

DOI: 10.5846/stxb201306221758

福英, 白学良, 张乐, 毕庚辰, 冯超, 寇瑾, 萨如拉. 五大连池火山熔岩地貌苔藓植物对土壤养分积累的作用. 生态学报, 2015, 35(10): 3288-3297.

Fu Y, Bai X L, Zhang L, Bi G C, Feng C, Kou J, Sarula. The effect of bryophytes on nutrient accumulation in surface soil in the Wudalianchi volcanic area. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(10): 3288-3297.

五大连池火山熔岩地貌苔藓植物对土壤养分积累的作用

福 英, 白学良*, 张 乐, 毕庚辰, 冯 超, 寇 瑾, 萨如拉

内蒙古大学生命科学学院, 呼和浩特 010021

摘要: 为了解五大连池火山熔岩地貌土壤主要矿质养分含量及其特点, 同时探讨苔藓植物对土壤养分积累的影响, 选取了 6 座形成年代不同的火山, 对其进行了苔藓植物生境分布、盖度调查及土壤养分含量的测定。结果表明: (1) 西焦得布山、卧虎山、南格拉球山、莫拉布山等老期火山阔叶林下苔藓种类匮乏, 其盖度 < 1%; 老期火山石塘林苔藓种类较丰富, 盖度可达 10%—15%, 主要分布有毛尖紫萼藓、山羽藓、美灰藓、虎尾藓等石生藓类, 同时还有石缝藓、卷叶凤尾藓等生于石缝内。(2) 新期火山中老黑山的林下以垂枝藓为优势种, 盖度可达 50%—80%, 常见伴生种有山羽藓、狭叶小羽藓、金灰藓、毛尖紫萼藓等。老黑山火山砾生境以砂藓为优势种, 盖度可达 45%; 常见伴生种有垂枝藓、美灰藓、真藓、桧叶金发藓等。(3) 新期火山中的火烧山上分布的苔藓以毛尖紫萼藓、垂枝藓、美灰藓等干燥石生藓类为主, 盖度为 10% 左右, 峭壁背阴处和石缝等小生境中分布有密叶三瓣苔、毛尖金发藓、桧叶金发藓等。(4) 土壤 N、P、K 三大营养元素含量在老期火山土壤中基本上都为丰; 全 N、S、有机质含量在新期火山土壤中的含量最低, 有随火山形成年代的增加而升高的趋势; 全 K、Ca、Mg、Fe、Zn、B 含量在新期火山土壤中都最高, 有随年代的增加而减少的趋势; 全 Mn 和 Cl 含量在新期火山土壤中较高, 也随年代的增加而有下降的趋势; 全 P 的量在各火山土壤中的含量都较高, 没有明显的变化趋势; 新期火山土壤 pH 值高于老期火山, 土壤酸碱反应总体上呈中性。(5) 土壤全 N、S 含量与有机质含量, 全 K 含量与全 Mg、Fe 含量, 全 Mg 含量与全 Fe 含量呈极显著正相关 ($P < 0.01$); 全 S 含量和有机质含量具有显著正相关性 ($P < 0.05$); 全 N 含量与全 K 含量呈极显著负相关 ($P < 0.01$); 全 N 与全 Zn, 全 K、S 与有机质, 全 Ca 与 Cl, 全 S 与全 Zn, 全 Zn 与有机质含量间具有显著的负相关性 ($P < 0.05$)。 (6) 表面有苔藓植物覆盖的火烧山土壤所含 N、S、P、有机质等的含量高于火山砾; 老黑山路边土壤养分含量几乎都低于林下样品, 老黑山表面覆盖有垂枝藓、山羽藓、砂藓和桧叶金发藓的火山砾所含 N、S、有机质的含量高于只有砂藓覆盖的火山砾。

关键词: 苔藓植物; 盖度; 养分积累; 五大连池; 火山熔岩地貌; 矿质元素

The effect of bryophytes on nutrient accumulation in surface soil in the Wudalianchi volcanic area

FU Ying, BAI Xueliang*, ZHANG Le, BI Gengchen, FENG Chao, KOU Jin, Sarula

College of Life Science, Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China

