

恩施魔芋种植基地土壤重金属污染及健康风险评价

翟 琨,向东山

(湖北民族学院 化学与环境工程学院/生物资源保护与利用湖北省重点实验室,湖北 恩施 445000)

摘要: 为了解恩施魔芋产地土壤环境质量及潜在的健康风险,对土壤重金属元素铜(Cu)、铬(Cr)、镉(Cd)、砷(As)、铅(Pb)含量进行测定,并对土壤重金属污染及健康风险进行评价。结果表明:魔芋产地土壤重金属元素含量均达到国家土壤重金属环境质量二级标准,单因子污染指数均低于1.0,综合污染指数为0.4,土壤处于安全等级,适合发展魔芋无公害生产。其中,Cd的单因子污染指数最高(0.77),是潜在的首要污染物。在5种重金属中,Cu含量与Cr含量呈极显著正相关,Pb含量与Cd含量呈极显著正相关。几种重金属引起的成人和儿童的非致癌风险、致癌风险、总非致癌风险、总致癌风险均低于相应风险阈值,对人体健康不会造成明显危害,但Cr和As存在着潜在的健康风险威胁。儿童总非致癌风险和总致癌风险出现的概率分别是成人的1.5倍和3.5倍,且儿童的总致癌风险处于临界点,需要高度关注并及时进行土壤修复和治理。因此,为确保魔芋无公害生产能够顺利开展,需要及时监控土壤中Cd、Cr、As的进入途径和进入量,必要时采取土壤污染修复治理措施,以确保土壤环境质量和魔芋生产安全性。

关键词: 魔芋;土壤;重金属;污染;健康风险评价

中图分类号: S567 文献标志码: A 文章编号: 1004-3268(2015)10-0081-04

Pollution Evaluation and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Soil of Konjac Planting Base in Enshi

ZHAI Kun, XIANG Dongshan

(School of Chemical and Environmental Engineering, Hubei University for Nationalities/
Key Laboratory of Biologic Resources Protection and Utilization of Hubei Province, Enshi 445000, China)

Abstract: In order to evaluate the soil heavy metal pollution and health risk of konjac planting region in Enshi, the contents of copper (Cu), chromium (Cr), cadmium (Cd), arsenic (As) and lead (Pb) content were monitored and analyzed. The results showed that the contents of heavy metals in soil of konjac plantation region in Enshi reached national secondary standard, the single pollution indexes of five heavy metals were all under 1.0, the comprehensive pollution index was 0.4, the soil was in safety level, and suitable for development of konjac pollution-free production. The content of Cd was the highest among five heavy metals, and the single pollution index of Cd was 0.77, which was the major pollutant. In five heavy metals, content of Cu had significant correlation with Cr content, Pb content had significant correlation with Cd content. For adults and children, non-cancer hazard, cancer hazard, total non-cancer hazard and total cancer hazard of several heavy metals were all lower than the corresponding risk threshold, and would not cause obvious harm to human health, but Cr and As had potential health risks. The total non-cancer hazard and total cancer hazard for children were 1.5 times and 3.5 times as much as for adults respectively, and the total cancer hazard for children reached the critical point, thus it was

收稿日期:2015-04-10
基金项目:国家自然科学基金项目(21465010);生物资源保护与利用湖北省重点实验室开放基金项目(PKLHB1531, PKLHB1532);湖北省林学一级学科资助项目
作者简介:翟 琨(1978-),女,辽宁沈阳人,副教授,硕士,主要从事土壤化学与环境方面的研究。E-mail:zk3100@sina.com

necessary to pay attention to concentration of heavy metals,soil restoration and management. Therefore,in order to ensure organic production of konjac,monitoring the content of Cd,Cr,As in soil should be performed,and soil pollution restoration measures should be adopted.

