

# 平凉市典型作物种植区土壤重金属污染状况及其分布特征

朱敏

(平凉市农业技术推广站, 甘肃 平凉 744000)

**摘要:** 土壤重金属污染已严重危害粮食安全与人类健康。为了解平凉市土壤重金属污染现状, 摸清典型作物生长、生产环境, 明确土壤重金属空间分布特征及污染源。选取506个典型作物种植区耕层土样, 测量其重金属含量, 并利用内梅罗指数法和潜在生态危害指数法进行土壤重金属污染评价。结果表明, 平凉市土壤重金属污染等级为清洁的样品占99.41%、尚清洁占0.59%; 潜在生态危害等级轻微的土壤样品占95.85%、中等生态危害占4.15%。506个点位样品中, 铅和砷2种土壤重金属元素有部分超标, 超标率Pd为0.45%、As为0.90%。从地理区域来看, 土壤重金属潜在生态危害程度在平凉市的分布为中部>西部>东部; 从土壤类型来看, 土壤重金属污染占比较大的土类主要为山地草甸土、灰褐土、新积土和红粘土。

**关键词:** 土壤; 重金属污染; 内梅罗指数法; 潜在生态危害指数法; 空间分布

**中图分类号:** X53

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2097-2172(2023)02-0173-05

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2023.02.016

## Soil Heavy Metal Pollution Status and Its Spatial Distribution Characteristics of Typical Crop Planting Areas in Pingliang

ZHU Min

(Pingliang Agricultural Technology Extension Station, Pingliang Gansu 744000, China)

**Abstract:** Contamination of soil with heavy metals has seriously endangered human health and food security. To understand the current situation of soil heavy metal pollution, to find out the growth and production environment of typical crops, and to clarify the spatial distribution characteristics and pollution sources of heavy metals in Pingliang, 506 farmland topsoils were collected and their heavy metal contents were measured. Results showed that the proportions of tested samples marked as clean grade and still clean grade of soil heavy metal pollution in Pingliang were 99.41% and 0.59%, respectively. The proportions of potential ecological hazard grades of minor and moderate were 95.85% and 4.15%, respectively. Among samples from 506 points, 2 soil heavy metal elements exceeded the standard and the excess rates were Pd as 0.45% and As as 0.90%. The potential ecological hazard of soil heavy metals by geographic region was Central > West > East. In terms of soil type, the soil types with a large proportion of soil heavy metal pollution were mountain meadow soil, gray-brown soil, new accumulation soil and red clay soil.

**Key words:** Soil; Heavy metal pollution; Nemer index method; Potential ecological hazard index method; Spatial distribution

土壤重金属污染问题近年来引起大众广泛关注。随着生活水平的提升, 人们对农业绿色食品、产品和粮食安全的要求愈来愈高, 但随之而来的农田土壤重金属污染问题却越来越凸显<sup>[1]</sup>。人体内重金属物质增加的主要渠道是土壤重金属经过食物链的留转, 而土地中重金属物质的高毒

性、永久性、难降解特性和在食物链中的高蓄积性等, 都会对人类健康造成危害<sup>[2]</sup>。土地重金属物质中有汞(Hg)、铅(Pb)、镉(Cd)、铬(Cr)和砷(As)等危害性明显的元素, 也包括有一些常见的锌铜(Cu)、锌(Zn)、镍(Ni)等微量元素, 这些主要来自农药、废水、污泥和大气沉降等。由于在

