

雷公山自然保护区常见植物叶片 重金属元素含量特征

罗绪强^{1,2}, 周金星², 张桂玲³, 赵荣葵³, 李松¹, 杨鸿雁¹

(1. 贵州师范学院 地理与旅游学院, 贵州 贵阳 550018; 2. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083;
3. 贵阳学院 化学与材料科学学院, 贵州 贵阳 550005)

摘要:为探讨自然保护区森林生态系统植物重金属含量状况,以雷公山自然保护区主峰地段常见植物为研究对象,对其叶片 6 种重金属元素(Fe、Mn、Zn、Ni、Pb、Cd)进行了测定。结果表明:重金属含量 $>100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的元素有 Fe 和 Mn, $50 \sim 100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的元素有 Zn, $<50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的元素有 Pb、Ni 和 Cd。Fe、Zn、Ni、Cd、Pb 为正偏态分布,Mn 为负偏态。除 Ni 外,其余元素在 5 种植物间的含量均存在显著差异($P < 0.05$)。该地区植物中 Mn、Zn、Ni、Pb、Cd 含量均已达到甚至超过中毒水平,存在着受重金属毒害的潜在风险,但除 Ni、Pb 外,各重金属含量均在世界陆生维管植物相应元素的平均含量范围内。研究区 5 种植物叶片中的重金属含量分配模式均表现为 $\text{Mn} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Cd}$ 。Fe-Zn、Fe-Cd、Fe-Pb、Zn-Cd、Zn-Pb、Cd-Pb 之间均具有显著正相关关系($P < 0.05$),说明以上各组元素的来源相似且植物对各组元素的吸收具有一定的协同效应。

关键词:自然保护区;雷公山;常见植物;重金属

中图分类号:Q 945.14;Q 948.11 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)17-0110-05

森林生态系统是陆地生态系统中最基本的结构单元,是稳定性最大以及功能最完善的一类生态系统^[1-2]。森林生态系统受重金属污染的来源有多种渠道。在自然条件下,由于长期的物理、化学风化和生物作用,重金属从母岩中缓慢释放出来进入土壤,成为森林生态系统重金属污染的主要来源(如 Cd、Zn、Pb、Cu 等);另一个主要来源

就是大气中含大量重金属颗粒物的干湿沉降^[3-7]。尽管在长期的生物进化过程中,一些常见的重金属被植物所利用成为必需元素(包括 Fe、Mn、Cu、Zn、Ni 和 Mo 共 6 种),但绝大部分重金属非植物所必需^[8],当植物吸收这些重金属元素超出一定极限时就可能中毒,影响其正常生长发育和生理生态特征^[6,9]。

由于重金属具有生物摄取的富集积累性,因此,植物通过呼吸作用和根系吸收大气及土壤中的重金属元素,具有潜在的危害性^[1,5]。开展森林生态系统的重金属污染研究,其一可为全球森林资源保护提供科学依据,另外可从森林生态系统的结构和功能特性出发探讨防治环境重金属污染的有效措施^[2]。该研究以雷公山自然保护区主峰地段常见植物为研究对象,对其叶片重金属元素含量进行测定分析,以期探讨自然保护区森林生态系统植物叶片重金属含量状况,为自然保护

第一作者简介:罗绪强(1976-),男,博士,教授,现主要从事生态环境地球化学等研究工作。E-mail: xuqiangluo@163.com.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41563007);贵州省优秀青年科技人才培养对象专项资金资助项目(黔科合人字[2015]21号);贵州省优秀科技教育人才省长资金资助项目(黔省专合字[2012]80号);贵州省高层次创新型人才资金资助项目(黔人领发[2015]3号);贵州省高层次人才科研条件特助经费资助项目(TZJF2010年065号)。

收稿日期:2017-03-31

区森林生态系统的经营与管理、生物多样性保护和退化生态系统的恢复与重建提供参考依据和数据支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

雷公山国家级自然保护区位于贵州省东南部黔东南州境内,地跨雷山、榕江、剑河、台江四县,位于东经 $108^{\circ}5' \sim 108^{\circ}24'$ 、北纬 $26^{\circ}15' \sim 26^{\circ}32'$,是长江水系与珠江水系的分水岭,是清水江和都柳江主要支流的发源地。保护区总面积 $47\,300\text{ km}^2$,是典型的非喀斯特山地环境^[10],最高峰雷公山海拔 $2\,178.8\text{ m}$,最低处小丹江谷地海拔 650 m 。该区属中亚热带季风山地湿润气候区,年平均气温 $14.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温 $4\,110\text{ }^{\circ}\text{C}$;年降雨量 $1\,300 \sim 1\,600\text{ mm}$,主要集中在 4—9 月,约占全年降雨总量的 80%。土壤呈酸性,土层深厚,土壤有机质含量达 5% 以上^[11]。植被属地带性植被,垂直分带明显,共有高等植物 2 582 种^[12];森林覆盖率 85% 以上,较好地保存了中亚热带森林生态系统的原始面貌^[11,13-14]。

