

◆生态环境◆

基于文献分析的贵州省土壤-刺梨系统重金属分布特征及质量评价^{*}杨赏赏¹, 黎晓星¹, 周颖², 周鑫伟², 张珍明³, 张家春^{1,2,*}

(1. 贵州中医药大学, 贵州贵阳 550025; 2. 贵州省植物园, 贵州贵阳 550004; 3. 贵州大学资源与环境工程学院, 贵州贵阳 550025)

摘要: 为了解贵州省土壤-刺梨(*Rosa roxburghii* Tratt.) 系统中重金属污染状况, 保障刺梨品质及产业可持续发展, 本研究通过文献分析, 对贵州省不同地区、不同土壤类型下土壤-刺梨系统中 5 种重金属(Pb、Cd、Cr、As、Hg)的分布特征进行梳理, 并依据相关标准对其污染状况进行评价。结果表明: (1) 不同地区、不同土壤类型下, 刺梨果和土壤中各重金属分布存在差异; (2) 土壤中 Cr 含量极显著高于其他重金属, 刺梨果中 Pb、Cr 含量显著高于其他重金属, 刺梨果对 Cd 的富集作用显著高于其他重金属; (3) 遵义市、盘州市土壤重金属污染及毕节市刺梨果重金属污染与其他地区相比较为严重, 黄壤、红棕壤中重金属污染及沙壤中刺梨果重金属污染较为严重; (4) 相关性分析表明, 土壤中重金属元素间存在多元交互作用。综上所述, 贵州省土壤-刺梨系统中重金属污染呈现明显地域和土壤类型差异; 土壤以 Cr 污染为主, 刺梨果则 Pb、Cr 含量较高且对 Cd 富集能力强。

关键词: 贵州省; 土壤; 刺梨; 重金属

中图分类号: S567.9, X53 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2025)02-0204-09

DOI: 10.13657/j.cnki.gxkxyxb.20250722.006

刺梨(*Rosa roxburghii* Tratt.) 为蔷薇科(Rosaceae)蔷薇属(*Rosa* L.) 多年生野生落叶灌木, 微酸微涩, 香气浓郁, 质地脆嫩, 是我国药食同源的第三代名优水果。刺梨的花、果、叶、根、种子均可入药, 具有健胃、助消化、滋补的功效, 根皮具有止泻的功效^[1]。此外, 大量科学研究表明, 刺梨含有多种丰富的营养成分和活性成分, 如有机酸、超氧化物歧化酶(SOD)、黄

酮、多酚、多糖、三萜等, 具有促进胃肠消化、调节免疫功能、延缓衰老、抗癌、抗辐射、抗动脉粥样硬化、保护器官等生物学功能^[2]。鉴于刺梨长期处于野生或半野生状态, 在国际市场上供不应求, 贵州省正积极推动其发展为全省“十二大重点产业”之一^[3]。

刺梨作为一种环境适应性强、栽培难度较低的作物, 具有抗旱、耐贫瘠、易繁殖以及防治水土流失等优

收稿日期: 2024-11-07

修回日期: 2025-02-22

^{*} 贵州省林业科研资助项目(黔林科合[2020]05号)和贵州省高层次创新型人才培养项目(黔科合平台人才[2016]5666)资助。

【第一作者简介】

杨赏赏(2001—), 女, 在读硕士研究生, 主要从事中药学研究, E-mail: 15208530847@163.com。

【**通信作者简介】

张家春(1988—), 男, 教授, 主要从事特色经济植物保育与利用研究, E-mail: zhangjiachun198806@163.com。

【引用本文】

杨赏赏, 黎晓星, 周颖, 等. 基于文献分析的贵州省土壤-刺梨系统重金属分布特征及质量评价[J]. 广西科学院学报, 2025, 41(2): 204-212.

YANG S S, LI X X, ZHOU Y, et al. Distribution Characteristics and Quality Evaluation of Heavy Metals in Soil-*Rosa roxburghii* Tratt. System in Guizhou Province Based on Literature Analysis [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2025, 41(2): 204-212.

良特性。贵州省作为典型的喀斯特地貌区域,广泛引种和培育刺梨,不仅推动了刺梨产业的发展,还实现了生态、经济和社会效益的协同提升^[4]。目前,贵州省的刺梨产品已广泛应用于食品、医药、保健品及日化用品等领域,市场前景广阔^[5]。截至 2023 年,贵州省刺梨种植面积已达 14 万公顷,产量超过 35 万吨,产值达 2.505 亿美元,规模稳居全国首位,是刺梨种植第一大省^[6]。然而,贵州喀斯特地区位于世界三大喀斯特发育区之一的中国南方喀斯特,生态脆弱性突出。该地区土壤成土能力差,土层较薄,一旦受到污染,容易造成石漠化^[7]。近年来,种植户为提高农产品的产量和产值,盲目施用化肥和农药,加之矿山开采等活动,导致农产品重金属含量增加^[8]。研究表明,喀斯特地区因其特殊的地貌和成土母质,土壤重金属含量显著高于非喀斯特地区^[9]。例如,杨奇勇等^[10]对云南省文山壮族苗族自治州广南县典型喀斯特区域的研究发现,该区土壤重金属含量不仅明显高于非喀斯特区域,而且各元素间存在显著相关性。因此,土壤重金属污染可能成为制约贵州省刺梨产业发展的关键因素。

