

# 宿州东部煤矿塌陷区土壤重金属污染特征的研究进展

吴心慈, 王浩, 张洋, 潘用昕

宿州学院资源与土木工程学院, 安徽 宿州

收稿日期: 2022年4月27日; 录用日期: 2022年5月24日; 发布日期: 2022年5月31日

## 摘要

随着新时代“创新、协调、绿色、开发、共享”新发展理念的提出, 煤矿区生态发展问题也不断被重视起来。近年来, 越来越多的学者致力于重金属的研究, 本文结合宿州东部地区煤矿土壤重金属相关研究成果, 将各种重金属的含量、类型的分布特征以及生态环境污染进行分析、总结、概述等。结果表明随着距煤矿中心距离的增加重金属含量有减少的趋势, 重金属含量随时间的变迁有增加的趋势, 煤矿塌陷区土壤重金属生态环境污染均为轻度污染。针对宿州东部塌陷区土壤重金属的研究现状, 本文提出今后相关研究的着眼方向, 为宿州东部煤矿塌陷区土壤重金属污染防控及生态环境保护提供参考。

## 关键词

塌陷区, 土壤, 重金属, 环境污染

# Research Progress on Soil Heavy Metal Pollution Characteristics of Coal Mine Subsidence Area in Eastern Suzhou

Xinci Wu, Hao Wang, Yang Zhang, Yongxin Pan

College of Resources and Civil Engineering, Suzhou University, Suzhou Anhui

Received: Apr. 27<sup>th</sup>, 2022; accepted: May 24<sup>th</sup>, 2022; published: May 31<sup>st</sup>, 2022

## Abstract

With the proposal of the new concept of “innovation, coordination, green, development and sharing” in the new era, the problem of ecological development in coal mining areas has also been paid

more and more attention. In recent years, more and more scholars are committed to the research of heavy metals, combined with the relevant research results of heavy metals coal mine soil in the east of Suzhou, this paper analyzes and summarizes the content, distribution characteristics and ecological environment pollution of various heavy metals. The results show that the content of heavy metals decreases with the increase of the distance from the center of the coal mine, and the content of heavy metals increases with the change of time. The ecological environment pollution of heavy metals in the soil of the coal mine subsidence area is mild pollution. In view of the research status of soil heavy metals in the eastern collapse area of Suzhou, this paper puts forward the focus direction of relevant research in the future, and provides a reference for the control of soil heavy metal pollution and ecological environment protection of the coal mine subsidence area in the east of Suzhou.

## Keywords

Subsidence Area, Soil, Heavy Metal, Environmental Pollution

Copyright © 2022 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

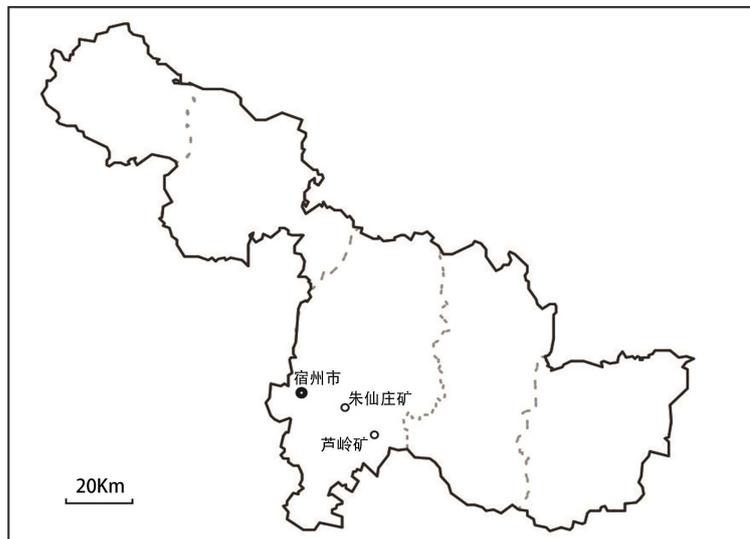
在发展中国家经济快速发展的同时,环境问题渐渐显现在人类的视野中,生态问题成为当今的热点话题,其中土壤重金属污染带来的生态问题也是需要解决的重大问题之一。1950年以后国外学者已经开始研究土壤重金属污染,在分析土壤重金属污染过程中重视环境背景值的作用,并且提出相对应的土壤环境质量标准;我国是在工矿业快速发展之后,意识到土壤环境遭到严重破坏,进而开始结合国外制定的标准得出大量用于污染评价的相关准则,为后续土壤重金属污染评价提供基础[1]。