收稿日期: 2022-05-17

基金项目: 平凉市科技局重点研发计划项目(平科任[2021]25号)。

作者简介: 朱敏(1992—), 女, 甘肃平凉人, 农艺师, 主要从事土壤肥料研究、农业技术推广工作。Email: 781516346@qq.com。

土壤中重金属污染的移动性非常小，无法由任何细菌分解，也无法随雨水淋滤，当进入人体内后危害性很大，所以必须格外注意防止重金属对土壤的污染。过量的重金属物质可损害人类神经、免疫，并危害植物的正常生长发育<sup>[3]</sup>，因此，对土地重金属污染物的危险性评价十分关键。土壤是粮食的根基，有污染的土壤必定种植不出绿色安全的作物，重金属存在较弱的空间自相关性，导致土地环境污染的治理较为艰难<sup>[4]</sup>。正确掌握一定地域范围内土壤中的重金属分布状况，合理评价土壤重金属对人类健康和自然环境的影响风险，并及时采取相应的污染缓解措施，对于维护当地农业质量安全和市民健康都有重要意义<sup>[5]</sup>。目前，统计学方法主要应用于土壤重金属的环境风险评估和空间变异调查研究中，内梅罗综合指数适用于土地重金属的环境危险性评价，Hakanson 的生态风险指标和生态风险因子被广泛用来确定土壤重金属的生态危险性<sup>[5-11]</sup>。了解土壤中重金属的污染状况，判断其环境污染与生态危险性，是防治与管理土壤环境污染的基础，能够帮助土壤污染修复、作物栽培进行重要决策。平凉市主要种植玉米、冬小麦、苹果、设施蔬菜、小杂粮等，近几年“红牛”“金果”产业正处于快速发展时期，土壤动态监测和风险评估尤其重要。笔者通过研究平凉市农业典型种植地区土壤重金属危害综合指标，以明确平凉市土壤潜在环境风险综合指标，力求为平凉市土地环境污染综合治理和农产品安全种植工作提供理论依据和数据支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

平凉市地处甘肃省以东，泾河上游，是陕甘宁相交的几何中部“金三角洲”，东临陕西咸阳，西连甘肃定西、白银，南接陕西宝鸡和甘肃天水，北与宁夏固原、甘肃庆阳接壤，海拔 890 ~ 2 857 m，年平均降水量 511.2 mm。平凉市是西北地区重要的畜牧业基地和农林产品生产基地，地处泾渭河冷温带亚湿润地区，在中国农业气候区划分中属于陇东地区温和零点五湿润农业气候区。总体的气候特征为南湿、北干、东暖、西冷。受地势和海拔的共同影响，气候垂直差别很明显。

### 1.2 数据收集与分析

以平凉市 2017 — 2020 年农田土壤重金属污染情况为主要研究目标。土壤取样点布设按县(区、市)进行分区分层，采集了 506 个国家级、省级、县级监测点土壤样本进行检测。取样程序按照《土壤环境监测技术规范》(HJ/T166—2004)的规定，现场收集地表 0~20 cm 土层土壤样品，各样品由 5 个子试样混匀构成。对土壤样品经过风干、预处理，并去掉野草、树根等杂物，交由专业机构检测。506 个目标区域(点位)见图 1。采用 Excle 2007 软件进行资料统计分析。

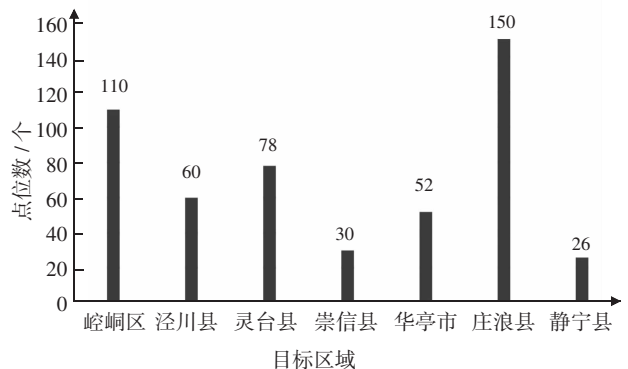


图 1 各县(区、市)采样点数

### 1.3 研究方法

1.3.1 内梅罗指数法 评价单个元素的危害程度叫作单因子指数，计算公式为  $P_i=C_i/S_i$ ，式中： $P_i$  为重金属元素  $i$  的污染指数； $C_i$  为重金属元素  $i$  的实测含量； $S_i$  重金属元素  $i$  的评价标准，本文参照《土壤环境质量标准》(GB15618—2008) 中的二级标准(表 1)。

单因子指数只能反映单个重金属元素的污染程度，而土壤的重金属污染物程度是由各种不同重金属元素综合评判的，内梅罗指数法是目前进行重金属综合污染指数计算最常见的方法之一<sup>[12]</sup>，计算公式如下：

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

式中， $P_{综}$  为采样点土壤重金属综合污染指数； $P_{imax}$  为采样点重金属单项污染指数中的最大值； $P_{iave}$  为采样点重金属单项污染指数的平均值。内梅罗指数等级划分标准见表 2。