为了解贵州省刺梨种植区的土壤重金属污染状况,本研究对土壤-刺梨系统中的 5 种重金属(Pb、Cd、Cr、As、Hg)在不同地区、不同土壤类型中的含量进行调查,依据相关标准对其污染情况进行评价,并对土壤-刺梨系统中的 5 种重金属进行相关性分析,探讨其可能的影响因素,旨在为贵州省刺梨产业的可持续发展提供科学依据。同时,本研究可为农民合理施肥和土壤管理提供指导,并为相关部门制定污染防治

治政策提供参考,从而降低重金属污染对环境和人类健康的潜在威胁。

1 材料与方法

1.1 数据来源

1.1.1 文献搜集

通过中国知网、X-MOL 学术平台检索相关文献,对贵州省刺梨生长土壤重金属含量进行统计,搜集到 7 篇文献,共计 790 个土壤样品。对贵州省不同地区刺梨生长土壤中的 5 种重金属含量进行统计,搜集到 2 篇文献,共计 606 个土壤样品(遵义市 6 个、贵阳市 19 个、毕节市 23 个、盘州市 558 个)。对贵州省不同土壤类型各重金属含量进行统计,搜集到 3 篇文献,共计 606 个土壤样品(黄壤 25 个、红壤 10 个、石灰土 13 个、红棕壤 558 个)。对贵州省刺梨果中各重金属的含量进行统计,搜集到 9 篇文献,共计 228 个刺梨果样品。对贵州省不同地区刺梨果中重金属含量进行统计,搜集到 4 篇文献,共计 90 个刺梨果样本。对贵州省不同土壤类型刺梨种植地刺梨果中重金属含量进行统计,搜集到 4 篇文献,共计 90 个刺梨果样本。此外,对贵州省刺梨果对各重金属的富集系数进行统计,搜集到 6 篇文献,共计 206 个刺梨果样品。

1.1.2 污染评价

采用单因素污染指数和内梅罗综合污染指数评价贵州省土壤及刺梨果重金属污染情况^[11]。污染分级标准见表 1。

表 1 污染分级标准

Table 1 Classification standard of pollution

序号 No.	单因素污染指数 P_i	内梅罗综合污染指数 $P_{\text{综}}$	污染等级 Pollution grade	污染水平 Pollution level
1	$P_i \leq 0.7$	$P_{\text{综}} \leq 0.7$	Security	Clean
2	$0.7 < P_i \leq 1.0$	$0.7 < P_{\text{综}} \leq 1.0$	Cordon	Still clean
3	$1.0 < P_i \leq 2.0$	$1.0 < P_{\text{综}} \leq 2.0$	Light pollution	If the soil pollution exceeds the background value, it is regarded as mild pollution, and the crops begin to be polluted
4	$2.0 < P_i \leq 3.0$	$2.0 < P_{\text{综}} \leq 3.0$	Moderate pollution	Soil and crops are moderately polluted
5	$P_i > 3.0$	$P_{\text{综}} > 3.0$	Heavy pollution	Soil and crops have been seriously polluted

(1) 单因素污染指数

$$P_i = C_i / S_i,$$

式中: P_i 为污染物 i 的污染指数, C_i 为污染物 i 的实测含量, S_i 为污染物 i 的评价标准。若 $P_i \leq 1.0$, 表明未受到人为污染; 若 $P_i > 1.0$, 表明受到人为污染, 且指数越大, 污染物累积污染程度越高。

(2) 内梅罗综合污染指数

$$P_{\text{综}} = \sqrt{\frac{(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i^2) + P_{i(\max)}^2}{2}},$$

式中: $P_{\text{综}}$ 为内梅罗综合污染指数, $P_{i(\max)}$ 为单项污染

物的最大污染指数, n 代表重金属的种类数。

土壤重金属污染等级以《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 15618—2018)^[12]中的土壤污染风险筛选值为参比;刺梨果重金属污染等级以《药用植物及制剂外经贸绿色行业标准》(WM/T 2—2004)^[13]中规定的刺梨果重金属限量值为参比。最后对土壤-刺梨系统中的 5 种重金属进行相关性分析。

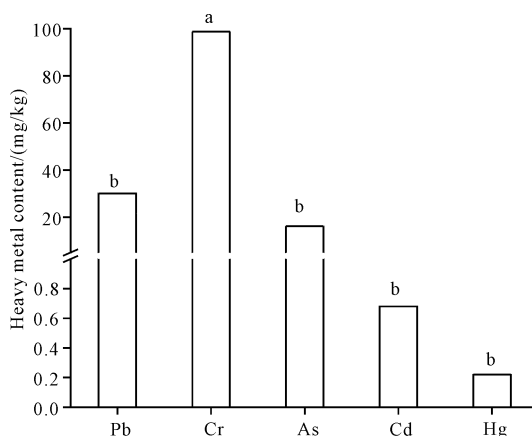
1.2 数据处理与分析

采用 Microsoft Excel 2019 软件整理数据,采用 SPSS 26.0 软件进行统计分析,采用单因素方差分析(One-way ANOVA)进行差异显著性分析($P < 0.05$)。采用 Origin 2024 软件绘图,并用该软件的 Correlation Plot 插件进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 贵州省土壤-刺梨系统中重金属含量

