

洛阳市农田土壤钼含量特征及其近 20 年时空变化^①

宋延斌, 侯进凯, 王喜宽, 黄 岚, 刘俊芳

(河南省第一地质矿产调查院有限公司, 河南省生态环境与勘查地球化学应用工程技术研究中心, 河南洛阳 471023)

摘 要: 通过分析研究 2004 年和 2018 年开展的 1:25 万多目标区域地球化学调查数据以及 2022 年开展的洛阳市农田土壤碳汇变化规律研究数据, 系统总结分析了洛阳市农田土壤钼地球化学特征、钼含量的时空分布和变化特征, 从自然因素和人类活动两个方面对土壤钼含量时空变化的原因进行了分析, 并采用年平均增速、增幅两个指标对土壤中各元素之间相互影响进行了研究。结果显示, 洛阳市农田土壤钼平均含量为 1.09 mg/kg, 高于河南省及全国土壤钼平均值, 呈富集特征, 整体表现为南部高、北部低的特征。近 20 a 来, 同一点位钼含量年最大增长速率达 1.467 mg/(kg·a), 最大流失速率为 0.083 mg/(kg·a), 平均增速 0.040 mg/(kg·a), 增速明显。钼含量时空变化受地理因素、人类活动影响明显, 距离钼矿区越近, 土壤钼含量和增速越大, 在农业种植区含量逐年减少。

关键词: 洛阳市; 农田土壤; 钼含量; 时空变化

中图分类号: S153.6+1; P595; X833 **文献标志码:** A

Molybdenum Content in Farmland Soil of Luoyang City and Its Spatiotemporal Changes in Past 20 Years

SONG Yanbin, HOU Jinkai, WANG Xikuan, HUANG Lan, LIU Junfang

(Henan First Geology and Mineral Survey Institute Co., Ltd./Henan Engineering Research Center of Ecological Environment and Exploration Geochemistry, Luoyang, Henan 471023, China)

Abstract: Based on the data from 1:250 000 multi-purpose regional geochemical survey in 2004 and 2018 and from the survey of soil carbon sink change in farmland in Luoyang City in 2022, this paper systematically analyzed farmland molybdenum (Mo) geochemical characteristics, spatiotemporal distribution, variation and its driving factors, explored the mutual influences among various soil elements by using two indicators of average annual increase rate and amplitude. The results showed that, the average Mo content was 1.09 mg/kg, which was higher than the average values of soil Mo in Henan Province and China, showing the enrichment characteristic. Mo content was high in the south but low in the north. In recent 20 years, the maximum annual increase and loss rates of Mo content at the same sampling site reached 1.467 mg/(kg·a) and 0.083 mg/(kg·a), respectively, the average annual growth rate was 0.040 mg/(kg·a), which was accelerated significantly. The spatiotemporal variation of Mo content was significantly influenced by geographical factors and human activities, the closer the distance from Mo mining area, the greater soil Mo content and its growth rate. Mo content was decreased year by year in agricultural planting areas.

Key words: Luoyang; Farmland soil; Molybdenum (Mo) content; Spatiotemporal variation

钼是农田土壤中的重要微量元素之一, 是动、植物正常生长发育不可缺少的营养元素^[1]。钼是固氮酶的组成成分, 能提高根瘤菌的固氮能力, 在生物固氮中具有重要作用^[2]。研究证实, 钼还可以提高植物抗寒、抗旱性以及抗盐胁迫和抗重金属胁迫的能力^[3]。土壤中钼供给不足时, 会造成植物根瘤发育不良, 固氮作用减弱, 进而影响作物的产量及品质^[2-4]; 但土

壤中钼供给过量时, 又会造成植物褪绿、黄化、叶片畸形、茎组织变色^[5], 并能通过食物链影响动物和人体健康, 严重时甚至有造成动物死亡的风险^[4]。

土壤中的钼主要来自含钼岩矿体, 受钼矿开采和冶炼加工影响明显。洛阳是全国著名的“钼都”, 常年的钼矿开采, 对周围的土壤产生了深远影响。随着矿业开发、气候环境变化、人类活动等因素影响, 土

①基金项目: 中国地质调查局黄淮平原经济区农业地质调查项目(200414200006)、洛阳市国土资源局单一来源采购项目(洛公交易采购[2018]053号)和河南省地质矿产勘查开发局 2021 年度局管地质科研项目(豫地矿科研[2021]Z-8 号)资助。

