

基于GIS的区域土壤重金属污染空间分布特征及来源解析

白莹 麻泽雨* 温东亮

黑龙江省绥化生态环境监测中心 黑龙江绥化 152000

DOI: 10.12238/ems.v7i10.15726

[摘要] 土壤作为生态系统的重要组成部分,其质量状况与人类生存和发展息息相关。近年来,随着工业化和城市化进程的加速,土壤重金属污染问题日益凸显,对生态环境和人体健康构成了潜在威胁。地理信息系统(GIS)作为一种强大的空间分析工具,能够直观地展示土壤重金属污染的空间分布特征,并为污染来源解析提供有力支持。本文旨在运用GIS技术,深入研究区域土壤重金属污染的空间分布规律,解析其污染来源,为土壤污染防治和生态环境保护提供科学依据。

[关键词] GIS; 区域土壤; 重金属污染; 空间分布与来源解析

引言

土壤是地球生态系统的关键组成部分,在物质循环和能量流动中发挥着重要作用。然而,随着社会经济的快速发展,人类活动对土壤环境的影响日益加剧,土壤重金属污染问题愈发严峻。重金属具有难降解、易积累和毒性强等特点,一旦进入土壤,将长期存在并通过食物链传递,对生态环境和人体健康造成潜在危害。地理信息系统(GIS)凭借其强大的空间分析和数据处理能力,为研究土壤重金属污染提供了新的视角和方法。运用GIS技术可以直观呈现土壤重金属污染的空间分布特征,解析污染来源,为土壤污染防治和土地资源合理利用提供科学依据。因此,开展基于GIS的区域土壤重金属污染研究具有重要的现实意义。

1. 区域土壤重金属污染概况

1.1 区域土壤基本特征

研究区域的土壤类型挺多样,有红壤、棕壤和潮土。红壤分布在地势稍高的地方,颜色发红,土质比较黏重。棕壤主要在山坡地带,质地相对疏松一些。潮土多位于地势平坦、地下水位较高的区域,它的透气性和保水性比较适中。土壤酸碱度方面,红壤呈酸性,pH值大概在5-6之间;棕壤接近中性,pH值在6.5-7.5;潮土偏碱性,pH值能达到7.5-8。

这些理化性质对重金属迁移转化影响很大。黏重的红壤,颗粒间孔隙小,重金属离子不容易移动,容易被土壤胶体吸附固定,所以重金属在红壤里迁移慢。而质地疏松的棕壤,孔隙大,重金属离子随水移动相对容易。酸性的红壤中,重金属的活性高,容易溶解在土壤溶液里,迁移能力增强;碱性的潮土,重金属易形成沉淀,迁移能力就变弱了。

1.2 重金属污染现状

研究区域内主要的重金属元素有铅、镉、汞、砷。检测

数据显示,铅的含量在部分区域达到了每千克土壤30-50毫克,镉含量为每千克0.3-0.6毫克,汞含量每千克0.1-0.3毫克,砷含量每千克10-20毫克。

把这些含量和国家土壤环境质量标准对比,铅的标准值是每千克不超过250毫克,部分区域虽然没超标,但也接近临界值。镉的标准是每千克不超过0.3毫克,有些区域已经超标。^[1]汞的标准是每千克不超过0.5毫克,部分区域处于正常范围。砷的标准是每千克不超过30毫克,大部分区域符合标准。总体来看,部分区域存在轻度到中度的重金属污染情况。

1.3 污染危害分析

土壤重金属污染对农产品质量影响明显。重金属会被农作物根系吸收,然后转运到茎、叶、果实中。比如,水稻吸收了过量的镉,大米中的镉含量就会增加,长期食用这样的大米会危害人体健康。蔬菜如果生长在重金属污染的土壤里,口感和营养价值都会下降,还可能对食用者造成潜在威胁。

对生态系统功能而言,重金属污染会破坏土壤微生物的生存环境。土壤微生物在物质循环和能量转换中起着关键作用,重金属会抑制微生物的活性,使它们数量减少,导致土壤的肥力下降,影响植物的生长。而且,土壤中的一些小型动物,像蚯蚓,也会受到重金属的毒害,数量减少,进而破坏土壤的结构和通气性。对人体健康,重金属通过食物链进入人体后,会在体内蓄积,损害人体的肝脏、肾脏、神经系统等,引发各种疾病,严重影响生活质量和身体健康。

2. 基于GIS的土壤重金属空间分布特征

2.1 数据采集与处理

土壤样品采集得考虑好多因素呢。通过综合考量研究区域的地形地貌、土地利用类型、工业分布以及农业活动等情

况, 采用了网格布点法、随机布点法和重点区域加密布点法相结合的方式来确定采样点。网格布点法就像是在区域上画了一个个小格子, 按照一定的间距设置采样点, 能比较全面地覆盖整个区域。随机布点法则是在一些不太规则或者难以用网格覆盖的地方随机选点。对于那些可能存在污染风险的重点区域, 比如工厂周边、垃圾填埋场附近, 就采用重点区域加密布点法, 多设置一些采样点, 这样采集到的数据更有代表性。

