

浅析盐碱农田土壤重金属污染评价及其来源

——以甘肃省酒泉市银达镇为例

张洋, 吴心慈, 王浩, 潘用昕, 冯珊珊, 邓江啸

宿州学院资源与土木工程学院, 安徽 宿州

收稿日期: 2023年3月27日; 录用日期: 2023年5月20日; 发布日期: 2023年5月29日

摘要

为了解甘肃省酒泉市银达镇的盐碱农田土壤重金属的污染情况, 采用“棋盘式”采样法采集土壤样品, 运用X射线荧光光谱仪(XRF)并结合甘肃省土壤背景值对该区域农田进行调查和分析, 对该区域农田重金属元素的含量测定并评估, 分析其来源。结果表明采样区土壤中铜(Cu)、锌(Zn)、铬(Cr)、镍(Ni)、铅(Pb)、钴(Co)、汞(Hg)等7种重金属元素含量的平均值分别为3.70 mg/kg、155.87 mg/kg、32.24 mg/kg、21.88 mg/kg、204.12 mg/kg、2.42 mg/kg、0.87 mg/kg。上述金属元素除Cu、Cr、Ni、Co外, 其余金属元素均不同程度超过甘肃省土壤背景值, 采用单因子污染指数方法发现, 研究区Cu、Ni、Cr、Co评估结果为无污染, Zn、Hg为中度污染, Pb为重度污染。内梅罗综合污染指数评估结果为重度污染, 结果表明, Cu、Co、Ni元素的来源以天然因子为主, 与土层中的组成及含量密切相关。Zn、Pb、Hg等金属的成因以人类活动为主。

关键词

盐渍化土地, 土壤中的金属元素, 环境因子, 污染源解析

The Evaluation of Heavy Metal Pollution in Saline-Alkali Farmland and Its Sources Were Analyzed

—Taking Yinda Town, Jiuquan City, Gansu Province as an Example

Yang Zhang, Xinci Wu, Hao Wang, Yongxin Pan, Shanshan Feng, Jiangxiao Deng

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

Received: Mar. 27th, 2023; accepted: May 20th, 2023; published: May 29th, 2023

Abstract

To understand the town of Jiuquan city, Gansu province silver da salt of farmland soil heavy metal pollution, using “chessboard” sampling method to collect soil samples, using X-ray fluorescence spectrometer (XRF) and combined with the soil background value of Gansu province, the region, the content of the regional farmland heavy metal determination and evaluation, analysis of the source. The results show that the average value of copper (Cu), zinc (Zn), chromium (Cr), nickel (Ni), lead (Pb), cobalt (Co) and mercury (Hg) in the soil sampling area is 3.70 mg/kg, 155.87 mg/kg, 32.24 mg/kg, 21.88 mg/kg, 204.12 mg/kg, 2.42 mg/kg, 0.87 mg/kg. Except for Cu, Cr, Ni, and Co, the above metals exceeded the soil background value of Gansu Province to different degrees. The single-factor pollution index method was found that the assessment results of Cu, Ni, Cr, and CO in the study area were polluted, Zn and Hg were moderately polluted, and Pb was severely polluted. The evaluation result of the comprehensive pollution index was severe pollution, which showed that the sources of Cu, Co and Ni elements are mainly natural factors, which are closely related to the composition and content of the soil layer. Zn, Pb, Hg and other metals are mainly caused by human activities.

Keywords

Salinized Land, Metal Elements in Soil, Environmental Factors, Analysis of Pollution Sources

Copyright © 2023 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

盐碱地作为一种土壤，在世界范围内都有很高的普遍性，其面积约为 9.5 亿 hm^2 ，约为 10% [1]，在中国已有 0.37 亿 hm^2 ，并以年均 0.6% 的增长率持续增长。在对食物的需求量不断增加，可利用的耕地资源越来越少的情况下，充分挖掘和利用盐碱地资源，可以有效地提升土壤资源的利用率，为解决我国面临的资源短缺、环境恶化等问题提供帮助，对于保障我国的食物安全有着非常重大的意义。

