

基于地累积指数法的连平县林地土壤重金属污染评价*

孙冬晓 曲 屹 邹祖有 张中瑞

(广东省森林培育与保护利用重点实验室/广东省林业科学研究院, 广东 广州 510520)

摘要 应用地累积指数及聚类分析法对连平县林地土壤重金属污染状况进行分析与评价研究。从广东省土壤重金属背景值计算的地累积指数结果来看, 连平县林地土壤中存在一定的As、Cd与Hg元素污染, 污染等级均为轻度—中等, 其余5种元素未造成污染。Cd的污染频率最大, 达到100%; 其次为As与Hg, 污染频率分别为98.71%与50.32%, 其余元素按污染频率由大到小排序为Zn、Pb、Cu、Ni、Cr。连平县各乡镇(林场)地累积指数聚类结果显示, 绣缎镇和大湖镇均单独为一类, 连平县与其余地区聚为一类。绣缎镇除Pb外各重金属元素地累积指数为各地区最低, 大湖镇8项重金属元素地累积指数均处于较高水平。

关键词 林地土壤重金属; 地累积指数; 聚类分析; 污染评价; 连平县

中图分类号: S714 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053(2022)02-0147-06

Heavy Metal Pollution Evaluation of Forest Soil in Lianping based on Geo-accumulation Index Method

SUN Dongxiao QU Yi ZOU Zuyou ZHANG Zhongrui

(Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization/ Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

Abstract The geo-accumulation index and cluster analysis method were used to analyze and evaluate the soil heavy metal pollution status of forest land in Lianping. According to the results of geo-accumulation index calculated from the heavy metals background value in soil of Guangdong province, there was a certain amount of As, Cd and Hg element pollution in the forest soil of Lianping, and the pollution levels were mild-moderate pollution, and the remaining 5 elements were not polluted. Cd had the largest pollution frequency, reaching 100%; followed by As and Hg, with pollution frequencies of 98.71% and 50.32%, respectively, and the remaining elements were Zn, Pb, Cu, Ni and Cr in order of pollution frequency from largest to smallest. The results of geo-accumulation index clustering of each township (forest farm) in Lianping showed that Xiudian and Dahu were clustered into one category, respectively, and Lianping was clustered into one category with the rest area. The accumulation index of heavy metal elements in Xiudian except Pb was the lowest in each region, and the accumulation index of 8 heavy metal elements in Dahu was at a high level.

Key words soil heavy metals of forest land; geo-accumulation index; clustering; pollution evaluation; Lianping

* 基金项目: 广东省生态林业建设项目“林地土壤调查”, 广东省科技计划项目(2019-07)。

第一作者: 孙冬晓(1993—), 女, 助理工程师, 主要从事森林土壤研究, E-mail:977850359@qq.com。

通信作者: 张中瑞(1987—), 男, 工程师, 主要从事林业经济研究, E-mail:398476840@qq.com。

土壤重金属污染是污染面积广、危害性大的环境污染问题之一,重金属在土壤中具有隐蔽性、潜伏性且不易降解,重金属污染成为近年来土壤领域研究的热点问题^[1]。土壤重金属主要包括铬(Cr)、镍(Ni)、铜(Cu)、锌(Zn)、砷(As)、镉(Cd)、铅(Pb)、汞(Hg)^[2]。目前许多研究对城市^[3-4]、农田^[5-6]、江河流域^[7]的土壤重金属污染以及潜在风险进行了评价,为了解林地土壤重金属污染状况,亟需加强对林地土壤污染状况的评价研究。

Muller^[8]曾提出用地累积指数定量评价沉积物中的重金属污染程度,并规定了相应的污染程度级别划分标准,该方法同样可用来评价土壤中重金属的污染程度及分级状况^[9-11]。因此,本研究运用地累积指数法对连平县林地土壤重金属污染状况进行分析评价,以为林地土壤的污染及修复提供基础数据支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

连平县位于广东省北部,河源市西北部,属粤北九连山区。地理坐标为东经114°14'44"~114°56'51",北纬24°05'48"~24°28'08"。东邻和平县,南连东