作者简介: 宋延斌(1982—), 男, 河南荥阳人, 硕士, 高级工程师, 主要从事地质勘查和地球化学研究工作。E-mail: songyb2007@126.com

壤中的钼及其他元素指标含量在时空上发生着巨大变化。前人对我国不同地区土壤中多种元素含量、多个理化性质指标开展了长时间维度时空变化研究^[6-14],对当地土地利用规划、农业生产管理、经济结构转型等发挥了指导意义。本文在分析总结洛阳市农田土壤中钼含量分布特征的基础上,对比 1:25 万多目标区域地球化学调查等成果,对土壤中钼元素时空变化规律进行研究,厘清土壤中钼元素的变化趋势,为土地开发利用、环境治理、农田科学培肥提供依据。

1 材料与方法

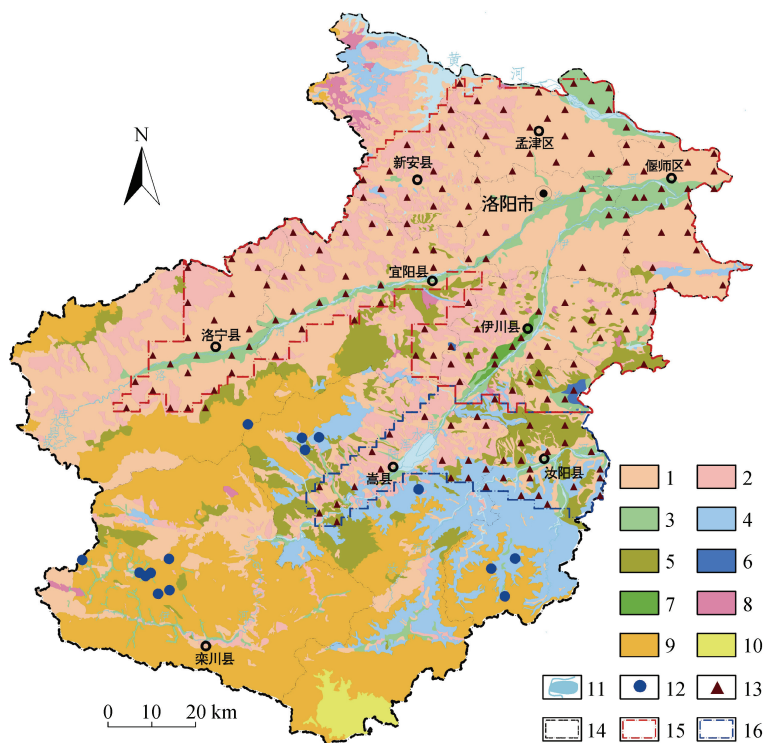
1.1 研究区概况

研究区位于河南省洛阳市伊洛河流域,涉及洛阳

市区、偃师区、伊川县全部范围,以及孟津区、宜阳县、洛宁县大部地区和新安县、嵩县、汝阳县部分地区(图 1)。研究区内为洛阳市农田主要分布区,土壤类型以褐土(62.5%)、红黏土(15.0%)为主,局部发育有潮土(8.2%)、粗骨土(7.2%)、石质土(3.9%)等。研究区上游为我国重要的钼矿集区,分布有三道庄、南泥湖、上房沟、雷门沟、东沟等大中型钼矿山以及众多钼冶炼加工企业。

1.2 数据来源

本研究利用 2004 年和 2018 年开展的 1:25 万多目标区域地球化学调查数据以及 2022 年开展的河南省洛阳市农田土壤碳汇变化规律研究数据,并将 2004 年和 2018 年的数据合并使用为“2010s 多目标数据”。



(1: 褐土; 2: 红黏土; 3: 潮土; 4: 石质土; 5: 粗骨土; 6: 砂浆黑土; 7: 水稻土; 8: 紫色土; 9: 棕壤; 10: 黄棕壤; 11: 水系和水库; 12: 钼矿点; 13: 2022 年采样点位置; 14: 洛阳市行政区界; 15: 2004 年多目标调查范围; 16: 2018 年多目标调查范围)

图 1 采样点位置和土壤类型
Fig. 1 Sampling sites and soil types

2004 年开展的 1:25 万多目标区域地球化学调查工作位于洛阳市北部洛宁至偃师一带,共分析浅层土壤样品 1 452 件;2018 年开展的 1:25 万多目标区域地球化学调查工作位于洛阳市东中部嵩县至汝阳一带,共分析浅层土壤样品 273 件;2022 年开展的河南省洛阳市农田土壤碳汇变化规律研究,按照不同土壤类型、土地利用类型、地形地貌特征,并兼顾空间分布均匀性和合理性原则,在原多目标区域地球化学调查点位上有代表性地选择 754 个原始点位重新

