

亚热带自然林与人工林土壤重金属含量的研究

聂明^{1,2}, 万佳蓉¹, 陈晓枫³, 王利³, 李博^{1,2}, 陈家宽^{1,2*}

1. 南昌大学, 生命科学研究院与鄱阳湖环境与资源利用教育部重点实验室, 流域生态研究所, 江西 南昌 330031
2. 复旦大学, 生物多样性与生态工程教育部重点实验室, 上海 200433
3. 复旦大学, 分析测试中心, 上海 200433

摘要 重金属是危害森林生态健康主要污染物之一。采用电感耦合等离子体发射光谱法与石墨炉原子吸收光谱法, 首次比较了亚热带人工林和自然林土壤中 13 种重金属元素 (Fe, Al, Ti, Cr, Cu, Mn, V, Zn, Ni, Co, Pb, Se, Cd) 的含量。结果表明自然林土壤中 Fe, Al, Ti, Cu, Mn, V, Zn, Ni, Co, Pb, Se, Cd 的浓度均高于人工林土壤, 仅 Cr 在人工林土壤中有较高浓度。整体上自然林土壤较人工林土壤具有更高水平的重金属浓度。这可能是由于自然林较人工林具有较大年龄, 通过植物根系作用固定土壤重金属具有较长时间所致。

关键词 亚热带; 自然林; 人工林; 土壤; 重金属

中图分类号: X53 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2011)11-3098-03

引言

森林是林木、伴生植物、动物及其与环境的综合体, 是最重要的国土资源和自然资源之一, 具有保持水土、保护生物多样性、调节气候与维持生态系统可持续发展等诸多功能, 对于保障区域和国家生态安全起着至关重要的作用^[1]。随着人口的持续增长与经济的快速发展, 人类活动对森林的干扰与破坏前所未有。在全球范围内, 由于森林开伐、生境破碎化、气候变化、生物入侵等原因造成原始林和次生林 (合称自然林) 每年以 1 300 万公顷的速度减少^[2, 3]。为了应对全球自然林的锐减, 各国政府或组织大规模的种植人工林。据统计, 目前人工林每年约以 2% 的比例增长^[4]。截至 2005 年, 人工林占全球森林总面积的 3.5% (约 1.4 亿公顷)^[4, 5]。因此, 对人工林进行环境影响评价, 对于保护生物多样性、维护林业生态系统健康都具有十分重要的意义。

重金属是危害森林生态健康的主要污染物之一, 不仅影响森林土壤环境质量, 而且通过食物链影响人类健康^[6]。重金属因自身具有不被微生物降解和难以移动等特点, 决定了其污染和危害森林生态系统的特殊地位^[6, 7]。研究表明, 森林重金属污染主要来源于污水的灌溉、工业排放的三废、汽车尾气排放、农药和化肥的施用等人类活动^[8-10]。由于人工

林在树龄、森林管理、人类干扰等方面与自然林存在较大差异, 因此两类森林的土壤可能存在不同浓度的重金属。

为了研究自然林与人工林土壤中重金属的含量差异, 采用电感耦合等离子体发射光谱法与石墨炉原子吸收光谱法比较了庐山人工林和自然林土壤中 13 种重金属元素 (Fe, Al, Ti, Cr, Cu, Mn, V, Zn, Ni, Co, Pb, Se, Cd) 的含量。

1 实验部分

1.1 材料与仪器

土壤样品采集于江西庐山山腰相邻的人工林和自然林, 两类森林均为马尾松。HCl, HNO₃, HF, HClO₄ 等化学试剂均为分析纯, 实验用水为去离子水。金属离子的标准溶液质量浓度为 0.1 g · L⁻¹ 的标准储备液。

P4010 型电感耦合等离子体发射光谱仪 (日本日立), Z-5000 型原子吸收光谱分析仪 (日本日立), FA1004 型电子分析天平 (上海天平仪器厂), UFE800 型烘箱 (德国 Memmert), DB-3 型不锈钢电热板 (常州国华电器有限公司), XA-1 型微型高速粉碎机 (上海润同仪器有限公司)。

1.2 样品处理

为了确保样品能代表研究区域的特征, 分别在人工林和自然林中随机选择 3 个相隔至少 50 m 的 25 m × 25 m 的样

收稿日期: 2010-12-19, 修订日期: 2011-03-20

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) 项目 (2010CB950602) 资助

作者简介: 聂明, 1981 年生, 南昌大学副教授 e-mail: nieming@ncu.edu.cn

* 通讯联系人 e-mail: jkchen@fudan.edu.cn

方,即为 3 个重复。在每一个重复中,采用土壤取样器随机采集 10~15 份土壤样品。将每一重复样充分混合,拣去砾石、动植物残体后,60 ℃烘干,最后粉碎机粉碎,过 100 目筛供实验分析用。

1.3 样品的测定

称取 0.100 0 g 样品放于聚四氟乙烯坩埚中,用几滴水湿润后,加入 10 mL HCl 低温加热,使样品初步分解。然后,加入 5 mL HNO₃, 5 mL HF, 3 mL HClO₄, 加盖后在电热板上中温加热。加热至冒浓厚白烟后,蒸至将干为停,并重复上述消解过程。消解后用水冲洗坩埚盖和内壁,加 HNO₃ 溶液溶解残渣。将溶液转移至 50 mL 容量瓶中,用去离子水定容,摇匀备测。同时做全程样品空白。

