

# 平凉市菜田土壤重金属累积程度及同源相关性研究

秦志前<sup>1,2</sup>, 张军钱<sup>1,2</sup>, 田耿智<sup>1,2</sup>, 张艳丽<sup>1,2</sup>

(1. 甘肃省平凉市农业技术推广站, 甘肃 平凉 744000; 2. 甘肃省平凉市农产品质量安全检测检验中心, 甘肃 平凉 744000)

**摘要:**以平凉市蔬菜产地为研究区域, 于 2004—2011 年抽取土壤样品 147 点(次), 测定重金属 As、Hg、Pb、Cr、Cd 的含量。以甘肃省主要农业土壤环境地球化学背景值为参考标准, 应用地累积指数法划分出不同土类样点土壤重金属累积程度, 结果只有 1 个样点的综合地累积指数达到 1 级, 属轻度累积, 其余 146 个样点综合地累积指数均小于零, 属无累积状态, 说明平凉市菜田土壤重金属累积总体上处于安全水平。对 147 个样点(次)土壤的 5 种重金属含量的相关性进行了分析, 表明 Hg 与其它元素之间无相关关系, 与其它重金属不同源, 累积过程和来源途径是单独和独立的; Cd 与 Cr 也没有相关性, 累积过程和来源途径不同源; 其余重金属之间累积过程和来源途径存在高度的同源性。

**关键词:** 蔬菜产地; 土壤; 地累积指数; 重金属累积; 同源相关性; 平凉市

**中图分类号:** S151.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1463(2013)05-021-04

[doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2013.05.009](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2013.05.009)

## The Accumulation of Heavy Metals in Soil Vegetable Production in PingLiang City and Its Homologous Relationship

QIN Zhi-qian<sup>1,2</sup>, ZHANG Jun-qian<sup>1,2</sup>, TIAN Gen-Zhi<sup>1,2</sup>, ZHANG Yan-li<sup>1,2</sup>

(Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

**Abstract:** In this study, the soil of vegetable origin as the study area in PingLiang city of Gansu. This paper collected soil samples 147 times and determined the content of heavy metals there are arsenic (As), mercury (Hg), lead (Pb), chromium (Cr) and cadmium (Cd) from 2004 to 2011. In this paper, the main agricultural soil environmental geochemical background values as the reference standard in province of Gansu. The accumulation degree of different soil heavy metal was divided by applied the cumulative index, the results showed that only 1 sample of geoaccumulation reached level 1, which belongs to the slight accumulation, the result of the 146 sampling points in comprehensive index of geoaccumulation is less than zero, which belongs to no cumulative state, this showed that the heavy metal accumulation of vegetable patch reached to security level in general in Pingliang. This paper analyzed the concentration of 5 kinds of heavy metals, about the 147 samples in soil, this indicates that there is no correlation between mercury and other elements, and there is no homology with other metals, the process of accumulation and sources was separately and independently; this also indicates that cadmium and chromium no correlation, cumulative process and sources were not homologous; and the accumulation process and origin have highly homologous between the other heavy metals.

**Key words:** Vegetable plot; Soil; The cumulative inde; Heavy metal accumulation; Homology; Pingliang city

重金属在土壤中的积累、迁移不仅危害区域生态安全, 影响蔬菜生长发育, 而且通过食物链

收稿日期: 2013-02-21

作者简介: 秦志前 (1963—), 男, 甘肃崇信人, 推广研究员, 主要从事土壤肥料及早作农业技术研究等工作。联系电话: (0933)8296838。

### 参考文献:

- [1] 邱光若, 李寿如, 何儒, 等. 不同生根剂对马铃薯脱毒苗剪枝扦插的影响 [C]. 2007 年中国马铃薯大会 (中国马铃薯专业委员会年会暨学术研讨会)、全国马铃薯免耕栽培现场观摩暨产业发展研讨会论文集. 哈尔滨工程大学出版社, 2007.
- [2] 顾建新, 丁鑫, 李芳艳, 等. 马铃薯脱毒种薯扦插快繁技术研究 [J]. 新疆农业科学, 2009, 46(2): 266-268.
- [3] 孙慧生. 马铃薯生产技术百问百答 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [4] 杨春, 杜珍. 茶乙酸、吲哚丁酸、赤霉素对脱毒马铃薯扦插苗成活率的影响 [J]. 马铃薯杂志, 1998, 12(4): 199-202.
- [5] 李祖清. 园艺实用知识 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2002: 100-101.
- [6] 马光恕, 廉华, 林晓影. 硫酸锰叶面喷施对马铃薯根系生长的影响 [J]. 吉林农业 C 版, 2010(7): 44-45.
- [7] 王卫成, 贺成英, 韩富军. 基质配比及生根剂浓度对紫叶矮樱扦插生根率的影响 [J]. 甘肃农业科技, 2005(6): 27-28.

