

# 丽水市郊蔬菜重金属含量及健康风险分析

梁巧玲, 杨 晖, 赵 鹏

(丽水学院 生态学院, 浙江 丽水 323000)

**摘 要:**以丽水市郊水阁工业园区石牛大桥附近蔬菜基地 30 个土壤样品和 60 个蔬菜样品为试验对象,测定了其铅(Pb)、镉(Cd)、铬(Cr)、砷(As)的含量,并分析了其对人体健康的危害;并运用目标危害系数(Target hazard quotient, THQ)法评价当地居民摄食蔬菜可能存在的健康风险,同时比较成人和儿童 THQ 值的大小。结果表明:该地区蔬菜基地土壤中 Cd 的平均含量为 0.450 mg/kg,是国家标准值的 1.5 倍;叶菜类蔬菜中 Pb 的平均含量为 0.214 mg/kg,是无公害蔬菜的 1.07 倍, Cd 的平均含量为 0.058 mg/kg,是无公害蔬菜的 1.16 倍,非叶菜类蔬菜中 Pb 的平均含量为 0.258 mg/kg,是无公害蔬菜的 1.29 倍。成人和儿童摄食蔬菜后, Pb 的 THQ 值分别为 0.318 和 0.418, Cd 的 THQ 值分别为 0.226 和 0.297。所以抽样蔬菜基地中的 Pb 和 Cd 的含量都超标,不符合无公害蔬菜要求;但是摄食蔬菜后, Pb 和 Cd 的 THQ 值都小于 1,表明 Pb 和 Cd 的健康风险不明显。

**关键词:**土壤;蔬菜;重金属;污染指数;目标危害系数

**中图分类号:**S 63;X 53 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)12-0021-04

食品安全是关系到人类健康的首要问题。近年来蔬菜产品重金属污染问题受到广泛关注,蔬菜中重金属含量的高低主要取决于环境中重金属污染的轻重,蔬菜对重金属有一定的富集能力,并且蔬菜中积累的重金属可通过食物链进入人体而给健康带来潜在的危险<sup>[1]</sup>。丽水市作为生态城市的同时,工农业生产得到了迅速发展,但是在经济进步的同时也对环境造成了不可忽视的影响,尤其是一些化工、电镀、蓄电池等企业的发展,对生态环境造成一定的污染,其中重金属污染也凸显出来。王虹艳<sup>[2]</sup>研究了丽水市城市土壤重金属元素含量分析发现,镉(Cd)、铅(Pb)平均含量分别为 0.53 mg/kg、63.15 mg/kg,是其自然环境背景值的 3.17 和 2.47 倍,表明丽水市一些地方表层土壤已经受到不同程度的镉(Cd)、铅(Pb)污染。该研究测定了丽水市郊水阁工业园区石牛大桥附近蔬菜基地 60 个蔬菜样品中铅(Pb)、镉(Cd)、铬(Cr)、砷(As)的含量,并采用目标危害系数法综合评价了当地居民摄食蔬菜导致的重金属健康风险,为进一步研究摄食蔬菜途径导致的重金属对人体健康的危害提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 样地选取

丽水市位于浙江省西南浙、闽 2 省结合部,市境介于北纬 27°25'~28°57'和东经 118°41'~120°26'之间,属中亚热带季风气候区,温暖湿润,四季分明。丽水市水阁工业园距市区约 4.0 km,规划总面积 14.4 km<sup>2</sup>,以机械制造、轻纺加工、精细化工等产业为主。研究样地设在丽水市水阁工业园区石牛大桥附近的蔬菜基地,根据 GB15618-1995《土壤环境质量标准》,试验土壤 pH<6.5,为二类土。

### 1.2 土样采集

在样地中设置 30 个采样点,采用对角线法进行混合土样采集,用刀取耕土层,深度为 20 cm 以上,每个混合土样采用四分法缩分至 200 g,自然风干后除去土样中的石子和动植物残体,研磨至通过 100 目的筛子备用。