Abstract: Studying the content and characteristics of soil nutrients and the bryophytes community is crucial to revealing the soil nutrition conditions and the effect of bryophytes on soil nutrient accumulation. In our study we selected Laoheishan, Huoshaoshan, Xijiaodebushan, Wohushan, Nangelaqiushan and Molaushan volcanoes as sampling plots. Laoheishan and Huoshaoshan are new-period volcanoes and the rest are old volcanoes. We arranged 15 quadrats to investigate the habitat

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31170497)

收稿日期: 2013-06-22; 网络出版日期: 2014-05-30

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: bxliangmoss@aliyun.com

distribution and coverage of bryophytes; and tested for total N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B, Cl, soil organic matter and pH values in ten surface soil/lapilli samples (0—20cm) collected from those sampling plots. The research results showed that: (1) Bryophyte species were deficient under broadleaf forest on old volcanoes, with coverage of under 1%. There were some common species like *Entodon compressus* C. Muell., *Myuroclada maximowiczii* (Borszcz.) Steer et Schof., *Taxiphyllum taxirameum* (Mitt.) Fleisch. distributed in humid habitats. Bryophyte species were abundant in old stone forests. There, not only distributed epilithic mosses like *Grimmia pilifera* P. Beauv., *Abietinella abietina* (Hedw.) Fleisch., *Hedwigia ciliata* (Hedw.) Ehrh. ex P. Beauv., *Eurohypnum leptothallum* (C. Muell.) Ando; but also many distributed geophilous mosses like *Saelania glaucescens* (Hedw.) Broth. ex. Bom. et Broth., *Fissidens cristatus* Wils. ex Mitt. and so on. (2) *Rhytidium rugosum* (Hedw.) Kindb. was the dominant species under Laoheishan volcano forest with coverage of 50%—80%. *Abietinella abietina*, *Weissia edentula* Mitt., *Haplocladium angustifolium* (Hamp. et C. Muell.) Broth., *Haplocladium microphyllum* (Hedw.) Broth., *Pylaisiella polyantha* (Hedw.) Grout, *Grimmia pilifera*, were common accompanying species in this habitat. *Racomitrium canescens* (Hedw.) Brid. was the dominant species of lapilli habitat on Laoheishan volcano with coverage of 45%. *Eurohypnum leptothallum*, *Rytidium rugosum*, *Polytrichum juniperinum* Hedw., *Bryum argenteum* Hedw., *Bryum uliginosum* (Brid.) B.S.G. were common accompanying species in this habitat. (3) The dominant species on Huoshaoshan volcano were *Rytidium rugosum*, *Grimmia pilifera*, *Eurohypnum leptothallum*, *Polytrichum piliferum* Hedw. and *Tritomaria quinqueidentata* (Huds.) Buch, which were distributed in shady spots in cliffs or rock crevices. (4) The total N, S, and organic matter were lowest in the soil collected from new-period volcanoes; while in contrast, the total K, Ca, Mg, Fe, Zn, B, Mn and Cl were highest in new-period volcanic soil. The pH value of new-period volcanic soil was also higher than old volcanic soil. Total P in the different soil samples had no significant differences. The total N, P, S, Cl, and organic matter in volcanic soil were higher than in lapilli. (5) The total N had a significantly positive correlation with total S and soil organic matter; total K with total Mg and total Fe, and total Mg with total Fe also had significantly positive correlations ($P < 0.01$). Total S has a positive correlation with soil organic matter ($P < 0.05$). Total N has a significantly negative correlation with total K. Total N with total Zn; total K, S, and soil organic matter; total Ca with Cl; total S with total Zn; total Zn with soil organic matter also had negative correlations ($P < 0.05$). (6) The N, S, P and organic matter from Huoshaoshan which were covered by bryophytes are higher than those of lapilli. The nutrient contents of roadside soil were less than values obtained from samples from Laoheishan forest, except for Ca and Zn. The N, S and organic matter of samples from Laoheishan which were covered by *Rytidium rugosum*, *Abietinella abietina*, *Racomitrium canescens*, *Polytrichum juniperinum*, are all higher than the sample which was only covered by *Racomitrium canescens*.

