

土壤重金属沿山地森林海拔梯度的分布特征

万佳蓉¹, 聂明^{1*}, 邹芹², 胡少昌², 陈家宽¹

1. 南昌大学生命科学研究院鄱阳湖环境与资源利用教育部重点实验室, 流域生态学研究所, 江西 南昌 330031
2. 江西庐山自然保护区管理处, 江西 九江 332900

摘要 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, 研究了 14 种重金属(Fe, Al, Ti, Cu, Cr, Mn, V, Zn, Ni, Co, Pb, Se, Cd, As)沿山地森林海拔梯度的分布特征。结果表明海拔梯度对 14 种重金属中的 6 种重金属浓度(Fe, Al, Ti, V, Pb 与 As)有显著的影响, 对其他八种重金属浓度(Cu, Cr, Mn, Zn, Ni, Co, Se, Cd)没有显著的影响。由于研究区域为红壤, 海拔梯度对红壤特征重金属 Fe, Al 与 Ti 浓度有显著影响, 表明不同海拔高度红壤存在不同强度的脱硅风化过程与生物富集过程。此外, 海拔梯度对其他重金属存在不同的影响, 如 Cr, Zn 与 Cd 在较高海拔有较高浓度, Pb 与 As 在较低海拔有较高浓度, 表明不同海拔高度的森林土壤受重金属污染的主要类型不同。

关键词 森林; 海拔梯度; 重金属; 土壤

中图分类号: X53 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2011)12-3371-04

引言

土壤重金属危害森林生态系统, 不仅影响森林土壤环境质量, 而且通过食物链危及人类健康^[1, 2]。当前, 森林重金属的分布特征是生态学与环境学中的研究热点, 国外许多学者在热带雨林^[3]、温带阔叶林^[4, 5]、针叶林^[6]针对重金属的分布特征开展大量研究, 有效促进了对森林重金属的污染现状及其潜在生态风险的认识, 并为最终的污染治理提供参考依据。

森林是极为复杂的生态系统, 存在广泛的时空异质性和尺度复杂性。森林环境因子在大尺度上随海拔、纬度、地形、地貌等有很大的差异^[7]。以往研究表明, 环境因子在森林中的分布格局, 如水分含量与土壤总碳的分布特征, 均会影响到森林系统的生物及非生物过程^[7, 8]。虽然国内外研究森林土壤重金属分布特征比较多见, 但主要集中在地势与地形相似的森林土壤, 对大尺度上不同海拔高度森林土壤重金属的研究极少^[9, 10]。因此, 研究土壤重金属沿山地森林海拔梯度的分布特征, 对于准确掌握土壤中有害元素的类型及成因、以及科学评判森林土壤环境质量具有重要意义。

以庐山亚热带森林为研究区域, 以不同海拔高度的土壤为研究对象, 采用电感耦合等离子体发射光谱法与石墨炉原

子吸收光谱法测定土壤中 14 种重金属元素(Fe, Al, Ti, Cu, Cr, Mn, V, Zn, Ni, Co, Pb, Se, Cd, As)的浓度, 旨在揭示土壤重金属沿山地森林海拔梯度的分布特征。

1 实验部分

1.1 材料与仪器

土壤样品采集于江西庐山山地森林, 选择的森林类型为针叶林。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

选择三个海拔高度进行研究, 即 380 m(低海拔), 820 m(中海拔)与 1 250 m(高海拔)。为了确保样品能代表研究区域的特征, 在每一海拔高度随机选择 3 个相隔至少 50 m 的 25 m × 25 m 的样方, 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

收稿日期: 2011-04-05, 修订日期: 2011-07-28

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: 万佳蓉, 1982 年生, 南昌大学生命科学研究院讲师 e-mail: wanjiarong@126.com

* 通讯联系人 e-mail: nieming@ncu.edu.cn

分混合, 拣去砾石、动植物残体后, 60 °C 烘干, 最后经粉碎机粉碎, 过 100 目筛供实验分析用。

1.3 样品消解与测定

称取 0.100 0 g 样品置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 5 mL HNO₃, 5 mL HF, 3 mL HClO₄, 加盖后在电热板上中温加热。当加热至冒浓厚白烟后, 蒸至将干, 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, Cu, Cr, 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, As 的含量^[1]。

