

蔬菜重金属暴露接触对大宝山矿区 及周边居民的健康风险

邹晓锦¹, 仇荣亮^{*1,2}, 周小勇¹, 黄穗虹¹

(1. 中山大学环境科学与工程学院, 广州 510275;

2. 广东省环境污染控制与修复技术重点实验室, 广州 510275)

摘要: 通过 36 个土壤样品, 32 个灌溉水及 120 个蔬菜样品的调查研究, 结果表明, 广东韶关翁源县大宝山及周边的四个地区土壤、灌溉水及蔬菜中重金属含量都表现为: 上坝 > 下坝 > 蓑衣坑 > 何屋。下坝、蓑衣坑及何屋通过食用蔬菜日均 Pb、Zn、Cd、Cu 摄入量均未超过 FAO/WHO 人均日摄入可允许限量标准。但上坝居民通过蔬菜摄入 Pb 和 Cd 的 DI 分别为 PTDI 的 1.40 和 1.35 倍。靶标危害系数 (Target hazard quotients) THQ 研究结果表明, 何屋和蓑衣坑的蔬菜中几种重金属的 THQ 值均小于 1, 说明蔬菜途径摄入重金属对其居民健康风险很低。上坝居民通过蔬菜摄入的 Pb 和 Cd 的 THQ 均大于 1, 蔬菜途径重金属暴露接触对上坝居民健康具有潜在风险。居住在污染河流横石河下游的上坝居民面临严重的重金属接触暴露风险, 显著高于对太平河上游及下游居民的健康风险。

关键词: 重金属; 健康风险; 日人均摄入量; 靶标危害系数

文章编号: 1000-0585(2008)04-0855-08

金属矿山开采所产生的大量酸性矿山废水 (Acid Mine Drainage, AMD) 以及在尾矿堆的风化和淋滤过程中流失的有毒有害重金属元素是矿区污染的重要问题^[1,2]。酸性废水进入灌溉水源后, 能通过土壤—植物—人途径进入人体^[3], 危害人类健康及安全^[4]。本研究的重金属污染地区是中国广东省韶关市翁源县大宝山矿区, 大宝山矿产开发使翁源县至少有 83 个自然村、11000 人受到严重的矿山污染, 污灌的酸性废水中超量的重金属导致翁源上坝地区成为皮肤病、肝病、癌症尤其是食道癌高发区^[5]。环境中重金属污染对该地区人群健康带来严重的威胁, 由于重金属对人体的致癌作用使上坝村重金属污染问题已引起社会各界广泛关注^[6,7]。一方面, 大宝山矿区多重金属复合污染特征及其对下游居民污染范围尚不清楚, 另一方面, 通过土壤污染—蔬菜摄入重金属暴露接触对人体健康风险, 前人研究多采用人均日摄入或周摄入量来评价^[8~13], 本研究同时采用 THQ (Target hazard quotients) 方法, 旨在探明大宝山矿区下游及周边居民通过蔬菜摄入重金属对人体的潜在健康风险。

收稿日期: 2007-09-13; 修订日期: 2008-01-22

基金项目: 广东省自然科学基金研究团队项目 (06202438), 教育部“新世纪优秀人才支持计划”项目 (NCET-04-0790), 985 二期“环境与污染控制技术创新平台”资助项目, 国家高技术研究发展计划 (863 计划) 前沿探索项目 (2007AA06Z305)

作者简介: 邹晓锦 (1976-), 女, 博士生。主要从事重金属污染生态风险及植物修复技术研究。

E-mail: zouxiaojin0501@163.com

* 通讯作者: 仇荣亮, 男, 博士, 教授, 博士生导师。E-mail: eesqrl@mail.sysu.edu.cn

1 材料与amp;方法

1.1 研究地点

研究地点如图 1 所示。横石河为流经大宝山矿区的污染河流，太平河为非污染河流。上坝位于横石河下游，何屋位于太平河上游，蓑衣坑位于太平河下游，下坝位于横石河与太平河交汇处。