对贵州省土壤中 5 种重金属(Cr、Pb、As、Cd、Hg)的含量进行调查^[11,14-19],结果见图 1。土壤中各重金属含量大小排序为 $Cr > Pb > As > Cd > Hg$,土壤中重金属 Cr 含量显著高于 Pb、As、Cd、Hg($P < 0.05$),而重金属 Pb、As、Cd、Hg 的含量无显著差异($P > 0.05$)。对比贵州省土壤背景值(Pb = 35.20 mg/kg、Cd = 0.66 mg/kg、Cr = 95.50 mg/kg、Hg = 0.11 mg/kg、As = 20.00 mg/kg),发现重金属 Hg、Cd、Cr 超出土壤背景值,分别超出 100%、3.03%、3.37%。

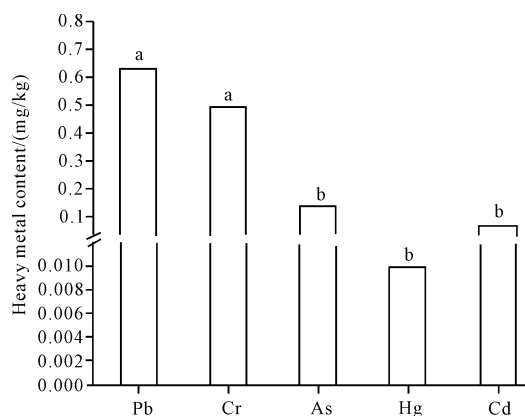


Different small letters indicate significant differences ($P < 0.05$).

图 1 贵州省刺梨生长土壤重金属含量

Fig. 1 Heavy metal content in soil of *Rosa roxburghii* Tratt, planting field in Guizhou Province

对贵州省刺梨果中 5 种重金属(Cr、Pb、As、Cd、Hg)的含量进行统计^[11,14-18,20-22],结果见图 2。刺梨果中各重金属含量大小排序为 $Pb > Cr > As > Cd > Hg$,刺梨果中不同重金属之间的含量差异具有统计学意义;刺梨果中 Pb、Cr 含量显著高于其他重金属($P < 0.05$),但二者之间无显著差异。刺梨果中 Pb 的含量分别是 Cr、As、Cd、Hg 的 1.29、4.85、10.50、63.00 倍。



Different small letters indicate significant differences ($P < 0.05$).

图 2 贵州省刺梨果中重金属含量

Fig. 2 Heavy metal content in *Rosa roxburghii* Tratt, fruits in Guizhou Province

2.2 贵州省不同地区土壤-刺梨系统重金属含量

对贵州省不同地区土壤中 5 种重金属(Cr、Pb、As、Cd、Hg)的含量进行统计^[17-18],结果见表 2。遵义市、毕节市、盘州市土壤重金属含量大小排序一致,均为 $Cr > Pb > As > Cd > Hg$,贵阳市土壤重金属含量表现为 $Cr > Pb > As > Hg > Cd$ 。不同地区土壤中 Pb 含量大小排序为毕节市 > 盘州市 > 贵阳市 > 遵义市,毕节市 Pb 含量分别是遵义市、贵阳市、盘州市的 1.29、1.26、1.05 倍;Cd 含量大小排序为盘州市 > 遵义市 > 贵阳市 > 毕节市,盘州市 Cd 含量分别是遵义市、贵阳市、毕节市的 4.45、9.21、9.92 倍;Cr 含量大小排序为盘州市 > 遵义市 > 毕节市 > 贵阳市,盘州市 Cr 含量分别是遵义市、贵阳市、毕节市的 3.17、4.99、4.19 倍;Hg 含量大小排序为盘州市 > 贵阳市 > 遵义市 > 毕节市,盘州市 Hg 含量分别是贵阳市、遵义市、毕节市的 1.36、1.88、2.50 倍;As 含量大小排序为盘州市 > 贵阳市 > 毕节市 > 遵义市,盘州市 As 含量分别是遵义市、贵阳市、毕节市的 2.45、2.22、2.27 倍。对比贵州省土壤背景值,发现盘州市 5 种重金属均超出背景值。

表 2 贵州省不同地区刺梨生长土壤重金属含量

Table 2 Heavy metal content of *Rosa roxburghii* Tratt. planting soil in different region of Guizhou Province Unit:mg/kg

地区 Region	重金属含量 Heavy metal content				
	Pb	Cd	Cr	Hg	As
Zunyi City	28.74	0.29	69.09	0.16	9.14
Guiyang City	29.59	0.14	43.86	0.22	10.11
Bijie City	37.15	0.13	52.27	0.12	9.89
Panzhou City	35.49	1.29	218.95	0.30	22.41
Mean	32.74	0.46	96.04	0.20	12.89
Background value of Guizhou Province	35.20	0.66	95.50	0.11	20.00