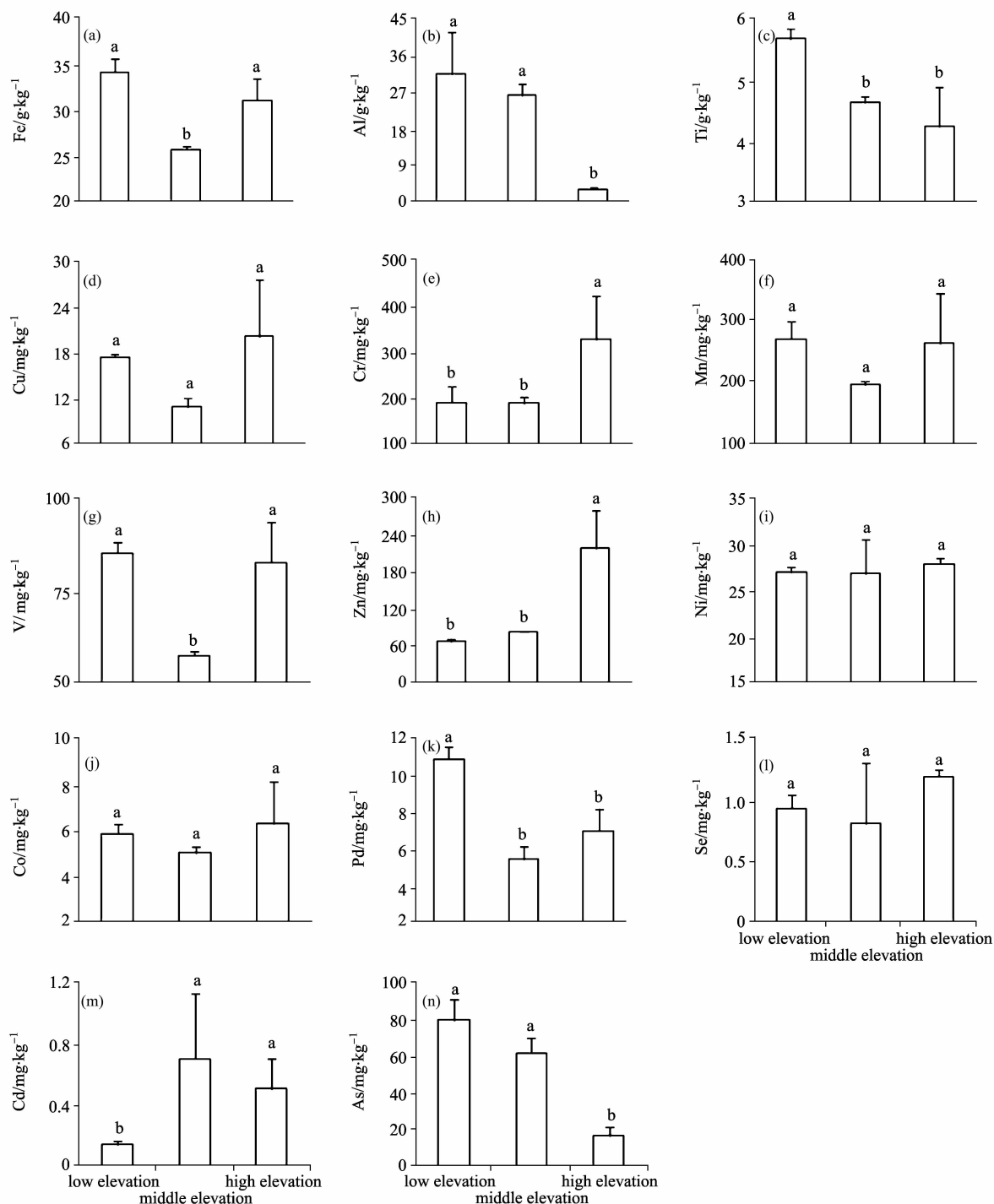


Fig. 1 Concentrations of heavy metals at different elevations. Values are means \pm SE. The same letters denote non-significant differences between treatments ($P > 0.05$)

1.4 统计分析

重金属浓度以平均值±标准差表示。应用 SPSS13.0 软件对重金属数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA)与多重比较分析(multiple comparisons test)。采用最小显著差异(least significant difference)方法,按 $P>0.05$ 的水准检验结果显著性。

2 结果与分析

14 种重金属在各海拔高度中的浓度见图 1。采用单因素方差分析检验海拔梯度是否对各重金属浓度有显著的影响(表 1)。结果表明,海拔梯度对测试的 14 种重金属中的六种重金属浓度(Fe, Al, Ti, V, Pb 与 As)有显著的影响,对其他八种重金属浓度(Cu, Cr, Mn, Zn, Ni, Co, Se, Cd)没有显著的影响(表 1)。

Table 1 Summary of one-way ANOVA to test the effect of elevation on heavy metal concentrations

重金属	组方差值	显著性	重金属	组方差值	显著性
Fe	6.87	$P<0.05$	Zn	0.78	0.50
Al	6.01	$P<0.05$	Ni	0.07	0.93
Ti	4.85	$P<0.05$	Co	0.34	0.72
Cu	1.19	0.37	Pb	10.90	$P<0.05$
Cr	1.82	0.24	Se	0.43	0.67
Mn	0.68	0.54	Cd	1.08	0.40
V	5.32	$P<0.05$	As	15.25	$P<0.01$

此外,采用多重比较的方法进一步具体比较重金属浓度在各海拔高度间是否具有显著性差异(图 1)。结果表明,中海拔土壤中 Fe 与 V 浓度显著低于低、高海拔[图 1(a), (g)];高海拔的 Al 与 As 浓度显著低于低、中海拔[图 1(b), (n)];低海拔的 Ti 与 Pb 浓度显著高于中、高海拔[图 1(c), (k)];高海拔的 Cr 与 Zn 浓度显著高于低、中海拔[图 1(e),