在复旦大学分析测试中心采用电感耦合等离子体发射光

谱法测定待测样中 Fe, Al, Cr, Cu, Mn, V, Zn, Ni 的含量,以及石墨炉原子吸收光谱法测定待测样中 Ti, Co, Pb, Se, Cd 的含量。

1.4 统计分析

应用 SPSS13.0 软件对重金属数据进行统计分析。

2 结果与讨论

研究区域位于我国江西庐山,为亚热带森林。植被下的土壤为红壤,其主要特征是缺乏碱金属和碱土金属而富含铁、铝、钛氧化物,呈酸性红色,是亚热带生物富集和脱硅风化过程相互作用的产物^[11]。因此,自然林与人工林土壤重金属以 Fe, Al, Ti 为主,且在土壤中有较高的含量(表 1)。

Table 1 Comparison of heavy metal elements between natural and plantation forests

重金属	自然林			人工林		
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
Fe/(g · kg ⁻¹)	34.00	39.00	36.00	33.00	39.00	37.00
Al/(g · kg ⁻¹)	6.00	19.00	13.67	6.00	22.00	12.00
Ti/(g · kg ⁻¹)	4.80	5.30	5.03	4.20	5.10	4.73
Cr/(mg · kg ⁻¹)	147.00	188.00	171.00	157.00	236.00	194.00
Cu/(mg · kg ⁻¹)	18.90	21.10	20.13	13.70	15.60	14.67
Mn/(mg · kg ⁻¹)	673.00	1 130.00	847.33	350.00	955.00	564.67
V/(mg · kg ⁻¹)	80.10	99.80	89.33	67.60	88.90	76.87
Zn/(mg · kg ⁻¹)	78.60	122.00	104.53	62.70	102.00	80.53
Ni/(mg · kg ⁻¹)	23.50	32.20	27.43	23.80	25.00	24.53
Co/(mg · kg ⁻¹)	6.40	8.60	7.20	3.70	5.70	4.70
Pb/(mg · kg ⁻¹)	6.10	8.00	7.13	5.30	7.60	6.10
Se/(mg · kg ⁻¹)	1.16	1.73	1.47	0.77	1.65	1.21
Cd/(mg · kg ⁻¹)	0.39	0.59	0.51	0.24	0.43	0.31
总量/(g · kg ⁻¹)			55.98			54.70

实验数据表明,两类森林土壤中均存在一定数量生物毒性显著的重金属,如 Pb, Cd, Cr 等(表 1)。Pb 伤害人的脑细胞,造成痴呆与脑死亡;Cd 引起心脑血管疾病,引起肾功能失调;Cr 造成四肢麻木,精神异常^[12]。根据中华人民共和国国家标准土壤环境质量标准(GB 15618—1995),自然林与人工林的土壤介于一级与二级质量间。由于庐山是中国享誉古今中外的名山,每年吸引大量游客,加之庐山周围人口的持续增长与经济的快速发展。目前,庐山处于重金属低度污染阶段。若不及时加以保护,将导致严重的生态危机,不仅破坏庐山内的生态环境,而且影响山脉水系的生态安全。

在自然林土壤中红壤特征重金属 Fe, Al, Ti 均高于人工林土壤(表 1)。自然林土壤中 Fe, Al, Ti 的总量为 54.7 g · kg⁻¹,人工林土壤而为 53.73 g · kg⁻¹(表 1)。在非红壤特征重金属中,除 Cr 外,自然林土壤中 Cu, Mn, V, Zn, Ni, Co, Pb, Se, Cd 的浓度均高于人工林土壤(表 1)。在自然林与人工林土壤这些非红壤特征重金属的总量分别是 1276.08 与 967.59 mg · kg⁻¹(表 1)。因此,本研究表明自然林土壤较人工林土壤具有更高水平的重金属浓度。

选择的自然林与人工林均为马尾松,但森林存在的历史有较大的差别^[13]。自然林的马尾松为亚热带次生林,自 20

世纪末就演递而成^[13]。而人工林是由于 20 世纪 60 和 70 年代以来为了改变天然林的急剧减少的状况和改善环境,大规模植树造林而成^[13]。因此,两类森林的年龄相差 60 年~70 年以上^[13]。自然林土壤较人工林土壤具有更高水平的重金属浓度,这可能是由于森林年龄的大小而造成的。植物在生长过程中光合产物的 28%~59%转移到了地下部分,其中有 4%~7%通过分泌作用进入土壤^[14, 15]。通过植物根系进入土壤的分泌物主要为糖类、氨基酸、有机酸、脂肪酸等,它们具有吸收沉淀重金属的作用,从而固定土壤中重金属^[14, 15]。树木在长期的生长过程中,通过羽状根系,借助分泌物不断从土壤中吸收与富集重金属^[14, 15]。由于自然林较人工林具有较大的年龄,从而对土壤重金属的固定具有较长期的作用,造成自然林土壤较人工林土壤具有更高水平的重金属浓度。

