

土壤重金属污染调查与风险评价

吴淑梅

佛山市南海环境科学研究所有限公司, 广东 佛山 528000

DOI: 10.61369/EAE.2024020002

摘要： 某地区城郊菜地土壤因工业排放、污水灌溉、农业活动，重金属污染风险高。本文借 GIS 技术分析 Cu、Zn、Ni、Pb、Cr、Cd 六种重金属元素污染特征，用内梅罗综合污染指数法评价污染风险。结果是，Cd、Cr 和 Ni 污染严重，Cd 浓度最高到 2.244mg/kg，污染指数超 3.44，属中污染水平。GIS 分析呈现污染风险高值区在工业密集区、交通干线周边。实施污染源控制、土壤钝化修复、耕作管理优化后，Cd 和 Cr 浓度显著下降，土壤污染风险有效降低。

关键词： 重金属污染；土壤风险评价；GIS 分析；内梅罗指数法；污染控制

Investigation and risk assessment of soil heavy metal pollution

Wu Shumei

Foshan Nanhai Environmental Science Research Institute Co., LTD. Foshan, Guangdong 528000

Abstract： The risk of heavy metal pollution is high due to industrial discharge, sewage irrigation and agricultural activities. This paper analyzes the pollution characteristics of Cu, Zn, Ni, Pb, Cr and Cd, and evaluates the pollution risk by Nemerow comprehensive pollution index method. As a result, Cd, Cr and Ni were seriously polluted, with the highest Cd concentration reaching 2.244mg / kg and the contamination index exceeding 3.44, which was a medium contamination level. GIS analysis shows the high value of pollution risk in industrial intensive areas and around traffic trunk lines. After the implementation of pollution source control, soil passivation restoration, and cultivation management optimization, the concentration of Cd and Cr decreased significantly, and the risk of soil pollution was effectively reduced.

Keywords： heavy metal pollution; soil risk assessment; GIS analysis; Nemerow index method; pollution control

引言

工业废水排放、污水灌溉，农业生产施肥料和农药，导致土壤里 Cu、Zn、Ni、Pb、Cr、Cd 等重金属含量持续积累。重金属污染破坏土壤环境，还会借蔬菜种植进入食物链，危及人体健康。调查某地区城郊菜地土壤重金属污染情况，运用 GIS 技术与内梅罗综合污染指数法对污染风险做空间分析。研究结果能为该地区土壤污染防治、农业可持续发展提供科学依据。

一、研究区与研究方法

（一）研究区概况

某地处在东南沿海亚热带季风气候区域内，气候表现是温暖且湿润的，一年的降水量十分充裕，4月至9月为降水集中时段。其地势为北高南低格局，地形复杂含有丘陵、台地、冲积平原以及河谷地带，有部分低洼区域存在积水隐患，酸性红壤与砖红壤是土壤主体，矿物质呈现较高的溶解水平，有吸附和累积重金属的倾向。主要植被是亚热带常绿阔叶林，城市化与工业化的发展引发部分原始植被受破坏，菜地与农田占据了较大面积。处于农业活动频繁阶段，外源污染的加重是施肥、农药及污水灌溉所致，该区域跟工业区相贴近，金属加工、电子制造、印染及皮革加工等行业分布十分密集，土壤重金属污染风险受工业“三废”

排放作用进一步加大。

（二）数据来源与处理

利用梅花形多点混合采样法来实施样品采集，以每个采样点位作为中心，依照5点取样的格局，按照四个方向分别取样并混合成单一混合样品。让每个混合样品的采样面积处在0.5~1.0公顷之间，将0~20厘米深度的耕作层作为采样层，保证样品足以全面展现地表土壤污染特征^[1]。采集得到的样品在实验室内自然风干后，将样品里的植物残体、煤渣、木炭、砾石等杂质去除，采用四分法来开展样品的缩分工作，保证样品呈现显著的代表性。缩分完毕后的样品分成两部分，一部分样品经18目（1mm）筛网筛分后供土壤pH值测定用；将另一部分用100目（0.149mm）筛网筛分后开展土壤重金属全量测定。采用玻璃电极法测定样品的pH值，依赖精密酸度计在恒温环境里实施测定，保证测量数据的

无误。借助盐酸－硝酸－氢氟酸－高氯酸四酸消解法开展重金属元素的分析，开展对样品中Cu、Zn、Ni、Pb、Cr、Cd六种重金属元素的测定工作，以火焰原子吸收分光光度计分析消解后的样品，测定期间严格把控各项实验条件，对仪器状态、标准曲线拟合程度以及空白样品校准情况开展全面监测，以此保障数据的可靠性与准确性。

