

文章编号:1672-6561(2012)03-0070-05

贡嘎山海螺沟典型植被带总磷分布特征

吴艳宏^{1,2}, 周俊^{1,2}, 邴海健^{1,2}, 余东^{1,2}, 孙守琴^{1,2}, 罗辑^{1,2}

(1. 中国科学院 成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041;

2. 中国科学院 山地表生过程与生态调控重点实验室, 四川 成都 610041)

摘要: 由于独特的生物地球化学循环方式, 磷已成为影响山地生态系统发育和安全的重要元素。为了了解贡嘎山磷的生物地球化学循环, 对贡嘎山海螺沟坡地典型植被带土壤、植物根际土壤、植物不同部位总磷在生长季(9月)和非生长季或生长季初期(5月)的分布特征进行调查。结果表明: 土壤总磷的分布在垂直梯度上的差异以及同一土壤剖面不同土壤层总磷的差异均较明显, 同时还呈现明显的季节性差异, 这些差异的形成与土壤发育程度、温度变化及植物生长有关; 不同根际土壤在非生长季或生长季初期总磷的差异非常大, 而在生长季较为接近, 进一步说明植物对山地磷的生物地球化学循环存在较大影响; 杜鹃、冬瓜杨、柳的叶较幼枝更富集磷, 而峨眉冷杉、麦吊杉、竹的幼枝较叶所含磷略高。

关键词: 磷; 土壤; 根际; 植被带; 垂直地带性; 生物地球化学; 海螺沟; 贡嘎山

中图分类号: P593; P595 **文献标志码:** A

Characteristic of Total Phosphorus Distribution in Typical Vegetation Zones Along Hailuoguo of Gongga Mountain

WU Yan-hong^{1,2}, ZHOU Jun^{1,2}, BING Hai-jian^{1,2}, YU Dong^{1,2}, SUN Shou-qin^{1,2}, LUO Ji^{1,2}

(1. Chengdu Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041,

Sichuan, China; 2. Key Laboratory of Mountain Surface Processes and Ecological Regulation,

Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract: Phosphorus is an essential nutrient for mountain ecosystem development and security because of the special biogeochemical cycle. In order to understand the biogeochemical cycle of phosphorus in Gongga Mountain, the distributions of total phosphorus in soil from typical vegetation zone, rhizospheric soil and different parts of plants at growing season (September) and non-growing season or the beginning of growing season (May) were investigated. The results showed that the difference of distribution of total phosphorus in vertical gradient and that in different soil horizons from the same soil profile were significant, and the seasonal difference was remarkable; the above differences were related with the degree of soil development, temperature change and plant growing; the difference of total phosphorus in different rhizospheric soils at non-growing season or the beginning of growing season was large, but the difference at growing season was close, so that the plant had significant impact on the biogeochemical cycle of phosphorus in mountain; phosphorus in leaf was more than that in young shoot for rhododendron, populus purdomii and willow, while phosphorus in young shoot was a little more than that in leaf for abies fabric, picea brachytyla and bamboo.

收稿日期: 2012-03-27

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-BR-21)

作者简介: 吴艳宏(1969-), 男, 江苏靖江人, 研究员, 理学博士, E-mail: yhwu@imde.ac.cn.

Key words: phosphorus; soil; rhizosphere; vegetation zone; vertical zonality; biogeochemistry; Hailuoguo; Gongga Mountain