取样,按照 1:25 万多目标区域地球化学调查规范要求,以 1 点/ km^2 的密度布置样点,每 4 km^2 的样品组合成一件样品进行化验分析,共分析样品 181 件。

2004 年 1:25 万多目标区域地球化学调查采用极谱法(POL)测定钼元素含量;2018 年 1:25 万多目标区域地球化学调查和 2022 年河南省洛阳市农田土壤碳汇变化规律研究采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定钼元素含量。尽管分析方法不同,但各时期样品分析结果的准确度、精密度、报出率、抽样

合格率等指标均符合规范要求(表 1), 分析质量可靠, 各期次分析误差不掩盖实际含量变化趋势。

1.3 数据处理

将 2004 年、2018 年的 1 : 25 万多目标区域地球化学调查数据合并进行统计, 2022 年数据单独统计。采用 SPSS Statistics 25 进行数据统计分析, 采用 GeoIPAS V4.0 和 MapGIS 6.7 进行图件绘制。

2 结果与分析

2.1 钼元素空间分布特征

考虑到数据的时效性, 空间分布特征采用 2022 年数据进行研究分析。

2.1.1 钼元素地球化学特征 研究区土壤钼平均含量为 1.09 mg/kg, 高于河南省及全国土壤钼平均值(表 2), 是河南省平均值^[15]的 1.99 倍, 全国土壤钼平均值^[15]的 1.63 倍, 呈富集特征。涉及的 7 个土壤类

型中, 粗骨土中钼的平均含量最高, 达到 1.60 mg/kg; 潮土、粗骨土、褐土、石质土中钼平均含量均远高于全国相应土壤类型钼平均含量; 红黏土钼含量同全国红黏土钼含量相当。砂姜黑土和水稻土平均含量虽也高于全国相应土壤类型钼平均含量, 但由于本次研究样品数量太少, 其数据意义不大, 仅作参考。

2.1.2 钼含量分布特征 全区钼元素含量变异系数为 87.24%, 表明全区钼分布具十分不均匀的特征。从分布图上看(图 2), 研究区土壤钼含量整体表现为南部高、北部低的特征, 这与钼矿区主要分布在研究区南部有关; 且具有距离钼矿区越近, 含量越高的趋势, 表明土壤钼元素受采矿影响较大。区内大部分地区土壤钼元素含量高于全国背景值, 仅在偃师区南部灰岩山区和孟津区北部黄河滩处钼含量低于全国背景值。此外, 伊洛河河道周边土壤钼含量相对较高, 与河流搬运沉积有关。

表 1 不同时期样品分析方法对比
Table 1 Analysis methods of soil samples in different periods

期次	分析方法	要求检出限 (mg/kg)	实际检出限 (mg/kg)	$\Delta\lg C$ 合格率 (%)	λ 合格率 (%)
2004	POL	0.3	0.24	100	100
2018	ICP-MS	0.3	0.1	100	100
2022	ICP-MS	0.3	0.1	100	100

注: $\Delta\lg C$ 合格率为准确度控制质量水平; λ 合格率为精密度质量水平。

表 2 钼元素地球化学特征
Table 2 Statistical geochemical characteristics of Mo

土壤类型	样本数	最小值 (mg/kg)	最大值 (mg/kg)	均值 (mg/kg)	标准差 (mg/kg)	CV (%)	中国土壤背景 值 ^[15] (mg/kg)	河南省土壤背 景值 ^[15] (mg/kg)	K_1	K_2
潮土	30	0.56	3.80	1.21	0.62	50.65	0.59	—	2.06	—
粗骨土	20	0.65	8.67	1.60	1.76	109.62	1.16	—	1.38	—
褐土	75	0.54	7.24	0.93	0.79	85.66	0.67	—	1.38	—
红黏土	36	0.60	1.97	0.86	0.25	29.43	0.82	—	1.05	—
砂姜黑土	2	1.29	1.43	1.36	0.10	7.62	0.40	—	3.40	—
石质土	14	0.65	6.82	1.44	1.57	108.79	0.74	—	1.95	—
水稻土	4	0.92	2.26	1.49	0.59	39.42	0.88	—	1.69	—
全区	181	0.55	8.67	1.09	0.95	87.24	0.67	0.55	1.63	1.99