1.3.2 潜在生态危害指数法 潜在生态危害指数法被国内外广泛应用于评价重金属的潜在危害<sup>[13]</sup>，

表 1 土壤无机污染物的环境质量标准

污染物	农业用地(按pH分组)				居住用地	商业用地	工业用地
	≤5.5	>5.5-6.5	>6.5-7.5	>7.5			
总镉					10	20	20
水田	0.25	0.30	0.50	1.00			
旱地	0.25	0.30	0.45	0.80			
菜地	0.25	0.30	0.40	0.60			
总汞					4	20	20
水田	0.20	0.30	0.50	1.00			
旱地	0.25	0.35	0.70	1.50			
菜地	0.20	0.30	0.40	0.80			
总砷					50	70	70
水田	35	30	25	20			
旱地	45	40	30	25			
菜地	35	30	25	20			
总铅					300	600	600
水田							
旱地	80	80	80	80			
菜地	50	50	50	50			
总铬					400	800	1 000
水田	220	250	300	350			
旱地							
菜地	120	150	200	250			
六价铬					5	30	30
总铜					300	500	500
水田							
旱地							
菜地	50	50	100	100			
果园	150	150	200	200			
总镍					150	200	200
水田							
旱地	60	80	90	100			
菜地	60	70	80	90			
总锌	150	200	250	300	500	700	700
总硒	3.0	40	100	100			
总钴	40	50	300	300			
总钒	130	200	250	250			
总铋	10	30	40	40			
稀土总量	一级标准值+5.0	一级标准值+10	一级标准值+15	一级标准值+20			
氟化物(以氟计)		暂定水溶性氟5.0			1 000	2 000	2 000
氰化物(以CN <sup>-</sup> )		1.0			20	50	50

表 2 内梅罗指数等级划分标准

质量等级	综合污染指数 $P_{综}$	污染等级
I	$P_{综} \leq 0.7$	清洁(安全)
II	$0.7 < P_{综} \leq 1.0$	尚清洁(警戒线)
III	$1.0 < P_{综} \leq 2.0$	轻度污染
IV	$2.0 < P_{综} \leq 3.0$	中度污染
V	$P_{综} > 3.0$	重污染

结合了生态学、环境化学和生态毒理学来反应重金属污染物对生态的综合影响, 计算公式如下:

$$RI = \sum_{i=1}^n T_r^i C_r^i = \sum_{i=1}^n T_r^i C_s^i / C_n^i$$

式中,  $C_r^i$  为重金属元素  $i$  的富集系数;  $C_s^i$  为重金属元素  $i$  的实测含量;  $C_n^i$  为评价参比值;  $T_r^i$  为重金

属元素  $i$  的毒性响应系数 ( $Zn=1, Cr=2, Cu=5, Pd=5, Ni=5, As=10, Cd=30, Hg=40$ );  $RI$  为多元素潜在环境风险综合指数。潜在生态风险指数等级划分标准见表 3。

表 3 潜在生态风险指数等级划分标准

生态风险等级	$RI$	综合生态风险等级
轻微	$< 150$	轻微
中等	$150 \sim 300$	中等
强	$300 \sim 600$	强
很强	$\geq 600$	很强

## 2 结果与分析

2.1 内梅罗指数法和潜在生态危害指数法评价结果  
通过测量 506 个点位土壤重金属污染状况,

并利用内梅罗指数法和潜在生态危害指数法进行统计分析的平凉市各县(市、区)土壤重金属污染情况见图2、图3。在使用内梅罗指数法分析的506个点中,有3个点的土壤重金属污染级别为尚清洁,土壤重金属污染的概率仅为0.59%(表4)。在使用潜在生态危害指数法进行统计分析的506个点中,土壤重金属污染级别达到轻度生态危害、中度生态危害的占比分别为95.85%、4.15%(表5)。在2种评估方法评估的结论中,均表明平凉市土壤重金属污染程度的趋势为尚可。值得注意的是,采用土壤重金属生态危险综合指数评价结果中为等生态危害的占比达到4.15%,从这方面看,未来土壤重金属污染程度可能会加剧,在防