1.2 样品的采集和分析

采集上坝、下坝、蓑衣坑和何屋(采样面积分别为 11, 6, 4, 15km²) 土壤样品 36 个，蔬菜样品 120 个，灌溉水 32 个，分别测定其 Pb、Zn、Cd、Cu 含量。土壤采样深度为 0 ~

15cm，其上生长的青菜分根和叶采集。采样为 3 个随机样品组成混合样品。土壤风干后磨碎，过 20 目塑料筛保存备用。用四分法取部分土样进一步用玛瑙研钵研磨，过 100 目塑料筛。青菜样品用自来水冲洗、蒸馏水洗净，烘干，磨碎备用。土壤样品采用盐酸:硝酸:高氯酸 5:5:2 的消解方法，蔬菜样品采用硝酸:高氯酸 4:1 的消解方法。消解后土壤和蔬菜中的 Pb、Zn、Cd、Cu 含量用火焰原子吸收分光光度计 (Z5000, Hitachi) 测定。水样过滤后用石墨炉原子吸收分光光度计 (Z5000, Hitachi) 测定。以中国环境监测总站环境标准物质土壤 ESS-3 和西红柿 ESP-1 进行分析质量控制。质控样测定均值和平行样偏差都在规定要求范围内。以上所有数据应用统计软件 SPSS10.0 进行统计分析。

1.3 日人均摄入重金属量

四个地区居民通过蔬菜摄入重金属量用日人均摄入量 (Daily intake, DI) 来计算。公式表达如下:

$$DI = F_{IR}C$$

式中 F_{IR} 为消化食物的比率 (参照文献 [14] 为 345 g·person⁻¹·d⁻¹); C 为食物中重金属含量 (mg·kg⁻¹)。

1.4 重金属暴露接触对人体的健康风险的评价方法

THQ (Target hazard quotients) 靶标危害系数方法是依据 US EPA (2000)^[15] 提出的一种用于人体通过食物摄取重金属风险评估方法。THQ 方法公式表达如下:

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

式中 E_F 为接触频率 (d·a⁻¹); E_D 为平均人寿 (70a); F_{IR} 为消化食物的比率 (g·person⁻¹·d⁻¹); C 为食物中重金属含量 (mg·kg⁻¹); R_{FD} 为参比剂量 (mg·kg⁻¹·person⁻¹); W_{AB} 为人体平均体重 (g·person⁻¹); T_A 为平均接触时间 (d·a⁻¹)。