注: K_1 =研究区钼含量/中国土壤钼背景值; K_2 =研究区钼含量/河南省土壤钼背景值。

2.2 钼含量时空变化特征

2.2.1 增量特征 总体来看, 2010s 多目标调查和 2022 年土壤碳汇研究土壤钼平均含量均为 1.09 mg/kg, 表明近 20 a 来, 区内土壤钼平均含量整体未变, 全区土壤中钼的补充与流失达到持平。但不同土壤类型中钼含量变化差异较大, 其中粗骨土、石质土、砂姜黑土呈增长趋势, 增长幅度依次为 37.93%、89.47%、7.94%; 而占研究区绝大部分面积的褐土、红黏土、

潮土、水稻土出现下降, 变化幅度依次为 -12.26%、-1.15%、-21.94%、-5.7%。

对比 2010s 多目标调查和 2022 年碳汇研究 181 个同一点位数据, 全区农田土壤钼含量变化幅度最大达 361.05%, 最小为 -63.83%, 平均变化率 17.89%。181 个点位中, 钼含量增长的 73 个, 其中增长幅度 20% 以内的 22 个, 增长幅度大于 20% 的 51 个; 钼含量降低的 108 个, 其中降低幅度 20% 以内的 51

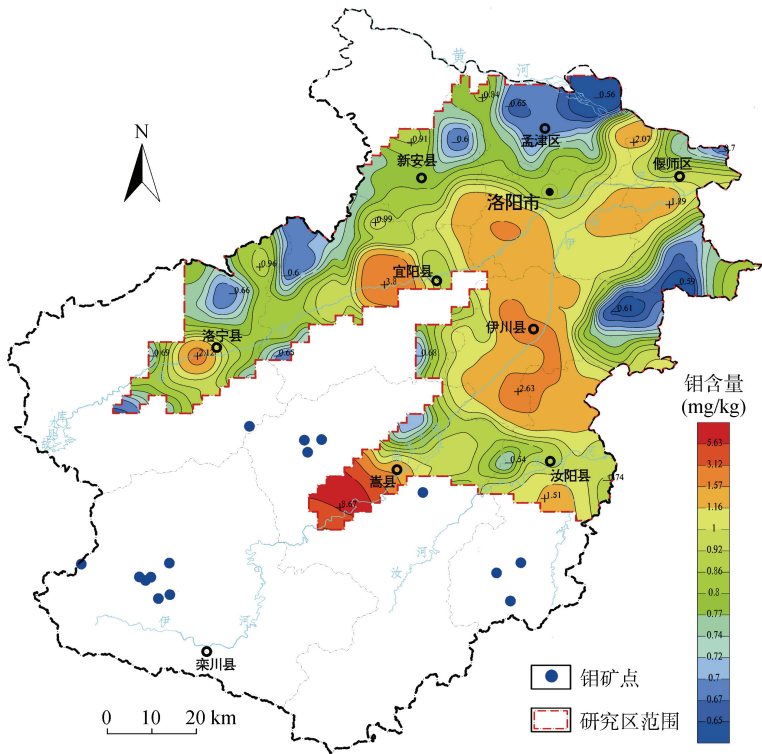


图 2 土壤钼含量地球化学分布
Fig. 2 Geochemical distribution of soil Mo content

表 3 各时期土壤钼含量
Table 3 Soil Mo contents in different periods

土壤类型	2010s 多目标调查				2022 年碳汇研究				K_3 (%)
	样本数	均值 (mg/kg)	标准差 (mg/kg)	CV (%)	样本数	均值 (mg/kg)	标准差 (mg/kg)	CV (%)	
潮土	215	1.55	1.58	102.04	30	1.21	0.62	50.65	-21.94
水稻土	11	1.58	0.39	24.95	4	1.49	0.59	39.42	-5.7
褐土	981	1.06	0.71	66.79	75	0.93	0.79	85.66	-12.26
红黏土	295	0.87	0.3	33.92	36	0.86	0.25	29.43	-1.15
粗骨土	132	1.16	2.56	221.5	20	1.6	1.76	109.62	37.93
石质土	80	0.76	0.68	90.29	14	1.44	1.57	108.79	89.47
砂姜黑土	5	1.26	0.5	37.35	2	1.36	0.1	7.62	7.94
紫色土	5	0.98	0.17	17.61	-	-	-	-	-
全区	1 725	1.09	1.08	99.7	181	1.09	0.95	87.24	0