当前，由于高密度工业等多种因素的共同作用，使得各种类型的污染物(如重金属等)通过大气沉降、污水灌溉等途径，在土壤中持续积累，从而引起了土壤的盐碱化与重金属污染，这二者都是引起世界范围内土地沙化与恶化的重要原因，特别是以重金属为主的土壤污染最为严重。根据《全国土壤污染状况调查公报》，2014 年度的《全国土壤污染状况调查公报》，我国农田土壤中 Hg、As、Cr、Cd、Pb 等重金属超标的比例高达 16.7% [2]。土壤中的重金属不但对土壤质量有很大的影响，而且对植物和动物赖以生存的环境也有很大的影响。由于土壤中重金属元素的大量存在，导致了我国每年一千万吨以上的作物减产[3]，直接导致了高达 200 亿元的经济损失。在国家十四五规划的推动下，全面建成小康社会已是一个大势所趋，而乡村的振兴发展则是其中一个关键的环节[4]。

因此，探明盐渍化耕地中重金属的来源，是开发利用该区域是否能够实现乡村经济振兴的前提。我国农业生产中存在着严重的重金属污染问题，查阅文献资料后，我们发现，当前土壤研究主要包括重金属在土壤中的空间分布、植物保护等，例如，对银川市不同功能区土壤重金属含量分布的研究[5]，煤炭产业区给周围临近土地带来重金属污染[6]，对徐州农田土壤养分和重金属含量与分布的研究[7]，但这些研究大多集中在矿区和城市，而对郊区耕地中的重金属污染则少有报道，特别是在甘肃省酒泉市附近的

盐碱地，更是寥寥无几。

因此我们以甘肃省酒泉市银达镇周边地区的盐碱地为研究对象，利用单因素污染指数法、内梅罗污染指数法等方法，对耕地中 7 种重金属进行了分析，并对其污染程度进行了评估。从而了解盐渍化农田中的重金属含量及其对土壤的污染情况。本项目的实施，将为我国盐渍化农田的农业生产和农业生产的发展提供重要的理论和技术支撑。

2. 材料与方法

2.1. 研究区概况

本实验以甘肃省酒泉市银达镇周遭农田为研究区，其地处甘肃酒泉市肃州区城区以北 7 公里处；东与三墩镇毗邻，南与泉湖镇接壤，西与果园镇相连，北与金塔县夹山相望。全镇范围从东到西为 20.5 公里，从南到北为 25.6 公里，面积为 375 平方公里。属中温带大陆干燥型气候，全县有农用地 82,060 亩，耕地类型为灌漠土，有酒航高速公路贯穿全境。

2.2. 样品采集与处理

2.2.1. 样品采集

采样点以“棋盘型”分布，每个样点使用取样器采集 20 cm 深土层土壤 200 g 左右装入洁净自封塑料袋，采样点地理坐标用 GPS 测定。预计采集样本点 65 个。采样点分布如图 1 所示。