0 引言

与碳、氮一样,磷是植物正常生长的必需营养元素之一^[1]。与碳、氮不同的是,磷只能来源于岩石圈岩石的风化^[2],而碳、氮主要来源于大气,通过生物固碳或固氮作用进入生物圈^[3]。相对于碳、氮循环,磷的生物地球化学循环是比较封闭和缓慢的过程^[4],全球范围内的磷循环在较短时间尺度上可以认为是不断由陆地输出向海洋沉积的单向过程。因此,陆地生态系统尤其是山地系统磷的流失,哪怕是非常小的量,在自然条件下都是难以补偿的。根据生物计量化学平衡原理^[5],磷的有效供给还影响植物对碳、氮的吸收和利用^[6],从而影响生态过程,影响生态系统初始生产力。因而,陆地生态系统磷的有效供给成为实质性的控制性因素,磷的生物地球化学循环和生物有效性影响着陆地生态系统的发育和安全^[5,7-8]。另一方面,过多的磷输入是淡水、海洋和陆地生态系统富营养化的主要原因^[9],山地是地球表层物质来源的起点,江河湖泊均发源于此,山地系统磷的输出通量及其生物有效性直接影响下游水体生态环境安全。因此,无论从山地系统本身生态发育和安全的角度,还是从区域环境影响的角度,山地生态系统磷的生物地球化学循环都值得重点研究。贡嘎山位于青藏高原东缘与四川盆地衔接处,垂直植被带谱完整,垂直气候梯度显著,是研究山地磷生物地球化学循环的理想区域。笔者选择贡嘎山海螺沟典型植被带,开展总磷(TP)分布特征的基础调查研究,为进一步研究贡嘎山磷的生物地球化学循环提供参考。

1 研究区概况

贡嘎山位于中国西南部,青藏高原东缘,是横断山系的最高峰(海拔 7 556 m)。由于在地貌上位于四川盆地和青藏高原的过渡带,贡嘎山在 29 km 的水平距离上垂直高差达 6 500 m,形成了完整的气候梯度和植被垂直带谱:干热河谷稀树灌丛带、山地常绿阔叶林带、山地针阔叶混交林带、亚高山针叶林带、高山灌丛草甸带和高山冰雪带^[10]。围绕贡嘎山主峰,分布有数十条海洋性冰川,海螺沟是贡嘎山东坡最主要冰川河,其两岸坡地土壤的成土母质多为以花岗变质岩为主的冰川堆积物和坡积物,含大量

云母^[11]。由于地形变化剧烈,坡度较大,土壤厚度不大,又因发育时间短,所以土壤发育程度不高,空间差异性大。

2 材料与方法

2.1 样品采集

2010 年 5 月和 9 月分别在贡嘎山海螺沟灌丛带、针叶林带和针阔混交林带(图 1)挖掘土壤剖面分层采集土壤样品;针对典型植物,采集植物细根周围根际土壤样品;同时采集不同植物叶、枝、干、皮等样品。土壤采样方法详见文献^[12]。

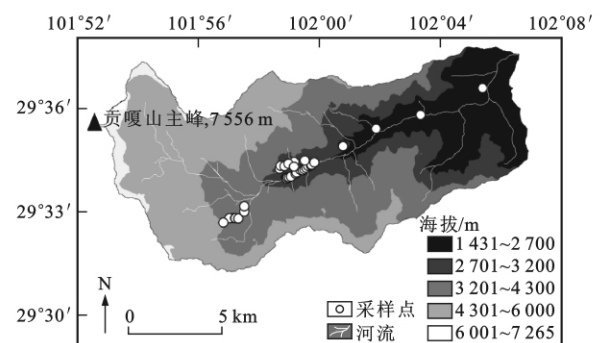


图 1 采样点位置

Fig. 1 Location of Sampling Sites

2.2 试验方法

土壤样品低温($<40\text{ }^{\circ}\text{C}$)烘干,并研磨至能通过 0.15 mm 孔径筛;植物样品先后用自来水和蒸馏水洗去灰尘后,低温($<40\text{ }^{\circ}\text{C}$)烘干,并粉碎至能通过 0.15 mm 孔径筛。称取 0.125 g 左右土壤和植物样品置于已用去离子水洗净的消解罐中,分别加入 0.5 mL 浓盐酸(含量(质量分数,后文同)为 38%)、6.0 mL 浓硝酸(含量为 96%~98%)、3.0 mL 浓氢氟酸(含量为 40%),在 Berghof MWS-3 型微波消解系统中,将温度设定为 $(180\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 进行反应 10~15 min;冷却后,定量转移至 50 mL 聚四氟乙烯烧杯中,加入 0.5 mL 浓高氯酸(含量为 70%~72%),中温($180\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$)蒸干,再加入 2.5 mL $1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ HNO_3 、0.25 mL H_2O_2 、5 mL 超纯水,加热溶解残渣,冷却后定容至 25 mL;溶液转移至聚四氟乙烯瓶中, $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下保存待测。元素磷含量用美国 Leeman Labs Profile 多道电感耦合等离子体原子发射光谱仪(ICP-MS)测定,并采用美国 SPEXTM 标准溶液(不确定性为 2%)作为标准,水系沉积物 GSD-9 和