1.2 研究对象

在雷公山国家级自然保护区主峰地段(海拔 $2\,050 \sim 2\,100\text{ m}$)选取频繁出现的大白杜鹃(*Rhododendron decorum* Franch.)、合轴荚蒾(*Viburnum sympodiale* Graebn.)、木姜子(*Litsea pungens* Hemsl.)、中华卫矛(*Euonymus nitidus* Benth.)、湖南悬钩子(*Rubus hunanensis* Hand.-Mazz.)等 5 种植物为研究对象。

1.3 试验方法

采集样品时,每种植物选择 3 株成熟、健康、长势(株高、茎粗、叶子的大小与疏密程度等)基本一致的植株,采集中上层东、南、西、北 4 个方向的成熟叶片(不包括叶柄),不同方位叶片混合成一个样装入干净透气信封,每种植物重复 3 次。叶片采集后带回实验室,分别用自来水充分冲洗以去除粘附的泥土和污物,再用去离子水冲洗干净,之后放入烘箱中于 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 杀青,再置于 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒重,烘干后的样品用不锈钢植物粉碎机粉碎,过筛(筛孔直径 0.149 mm),样品封存于密封袋内干燥保存,备用。

1.4 项目测定

待测样品经混合酸($\text{HNO}_3\text{-HF}$)消解后,用电感耦合等离子体发射光谱仪(Vista MPX 2000, USA)测定 Fe、Mn、Zn、Ni 含量,用原子吸收分光光谱仪(PE-5100-PC AAS, USA)测定 Cd、Pb 含量。以植物成分分析标准物质 GBW07604(GSV-3)杨树叶作质量控制,标样元素含量测定结果均在标准值范围内。各项测定值均为植物干物质的元素总量。

1.5 数据分析

采用 Microsoft Excel 2010 及 IBM SPSS Statistics 19 软件对试验数据进行处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 植物叶片重金属含量水平

从表 1 可知,雷公山国家级自然保护区主峰地段常见植物叶片重金属元素含量平均值在 $100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以上的元素有 Fe、Mn, $50 \sim 100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的元素有 Zn,在 $10 \sim 50\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 间的元素有 Pb,在 $10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以下的元素有 Cd、Ni;各元素平均含量从高到低的顺序依次为 $\text{Mn} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Cd}$,其中, Ni、Pb 含量均超出了世界陆生维管植物对应元素含量范围值($\text{Fe}: 2 \sim 700\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{Mn}: 0.3 \sim 1\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{Zn}: 1 \sim 400\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{Ni}: 0.02 \sim 5.00\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{Pb}: 0.9 \sim 20\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{Cd}: 0.02 \sim 2.40\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)^[15], Pb、Cd、Zn、Fe 含量与茂兰喀斯特森林国家级自然保护区特种植物叶片对应元素含量平均值($\text{Pb}: 22.93\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{Cd}: 1.04\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{Zn}: 51.46\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{Fe}: 261.30\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)非常相近,而 Mn 和 Ni 分别是其对应元素含量平均值($\text{Mn}: 203.22\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{Ni}: 3.67\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)的 3.1、1.6 倍^[16]。

与世界陆生高等植物所需元素的合适组织浓度平均值($\text{Fe}: 100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{Mn}: 50\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{Zn}: 20\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{Ni}: 0.1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)相比较^[8],雷公山国家级自然保护区主峰地段常见植物叶片中的 Fe、Mn、Zn、Ni 含量均高于已报道的陆生高等植物所需元素的合适组织浓度,其中, Ni 高出

已报道值 57.9 倍, Mn 高出 12.5 倍, Zn 高出 3.4 倍, Fe 高出 1.9 倍。根据植物体内元素含量与中毒效应的关系, 按鲍恩和埃塞林顿的划分标准(正常植物有毒浓度界限值 Fe: $10 \sim 200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, Mn: $1 \sim 100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, Zn: $10 \sim 50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,

