

# 天水市武山县蔬菜大棚土壤重金属含量分析与评价

张喜平, 吕莉莉, 王小军, 卜虎虎, 杨志奇, 柴小琴

(天水市农业科学研究所, 甘肃 天水 741000)

**摘要:** 为了解武山县蔬菜大棚土壤重金属污染情况, 从天水市武山县8个镇的蔬菜大棚中采集48份土壤样品, 结合国家土壤重金属评价标准, 应用单因子污染指数法、内梅罗综合污染指数法和潜在生态风险指数法对其重金属(Ni、Cu、Zn、Cd、Pb、As、Hg)含量进行分析评价。结果表明, 天水市武山县蔬菜大棚土壤状况总体处于安全范围, 与甘肃省背景值比较, 7种重金属元素均出现不同程度的积累, 局部点位Cu、Cd元素存在一定程度的超标, 潜在生态风险水平为中—强度, Hg对潜在生态风险指数的贡献为76.8%, 是潜在的致险因子。

**关键词:** 武山县; 蔬菜大棚; 土壤; 重金属; 含量; 评价

**中图分类号:** X53

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-1463(2022)02-0063-05

[doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2022.02.016](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2022.02.016)

## Analysis and Evaluation of Heavy Metal Content in Vegetable Greenhouse Soil in Wushan County, Tianshui City

ZHANG Xiping, LV Lili, WANG Xiaojun, BU Huhu, YANG Zhiqi, CHAI Xiaoqin

(Tianshui Institute of Agricultural Sciences, Tianshui Gansu 741000, China)

**Abstract:** To understand the content of heavy metals in the soil of vegetable greenhouses in Wushan county, 48 soil samples were collected from vegetable greenhouses in 8 towns of Wushan county, Tianshui city. The contents of heavy metals (Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, As, Hg) were analyzed and evaluated by single factor pollution index, Nemerow comprehensive pollution index and potential ecological risk index. The results showed that the soil condition of vegetable greenhouse in Wushan county of Tianshui city was generally in a safe range, and compared with the background value of Gansu province, seven kinds of heavy metal elements were accumulated in different degrees; Cu and Cd elements at local points exceeded the standard to a certain extent, and the potential ecological risk level was medium-intensity. Hg contributed 76.8% to the potential ecological risk index, which was a potential risk factor.

**Key words:** Wushan county; Vegetable greenhouse; Soil; Heavy metal; Content; Evaluation

天水市自然资源优越, 气候特征适宜蔬菜的生长<sup>[1]</sup>。武山县是天水市的蔬菜种植大县, 种植历史悠久, 是甘肃省首批无公害蔬菜生产示范基地县, 也是黄土高原夏秋蔬菜重点区域基地县, 蔬菜种植面积2.67万hm<sup>2</sup>左右, 总产量130万t, 产值24亿元, 蔬菜产业已成为增加农民收入精准脱贫的重要支柱产业之一<sup>[2]</sup>。大棚种植蔬菜不受季节、空间、地域限制, 有较高的经济效益, 可满足一年四季人们对新鲜蔬菜的需求。目前, 武山县的蔬菜供应主要以大棚种植为主, 但农民为了提高蔬菜产量, 增加效益, 大量施用化肥和农药等, 污染了大棚蔬菜种植的土壤。重金属含量

超标会改变土壤性质, 不仅抑制作物的正常生长发育、影响产量和品质, 而且可通过“土壤-植物-人体”食物链进入人体从而危害人类健康<sup>[3-5]</sup>。因此, 了解设施蔬菜土壤重金属含量的状况, 对指导蔬菜的安全生产具有重要的理论与现实意义<sup>[6]</sup>。我们对天水市蔬菜主产区武山县蔬菜大棚开展调查研究, 对重金属污染状况进行了综合评价, 以期蔬菜大棚土壤重金属污染监测、防止、控制和治理提供参考。

### 1 材料与方法

#### 1.1 研究区域概况

武山县位于甘肃省东南部、天水市西北部的

收稿日期: 2021-09-17

基金项目: 天水市科技支撑计划项目(2019-NCK-6187、2021-NCK-1514)。

作者简介: 张喜平(1981—), 女, 甘肃天水人, 助理研究员, 主要从事土壤理化分析研究工作。联系电话: (0)13893867675。

通信作者: 柴小琴(1963—), 女, 甘肃天水人, 高级农艺师, 主要从事土壤理化分析研究工作。Email: ts\_cxq@163.com。

渭河上游,海拔 1 365 ~ 3 120 m,属温带大陆性半湿润季风气候,冬无严寒,夏无酷暑,年平均气温 9.6 ℃,降水量 500 mm<sup>[7-9]</sup>。光照充足,水资源丰富,土层深厚,适宜多种蔬菜及品种生长。

