

# 农用地不同农作物对土壤重金属的吸附能力分析

张香群, 程先锋\*, 王文甫, 王晶, 丁凤凤

云南省教育厅健康地质调查评价工程研究中心, 云南 昆明

收稿日期: 2025年6月9日; 录用日期: 2025年7月16日; 发布日期: 2025年7月23日

## 摘要

研究区土壤重金属污染严重, 农业种植是当地居民主要的生活保障及经济来源, 因此, 农用地不同农作物对土壤重金属的吸附能力研究有重要意义。研究区土壤存在Cd、As、Cu污染。研究区农产品中水稻主要超标元素为: Cd、As、Pb、Cr, 可能是由于土壤中Cd、As元素含量高于风险筛选值, 土壤中Pb虽然未超过风险值, 但超过当地土壤背景值, Cr既未超过风险筛选值, 且与当地土壤背景值接近, 水稻中的Cr的超标可能与作物本身对Cr的吸收和富集有关; 玉米超标元素为Cd, 大蒜和胡萝卜样品不存在重金属含量超标现象。

## 关键词

重金属, 土壤, 农作物, 风险筛选值

# Study on the Adsorption Capacity of Different Crops for Heavy Metals in Agricultural Soil

Xiangqun Zhang, Xianfeng Cheng\*, Wenfu Wang, Jing Wang, Fengfeng Ding

Yunnan Land and Resources Vocational College/Health Geological Survey and Evaluation Engineering Research Center of Yunnan Provincial Department of Education, Kunming Yunnan

Received: Jun. 9<sup>th</sup>, 2025; accepted: Jul. 16<sup>th</sup>, 2025; published: Jul. 23<sup>rd</sup>, 2025

\*通讯作者。

文章引用: 张香群, 程先锋, 王文甫, 王晶, 丁凤凤. 农用地不同农作物对土壤重金属的吸附能力分析[J]. 自然科学, 2025, 13(4): 837-843. DOI: 10.12677/ojns.2025.134088

## Abstract

The soil in the project area is seriously polluted by heavy metals, and agricultural planting is the main life guarantee and economic source for local residents. It is of great significance to study the adsorption capacity of different crops on agricultural land for soil heavy metals. The project area is polluted by Cd, As and Cu. The main elements of rice in the project area are: Cd, As, Pb Cr, which may be due to the content of Cd and As elements in the soil is higher than the risk screening value, although Pb in the soil does not exceed the risk, it exceeds the local soil background value, and Cr does not exceed the risk screening value and is close to the local soil background value. The exceedance of Cr in rice may related to the absorption and accumulation of Cr by the crops themselves. The exceeding elements of corn are Cd, and there is no phenomenon of heavy metal content exceeding the standard in garlic carrot samples.

## Keywords

Heavy Metals, Soil, Crops, Risk Screening Value

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

工业区密集的地方，废气经大气扩散和地表径流等迁移，对矿区周边的农用地土壤造成污染[1]。在受重金属污染的农用地上开展农作物的种植生产，会影响农产品质量安全，最终影响到人类的身体健康安全。因此，农用地不同农作物对土壤重金属的吸附能力分析对农产品质量安全、生命健康安全保障具有重要的意义[2]-[8]。

本研究区位于昆明市东川区小龙潭村，小龙潭村位于碧谷街道，距离龙潭村委会 1 公里，距离铜都镇 7 公里，小龙潭周边工业区众多，建有多家选矿、冶炼及化工企业。由于小龙潭地势低，周边企业产生的废气进入小龙潭后不易排出，因此污染物在此区域累积，研究区土壤重金属污染严重，农业种植是当地居民主要的生活保障及经济来源，土壤重金属污染会影响农作物的产品质量安全，并极大地影响了当地的生态环境。为及时控制污染、改善当地居民粮食安全状况，就要研究当地农作物和土壤重金属含量。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 样品的采集

