Shenyang Agric Univ, 2007, 38(5): 667-675.
- [5] 张启发. 绿色超级稻培养的设计[J]. 分子植物育种, 2005, 3(5): 601-602.  
Zhang QF. Strategies for developing green super rice [J]. Mol Plant Breed, 2005, 3(5): 601-602.
- [6] 黎志康. 我国水稻分子育种计划的策略[J]. 分子植物育种, 2005, 3(5): 603-608.  
Li ZK. Strategies for molecular rice breeding in China [J]. Mol Plant Breed, 2005, 3(5): 603-608.
- [7] 汪晶晶. 水稻重金属富集规律研究[J]. 农业灾害研究, 2012, 2(6): 34-35.  
Wang JJ. Study on the heavy metal accumulation laws in rice [J]. J Agric Catastrophol, 2012, 2(6): 34-35.
- [8] 范中亮, 季辉, 杨菲, 等. 不同土壤类型下杂交水稻地上部器官对重金属镉和铅的富集特征[J]. 中国水稻科学, 2010, 24(2): 183-188.  
Fan ZL, Ji H, Yang F, et al. Accumulation characteristics of cadmium and lead in above ground organs of indica hybrid rice as affected by different soil types [J]. Chin J Rice Sci, 2010, 24(2): 183-188.
- [9] Chandr RK. Impact of nutritional status and nutrient supplements on immune response and incidence of infection in older individuals [J]. Ageing Res Rev, 2004, 3(1): 85-104.
- [10] Smedley PL, Kinniburgh DG. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in nature waters[J]. Appl Geochem, 2002, 17(5): 501-566.
- [11] 白研, 叶子明, 林子庆, 等. 海藻中总砷及无机砷含量的测定[J]. 食品科学, 2009, 30(24): 344-346.  
Bai Y, Ye ZM, Lin ZQ, et al. Determination of total arsenic and inorganic arsenic in marine algae [J]. Food Sci, 2009, 30(24): 344-346.
- [12] 陈少波, 余雯静, 赵玉兰. 食品中砷形态分析及无机砷测定[J]. 农产品加工: 学刊, 2013(4): 81-86.  
Chen SB, Yu WJ, Zhao YL. Speciation analysis of arsenic and determination of abio-arsenic in Food [J]. Acad period farm prod, 2013(4): 81-86.
- [13] Jones FT. A broad view of arsenic [J]. Poultry Sci, 2007, 86(1): 1-14.
- [14] 尚德荣, 赵艳芳, 郭莹莹, 等. 食品中砷及砷化合物的食用安全性评价[J]. 中国渔业质量与标准, 2012, 2(4): 21-32.  
Shang DR, Zhao YF, Guo YY, et al. Safety evaluation of arsenic and arsenic compounds in food [J]. Chin Fish Qual Stand, 2012, 2(4): 21-32.
- [15] GB 2762-2012 食品中污染物限量[S].  
GB 2762-2012 Limits of contaminants in food [S].
- [16] 曹珺, 赵丽娟, 钟儒刚. 原子吸收光谱法测定食品中重金属含量的研究进展[J]. 食品科学, 2012, 33(7): 304-309.  
Cao J, Zhao LJ, Zhong RG. Progress in determination of heavy metals in foods by atomic absorption spectrometry [J]. Food Sci, 2012, 33(7): 304-309.
- [17] 王利红, 刘静, 尹西翔, 等. 山东省南四湖地区水稻砷污染分析及食用风险评估[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(4): 2222-2224.  
Wang LH Liu J, Ying XX, et al. Analysis of arsenic contamination and assessment of health risks in rice from Nansihu district in Shandong province [J]. J Anhui Agric Sci, 2011, 39(4): 2222-2224.