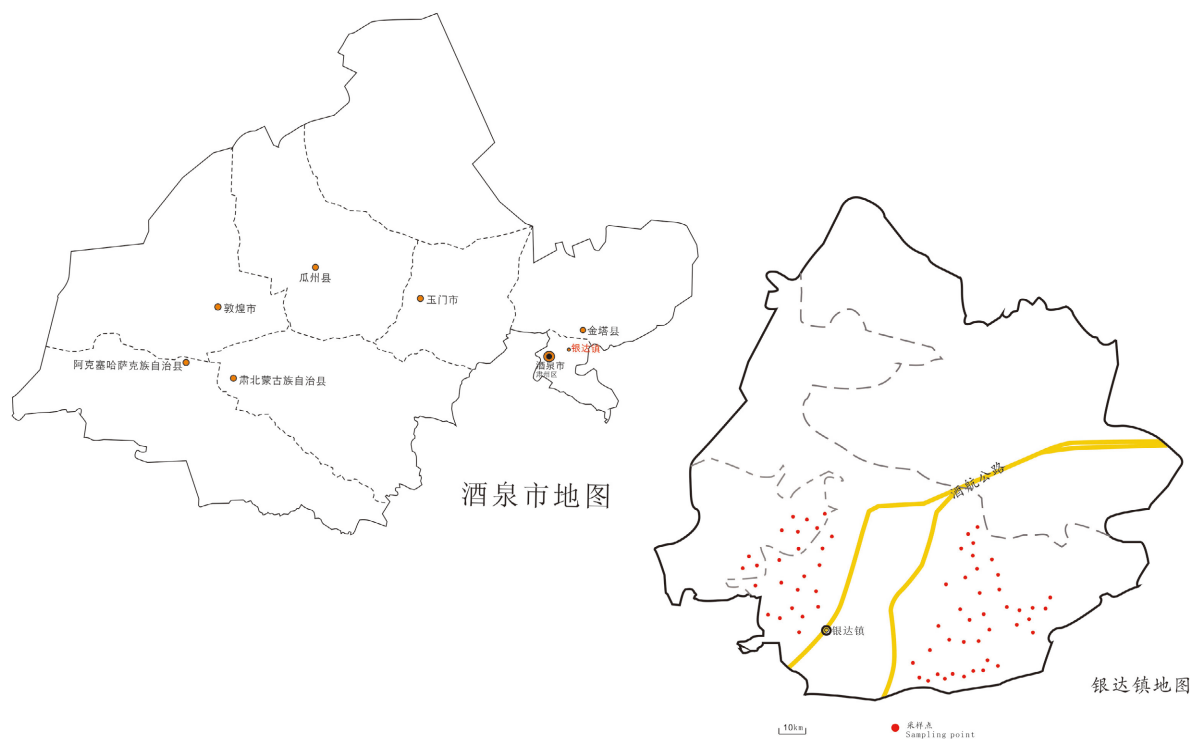


Figure 1. Distribution map of sampling points of saline-alkali farmland in Yinda Town, Jiuquan City

图 1. 酒泉市银达镇地理位置及采样点分布图

2.2.2. 样品处理

将采回的土样按照编号整齐排列，放置室内晾晒风干，挑出植物残体及石块等杂质。将自然干燥的

土样用玛瑙研钵碾碎，然后放到 2 毫米的尼龙筛子里。用模具将硼酸和已过筛的土样压片，将其放进样品袋登记后备用。

2.3. 土壤样品测定

土壤 Cu、Pb、Cr、Zn、Ni、Co 等元素含量参照邓述培等[8]的方法，使用波长色散 X 荧光光谱仪进行测定。在此基础上，采用标准土样作为质控样本，对以上各组分进行同步检测，并在每组分中加入不低于 10%的质控样本，确保了分析结果的精确性和准确性。

2.4. 土壤重金属污染评价

以甘肃省土壤背景值[9]作为参比，采用单因子污染指数法和内梅罗综合污染指数法进行评估。

2.4.1. 单因子污染指数

单因子污染指数是目前国内重金属污染评价的通用方法，对土壤环境中各项污染指标的情况能有较直观反映。其计算公式为：

$$P_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (1)$$

在上述公式中， C_i 为以 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 表示的重金属元素 i 的实际质量百分比； S_i 为对应的土质背景值(文中所用本底为甘肃省土质背景值)，单位为 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

用单因子污染指数方法对土壤的质量进行评定时， P_i 值为 1，为无污染； $1 < P_i$ 值 < 2 ，为轻微污染； $2 < P_i$ 值 < 3 ，属于中等程度的污染； P_i 值 $>$ 或 $= 3$ ，严重污染[10]。

2.4.2. 内梅罗综合污染指数法

内梅罗综合污染指数方法是一种能够反映各种重金属的复合污染水平的方法，它能够准确地反映出不同重金属的复合污染水平[11]，并强调了其中污染最重的重金属所带来的环境危害性。其计算公式为：

$$P_{\text{综}} = \sqrt{\frac{(P_{i\text{max}}^2 + P_{i\text{avg}}^2)}{2}} \quad (2)$$

公式中： $P_{\text{综}}$ 为内梅罗(Nemero)的综合污染指标，以 $P_{i\text{max}}$ 为代表的单一因素的最大值； $P_{i\text{avg}}$ 是它的平均数。《内梅罗综合污染指数法》的评价指标为： $P_{\text{综}} \leq 1$ ，不含任何污染物； $1 < P_{\text{综}} \leq 2$ ，为轻微污染； $2 < P_{\text{综}} \leq 3$ ，为中等水平； $P_{\text{综}}$ 综合指数大于或等于 3，严重污染[12]。

2.5. 数据处理与分析

所得资料以 SPSS20.0 为主要处理工具，进行相关分析和主成分分析。利用 Excel 2010, Origin2021, CDR2020 等软件对实验结果进行了基础的分析，并绘制了相应的图表。