Ni: $1 \sim 5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, Pb: $1 \sim 15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, Cd: $0.1 \sim 0.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)^[9,15], 雷公山国家级自然保护区主峰地段常见植物叶片中的重金属除 Fe 外, 含量均已达到甚至超过植物中毒水平, 表明该地区植物存在着受重金属毒害的潜在风险。

表 1

雷公山常见植物叶片重金属元素含量(n=15)

Table 1 Heavy metal contents in leaves of common plants in Leigong Mountain (n=15)

元素 Element	最小值 Min /($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	最大值 Max /($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	最大值/最小值 Max/Min	中值 Median	平均值 Mean /($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	标准偏差 Std-D	偏度 Skew	峰度 Kurt	变异系数 CV/%
Fe	141.31	279.23	1.98	181.90	194.99	48.39	0.63	-1.24	24.82
Mn	68.38	1 057.56	15.47	622.54	624.05	266.33	-0.45	0.28	42.68
Zn	31.75	175.33	5.52	48.95	68.35	44.16	1.38	0.93	64.62
Ni	2.85	9.04	3.17	5.61	5.79	2.09	0.19	-1.13	36.06
Cd	0.48	2.34	4.88	0.80	0.97	0.50	1.80	3.42	51.35
Pb	13.50	42.54	3.15	19.83	22.19	7.42	1.57	3.08	33.43

2.2 植物叶片重金属含量分布及变异特征

从表 1 中各元素的偏度和峰度值可以看出, Fe、Zn、Ni、Cd、Pb 均为正偏态分布, Mn 为负偏态分布。从变异系数来看, 从大到小的顺序依次为 Zn>Cd>Mn>Ni>Pb>Fe, 其中, 仅 Zn 和 Cd 的变异系数大于 50%。从元素含量的最大值与最小值之比来看, 表现为 Mn>Zn>Cd>Ni>Pb>Fe, 仅 Mn、Zn 最大值与最小值之比大于 5 倍。可见, Mn、Zn 和 Cd 这 3 种元素的变异程度相对较大, 而 Fe 的最大值与最小值之比以及变异系数都是各元素中最小的, 说明 Fe 含量变化相对稳定。

2.3 不同种植物的重金属含量特征

由于不同种类的植物对重金属的吸收与抗性不同, 加之植物叶片的结构及叶细胞生理生化特性的差异, 使不同种类植物叶片的重金属元素含

量有很大的差别^[5,17]。从表 2 可以看出, 大白杜鹃、合轴荚蒾、木姜子、中华卫矛、湖南悬钩子等 5 种植物叶片中的重金属含量大小顺序均表现出 Mn>Fe>Zn>Pb>Ni>Cd 模式, 与茂兰喀斯特森林国家级自然保护区特种植物石山胡颓子 (*Elaeagnus calcarea*) 和石山桂 (*Cinnamomum calcareum*) 叶片中的重金属含量分配模式一致^[16]。

雷公山国家级自然保护区主峰地段植物叶片重金属 Fe、Zn、Pb 含量在合轴荚蒾与大白杜鹃、木姜子、中华卫矛和湖南悬钩子间存在显著差异 ($P<0.05$), Mn 在大白杜鹃与中华卫矛间存在显著差异 ($P<0.05$), Cd 在木姜子、合轴荚蒾与大白杜鹃、中华卫矛、湖南悬钩子间存在显著差异 ($P<0.05$), 而 Ni 在 5 种植物叶片中的含量差异均不显著 ($P>0.05$)。

表 2

雷公山 5 种常见植物叶片重金属元素含量(n=3)

Table 2 Heavy metal contents in leaves of 5 common plants in Leigong Mountain (n=3)

植物 Plant	Fe	Mn	Zn	Ni	Cd	Pb
大白杜鹃	193.58±55.68a	860.80±269.24a	38.03±9.01a	6.44±1.15a	0.54±0.08a	17.78±1.52a
合轴荚蒾	262.92±19.07b	731.46±184.17ab	141.47±29.51b	7.11±1.76a	1.60±0.66b	33.99±7.42b
木姜子	194.51±42.11a	621.97±175.23ab	40.58±7.33a	3.90±1.11a	1.22±0.40b	20.15±3.46a
中华卫矛	177.80±13.67a	380.48±270.36b	46.05±12.07a	6.39±2.38a	0.72±0.02a	23.25±1.43a
湖南悬钩子	146.14±4.29a	525.56±285.32ab	75.61±33.51a	5.09±3.05a	0.77±0.09a	15.79±2.54a

注: 同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters within the same column mean significant difference ($P<0.05$).