注： K_3 =(2022 年均值-2010s 均值)/2010s 均值 \times 100。

个，降低幅度大于 20% 的 57 个(表 4)。总体来看，近 20 a 来，洛阳市北部洛宁-新安-孟津-偃师一带钼含量显著降低，南部伊川-嵩县-汝阳以及宜阳县西部、偃师区西北部显著增长(图 3)。

2.2.2 增速特征 本次分别统计同一点位在研究周期内土壤钼含量的平均实际增速和变幅增速。实际增速表示土壤中钼含量每年实际的增长速度，单位 mg/(kg·a)；变幅增速表示以第一次样品数值为基点的变化幅度的增长速度，单位%/a。采用以下公式计算

钼含量增长速率：
 $S_{Mo}=\Delta V_{Mo}/\Delta t$
式中： S_{Mo} 为某时段土壤钼元素变化速率(mg/(kg·a)或 %/a)； ΔV_{Mo} 为该时段土壤钼元素含量变化值(mg/kg 或 %)； Δt 为该时段采样时间差(a)。

结果显示，对比 2010s 多目标调查和 2022 年碳汇研究 181 个同一点位数据，近 20 a 来，钼含量年实际增速最大达 1.467 mg/(kg·a)，最小为 -0.083 mg/(kg·a)，平均为 0.040 mg/(kg·a)；钼含量年变幅增速最大达

表 4 近 20 年同一点位钼含量变幅特征
Table 4 Variation rate of soil Mo content at same site in recent 20 years

指标	变幅(%)								总计
	$(-\infty, -20]$	$(-20, -10]$	$(-10, -5]$	$(-5, 0]$	$(0, 5]$	$(5, 10]$	$(10, 20]$	$(20, \infty)$	
点数	57	33	12	6	11	7	4	51	181
占比(%)	31.49	18.23	6.63	3.31	6.08	3.87	2.21	28.18	100

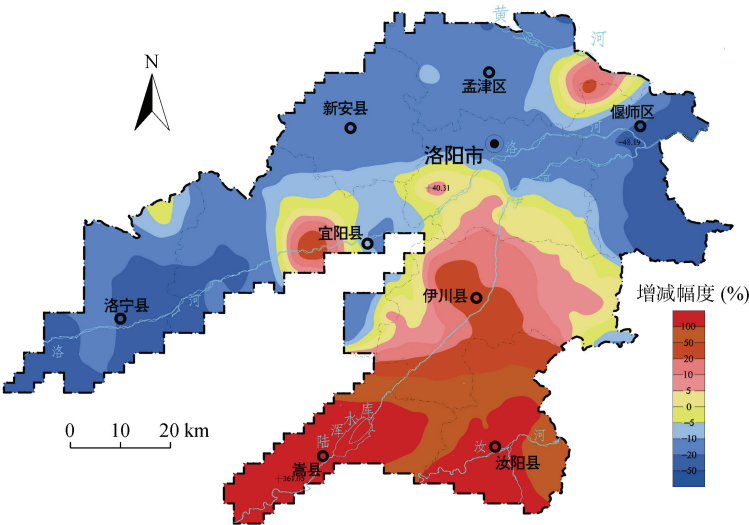


图 3 近 20 年来研究区土壤钼含量变化幅度分布图
Fig. 3 Distribution of variation amplitude of soil Mo content in recent 20 years

90.26%/a, 最小为 $-3.55\%/a$, 平均为 $5.79\%/a$ 。181 个点位中, 钼含量表现为年增长的 73 个, 占总数的 40%, 其中增长幅度大于 $20\%/a$ 的 27 个; 钼元素含量表现为年减小的 108 个, 占总数的 60%, 减小幅度均在 $5\%/a$ 以内。从研究区土壤钼含量实际增速和变幅增速等值线图看出, 钼主要在研究区南部呈显著正增长, 在研究区北部呈显著负增长(图 4、图 5)。

3 讨论

3.1 自然因素对土壤钼含量及其时空变化的影响

土壤中的钼主要来自含钼岩矿体, 含钼岩矿体的分布直接影响着土壤钼的分布。研究区南部外围及上游是我国重要的钼矿集区, 区域内的岩石、土壤、水体中钼含量较高, 属于高钼地质背景区, 含钼粉尘经季风、水流搬运, 沉积在下游农田土壤中。有研究表明^[16], 本区水体中 44.98% 的钼来源直接受自然因素影响, 这些钼在随后的灌溉中进入农田土壤。研究区大气干湿沉降钼元素年通量密度为 $0.44 \sim$