### 1.3 蔬菜采集

在田间按梅花形采集蔬菜样品可食部位,每个样点分别采 4 个样品组成 1 个混合样,采集叶菜类(油冬菜、白菜、卷心菜)和非叶菜类(花椰菜、萝卜、番茄)蔬菜样品各 30 个,样品采集后置于保温箱中低温保存,回实验室后将采集的蔬菜样品依次用自来水、高纯水清洗数次,除去样品表面的污染物,晾干后置 105℃烘干箱中烘 15 min,然后降温到 70℃烘干至恒重,粉碎机粉碎后过 100 目筛备用。

**第一作者简介:**梁巧玲(1967-),女,本科,高级实验师,研究方向为植物与植物生理。E-mail:lsliangqiaoling@163.com.

**基金项目:**浙江省教育厅科研资助项目(Y201224793);丽水学院校级重点科研资助项目(kz201109)。

**收稿日期:**2013-03-04

## 1.4 重金属含量测定

称取 0.5 g 样本粉末(精确到 0.001 g)于微波消解管中,加硝酸 4.0 mL 浸泡过夜。再加 30%过氧化氢 2.0 mL 盖好盖,浸渍 15 min,放入微波消解萃取仪,功率调至 1 600 W,用 5 min 升温至 120℃,保持 2 min,然后用 8 min 升温至 195℃,保持 15 min,冷却 30 min,用滴管将消化液洗入 10.0 mL 容量瓶中,用少量水多次洗涤,洗液合并定容至刻度,根据 GB/T 2105-2008、NY/T 1653-2008 采用 iCAP 6300 DUO 等离子发射光谱仪测定重金属 Pb、Cd、Cr、As 含量。

## 1.5 评价方法

按照食用农产品产地环境质量评价标准(HJ/T332-2006),土壤中重金属含量:总镉 $\leq 0.3$  mg/kg,总铅 $\leq 50$  mg/kg,总铬 $\leq 250$  mg/kg、总砷 $\leq 30$  mg/kg;按照农产品安全质量无公害蔬菜安全要求(GB18406.1-2001)蔬菜中重金属含量:镉 $\leq 0.05$  mg/kg,铅 $\leq 0.2$  mg/kg,铬 $\leq 0.5$  mg/kg,砷 $\leq 0.5$  mg/kg。根据此标准对样点土壤和蔬菜中重金属含量进行评价。

采用单因子污染指数法和综合污染指数法<sup>[3]</sup>评价土壤和蔬菜中重金属的含量。

单因子污染指数法: $P_i = C_i / S_i$  式中: $P_i$  为土壤、蔬菜中  $i$  污染物的单项污染指数; $C_i$  为土壤、蔬菜中  $i$  污染物的实测值; $S_i$  为土壤、蔬菜中  $i$  污染物的评价标准。

综合污染指数法: $P = \sqrt{[\text{avr}(P_i)^2 + \max(P_i)^2]/2}$ , 式中: $P$  为综合污染指数; $\max(P_i)$  为土壤、蔬菜污染物中单项污染指数的最大值; $\text{avr}(P_i)$  为土壤、蔬菜污染物中单项污染指数的平均值。

## 2 结果与分析

## 2.1 采样点土壤重金属污染评价

由表 1 可知,蔬菜地土壤中重金属单项污染指数为  $\text{Cd} > \text{Pb} > \text{As} > \text{Cr}$ ,其中 Pb、As、Cr 的值均小于 1,而且没有一个样点超标,但是 Cd 的值达到 1.49,且菜地中重金属综合污染指数达到 1.11,根据食用农产品产地环境质量评价标准(HJ/T332-2006),如果各土壤样本综合质量指数或者一个重金属单项指数大于 1,即为超标,该蔬菜地土壤中 Cd 超标,提示该土壤已被污染。

表 1 菜地土壤重金属含量及评价结果

重金属	含量及超标率			污染指数		污染等级
	范围 /mg·kg <sup>-1</sup>	平均值 /mg·kg <sup>-1</sup>	超标率 /%	单项污染指数	综合污染指数	
Pd	19.06~24.85	21.86	0	0.44		
Cd	0.37~0.62	0.45	100	1.49	1.11	超标
Cr	0.11~28.98	6.28	0	0.03		
As	2.44~3.09	2.78	0	0.09		