### 1.2 样品的采集

采样点主要延河谷川道(渭河武山段、大南河、榜沙河、漳河、山丹河)及省国道周边鸳鸯镇、滩歌镇、山丹镇、城关镇、洛门镇、四门镇、桦林镇、龙台镇等 8 个镇典型大棚蔬菜基地分布。按照“等量”和“多点混合”的原则,采取随机分块 5 点对角线法取样<sup>[10]</sup>,结合大棚蔬菜种植种类,以大棚为样点,每样点选择 3 个子样点。子样点确定后,将表土刮去,用土钻垂直地面采样,采样深度为 0 ~ 20 cm。采集 3 个相同样点(大棚)的土层土样,分别混合再按四分法分出 1 份混合样,样重 1 kg 左右。采样时用 GPS 记录点位信息。

### 1.3 样品的处理与测定

共采集土样 46 份。将采集的土壤样品装入样品袋,用写好标签内外各 1 张,注明地点、时间、深度、编号、茬口或种植品种及种植年限。运回实验室在室温下自然风干,风干后用研钵磨碎,过 100 目尼龙筛,然后准确称取 0.500 0 g 用于测定土壤中的重金属含量。用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)及荧光光谱仪测定 Ni、Cu、Zn、Cd、Pb、As、Hg 的含量<sup>[11]</sup>。

### 1.4 评价标准与方法

1.4.1 评价标准 土壤评价标准采用 GB5618-1995《土壤环境质量标准》中的二级标准和甘肃省土壤背景值<sup>[12]</sup>。

### 1.4.2 评价方法

单因子污染指数法。这种方法能够表明某一个污染物对土壤的污染程度,单因子污染指数的计算公式如下:

$$P_i = \frac{c_i}{s_i}$$

式中, $P_i$ 为污染物  $i$  的项污染指数, $c_i$ 为污染物  $i$  的实测浓度(mg/kg), $s_i$ 为污染物  $i$  的评价标准(mg/kg),风险筛选值(选用 pH>7.5 的限值)见表 1,单因子污染等级标准见表 2。

内梅罗综合污染指数法<sup>[14]</sup>。内梅罗综合指数法的计算公式如下:

$$P = \sqrt{\frac{[\text{ave}(P_i)]^2 + [\text{max}(P_i)]^2}{2}}$$

式中  $P$  为采样点综合污染指数, $\text{ave}(P_i)$ 为采样点  $i$  单项污染指数的平均值; $\text{max}(P_i)$ 为采样点  $i$  单项污染指数的最大值。内梅罗综合污染指数法的分级标准见表 2。

表 2 土壤重金属污染评价分级标准

等级	单因子污染指数	综合污染指数	污染评价
1	$P_i < 1$	$P < 0.7$	安全
2	$1 < P_i \leq 2$	$0.7 < P \leq 1.0$	警戒线
3	$2 < P_i \leq 3$	$1.0 < P \leq 2.0$	轻污染
4	$3 < P_i \leq 5$	$2 < P \leq 3.0$	中污染
5	$P_i > 5$	$P > 3.0$	重污染

潜在生态风险指数法。是一种应用相对广泛的评价沉积物重(类)金属潜在生态风险的一种定量方法<sup>[15]</sup>,计算公式为:

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i = \sum_{i=1}^n (T_r^i \times \frac{C_i}{C_n^i})$$

式中, $RI$ 为重金属潜在生态风险指数, $E_r^i$ 为单一重金属潜在生态风险因子, $C_i$ 为土壤重金属的实测含量, $C_n^i$ 为甘肃省土壤背景参考值,为不同金属生物毒性响应因子。评价分级标准见表 3。

表 3 重金属污染潜在生态风险指数法评价分级标准

序号	$E_r^i$	$RI$	潜在生态风险程度
1	$E_r^i < 40$	$RI < 150$	轻微
2	$40 \leq E_r^i < 80$	$150 \leq RI < 300$	中等
3	$80 \leq E_r^i < 160$	$300 \leq RI < 600$	强
4	$160 \leq E_r^i < 320$	$600 \leq RI < 1\ 200$	很强
5	$E_r^i \geq 320$	$RI \geq 1\ 200$	极强