2.4 植物各重金属元素的相关性

从表 3 可以看出,Fe 与 Zn、Fe 与 Pb 之间均具有显著正相关关系($P<0.05$),Fe 与 Cd、Zn 与 Cd、Zn 与 Pb、Cd 与 Pb 之间均具有极显著正相关

关系($P<0.01$)。说明以上各组元素的来源相似,而且雷公山 5 种常见植物对各组元素的吸收具有一定的协同效应^[18-19]。

表 3 雷公山常见植物叶片各重金属元素间的皮尔逊相关系数

Table 3 Pearson correlation coefficients of heavy metals in leaves of common plants in Leigong Mountain

元素 Element	Fe	Mn	Zn	Ni	Cd
Mn	0.322				
Zn	0.517 *	0.066			
Ni	0.319	0.008	0.084		
Cd	0.658 * *	0.284	0.671 * *	-0.090	
Pb	0.632 *	0.095	0.769 * *	0.145	0.709 * *

注: * 在 0.05 水平(双侧)上显著相关, ** 在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

Note: * Correlation is significant at 0.05 level (two-tailed), ** Correlation is significant at 0.01 level (two-tailed).

3 结论

雷公山国家级自然保护区主峰地段常见植物叶片中的 Fe、Mn、Zn、Ni 含量均高于已报道的陆生高等植物所需元素的合适组织浓度,Mn、Zn、Ni、Pb、Cd 含量均已达到甚至超过植物中毒水平,Ni、Pb 含量均已超出世界陆生维管植物相应元素的平均含量范围,该地区植物存在着受重金属毒害的潜在风险,5 种植物叶片中的重金属含量均表现出 $Mn>Fe>Zn>Pb>Ni>Cd$ 的分配模式。Fe 与 Zn、Fe 与 Cd、Fe 与 Pb、Zn 与 Cd、Zn 与 Pb、Cd 与 Pb 等各组元素的来源相似且在植物吸收中具有一定的协同效应,Fe、Mn、Zn、Pb、Cd 在 5 种植物间的含量差异显著($P<0.05$)。

参考文献

- [1] 张金池,严逸伦,曾锋. 重金属对森林生态系统效应的研究进展[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2001,25(5):52-56.
- [2] 黄益宗,朱永官. 森林生态系统镉污染研究进展[J]. 生态学报,2004,24(1):101-108.
- [3] 曾锋,张金池. 重金属在森林生态系统中的迁移规律研究进展[J]. 世界林业研究,2001,14(2):16-22.
- [4] 游秀花,聂丽华,杨桂娣. 森林生态系统植物重金属(Cu、Zn、Cd)污染研究进展[J]. 福建林业科技,2005,32(3):154-159.
- [5] 任乃林,陈炜彬,黄俊生,等. 用植物叶片重金属元素的含量指示大气环境污染的研究[J]. 广东微量元素科学,2004,11(10):41-45.
- [6] 马跃良,贾桂梅,王云鹏,等. 广州市区植物叶片重金属元素

含量及其大气污染评价[J]. 城市环境与城市生态,2001,14(6):28-30.

[7] ACETO M, ABOLLINO O, CONCA R, et al. The use of mosses as environmental metal pollution indicators[J]. Chemosphere,2003,50(3):333-342.

[8] TAI Z L, ZEIGER E. 植物生理学[M]. 4 版. 宋纯鹏,王学路,译. 北京:科学出版社,2009:60-75.

[9] 埃塞林顿. 环境和植物生态学[M]. 曲仲湘,陈昌笃,译. 北京:科学出版社,1989:170-214,276.

[10] 敖子强,瞿丽雅,林文杰,等. 贵州鹿冲关和雷公山酸雨化学特征的对比研究[J]. 中国岩溶,2007,26(1):61-66.

[11] 何建敏,王震洪. 雷公山灌木林群落结构及其优势种群特征关系研究[J]. 广东农业科学,2014,41(6):178-182.

[12] 赵富伟,姚瑶,唐秀俊,等. 贵州雷公山地区苗族的酒曲植物[J]. 植物分类与资源学报,2014,36(2):261-266.

[13] 陈志阳,杨宁,姚先铭,等. 贵州雷公山秃杉种群生活史特征与空间分布格局[J]. 生态学报,2012,32(7):2158-2165.

[14] 王英,吴昌鞠,潘成坤. 贵州雷公山自然保护区现状及可持续发展研究[J]. 凯里学院学报,2016,34(6):130-131.