## 2.2 蔬菜中重金属含量及评价

所选蔬菜栽培基地蔬菜可食部分重金属含量见表 2。蔬菜中重金属含量排序为: $\text{Pd} > \text{Cr} > \text{Cd} > \text{As}$ ,叶菜类

蔬菜中 Cd、Cr 的平均含量均高于非叶菜类蔬菜,而叶菜类蔬菜中 Pd 含量的平均值低于非叶菜类蔬菜,但叶菜类蔬菜样品中 Pd 的中位数高于非叶菜类蔬菜,而且叶菜类蔬菜样品中 Pd 超标率高于非叶菜类蔬菜样品,因此从整体讲叶菜类蔬菜更容易富集重金属。从变异系数可以看出,不同蔬菜样品中重金属含量差异较大,尤其是 Cr 的含量最大差异倍数为 124.5 倍,Pb、Cd 的含量最大差异倍数分别为 9.6 和 8.7 倍。

表 2 蔬菜可食部分重金属含量(鲜重) mg/kg

蔬菜种类	样本数	范围	算术均值	中位数	标准差	变异系数
叶菜类	Pd	30	0.120~0.284	0.214	0.213	0.040
	Cd	30	0.014~0.122	0.058	0.068	0.034
	Cr	30	0.002~0.249	0.071	0.009	0.093
	As	30	<0.100			
非叶菜类	Pd	30	0.065~0.626	0.258	0.150	0.200
	Cd	30	0.016~0.046	0.026	0.024	0.008
	Cr	30	0.004~0.190	0.070	0.011	0.076
	As	30	<0.100			
总体	Pd	60	0.065~0.626	0.236	0.210	0.439
	Cd	60	0.014~0.122	0.042	0.029	0.029
	Cr	60	0.002~0.249	0.070	0.010	0.085
	As	30	<0.100			

由表 3 可知,叶菜类蔬菜中重金属单项污染指数为  $\text{Cd} > \text{Pb} > \text{Cr}$ ,Cr 的最大含量为 0.249 mg/kg,低于无公害蔬菜标准值 0.500 mg/kg,而且单项污染指数只有 0.14,所以 Cr 污染暂不存在。Pb、Cd 的单项污染指数都大于 1,而且 Cd 有 66.7%的蔬菜样品超标,平均含量超过无公害蔬菜 Cd 的标准值 0.05 mg/kg;Pb 有 75%的蔬菜样品超标,平均含量超过无公害蔬菜 Pb 的标准值 0.20 mg/kg,所以在叶菜类蔬菜中存在 Pb、Cd 的污染。蔬菜样品中 As 的含量比较低,均 $< 0.1$  mg/kg,大大低于无公害蔬菜 As 的标准值 0.5 mg/kg,所以不存在 As 的污染。

表 3 叶菜类蔬菜重金属含量及评价结果(鲜重)

重金属	含量及超标率			污染指数	
	范围 /mg·kg <sup>-1</sup>	平均值 /mg·kg <sup>-1</sup>	超标率 /%	单项污染指数	综合污染指数
Pd	0.120~0.284	0.214	75.0	1.07	1.14
Cd	0.014~0.122	0.058	66.7	1.16	
Cr	0.002~0.249	0.071	0	0.14	

由表 4 可知,非叶菜类蔬菜中重金属单项污染指数为  $\text{Pb} > \text{Cd} > \text{Cr}$ ,Cr 的最大含量为 0.190 mg/kg,远低于无公害蔬菜铬的标准值 0.5 mg/kg,且单项污染指数为 0.14,所以不存在 Cr 的污染;Cd 的单项污染指数小于 1,而且所有样品中 Cd 都未超标,所以在非叶菜类蔬菜中不存在 Cd 的污染;Pb 的单项污染指数大于 1,而且有 41.7%的蔬菜样品超标,平均含量超过无公害蔬菜标准值 0.2 mg/kg,所以在非叶菜类蔬菜中存在 Pb 的污染。

表 4 非叶菜类蔬菜重金属含量及评价结果(鲜重)