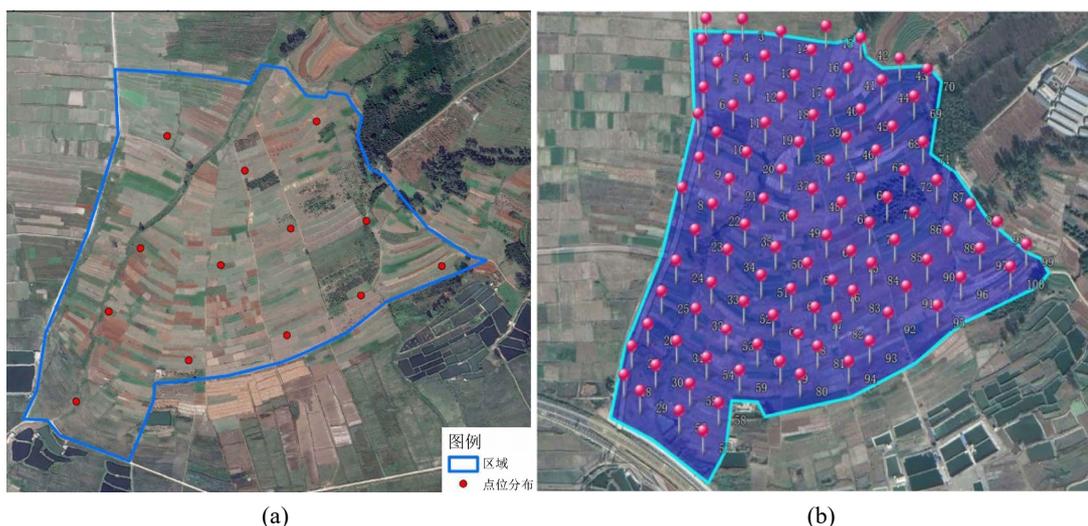
#### (1) 土壤样品采集

研究区域总面积为 500 亩，地形规整，本项目根据采用网格布点法，要求网格大小为 180 m × 180 m，共布设表层土壤采样点位 113 个。其中第一阶段调查取样表层土壤采样点位 13 个，第二阶段加密补测表层土壤采样点位 100 个。

表层土壤采集深度为 0~20 cm，采用“X”法均匀随机采取 5 个以上采样点，经充分混合后，四分法采集约 1 kg 土样，装入密封袋。

第一阶段调查采样剖面土壤样品分 2 层采集：A 层(0~20 cm)、B 层(20~40 cm)，取多点混合后装入

密封袋；第二阶段加密补测剖面土壤样品分3层采集：A层(0~20 cm)、B层(20~40 cm)、C层(40~60 cm)，取多点混合后装入密封袋。现场采样布点(图1)所示。



**Figure 1.** Sampling point location map of soil. (a) Phase I soil sampling point location map; (b) Phase II encryption retest point location map (Compiled according to Soil Pollution Survey of Xiaolongtan Village by Zhang Xiangqun, 2020)

**图 1.** 土壤采样点位图。(a) 第一阶段土壤采样点位图；(b) 第二阶段加密补测点位图(据张香群 2020 小龙潭村土壤污染调查编制)

## (2) 农作物样品采集

在研究区共采集了 33 个农作物样品，其中第一阶段共采集 8 个样品，分别为 6 个水稻样品、1 个大蒜样品、1 个胡萝卜样品；第二阶段共采集 25 个样品，分别为 6 个水稻样品、6 个大蒜样品、6 个胡萝卜样品，7 个玉米样品。

## 2.2. 样品的检测

土壤样品监测项目有 pH 值、镉、铅、锌、汞、砷、铬、铜和镍等 8 项重金属总量，其中 pH 值采用玻璃电极法检测[9]；其他重金属的检测方法用《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准》(GB 15618-2018)中土壤污染物的分析方法[10]。