对贵州省不同地区刺梨果中 5 种重金属 (Cr、Pb、As、Cd、Hg) 的含量进行统计^[11,17,22-23], 结果见表 3。贵阳市刺梨果重金属含量大小排序为 Cr>Pb>As>Cd>Hg, 盘州市为 Cr>Pb>As=Cd>Hg, 毕节市为 Pb>Cr>Cd>As, 遵义市为 Cr>Cd, 黔东南为 Cr>Hg。不同地区刺梨果中 Pb 含量大小排序为毕节市>贵阳市>盘州市, 毕节市刺梨果中 Pb 含量分别是贵阳市、盘州市的 2.38、12.40 倍; Cd 含量大小排序为毕节市>贵阳市>遵义市>盘州市, 毕节市刺梨果中 Cd 含量分别是贵阳市、遵义市、盘州市的 6.40、16.00、32.00 倍; Cr 含量大小排序为贵阳市>遵义市>毕节市>黔东南>盘州市, 贵阳市刺梨果中 Cr 含量分别是遵义市、毕节市、黔东南、盘州市的 1.05、1.40、1.43、4.50 倍; As 含量大小排序为毕节市>贵阳市>盘州市, 毕节市刺梨果中 As 含量分别是贵阳市、盘州市的 1.29、22.00 倍; Hg 含量大小排序为贵阳市>黔东南=盘州市。

表 3 贵州省不同地区刺梨果重金属含量

Table 3 Heavy metal content of *Rosa roxburghii* Tratt. fruits in different region of Guizhou Province Unit:mg/kg

地区 Region	重金属含量 Heavy metal content				
	Pb	Cd	Cr	As	Hg
Zunyi City		0.02	0.60		
Guiyang City	0.26	0.05	0.63	0.17	0.01
Bijie City	0.62	0.32	0.45	0.22	
Panzhou City	0.05	0.01	0.14	0.01	0.00
Qiandongnan			0.44		0.00

2.3 贵州省不同土壤类型土壤-刺梨系统重金属含量

对贵州省不同土壤类型中 5 种重金属 (Cr、Pb、

As、Cd、Hg) 的含量进行统计^[14,17-18], 结果见表 4。黄壤、石灰土、红棕壤中各重金属含量大小排序一致, 均为 Cr>Pb>As>Cd>Hg, 红壤中各重金属含量大小排序为 Pb>Cr>As>Hg>Cd。Pb 含量大小排序为石灰土>红棕壤>黄壤>红壤; Cd、Hg 含量大小排序为红棕壤>黄壤>石灰土>红壤; Cr、As 含量大小排序为红棕壤>石灰土>黄壤>红壤。黄壤中重金属 Hg、石灰土中重金属 Pb、Hg 和红棕壤中重金属 Pb、Cd、Cr、Hg、As 均超出贵州省土壤背景值。

表 4 贵州省不同土壤类型中土壤重金属含量

Table 4 Heavy metal content in different soil type in Guizhou Province Unit:mg/kg

土壤类型 Soil type	重金属含量 Heavy metal content				
	Pb	Cd	Cr	Hg	As
Yellow soil	31.18	0.36	69.62	0.16	13.08
Red soil	31.01	0.05	29.55	0.11	5.73
Limestone soil	43.28	0.21	74.98	0.12	14.04
Red-brown soil	35.49	1.29	218.95	0.30	22.41
Mean	35.24	0.48	98.28	0.17	13.82
Background value of Guizhou Province	35.20	0.66	95.50	0.11	20.00

对贵州省不同土壤种植下刺梨果中的 5 种重金属 (Cr、Pb、As、Cd、Hg) 含量进行统计^[11,17,22-23], 结果见表 5。黄壤中刺梨果重金属含量大小排序为 Cr>Pb>As>Cd>Hg, 沙壤中为 Pb>Cr>Cd>As, 石灰土中为 Cr>Hg, 红棕壤中为 Cr>Pb>Cd=As>Hg。不同土壤种植下刺梨果中重金属 Pb、Cd、As 含量大小排序均为沙壤>黄壤>红棕壤, 沙壤 Pb 含量分别是黄壤、红棕壤的 2.38、12.40 倍, 沙壤 Cd 含量分别是黄壤、红棕壤的 8.00、32.00 倍, 沙壤 As 含量分别是黄壤、红棕壤的 1.29、22.00 倍; Cr 含量大小

表 5 贵州省不同土壤类型中刺梨果重金属含量

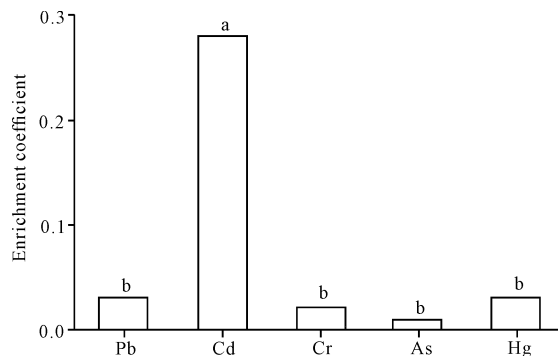
Table 5 Heavy metal content in different soil type of *Rosa roxburghii* Tratt. fruits in Guizhou Province Unit:mg/kg

土壤类型 Soil type	重金属含量 Heavy metal content				
	Pb	Cd	Cr	As	Hg
Yellow soil	0.26	0.04	0.62	0.17	0.01
Sandy loam	0.62	0.32	0.45	0.22	
Limestone soil			0.44		0.00
Red-brown soil	0.05	0.01	0.14	0.01	0.00

排序为黄壤>沙壤>石灰土>红棕壤,黄壤 Cr 含量分别是沙壤、石灰土、红棕壤的 1.38、1.41、4.43 倍;Hg 含量表现为黄壤>石灰土=红棕壤。

2.4 贵州省刺梨果中重金属富集特征

对贵州省刺梨果中 5 种重金属富集系数进行统计^[14-18,22],结果见图 3。刺梨果对各重金属的富集系数大小排序为 Cd>Pb=Hg>Cr>As,刺梨果对 Cd 的富集显著高于其他重金属($P<0.05$),而重金属 Pb、Hg、Cr、As 含量无显著差异($P>0.05$)。Cd 的富集系数分别是 Pb、Hg、Cr、As 的 9.33、9.33、14.00、28.00 倍。可见,刺梨果对不同元素有选择吸



Different small letters indicate significant differences ($P<0.05$).