$1.295 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 平均 $0.637 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 其中干沉降中钼含量平均值为 $5.69 \text{ mg}/\text{kg}$, 是本区土壤钼平均含量 $1.09 \text{ mg}/\text{kg}$ 的 5.22 倍^[17]。高含钼的粉尘和水体对土壤的不断补给是研究区南部土壤钼含量高、增长幅度大的主要原因之一, 且距离高钼背景值区距离越近, 钼含量增速越大。而研究区北部主要为农业种植区, 距离南部高钼背景值区距离较远, 大气干湿沉降和灌溉水带入小于农作物对钼的吸收带出, 且其他外源补充较少, 造成土壤中钼含量持续降低, 并显著低于南部区域。

不同的土壤类型, 受土壤颗粒大小、黏粒含量、渗水性能等因素影响, 对土壤中元素的吸附和保持能力不同。研究区南部土壤类型以红黏土、粗骨土、石质土为主, 北部以褐土、潮土为主。从我国整体的土壤地球化学特征^[15]来看, 5 种类型土壤钼含量依次为粗骨土>红黏土>石质土>褐土>潮土, 表明粗骨土、红黏土、石质土相对于褐土、潮土更利于钼富集, 由此也是研究区南部比北部土壤钼含量高的原因之一。

表 5 近 20 年同一点位钼含量年平均变幅特征
Table 5 Average annual variation of soil Mo content at same sites in recent 20 years

指标	年平均变幅(%/a)								总计
	$(-\infty, -20]$	$(-20, -10]$	$(-10, -5]$	$(-5, 0]$	$(0, 5]$	$(5, 10]$	$(10, 20]$	$(20, \infty)$	
点数	0	0	0	108	32	8	6	27	181
占比(%)	0	0	0	59.67	17.68	4.42	3.31	14.92	100