表 1 土壤污染国家标准与风险管制值(pH>7.5)

类型	Cd	Hg	As	Pb	Cu	Ni	Zn
风险筛选值(国家二级标准)	0.6	3.4	25	170	100	190	300
风险管制值	4.0	6.0	100	1 000			

## 2 结果与分析

### 2.1 武山县蔬菜大棚土壤重金属含量的统计性描述

从表4可以看出,武山县8个镇蔬菜大棚土壤重金属含量相差较大,变异系数为6.59%~85.42%。7种重金属元素空间变异性排序为 $Hg > Cu > Cd > Zn > As > Ni > Pb$ 。根据Wilding对变异程度的分类,Ni、Pb、As(8.54%、6.59%、9.23%)为弱变异,Zn、Cd(28.76%、35.47%)为中等变异,Cu、Hg(64.43%、85.42%)为高度变异。各元素含量的最大值均超过了甘肃省土壤背景值,但Cd和Cu元素的最大值分别达到二级标准的1.2和1.8倍。7种重金属元素的平均值均低于二级标准值,与甘肃省土壤背景值比较,除As与Ni外,Cu、Zn、Cd、Pb、Hg 5种元素的平均值均超过甘肃省土壤背景值,分别是背景值的1.6、1.4、2.4、1.2、8.4倍。

### 2.2 武山县蔬菜大棚土壤重金属污染评价

表5表明,重金属的单因子污染指数平均值

依次为: $As > Cd > Cu > Zn > Ni > Pb > Hg$ 。其中Cu、Cd元素轻微污染分别占样本总量的2.3%、4.5%,说明武山县蔬菜大棚土壤中存在一定程度的Cu和Cd污染。内梅罗综合污染指数平均值为0.470,其中内梅罗综合污染指数中度污染和轻微污染点位数为2.3%,表明武山县蔬菜大棚土壤受到一定程度的重金属污染。结合样点重金属含量分析,渭河入武山的桦林镇属于中度污染,在大棚蔬菜种植年限长、交通便捷,人口较为稠密的渭河干流河谷区的鸳鸯镇、山丹镇、洛门镇处于安全警戒或轻度污染程度。

### 2.3 武山县蔬菜大棚土壤重金属潜在生态风险评价

武山县8个镇蔬菜大棚土壤重金属潜在生态风险评价结果(表6)表明,潜在生态风险指数平均值由大到小依次为Hg、Cd、As、Cu、Pb、Ni、Zn。其中Ni、Cu、Zn、Pb、As等5种元素均处于轻微生态风险水平,Cd元素大部分(75%)点位处于中等生态风险水平;Hg元素11.4%点位处于

表4 武山县蔬菜大棚土壤重金属含量描述性统计

重金属	最小值 /(mg/kg)	最大值 /(mg/kg)	均值 /(mg/kg)	标准差 /(mg/kg)	变异系数 /%	甘肃省背景值 /(mg/kg)	土壤风险筛选值 /(mg/kg)
Ni	25.83	39.08	33.61	2.87	8.54	35.20	190
Cu	22.33	180.96	39.66	25.55	64.43	24.10	100
Zn	63.61	229.03	96.52	27.76	28.76	69.20	300
Cd	0.18	0.69	0.28	0.10	35.47	0.12	0.6
Pb	19.51	26.18	22.59	1.49	6.59	18.80	170
As	9.50	14.49	12.19	1.12	9.23	12.60	25
Hg	0.03	0.66	0.17	0.14	85.42	0.02	3.4

表5 武山县蔬菜大棚土壤重金属污染评价

元素	污染指数			污染指数分布/%			
	最小值	最大值	平均值	清洁	轻微污染	中度污染	重度污染
Ni	0.136	0.206	0.177	100.0			
Cu	0.223	1.810	0.397	97.7	2.3		
Zn	0.212	0.763	0.322	100.0			
Cd	0.292	1.142	0.463	95.5	4.5		
Pb	0.115	0.154	0.133	100.0			
As	0.380	0.580	0.487	100.0			
Hg	0.007	0.194	0.050	100.0			
内梅罗综合污染指数	0.336	1.323	0.470	95.4	2.3	2.3	