- [18] 姜作发, 唐富江, 董崇智, 等. 黑龙江水系主要江河浮游动物种群结构特征[J]. 东北林业大学学报, 2006, 34(4): 64-66.  
Jiang ZF, Tang FJ, Dong CZ, *et al.* Population structure of zoo plankton in Heilongjiang river system [J]. J Northeast Forestry Univ, 2006, 34(4): 64-66.
- [19] 程青华, 方福平. 2009年中国水稻产业发展报告[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009.  
Cheng SH, Fang FP. Report on rice industry development in China in 2009 [M]. China Agricultural Press, 2009.
- [20] Bouman BA, Tuong TP. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice [J]. Agric Water Manage, 2000, 1615: 1-20.
- [21] Dingkuhn M, Jones MP, Johnson DE, *et al.* Growth and yield potential of oryza sativa and O. glaberrima upland rice cultivars and their interspecific progenies [J]. Field Crops Res, 1998, 57(1): 57-69.
- [22] 叶玉瑶, 张虹鸥, 谈树成. 个旧城区土壤中重金属潜在生态危险评价[J]. 热带地理, 2004, 24(1): 14-17.  
Ye YY, Zhang HO, Tan SC. A study on the potential ecological risk of heavy metals in soils of Gejiu urban area[J]. Trop Geogr, 2004, 24(1): 14-17.
- [23] 肖青青, 王宏斌, 赵宾, 等. 云南个旧市郊农作物重金属污染现状及健康风险[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(2): 271-281.  
Xiao QQ, Wang HB, Zhao B, *et al.* Heavy metal pollution in crops growing in suburb of Gejiu city, Yunnan province, China: present situation and health risk[J]. J Agro-Environ Sci, 2011, 30(2): 271-281.
- [24] 陈迪云, 谢文彪, 杨军华, 等. 福建沿海地区水稻重金属含量特征[J]. 广州大学学报(自然科学版), 2007, 6(6): 67-71.  
Chen DY, Xie WB, Yang JH, *et al.* The characteristics of heavy metal content of paddy in Fujian Province's littoral area [J]. J Guangzhou Univ (Nat Sci Ed), 2007, 6(6): 67-71.
- [25] 邹梦遥, 张磊, 周遗品, 等. 某铅锌矿周边地区大米重金属污染评价及膳食暴露风险评估[J]. 广东农业科学, 2015, 16: 64-70.  
Zou MY, Zhang L, Zhou YP, *et al.* Pollution evaluation and dietary exposure risk assessment of heavy metals in rice from a lead-zinc ore mine [J]. J Guangdong Agric Sci, 2015, 16: 64-70.
- [26] 李优琴, 李荣林, 石志琦. 市售大米重金属污染状况及健康风险评估[J]. 江苏农业学报, 2008, 24(6): 977-978.  
Li YQ, Li RL, Shi ZQ. Pollution and risk evaluation of heavy metals in rice[J]. Jiangsu J Agric Sci, 2008, 24(6): 977-978.
- [27] 郭朝晖, 宋杰, 陈彩, 等. 有色矿业区耕作土壤、蔬菜和大米中重金属污染[J]. 生态环境, 2007, 16(4): 1144-1148.  
Guo ZH, Song J, Chen C, *et al.* Heavy metals contamination for cultivated soils, vegetables and rice in the vicinity of non-ferrous metals industry [J]. Ecol Environ, 2007, 16(4): 1144-1148.
- [28] 肖俊清, 袁旭音, 李继洲, 等. 长江三角洲地区土壤和水稻重金属污染特征研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(19): 10206-10208.  
Xiao JQ, Yuan XY, Li XZ, *et al.* Characteristics of heavy metal pollution in soil and rice of Yangtze River delta region[J]. J Anhui Agric Sci, 2010, 38(19): 10206-10208.
- [29] Hussein H, Farag S, Kandil K, *et al.* Tolerance and uptake of heavy metals by *Pseudomonads* [J]. Process Biochem, 2005, 40: 955-961.
- [30] Granero S, Domingo JL. Levels of metals in soils of Alea de Henares, Spain: Human health risks [J]. Environ Int, 2002, 28: 159-164.
- [31] Zhang MK, Wang MQ, Liu XM, *et al.* Characterization of soil quality under vegetable production along an urban-rural gradient [J]. Pedosphere, 2003, 13(2): 173-180.

(责任编辑: 武英华)

## 作者简介



严红梅, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为食品安全检测研究。  
E-mail: 15398609572@139.com



汪禄祥, 硕士, 研究员, 主要研究方向为食品质量安全检测研究。  
E-mail: wangluxiang@sina.com