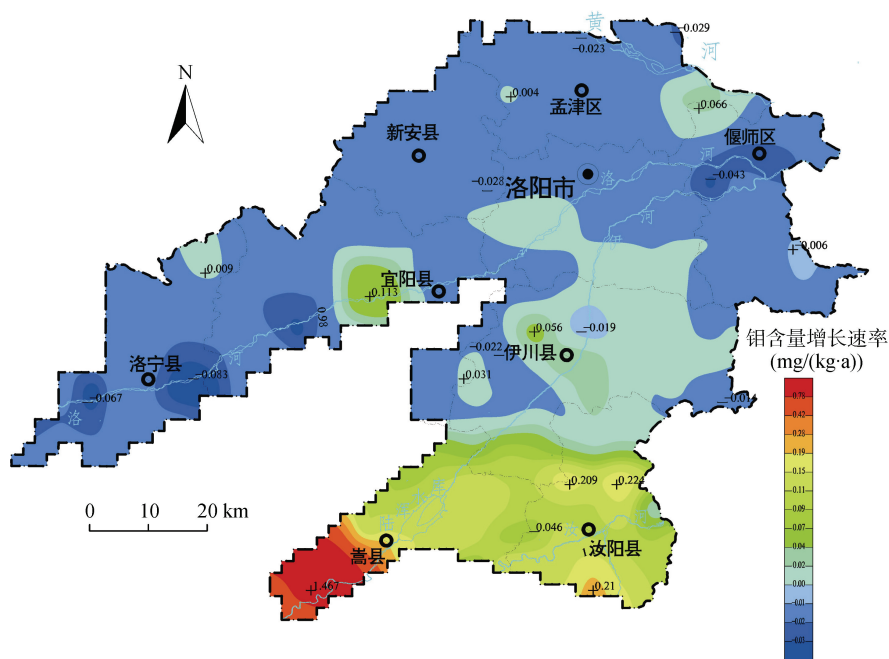


图 4 近 20 年土壤钼含量实际增速等值线图

Fig. 4 Contour map of actual growth rate of soil Mo content in recent 20 years

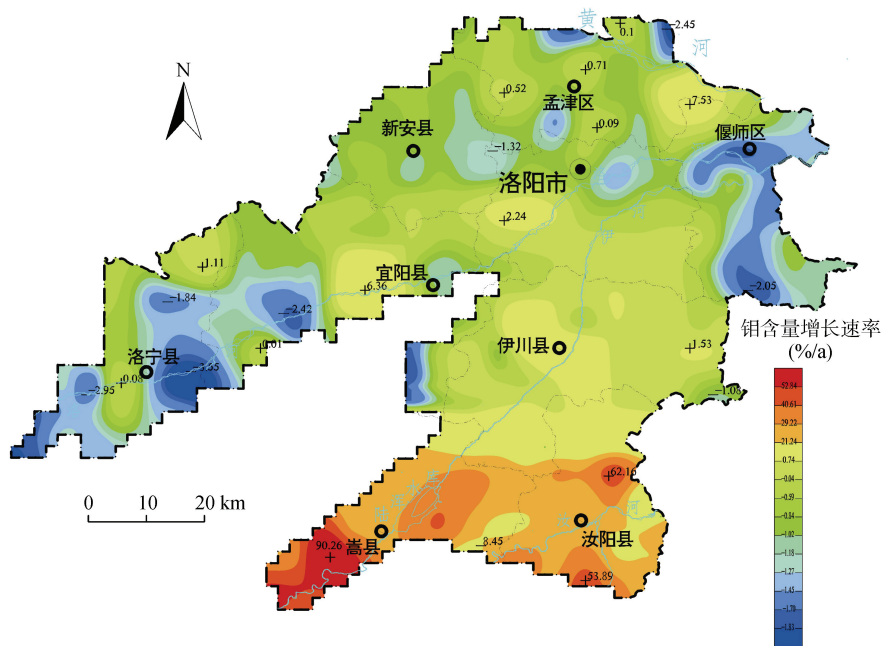


图 5 近 20 年土壤钼含量变幅增速等值线图

Fig. 5 Contour map of increase rate of variation amplitude of soil Mo content in recent 20 years

研究区南部土壤 pH 为 5.31 ~ 7.86, 整体偏酸性; 北部土壤 pH 为 7.43 ~ 8.56, 整体偏碱性。有研究表明, 中、碱性土壤有利于农作物对钼元素的吸收^[18-20], 长期农业种植持续吸收带出土壤中的钼, 在外源补充较少的情况下, 造成土壤钼含量持续下降。

3.2 人类活动对土壤钼含量及其时空变化的影响

钼从钼岩矿体进入土壤迁移过程, 最初主要受到大气沉降及土壤溶液对流作用的影响, 后期则主要是

受矿业开发、工业发展、农业种植等人类活动的加持。

研究区上游的钼矿开采活动对周边环境的影响巨大, 对本区水体中钼来源的影响率高达 55.02%^[16], 是南部土壤钼含量高的最主要原因, 而钼矿产品加工企业主要位于城区附近, 加工过程中产生的废渣废水对城市周边土壤钼增加起到了积极作用, 这是造成城市周边及其下游附近土壤钼含量显著升高的主要原因。

研究区中东部是陆浑水库灌溉区, 每年早期由陆

浑水库引水灌溉。陆浑水库水中钼含量常年处于超标状态^[16], 水库水中的钼随着农业灌溉进入农田, 这是研究区中东部相对西部和北部农田中钼含量较高且钼含量正增长的一个原因。

研究区是洛阳市的主要农业种植区, 常年种植的豆类、花生、芝麻、谷子、小麦等作物均是富钼作物, 其中豆类和花生的 BCF(生物富集系数) $>500\%$, 芝麻的 BCF $>150\%$, 谷子和小麦的 BCF 接近 100% ^[18]。农作物的生产将持续吸收并带出土壤中的钼, 造成土壤中钼含量持续下降, 而土壤中钼和有效钼含量具有一定的正相关性^[14, 21], 这也很好地解释了全国多地土壤有效钼含量呈下降趋势的原因^[11, 14]。此外, 种植过程中肥料的施用, 不仅增加了土壤氮、磷、钾等元素含量, 同时改变了土壤的 pH。有研究表明^[2, 11, 14], 氮肥、磷肥、硫酸的施用可以提高植物对钼的吸收, 使土壤钼含量下降。

4 结论

1) 研究区土壤钼平均含量为 1.09 mg/kg , 高于河南省及全国土壤钼平均值, 呈富集特征, 整体表现为南部高、北部低的特征, 距离钼矿区越近含量越高。

2) 近 20 a 来, 研究区内土壤钼元素含量整体未变, 区内土壤中钼的补充与流失达到持平, 但对比同一点位钼含量, 变化差异大。钼含量减少的点位多, 但是减少幅度均相对较小, 增长的点位相对较少, 但增长幅度较大, 北部洛宁-新安-孟津-偃师一带钼含量显著负增长, 南部伊川-嵩县-汝阳以及宜阳县西部、偃师区西北部显著正增长。