图 3 贵州省刺梨果中各重金属的富集系数

Fig. 3 Enrichment coefficients of heavy metals in *Rosa roxburghii* Tratt. fruits in Guizhou Province

表 6 贵州省土壤重金属污染评价

Table 6 Evaluation of soil heavy metal pollution in soil in Guizhou Province

项目 Item		P_i					$P_{\text{综}}$
		Pb	Cd	Cr	Hg	As	
Region	Zunyi City	0.24	0.97	0.35	0.07	0.30	0.77
	Guiyang City	0.25	0.47	0.22	0.09	0.34	0.40
	Bijie City	0.31	0.43	0.26	0.05	0.33	0.37
	Panzhou City	0.39	4.30	1.46	0.17	0.56	3.37
Soil type	Yellow soil	0.29	1.21	0.40	0.07	0.38	0.96
	Sandy loam	0.26	0.17	0.15	0.05	0.19	0.22
	Limestone soil	0.36	0.70	0.37	0.05	0.47	0.59
	Red-brown soil	0.39	4.30	1.46	0.17	0.56	3.37
GB 15618—2018	5.5<pH value≤6.5	90	0.3	150	1.8	40	
	6.5<pH value≤7.5	120	0.3	200	2.4	30	

2.5.2 贵州省刺梨果重金属污染评价

贵州省刺梨果重金属污染评价结果^[11,17,22-23]见表 7。参照 WM/T 2—2004^[13],从单因素污染指数

来看,刺梨果重金属的富集能力存在差异。

2.5 贵州省土壤-刺梨系统中重金属污染评价

2.5.1 贵州省刺梨生长土壤重金属污染评价

贵州省刺梨生长土壤重金属污染评价结果^[14,17-18]见表 6。参照 GB 15618—2018^[12],从单因素污染指数来看,贵州省各地区刺梨种植地土壤中 5 种重金属除遵义市 Cd 的 $P_i=0.97(0.7<P_i\leq 1.0)$ 处于警戒线等级,以及盘州市 Cd 的 $P_i=4.30(P_i>3.0)$ 处于重污染等级、Cr 的 $P_i=1.46(1.0<P_i\leq 2.0)$ 处于轻污染等级外,其余均处于安全等级;从内梅罗综合污染指数来看,遵义市土壤 $P_{\text{综}}=0.77(0.7<P_{\text{综}}\leq 1.0)$,处于警戒线等级;盘州市土壤 $P_{\text{综}}=3.37(P_{\text{综}}>3.0)$,处于重污染等级。综合分析,Cd 是影响遵义市和盘州市土壤质量的首要因素。从单因素污染指数来看,贵州省不同土壤中 5 种重金属除黄壤 Cd 的 $P_i=1.21(1.0<P_i\leq 2.0)$ 处于轻污染等级,以及红棕壤 Cd 的 $P_i=4.30(P_i>3.0)$ 处于重污染等级、Cr 的 $P_i=1.46(1.0<P_i\leq 2.0)$ 处于轻污染等级外,其余均处于安全等级;从内梅罗综合指数来看,黄壤 $P_{\text{综}}=0.96(0.7<P_{\text{综}}\leq 1.0)$,处于警戒线等级;红棕壤 $P_{\text{综}}=3.37(P_{\text{综}}>3.0)$,处于重污染等级。综合分析,黄壤和红棕壤中 Cd 是影响土壤质量的首要因素。

来看,贵州省各地区刺梨果中 5 种重金属除毕节市 Cd 的 $P_i=1.07(1.0<P_i\leq 2.0)$ 处于轻污染等级外,其余均处于安全等级;从内梅罗综合指数来看,毕节

市刺梨果 $P_{\text{综}}=0.88(0.7<P_{\text{综}}\leqslant 1.0)$ 处于警戒线等级。可见,Cd 是影响毕节市刺梨果质量的首要因素。从单因素污染指数来看,贵州省不同土壤种植下,刺梨果中 5 种重金属除沙壤中 Cd 的 $P_i=1.07(1.0<$
表 7 贵州省刺梨果重金属污染评价

Table 7 Pollution evaluation of heavy metals in *Rosa roxburghii* Tratt. fruits in Guizhou Province

项目 Item		P_i					$P_{\text{综}}$
		Pb	Cd	Cr	As	Hg	
Region	Guiyang City	0.05	0.17		0.09	0.05	0.14
	Zunyi City		0.07				
	Bijie City	0.12	1.07		0.11		0.88
	Qiandongnan					0.00	
	Panzhou City	0.01	0.03		0.01	0.00	0
Soil type	Yellow soil	0.05	0.13		0.09	0.05	0.14
	Sandy loam	0.12	1.07		0.11		0.88
	Limestone soil					0.00	
	Red brown soil	0.01	0.03		0.01	0.00	0
WM/T 2-2004		5	5	0.3		2.0	0.2