重金属	含量及超标率			污染指数	
	范围	平均值	超标率	单项污染指数	综合污染指数
	/mg·kg <sup>-1</sup>	/mg·kg <sup>-1</sup>	/%	指数	指数
Pd	0.065~0.626	0.258	41.7	1.29	0.98
Cd	0.016~0.046	0.026	0	0.52	
Cr	0.004~0.190	0.070	0	0.14	

经比较丽水市郊水阁工业园区石牛大桥附近的蔬菜基地叶菜类蔬菜中 Pb 的平均含量是无公害蔬菜标准的 1.07 倍, Cd 的平均含量是无公害蔬菜标准的 1.16 倍, Cr 的平均含量大大低于无公害蔬菜标准。叶菜类蔬菜中 Pb、Cr 的平均含量都低于中国食品污染物限量标准, Cd 的平均含量略高于中国食品污染物限量标准。在非叶菜类蔬菜中 Pb 的平均含量是无公害蔬菜标准的 1.29 倍, Cd、Cr 的平均含量都低于无公害蔬菜标准。非叶菜类蔬菜中 Pb、Cd、Cr 的平均含量都低于中国食品污染物限量标准。按照国内外重金属污染分级标准<sup>[4]</sup>, 丽水市郊水阁工业园区石牛大桥附近的蔬菜基地叶菜类和非叶菜类蔬菜中 Cr 含量属于 1 级, Pb 含量均属于 5 级, 叶菜类蔬菜中 Cd 含量属于 6 级, 非叶菜类蔬菜中 Cd 含量属于 4 级。所以调查的蔬菜不符合无公害蔬菜要求, 但非叶菜类蔬菜中重金属含量基本符合中国食品污染物限量标准, 叶菜类蔬菜中 Cd 含量略高于中国食品污染物限量标准(表 5)。

表 5 我国蔬菜中重金属污染评价标准

		mg/kg		
标准		Pd	Cd	Cr
该研究	叶菜类(平均值)	0.214	0.058	0.071
	非叶菜类(平均值)	0.258	0.026	0.070
无公害蔬菜标准(GB18406.1-2001)		≤0.20	≤0.05	≤0.50
中国食品污染物限量标准(GB2762-2005)		<0.30	<0.05	<0.50
参照国内外标准的 重金属污染分级	1 级	≤0.02	≤0.005	≤0.10
	2 级	≤0.05	≤0.010	≤0.20
	3 级	≤0.10	≤0.020	≤0.30
	4 级	≤0.20	≤0.030	≤0.40
	5 级	≤0.50	≤0.050	≤0.50
	6 级	>0.50	>0.050	>0.50

### 3 健康风险分析

#### 3.1 计算方法

采用目标危险系数(The target hazard quotient, THQ)法<sup>[5]</sup>计算暴露人群健康风险。USEPA 于 2000 年建立的一种评价人群健康风险的方法, 其最大特点是不仅能评价单一重金属的健康风险, 而且能评价多种重金属复合暴露的健康风险, 目前已有研究人员应用此方法进行健康风险评价。该方法假定污染物吸收剂量等于摄入量, 以测定的污染物人体摄入量与参考剂量的比值作为评价标准, 如果该值小于 1, 则说明暴露人群没有明显的健康风险, 如果该值大于 1, 则说明暴露人群存在健康风险<sup>[5]</sup>。

单一重金属的健康风险:

$$THQ = \frac{E_F \times E_D \times F_{IR} \times C}{R_{FD} \times W_{AB} \times T_A} \times 10^{-3},$$

多种重金属复合健康风险:

$$TTHQ = \sum THQ_{\text{单一金属}}。$$

公式中:  $E_F$  为人群暴露频率(365 d/a);  $E_D$  为暴露区间, 通常等于人的平均寿命(70 a)<sup>[6]</sup>;  $F_{IR}$  为蔬菜摄入量, 成人蔬菜摄入量(301.4 g/d), 儿童蔬菜摄入量(231.5 g/d);  $C$  为蔬菜中重金属含量(mg/kg), 参见表 4;  $R_{FD}$  为参考剂量( $Pd=4 \times 10^{-3}$  mg/(kg·d),  $Cd=1 \times 10^{-3}$  mg/(kg·d));  $W_{AB}$  为人的平均体重(成人体重 55.9 kg、儿童体重 32.7 kg);  $T_A$  为非致癌性暴露的平均时间(365 d/a×暴露年数 70 a)。