3) 潮土、粗骨土、石质土、砂姜黑土和水稻土钼含量高, 增长速度也高, 褐土、红黏土钼含量低, 增长速度也相对较低; 偏酸性土壤有利于钼的富集, 中、碱性土壤有助于土壤钼带出。高钼背景的灌溉水对土壤钼含量的增加起到一定影响, 农业种植造成土壤钼含量逐年减少, 需适时补施钼肥。

参考文献:

- [1] 李龙杰, 李忠, 李荀. “钼不暇接”——无处不在的钼元素[J]. 大学化学, 2020, 35(11): 62–65.
- [2] 河南省洛阳市农牧局, 河南省洛阳市土壤普查办公室.

- 洛阳土壤[M]. 北京: 海洋出版社, 1991: 233–235.
- [3] 秦晓明, 赵优优, 武松伟, 等. 钼提高植物抗逆性研究进展[J]. 华中农业大学学报, 2023, 42(6): 50–58.
- [4] 李路, 胡承孝, 谭启玲, 等. 植物对土壤钼污染的响应及其耐钼机制研究进展[J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(4): 700–706.
- [5] 刘鹏. 钼胁迫对植物的影响及钼与其它元素相互作用的研究进展[J]. 农业环境保护, 2002, 21(3): 276–278.
- [6] 徐丽, 于贵瑞, 何念鹏. 1980s—2010s 中国陆地生态系统土壤碳储量的变化[J]. 地理学报(英文版), 2019, 29(1): 49–66.
- [7] 赵彦锋, 李怡欣, 马盼盼, 等. 近 30 年河南省耕地土壤有机碳的三维变化与关键因素研究[J]. 土壤学报, 2023, 60(5): 1409–1420.
- [8] 杨帆, 贾伟, 杨宁, 等. 近 30 年我国不同地区农田耕层土壤的 pH 变化特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2023, 29(7): 1213–1227.
- [9] 朱日清, 张建英, 沈小红, 等. 秀洲区第二次土壤普查与 2007—2017 年的水田土壤有机质含量变化趋势分析[J]. 浙江农业科学, 2018, 59(11): 2132–2134.
- [10] 苏胜, 毛伟, 李文西, 等. 近 37 年扬州市耕地土壤有效锌含量时空变化特征[J]. 土壤, 2024, 56(1): 214–221.
- [11] 苏欣悦, 王晋峰, 孙楠, 等. 大理烟田土壤有效锌、钼和硼含量的时空变异及其影响因素[J]. 植物营养与肥料学报, 2023, 29(12): 2371–2380.
- [12] 黄勇, 杨忠芳, 冯辉, 等. 北京城区 24 年来土壤 Hg 元素时空变异特征[J]. 现代地质, 2014, 28(5): 935–941.
- [13] 朱静, 黄标, 孙维侠, 等. 农田土壤有效态微量元素的时空变化及其影响因素研究[J]. 南京大学学报(自然科学版), 2007, 43(1): 1–12.
- [14] 杨娟, 王冬艳. 吉林省土壤中有效锰、铜、钼和锌含量的时空变化[J]. 世界地质, 2003, 22(4): 392–395.
- [15] 侯青叶, 杨忠芳, 余涛, 等. 中国土壤地球化学参数[M]. 北京: 地质出版社, 2020.
- [16] 穆启超, 蔡铁刚. 钼矿区河流钼污染评价及来源探讨[J]. 环境污染与防治, 2023, 45(8): 1126–1131, 1137.
- [17] 侯进凯, 宋延斌, 莘丰培, 等. 洛阳市钼资源详查报告[N]. 河南洛阳: 河南省地质矿产勘查开发局第一地质矿产调查院, 2021.
- [18] 夏炎, 宋延斌, 侯进凯, 等. 河南洛阳市土壤和农作物中钼分布规律与影响因素研究[J]. 岩矿测试, 2021, 40(6): 820–832.
- [19] 李小娜, 王金云. 我国土壤中钼的赋存形态现状[J]. 世界有色金属, 2019(13): 248–250.
- [20] 丁燕芳, 赵凤霞, 米琳, 等. 豫中植烟土壤有效态微量元素与 pH 和有机质的关系[J]. 土壤, 2022, 54(1): 88–94.
- [21] 李新虎, 赵文杰. 银川平原土壤中几种元素有效态与全量相关关系的研究[J]. 宁夏农林科技, 2001, 42(4): 26–28, 23.