计算结果 $THQ < 1$ 则认为人体负荷的重金属对人体健康造成影响不明显。

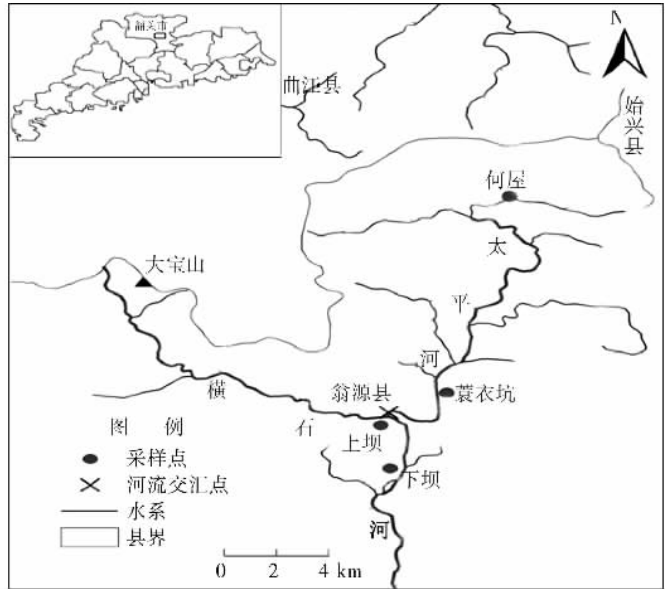


图 1 研究区域采样点分布图

Fig. 1 Distribution of sampling points

2 结果

2.1 四个地区土壤、灌溉水及蔬菜中重金属含量

四个地区的土壤、灌溉水和蔬菜重金属含量见表 1、表 2、表 3。上坝土壤 Pb、Zn、Cd、Cu 平均含量分别为土壤环境质量标准（GB15618-1995 二级）的 3.8、10.6、8.9 和 11.7 倍。四个地区的 Pb、Zn、Cd 含量均超过此标准。上坝土壤重金属含量显著高于其他三个地区，下坝土壤中 Pb 和 Zn 含量显著高于蓑衣坑和何屋，但 Cd 和 Cu 含量和蓑衣坑相似，都显著高于何屋地区。

表 1 四个地区土壤重金属含量水平 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Tab. 1 Heavy metals concentration in contaminated soils in 4 districts ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

	Pb	Zn	Cd	Cu
上坝 (n=12)	843.7±713.2a	2112.0±727.4a	2.66±11.09a	586.3±212.6a
下坝 (n=8)	417.6±23.8b	840.3±277.9b	1.45±0.64b	226.1±32.3b
蓑衣坑 (n=8)	297.1±16.1c	332.1±200.1c	1.44±0.31b	218.8±51.9b
何屋 (n=8)	263.2±15.2c	249.7c	0.47±0.19c	38.3±4.4c
土壤环境质量标准 (二级)	250	200	0.3	50

注：表中同一列中相同字母表示其差异性不显著， $p>0.05$ 。

上坝和下坝灌溉水 pH 和 Pb、Zn、Cd 含量均超过农田灌溉水质标准（GB5084-92）。蓑衣坑和何屋灌溉水重金属含量均未超出此标准。

表 2 四个地区灌溉水 pH 和重金属含量 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Tab. 2 Heavy metals concentration and pH of water to irrigation in 4 districts ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

地区名称	pH	Pb	Zn	Cd	Cu
上坝 (n=8)	3.25	0.25	3.18	0.06	1.62
下坝 (n=8)	4.13	0.18	2.59	0.02	0.58
蓑衣坑 (n=8)	5.22	0.09	0.03	ND	0.02
何屋 (n=8)	6.04	0.09	0.03	ND	0.02
农田灌溉水质标准	5.5~8.5	0.10	2.00	0.005	1.00

注：ND 为未检出。

表 3 四个地区蔬菜（鲜重）中重金属含量水平 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Tab. 3 Heavy metals concentration of fresh vegetables in 4 districts ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

地区名称	Pb	Zn	Cd	Cu
上坝	0.80	22.45	0.28	1.07
	0.42~1.43	10.8~37.5	0.18~0.73	0.54~1.75
下坝	0.39	12.38	0.17	0.85
	0.22~0.94	3.07~13.7	0.07~0.46	0.17~1.52
蓑衣坑	0.36	5.40	0.07	0.52
	0.14~0.45	2.91~9.62	0.02~0.23	0.28~0.69
何屋	0.29	8.30	0.07	0.48
	0.13~0.31	2.30~6.55	0.01~0.06	0.24~0.68
蔬菜卫生标准限值	0.2	20.00	0.05	10
标准号	GB18406.1.2001	GB13106-94	GB18406.1.2001	GB15199-94

注：表中第一行为蔬菜中重金属含量的平均值，第二行为范围值。

上坝污染区蔬菜中 Pb、Zn、Cd 含量为蔬菜卫生标准限值的 4.0、1.1、5.6 倍，四个地区蔬菜中的 Pb 和 Cd 含量均超过此标准。蓑衣坑和何屋蔬菜重金属含量水平接近，低于上坝及下坝。