农作物样品检测项目有镉、铅、镍、汞、砷、铬等 6 种重金属总量。其中检测方法参照食品安全国家标准(GB 5009-2014)进行测定[11]。

## 2.3. 数据处理

土壤中 Cd、Hg、As、Pb、Cr、Cu、Zn、Ni 含量评价参考《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准》(GB 15618-2018)；农作物中 Cd、As、Hg、Ni、Pb、Cr 含量评价参照《食品安全国家标准食品中污染物限量》(GB 2762-2022) [12]标准。

## 3. 结果与评价

### 3.1. 土壤 pH 值结果与评价

经过检测所采集的 113 个研究区耕地土壤表层样品，其土壤 pH 值范围在 7.59~8.59 之间，中值为 8.14 (表 1)。

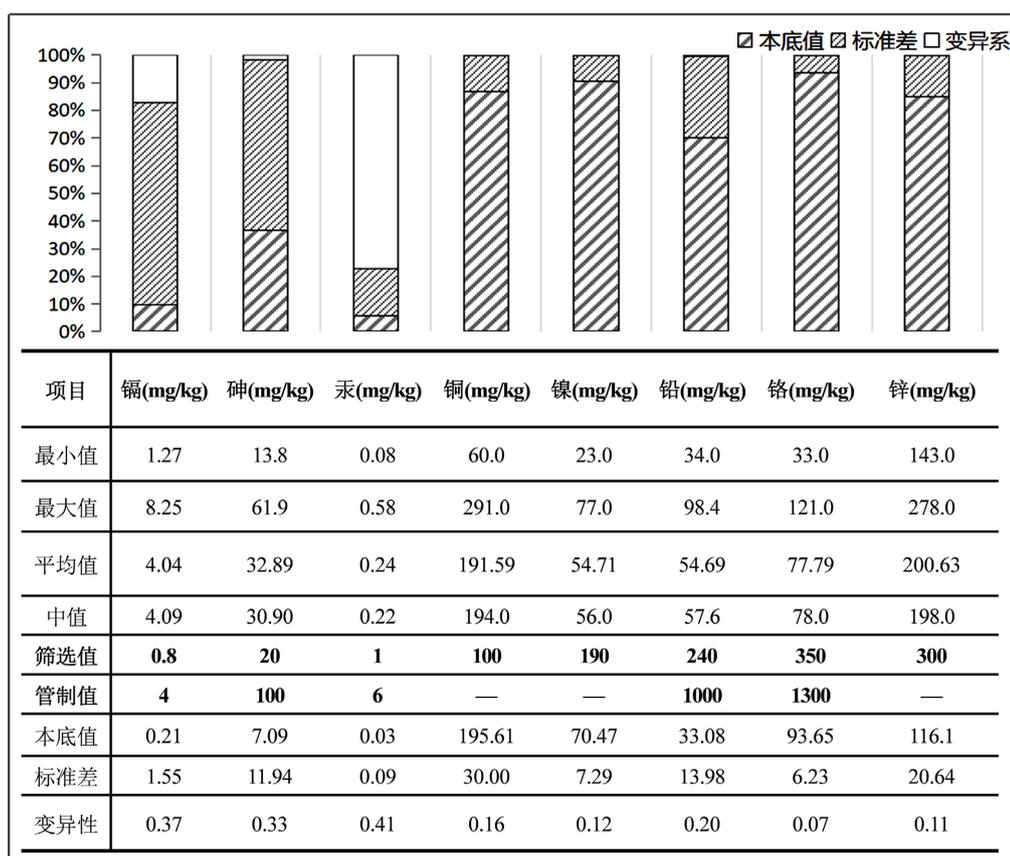
**Table 1.** Statistical table of pH values in cultivated land soil samples from the project area (Compiled according to Soil Pollution Survey of Xiaolongtan Village by Zhang Xiangqun, 2020)**表 1.** 研究区耕地土壤样品 pH 统计表(据张香群 2020 小龙潭村土壤污染调查编制)