3 结论

采用电感耦合等离子体发射光谱法与原子吸收光谱法,比较了庐山亚热带自然林与人工林土壤中 13 种重金属的浓度。结果表明,除 Cr 外,自然林土壤中 Fe, Al, Ti, Cu,

Mn, V, Zn, Ni, Co, Pb, Se, Cd 的浓度均高于人工林土壤。这可能是由于自然林较人工林具有较大年龄, 根系固定整体上自然林土壤较人工林土壤具有更高水平的重金属浓度。土壤重金属具有较长期作用所致。

References

- [1] Brockerhoff E G, Jactel H, Parrotta J A, et al. *Biodiversity and Conservation*, 2008, 17(5): 925.
- [2] Noble I R, Dirzo R. *Science*, 1997, 277(5325): 522.
- [3] Guerra C A, Snow R W, Hay S I. *Annals of Tropical Medicine Parasitology*, 2006, 100(3): 189.
- [4] DeFries R S, Rudel T, Uriarte M, et al. *Nature Geoscience*, 2010, 3(3): 178.
- [5] van Dijk A, Keenan R J. *Forest Ecology and Management*, 2007, 251(1): 1.
- [6] FAN Jun-gang, LI Li, GAO Jun, et al(范俊岗, 李立, 高军, 等). *Journal of Liaoning Forestry Science & Technology(辽宁林业科技)*, 2005, 5: 40.
- [7] CAO Yue, GAO Zhi-gang, YAN Shu-ping, et al(曹越, 高志刚, 闫淑萍, 等). *Environmental Science and Management(环境科学与管理)*, 2010, 35(6): 65.
- [8] WU Yong-jun, FAN Jun-gang(吴永君, 范俊岗). *Practical Forestry Technology(林业实用技术)*, 2005, 7: 3.
- [9] ZHANG Sheng-li(张胜利). *Scientia Silvae Sinicae(林业科学)*, 2009, 45(12): 55.
- [10] YOU Xiu-hua, NIE Li-hua, YANG Gui-di(游秀花, 聂丽华, 杨桂娣). *Jour of Fujian Forestry Sci and Tech(福建林业科技)*, 2005, 32(3): 154.
- [11] LI Fang-bai, WANG Xu-gang, ZHOU Shun-gui, et al(李芳柏, 王旭刚, 周顺桂, 等). *Ecology and Environment(生态环境)*, 2010, 15(5): 1343.
- [12] GUO Zi-jian, SUN Wei-yin(郭子建, 孙为银). *Bioinorganic Chemistry(生物无机化学)*. Beijing: Science Press(北京: 科学出版社), 2006.
- [13] LIU Xin-zhong, WANG Lang(刘信中, 王琅). *Scientific Survey and Study of Biodiversity on the Lushan Nature Reserve in Jiangxi Province(江西省庐山自然保护区生物多样性考察与研究)*. Beijing: Science Press(北京: 科学出版社), 2010.
- [14] KUANG Yuan-wen, WEN Da-zhi, ZHOU Guo-yi(旷远文, 温达志, 周国逸). *Chinese Journal of Ecology(生态学杂志)*, 2004, 23(1): 90.
- [15] TANG Shi-rong, HUANG Chang-yong, ZHU Zu-xiang(唐世荣, 黄昌勇, 朱祖祥). *Progress in Environmental Science(环境科学进展)*, 1996, 4(12): 10.

Comparison of Heavy Metal Elements between Natural and Plantation Forests in a Subtropical Montane Forest

NIE Ming^{1, 2}, WAN Jia-rong¹, CHEN Xiao-feng³, WANG Li³, LI Bo^{1, 2}, CHEN Jia-kuan^{1, 2*}

1. Centre for Watershed Ecology, Institute of Life Science and Key Laboratory of Poyang Lake Environment and Resource Utilization, Nanchang University, Nanchang 330031, China
2. Ministry of Education Key Laboratory for Biodiversity Science and Ecological Engineering, Institute of Biodiversity Science, Fudan University, Shanghai 200433, China
3. Research Center of Analysis and Measurement, Fudan University, Shanghai 200433, China

Abstract Heavy metals as one of major pollutants is harmful to the health of forest ecosystems. In the present paper, the concentrations of thirteen heavy metals (Fe, Al, Ti, Cr, Cu, Mn, V, Zn, Ni, Co, Pb, Se and Cd) were compared between natural and plantation forests in the Mt. Lushan by ICP-AES and atomic absorption spectroscopy. The results suggest that the soil of natural forest had higher concentrations of Fe, Al, Ti, Cu, Mn, V, Zn, Ni, Co, Pb, Se, and Cd than the plantation forest except for Cr. The soil of natural forest had a higher level of heavy metals than that of the plantation forest as a whole. This might be due to that the natural forest has longer age than the plantation forest, and fixed soil heavy metals take a longer period of time than the plantation forest.

Keywords Subtropics; Natural forest; Plantation forest; Soil; Heavy metal

* Corresponding author

(Received Dec. 19, 2010; accepted Mar. 20, 2011)