2.6 贵州省土壤-刺梨系统中重金属相关性分析

对贵州省土壤-刺梨系统中的重金属进行相关性分析^[11,14-22],结果见图 4。土壤-刺梨系统中 Pb 与 Cd 呈显著正相关($P<0.05$),Pb 与 Cr、As、Hg,Cd 与 Cr、As、Hg,Cr 与 As、Hg,As 与 Hg 之间呈极显著正相关($P<0.01$)。说明土壤中重金属元素之间的相关性不仅限于单一元素,还体现在多元素间的交互作用。

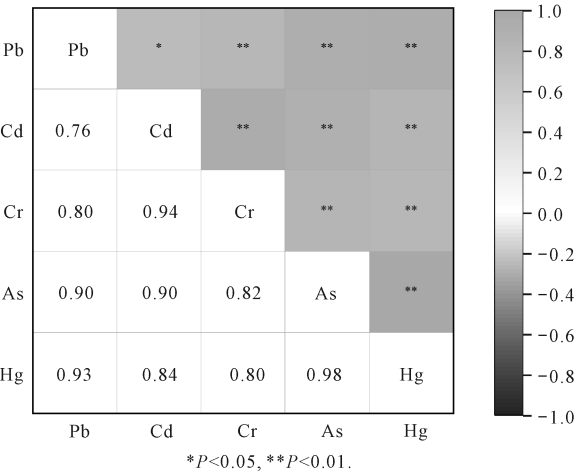


图 4 贵州省土壤-刺梨系统中重金属相关性分析

Fig. 4 Correlation analysis of heavy metals in soil-*Rosa roxburghii* Tratt. system in Guizhou Province

3 讨论

刺梨的花、叶、根茎、种子及果渣均蕴含丰富的活

$P_i\leqslant 2.0$)处于轻污染等级外,其余均处于安全等级;从内梅罗综合指数来看,沙壤种植下刺梨果的 $P_{\text{综}}=0.88(0.7<P_{\text{综}}\leqslant 1.0)$,处于警戒线等级。综上所述,沙壤中 Cd 是影响刺梨果质量的首要因素。

性成分,展现出多元化的食用与药用价值,开发潜力巨大^[24]。有研究指出,刺梨在清除重金属污染方面表现卓越,能有效减轻重金属对人体的毒性影响,用于对抗重金属引起的副作用^[25]。本研究结果表明土壤、刺梨果中各重金属的含量有差异,土壤中各重金属含量大小排序为 $\text{Cr}>\text{Pb}>\text{As}>\text{Cd}>\text{Hg}$,Pb 和 As 的含量没有超过贵州省土壤背景值,但仍可能对环境 和人类健康构成潜在风险。对于超出土壤背景值的 Cd、Cr 和 Hg,建议采取措施来降低这些重金属的环境风险。目前主要采用的土壤修复方法包括物理修复、化学修复和生物修复。其中,生物修复又分为植物修复和微生物修复,尤其适用于轻度和中度镉污染的农田生态系统^[26]。贵州省刺梨果中各重金属含量大小排序为 $\text{Pb}>\text{Cr}>\text{As}>\text{Cd}>\text{Hg}$ 。Pb 作为毒性较大的重金属,其在刺梨果中的高含量可能对消费者健康构成威胁。因此,应对刺梨果的种植生产过程进行深入研究,找出 Pb 污染源,并采取相应的控制措施。

土壤中重金属的含量对农作物重金属成分的积累至关重要,其浓度直接决定了农产品的品质。然而,土壤与农作物之间重金属的迁移受到众多因素的复合影响,诸如作物种类,重金属的吸收部位,土壤中重金属的形态、污染程度,以及农作物对不同重金属的内聚过程和机理差异性^[27-28]。相关性分析表明,土壤-刺梨系统中不同重金属间存在显著相关性,这表

明重金属在土壤-刺梨系统中可能共享相似的来源或迁移途径。这种相关性可能与土壤相关性质以及人类活动等因素有关^[29]。此外,不同土壤的理化性质各不相同,造成了重金属在不同类型及质地土壤中的迁移性存在差异。植物吸收重金属的过程还受到金属溶解度、土壤 pH 值、土壤种类和植物种类等多方面因素影响^[30]。

贵州省不同地区土壤重金属含量结果表明,遵义市的 Cr 含量最高,但 Pb、Cd、Hg 和 As 含量相对较低,这可能与该地区的工业布局 and 环境保护措施有关^[31]。贵阳市的土壤重金属含量整体处于较低水平,这可能得益于该市较为严格的环境监管和污染控制措施。盘州市的土壤重金属含量普遍较高,尤其是 Cd 和 Cr 含量,这可能与当地工业活动频繁、矿产资源开发强度大等因素有关^[32]。贵州省不同类型土壤重金属含量结果表明,Cr、Cd、Hg 在红棕壤中的高含量可能与其土壤母质、成土过程或人为活动有关^[33]。Pb 在石灰土中的高含量可能与该土壤类型对 Pb 的吸附能力较弱有关,导致 Pb 更容易在土壤中累积^[34]。贵州省不同地区刺梨果重金属含量结果表明,贵阳市刺梨果中 Cr 含量最高,但其 Pb 和 Cd 含量却低于毕节市,表明重金属污染的来源和分布具有复杂性。Hg 在贵阳市刺梨果中的含量最高,而在黔东南和盘州市刺梨果中的含量相同且较低,这可能与这些地区的工业结构和污染控制水平有关。贵州省不同类型土壤中刺梨果重金属含量结果表明,沙壤 Pb、Cd、As 含量均高于其他土壤。这可能是由于其颗粒较粗、孔隙度大,更利于重金属的迁移和累积^[35]。同种重金属在不同作物之间,以及不同重金属污染物在相同农作物之间,重金属的富集能力也存在较大差异^[36]。本研究结果表明刺梨果对重金属的富集系数大小排序为 $Cd > Pb = Hg > Cr > As$,下一步将对刺梨果不同部位的重金属含量进行研究。