(本文责编: 杨杰)

进入人体,危害人体健康<sup>[1]</sup>。随着蔬菜质量安全问题的日益凸显,土壤重金属污染引起了科技界的广泛关注,国外学者提出了地累积指数法,并应用土壤重金属累积对重金属污染进行了较多的评价<sup>[2]</sup>,国内学者也进行了相关研究<sup>[3-8]</sup>,但分土类进行上述研究未见报道。为填补分土类土壤重金属累积评价研究的空白,为平凉市现有蔬菜产地土壤利用方向提供指导,平凉市农业技术推广站开展了平凉市蔬菜产地分土类重金属累积程度及同源相关性研究,现将结果报道如下。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

平凉市位于甘肃省东部,属陇东、陇中黄土高原地貌<sup>[9]</sup>,地处东经105° 21' ~ 107° 51',北纬34° 54' ~ 35° 46',总面积1.11万km<sup>2</sup>。年降水量479.3 ~ 627.6 mm,年平均气温8.5 °C,年日照总时数2 135.8 ~ 2 445.7 h。黄绵土、黑垆土、新积土面积总计占全市总土壤面积的75.4%,其中黑垆土占10.2%,黄绵土占59.6%,新积土占5.6%<sup>[10]</sup>。

### 1.2 样品采集

根据中华人民共和国农业部《农田土壤环境质量监测技术规范》(NY/T395-2000)和中华人民共和国环境保护行业标准《土壤环境监测技术规范》(HJ/T166-2004)进行土壤样点布置与采集<sup>[11-12]</sup>,采样深度为土壤耕作层(0 ~ 20 cm)。2004—2011年先后在全市7个县(区)蔬菜基地获取土壤样本147点(次),其中黑垆土30点(次)、新积土72点(次)、黄绵土34点(次)、灰褐土3点(次)、红粘土4点(次)、潮土4点(次)。土样经室内自然风干后在玛瑙研钵中研磨,过100目尼龙网筛,充分混合均匀后装入纸样袋待测。

### 1.3 检测方法

用石墨炉原子吸收分光光度法(GB/T17141-1997)测定镉(Cd)、铅(Pb),用冷原子吸收法(GB/T17136-1997)测定汞(Hg),用火焰原子吸收分光光度法(GB/T17137-1997)测定铬(Cr),用硼氢化钾-硝酸银分光光度法(GB/T17135-1997)测定砷(As),用森林土壤pH测定法(GB/T7859-87)测定pH,其它测试项目参考相关标准。

### 1.4 数据处理

采用Excel 2003软件和SPSS 10.0统计软件进行检测数据统计分析。

### 1.5 评价方法

1.5.1 污染因子及评价土类 选择中毒性比较强的重金属Cd、As、Hg、Pb、Cr作为土壤特征污染因子<sup>[5,13-14]</sup>。评价土类选择黄绵土、黑垆土、新积

土3个主要土类,灰褐土、潮土、红粘土由于样点比较少,评价结果有待进一步研究。

1.5.2 评价标准与方法 选用《土壤环境质量标准》(GB15618-1995)二级标准作为平凉市蔬菜产地土壤重金属评价指标(表1)<sup>[15]</sup>。

表1 土壤环境质量标准

土壤环境质量标准	重金属含量(mg/kg)				
	pH	Hg	Cd	As(旱地)	Pb Cr(旱地)
一级 自然背景		≤0.15	≤0.20	≤15	≤35 ≤90
二级	<6.5	≤0.30	≤0.30	≤40	≤250 ≤150
	6.5 ~ 7.5	≤0.50	≤0.30	≤30	≤300 ≤200
	>7.5	≤1.00	≤0.60	≤25	≤350 ≤250
三级	>6.5	≤1.50	≤1.00	≤40	≤500 ≤300

1.5.3 地累积指数法 德国科学家Muller于1979年提出,将土壤重金属累计污染程度划分为7级(表2),计算公式如下。

$$I_{geo(i)} = \log_2(C_n/1.5B_n) \quad (1)$$

$$I_{geo} = \sum_{i=1}^n I_{geo(i)} \quad (2)$$

式中, $I_{geo(i)}$ 是某一种重金属地累积指数, $I_{geo}$ 是重金属综合地累积指数, $C_n$ 是元素 $n$ 在土壤表层(耕层)中的含量, $B_n$ 为土壤中该元素地球化学背景值,以甘肃省土壤地球化学背景值为参照标准(表3),1.5是背景值校正系数<sup>[2]</sup>。