由以上结果可以看出，土壤、灌溉水及蔬菜中重金属含量都表现为：上坝 > 下坝 > 蓑衣坑 > 何屋。

2.2 土壤重金属含量与植物重金属含量的关系

重金属从土壤到植物中富集系数如表 4 所示。Cd 的富集系数（植物重金属含量/根部土壤重金属含量）最高，Pb 和 Cu 的富集系数接近，Pb 的最低。Zheng 等^[20] 研究结果表明，重金属经土壤进入蔬菜的富集系数表现为 Cd > Zn > Cu > Pb。该研究中 Cd 的富集系数变化范围为 0.001~0.344，分别为 Pb 和 Cu 的 7 倍和 5 倍。本研究结果 Cd 富集系数为 0.017~0.367，为 Pb 和 Cu 的 19.5 和 11 倍。

表 4 土壤—植物可食用部分的富集系数

Tab. 4 The transfer factor of heavy metals from soil to the edible part of vegetables

蔬菜种类	Pb	Zn	Cd	Cu
白菜 (n=8)	0.006	0.022	0.026	0.009
苞菜 (n=8)	0.004	0.017	0.277	0.010
葱 (n=8)	0.010	0.018	0.149	0.019
上坝 大蒜 (n=8)	0.003	0.014	0.029	0.004
麦菜 (n=10)	0.003	0.003	0.091	0.005
芹菜 (n=8)	0.008	0.013	0.367	0.007
香麦菜 (n=10)	0.004	0.017	0.178	0.003
白菜 (n=8)	0.003	0.021	0.044	0.009
葱 (n=8)	0.007	0.014	0.017	0.011
大菜 (n=8)	0.002	0.003	0.038	0.014
何屋 大蒜 (n=8)	0.004	0.009	0.045	0.023
芹菜 (n=8)	0.002	0.019	0.195	0.011
生菜 (n=10)	0.003	0.005	0.033	0.012
香麦菜 (n=10)	0.002	0.016	0.061	0.010
平均值	0.006	0.011	0.117	0.010

2.3 四个地区通过蔬菜日人均摄入重金属含量

表 5 为四个地区居民通过蔬菜途径进入人体的日摄入重金属量。上坝地区居民 Zn 和 Cu 的 DI 远低于 PTDI (Provisional tolerable daily intake) 限量标准，而 Pb 和 Cd 的 DI 均超出 FAO/WHO 推荐的 PTDI 的日摄入可允许限量标准。其他三个地区的 DI 均在 PTDI 允许范围以下。

2.4 四个地区重金属暴露对人体健康风险

Zn、Cd、Cu 的 R_{FD} 依据 US EPA

(2000) 标准分别为：0.3、0.001、0.04 $mg \cdot kg^{-1} \cdot d^{-1}$ ，Pb (US EPA, 1997) 为 0.004

表 5 四个地区居民日摄入重金属量 ($mg \cdot d^{-1}$)

Tab. 5 Estimated daily intake amounts of metals through vegetables for adults in 4 districts ($mg \cdot d^{-1}$)

地区名称	Pb	Zn	Cd	Cu
上坝	0.28	7.75	0.097	0.37
下坝	0.13	4.27	0.059	0.29
蓑衣坑	0.12	1.86	0.024	0.18
何屋	0.10	2.86	0.024	0.17
PTDI ^[14]	0.2	33	0.072	6.5

$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ^[16,17]。四个地区通过蔬菜途径进入人体重金属暴露接触的 THQ 值见表 6。何屋和蓑衣坑的蔬菜中几种重金属的 THQ 值均小于 1, 说明蔬菜途径摄入重金属对其居民健康风险很低。但上坝的 Pb 和 Cd 的 THQ 值分别达到 1.23 和 1.73, 具有潜在的重金属接触暴露健康风险。下坝 Cd 的 THQ 略大于 1, 说明下坝居民通过蔬菜途径暴露接触重金属也具潜在风险。