3. 结果与分析

3.1. 土壤重金属元素的统计特征

从表 1 可以看出银达镇盐碱地土壤中 Cu、Zn、Ni、Cr、Pb 和 Hg 含量幅度变化较大，分别为 1.48~16.11 mg/kg (Cu)、137.88~171.88 mg/kg (Zn)、0.00~49.09 mg/kg (Ni)、26.92~37.27 mg/kg (Cr)、192.77~225.39 mg/kg (Pb)、0.00~42.12 mg/kg (Hg)。通过图 2 对比甘肃省土壤背景值发现，除了 Cu、Ni、Cr、Co、Ni 等，其他重金属元素都超出了参照地的背景值，尤其是 Zn 的平均浓度是参照地的 2 倍以上，说明其在研究区已经存在富集。Pb 的平均浓度比参照地背景值高出 9 倍以上，说明铅在该区具有较强的富集作用。

另外,对变异程度的不同分类,由各种重金属的变异系数可以看出,研究区土壤中 Zn、Cr、Pb、Co (0.035, 0.079, 0.035, 0.14)为轻度变异程度; Cu、Ni、Hg (0.719, 0.609, 6.069)为高变异($C_v > 0.36$)。方差系数越大,说明在不同的采样点中,元素的含量也就越有差别[13]。由于研究地区降水较少,重金属元素很难迁移,所以会出现点状聚集现象, Cu、Ni 和 Hg 元素呈现出显著的聚集分布。

3.2. 土壤重金属元素污染评价

以甘肃省土壤的本底为基础,计算出了各个样点中的各类重金属的单因素污染指数(P_i),如表 2 所示,7 种重金属在采样点中均有不同程度的污染,而铜、镍、铬、汞、镉等元素在采样点中均未受到污染,甚至只受到轻度污染。如图 3 所示,我们可以清晰看到无污染样点占总数的 100%、78.5%、76.9%、91.8%、100%; Zn、Ni、Cr 的轻度污染的样点数大致相等,分别占总数的 23.1%、21.5%、24.1%; Zn 和 Pb 大部分样点属于中度污染,二者中度污染样点占总数的比例近乎一致分别为 69.2%、66.2%; 同时 Pb 的重度污染样点占总数的近乎四分之一, Zn 和 Hg 存在少量重度污染的样点。

由表 3 可以看出,内梅罗综合污染指数($P_{综}$)的评价结果是重度污染,各金属元素 P_i 依次为 Hg (11.15) > Pb (9.45) > Zn (2.41) > Ni (0.67) > Cr (0.34) > Co (0.20) > Cu (0.14)。

Table 1. Statistical results of heavy metal content in 20 cm soil layer (n = 65)

表 1. 20 cm 土层土壤重金属含量统计结果 (n = 65)

元素	最小值/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	最大值/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	平均值/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	标准差/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	变异系数	甘肃土壤背景值/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
Cu	1.48	16.11	3.70	2.66	0.719	26.5
Zn	137.88	171.88	155.87	5.49	0.035	64.7
Ni	0.00	49.09	21.88	13.33	0.609	32.8
Cr	26.92	37.27	32.24	2.56	0.079	93.6
Pb	192.77	225.39	204.12	7.06	0.035	21.6
Hg	0.00	5.77	0.22	5.28	6.069	0.078
Co	1.65	3.5	2.42	0.35	0.143	12.0