表2 地累积指数污染评价标准

级别	$I_{geo}$	累积程度
0	<0	无累积
1	0 ~ 1	无累积-轻度累积
2	1 ~ 2	中度累积
3	2 ~ 3	中度累积-重度累积
4	3 ~ 4	重度累积
5	4 ~ 5	重度累积-极重累积
6	>5	极重累积

表3 甘肃省土壤地球化学背景值A层监测结果 mg/kg

土壤类型	Pb	Cd	Cr	As	Hg
黄绵土	21.700 0	0.152 0	63.000 0	10.000 0	0.031 2
黑垆土	22.600 0	0.113 0	72.000 0	11.200 0	0.034 3
灰褐土	24.600 0	0.096 0	75.100 0	12.000 0	0.036 3
红粘土	37.300 0	0.093 0	143.000 0	17.300 0	0.047 2
潮土	27.700 0	0.166 0	70.600 0	16.700 0	0.026 6
新积土	24.700 0	0.159 0	66.800 0	13.400 0	0.028 9

## 2 结果与分析

### 2.1 重金属含量及分布范围

由表4可知,平凉市蔬菜产地土壤的5种重金属含量的平均值均未超过《土壤环境质量标准》(GB15618-1995)一级标准限值,但其中有3个样点的含量超过国家土壤环境一级标准,低于二级标

表4 平凉市各土类土壤重金属含量及特征

土类	含量范围(mg/kg)					含量均值(mg/kg)					变异系数(%)				
	As	Hg	Pb	Cr	Cd	As	Hg	Pb	Cr	Cd	As	Hg	Pb	Cr	Cd
黑垆土	5.183~20.200	0.006~0.116	5.390~67.100	16.620~114.020	0.018~0.355	10.583	0.031	29.497	69.954	0.128	37.700	96.770	52.578	27.240	59.375
新积土	4.140~17.484	0.003~0.234	14.680~90.730	16.030~107.600	0.021~0.236	9.867	0.047	30.230	63.092	0.094	27.880	114.149	42.120	31.988	57.447
黄绵土	3.266~13.100	0.003~0.054	14.900~134.100	33.600~100.600	0.021~0.511	9.292	0.023	39.953	67.009	0.168	36.160	56.522	61.652	26.550	77.381
灰褐土	12.300~13.400	0.009~0.038	15.100~30.600	82.900~86.000	0.120~0.200	12.940	0.021	21.880	84.160	0.160	4.700	76.190	37.660	2.094	25.000
红粘土	6.980~13.460	0.023~0.099	29.100~44.610	37.410~81.700	0.032~0.140	11.042	0.051	37.003	63.002	0.099	27.259	68.627	17.153	30.642	50.505
潮土	6.170~10.294	0.015~0.170	27.580~54.080	61.40~67.920	0.054~0.120	8.688	0.071	38.333	64.792	0.096	21.432	102.817	31.698	4.139	30.208

准限值，即泾川县窑店乡公主村（黑垆土）、泾川县高平镇三十里铺村（黑垆土）As含量分别为17.600、20.200 mg/kg，静宁县仁大镇深沟村（黄绵土）Cd含量为0.511 mg/kg。同时可以看出，As、Hg、Pb、Cr、Cd的变异系数加权平均值分别为30.72%、93.94%、47.72%、28.36%、60.84%，Hg的变异系数最大，Cr的变异系数最小，说明Hg、Cd分布不均匀，其它重金属分布相对均匀。

2.2 地累积指数评价

根据公式(1)、(2)，以表3背景值标准，得到

表5 样点土壤重金属元素地累积指数

重金属	地累积指数			总样本数(个)
	最大值	最小值	平均值	
As	-0.046	-2.674	-1.155	147
Hg	1.953	-4.333	-1.415	147
Pb	1.724	-2.913	-0.519	147
Cr	-0.323	-3.154	-1.194	147
Cd	1.605	-3.222	-0.856	147

各样点土壤重金属地累积指数(表5)，并按土类得出平凉市各土类土壤重金属地累积指数(表6)，按累积程度得出平凉市不同土类的土壤重金属累积程度分布结果(表7)和平凉市不同土类土壤不同重金属累积轻度以上样点(表8)。