(h)];低海拔的 Cd 浓度显著低于中、高海拔[图 1(m)];Cu, Mn, Ni, Co 与 Se 在各海拔高度间没有显著性差异[图 1(d), (f), (i), (j), (l)]。

3 讨论

研究区域为我国江西庐山亚热带森林,其土壤类型为红壤。由于红壤缺乏碱金属和碱土金属,富含铁、铝、钛氧化物,而呈酸性显红色^[11]。因而,不同海拔高度土壤中的重金属均以 Fe, Al 与 Ti 为主,且较其他重金属具有较高的浓度。统计分析表明,海拔梯度均对 Fe, Al 与 Ti 的浓度有显著的影响,且不同海拔高度间这三类重金属浓度存在显著差异。红壤是中亚热带高温高湿条件下,脱硅风化过程与生物富集过程相互作用下形成的^[11],因此,海拔梯度对红壤特征重金属 Fe, Al 与 Ti 的显著影响,可以反映出不同海拔高度土壤存在不同强度的脱硅风化过程与生物富集过程。

其他非红壤特征重金属与海拔梯度有着不同的关系。海拔梯度对 Cu, Mn, Ni, Co 与 Se 的浓度没有显著的影响,且 Cu, Mn, Ni, Co 与 Se 的浓度在各海拔高度间没有显著性的差异,表明这五种重金属在山地森林分布较为均匀,没有显著的空间分布差异。Cr, Zn 与 Cd 在较高海拔有较高浓度, Pb 与 As 在较低海拔有较高浓度,而 V 在低、高海拔的浓度显著高于中海拔,表明这些重金属空间分布差异较大,导致不同海拔高度的森林土壤受重金属污染的主要类型不同。

本研究区域存在一定数量具有显著生物毒性的重金属,能危害包括人类在内生物的机能,如 Pb, Cd 与 Cr。根据中华人民共和国国家标准土壤环境质量标准(GB 15618—1995),本研究区域的土壤接近二级质量土壤,处于低度污染阶段。由于我国山地森林对于保护生物多样性与保持水土具有举足轻重的作用,若不及时加以保护,将导致严重的生态危机,不仅破坏生态环境,而且影响山脉水系的生态安全。

References

- [1] LIU Hao, CHEN Li-ping, AI Ying-wei, et al(刘浩,陈黎萍,艾应伟,等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2010, 30(6): 1663.
- [2] FAN Jun-gang, LI Li, GAO Jun, et al(范俊岗,李立,高军,等). Journal of Liaoning Forestry Science and Technology(辽宁林业科技), 2005, (5): 40.
- [3] Jerome V, Priscia O, Anthony N, et al. Chemical Geology, 2007, 239(1-2): 124.
- [4] Ana J H, Stervin A, Jesus P. Science of the Total Environment, 2007, 378: 36.
- [5] Luciano M, Barbara B, Fabrizio P, et al. Environment International, 2004, 30(2): 173.
- [6] Michael S, Antti-Jussi L, Liisa U, et al. Applied Geochemistry, 2003, 18(4): 607.
- [7] Lin Y T, Huang Y J, Tang S L, et al. Microbial Ecology, 2010, 59(2): 369.
- [8] Schuur E A G, Matson P A. Oecologia, 2001, 128(3): 431.
- [9] SUN Long, HAN Li-jun, HE Dong-po, et al(孙龙,韩丽君,何东坡,等). Scientia Silvae Sinicae(林业科学), 2009, 45(9): 72.
- [10] PAN Yong-jun, CHEN Bu-feng, XIAO Yi-hua, et al(潘勇军,陈步峰,肖以华,等). Ecology and Environment(生态环境), 2008, 17(1): 210.
- [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.

Distribution Characteristics of Heavy Metals along an Elevation Gradient of Montane Forest

WAN Jia-rong¹, NIE Ming^{1*}, ZOU Qin², HU Shao-chang², CHEN Jia-kuan¹

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. Management Bureau of Mt. Lushan Nature Reserve, Jiujiang 332900, China

Abstract In the present paper, the concentrations of fourteen heavy metals (Fe, Al, Ti, Cu, Cr, Mn, V, Zn, Ni, Co, Pb, Se, Cd and As) were determined by ICP-AES and atomic absorption spectroscopy along an elevation gradient of montane forest. The results show that the elevation gradient had significant effects on the concentrations of Fe, Al, Ti, V, Pb and As. And the concentrations of Cu, Cr, Mn, Zn, Ni, Co, Se and Cd were not significantly affected by the elevation gradient. Because the studying area is red soil, the elevation gradient had significant effects on the concentrations of Fe, Al and Ti which are characteristic heavy metals of red soil, suggesting that the red soil at different elevations has different intensities of weathering desilication and bioaccumulation. Other heavy metals have different relationships with the elevation gradient, such as the concentrations of Cr, Zn and Cd were high at relatively high elevation and Pb and As were high at relatively low elevation. These results suggest that the different elevations of montane forest soils were polluted by differently types of heavy metals.

Keywords Forest; Elevation gradient; Heavy metal; Soil

(Received Apr. 5, 2011; accepted Jul. 28, 2011)

* Corresponding author