进入21世纪以来随着我国国民经济的持续发展,重工业和轻工业的高速发展导致了我国对煤炭需求的大幅度增加[2][3],煤炭的开采与使用对生态环境造成了巨大的危害。宿州作为我国重要的煤炭生产基地之一,宿州东部矿区煤炭的开采,以及开采之后所残留的污染物,对当地生态环境带来了不可忽视的危害。宿州东部煤矿塌陷区是煤矿采集之后留下的下陷地域,由于采矿区分布范围广,开发时间长,所以在矿区产生的废气、废水、废渣等污染物污染了周边环境,塌陷对地表土壤养分会造成一定程度的流失,使农业生态环境恶化[4][5]。如矿区周围矿工和当地居民的活动较频繁,导致重金属的分布受到较大的外界因素干扰;其中主要包括工业排放、车辆运输、农药化肥的施用。

宿州市属于暖温带半湿润季风气候区,主要特点为气候温和,四季分明,光照充足,降雨充足。宿州东部地区煤矿的开采已有四五十年历史,近几年来,由于矿区规模和建设不断扩大,诸多学者对于该区域土壤重金属环境问题展开探索性研究工作。本文通过检索、收集、整理相关文献,总结宿州东部煤矿塌陷区(见图1)土壤重金属总体分布特征,并提出今后需关注重要科学问题,从而为生态环境保护提供参考。

## 2. 宿州东部煤矿塌陷区土壤重金属污染分布特征研究

通过研究分析2010年以来朱仙庄煤矿塌陷区、芦岭煤矿塌陷区中土壤重金属分布特征的相关研究,对宿州东部煤矿塌陷区重金属含量的时空分布特征进行了相关性总结。



**Figure 1.** Location of some coal mine collapse areas in the east of Suzhou  
**图 1.** 宿州东部部分煤矿塌陷区研究区位置

### 2.1. 塌陷区土壤中重金属含量的空间分布特征

通过分析发现：距煤矿区越远重金属含量越少。三种元素(Cu、Zn、Pb)在宿州东部煤矿塌陷区土壤中的含量在空间上存在一定差异性，总体上呈现从芦岭、朱仙庄逐渐降低的趋势[6] [7]。

通过分析发现[6] [8]，分析已测得的 Zn、Cr、Cd、Pb、Cu、As、Hg 七种重金属元素的含量(见表 1)，发现朱仙庄煤矿周边土壤七种重金属元素中 Cd、Pb、Cu、Hg 降低率比较高，Zn、Cr、As 这三种重金属元素降低率都少于 30%；芦岭煤矿周边土壤中七种重金属元素中同样也是 Cd、Pb、Cu、Hg 降低率比较高，其次就是 Zn、Cr、As 降低率均小于 30%。通过两地对比而知，在朱仙庄煤矿周边土壤重金属中 Hg、Cd 的降低幅度比较大，而芦岭煤矿周边土壤重金属中只有 Hg 的降低幅度比较大；比较朱仙庄和芦岭这两地区七种相同元素的降低幅度，只有 Cd 元素的降低程度相差较大，其余元素降低程度在两地趋于一致，变化微小。