3 讨论

大宝山矿区及周边地区通过蔬菜摄入重金属暴露接触的 THQ 与其他地区通过饮食摄入重金属 THQ 对比如表 7 所示。上坝居民通过食用蔬菜摄入的 Cd 接触暴露风险与台湾渔民食用牡蛎的 Cd 接触暴露风险接近, 但 Zn 和 Cu 的 THQ 要明显低于台湾居民, 这可能是由于牡蛎比蔬菜更易于富集重金属^[18]。大宝山地区随污灌程度减低 THQ 的风险值也随之减低, 周边地区何屋与其他非污染地区人体通过饮食摄入的重金属健康风险相似。这说明人体接触暴露重金属风险与其居住环境的重金属污染程度密切相关。

表 7 不同地区居民通过饮食途径摄入的重金属 THQ

Tab. 7 Comparison of THQ of heavy metals in different areas (mg/kg)

Districts	Reference	Exposure pathways	Pb	Zn	Cd	Cu
台湾	Chien <i>et al.</i> , 2002 ^[19]	食用牡蛎 (沿海渔民)	--	1.12	1.5	2.45
		食用牡蛎 (其他居民)	--	0.15	0.20	0.33
天津	Wang <i>et al.</i> , 2005 ^[15]	食用蔬菜及鱼类 (成人)	0.02	0.09	0.04	0.15
		食用蔬菜及鱼类 (儿童)	0.03	0.12	0.04	0.19
葫芦岛	Zheng <i>et al.</i> , 2007 ^[20]	食用蔬菜 (成人)	0.364	0.731	0.749	1.220
		食用蔬菜 (儿童)	0.331	0.739	0.618	1.099

本研究发现, 四个地区中污染最严重的上坝土壤中 Pb、Zn、Cd 和 Cu 分别为土壤环境质量标准 (二级) 的 3.8、10.6、8.9 和 11.7 倍, 蔬菜中除 Cu 外, Pb、Zn 和 Cd 含量均超过蔬菜卫生标准限值。原因之一是植物对各金属的富集系数不同。Zheng 等^[20]研究蔬菜对 Cu 和 Cd 的富集系数表明, Cd 的富集系数比 Cu 高 5 倍。Alam 等^[21]也报道了相似的研究结果。本研究结果表明, Cd 的富集系数为 Cu 的 11 倍。这可以说明即使土壤里 Cu 污染程度很严重, 但通过蔬菜途径对人体的健康风险可能很低。

另一个原因可能与金属本身特性有关。环境中一些金属元素, 如 Mn、Zn、Fe、Co 和 Ni 是人体代谢的必需元素, 而另一些非必需元素在人体内没有生物学意义, 如 Ag、Al、Cd、Pb、Hg, 它们在生物机体具有潜在的毒性^[22~24]。Pb 和 Cd 为人体非必需元素^[25], Zn 和 Cu 过量会危害人体健康, 但它们同时又是人体必需元素^[26]。蔬菜卫生标准限值以及 THQ 评价体系中的参比剂量^[16, 17]对 Pb 和 Cd 的规定要远远低于 Zn 和 Cu。前人研究认为大宝山矿区污染是以 Pb、Zn、Cd 和 Cu 为主的多金属复合污染^[27]。本研究发

表 6 四个地区通过蔬菜途径进入人体重金属暴露接触的 THQ

Tab. 6 THQ for metals caused by consuming vegetables of four districts

地区名称	Pb	Zn	Cd	Cu
上坝	1.23	0.46	1.73	0.17
下坝	0.60	0.25	1.05	0.13
蓑衣坑	0.56	0.11	0.42	0.08
何屋	0.45	0.17	0.42	0.07

现, 污染最严重的上坝居民 Cu 和 Zn 的 DI 远远低于 PTDI 的允许限量, THQ 也小于 1, 而 Cd 和 Pb 的 THQ 值均大于 1。这充分表明, 在大宝山复合污染的重金属中, 对人体的健康风险起决定作用的是非必需元素 Pb 和 Cd。