[15] 鲍恩. 元素的环境化学[M]. 崔仙舟,王中柱,译. 北京:科学出版社,1986:71-207.

[16] 罗绪强,陈光美,张桂玲,等. 茂兰喀斯特森林特种植物叶片重金属含量特征[J]. 广东农业科学,2014,41(21):149-152.

[17] 梁鸿霞,翟通德,陈中兰,等. 南充市区绿化植物叶片重金属元素含量及其大气污染评价[J]. 西华师范大学学报(自然科学版),2006,27(4):435-438.

[18] 梁鹏,杨水奎,何磊,等. 贡嘎山原始森林区苔藓植物重金属含量及其对汞的吸附特征[J]. 应用生态学报,2008,19(6):1191-1196.

[19] 秦越华,强承魁,曹丹,等. 徐州市典型稻区土壤和稻米重金属含量及健康风险评价[J]. 生态环境学报,2016,25(9):1546-1554.

Characteristics of Heavy Metal Contents in Leaves of Common Plants in Leigong Mountain

LUO Xuqiang^{1,2}, ZHOU Jinxing², ZHANG Guiling³, ZHAO Rongkui³, LI Song¹, YANG Hongyan¹

(1. School of Geography and Tourism, Guizhou Education University, Guiyang, Guizhou 550018; 2. School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083; 3. College of Chemistry and Materials Engineering, Guiyang University, Guiyang, Guizhou 550005)

Abstract: To investigate the characteristics of heavy metal contents of plant in nature reserve for forest ecosystem, six kinds of elements (Fe, Mn, Zn, Ni, Pb, Cd) in the leaves of common plants in Leigong Mountain were measured respectively. The results showed that the contents of Fe and Mn were greater than $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, Zn was vary between 50, $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, and those of Pb, Ni and Cd were lower than $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. The elements including Fe, Zn, Ni, Cd and Pb showed positive skew distribution, while the element Mn showed negative skew distribution. Except for Ni, the contents of left five elements showed significant difference among five species ($P < 0.05$). The contents of Mn, Zn, Ni, Pb and Cd have reached and even more than the poisoning level of plants, plants had the potential risk of heavy metal poisoning. But except Ni and Pb, the heavy metal contents of all elements were within the scope of the average level of land vascular plants in the world. The absorption models of heavy metal elements of five species were showed $\text{Mn} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Cd}$. The significant positive correlations of contents were between Fe and Zn, Fe and Cd, Fe and Pb, Zn and Cd, Zn and Pb, Cd and Pb ($P < 0.05$), which showed that Fe-Zn, Fe-Cd, Fe-Pb, Zn-Cd, Zn-Pb, Cd-Pb had similar source and performed synergy effects when absorbed by plant in this research area.

Keywords: nature reserve; Leigong Mountain; common plant; heavy metal

全世界有多少种树木? 植物园保护联盟告诉你!

信息广角

通过 2 年多的努力,国际植物园保护联盟(BGCI)<http://www.zhiwutong.com/learning/gardens.htm> 携手全球植物学机构,首次全面系统地统计了全世界树木的种类,为 60 065 种,并构建了全球树木查询数据库(<https://www.bgci.org/globaltreesearch.php>)。根据统计,树木种类巴西第一(8 715 种),哥伦比亚第二(5 776 种),印度尼西亚第三(5 142 种)。树木特有种类最多的是巴西(4 333 种),马达加斯加第二(2 991 种),澳大利亚第三(2 584 种)。树木种类最多的科是豆科 Leguminosae (5 405 种)。最近对 20 000 种树木进行了评估,其中有 9 600 多种树木处于濒危,300 多种为极度濒危种(少于 50 个个体)。BGCI 与世界自然保护联盟(IUCN)全球树木专家组将以构建的“全球树木查询数据库”为基础,在 2020 年之前对所有树木种类的保护地位进行评估。

BGCI 秘书长 PAUL 介绍:“虽然 BGCI 在 2017 年才发表第一个全球的、权威性的树木名录,但这个全球树木查询数据库代表着一种巨大的科学工作,包括成千上万种植物的发现、收集和描述,这是涉及到成千上万植物学家几个世纪工作的‘大科学’。”此次发布名录的主要目的是为大家保护濒危植物提供重要工具。目前树木濒临灭绝的主要原因是森林砍伐和过度开采,在 BGCI 的协调和支持下,全球植物园界正在系统地采集种子,并在植物园中进行繁殖、迁地保护以及回归到野外。

(来源:植物通)