由统计结果分析可知，在不同时期同一地区重金属含量分布特征为 Zn、Cr、Cd、Pb、As、Hg 七种重金属元素都是距煤矿区距离越远重金属含量越少。

**Table 1.** Content of heavy metals in soil of some coal mine subsidence areas in Eastern Suzhou

**表 1.** 宿州东部部分煤矿塌陷区土壤重金属含量

时间	地点	距离(m)	煤矿塌陷区土壤重金属含量/(mg/kg)					参考文献
			Zn	Cr	Cd	Pb	As	
2013	朱仙庄	100	75.46	375	0.56	16.82	18.61	[8]
		500	65.05	265	0.21	9.21	15.83	
	芦岭	100	84.66	498.93	0.49	18.9	19.13	
		500	69.87	386.86	0.27	10.82	15.58	
2016	朱仙庄	100	75.46	375	0.56	16.82	18.61	[6]
		500	65.05	265	0.21	9.21	15.82	
	芦岭	100	84.66	498.93	0.49	18.9	19.13	
		500	69.87	386.86	0.27	10.82	15.58	

经文献梳理及分析发现,宿州东部煤矿塌陷区土壤重金属元素的空间分布特征主要是由于宿州东部地区蕴含丰富的煤炭资源,采煤方面的活动频繁,最终导致重金属在土壤中进行积聚。由距煤矿塌陷区不同距离重金属含量数值分析,煤矿开采对土壤重金属含量影响比较大,当然还有煤炭在燃烧的过程中有些重金属可能会发生逸散,加上运输煤炭的车辆等交通工具排放尾气;不同煤矿的土壤重金属含量虽均呈现下降的趋势但下降幅度有差异,可能是煤矿开采运输量的不同,周边地理环境的不同,如风向、人们居住情况等因素;除此之外,结合当地自然环境情况,受当地居民的活动、农业生产活动、煤炭生产方面重金属残留物的堆积等所排放污染物的影响较大。

## 2.2. 土壤中重金属的时间分布特征

通过研究近年来的论文可知,宿州东部煤矿塌陷区土壤重金属污染物总量在一定时间内几乎呈增长状态(除芦岭矿中的 Cr、Zn、V、Mn,朱仙庄矿中的 Cd、As 元素外)。

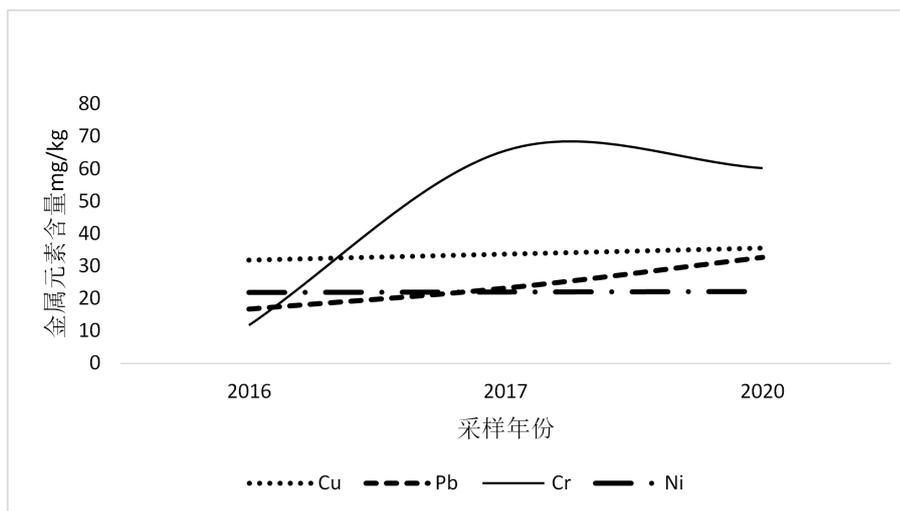
分析芦岭煤矿塌陷区土壤重金属元素在 2010 年~2020 年近十年来的动态变化(见表 2),结果显示,在一定时间内土壤重金属污染物总量呈上升趋势[6] [9] [10] [11] [12] (变化结果见图 2);不过,对于 Cr、Zn、V、Mn 在这几年的变化中,总体呈现下降的趋势;虽然 As、Pb、Ni、Cu 这几种重金属元素最终上升;但 As 在近几年有略微下降的趋势,Pb、Ni 呈现先降低再增加的趋势,Cu 在变化过程中经历两次下降其中还有一次上升,最后呈现上升的趋势;进一步分析发现,Zn、Cr 在经历一些变化中,含量呈先下降后增加再下降的趋势;Co 在 2011 年至 2020 年期间的变化程度为(5.7~11.09 mg/kg),由于此元素数据量少,在变化程度分析中仅提供参考价值。