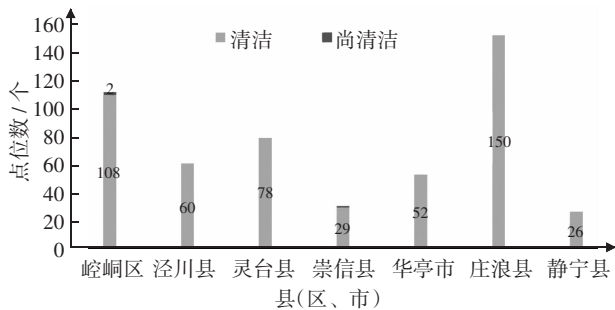


图2 平凉市土壤污染内梅罗综合污染指数

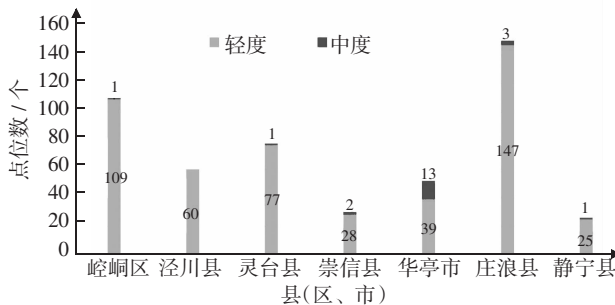


图3 平凉市土壤污染潜在生态危害指数

表4 内梅罗指数不同等级点位数占比

等级	点位数 / 个	占比 / %
清洁	503	99.41
尚清洁	3	0.59
轻度污染	0	0
中度污染	0	0
重污染	0	0

表5 全市土壤潜在生态危险综合指数不同等级点位数占比

等级	点位数 / 个	占比 / %
轻度生态危害	485	95.85
中度生态危害	21	4.15
强生态危害	0	0
很强生态危害	0	0

治方面仍需要重视。综合来看,7县(区、市)的土壤重金属污染程度依次为中部(崆峒区、华亭市、崇信县)>西部(庄浪县、静宁县)>东部(泾川县、灵台县),其中华亭市污染较重,潜在生态危害综合指数也较高。

2.2 主要污染元素和超标率

对检测结果中7种土壤重金属污染元素的超标情况进行了统计分析(表6)可知,7种土壤重金属点位超标率均小于《全国土壤污染状况调查公报》中对应的土壤重金属点位超标率(Cu=2.1%, Cd=7%, Zn=0.9%, Cr=1.1%, Pb=1.5%, As=2.7%, Hg=1.6%)<sup>[14]</sup>。从计算结果明显看出,只有Pb、As这2种重金属元素有点位超标情况,超标率分别为0.45%、0.90%,其他元素均未超标。说明平凉市土壤重金属污染情况较好,但后期仍需进行有针对性防治。

表6 各土壤点位重金属元素超标占比

重金属元素	点位数 / 个	点位超标数 / 个	点位超标率 / %
Cu	506	0	0
Zn	506	0	0
Cr	446	0	0
Pb	446	2	0.45
As	446	4	0.90
Hg	446	0	0
Cd	506	0	0

2.3 主要土类土壤重金属污染状况

调查的506个点位中,共涉及13个土类,通过不同土类土壤重金属污染等级占比计算,可以看出平凉市土壤重金属污染的分布情况。通过内梅罗指数中各个等级的点位统计(图4)可知,重金属污染程度较高的前4种土壤依次为山地草甸土>灰褐土>新积土>红黏土,可见平凉市典型作物种植区占比较多的黄绵土和黑垆土潜在生态危害程度较低,土壤污染程度较高的土类都为种植区稀少的土类。说明土类也是影响土壤潜在生态危害

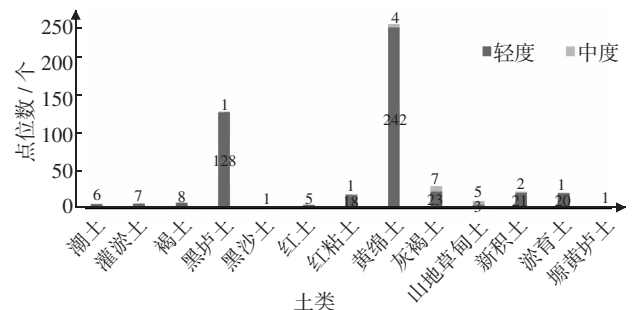


图4 主要土类潜在生态危害综合指数不同等级点位数



综合指数的重要因素, 应该针对不同土壤类型采取不同防治措施。

### 3 讨论与结论

研究表明, 平凉市土壤重金属污染一方面与土壤类型也就是成土母质有关, 这与苏辉跃等<sup>[15]</sup>的研究一致。另一方面, 华亭市是煤、电、化、运等一体综合工业重镇, 土壤重金属污染的主要源头很可能是工矿企业排出的含有特定重金属的粉尘, 再通过大气沉降物和雨水而导致的土壤重金属污染, 因此当地的土壤污染程度略高于其余 6 县(区)。