项目	最小值	最大值	平均值	中值	标准差
pH	7.59	8.59	8.17	8.14	0.09

由表 1 可知, 在采集的研究区耕地土壤中, pH 值均大于 7.5, 表明小龙潭耕地土壤主要为碱性土壤。

### 3.2. 研究区土壤重金属元素调查结果与评价

经过检测所采集的 113 个研究区耕地土壤表层样品, 本研究区域土壤重金属元素含量的调查统计分析结果如图 2 所示。

**Figure 2.** Statistical analysis of heavy metal content survey results in project area of soils (Compiled according to Soil Pollution Survey of Xiaolongtan Village by Zhang Xiangqun, 2020)**图 2.** 研究区地土壤重金属含量调查结果统计分析(据张香群 2020 小龙潭村土壤污染调查编制)

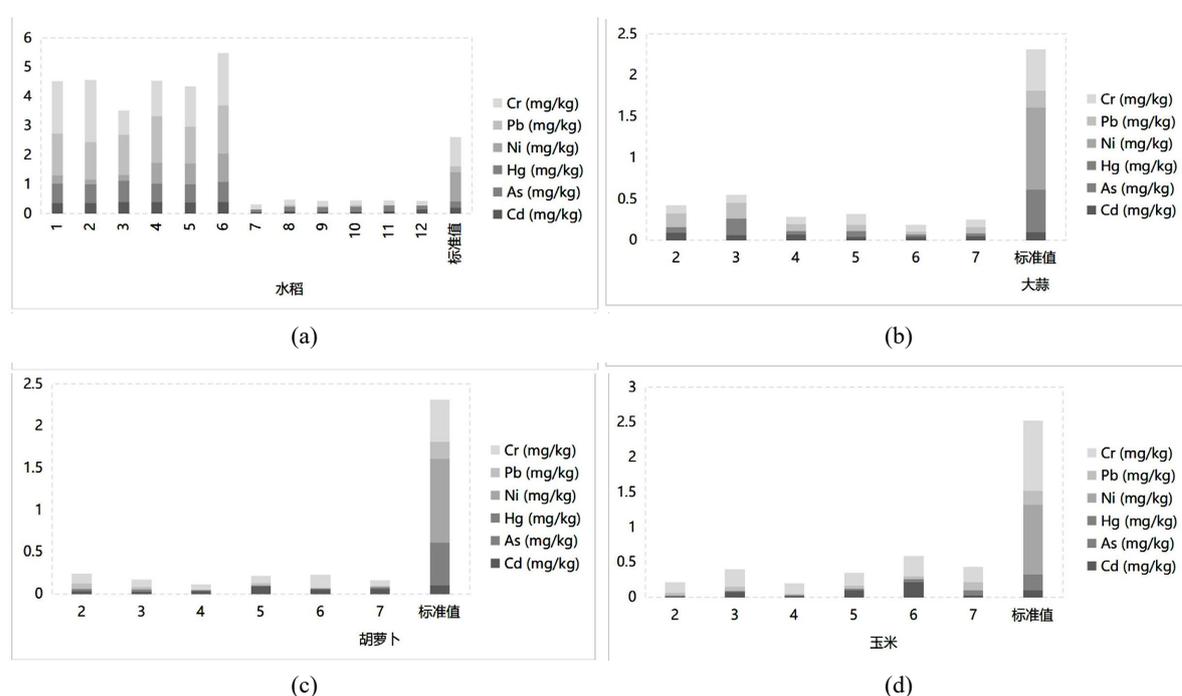
根据研究区耕地土壤重金属含量调查结果可知, 113 个土壤样品其中有 56 个土壤样品的 Cd 含量高于《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准》(GB15618-2018)中农用地土壤污染风险管制值; 有 57 个土壤样品的 Cd 含量、104 个土壤样品的 As 含量、有 107 个土壤样品的 Cu 含量高于农用地土壤污染风险筛选值且低于风险管制值。与本底值相比, 所有样品的 Cd 含量均超过本底值, 说明研究区域存在严重的 Cd 污染现象, 食用农产品不符合质量安全标准, 农用地土壤污染风险高且难以通过安全利用措施降低食用农产品含量, 不符合质量安全标准, 原则上应当采取禁止种植食用农产品、退耕还林等严格管控