四个地区中上坝土壤、灌溉水和蔬菜中重金属含量显著高于下坝、蓑衣坑及何屋地区。太平河没有流经矿区, 在下坝跟横石河交汇。横石河是大宝山矿区的主要酸性废水污染河流^[28], 它流经上坝并成为该地主要的灌溉水源。吴永贵等^[29]对大型无脊椎动物多样性的调查显示, 由大宝山矿区排出的酸性矿水对下游溪流的水生生物多样性和河流生态系统造成了严重的破坏。横石河从尾矿坝到受矿水影响的下游 25 km 范围内未发现任何底栖动物, 而在未受矿水影响的河水中至少有 36 种底栖动物存在。本研究结果表明, 采用横石河灌溉的上坝污染程度大于太平河与横石河交汇后的下坝, 也高于太平河的源头何屋及交汇前的蓑衣坑。重金属对人体健康风险研究表明, 居住在污染河流横石河下游的上坝居民面临严重的重金属接触暴露风险, 显著高于对太平河上游及下游居民的健康风险, 大宝山重金属通过蔬菜暴露接触对居民健康影响与其灌溉水来源密切相关。因此要加强酸性矿山废水对下游灌溉水源的污染治理, 农田污水灌溉要严格执行灌溉水质标准, 这样才能有效防止土壤和蔬菜的污染以减低人体通过食用蔬菜摄入的重金属健康风险。

4 结论

四个地区土壤、灌溉水及蔬菜中重金属含量都表现为: 上坝 > 下坝 > 蓑衣坑 > 何屋。

几种重金属经土壤进入蔬菜的富集系数表现为 Cd 最高, Zn 和 Cu 次之, Pb 最低。

上坝地区居民 Zn 和 Cd 的 DI 远低于 PTDI 限量标准, 而 Pb 和 Cd 的 DI 均超出 FAO/WHO 推荐的 PTDI 的限量标准。其他三个地区的 DI 均在 PTDI 允许范围以下。何屋和蓑衣坑的蔬菜中几种重金属的 THQ 值均小于 1, 说明蔬菜途径摄入重金属对其居民健康风险很低。上坝居民通过蔬菜摄入的 Pb 和 Cd 的 THQ 均大于 1, 蔬菜途径重金属暴露接触对上坝居民健康具有潜在风险。

大宝山 Pb、Zn、Cd、Cu 多金属复合污染的状态下, 对人体的健康风险起决定作用的可能不是必需元素 (Zn 和 Cu), 而是非必需元素 (Pb 和 Cd)。

居住在污染河流横石河下游的上坝居民面临严重的重金属接触暴露风险, 显著高于太平河上游及下游居民。大宝山矿区及周边地区居民通过蔬菜暴露接触重金属对居民健康影响与其灌溉水来源密切相关。因此亟需加强酸性矿山废水治理工作, 使农田灌溉水达到国家灌溉水质标准, 从而减低人体食用蔬菜摄入的重金属健康风险。

参考文献:

- [1] Conesa H M, Robinson B H, Schulin R, *et al.* Growth of *Lygeum spartum* in acid mine tailings: Response of plants developed from seedlings, rhizomes and at field conditions. *Environmental Pollution*, 2007, 145:700~707.
- [2] Lin C, Wu Y, Lu W, *et al.* Water chemistry and ecotoxicity of an acid mine drainage-affected stream in subtropical China during a major flood event. *Journal of Hazardous Materials*, 2005, 142: 199~207.
- [3] Hussein H, Farag S, Kandil K, *et al.* Tolerance and uptake of heavy metals by *Pseudomonads*. *Process of Biochemistry*, 2005, 40: 955~961.
- [4] Granero S, Domingo J L. Levels of metals in soils of Alcaa de Henares, Spain: Human health risks. *Environment International*, 2002, 28:159~164.
- [5] 刘奕生, 高怡, 王康玮, 等. 广东消化道恶性肿瘤高发村的病因学研究. *中国热带医学*, 2005, 5(5):1139~1141.