Key words: konjac; soil; heavy mentals; population; health risk assessment

环境健康风险评价是对环境中可能存在的危险源进行识别,对其危害到人体健康的程度进行定量评价^[1]。环境健康风险评价在环境污染和人体健康之间建立了一条通道,能够卓有成效地分析环境污染风险与人体健康之间的关系。重金属是土壤环境中一种主要的、持久性的污染物质,能够被作物吸收,然后沿着食物链进入到人体,对人体产生一系列不良影响,如镉引起的骨痛病、汞引起的水俣病等^[2-4]。因此,重金属含量是土壤环境质量评价的重要指标。魔芋是我国西南地区的特产,也是恩施州一种重要的经济作物,恩施魔芋种植面积位列湖北省第一位,占全国魔芋种植总面积的 1/4 左右^[5]。魔芋作为餐桌上的一道美味佳肴,已成为许多消费者喜爱的一种食物。魔芋种植基地土壤环境质量直接影响到魔芋的品质,因此评估产地土壤环境质量,对其进行健康风险评价,对于控制和修复土壤污染、促进恩施魔芋产业的发展具有举足轻重的作用。目前,针对恩施魔芋种植土壤主要开展了土壤肥力方面的研究^[6-8],对土壤重金属污染方面的研究尚未见报道。因此,对恩施魔芋种植基地土壤重金属含量进行监测和评价,能够为恩施魔芋产地土壤环境保护及食品安全提供重要的理论依据。

1 材料和方法

1.1 供试土壤

供试土壤样品采自恩施地区魔芋种植规模最大的恩施市、建始县和巴东县魔芋种植基地,每个基地设 3 个采样点,采集 0~20 cm 耕层土壤,均匀混合,置于室内风干后,加工处理成待测土样。

1.2 测定项目及方法

土壤 As 含量采用二乙基二硫代氨基甲酸银分光光度法测定^[9];Cu、Cr、Cd、Pb 含量采用原子吸收分光光度法测定^[9]。

1.3 土壤重金属污染评价方法和标准

以国家土壤环境质量标准(GB 15618—1995)^[9]的二级标准限量值(Cu≤50 mg/kg、Cr≤150 mg/kg、Cd≤0.30 mg/kg、As≤40 mg/kg、Pb≤250 mg/kg)作为污染评价标准值。采用单因子污染指数法和综合污染指数法对土壤重金属污染状况进行评价^[10]。

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

式中, P_i 为重金属 i 的单因子污染指数, C_i 为重金属 i 的实测值, S_i 为重金属 i 的评价标准值。当 $P_i < 1$ 时,表明土壤未受污染,作物可正常生长;当 $P_i > 1$ 时,表明土壤受到污染,作物生长受到影响^[11]。

$$P_{\text{综}} = \sqrt{\frac{P_{\text{imax}}^2 + P_{\text{iave}}^2}{2}}$$

式中, $P_{\text{综}}$ 为重金属的综合污染指数, P_{imax} 为重金属 i 的最大污染指数, P_{iave} 为所有重金属单因子污染指数平均值。综合污染指数污染评价等级划分标准见表 1^[12]。

表 1 综合污染指数评价土壤环境质量的分级标准			
等级	$P_{\text{综}}$	等级描述	污染水平
1	$P_{\text{综}} \leq 0.7$	安全	清洁(适于发展无公害食品生产)
2	$0.7 < P_{\text{综}} \leq 1.0$	警戒线	尚清洁(适于发展无公害食品生产)
3	$1.0 < P_{\text{综}} \leq 2.0$	轻污染	土壤轻污染,作物开始受到污染
4	$2.0 < P_{\text{综}} \leq 3.0$	中污染	土壤、作物均受中度污染
5	$P_{\text{综}} > 3.0$	重污染	土壤、作物均受严重污染

1.4 土壤健康风险评价方法和标准

不同类型污染物通过土壤—人体后所引起的健康风险评价模型包括致癌物所产生健康危害的风险模型和非致癌物所产生健康危害的风险模型^[13]。考虑人体接触土壤中重金属途径及当地居民实际情况确定暴露评价参数见表 2^[14];根据美国国家环保局(USEPA)推荐与评价,有关的参考剂量值和斜率因子见表 3^[15]。土壤重金属对人体引起的非致癌、致癌风险参照下面公式^[13-15]计算。

$$CDI = \frac{c \times IR \times CF \times FI \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