由表6可知，平凉市不同土类土壤重金属地累积指数的趋势黑垆土为 $I_{geo}(Pb) > I_{geo}(Cr) > I_{geo}(As) > I_{geo}(Hg) > I_{geo}(Cd)$ ，新积土为 $I_{geo}(Pb) > I_{geo}(Cr) > I_{geo}(Hg) > I_{geo}(As) > I_{geo}(Cd)$ ，黄绵土为 $I_{geo}(Pb) > I_{geo}(Cd) > I_{geo}(Cr) > I_{geo}(As) > I_{geo}(Hg)$ ，灰褐土为 $I_{geo}(Cd) > I_{geo}(Cr) > I_{geo}(As) > I_{geo}(Pb) > I_{geo}(Hg)$ ，红粘土为 $I_{geo}(Cd) > I_{geo}(Pb) > I_{geo}(Hg) > I_{geo}(As) > I_{geo}(Cr)$ ，潮土为 $I_{geo}(Hg) > I_{geo}(Pb) > I_{geo}(Cr) > I_{geo}(As) > I_{geo}(Cd)$ 。

由表7、表8可知，各土类不同重金属累积为0级，即无积累的有77个样点(次)，占样点总数的52.4%；1级轻度累积有49个样点(次)，占样点总数的33.3%；2级中度累积有14个样点(次)，占样点总数的9.5%；3级重度累积有7个样点(次)，占样点总数的4.8%。重金属累积由大到小的趋势为Pb、Hg、Cd、As、Cr。其中土壤Pb、Hg的积累比较明显，

表6 平凉市各土类土壤重金属地累积指数

土类	含量范围(mg/kg)					变异系数(%)				
	As	Hg	Pb	Cr	Cd	As	Hg	Pb	Cr	Cd
黑垆土	-1.697~0.266	-3.030~1.173	-2.653~0.985	-2.700~0.078	-3.235~1.067	-0.787	-1.389	-0.436	-0.685	-1.467
新积土	-2.279~-0.201	0.435~2.432	-1.336~1.292	-2.644~0.103	-3.506~0.015	-1.087	-0.780	-0.423	-0.757	-1.598
黄绵土	-2.199~-0.195	-3.963~0.206	-1.127~2.043	-1.492~0.090	-3.441~1.164	-0.809	-1.353	-0.004	-0.553	-0.0959
灰褐土	-0.549~-0.426	-2.597~-0.519	-1.289~-0.270	-0.442~-0.389	-0.263~0.474	-0.471	-1.854	-0.865	-0.424	0.121
红粘土	-1.894~-0.947	-1.622~0.484	-0.943~-0.327	-2.519~-1.393	-2.124~0.005	-1.227	-0.858	-0.610	-1.877	-0.609
潮土	-2.012~-1.283	-1.414~2.091	-0.591~0.380	-0.786~-0.641	-2.188~-1.036	-1.518	0.075	-0.217	-0.780	-2.273

表7 平凉市不同土类土壤重金属累积程度分布结果

土类	总样点数(个)	0级样点数(个)	1级样点数(个)	2级样点数(个)	3级样点数(个)
黑垆土	30	13	15(Pb8, Cd6, Hg4, As3, Cr2)	2(Hg1, Cd1)	0
黄绵土	34	18	10(Pb8, Cd8, Hg2, Cr1)	5(Pb4, Cd1)	1(Pb1)
新积土	72	40	20(Pb13, Hg8, Cr1)	7(Hg6, Pb1)	5(Hg5)
灰褐土	3	1	2(Cd2)	0	0
红粘土	4	3	1(Cd1)	0	0
潮土	4	2	1(Hg1, Pb1)	0	1(Hg1)
合计	147	77	49	14	7

达到重度累积的样点7个, 占总样点数的4.8%; 其余重金属均属轻度累积或无累积。从综合地累积指数结果可知, 平凉市蔬菜产地土壤只有1个新积土样点(次)的综合地累积指数达到1级, 属轻度累积, 其余146个样点(次)综合地累积指数均小于零, 属无累积状态, 说明平凉市蔬菜产地土壤重金属累积总体上处于安全水平。

表8 各土类不同重金属累积轻度以上样点数 个

土类	As	Hg	Pb	Cr	Cd
黑垆土	3	5	8	2	7
黄绵土	0	2	13	0	9
新积土	0	19	14	1	0
灰褐土	0	0	0	0	2
红粘土	0	0	0	0	1
潮土	0	2	1	0	0
合计	3	28	36	3	19