丽水市郊水阁工业园区石牛大桥附近蔬菜基地蔬菜中重金属的 THQ 值见表 6, 蔬菜中单一重金属的 THQ 值排序为:  $Pd > Cd$ ,  $Pd$  和  $Cd$  的 THQ 值都低于 1, 说明当地居民摄食蔬菜存在  $Pd$  和  $Cd$  的健康风险不明显。

表 6 蔬菜中重金属的 THQ 值

人群	Pd	Cd	TTHQ	Pd 的贡献率/%	Cd 的贡献率/%
成人	0.318	0.226	0.544	58.5	41.5
儿童	0.418	0.297	0.715	58.5	41.5

图 1 比较了重金属对成人和儿童的潜在风险, 柱形上方的百分数表示各单一重金属对复合健康风险的贡献率。由图 1 可知, 各单一重金属对成人和儿童重金属复合风险的贡献率基本相同。虽然儿童蔬菜摄入量低于成人, 但儿童摄食蔬菜导致的重金属健康风险要高于成人。

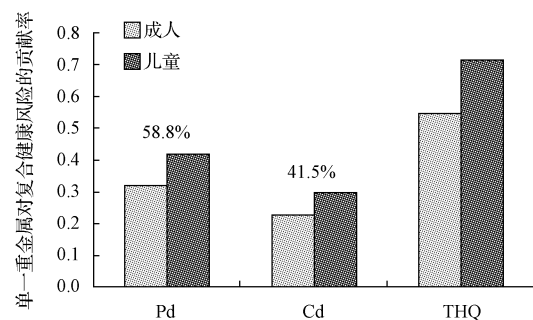


图 1 重金属对成人和儿童健康风险比较

### 4 讨论

丽水市郊水阁工业园区石牛大桥附近蔬菜基地土壤中重金属单项污染指数为  $Cd > Pb > Cr > As$ ,  $Pb$ 、 $As$ 、 $Cr$  的值均小于 1, 而且没有一个样点超标, 但是  $Cr$  的单项污染指数达到 1.49, 而且 100% 超标, 该菜地土壤中重金属主要是镉超标, 土壤已被污染。

叶菜类蔬菜中  $Cd$ 、 $Cr$  的平均含量均高于非叶菜类蔬菜, 虽然叶菜类蔬菜中  $Pd$  含量的平均值低于非叶菜



类蔬菜,但叶菜类蔬菜样品中 Pd 的中位数高于非叶菜类蔬菜,而且叶菜类蔬菜样品中 Pd 超标率高于非叶菜类蔬菜样品,因此从整体讲叶菜类蔬菜比非叶菜类蔬菜更容易富集重金属。此结果与马瑾等<sup>[7]</sup>、郑娜等<sup>[8]</sup>研究结果相同。

叶菜类蔬菜中重金属单项污染指数为  $Cd > Pb > Cr, Pb, Cb$  的单项污染指数都大于 1,平均含量都超过标准值;非叶菜类蔬菜中重金属单项污染指数为  $Pb > Cd > Cr, Pb$  的单项污染指数大于 1,平均含量超过标准值,所以所调查的蔬菜不符合无公害蔬菜要求,但非叶菜类蔬菜中重金属含量基本符合中国食品污染物限量标准,叶菜类蔬菜中 Cd 含量略高于中国食品污染物限量标准。

丽水市郊水阁工业园区当地成人摄食蔬菜导致的 Pb、Cd 的 THQ 值分别为 0.318、0.226,儿童因摄食蔬菜导致的 Pd 和 Cd 的 THQ 值分别为 THQ 值都小于 1,说明当地居民摄食蔬菜存在 Pd 和 Cd 的健康风险不明显。