措施。有 55 个样品的 Cu 含量超过本底值, 平均含量并未超过本底值, 最大值仅为本底值 1.5 倍, 说明耕地土壤中的高 Cu 含量受本底影响, 研究区域土壤中 Cu 本底含量高, 因此耕地土壤 Cu 也表现出较高的浓度。所有样品的 As 含量均超过本底值, 说明研究区域耕地已受 As 轻微污染, 应加强土壤环境监测和农产品协同监测。

Hg、Ni、Pb、Cr、Zn 含量均低于《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准》(GB15618-2018)中农用地土壤污染风险筛选值(基本项目), 污染程度较低。与本底值相比, 土壤中 Pb 虽然未超过风险值, 但超过当地土壤背景值, 113 个样品 Hg、Cr、Zn 含量均小于本底值, 说明研究区土壤不存在 Hg、Cr、Zn 污染现象。

### 3.3. 农产品重金属含量分析与评价

在研究区共采集了 33 个农作物样品, 分别为 12 个水稻样品、7 个大蒜样品、7 个胡萝卜样品、7 个玉米样品。分析各个样品中 Cd、As、Hg、Ni、Pb、Cr 的含量, 分析统计结果(图 3)。



**Figure 3.** Distribution map of heavy metal content in some agricultural products in the study area. (a) Rice; (b) Garlic; (c) Carrot; (d) Corn (Compiled according to Soil Pollution Survey of Xiaolongtan Village by Zhang Xiangqun, 2020)

**图 3.** 研究区部分农产品重金属含量分布图。(a) 水稻; (b) 大蒜; (c) 胡萝卜; (d) 玉米(据张香群 2020 小龙潭村土壤污染调查编制)

参照《食品安全国家标准食品中污染物限量》(GB 2762-2022), 分析各个样品中的 Cd、As、Hg、Ni、Pb、Cr 含量, 从图 3 可知, 水稻样品存在 Cd、As、Pb、Cr 超标现象, 其中 Cd 含量介于 0.043~0.41 mg/kg, 中值为 0.151 mg/kg, 平均含量为 0.24 mg/kg, 超标样品数 6 个, 占比 50%, 最大超标倍数为 2.05; As 含量介于 0.103~0.73 mg/kg, 中值为 0.62 mg/kg, 平均含量为 0.41 mg/kg, 超标样品数 6 个, 占比 50%, 最大超标倍数为 3.65; Pb 含量介于 0.02~1.64 mg/kg, 中值为 1.26 mg/kg, 平均含量为 0.73 mg/kg, 超标样品数 6 个, 占比 50%, 最大超标倍数为 8.2; Cr 含量介于 0.16~2.13 mg/kg, 中值为 0.81 mg/kg, 平均含量为 0.84 mg/kg, 超标样品数 5 个, 占比 41.67%, 最大超标倍数为 2.13。玉米样品存在 Cd 超标, Cd 含量介于 0.008~0.218 mg/kg, 中值为 0.03 mg/kg, 平均含量为 0.067 mg/kg, 超标样品数 1 个, 占比 14.28%,

最大超标倍数为 2.18；另外大蒜和胡萝卜样品不存在重金属含量超标现象。

## 4. 结果与评价

### 4.1. 研究区土壤重金属元素调查结果分析

研究区农用地土壤同时存在 Cd、As、Cu 等元素超过《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准》(GB15618-2018)中农用地土壤污染风险筛选值,其中重金属 Cd 元素含量大部分高于农用地土壤污染风险管制值,所有样品的 As 含量均超过本底值,Cu 含量超过本底值,平均含量并未超过本底值,研究区域土壤中 Cu 本底含量高,因此耕地土壤 Cu 也表现出较高的浓度。因此,Cd 为重度污染,As、Cu 以轻微污染为主,小龙潭村周边主要为铜冶炼污染,该冶炼厂生产的废水并未进入农田灌溉水渠,因此研究区的重金属污染主要与冶炼厂产生的烟气、粉尘的干湿沉降有关,而 Cu 元素的超标则与当地土壤背景值高有关。