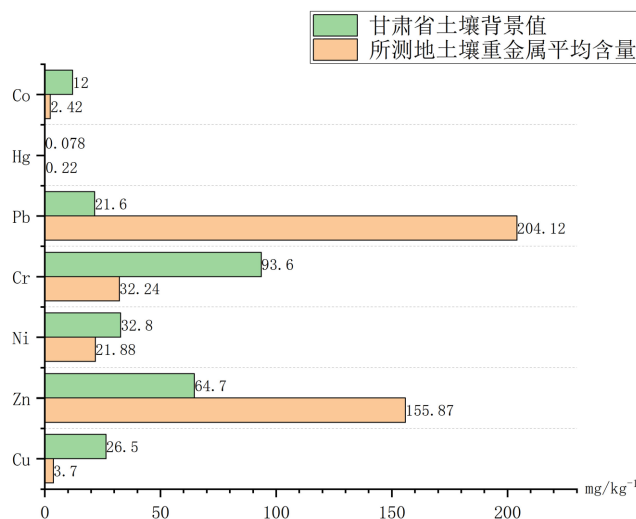
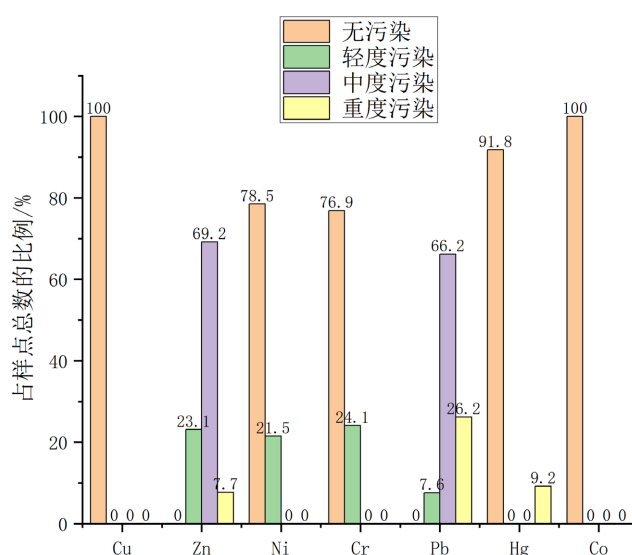


Figure 2. Comparison of soil average heavy metal content with soil background value in Gansu Province

图 2. 土壤重金属含量平均值与甘肃省土壤背景值对比图

Table 2. Proportion of different levels of contamination samples in the total number in the study area**表 2.** 所采研究区不同级别污染样点数占总数的比例

指数	元素	不同级别污染样点的比例/%			
		无污染	轻度污染	中度污染	重度污染
	Cu	100	0	0	0
	Zn	0	23.1	69.2	7.7
	Ni	78.5	21.5	0	0
P_i	Cr	76.9	24.1	0	0
	Pb	0	7.6	66.2	26.2
	Hg	91.8	0	0	9.2
	Co	100	0	0	0

**Figure 3.** The proportion of pollution sample points of different levels to the total number**图 3.** 不同级别污染样点数占总数的比例图**Table 3.** Average pollution index of all heavy metals in the mining area**表 3.** 所采区各重金属平均污染指数

元素	单项污染指数(P_i)						综合污染指数(PN)	
	Cu	Zn	Ni	Cr	Pb	Hg		Co
	0.14	2.41	0.67	0.34	9.45	2.82	0.20	6.88

3.3. 土壤重金属统计性分析

3.3.1. 盐碱地土壤重金属相关性分析

利用皮尔逊相关方法, 可以识别出不同类型的土壤中的重金属元素。元素地球化学的基本原理是: 同源的元素往往存在很高的相关性。所以, 通过对不同元素的统计分析, 便可以发现不同元素间存在一

定的同源关系。

由表 4 可以发现, Zn 与 Pb、Co 与 Ni、Hg, Ni 与 Hg 均有非常明显的相关性($P < 0.01$), 表明在某些特殊的土壤环境下, 各金属元素间都有一定的关联性, 呈现出高度的同源性。其中, Co 与 Hg 的相关系数最低为 0.322; Co 与 Ni 的相关系数最高为 0.972, 相关系数在 0.322~0.972 之间。而 Co 与 Pb, Ni 与 Pb 的相关系数在 0.01 的水平上具有极显著的负相关。

Table 4. Correlation analysis of soil heavy metals and chemical indicators

表 4. 土壤重金属及化学指标的相关性分析

元素	Cu	Zn	Co	Ni	Cr	Pb	Hg
Cu	1	-0.139	0.05	0.014	0.01	-0.205	-0.087
Zn		1	0.040	0.042	-0.142	0.402**	0.112
Co			1	0.972**	0.121	-0.345**	0.322**
Ni				1	0.105	-0.390**	0.329**
Cr					1	-0.080	0.228
Pb						1	-0.026
Hg							1

注: **代表在 0.01 相关性在 0.01 层上显著(双尾)。

Table 5. Correlation matrix feature values and variance cumulative contribution rate among the seven soil elements