- [6] 周永章, 宋书巧, 张澄博, 等. 河流对矿山及矿山开发的水环境地球化学响应. 地质通报, 2005, 18(5): 98~104.
- [7] 李永涛, 张池, 刘科学, 等. 粤北大宝山高含硫多金属矿污染的水稻土壤污染元素的多元分析. 华南农业大学学报, 2005, 26(2): 22~26.
- [8] Li Y, Wang Y B, Gou X, *et al.* Risk assessment of heavy metals in soils and vegetables around non-ferrous metals mining and smelting sites, Baiyin, China. *Journal of Environmental Sciences*, 2006, 18(6): 1124~1134.
- [9] Rubio C, Hardisson A, Reguera J I, *et al.* Cadmium dietary intake in the Canary Islands, Spain. *Environmental Research*, 2006, 100: 123~129.
- [10] 宋波, 陈同斌, 郑袁明, 等. 北京市菜地土壤和蔬菜镉含量及其健康风险分析. 环境科学学报, 26(8): 1343~1353.
- [11] 姚春霞, 陈振楼, 张菊, 上海市浦东新区土壤及蔬菜重金属现状调查及评价. 土壤通报, 2006, 36(6): 884~887.
- [12] 黄泽春, 宋波, 陈同斌, 等. 北京市菜地土壤和蔬菜锌含量及其健康风险分析. 地理研究, 2006, 25(3): 439~448.
- [13] Xu P, Huang S B, Wang Z J, *et al.* Daily intakes of copper, zinc and arsenic in drinking water by population of Shanghai, China. *Science of the Total Environment*, 2006, 362: 50~55.
- [14] Ostapczuk P, Valenta P, R tzel H, *et al.* Application of differential pulse anodic stripping voltammetry to the determination of heavy metals in environmental samples. *Science of the Total Environment*, 1987, 60: 1~16.
- [15] Wang X L, Sato T, Xing B S, *et al.* Health risks of heavy metals to the general public in Tianjin, China via consumption of vegetables and fish. *Science of the Total Environment*, 2005, 350: 28~37.
- [16] US EPA. Risk-based concentration table. Philadelphia PA: United States Environmental Protection Agency, Washington DC; 2000.
- [17] US EPA. Mercury Study Report to Congress Health Effects of Mercury and Mercury Compounds, Vol.V. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency. EPA-452/R-97-007, 1997.
- [18] Liu C W, Liang C P, Huang F M, *et al.* Assessing the human health risks from exposure of inorganic arsenic through oyster (*Crassostrea gigas*) consumption in Taiwan. *Science of the Total Environment*, 2006, 361: 57~66.
- [19] Chien L C, Hung T C, Choang K Y, *et al.* Daily intake of TBT, Cu, Zn, Cd and As for fishermen in Taiwan. *Science of the Total Environment*, 2002, 285: 177~185.
- [20] Zheng N, Wang Q C, Zheng D M. Health risk of Hg, Pb, Cd, Zn, and Cu to the inhabitants around Huludao Zinc Plant in China via consumption of vegetables. *Science of the Total Environment*, 2007, doi: 10.1016 / j. scitotenv. 2007. 05. 002.
- [21] Alam M G M, Snow E T, Tanaka A. Arsenic and heavy metal contamination of vegetables grown in Samta vilage, Bangladesh. *The Science of the Total Environment*, 2003, 308: 83~96.
- [22] Akar T, Tunali S. Biosorption performance of botrytis cinerea fungal by-products for removal of Cd (II) and Cu (II) ions from aqueous solutions. *Minerals Engineering*, 2005, 18: 1099~1109.
- [23] Akar T, Tunali S, Kiran I. Botrytis cinerea as a new fungal biosorbent for removal of Pb(II) from aqueous solutions. *Biochemistry Engineering*, 2005, 25: 227~235.
- [24] Dorman D C, Struve M F, Clewell H J, *et al.* Application of pharmacokinetic data to the risk assessment of inhaled manganese. *NeuroToxicology*, 2006, 27: 752~764.
- [25] Roser M C, Ana B, Juan M L, *et al.* Intake of chemical contaminants through fish and seafood consumption by children of Catalonia, Spain; Health risks. *Food and Chemical Toxicology*, 2007, doi: 10.1016/ j. fct. 2007. 04. 014.
- [26] Janet Y, Adams U, Carl L K. Copper, oxidative stress, and human health. *Molecular Aspects of Medicine*, 2005, 26: 268~298.
- [27] 周建民, 党志, 司徒粤, 等. 大宝山矿区周围土壤重金属污染分布特征研究. 农业环境科学学报, 2004, 23(6): 1172~1176.
- [28] 付善明, 周永章, 赵宇镗, 等. 广东大宝山铁多金属矿废水对河流沿岸土壤的重金属污染. 2007, 28: 805~812.
- [29] 吴永贵, 林初夏, 童晓立, 等. 大宝山矿水外排的环境影响: I. 下游水生生态系统. 生态环境, 2005, 14(2): 165~168.