各单一重金属对成人和儿童重金属复合风险的贡献率基本相同,铅的贡献率为 58.5%、镉的贡献率为 41.5%,但是儿童摄食蔬菜导致的 Pd 和 Cd 的 THQ 值为 0.418、0.297,比成人的 Pd 和 Cd 的 THQ 值 0.318、0.226 要高,说明儿童摄食蔬菜导致的重金属健康风险要高于成人,儿童对重金属污染更敏感,该结果与郑娜等<sup>[8]</sup>的研究结果一致。

丽水市郊水阁工业园区石牛大桥附近蔬菜基地中

的蔬菜不符合无公害蔬菜的要求,主要是来自重金属镉、铅的超标。水阁工业园中有许多化工、皮鞋、电镀、蓄电池等企业,它们的排烟、排污对生态环境造成一定的污染。为了丽水市郊菜地的土壤安全,确保长期生产安全优质的蔬菜,今后还应做好以下几方面工作:坚持工厂排污达到国家标准;合理布局蔬菜基地,尽可能远离公路两侧;提倡生物防治技术,规范农药使用技术,减少施药量;提倡使用微生物肥料,以降低农作物对重金属的积累。

### 参考文献

- [1] 吕晓男,孟赐福,麻万诸. 重金属与土壤环境质量及食品安全问题研究[J]. 中国生态农业学报,2007,15(2):197-200.
- [2] 王虹艳. 丽水市城市土壤中重金属和磷的空间分布、磁学监测和污染风险评价[D]. 杭州:浙江大学,2010.
- [3] 李广超. 环境检测实习[M]. 北京:化学工业出版社,2002:105-108.
- [4] 汪雅谷,卢善玲,吴其乐,等. 上海地区绿色食品蔬菜中若干污染物容许限量的初步探讨[J]. 上海农业学报,1997,13(3):16-20.
- [5] US EPA. Risk based concentration table[EB/OL]. <http://www.epa.gov/reg3hwmd/risk/human/index>. 2000.
- [6] Bennett D H, Kastenber W E M K, One T E. A multin edia multiple pathway risk assessment of atrazine the impact of age iffierentiated exposure including joint uncertainty and variability[J]. Reliab Eng Systsaf, 1999, 63: 185-198.
- [7] 马瑾,万洪富,杨国义,等. 东莞市蔬菜重金属污染状况研究[J]. 生态环境,2006,15(2):319-322.
- [8] 郑娜,王起超,郑冬梅. 基于 THQ 的锌冶炼厂周围人群食用蔬菜的健康风险分析[J]. 环境科学学报,2007,27(4):672-678.

## Analysis of Heavy Metal Contents in Vegetables of Lishui Suburb and the Health Hazard

LIANG Qiao-ling, YANG Hui, ZHAO Li

(College of Ecology, Lishui university, Lishui, Zhejiang 323000)

**Abstract:** The contents of Lead (Pb), Cadmium (Cd), Chromium (Cr) and Arsenic (As) in 30 samples of soil and 60 samples of vegetables at the vegetable farm base around Shiniu Bridge, Shuige Industrial District, Suburb of Lishui City were studied. The health hazard arose from them were also analyzed. The method of target hazard quotient (THQ) was used to evaluate the potential health risks after ingestion of the vegetables by local residents. The THQ values were compared between adults and children. The results showed that the average content of Cd in the soil was 0.450 mg/kg, which was 1.5 times of national standard. In leaf vegetables, the average content of Pb was 0.214 mg/kg, which was 1.07 times of that in non-public hazard vegetables. The average content of Cd was 0.058 mg/kg, which was 1.16 times of that in non-public hazard vegetables; in non-leaf vegetables, the average content of Pb was 0.258 mg/kg, which was 1.29 times of that in non-public hazard vegetables. After ingestion of the vegetables by adults and children, the THQ values of Pb were 0.318 and 0.418 respectively, and the THQ values of Cd were 0.226 and 0.297 respectively. Therefore, the contents of Pb and Cd in the sample vegetables were above the standard, the requirement of non-public hazard didn't meet. However, after ingestion of the vegetables, the THQ values of Pb and Cd were less than 1, which indicated the health hazard was not obvious.

**Key words:** soil; vegetable; heavy metal; pollution index; target hazard quotient