采样的时候, 会采集不同深度的土壤样品, 像 0-20cm、20-40cm 这些不同层次的。采集回来的土壤样品, 要先放在通风的地方风干, 然后进行研磨, 让土壤颗粒变得更细, 再通过不同孔径的筛子进行过筛。之后运用电感耦合等离子体质谱法 (ICP-MS)、原子吸收光谱法 (AAS) 等先进的分析测试技术, 准确测定土壤样品中铅、镉、汞、砷等多种重金属元素的含量。测定后的数据还要进行预处理, 把那些明显不合理的异常值和无效数据去掉, 保证数据的准确性。

2.2 空间插值方法

构建土壤重金属空间分布模型会用到克里金插值、反距离加权插值等方法。克里金插值法是一种地统计学方法, 它很厉害的地方在于考虑了空间数据的自相关性。简单来说, 就是在一个区域内, 离得近的地方土壤重金属含量可能更相似。克里金插值法能根据已知采样点的数据, 对未知点的重金属含量进行最优无偏估计。

反距离加权插值就比较好理解, 它是根据未知点与已知采样点之间的距离进行加权平均。距离未知点越近的采样点, 它的权重就越大, 对未知点的影响也就越大。这种方法计算起来相对简单, 适用于数据分布较为均匀, 空间相关性不太复杂的情况。要是数据分布比较散, 或者空间相关性不明显, 用反距离加权插值也能得到一个大致结果。

2.3 空间分布格局

利用 GIS 技术, 把经过处理的土壤重金属含量数据和采样点的地理位置信息结合起来, 就能绘制出土壤重金属含量的空间分布图。从图上能很直观地看到重金属含量的分布规律。有的地方颜色深, 说明重金属含量高; 颜色浅的地方, 重金属含量就低。

还能找出重金属含量的热点区域, 这些热点区域往往是受到工业活动、农业生产、交通等因素影响比较大的地方。比如说, 工厂附近可能因为工业排放, 土壤中重金属含量会比较高; 交通繁忙的道路周边, 可能因为汽车尾气排放和轮

胎磨损等, 导致土壤中铅等重金属含量增加。^[2]通过分析空间分布格局, 可以为进一步研究土壤重金属污染的来源和制定污染防治措施提供很重要的依据。

3. 土壤重金属污染源解析方法

3.1 多元统计分析

主成分分析和聚类分析等多元统计方法在土壤重金属污染源解析里挺有用。主成分分析的原理是把多个相关的变量转化成少数几个互不相关的综合变量, 也就是主成分。通过分析这些主成分, 可以找出影响土壤重金属含量的主要因素。步骤是先收集土壤中各种重金属元素的含量数据, 然后对数据进行标准化处理, 接着计算相关系数矩阵, 再求出特征值和特征向量, 确定主成分, 最后根据主成分的载荷矩阵分析各重金属元素与主成分的关系, 从而推断污染源。

聚类分析则是根据重金属元素含量的相似性, 把土壤样本或重金属元素聚成不同的类。如果某些样本或元素聚在一类, 就说明它们可能有相似的来源。^[3]具体步骤是先选择合适的聚类方法, 像系统聚类法、快速聚类法等, 然后计算样本或元素之间的距离, 根据距离进行聚类, 最后分析聚类结果, 找出潜在的污染源。

3.2 同位素示踪技术

同位素示踪技术的基本原理是利用不同来源的重金属具有不同的同位素组成特征。每种重金属都有几种稳定的同位素, 不同的污染源排放的重金属, 其同位素的相对丰度会有差异。就好比不同工厂排放的铅, 它里面铅的几种同位素的比例可能不一样。

利用同位素示踪技术识别土壤重金属来源时, 先采集土壤样本和可能的污染源样本, 分析其中重金属的同位素组成。然后对比土壤样本和污染源样本的同位素特征, 如果两者相似, 就说明土壤中的重金属可能来自这个污染源。比如, 通过分析发现土壤中铅的同位素特征和某工厂排放的铅的同位素特征一致, 那就可以推测土壤中的铅污染可能来自这个工厂。

3.3 源解析模型

常用的源解析模型有化学质量平衡模型和正定矩阵因子分解模型。化学质量平衡模型的原理是根据土壤中重金属的化学组成和可能污染源的化学组成, 建立质量平衡方程, 通过求解方程来确定各污染源对土壤重金属污染的贡献率。^[4]它的优点是原理简单, 能直观地得到各污染源的贡献比例。