经对平凉市典型经济作物种植区 506 个点位的土壤重金属污染情况分析, 污染级别为洁净、尚洁净的比例分别为 99.41%、0.59%。潜在生态危险级别为轻度生态危险、中度生态危险的比例分别为 95.85%、4.15%。表明平凉市土壤重金属污染的程度目前相对较轻, 适宜种植优质粮食及绿色蔬菜作物, 但土壤潜在生态危害综合指数不容小觑, 应提前提出防治预案, 把握土壤污染防治需求与机遇, 推行绿色修复管理规定和技术规范, 合理布局粮食作物, 加强监控, 维持其正常粮食生产功能。506 个点位中, 土壤重金属元素点位超标率 Pd 为 0.45%、As 为 0.90%。Pd 和 As 是平凉市土壤的最主要污染物, 与全国土壤污染情况相似<sup>[16]</sup>。从地理区域来看, 土壤重金属潜在生态危害程度在平凉市的分布为中部>西部>东部。表明土壤重金属污染的严重程度不但与地域因素相关, 而且还在较大程度上与地理条件以及经济社会的发展形式相关。

### 参考文献:

- [1] 陈卫平, 杨 阳, 谢 天, 等. 中国农田土壤重金属污染防治挑战与对策[J]. 土壤学报, 2018, 55(2): 261-272.
- [2] ZHANG F S, LI Y X, YANG M, et al. Content of heavy metals in animal feeds and manures from farms of different scales in northeast China[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2012, 9(8): 2658-2668.
- [3] ZHAO K L, LIU X M, ZHANG W W, et al. Spatial dependence and bioavailability of metal fractions in paddy fields on metal concentrations in rice grain at a regional scale [J]. Journal of Soils and Sediments, 2011, 11(7): 1165-1177.
- [4] 张喜平, 吕莉莉, 王小军, 等. 天水市武山县蔬菜大棚土壤重金属含量分析与评价[J]. 甘肃农业科技, 2022, 53(2): 63-67.
- [5] HOU D Y, O'CONNOR D, NATHANAIL P, et al. Integrated GIS and multivariate statistical analysis for regional scale assessment of heavy metal soil contamination: A critical review[J]. Environmental Pollution, 2017, 231: 1188-1200.
- [6] YAYLALI-ABANUZ G. Heavy metal contamination of surface soil around Gebze industrial area, Turkey[J]. Microchemical Journal, 2011, 99(1): 82-92.
- [7] DONG R Z, JIA Z M, LI S Y. Risk assessment and sources identification of soil heavy metals in a typical county of Chongqing Municipality, southwest China [J]. Process Safety and Environmental Protection, 2018, 113: 275-281.
- [8] JIA Z M, LI S Y, WANG L. Assessment of soil heavy metals for ecoenvironment and human health in a rapidly urbanization area of the upper Yangtze Basin[J]. Scientific Reports, 2018, 8(1): 3256.
- [9] NI M F, MAO R, JIA Z M, et al. Heavy metals in soils of Hechuan County in the upper Yangtze (SW China): Comparative pollution assessment using multiple indices with high-spatial-resolution sampling [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2018, 148: 644-651.
- [10] WU J, LU J, LI L M, et al. Pollution, ecological-health risks, and sources of heavy metals in soil of the north-eastern Qinghai-Tibet Plateau[J]. Chemosphere, 2018, 201: 234-242.
- [11] 李瑞琴, 白 滨, 于安芬, 等. 兰州百合产地土壤环境质量与肥力状况评[J]. 甘肃农业科技, 2019(11): 7-11.
- [12] 郭笑笑, 刘丛强, 朱兆洲, 等. 土壤重金属污染评价方法[J]. 生态学杂志, 2011, 30(5): 889-896.
- [13] 徐争启, 倪师军, 虞先国, 等. 潜在生态危害指数法评价中重金属毒性系数计算[J]. 环境科学与技术, 2008(2): 112-115.
- [14] 陈雅丽, 翁莉萍, 马 杰, 等. 近十年中国土壤重金属污染源解析研究进展[J]. 农业环境科学学报, 2019, 38(10): 2219-2238.
- [15] 苏辉跃, 王 璐, 钱 欢, 等. 武清区典型蔬菜种植区土壤重金属的风险评估和空间分布特征[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(6): 1122-1131.
- [16] 纪文贵, 王 珂, 蒙建设, 等. 中国土壤重金属污染状况及其风险评价[J]. 农业研究与应用, 2020, 33 (5): 22-28.