Health risk of heavy metals to inhabitants around mine contaminated areas via consumption of vegetables

ZOU Xiao-jin¹, QIU Rong-liang^{1, 2, *}, ZHOU Xiao-yong¹, HUANG Sui-hong¹

(1. School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2. Guangdong Provincial Key Lab of Environmental Pollution Control and Remediation Technology, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Vegetables have been reported as an important route of human exposure to heavy metals. This study aims to evaluate the health risks associated with ingesting heavy metals through vegetables for the general population of four districts (Shangba, Xiaba, Suoyikeng and Hewu) which were contaminated by mine exploiting and acid mine drainage irrigating in Dabao Mountain, Guangdong province, China. Soil samples (36), irrigative water (32) and vegetable samples (120) were collected from the 4 districts and heavy metals analyzed by atomic absorption spectrometry (AAS). The mean concentrations of Pb, Zn, Cd and Cu of the soils in Shangba village were 843.7, 2112.0, 2.66 and 586.3 mg/kg, respectively, and were 3.8, 10.6, 8.9 and 11.7 times compared to the tolerant limit level in China. The vegetable concentrations in Shangba village were 4.0, 1.1 and 5.6 times of the tolerant limit level of vegetables in China. While the mean concentrations of Pb and Cd in the other three districts were also higher than the tolerant limit level of vegetables in China. The heavy metal concentrations of soil and irrigation water and vegetables in the 4 districts were in the order: Shangba > Xiaba > Suoyikeng > Hewu.

The average daily intakes (DI) of Pb and Cd in Shangba were 0.28 and 0.097 mg/d, which were 1.40 and 1.35 times of the provisional tolerable daily intake (PTDI) established by FAO/WHO. While the DIs of Zn and Cu in Shangba were below the PTDI. The DIs of heavy metals in the other three districts were also below the PTDI.

The target hazard quotients (THQs) can be used to evaluate the health risks with heavy metals by vegetable concentrations consumed in inhabitants. The THQ of heavy metals of vegetables in Hewu and Suoyikeng were below 1, while the Pb and Cd in Shangba were more than 1, indicating that Pb and Cd were the key heavy metals which affected health risk of the inhabitants in this polluted area. It also showed that the inhabitants who lived near the contaminated river faced the adverse health risk. It indicated that health risk was caused mainly by AMD irrigating. Shangba villagers had higher health risk because they irrigated heavily contaminated water from Hengshi river, while Hewu villagers had less health risk by using contaminated water for irrigation. The THQ of Cd of Shangba village through vegetables was similar to that of Taiwan through oyster, while the THQ of Zn and Cu were lower than that. The THQ of heavy metals in Hewu was similar to those of uncontaminated areas.

Key words: heavy metal; health risk; daily intake; target hazard quotient