表 5. 土壤 7 种元素间的相关矩阵特征值和方差累积贡献率

成分	特征值	方差贡献率%	方差累计贡献率%
F1	2.39	34.138	34.138
F2	1.498	21.404	55.542
F3	1.091	15.586	71.127
F4	0.877	12.524	83.651
F5	0.658	9.406	93.057
F6	0.46	6.573	99.63
F7	0.026	0.37	100

注: F1、F2、F3、F4、F5、F6、F7 分别表示主成分 1、2、3、4、5、6、7。下同。

3.3.2. 盐碱地土壤重金属主成分分析和聚类分析

为了更好地理解不同类型的重金属的相关性及成因, 我们对样点资料进行了主成分分析, 从表 5 中可以看出, 前三个主要成分的特征值均大于或接近 1, 对总变异系数的贡献率为 71.127%, 得到了较为全面的结论。从表 6 和图 4(a)中我们可以发现, 七种重金属元素被判识为三种主成分, 基本反映了原始数据的变异信息。聚类分析图 4(b)也将七种元素分为三类, 进一步证明了主成分分析的结果。

同时, 通过表 6 可以看出 PC1 的方差贡献率主要是由 Co 和 Ni 组成的, 载荷系数为 0.931、0.941, 贡献率为 34.138%, 这说明 Co 与 Ni 具有很高的同源性。PC2 对土壤污染的贡献以 Zn 和 Pb 为主, 负载因子为 0.783 和 0.614, 对土壤污染的贡献占 21.404%, 说明土壤中 Zn 和 Pb 为同一源。对 PC3 的贡献以 Cr 占主导地位, 加载系数 0.842 对 PC3 的贡献占 15.586%, 说明 PC3 是一个独立的污染源。

Table 6. Main component analysis results of soil heavy metals
表 6. 土壤重金属主成分分析结果

主成分	Cu	Zn	Co	Ni	Cr	Pb	Hg
PC1	0.078	-0.104	0.931	0.941	0.275	-0.561	0.481
PC2	-0.537	0.783	0.165	0.147	-0.074	0.614	0.408
PC3	-0.183	-0.261	-0.202	-0.219	0.842	0.099	0.426

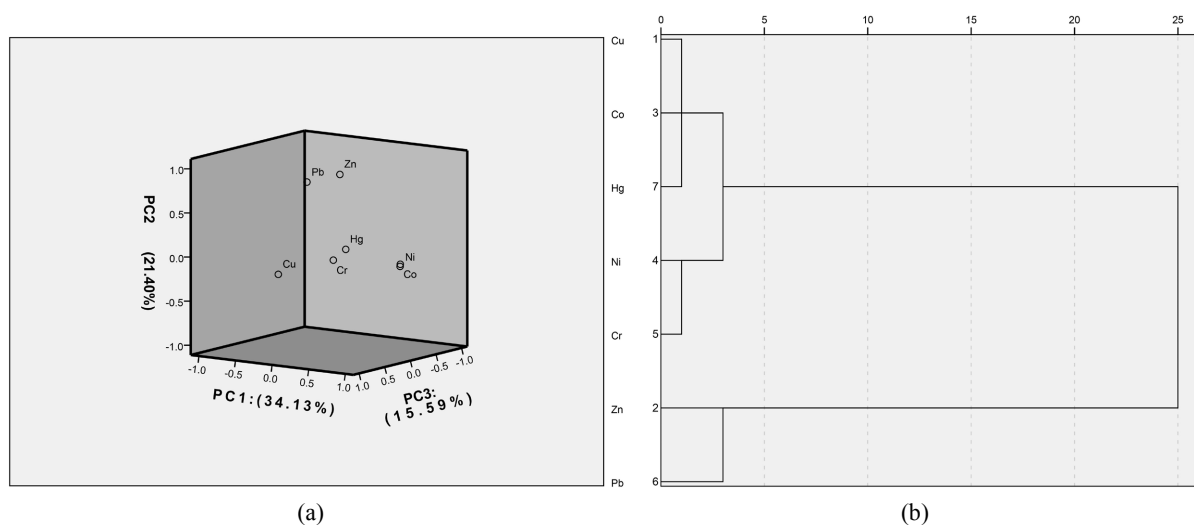


Figure 4. Load of soil heavy metals (a) and cluster analysis (b)
图 4. 土壤重金属元素因子载荷图(a)和聚类分析图(b)