在朱仙庄煤矿土壤重金属含量研究中,通过文献[6] [7] [13]相关性数据,也得出了大部分重金属污染物呈现上升的趋势(变化结果见图 3)。然而也有特殊情况,对于 As 而言,虽然在发展过程中有过上升的趋势,但是最后还是逐渐下降的,Cd 是有略微下降的;Zn 虽然在总体上呈现上升的趋势,但在动态变化过程中 Zn 是呈现先下降再增加的趋势,Cr 在变化过程中先上升后有小幅下降,但相对前几年还是有增加的趋势;Cu、Pb、Ni 在 2017 至 2020 四年的变化程度分别为 Cu (31.88~35.59 mg/kg)、Pb (16.82~32.79 mg/kg)、Ni (21.86~22.22 mg/kg),总体上呈逐渐增加的变化趋势。

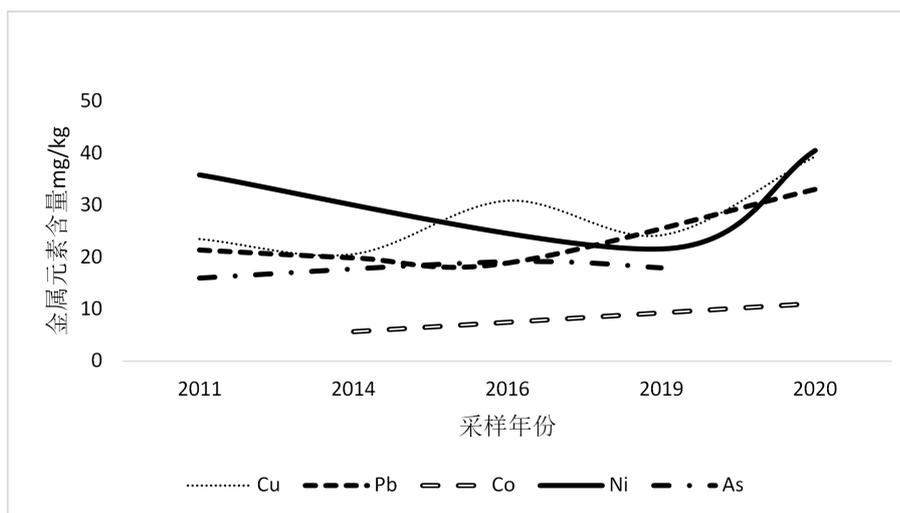
**Table 2.** Content of heavy metals in soil of some coal mine subsidence areas in Eastern Suzhou in different years

**表 2.** 宿州东部部分煤矿塌陷区土壤不同年份重金属含量

采样地点	煤炭塌陷区土壤重金属含量/(mg/kg)											参考文献
	时间	Cu	Zn	Pb	Cr	Ni	As	Cd	Co	Mn	V	
芦岭	2011	23.5	66	21.4	78.3	35.8	16	/	/	639.8	91.5	[12]
	2014	20.6	62	19.9	62.5	/	/	/	5.7	430	80.2	[11]
	2016	30.86	84.66	18.9	/	/	19.13	/	/	/	/	[6]
	2019	24.23	62.77	/	77.32	21.57	17.97	/	/	/	/	[9]
	2020	39.36	61.64	33.05	53.22	40.49	/	/	11.09	/	/	[10]
朱仙庄	2016	31.88	75.46	16.82	11.82	21.86	18.16	0.56	/	/	/	[6]
	2017	/	60	23.3	65.7	/	12.3	/	/	/	/	[7]
	2020	35.59	74.71	32.79	60.27	22.22	14.63	0.41	/	/	/	[13]