GSD-11 为参考物质,测量误差小于 5%。

3 结果与讨论

3.1 采样点土壤发育状况

海螺沟土壤发育于冰川堆积物,发育程度较弱,不同植被带差异明显,难以按土壤学传统分层方法区分出土壤层。根据野外直观判识土壤有机质含量、颜色、粒径大小,将土壤剖面分为 A0 层(棕褐色、棕黑色,富含分解、半分解有机质)、A 层(棕色、棕褐色,含腐殖质层)、B 层(淀积、残积层)、C 层(母质层,贡嘎山海螺沟土壤发育不均,土壤剖面常有层位缺失)。

以杜鹃(rhododendron)为主的灌丛带,分布于海拔 3 800~4 000 m,土壤发育弱,A0 层为棕褐色、棕黑色,厚度小于 1 cm;A 层为棕褐色,厚度 8 cm 左右,含砾石;B 层为棕色,含砾石,厚度 10~15 cm;C 层厚度各采样点不一,为黄色、黄绿色沙砾。以峨眉冷杉(abies fabri)为主的暗针叶林带,分布于海拔 2 900~3 800 m,土壤发育以成熟林带土壤发育为主,A0 层为棕黑色,凋落物含量高,厚度 0~5 cm;A 层为棕褐色,含少量砾石,厚度 1~10 cm,各地带发育不一;B 层为棕色,含砾石,常缺失,在海拔 3 500~3 600 m 带的厚度为 8~10 cm;

C 层为青灰色、黄色沙砾,厚度各地不一。以冬瓜杨为主的冰川末端地带,分布于海拔 2 950 m 左右,土壤发育弱,A0 层为棕褐色,厚度小于 1 cm;A 层为棕色,含砾石,厚度为 1 cm 左右;B 层缺失;C 层为青灰色,厚度不一。以苞榭科(lithocarpus)为主的阔叶林带,分布于海拔 2 400 m 以下,土壤发育程度较高,A0 层为棕黑色,厚度 3~5 cm;A 层为棕褐色,颗粒较细,含少量沙砾,厚度为 5~12 cm;B 层为棕色,厚度 6~9 cm;C 层为棕黄色、青灰色,厚度不等。

各地带土壤发育程度不一,与土壤发育时间、植被覆盖、海拔高度相关。土壤发育程度从低到高分别为:以杜鹃为优势种的灌丛草甸带、冬瓜杨带、峨眉冷杉林带和苞榭科带。植被覆盖度高、土壤发育时间长的阔叶林带各土壤层清晰,富含腐殖质的 A0、A 层厚度大;而植被覆盖度差的灌丛带和发育时间短的冬瓜杨带 A0、A 层较薄。

3.2 典型植被带土壤总磷分布特征

从总体上来说,以杜鹃为优势种的高山灌丛草甸带土壤总磷最高,而以苞榭科为优势种的阔叶林带最低,冬瓜杨带又较峨眉冷杉磷带略高(表 1、图 2)。这些表明随着土壤发育程度的增高,磷的流失也增加了。

表 1 各植被带土壤总磷调查结果

Tab. 1 Investigated Results of Total Phosphorus in Soil from Different Vegetation Zones