### 4.2. 农产品重金属含量结果分析

在采集的农产品中存在重金属超标现象,尤其是水稻样品,Cd、As、Pb、Cr 存在超标现象,最大超标倍数分别 2.05、3.65、8.2、2.13,整个水稻的重金属超标率为 50%;玉米超标元素为 Cd,最大超标倍数为 2.18,玉米超标率为 14.28%;其余胡萝卜和大蒜样品均不存在重金属含量超标现象。由此可知水稻对重金属富集作用较强,大蒜和胡萝卜对重金属的吸附能力较弱。结合土壤分析数据来看,水稻超标元素中,由于土壤中 Cd、As 元素含量高于风险筛选值,土壤中 Pb 虽然未超风险值,但超过当地土壤背景值,以上 3 种元素的土壤污染可能是造成水稻中 Cd、As、Pb 超标的直接原因。另外,Cr 既未超过风险筛选值,且与当地土壤背景值接近,水稻中的 Cr 的超标可能与作物本身对 Cr 的吸收和富集有关,已有研究表明,水稻从土壤中吸附重金属 Cr 的能力极强[13],土壤 pH 值对水稻吸收富集土壤 Cd、As、Pb 有较大的影响,而水稻 Cd、As 富集系数与土壤 pH 值呈极显著负相关,水稻中 Pb 的富集系数与土壤 pH 值呈显著负相关,说明水稻吸收富集土壤 Cd、As、Pb 的能力会随着土壤 pH 值下降而增大。研究区耕地土壤中,pH 值均大于 7.5,表明小龙潭耕地土壤主要为碱性土壤,水稻对重金属 Cd、As、Pb 的吸收有一定的抑制作用。

## 基金项目

云南省教育厅健康地质调查评价工程研究中心项目基金(2012JJ04);云南省教育厅项目基金(2024J1439)。

## 参考文献

- [1] 郑飞,郭欣,汤名扬,等.白洋淀及周边土壤重金属的分布特征及生态风险评估[J].环境科学,2022,43(10):4556-4565.
- [2] 陈朗,宋玉芳,张薇,等.土壤镉污染毒性效应的多指标综合评价[J].环境科学,2008,29(9):2606-2612.
- [3] 李剑睿,徐应明,林大松,等.农田重金属污染原位钝化修复研究进展[J].生态环境学报,2014,23(4):721-728.
- [4] 王珂,卢维盛.韶关市铁龙林场农田土壤污染调查及修复治理研究[D]:[硕士学位论文].广州:华南农业大学,2018.
- [5] 周曼,熊邦,迟茜,等.铜尾矿堆场土壤环境污染分析与生态风险评价[J].能源与环保,2021,43(3):25-29,33.
- [6] 张晓昀,王黎明.矿区农用地重金属污染特征及成因分析[J].绿色科技,2023,25(12):170-178.
- [7] 匡政成,郭利双,匡逢春,等.湖南省棉田镉含量分析及污染评价[J].中国棉花,2021,48(6):29-31.
- [8] 张瀛,王小平.甘肃陇南某地农田土壤污染状况评价研究[J].甘肃科技,2022,38(14):33-36.

- 
- [9] 中华人民共和国生态环境部. HJ962-2018 土壤 pH 值的测定[S]. 北京: 中国环境出版社, 2018.
- [10] 中华人民共和国生态环境部. 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: 中国环境出版社, 2018.
- [11] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB50095-2014 食品安全国家标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [12] 中华人民共和国国家卫生计生委. GB2762-2022 食品安全国家标准食品中污染物限量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [13] 黄娇, 郑智溢. 农作物土壤中镉含量分析及作物镉富集系数评价研究[J]. 农业与技术, 2015, 35(3): 20-22.