源县、新丰县,西接翁源县,北与江西省龙南、全南两县交界,总面积2 275.08 km²,北、中部多为中低山,西南部大多是丘陵地带,东南部以谷底盆地为主,山地、丘陵、盆地占全县总面积的90%以上,是一个典型的山区县。属中亚热带季风气候,气候温和,夏冬长、春秋短,日照充足,热量丰富,降水季节明显,境内日照总时数1 615.4 h,平均气温20.4℃,降雨量1 923.3 mm。土壤类型主要为红壤、赤红壤。

1.2 数据获取

土壤样点布设采取了随机布点与专题布点相结合的方法,在连平县布设155个样点,如表1。专题布点使得土壤样点能够充分代表连平县不同坡度、坡向、土壤类型、植被类型的林地土壤。随机布点是在专题布点的基础上,使得样点在空间上能均匀分布。按照《中华人民共和国林业行业标准》(LY/T 2250-2014)森林土壤调查技术规程^[10]采集0~20 cm表层土壤。土壤样品经自然风干后,磨碎过筛,进行重金属各元素指标含量测定,如表2。

1.3 地累积指数法

地累积指数法近年来被国内用于土壤重金属污染的评价,表达式为:

表1 河源市连平县土壤样点布设

Table 1 Layout of soil sample points in Lianping, Heyuan

乡镇 Township	样点数量 / 个 Number of samples	乡镇 Township	样点数量 / 个 Number of samples	乡镇 Township	样点数量 / 个 Number of samples
元善镇	35	上坪镇	21	陂头镇	20
内莞镇	20	隆街镇	18	溪山镇	4
田源镇	4	黄牛石镇	3	忠信镇	1
高莞镇	1	大湖镇	1	绣缎镇	1
油溪镇	13	九连山林场	8	牛岭水林场	5
总计	155				

表2 土壤重金属测定方法

Table 2 Soil heavy metal determination methods

指标 Index	测定方法 Determination methods	使用仪器 Instrument
铬、镍、铜、锌	《土壤和沉积物铜、锌、铅、镍、铬的测定 火焰原子吸收分光光度法》 HJ 491-2019	原子吸收分光光度计 AA-6880
镉、铅	《土壤质量 铅、镉的测定 石墨炉原子吸收分光光度法》 GB/T 17141-1997	原子吸收分光光度计 AA-6880
砷、汞	《土壤和沉积物汞、砷、硒、铋、锑的测定 微波消解 / 原子荧光法》 HJ 680-2013	原子荧光光度计 BAF-2000

所有元素均存在1级污染。

2.2 连平县各乡镇(林场)林地土壤重金属地累积指数值及分级比较

计算连平县各地区(乡镇/林场)样点地累积指数平均值,显示连平县各区域重金属元素的污染情况,如表6、表7。其中各地区Zn、Pb、Hg

均为无污染;大湖镇存在1级Cr、Ni、As、Cd污染;高莞镇存在2级As和1级Cd污染,忠信镇存在1级Cu、As、Cr污染,其他地区包括陂头镇、隆街镇、内莞镇、上坪镇、田源镇、溪山镇、绣缎镇、油溪镇、黄牛石镇、元善镇、九连山林场、牛岭水林场)均存在1级As、Cd污染。

表6 连平县各乡镇(林场)林地土壤重金属地累积指数值

Table 6 Geo-accumulation index of heavy metals in towns (forest farms) forest land soil, Lianping