### 2.3 土壤重金属污染同源相关性

对147个样点(次)土壤的5种重金属含量应用SPSS 10.0软件进行了相关性分析, 结果(表9)表明, Hg与其它元素之间无相关关系, 与其它重金属不同源, 累积过程和来源途径是单独和独立的; As与Pb、Cr、Cd存在极显著相关关系, 说明As与Pb、Cr、Cd存在高度的同源性; Pb与As、Cr、Cd存在极显著相关性, 说明它们之间也存在高度的同源性; Cr与As、Pb极显著相关, 高度同源; Cd与As、Pb存在极显著相关, 高度同源; Cd与Cr没有相关性, 不同源。

表9 土壤重金属元素含量相关分析<sup>①</sup>

重金属	As	Hg	Pb	Cr	Cd
As	1.000				
Hg	0.120	1.000			
Pb	0.404**	0.004	1.000		
Cr	0.328**	0.060	0.494**	1.000	
Cd	0.373**	0.004	0.541**	0.095	1.000

①\*表示相关系数在0.05水平显著( $R_{0.05}=0.159$ ); \*\*表示相关系数在0.01水平显著( $R_{0.01}=0.208$ )。

### 3 结论

1) 平凉市蔬菜产地不同土类的As、Hg、Pb、Cr、Cd含量平均值分别为9.957、0.038、32.162、65.983、0.119 mg/kg, 均未超过《国家土壤环境质量标准》(GB15618-1995)一级标准限值; As、Hg、Pb、Cr、Cd的变异系数平均值分别为30.72%、93.94%、47.72%、28.36%、60.84%。其中Hg、Cd分布不均匀, As、Pb、Cr分布相对均匀。新积土有1个样点(次)综合地累积指数为0.058, 属轻度累积, 其余146个样点(次)综合地累积指数均小于零, 属无累积状态, As、Hg、Pb、Cr、Cd地累积

指数平均值分别为-1.155、-1.415、-0.519、-1.194、-0.856, Pb、Hg、Cd的积累比较明显。

2) Hg与其它元素之间没有相关关系, 与其它重金属不同源, 累积过程和来源途径是单独和独立的; Cd与Cr没有相关性, 不同源; As与Pb、Cr、Cd极显著相关, 存在高度的同源性; Pb与As、Cr、Cd极显著相关, 也存在高度的同源性; Cr与As、Pb极显著相关, 高度同源; Cd与As、Pb极显著相关, 也高度同源。

### 参考文献:

- [1] 范栓喜, 甘卓亭, 李美娟, 等. 土壤重金属污染评价方法进展[J]. 中国农学通报, 2010, 26(17): 310-315.
- [2] TIPPING E, RIEUWERTS J, Pan G *et al.* The solid-solution partitioning of heavy metal (Cu, Zn, Cd, Pb) in upland soil of England and Wales [J]. Environment Pollution, 2003, 125(2): 213-225.
- [3] 郑袁明, 陈同斌, 陈煌, 等. 北京不同土地利用方式下土壤铅的累积 [J]. 地理学报, 2005, 60(5): 791-797.
- [4] 刘红樱, 谢志仁, 陈德友, 等. 成都地区环境质量初步评价[J]. 环境科学学报, 2004, 24(2): 297-300.
- [5] 郑国璋. 农业土壤重金属污染研究的理论和实践[M]. 北京: 中国环境科学出版社. 2007.
- [6] 王利军, 卢新卫, 荆淇, 等. 宝鸡长青镇铅锌冶炼厂周边土壤重金属污染研究 [J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(2): 325-330.
- [7] 胡克宽, 王英俊, 张玉岱, 等. 渭北黄土高原苹果园土壤重金属空间分布及累计性评价[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(5): 934-941.
- [8] 李树辉, 李莲芳, 曾希柏, 等. 山东寿光不同农业利用方式下土壤铬的累积特征 [J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(8): 1539-1545.
- [9] 王小锋. 平凉市农业野生植物资源及保护现状调查 [J]. 甘肃农业科技, 2011(6): 45-47.
- [10] 甘肃省平凉地区土壤普查办公室. 平凉土壤[R]. 1988.
- [11] 中华人民共和国农业部. NY/T395-2000 农田土壤环境质量监测技术规范[S]. 2000.
- [12] 国家环境保护总局. HJ/T166-2004 中华人民共和国环境保护行业标准—土壤环境监测技术规范[S]. 2004.
- [13] 甘肃省环境保护厅. 甘肃省土壤污染状况调查报告 [R]. 2010.
- [14] 中国农业科学院农业质量标准与检测技术研究所. 农产品质量安全风险评估—原理、方法和应用[M]. 北京: 中国标准出版社. 2007.
- [15] 国家环境保护局, 国家技术监督局. GB15618—1995 中华人民共和国国家标准 土壤环境质量标准[S]. 1995.

(本文责编: 郑立龙)