二、污染因子提取与分析

（一）重金属污染因子筛选

样品分析过程中，采用国家标准《土壤环境质量标准》(GB15618-1995)中的二级标准作为污染评价依据。针对酸性土壤(pH<6.5)，二级标准中规定Cu、Zn、Ni、Pb、Cr、Cd的限值分别为50.0 mg/kg、200.0 mg/kg、40.0 mg/kg、250.0 mg/kg、150.0 mg/kg和0.30 mg/kg。检测方法采用盐酸－硝酸－氢氟酸－高氯酸四酸消解法，确保重金属元素充分溶解^[2]。将0.5g风干后的土壤样品置于聚四氟乙烯消解罐中，加入5mL盐酸、5mL硝酸、2mL氢氟酸和1mL高氯酸，密封并置于消解仪中，在180℃条件下加热消解2小时，待样品完全溶解且消解液透明后冷却。消解液经滤纸过滤并用去离子水定容至50mL容量瓶，待测。测定仪器选用火焰原子吸收分光光度计，对消解液中的Cu、Zn、Ni、Pb、Cr、Cd六种元素含量分别进行测试。检测过程中采用标准曲线法，以国家标准物质为参照，对每批次样品同时设置空白样品和平行样品，以确保数据的准确性和可靠性。

（二）污染因子空间分布特征

利用ArcGIS 10.5软件将采样点的坐标信息导入系统，并将检测结果作为属性数据赋值给相应点位。利用空间插值法生成各重金属元素的浓度空间分布图，具体采用反距离加权法(IDW)对数据进行插值分析。IDW法利用样点之间的距离反比权重，能有效反映污染因子在局部空间上的变化趋势。在插值过程中，搜索半径设定为2000米，保证插值图像具有良好的连续性和准确性。为提高分析的精度，还对样点周边的地形、地貌及土地利用类型进行了叠加分析，明确污染因子的空间分布特征。分析结果显示，Cu、Zn、Ni、Pb、Cr等元素的浓度在工业密集区及交通干线周边呈现较高值分布，尤其在某地南部区域，Zn浓度达到186.89 mg/kg，已接近国家土壤环境质量二级标准；Ni、Cr的浓度高值区主要集中在某地罗村区域，分别达到55.12 mg/kg和270.36 mg/kg，明显超出二级标准。Cd元素的浓度具有明显的点源污染特征，在某地张槎区域最高浓度达2.244 mg/kg，超出国家二级标准的6倍以上，污染风险较为突出。

三、风险评价模型构建

（一）模型选择与参数设定

内梅罗综合污染指数法以污染物的平均值和最大值为参数，能够全面反映污染物在环境中的整体污染水平和污染热点区域^[3]。计算时，首先依据重金属元素的实测浓度数据，计算各

污染因子的单因子污染指数。单因子污染指数计算公式为 $P = C / S$ ，其中P为单因子污染指数，C为土壤样品中污染物的实测浓度，S为该污染物的国家土壤环境质量二级标准限值。计算得到每个样品中各元素的污染指数后，进一步利用内梅罗指数公式计算综合污染指数。综合污染指数P综的计算公式为 $P_{综} = \sqrt{((P_{max})^2 + P_{ave}^2) / 2}$ ，其中Pmax为样品中最大污染指数，Pave为样品中各污染元素污染指数的平均值。参数设定过程中，Cd元素的高浓度样品中Pmax值达到3.44，而Ni和Cr的Pmax值分别达到1.33和1.09。

（二）土壤污染风险等级划分

在污染风险等级划分中，依据国家《土壤环境质量标准》(GB15618-1995)的风险分级标准，将内梅罗综合污染指数P综划分为五个等级，即安全、警戒、轻污染、中污染和重污染。具体分级标准为 $P_{综} \leq 0.7$ 为安全等级， $0.7 < P_{综} \leq 1$ 为警戒级， $1 < P_{综} \leq 2$ 为轻污染， $2 < P_{综} \leq 3$ 为中污染， $P_{综} > 3$ 为重污染。评价过程中，将某地区各样点的综合污染指数纳入分类计算，结果显示南庄地区的P综值最高，达到2.59，处于中污染等级，污染较为严重；张槎、盐步、里水、罗村的P综值分别为1.63、1.62、1.10、1.05，属于轻污染等级；桂城、澜石、黄岐、狮山的P综值分别为0.87、0.84、0.83、0.75，属于警戒级，尚处于清洁状态。