表6 武山县蔬菜大棚土壤重金属潜在生态风险评价

元素	潜在生态风险指数			潜在生态风险指数分布/%				
	最小值	最大值	平均值	轻微	中等	强	很强	极强
Ni	3.7	5.6	4.8	100.0				
Cu	4.6	37.5	8.2	100.0				
Zn	0.9	3.3	1.4	100.0				
Cd	45.3	177.2	71.9		75.0	22.7	2.3	
Pb	5.2	7.0	6.0	100.0				
As	7.5	11.5	9.7	100.0				
Hg	49.0	1 322.1	336.9		11.4	20.5	29.5	38.6
RI	124.3	1 439.1	438.9	4.5	36.4	36.4	22.7	

于中等生态风险水平, 20.5%点位数处于强生态风险水平, 29.5%点位数处于很强生态风险水平, 38.6%点位数处于极强生态风险水平。潜在生态风险指数(RI)平均值为438.9, 其中轻微生态风险水平点位数占4.5%, 中等生态风险水平点位数占36.4%, 强生态风险水平点位数占36.4%, 很强生态风险水平点位数占22.7%, 表明武山县蔬菜大棚土壤重金属主要处于中—强度生态风险水平。结合样点重金属含量分析, 中—强度等级生态风险程度主要分布在人口较为集中、蔬菜种植历史悠久的乡镇(洛门镇、城关镇、鸳鸯镇), 说明生态风险强的区域主要受人为因素的影响。Ni、Cu、Zn、Cd、Pb、As、Hg 7种重金属对潜在生态风险指数的贡献率分别为1.1%、1.9%、0.3%、16.4%、1.4%、2.2%和76.8%, 其中Hg对潜在生态风险指数的贡献率最高, 即Hg是潜在的致险因子。

### 3 结论与讨论

武山县蔬菜大棚土壤中7种重金属元素的平均值均低于国家二级标准值, 但Cd和Cu的最大值分别达到二级标准的1.2和1.8倍, 存在局部超标情况, 即Cd和Cu为武山县蔬菜大棚土壤的重要污染源。除As与Ni元素外, Cu、Zn、Cd、Pb、Hg 5种元素的平均值均超过甘肃省土壤背景值, 表现不同程度的富集效应, 说明蔬菜大棚土壤重金属聚集趋势明显。7种重金属元素单因子污染指数平均值均小于1, 内梅罗综合污染指数平均值为0.470, 表明武山县蔬菜大棚土壤总体状况安全。潜在生态风险评价表明, 武山县蔬菜大棚土壤重金属处

于中—强度生态风险水平, 生态风险强的区域主要分布在人口较为集中种植历史悠久的乡镇(洛门镇、城关镇、鸳鸯镇), Hg对潜在生态风险指数的贡献率最高, 为76.8%, 是潜在的致险因子。

武山县局部蔬菜大棚土壤中存在重金属元素Cd和Cu超标的现象, 可能与农民不合理施用农药、化肥以及鸡粪和猪粪等有关, 农民长期的不良种植习惯及人为活动会增加该区域的生态风险。在今后的大棚蔬菜生产过程中, 应该加强无公害蔬菜安全生产的宣传<sup>[16]</sup>, 规范施用肥料和农药, 尽量减少使用传统塑料、地膜, 严格控制农药、化肥以及畜禽粪便的使用量, 使用生物有机肥, 降低重金属元素对环境的污染。

### 参考文献:

- [1] 张忠平, 梁更生, 尹艳兰, 等. 天水市蔬菜生产存在的问题及建议[J]. 甘肃农业科技, 2009(9): 39-40.
- [2] 郭敏明. 武山县河谷川区莴笋复种蒜苗栽培技术[J]. 甘肃农业科技, 2020(9): 90-92.
- [3] 贺宇环, 刘 硕, 吴海森, 等. 饶阳县蔬菜大棚土壤重金属污染评价[J]. 中国资源综合利用, 2021, 39(7): 110-113.
- [4] 时圣刚. 重金属对环境与人体健康影响浅议[J]. 安徽农业科学, 2013(14): 6425-6426.
- [5] 张洪伟, 张国珍, 张克江, 等. 黄河兰州段黄灌区蔬菜大棚土壤重金属含量分析及污染评价[J]. 土壤通报, 2012(6): 1497-1501.
- [6] 贺小琴, 张永清. 离石区蔬菜大棚土壤重金属污染现状评价[J]. 北方园艺, 2014(4): 155-159.
- [7] 汪东晖. 武山县秋延茬大棚番茄栽培技术[J]. 甘肃农业科技, 2020(6): 94-96.