植被类型	土壤层	2010 年 5 月采样结果				2010 年 9 月采样结果			
		样品数	总磷最大值/ 10 ⁻⁶	总磷最小值/ 10 ⁻⁶	总磷平均值/ 10 ⁻⁶	样品数	总磷最大值/ 10 ⁻⁶	总磷最小值/ 10 ⁻⁶	总磷平均值/ 10 ⁻⁶
杜鹃	A0	6	1 817.2	1 414.3	1 638.1	11	1 623.5	814.4	1 344.9
	A	6	1 808.7	1 071.2	1 482.1	18	1 691.5	1 016.5	1 346.3
	B	6	1 978.2	1 057.9	1 497.3	17	1 452.8	285.5	1 086.9
	C	6	2 491.9	1 227.7	1 892.2	18	2 056.1	248.5	1 212.4
峨眉冷杉	A0	13	1 734.2	962.0	1 312.2	22	1 445.1	679.8	1 099.6
	A	13	1 196.3	762.7	994.0	22	1 328.2	622.2	946.7
	B	9	1 449.3	644.3	818.4	18	1 328.7	217.0	788.7
	C		2 033.7	759.5	1 237.5	22	1 408.2	477.0	949.2
冬瓜杨	A0	3	1 540.3	1 212.4	1 348.0	13	1 399.3	936.3	1 138.8
	A	3	1 329.6	972.2	1 126.1	13	1 221.8	692.1	993.0
	C	8	1 756.6	855.6	1 061.9	13	1 256.6	832.3	964.9
苞榭科	A0	5	1 427.1	1 273.4	1 380.2	6	1 232.9	1 132.4	1 232.8
	A	5	1 111.9	827.6	1 016.5	6	1 084.2	662.8	911.5
	B	4	1 142.4	579.9	772.2	6	1 093.7	437.5	755.4
	C		895.9	481.1	633.7	6	1 041.6	266.5	667.9

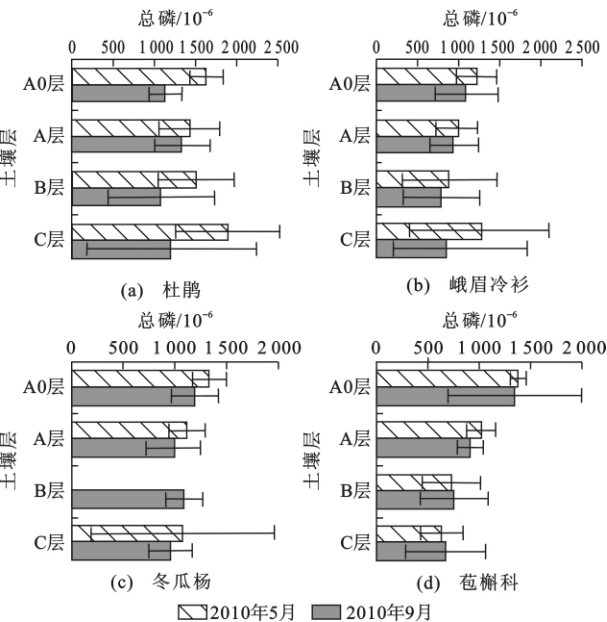


图 2 典型植被带土壤总磷分布及季节差异
Fig. 2 Distribution and Seasonal Difference of Total Phosphorus in Soils from Typical Vegetation Zones

各植被带 A0 层总磷均高于其他各层,可能因为植物吸取了土壤磷,而随着凋落物分解归还于 A0 层,少量归还的磷达到 A 层。在杜鹃和峨眉冷杉林带,C 层总磷高于 B 层;这主要因为 C 层风化程度弱于 B 层,磷释放量较少;另一方面,野外观察发现,植物根系很少生长到 C 层,因此植物从 C 层吸收的磷也较少。而在苞榭科发育的常绿阔叶林带,土壤发育程

度高,植物根生长深度大,B 层总磷含量略高于 C 层。

土壤总磷的季节性分布特征是生长季(9 月)的总磷总体上低于非生长季或生长季初期(5 月)。这与植物吸收是否有关,有待通过植物对磷循环的影响研究进行探讨。除苞榭科带外,其他 3 个植被带的 C 层总磷季节差异较大,可能原因是温度对土壤化学过程有影响,在 5 月采集样品时,杜鹃、峨眉冷杉和冬瓜杨带的 C 层土壤仍然冰冻着,随着气温升高,冻土融化,化学风化增强,磷释放出来,因此 9 月份 C 层总磷低于 5 月份。