从表 6 中可以发现, PC1 与 Co、Ni 之间存在显著的相关(荷载因子分别为 0.931, 0.941), 根据研究地上上述重金属的含量分布的特征, 我们认为此类成分可能主要影响来源于土壤母质。PC2 与 Zn、Pb 相关(荷载因子为 0.783, 0.614), 我们认为其主要的来源可能与人类活动有关。PC3 的结论显示, Cr 只有单一的一个来源, 但是, 根据文献检索, Cr 和 Ni 是目前在我国的城镇土地上受到污染最低的重金属[14], Cr 最开始是从岩石风化开始, Cr 会在自然情况下, 从成土母质和土壤中转移[15], 但也有大量的重金属会随着空气沉淀而被带入到土壤中因此对于这一类成分的成因仍需要深入调查。

4. 讨论

为保证酒泉市土壤环境安全, 以甘肃省银达镇的盐碱地为例, 采用内梅罗(Nemero)综合污染指标, 对典型盐碱地(银达镇)进行了现场调查, 我们发现该区土壤中 Pb、Zn 的主要来源受到人类活动的强烈干扰, 并对该研究区域造成了严重的污染, 其来源一方面可能是由于施用了大量的化肥, 使得耕地的地性得到改善, 但与此同时化肥还存在大量的镉、砷、铅等有害元素, 且随着时间的推移而引起耕地中的重金属元素的累积和污染。另一方面是利用了农业薄膜, 虽然增加土壤的肥力, 抑制杂草的生长, 减轻病害的发生。然而, 目前农业地膜制备中所采用的热固性稳定剂均为 Cd、Pb 等元素, 导致地膜在施用后仍滞留于土壤, 从而导致耕地中的 Zn、Pb 等重金属元素超标。同时, 由于该所研究区地处酒航道路周围, 来往的车辆种类繁多且复杂, 这些车辆所产生的废气会随空气进入到耕地, 进而导致了土壤中的重金属污染。此外, 由于周围居民冬天用煤取暖的时候, 会产生大量的大气污染, 还有牲畜养殖的污水, 这些都会导致周围土壤中的重金属浓度升高。刘文生在对酒泉市盐碱地进行了调查的基础上[16], 提出了

导致土壤盐碱化的主要因素是排水体系和灌溉体系的不健全, 如果仅仅注重灌水, 忽视了排水, 导致了排水出口不畅通, 从而导致了地下水过高, 土壤盐渍化程度进一步加深, 还会导致重金属的积累, 这可能也是 Pb、Zn 等元素污染的来源之一。

通常情况下, Ni 作为指示性自然生源的指示性元素[17], 由于成土母质成分的差异, 所以在基性岩和超基性岩中, Co、Ni 这两种元素的含量都要比其他母质高得多, 而所研究区域的土型是灌漠土, 在以灌漠土为主的地区, 化肥、农药以及有机化肥的使用对土壤中 Cd、Pb、Ni、Cr 含量的影响要比土壤本底小得多[18], 并且大多数区域的人类活动并不显著。根据研究区的实际条件, 其中 Ni、Cu、Cr、Co 等四种金属的浓度与相应的土层本底相近(或小于), 因此我们认为元素 Co、Ni 等四种元素的主要来源可能是由成土的母质所致。其来源多来自其所处的土层。

从表 6 中的资料可以看出, Cr 只有单一的一个来源, 在天然环境下, 土体中的 Cr 首先是由岩层的风化作用而转变为成土母和土体中; 其次, 由于交通运输或农村冬天燃煤燃烧所造成的气体和灰尘, 其中包含了煤和汽油的焚烧, 城市化进程的加快, 城市污水灌溉、污泥及生活废弃物等将都是 Cr 污染的重要污染源。因此, 对于该区 Cr 的成因有待于深入研究。

针对当前酒泉市银达镇盐渍化农田中的重金属对其造成的危害, 提出相应的防治对策。有关单位要加强对酒泉市银达镇及周边地区耕地中 Zn、Pb 等重金属的监督管理, 同时要强化对酒航高速上通过的汽车排放气体的监控, 对排放气体的超限控制和限制行驶。与此同时, 要健全农村耕地的灌水和排水体系, 在种植需要覆盖地膜的农作物时, 要选择可生物分解的地膜, 以降低对耕地的影响。