4 结论

贵州省土壤-刺梨系统中重金属污染呈现明显地域和土壤类型差异。土壤以 Cr 污染为主,刺梨果则 Pb、Cr 含量较高且对 Cd 富集能力强。遵义市、盘州市土壤污染及毕节市刺梨果污染相对严重;黄壤、红棕壤土壤污染及沙壤刺梨果污染较突出。针对贵州省刺梨种植地不同重金属污染情况可采取合适的修复方法,还可辅以相应农艺措施,增强对刺梨种植土壤重金属污染的修复。同时,应加强土壤环境监测,

制定科学合理的土壤污染防治规划,为贵州省刺梨产业的可持续发展提供坚实保障。

参考文献

- [1] ZHANG J C, ZHOU X W, ZHOU Y, et al. Research progress and prospect of root, flower and leaf quality of *Rosa roxburghii* for medicine and food in Guizhou Province [J]. Northern Horticulture, 2022, 6: 122-130.
- [2] WANG L, WEI T T, ZHENG L, et al. Recent advances on main active ingredients, pharmacological activities of *Rosa roxburghii* and its development and utilization [J]. Foods, 2023, 12(5): 1051.
- [3] 何斌, 张阳丽, 伍雨函, 等. 刺梨全长转录组测序分析及黄酮类化合物生物合成相关基因挖掘[J/OL]. 广西植物, 2025: 1-16 [2025-02-22]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1134.Q.20250415.1632.002.html>.
- [4] 张家春, 周鑫伟, 周颖, 等. 贵州省药食两用刺梨根、花、叶品质研究进展与展望[J]. 北方园艺, 2022(6): 122-130.
- [5] 范晓燕, 孙彬焰, 郝东升, 等. 刺梨的生物活性成分及加工利用研究进展[J]. 保鲜与加工, 2025, 25(1): 139-147.
- [6] LI B, REN T Y, YANG M L, et al. Assessment of quality differences between wild and cultivated fruits of *Rosa roxburghii* Tratt [J]. LWT-Food Science and Technology, 2024, 202: 116300.
- [7] YANG H, HU J W, HUANG X F, et al. Risk assessment of heavy metals pollution for *Rosa sterilis* and soil from planting bases located in Karst areas of Guizhou Province [J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 700: 475-481.
- [8] 杨莽安, 张泽东, 李朝婵, 等. 贵州无籽刺梨果实与种植基地土壤重金属污染评价[J]. 生态毒理学报, 2020, 15(4): 288-298.
- [9] 畅凯旋, 叶丽丽, 陈永山, 等. 广西喀斯特地区土壤多金属胁迫对水稻重金属积累及生理特性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(1): 27-35.
- [10] 杨奇勇, 谢运球, 罗为群, 等. 基于地统计学的土壤重金属分布与污染风险评价[J]. 农业机械学报, 2017, 48(12): 248-254.
- [11] 姚成斌. 贵州毕节撒拉溪喀斯特石漠化治理示范区建设初期土壤环境质量评价研究[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2021.
- [12] 生态环境部. 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行): GB 15618—2018 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2018.
- [13] 中华人民共和国商务部. 药用植物及制剂外经贸绿色行业标准: WM/T 2—2004 [S]. 北京: 中国标准出版