3.3 不同植被根际土壤总磷分布特征

非生长季或生长季初期,各植被根际土壤总磷差异较大,杜鹃根际土壤最高,而冬瓜杨最低;生长季根际,土壤总磷差异不大。除杜鹃根际土壤外,峨眉冷杉、冬瓜杨和苞榭科根际土壤生长季总磷均略高于非生长季或生长季初期(表 2、图 3)。这些现象的产生与植物及微生物作用有关,随着生长季的到来,在植物、微生物吸收磷的同时,根系分泌酸和酶,促进土壤磷的形态转换及释放,因此除杜鹃外,生长季根际土壤总磷较非生长季或生长季初期高。杜鹃根际土壤在生长季的总磷反而较低,这可能与杜鹃对磷的需求特征有关。杜鹃等灌木叶/枝干比较大,而磷等更易在叶中富集^[13],因此灌木生长对磷的需求量较大,造成其根际土壤总磷较低;此外,灌丛带草本植物发育,而草本植物总磷较高,达到 $1\ 600\times 10^{-6}$,也是造成根际土壤总磷下降的原因之一。

表 2 不同植物根际土壤总磷采样结果

Tab. 2 Sampling Results of Total Phosphorus in Rhizospheric Soils of Different Vegetations

植被类型	2010 年 5 月采样结果				2010 年 9 月采样结果			
	样品数	总磷最大值/ 10^{-6}	总磷最小值/ 10^{-6}	总磷平均值/ 10^{-6}	样品数	总磷最大值/ 10^{-6}	总磷最小值/ 10^{-6}	总磷平均值/ 10^{-6}
杜鹃	4	1 329.1	1 148.5	1 242.3	12	1 270.8	817.6	1 098.0
峨眉冷杉	17	1 663.4	729.4	967.3	25	1 299.3	699.1	1 030.9
冬瓜杨	4	1 252.7	738.4	919.2	8	1 282.9	882.3	1 078.0
苞榭科	4	1 081.5	893.3	1 010.2	7	1 271.8	1 044.1	1 113.9

3.4 不同植物总磷分布特征

对杜鹃、峨眉冷杉、麦吊杉、冬瓜杨、柳、沙棘及竹的叶、幼枝及树皮的总磷进行分析(图 4),结果表明沙棘无论是叶还是幼枝,总磷均较高。本研究的沙棘样品主要采集自冰川末端冰川退缩迹地上,土壤发育程度弱,沙棘作为先锋植物,迅速吸收岩石中的磷,对加速磷的生物地球化学循环起到重要作用。除沙棘外,其他植物幼枝的总磷相近,竹幼枝略高。冬瓜杨和柳叶的总磷较高,是其幼枝的 3~4 倍,杜鹃叶的总磷略高于幼枝,而峨眉冷杉、麦吊杉和竹的

叶中总磷低于幼枝,这一结果与其他元素的富集特征相吻合^[13]。树皮的总磷均较低。

4 结 语

(1)贡嘎山典型植被带土壤总磷分析表明,在垂直梯度上磷的分布有明显差异,而同一土壤剖面不同土壤层总磷也有明显的分布规律,即 A0 层总磷最高,C 层除常绿阔叶林带外都低于 B 层。土壤总磷的季节性差异也较为明显。土壤总磷的变化特征与土壤发育程度、温度变化、植被生长相关。生长季

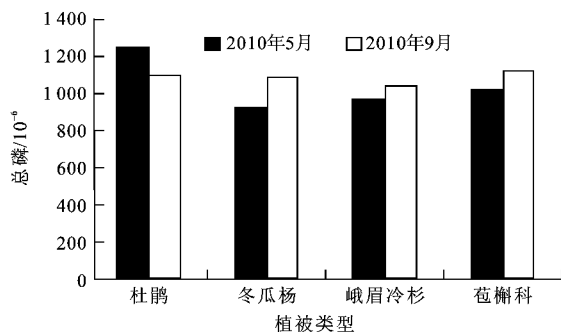


图3 不同植物根际土壤总磷分布

Fig. 3 Distribution of Total Phosphorus in Rhizospheric Soil of Different Vegetations

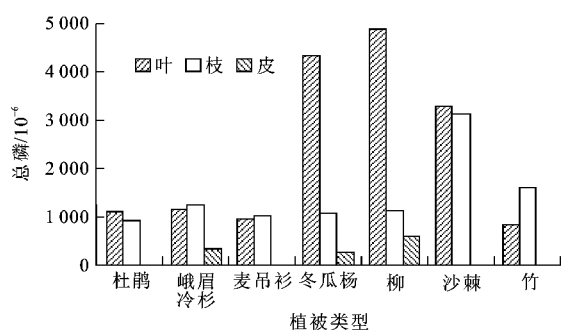


图4 典型植物叶、幼枝、皮的总磷分布

Fig. 4 Distribution of Total Phosphorus in Leaf, Young Shoot and Bark of Typical Vegetations