**Figure 2.** Variation of heavy metal content in soil of collapse area of Zhuxianzhuang coal mine  
**图 2.** 朱仙庄煤矿塌陷区土壤重金属含量随时间变化



**Figure 3.** Variation of heavy metal content in soil of collapse area of Luling coal mine  
**图 3.** 芦岭煤矿塌陷区土壤重金属含量随时间变化

宿州东部地区土壤重金属污染随时间变化逐渐增长的原因大致分为以下几个原因：1) 与重金属的积累的有关，随着时间的推移，重金属在某地点逐渐积聚导致重金属的含量升高；2) 与宿州东部地区的发展有关，发展经济排放的污染物通过地表径流等方式进行循环，导致重金属残留；3) 自然因素对于重金属残留也具有促进作用，结合宿州当地自然环境、地理气候、位置等进行分析，发现这些因素对宿州东部煤矿塌陷区土壤重金属污染有一定影响。

### 3. 宿州东部煤矿塌陷区土壤重金属污染研究

在各个文章对于重金属环境风险评价的研究中，主要分为两种：污染等级评价方法和生态环境污染评价，分别有地累积指数、单因子指数法、污染负荷指数、内梅罗指数法、潜在生态风险指数法等[6] [10]。评价的标准主要有土壤背景值、国家土壤环境质量标准，其次还有通过相关性分析、因子分析、聚类分析等分析其来源。本文对宿州东部芦岭、朱仙庄煤矿塌陷区土壤重金属的环境污染等级进行分析以及总

结。

通过分析芦岭矿塌陷区重金属污染情况,结合安徽省土壤背景值,在分析的 Cr、Co、Ni、Cu、Zn、Pb 这几种重金属元素中,Ni、Cu 这两种元素是高于安徽省土壤背景值,均属于轻微污染。经文献分析及梳理发现:结合相关性分析等方法,发现 Cu、Ni 可能来自周边煤矿采煤时的残留,Zn 和 Pb 元素可能是周边汽车和运煤车辆排放的煤气[10]。通过单因子指数法、内梅罗指数法分析朱仙庄煤矿区属于轻度污染水平[7],在研究的 As、Pb、Zn、Cr 等重金属中,发现 Cr 的变异系数较大,表明其受外界因素干扰大,可能与有机农药、化肥污染等有关;而 As、Pb、Zn 的污染可能与采煤活动,还有生活垃圾、废物的排放等有关。

基于对于重金属污染研究的分析,将生态风险重金属元素通过非致癌模型进行健康风险评价,结果表明儿童致癌风险高于成人致癌风险[4] [14]。由此可见,对于重金属元素进行健康风险评价的重要性。通过这些结果表明宿州东部煤矿塌陷区重金属污染整体处于轻度污染水平,污染源可能是车辆排放的尾气、有机农药与化肥的使用、生活垃圾的丢弃、工业建筑与废物的排放以及采煤活动的进行。

## 4. 结论与展望

### 4.1. 结论

- 1) 距煤矿不同距离的土壤重金属分布是不同的,随着距离的增加重金属含量逐渐减少,而且重金属的含量分布也具有方向性;
- 2) 土壤重金属含量的分布随着时间的增加整体呈现增加的趋势,不过也有少部分重金属含量是随着时间的增加逐渐减少的,虽然整体增加,但在变化的过程中有下降也有增加,总的呈现增加;
- 3) 通过相关文献的分析发现芦岭、朱仙庄煤矿塌陷区土壤重金属污染情况均属于轻度污染;
- 4) 结合前人所测数据进行总结宿州东部煤矿塌陷区土壤重金属在时间、空间上的污染特征,为研究煤矿塌陷区土壤重金属提供基础。