乡镇/林场 Towns / Forest farms	地累积指数 Geo-accumulation index							
	铬 Cr	镍 Ni	铜 Cu	锌 Zn	砷 As	镉 Cd	铅 Pb	汞 Hg
陂头镇	-1.37	-1.26	-0.70	-0.66	0.61	0.71	-0.71	-0.01
大湖镇	0.24	0.04	-0.57	-0.60	0.62	0.89	-0.66	0.00
高莞镇	-1.33	-1.37	-0.37	-0.75	1.01	0.89	-0.85	-0.13
隆街镇	-1.37	-1.26	-0.70	-0.66	0.61	0.71	-0.71	-0.01
内莞镇	-1.37	-1.26	-0.70	-0.66	0.61	0.71	-0.71	-0.01
上坪镇	-1.37	-1.26	-0.68	-0.64	0.59	0.70	-0.72	-0.03
田源镇	-1.37	-1.27	-0.70	-0.65	0.63	0.71	-0.71	0.00
溪山镇	-1.37	-1.26	-0.67	-0.63	0.58	0.69	-0.75	-0.06
绣缎镇	-1.62	-1.68	-1.51	-1.13	0.38	0.46	-0.84	-0.44
忠信镇	-1.08	-1.46	0.01	-0.64	0.84	0.46	-0.41	0.20
油溪镇	-1.35	-1.24	-0.64	-0.60	0.56	0.68	-0.76	-0.11
黄牛石镇	-1.37	-1.26	-0.70	-0.66	0.61	0.71	-0.71	-0.01
元善镇	-1.34	-1.23	-0.63	-0.59	0.55	0.67	-0.77	-0.12
九连山林场	-1.37	-1.26	-0.70	-0.66	0.61	0.71	-0.71	-0.01
牛岭水林场	-1.37	-1.26	-0.69	-0.65	0.60	0.70	-0.72	-0.02

表7 连平县各乡镇(林场)林地土壤重金属地累积指数污染等级

Table7 Geo-accumulation index classification of heavy metals in towns (forest farms) forest land soil, Lianping

乡镇/林场 Towns / Forest farms	污染等级 Class of pollution							
	铬 Cr	镍 Ni	铜 Cu	锌 Zn	砷 As	镉 Cd	铅 Pb	汞 Hg
陂头镇	0	0	0	0	1	1	0	0
大湖镇	1	1	0	0	1	1	0	0
高莞镇	0	0	0	0	2	1	0	0
隆街镇	0	0	0	0	1	1	0	0
内莞镇	0	0	0	0	1	1	0	0
上坪镇	0	0	0	0	1	1	0	0
田源镇	0	0	0	0	1	1	0	0
溪山镇	0	0	0	0	1	1	0	0
绣缎镇	0	0	0	0	1	1	0	0
忠信镇	0	0	1	0	1	1	0	0
油溪镇	0	0	0	0	1	1	0	0
黄牛石镇	0	0	0	0	1	1	0	0
元善镇	0	0	0	0	1	1	0	0
九连山林场	0	0	0	0	1	1	0	0
牛岭水林场	0	0	0	0	1	1	0	0

2.3 连平县各乡镇（林场）林地土壤重金属地累积指数聚类分析

聚类分析是进行元素间或区域间环境质量比较研究的重要手段^[11]，能够分析元素间或区域间土壤重金属污染状况的分布特征^[11-13]。本次研究

采用 SPSS 软件的群集分析功能，使用连平县各乡镇（林场）地累积指数平均值进行系统聚类形成树状图，如图 1。树状图显示，在组间距离 5~10 时，隆街镇、内莞镇、陂头镇、黄牛石镇、九连山林场、牛岭水林场、上坪镇、田源镇、溪山镇、连平县、油溪镇、元善镇、高莞镇、忠信镇、绣缎镇、大湖镇