式中:CDI 为某一重金属元素日慢性摄取量, c 为重金属污染物浓度,IR 为摄取速率,CF 为转换因子,FI 为摄取分数,EF 为暴露频率,ED 为暴露时间,BW 为受体质量,AT 为平均接触时间,后 7 个指标的取值范围参见表 2。

$$HQ = CDI/RfD$$

式中:HQ 为重金属非致癌风险指数,用来评价敏感人群受到非致癌风险的可能性;RfD 为参考剂量(表 3)。

$$HI = HQ_1 + HQ_2 + HQ_3 + HQ_4 + HQ_5$$

式中:HI 为 5 种重金属的总非致癌风险指数,可以同时评价 5 种重金属所产生的总非致癌风险。

非致癌风险评价包括人体经手、口、皮肤等途径吸收污染物的风险之和。由于本研究涉及到的重金属元素挥发性不强,因此,非致癌风险评价以食用人群消化道吸收污染物产生的风险为主要评价依据。

一般认为,当 HQ 或 $HI < 1$ 时,表示研究区域暴露风险浓度低于参考浓度,认为风险较小或可以忽略;当 HQ 或 $HI \geq 1$ 时,认为存在非致癌风险^[15]。

国际癌症研究机构 (IARC) 和世界卫生组织 (WHO) 研究表明,Cd 和 As 具有较强的致癌能力,

故只对这 2 种元素进行致癌风险评价^[16],公式如下:

$$CR = CDI \times SF$$

$$TCR = CR_1 + CR_2$$

式中: CR 为某种可致癌重金属的致癌风险指数, SF 为斜率因子(表 3), TCR 为 2 种可致癌重金属的总致癌风险指数。

USEPA 推荐的土壤治理标准为 $CR > 10^{-6}$,有专家认为 CR 在 $10^{-6} \sim 10^{-4}$ 时也是可以接受的^[16]。

表 2 健康风险评价模型暴露参数

项目	$CF/(kg/mg)$	$EF/(d/a)$	ED/a	BW/kg	AT/d	$IR/(mg/d)$	FI
参考值(成人)	10^{-6}	365	30	70	365×70	100	1
参考值(儿童)	10^{-6}	365	10	16	365×70	200	1

表 3 模型参数 RfD 和 SF 值

项目	Cu	Cr	Cd	As	Pb
$RfD/[mg/(kg \cdot d)]$	0.04	0.003	0.001	0.0003	0.0035
$SF/[(kg \cdot d)/mg]$			6.1	1.5	

2 结果与分析

2.1 恩施魔芋种植基地土壤重金属污染评价

由表 4 可知,恩施魔芋种植基地土壤中 Cu、Cr、Cd、As、Pb 的单因子污染指数均小于 1,说明魔芋种植基地土壤中上述重金属含量均低于土壤环境质量二

级标准限值,土壤未污染;综合污染指数为 0.4,小于 0.7,土壤处于安全等级,属于清洁水平,适于发展无害生产。但是,在巴东采样点中有 2 个样点 Cd 含量均高于土壤环境质量二级标准限值,处于污染状态;并且在各种重金属元素中,Cd 的单因子污染指数值最高,说明 Cd 有可能成为首要污染物,在将来的魔芋生产中需要注意对其含量的监测,并根据土壤对 Cd 的环境容量,有针对性地控制含 Cd 污水的灌溉、含 Cd 农药和化肥的施用等^[17],对于已经存在污染的 2 个采样点需要采取必要的措施进行污染修复。

表 4 土壤重金属含量及污染评价

采样点	Cu	Cr	Cd	As	Pb
恩施样点 1	17.190	50.190	0.080	3.950	21.070
恩施样点 2	17.580	53.560	0.150	4.770	23.038
恩施样点 3	20.670	54.970	0.172	3.140	27.103
建始样点 1	20.900	60.720	0.180	4.440	30.040
建始样点 2	23.010	66.340	0.210	5.180	30.270
建始样点 3	26.850	66.920	0.250	3.670	33.060
巴东样点 1	28.680	71.690	0.290	3.670	38.210
巴东样点 2	31.400	75.210	0.340	2.820	42.610
巴东样点 3	32.530	83.320	0.370	5.980	43.250
平均值	24.31	64.77	0.23	4.18	32.07
SD	5.77	10.95	0.09	1.01	7.98
P_i	0.49	0.43	0.77	0.10	0.13
$P_{综}$			0.4		