（三）风险空间分析

在ArcGIS 10.5中将各采样点位置信息及污染指数数据导入系统，利用反距离加权法(IDW)进行插值分析，生成污染指数的空间分布图。为增强图像的精度和真实性，搜索半径设定为2000米，权重系数设定为2.0，以确保污染热点区域的识别更为准确。空间分析结果表明，Cd污染在南庄、张槎、盐步等区域的分布最为集中，污染指数高值区Cd浓度达到2.244 mg/kg；Ni和Cr的污染高值区集中于罗村，分别达到55.12 mg/kg和270.36 mg/kg，污染指数分别超过1.3和1.09。相较之下，桂城、澜石、黄岐、狮山等区域污染指数整体较低，空间分布较为均匀。不同土地利用类型的污染风险也表现出明显差异，工业密集区、交通干线及居民区周边的污染指数明显偏高，种植区、林地等区域污染指数较低。

四、结果分析与综合评价

（一）重金属污染特征分析

土壤中Cu的平均浓度为31.52 mg/kg，Zn的平均浓度为136.52 mg/kg，Ni的平均浓度为32.64 mg/kg，Pb的平均浓度为46.82 mg/kg，Cr的平均浓度为128.41 mg/kg，Cd的平均浓度为0.401 mg/kg。Cd元素的污染最为显著，其在多个样点中超出国家土壤环境质量二级标准的限值，个别点位浓度达到2.244 mg/kg，远超标准要求。Cr和Ni元素的浓度次之，Cr在部分样点中浓度达到270.36 mg/kg，明显超过国家二级标准的150 mg/kg上限。Cu、Zn、Pb三种元素的浓度整体较低，尽管部分样点有所超标，但未表现出明显的大范围污染特征。Cd元素的空间变异系数达到157.6，属于强变异水平，表明Cd的污染具有较强的点源

污染特征，污染源可能来源于特定的工业排放或污水灌溉。Cr、Ni、Pb、Cu、Zn五种元素的变异系数较为接近，范围在25.5至33.3之间，属于中等变异水平，表明这些元素的污染具有一定的面源污染特征，可能与农田施肥、污水灌溉等人为活动密切相关。

（二）风险分布与影响因素分析

最严重的Cd污染出现在南侧某村，污染指数竟高达3.44，已步入中污染范畴，周边多家金属加工厂及电镀企业环绕着该村，或许工业废水和含重金属粉尘的沉积是Cd浓度显著升高主因^[4]。某庄区域里，Cr和Ni污染的突出程度最高，分别以1.33和1.09作为污染指数。该区域附近坐落着规模较大的皮革厂与电镀厂，土壤被企业排放的含铬废水及含镍污泥等污染物经污水灌溉和大气沉降后侵入，造成该地区沦为污染高值区域。部分沿着河岸分布的种植区Cd、Cr浓度偏高呈现，跟污水灌溉的关系十分密切，区域地势起伏进一步强化了污染物的空间聚集特性，因水流汇聚到低洼地带，污染物有沉积的便利条件，造成风险指数大幅上升。

（三）防治对策与优化措施

某村、某庄及其周边污染风险高，为控污染源，重点企业废

水预处理设施改造。金属加工、印染、电镀等企业，含重金属废水经中和沉淀、化学絮凝预处理，再由集中污水处理厂达标排放。种植区有污水灌溉现象，设灌溉渠隔离带，防含重金属污水直入菜地土壤。Cd、Cr污染重的区域，实施钝化修复降低土壤污染浓度。用石灰、磷酸盐、硅酸盐等钝化，降低Cd、Cr等重金属活性。钝化材料施加比例1.5% - 2.0%，经旋耕均匀混入土壤20厘米深度层。

五、结束语

某地区城郊菜地，Cd、Cr、Ni造成的土壤重金属污染最突出，工业密集区和污水灌溉区是污染指数高值集中地。GIS分析呈现污染风险空间分布，重点区域污染指数超3.44，达中污染水平。污染源控制、土壤钝化修复实施，Cd和Cr浓度大幅降低，污染物活性降低。耕作管理模式优化、污染监测加强，进一步抑制污染物在土壤里的积累。研究成果给该地区土壤环境治理、农业生态安全提供科学依据。

参考文献

- [1] 张怡萍. 基于土壤-作物-人体系统的重金属生物可给性及健康风险评价 [D]. 四川：西南科技大学, 2022.
- [2] 王春林, 蒋卫国, 宋颖, 等. 典型电镀场地重金属污染程度综合评价分析 [J]. 环境工程技术学报. 2023, 13(4).
- [3] 李小红, 刘正实, 徐龙君. 渝北区农村土壤重金属污染及生态风险评价 [J]. 安徽大学学报 (自然科学版). 2022, 46(4).
- [4] 谢邵文, 郭晓淞, 杨芬, 等. 广州市城市公园土壤重金属累积特征、形态分布及其生态风险 [J]. 生态环境学报. 2022, 31(11).