各植物类型根际土壤总磷相近,而非生长季差异明显,根际土壤的总磷季节性差异大,进一步表明生物、微生物在磷的生物地球化学循环中的重要作用。典型植物叶、幼枝和皮的总磷显示,沙棘对磷的持有能力较高,无论是枝还是总磷是杜鹃和针叶树种的2~3倍,冬瓜杨叶的总磷最高。

(2)下一步需要重点探讨土壤磷形态组合的特征,了解土壤磷释放的过程和特点,加强微生物、植物对磷循环作用的影响研究,加强不同植物磷蓄积和需求研究,估算植物磷库和生态形态安全发育的需磷量,真正获得山地形态磷生物地球化学循环的理论认识。

参考文献:

References:

- [1] FILIPPELI G M. The Global Phosphorus Cycle: Past, Present and Future[J]. Elements, 2008, 4(2): 89-95.
- [2] WALKER T W, SYERS J K. The Fate of Phosphorus During Pedogenesis[J]. Geoderma, 1976, 15(1): 1-19.
- [3] GALLOWAY J N, DENTENER F J, CAPONE D G, et al. Nitrogen Cycles: Past, Present, and Future[J].

Biogeochemistry, 2004, 70(2): 153-226.

- [4] SMIL V. Phosphorus in the Environment; Natural Flows and Human Interferences[J]. Annual Review of Energy and the Environment, 2000, 25: 53-88.
- [5] 王绍强, 于贵瑞. 生态系统碳氮磷元素的生态化学计量学特征[J]. 生态学报, 2008, 28(8): 3937-3947.
- WANG Shao-qiang, YU Gui-rui. Ecological Stoichiometry Characteristics of Ecosystem Carbon, Nitrogen and Phosphorus Elements[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8): 3937-3947.
- [6] CREWS T E, FARRINGTON H, VITOUSEK P M. Changes in Asymbiotic, Heterotrophic Nitrogen Fixation on Leaf Litter of *Metrosideros Polymorpha* with Long-term Ecosystem Development in Hawaii [J]. Ecosystems, 2000, 3(4): 386-395.
- [7] VITOUSEK P M, PODER S, HOULTON B Z, et al. Terrestrial Phosphorus Limitation: Mechanisms, Implications and Nitrogen-phosphorus Interactions[J]. Ecology Application, 2010, 20(1): 5-15.
- [8] DE VRIES W, SOLBERG S, DOBBERTIN M, et al. Ecologically Implausible Carbon Response? [J]. Nature, 2008, 451: E1-E3.
- [9] SMITH V H, TILMAN G D, NEKOLA J C. Eutrophication: Impacts of Excess Nutrient Inputs on Freshwater, Marine and Terrestrial Ecosystems[J]. Environmental Pollution, 1999, 100: 179-196.
- [10] 刘照光, 邱发英. 贡嘎山地区主要植被类型和分布[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1986, 10(1): 26-34.
- LIU Zhao-guang, QIU Fa-ying. The Main Vegetation Types and Their Distribution in the Gongga Mountainous Region[J]. Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica, 1986, 10(1): 26-34.
- [11] 余大富. 贡嘎山的土壤及其垂直地带性[J]. 土壤通报, 1984, 15(2): 65-68.
- YU Da-fu. Vertical Zonal Characteristics of Soil in Gongga Mountain[J]. Chinese Journal of Soil Science, 1984, 15(2): 65-68.
- [12] 孙波, 施建平, 杨林章. 陆地生态系统土壤观测规范[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007.
- SUN Bo, SHI Jian-ping, YANG Lin-zhang. Protocols for Standard Soil Observation and Measurement in Terrestrial Ecosystems[M]. Beijing: Chinese Environment Science Press, 2007.
- [13] SUN S Q, WU Y H, ZHOU J, et al. Comparison of Element Concentrations in Fir and Rhododendron Leaves and Twigs Along an Altitudinal Gradient [J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 2011, 30(11): 2608-2619.