# 玉米 *COBRA* 家族成员全基因组鉴定与表达模式分析

潘倚天, 黄敏

(长江大学生命科学学院, 湖北 荆州 434025)

**摘要:** *COBRA* 基因编码糖基磷脂酰肌醇锚定的植物特异性蛋白, 在初生和次生细胞壁的纤维素生物合成中发挥重要作用。通过生物信息学方法, 从玉米基因组中发现了9个 *COBRA* 家族基因, 并对其基因结构、系统发育和表达模式等进行了分析。结果表明, 9个 *COBRA* 家族基因都含有CCVS保守结构域, 并且均定位于细胞膜上。系统进化分析结果显示, 该家族可以分为2个亚族, 每个亚族内的基因具有相似的基因结构和理化性质。基因表达分析结果表明, 所有 *COBRA* 家族成员响应多种非生物胁迫, 且当植株受到紫外照射处理时, *ZmCOBL1~ZmCOBL3* 和 *ZmCOBL7~ZmCOBL9* 这6个基因均表现出上调应答。

**关键词:** 玉米; *COBRA* 基因家族; 纤维素; 表达模式; 生物信息学

**中图分类号:** S513

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-1463(2022)02-0067-06

doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2022.02.017

## Genome-wide Identification and Expression Pattern Analysis of *COBRA* Family Members in Maize

PAN Yitian, HUANG Min

(College of Life Sciences, Yangtze University, Jingzhou Hubei 434025, China)

**Abstract:** The *COBRA* gene encodes a glycosyl phosphatidyl inositol-anchored, plant-specific protein that plays an important role in cellulose biosynthesis in primary and secondary cell walls. In this study, 9 *COBRA* family genes were found from the maize genome by bioinformatics methods, and their gene structures, phylogeny and expression patterns were analyzed. The results showed that the 9 *COBRA* family genes all contained CCVS conserved domains, and all of them were located on the cell membrane. Phylogenetic analysis showed that *COBRA* family could be divided into two subfamilies, and the genes in each subgroup had similar gene structure and physicochemical properties. Gene expression analysis showed that all *COBRA* family members

收稿日期: 2021-12-21

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31771801、32072069); 湖北省高等学校优秀中青年科技创新团队计划项目(T201704)。

作者简介: 潘倚天(1996—), 男, 河南开封人, 硕士研究生, 主要从事玉米涝渍灾害研究工作。联系电话: (0)15872100154。Email: ytpan1996@163.com。

通信作者: 黄敏(1957—), 女, 湖北随州人, 实验员, 研究方向为生命科学。Email: 2381615354@qq.com。

- [8] 汪东晖. 武山县早春茬大棚花椰菜栽培技术[J]. 甘肃农业科技, 2020(7): 83-84.
- [9] 俄胜哲, 黄涛, 袁洁, 等. 渭河上游长期设施种植对土壤盐渍化及硝态氮含量的影响[J]. 甘肃农业科技, 2015(8): 19-22.
- [10] 刘强, 刘雪媛. 天水市秦州区大樱桃果园土壤重金属调查与评价[J]. 天水师范学院学报, 2017(2): 42-45.
- [11] 刘瑞雪, 乔冬云, 王萍, 等. 湘潭县农田土壤重金属污染及生态风险评价[J]. 农业环境科学学报, 2019, 38(7): 1523-1530.
- [12] 生态环境部国家市场监督管理总局. GB15618-2018, 土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [13] 赵辛金, 吴天生, 钟晓宇, 等. 广西典型岩溶区重金属高背景区农田土壤生态风险综合评价[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(22): 252-261.
- [14] 孙英, 周金龙, 曾妍妍, 等. 新疆于田县农田土壤重(类)金属污染及潜在生态风险评价[J]. 新疆农业科学, 2018, 55(12): 2271-2278.
- [15] 贾英, 方明, 吴友军, 等. 上海河流沉积物重金属的污染特征与潜在生态风险[J]. 中国环境科学, 2013, 33(1): 147-153.
- [16] 洪启金, 李少能. 广州市番禺区无公害蔬菜生产存在问题及发展对策[J]. 广东农业科学, 2005(4): 115-116.