5. 结论

本试验对甘肃省酒泉市银达镇盐碱农田土壤重金属污染评价及其来源进行了研究, 结果表明:

1) 研究区土壤类型为灌漠土, 通过对 Cu、Zn、Co、Ni、Cr、Pb、Hg 等 7 种重金属元素含量的分析发现, 上述金属元素除 Cu、Cr、Ni、Co 外, 其余金属元素均不同程度超过参考地的土壤背景值, 其中 Zn 在本区域内已有积累的现象, Pb 在本区域内已有相当程度积累的现象, 内梅罗综合污染级别的评估结果以重度污染为主。

2) 研究区域内 Ni、Cu、Cr、Co 等 4 种重金属元素的主要来源以自然因素为主, 主要与土壤母质的组成和性质有关。Zn、Pb 的主要来源是人类活动引起的, 主要是机动车排放和农村地区冬季燃煤排放的烟尘中的重金属, 经空气进入到了土地中。庄稼收割后, 没有被清除干净的地膜, 也会对土地产生影响。而对 Cr 的成因尚不清楚。

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)。

2022 年宿州学院大学生创新创业训练计划项目(项目编号: ZCXM22-312; YLXYBXM22-81) 2022 年宿州学院资助省级大学生创新创业训练计划项目(项目名称: 盐碱农田重金属污染评价及来源分析——以甘肃省酒泉市银达镇为例)。

2022 年国家级大学生创新创业训练计划项目(项目编号: 202210379056)。

参考文献

- [1] 赵可夫, 李法曾, 樊守金, 等. 中国的盐生植物[J]. 植物学通报, 1999(3): 10-16.
- [2] 范王涛. 土壤盐碱化危害及改良方法研究[J]. 农业与技术, 2020, 40(23): 114-116.
- [3] 顾继光, 周启星, 王新. 土壤重金属污染的治理途径及其研究进展[J]. 应用基础与工程科学学报, 2003(2):

143-151.

- [4] 国务院印发《“十四五”推进农业农村现代化规划》[J]. 中国农业会计, 2022(4): 98.
- [5] 王幼奇, 白一茹, 王建宇. 基于 GIS 的银川市不同功能区土壤重金属污染评价及分布特征[J]. 环境科学, 2016, 37(2): 710-716.
- [6] 刘芳. 准东煤炭开采区周边环境特征及社会经济发展评价[D]: [博士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2018.
- [7] 王玉军, 欧名豪. 徐州农田土壤养分和重金属含量与分布研究[J]. 土壤学报, 2017, 54(6): 1438-1450.
- [8] 邓述培, 范鹏飞, 唐玉霜, 等. X 射线荧光光谱(XRF)法测定土壤污染样品中 9 种重金属元素[J]. 中国无机分析化学, 2019, 9(4): 12-15.
- [9] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [10] 程芳, 程金平, 桑恒春, 等. 大金山岛土壤重金属污染评价及相关性分析[J]. 环境科学, 2013, 34(3): 1062-1066.
- [11] Nemerow, N.L. (1985) *Stream, Lake, Estuary, and Ocean Pollution*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- [12] 郑海龙, 陈杰, 邓文靖, 等. 南京城市边缘带化工园区土壤重金属污染评价[J]. 环境科学学报, 2005, 25(9): 1182-1188.
- [13] 麦麦提吐尔逊·艾则孜. 内陆河流域环境演变与生态安全[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2016.
- [14] 戴彬, 吕建树, 战金成, 等. 山东省典型工业城市土壤重金属来源、空间分布及潜在生态风险评价[J]. 环境科学, 2015, 36(2): 507-515.
- [15] 赵多勇. 工业区典型重金属来源及迁移途径研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- [16] 刘文生. 酒泉市盐碱地现状与治理对策[J]. 农业科技与信息, 2016(34): 92-94.
- [17] 李雨潼. 大冶市典型区土壤重金属来源及影响因素研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2020.
- [18] 姚佳璇, 俄胜哲, 袁金华, 等. 施肥对灌漠土作物产量、土壤肥力与重金属含量的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(6): 813-825.