2.2 恩施魔芋种植基地土壤各重金属含量间的相关性

由表 5 可知,在 5 种重金属中,Cu 含量与 Cr 含量呈极显著相关,Pb 含量与 Cd 含量呈极显著相关。

表 5 土壤各重金属含量间的相关系数

重金属	Cu	Cr	Cd	As	Pb
Cu	1				
Cr	0.844 **	1			
Cd	0.504	0.666	1		
As	-0.099	0.271	0.398	1	
Pb	0.142	0.263	0.832 **	0.583	1

注: *、** 分别表示相关性显著 ($P < 0.05$)、极显著 ($P < 0.01$)。

一方面,这可能是由于 Cu 与 Cr 来源相同、Pb 与 Cd 来源相同,因此两者具有较高相关性^[18];另一方面,可能是由于在地质形成或外源物质添加过程中,Cu 与 Cr、Pb 与 Cd 具有较强的伴生关系,从而表现为两者含量极显著相关^[19]。

2.3 恩施魔芋种植基地土壤重金属健康风险评价

由表 6 可知,土壤中各种重金属所引起的成人和儿童健康危害的非致癌个人年风险指数均小于 1,在可以接受的范围内;土壤中 5 种重金属对成人和儿童潜在的总非致癌风险也均低于 1,但对儿童的总非致癌风险高于成人,表明该魔芋种植基地无

论单一重金属还是各种重金属的综合作用,均不会产生明显的重金属非致癌风险,对人体健康没有明显的危害。在 5 种重金属中,Cr 和 As 是主要的非致癌风险来源,其中 Cr 对成人和儿童的非致癌风险指数分别为 1.30×10^{-2} 和 3.80×10^{-2} ,As 对成人和儿童的致癌风险指数分别为 2.00×10^{-2} 和 1.74×10^{-2} 。2 种致癌重金属 Cd 和 As 对成人和孩子的致癌个人年风险指数分别介于 $10^{-7} \sim 10^{-6}$ 和 $10^{-6} \sim 10^{-5}$,表明由单一重金属元素引起的健康风险较不明显,但 As 的致癌风险高于 Cd。另外,对于儿童来说,总致癌风险指数为 3.30×10^{-4} ,已经处于土壤修复和治理的临界点;对于成人来说,总致癌风险指数为 9.50×10^{-5} ,低于儿童所面临的健康风险。综上,无论是非致癌风险还是致癌风险,儿童相对于成人来说受到危害的风险都要大一些,儿童总非致癌风险和总致癌风险出现的概率分别是成人的 1.5 倍和 3.5 倍。因此,在魔芋种植生产过程中,需要更多关注儿童因此引发的一系列健康问题,以不损害儿童身体健康为基本准则开展土壤修复、评价和农业生产。

表 6 土壤重金属健康危害对成人和儿童的平均个人年风险

指标	HQ		CR	
	成人	儿童	成人	儿童
Cu	3.72×10^{-4}	1.09×10^{-3}		
Cr	1.30×10^{-2}	3.80×10^{-2}		
Cd	1.41×10^{-4}	4.11×10^{-4}	8.60×10^{-7}	2.51×10^{-6}
As	2.00×10^{-2}	1.74×10^{-2}	8.96×10^{-6}	7.85×10^{-5}
Pb	5.60×10^{-3}	1.64×10^{-2}		
HI	1.58×10^{-2}	2.30×10^{-2}		
TCR			9.50×10^{-5}	3.30×10^{-4}