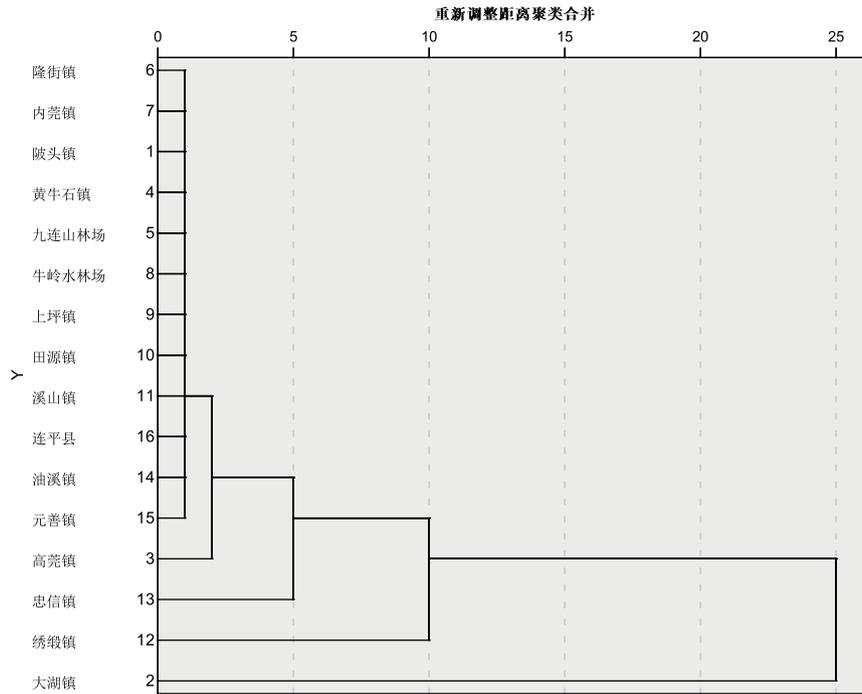


图 1 连平县各乡镇（林场）土壤重金属地累积指数聚类分析

Fig. 1 Cluster analysis of soil heavy metal geo-accumulation index of towns (forest farms) in Lianping

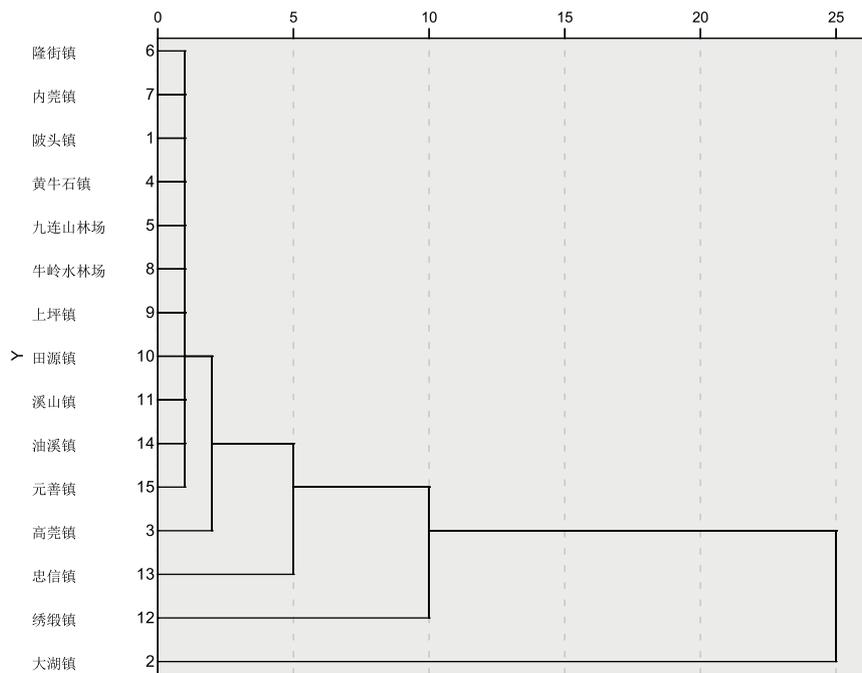


图 2 连平县与各乡镇（林场）土壤重金属地累积指数的数聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis of soil heavy metal geo-accumulation index in Lianping and towns (forest farms)

油溪镇、元善镇、高莞镇、忠信镇聚为一类，绣缎镇单独为一类、大湖镇单独为一类。

以各区域地累积指数平均值为连平县地累积指数，参与系统聚类形成树状图，如图2。在组间距离5~10时，连平县与隆街镇、内莞镇、陂头镇、黄牛石镇、九连山林场、牛岭水林场、上坪镇、田源镇、溪山镇、油溪镇、元善镇、高莞镇、忠信镇聚为一类，绣缎镇单独为一类、大湖镇单独为一类。