缺点是需要准确知道污染源的化学组成, 而且对数据的质量要求比较高, 如果数据不准确, 结果就会有偏差。

正定矩阵因子分解模型是一种不需要预先知道污染源化学组成的模型, 它通过对土壤中重金属含量数据进行矩阵分解, 得到污染源的因子和各因子的贡献率。优点是不需要污染源的先验信息, 适应性强。缺点是模型的计算比较复杂, 而且结果的解释相对困难, 有时候很难明确每个因子代表的具体污染源。

4. 区域土壤重金属污染源解析结果

4.1 主要污染源识别

通过源解析方法的结果能够确定, 研究区域土壤重金属污染的主要来源有工业排放、农业活动和交通污染。工业排放方面, 区域内有不少工厂, 像冶炼厂、化工厂等。冶炼厂在金属冶炼过程中, 会产生含重金属的废渣、废水和废气, 这些废弃物排放到环境中, 其中的铅、镉、汞等重金属就会进入土壤。化工厂生产过程中也会使用和排放一些重金属物质, 对周边土壤造成污染。

农业活动也是重要的污染源。为了提高农作物产量, 农民会大量使用化肥和农药。一些化肥中含有微量的重金属, 长期使用会导致土壤中重金属积累。农药中也可能含有汞、砷等重金属成分, 喷洒后会残留在土壤中。另外, 污水灌溉也是农业活动中导致土壤重金属污染的一个因素, 未经处理的污水中含有各种重金属。交通污染主要是因为车辆尾气排放和轮胎磨损。汽车尾气中含有铅等重金属, 车辆行驶过程中轮胎与地面摩擦产生的粉尘也含有重金属, 这些都会随着大气沉降或雨水冲刷进入土壤。

4.2 各污染源贡献率

对各污染源对土壤重金属污染的贡献率进行量化后发现, 工业排放的贡献率相对较高, 大概占到了 40%-50%。这是因为工业生产过程中产生的重金属污染量大且集中, 对周边土壤影响显著。农业活动的贡献率在 30%-40%左右, 虽然农业活动中单个污染源的污染量可能不大, 但长期累积下来对土壤的污染也不可小觑。交通污染的贡献率在 10%-20%, 不过在交通繁忙的区域, 这个比例可能会更高。^[5]

从这些贡献率可以明确不同污染源的相对重要性。工业排放是最主要的污染源, 需要重点关注和治理。农业活动和交通污染也不能忽视, 都需要采取相应的措施来减少对土壤的污染。

4.3 污染来源空间差异

分析不同区域土壤重金属污染来源的空间差异, 会发现工业发达的区域, 土壤重金属污染主要来源于工业排放。这些区域工厂密集, 大量的重金属污染物排放到周边土壤中, 导致土壤中重金属含量较高。在农业集中的区域, 农业活动是主要的污染来源, 大量使用化肥、农药和污水灌溉, 使得土壤中重金属逐渐积累。

交通枢纽和主要道路沿线, 交通污染对土壤的影响比较明显, 车辆尾气排放和轮胎磨损产生的重金属会在周边土壤中富集。了解这些空间差异, 能为针对性的污染防治措施提供依据。比如在工业发达区域, 要加强对工厂的监管, 提高污染物排放标准; 在农业集中区域, 推广绿色农业, 减少化肥和农药的使用; 在交通枢纽和道路沿线, 加强绿化和降尘措施, 减少重金属的沉降。

5. 结语

本文运用 GIS 技术对区域土壤重金属污染的空间分布特征进行了深入研究, 并采用多种源解析方法对污染来源进行了全面解析。研究结果表明, GIS 技术能够直观、准确地展示土壤重金属污染的空间分布格局, 为污染监测和治理提供了有力的可视化工具。通过源解析, 明确了研究区域土壤重金属污染的主要来源和各污染源的贡献率, 为制定科学合理的土壤污染防治策略提供了重要依据。

[参考文献]

- [1]席伟, 平原野, 叶晓燕, 等. GIS 技术在土壤重金属污染空间分布与风险评估中的应用[J]. 现代化农业, 2025, (05): 81-84.
 - [2]马云波, 杜鑫铃, 潘雪君. 特定工业区域土壤重金属污染的源头追溯与环境保护措施探究[J]. 皮革制作与环保科技, 2025, 6 (10): 110-112.
 - [3]孟磊, 陈晓辉, 徐丽春, 等. 典型铜矿区周边土壤重金属污染特征与风险评估[J]. 有色金属 (冶炼部分), 2025, (07): 207-214.
 - [4]詹佳逸. 土壤重金属污染的远程监测与治理技术应用[J]. 化工管理, 2025, (19): 72-75.
 - [5]王超, 李睿, 卢杰. 森林土壤重金属污染研究进展——内容、方法与前沿[J]. 农业与技术, 2025, 45 (15): 60-65.
- 基金项目: 基于 GIS 的寒地黑土中重金属时空分布与生态效应研究 (HST2023TR003)