3 结论

本研究结果表明,恩施魔芋种植基地土壤中 Cu、Cr、Cd、As、Pb 含量均达到国家土壤重金属环境质量二级标准,其单因子污染指数均低于 1,内梅罗综合污染指数为 0.4,土壤未受到重金属污染,可以发展无公害生产。在 5 种重金属中,Cu 含量与 Cr 含量呈极显著正相关,Pb 含量与 Cd 含量呈极显著正相关。几种重金属引起的成人和儿童平均非致癌风险指数和致癌风险指数均低于相应风险阈值,对人体健康不会造成明显危害,但对儿童而言总致癌风险处于临界点,需要关注并进行土壤修复和治理。在土壤环境污染评价中,重金属元素 Cd 是潜在的首要污染物;在土壤重金属元素健康风险评价中,Cr 和 As 是潜在的主要非致癌风险来源。因此,在农业生产中需要及时监测、控制和修复土壤中 Cd、Cr、As 3 种重金属污染物质的进入,将其限定在环境容量范围内,确保土壤环境质量安全。

参考文献:

[1] 金立新,侯青叶,杨忠芳,等. 四川德阳地区农田生态

系统重金属健康风险评价[J]. 地学前缘,2008,15(5):47-56.

[2] 和莉莉,李冬梅,吴钢.我国城市土壤重金属污染研究现状和展望[J]. 土壤通报,2008,39(5):1210-1216.

[3] 曾希柏,苏世鸣,马世铭,等.我国农田生态系统重金属的循环与调控[J]. 应用生态学报,2010,21(9):2418-2426.

[4] 樊霆,叶文玲,陈海燕,等.农田土壤重金属污染状况及修复技术研究[J]. 生态环境学报,2013,22(10):1727-1736.

[5] 刘二喜,熊坤,杨朝柱,等.恩施州魔芋种植区域规划[J]. 湖北农业科学,2012,51(22):5090-5094.

[6] 王鹏,朱明晗,翟琨.基于层次分析法的恩施州魔芋种植基地土壤质量评价[J]. 安徽农业科学,2010,38(28):15699-15701.

[7] 陆海波,翟琨.恩施州魔芋种植基地土壤生产力质量评价[J]. 江苏农业科学,2010(3):431-432.

[8] 蔡金洲,翟琨.恩施州魔芋种植基地土壤肥力评价[J]. 湖北农业科学,2010,49(4):829-832.

[9] 国家环境保护局南京环境科学研究所. GB 15618—1995 土壤环境质量标准[S]. 北京:中国标准出版社,1996.

[10] 张玉莲,闫天增.内梅罗指数法在土壤重金属污染评价中的应用[J]. 河南教育学院学报:自然科学版,2012,21(2):35-39.

[11] 李静,俞天明,周洁,等.铅锌矿区及周边土壤铅、锌、镉、铜的污染健康风险评价[J]. 环境科学,2008,29(8):2327-2330.

[12] 叶雪珠,王强,张永志,等.杭州市主要茶叶生产基地环境质量评价[J]. 浙江农业学报,2007,19(3):164-168.

[13] 高继军,张力平,黄圣彪,等.北京市饮用水源水重金属污染物健康风险的初步评价[J]. 环境科学,2004,25(2):47-50.

[14] 韩平,王纪华,陆安祥,等.北京顺义区土壤重金属分布与环境质量评价[J]. 农业环境科学学报,2012,31(1):106-112.

[15] 丁怡欣,李柳.汞矿冶炼区土壤重金属汞污染健康风险评价[J]. 城市地理,2015(8):184-186.

[16] 杨刚,伍钧,孙百晔,等.雅安市耕地土壤重金属健康风险评价[J]. 农业环境科学学报,2010,29(z1):74-79.

[17] 刘育红.土壤镉污染的产生及治理方法[J]. 青海大学学报:自然科学版,2006,24(2):75-79.

[18] 宋志东,唐永金.常见污染元素土壤背景值间的相关关系[J]. 江苏农业科学,2012,40(9):322-324.

[19] 刘琼峰,李明德,段建南,等.农田土壤铅、镉含量影响因素地理加权回归模型分析[J]. 农业工程学报,2013,29(3):225-234,300.