### 4.2. 展望

- 1) 针对宿州东部煤矿塌陷区土壤重金属的污染问题,结合重金属的分布规律可提供一定的研究方向;
- 2) 本文只是结合近几年宿州东部煤矿塌陷区土壤重金属的污染进行梳理及分析,对于煤矿塌陷区水体重金属的污染未进行分析研究,不能全面的概括出整个塌陷区的重金属污染特征,还需进一步梳理水体重金属污染状况;
- 3) 塌陷区的不断扩展对当地居民农业生产带来或多或少的影响,扩展带来农田的淹没,降低了对土壤的使用率。由于土壤是人类的重要资源之一,人类对于土壤环境的保护也至关重要,且土壤与我们人类的生活息息相关,优质的土壤是维持生态系统与人体机能健康的重要基础,所以对于煤矿塌陷区土壤重金属污染的治理还有很长的路要走,需要众多学者共同努力奋斗。

## 基金项目

2021 年安徽省大学生创新创业训练计划项目(项目编号: S202110379192)。

## 参考文献

- [1] 杨涛. 赣南钨矿区农田土壤重金属污染特征及风险评价[D]: [硕士学位论文]. 赣州: 江西理工大学, 2016.
- [2] 魏博阳. 西北地区煤炭供求变化对经济高质量发展影响研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西北大学, 2019.
- [3] 盖丽. 基于协整理论的经济周期波动与煤炭供需关系研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 山东科技大学, 2017.

- 
- [4] 方红夏. 宿东矿区废弃地土壤质量评价[D]: [硕士学位论文]. 淮南: 安徽理工大学, 2021.
- [5] 黄大伟, 桂和荣. 宿南矿区土壤重金属含量特征及其来源解析[J]. 地球与环境, 2017, 45(5): 546-554.
- [6] 苏海民, 汪兆国, 黄园. 宿州市煤矿区农田土壤重金属污染及生态风险评价[J]. 山东师范大学学报(自然科学版), 2017, 32(2): 99-104.
- [7] 付金沐, 盛宜丹, 刘杰云, 李静. 宿州市朱仙庄矿采煤区土壤重金属污染特征研究[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版), 2017, 35(6): 976-979.
- [8] 苏海民, 何爱霞, 袁新田, 高杨. 安徽省宿州市煤矿周边农田土壤重金属含量及污染评价[J]. 地球与环境, 2014, 42(3): 369-374.
- [9] 张雅茹, 桂和荣, 黄伊恒. 煤矿周边土壤重金属空间分布及污染水平评价[J]. 安徽农学通报, 2020, 26(13): 127-130.
- [10] 向鹏飞, 郭艳, 张发展, 王进, 刘涵. 芦岭煤矿塌陷区土壤重金属污染特征研究[J]. 河南工程学院学报(自然科学版), 2020, 32(3): 26-30.
- [11] 张俊, 李余生, 孟雷, 许龙, 王云光. 芦岭煤矿区土壤重金属元素地球化学特征及来源分析[J]. 环境化学, 2014, 33(11): 2001-2002.
- [12] 李致春, 桂和荣, 孙林华, 巩伟. 沱河芦岭矿塌陷区段沉积物重金属污染及迁移能力评价[J]. 环境科学与技术, 2013, 36(7): 13-17+22.
- [13] 檀丽娟, 冯松宝, 程琛, 李亚, 何帅. 朱仙庄煤矿周边土壤有机质和重金属的含量研究[J]. 延边大学学报(自然科学版), 2020, 46(3): 256-259+269.
- [14] 潘林秀, 刘勇, 林曼利. 煤矿区土壤重金属污染评价[J]. 煤炭技术, 2017, 36(7): 301-303.