- 社, 2004.
- [14] 普福敏, 吴迪, 向美, 等. 土壤-刺梨体系中重金属污染评价及相关分析[J]. 生态毒理学报, 2021, 16(6): 345-356.
- [15] 杜启露. 黔产刺梨基地土壤重金属污染特征及健康风险评价[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2019.
- [16] 李琳莉, 江帆, 丁小艳, 等. 黔产刺梨不同部位重金属污染与分布特征[J]. 中国实验方剂学杂志, 2018, 24(18): 70-75.
- [17] 卢家龙, 徐阳东, 侯林洋, 等. 盘州市刺梨主产区耕地质量及生态效应评价[J]. 贵州农业科学, 2022, 50(8): 119-125.
- [18] 李琳莉. 刺梨根质量标准提升及种植基地土壤和刺梨各部位重金属污染研究[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2018.
- [19] 王庆鹤, 饶静, 许佳, 等. 不同海拔和用途土壤重金属形态分布及健康风险评价[J/OL]. 环境与健康杂志, 2024: 1-6[2025-02-21]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/12.1095.r.20240425.2216.002.html>.
- [20] WANG Y, DING X Y, YANG H, et al. A study on heavy metals pollution in soil and fruits of *Rosa roxburghii* Tratt from the planting bases located in the Karst areas of Guizhou Province [J]. Advanced Materials Research, 2014, 1010/1011/1012: 88-95.
- [21] 张源和, 何敬愉, 马娜, 等. ICP-MS 法测定刺梨和无籽刺梨果实中有害重金属元素[J]. 食品工业, 2017, 38(3): 283-286.
- [22] 曾庆兰, 吴迪, 普福敏, 等. 基于信息扩散的刺梨基地路边重金属污染评价[J]. 化学工程, 2023, 51(2): 1-6.
- [23] 李跃红, 冉茂乾, 徐孟怀, 等. 不同产地刺梨果实品质分析与模糊综合评判[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(17): 202-205.
- [24] ROSA A C, CORSI D, CAVI N, et al. Superoxide dismutase administration: a review of proposed human uses [J]. Molecules, 2021, 26(7): 1844.
- [25] 吴天慈, 王奎, 税成愈, 等. 刺梨治疗重金属中毒研究进展[J]. 山东化工, 2023, 52(23): 120-125, 128.
- [26] 郭林, 赵钰, 于福荣, 等. 生物炭对土壤中有效态铅的原位钝化与机理研究[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2025, 46(1): 96-102.
- [27] 吴洋, 杨军, 周小勇, 等. 广西都安县耕地土壤重金属污染风险评价[J]. 环境科学, 2015, 36(8): 2964-2971.
- [28] 陆金, 赵兴青, 黄健, 等. 铜陵狮子山矿区尾矿库及周边 17 种乡土植物重金属含量及富集特征[J]. 环境化学, 2019, 38(1): 78-86.
- [29] 白建峰, 李洋, 王鹏程, 等. 新建电子废弃物拆解厂附近土壤重金属污染评价及其来源分析[J]. 安全与环境学报, 2016, 16(1): 333-336.
- [30] 李帅, 王发园, 曾辉, 等. 土壤改良剂对甜高粱植物修复镉污染土壤的研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2024, 45(6): 10-18.
- [31] 张勇, 陈荣祥, 保玉心, 等. 遵义市 PM_{2.5} 中重金属污染特征及健康风险评价[J]. 环境保护科学, 2020, 46(6): 179-184.
- [32] 周丽. 喀斯特山区土地利用方式转变对土壤重金属的影响[D]. 贵阳: 贵州大学, 2019.
- [33] 徐皓帆, 王诗, 李舜, 等. 广东典型城乡结合带农田土壤重金属污染特征及来源解析[J]. 环境科学学报, 2024, 44(11): 277-287.
- [34] 息朝庄, 张鹏飞, 吴林锋, 等. 贵州惠水耕地土壤重金属污染调查与评价[J]. 地质通报, 2023, 42(7): 1228-1239.
- [35] 杨洋, 铁柏清, 张鹏, 等. 降雨和植被覆盖对土壤重金属流失的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(1): 39-42, 46.
- [36] 马先杰, 陆凤, 陈兰兰, 等. 贵州水城典型铅锌矿区土壤和蔬菜中重金属累积特征及风险评价[J]. 环境污染与防治, 2019, 41(10): 1227-1232.

Distribution Characteristics and Quality Evaluation of Heavy Metals in Soil-*Rosa roxburghii* Tratt. System in Guizhou Province Based on Literature Analysis

YANG Shangshang¹, LI Xiaoxing¹, ZHOU Ying², ZHOU Xinwei², ZHANG Zhenming³, ZHANG Jiachun^{1,2* * *}

(1. Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang, Guizhou, 550025, China; 2. Guizhou Botanical Garden, Guiyang, Guizhou, 550004, China; 3. College of Resources and Environmental Engineering, Guizhou University, Guiyang, Guizhou, 550025, China)

Abstract: In order to understand the heavy metal pollution in the soil-*Rosa roxburghii* Tratt. system in Guizhou Province and to ensure the quality of *R. roxburghii* Tratt. and the sustainable development of the industry, in this study the distribution characteristics of five heavy metals (Pb, Cd, Cr, As, Hg) in the soil-*R. roxburghii* Tratt. system in different regions and different soil types in Guizhou Province were systematically analyzed through literature analysis, and the pollution status was evaluated according to relevant standards. The results showed that: (1) There were differences in the distribution of heavy metals in *R. roxburghii* Tratt. fruit and soil in different regions and different soil types. (2) The content of Cr in soil was significantly higher than that of other heavy metals, the contents of Pb and Cr in *R. roxburghii* Tratt. fruit were significantly higher than those of other heavy metals, and the enrichment of Cd in *R. roxburghii* Tratt. fruit was significantly higher than that of other heavy metals. (3) The heavy metal pollution of soil in Zunyi City and Panzhou City and the heavy metal pollution of *R. roxburghii* Tratt. in Bijie City were more serious than other areas. The heavy metal pollution in yellow soil and red-brown soil and the heavy metal pollution of *R. roxburghii* Tratt. fruit in sandy soil were more serious. (4) Correlation analysis showed that there were multi-element interactions among heavy metal elements in soil. In summary, the heavy metal pollution in soil-*R. roxburghii* Tratt. system in Guizhou Province showed obvious regional and soil type differences. The soil was mainly polluted by Cr, while the content of Pb and Cr in *R. roxburghii* Tratt. fruit was high and the enrichment ability of Cd was strong.

Key words: Guizhou Province; soil; *Rosa roxburghii* Tratt.; heavy metals

责任编辑: 陆媛峰



微信公众号投稿更便捷

联系电话: 0771-2503923

邮箱: gxxkxyxb@gxas.cn

投稿系统网址: <http://gxxkx.ijournal.cn/gxxkxyxb/ch>