3 结论与讨论

3.1 地累积指数法对连平县林地土壤重金属污染指数分级结果以及各污染等级的分布频率来看，连平县林地土壤存在As、Cd与Hg元素污染，污染等级均为1级污染（轻度—中等污染），其余5种元素包括Zn、Pb、Cu、Ni、Cr未造成污染。其中Cd的污染频率最大，达到100%；其次为As与Hg，污染频率分别为98.71%与50.32%；其余元素污染频率由大到小依次为Zn、Pb、Cu、Ni、Cr。

3.2 连平县各乡镇（林场）的污染元素、污染程度又有明显区别。其中大湖镇存在1级Cr、Ni、As、Cd污染；高莞镇存在2级As和1级Cd污染，忠信镇存在1级Cu、As、Cr污染，其他地区均存在1级As、Cd污染。另外，各乡镇（林场）的林地土壤重金属Zn、Pb、Hg均为无污染。

3.3 各区域地累积指数系统聚类结果显示，绣缎镇单独为一类、大湖镇单独为一类，连平县与其余地区归为一类。其中，绣缎镇除铅外各项元素地累积指数为各区域最低，大湖镇各项元素地累积指数均处于较高水平。因此认为大湖镇为污染相对严重区域、绣缎镇为污染程度相对较低区域。整体上看连平县各乡镇（林场）存在多种元素污染风险，但并不严重。

3.4 连平县以铁矿开采为主要工业生产内容，设工业邨两个，工业园一个，物流园一个。高彦鑫^[14]对密云水库上游金属矿区重金属污染进行风险评估，发现铁矿区土壤Hg、Cd元素污染程度较高；王丹丹^[15]对五台山铁矿区重金属污染情况

进行风险评价，发现铁矿区存在Hg、As、Cd元素富集。因此认为连平县内Cd、Hg、As元素污染源可能为铁矿开采过程中的排污行为，排污物包括尾矿、矿渣以及废水等。

参考文献

- [1] 范拴喜, 甘卓亭, 李美娟, 等. 土壤重金属污染评价方法进展. 中国农学通报, 2010, 26(17): 310-315.
- [2] 洗丽铤, 梁登裕, 冯嘉仪, 等. 重金属污染土壤的园林植物修复技术及其研究进展[J]. 林业与环境科学, 2021, 37(3): 124-132.
- [3] 李一蒙, 马建华, 刘德新, 等. 开封城市土壤重金属污染及潜在生态风险评价[J]. 环境科学, 2015, 36(3): 1037-1044.
- [4] 岳玲玲, 李晋昌. 太原市土壤重金属污染及其潜在生态风险评价[J]. 环境科学学报, 2011, 31(6): 1285-1293.
- [5] 陈涛, 常庆瑞, 刘景, 等. 长期灌溉农田土壤重金属污染及潜在风险评价[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(11): 86-93.
- [6] 魏秀国, 何江华, 陈俊坚, 等. 广州市蔬菜地土壤重金属污染状况调查及评价[J]. 土壤与环境, 2002(3): 252-254.
- [7] 刘春早, 黄益宗, 雷鸣, 等. 湘江流域土壤重金属污染及其生态环境风险评价. 环境科学, 2012, 33(1): 260-265.
- [8] MULLER G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine river[J]. Geojournal, 1969, 2(3): 108.
- [9] 卢瑛, 龚子同, 张甘霖. 南京城市土壤Pb的含量及其化学形态[J]. 环境科学学报, 2002(2): 156.
- [10] 国家林业局. 森林土壤调查技术规程: LY/T 2250-2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [11] 贾振邦, 周华, 赵智杰, 等. 应用地累积指数法评价太子河沉积物中重金属污染[J]. 北京大学学报, 2000, 36(4): 525.
- [12] 罗鹏飞, 江海斌, 谭尹豪, 等. 基于主成分分析与系统聚类的森林健康评价研究[J]. 林业与环境科学, 2021, 37(5): 69-75.
- [13] 梅长林, 周家良. 实用统计方法[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [14] 高彦鑫. 北京密云水库上游金属矿区土壤中重金属污染及风险评价[D]. 北京: 首都师范大学, 2012.
- [15] 王丹丹. 五台山铁矿开采区土壤重金属污染及生态风险评价[D]. 太原: 山西师范大学, 2018.