Key Words: bryophytes; coverage; nutrient accumulation; Wudalianchi; volcanic lava landform; mineral elements

五大连池火山群是我国第四纪著名的火山群之一,是由 2 座新期火山和 12 座老期火山组成的天然的山公园,被誉为“火山博物馆”^[1]。第四纪以来,该区域发生多次火山活动,喷发出大量熔岩和火山碎屑物,形成了大面积的原生裸地^[2-3]。

苔藓植物作为演替过程中的先锋植物^[4-7],继藻类、地衣之后,率先进入火山地貌生境。它们能分泌酸性物质,逐步溶解岩面,加速了岩石的风化速度,对岩石表面薄层土壤的形成起到了极其重要的作用^[6,8]。苔藓个体矮小,但具有巨大的表面积和极强的吸附能力,并且常呈大片垫丛状群落,形成大量的毛细空间^[6,9-10]。因此,大面积生长的苔藓植物可以有效地截获降水、拦蓄径流,从而积累风尘物质包括植物的一些必需元素(如 K、P、S),减少土壤水分中矿质养分的流失,增加营养物质的保留,有助于水土和土壤肥力的保持^[6,9-12]。同时,通过产生凋落物、提高微生物的活动,不断地改造土壤理化性质,促进土壤改良,为维管植物的进入创造了有利条件^[5-6,13-14]。

本文调查了五大连池 6 座火山苔藓植物的物种组成与盖度,测定了土壤中主要矿质元素、有机质含量与 pH 值,以探讨苔藓植物对原生裸地土壤矿质营养元素的积累作用,为火山资源的合理开发利用和保护提供基础数据和科学依据。

1 研究区域概况

五大连池世界地质公园位于黑河市南部的五大连池自然保护区及风景区内,地理坐标为 $126^{\circ}00'—126^{\circ}25'E, 48^{\circ}30'—48^{\circ}50'N$ ^[15-16]。研究区域分布 14 座火山,海拔从 353.7 到 602.6 m^[1]。该区属于寒温带大陆性季风气候:夏季凉爽短促,冬季严寒漫长,年平均气温在 $-0.5^{\circ}C$ 左右,年平均降水量为 467.3 mm,无霜期平均为 120 d 左右^[1,17]。该区地带性植被为温带针阔混交林,但由于受大兴安岭寒温带湿润气候和松嫩平原温带半湿润、半干燥气候的综合影响,其植被中混有寒温带针叶林和温带森林草原成分^[3,17]。

2 材料与方法

2012 年 7 月 13 日至 19 日,从五大连池火山群里选老黑山、火烧山两座新期火山和西焦得布、卧虎山、南格拉球、莫拉布山四座老期火山^[18-19]作为样地,根据不同的海拔、坡度、植被等设置 3—5 个样方(1 m×1 m),进行苔藓植物物种组成和盖度调查。同时,采集覆盖苔藓植物的表层土壤,采样深度为 0—20 cm。将土样混合,采用四分法取样品 1 kg 左右。将土壤放入密封塑料袋,附上标签,记录采样时间、采样地点、生境、样品编号等。将土壤样品带回实验室,于阴凉处风干保存备用。

将风干的土样内的石块、根茎及其他杂质挑除,以排除生物有机体对土壤养分含量的干扰。土壤样品通过 18 目筛(1 mm 孔径),将同一个样地不同样方采集的土壤混合均匀,称取 500 g,作为该样地的土壤样品。将土壤样品(共 10 份)送去内蒙古农牧科学院进行主要矿质元素、有机质含量以及 pH 值的测定。

使用 Jnoec 双筒体视显微镜和 Olympus 光学显微镜,参考相关专著^[20],进行苔藓植物的物种鉴定。

最后,运用 Excel 2007 和 SPSS 20.0 数据统计分析软件,对测定结果进行处理和分析。

3 结果与分析

3.1 各样地苔藓植物生境分布及盖度调查

为探讨苔藓对五大连池火山地貌土壤形成及养分积累的影响,以新期火山中的老黑山为主,对各样地内火山砾、石塘林、蒙古栎(*Quercus mongolica* Fisch. ex Turcz.)-枫树(*Acer mono* Maxim)混交林、兴安落叶松(*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.)林、黑桦(*Betula dahurica* Pall.)-蒙古栎混交林等不同生境共 15 个采样点进行了苔藓植物的分布情况、优势种及其盖度的调查。其中,老黑山共设 9 个样方、西焦得布山 2 个样方、火烧山、卧虎山、南格拉球山、莫拉布山各设 1 个样方(表 1)。

西焦得布、南格拉球、卧虎山等老期火山阔叶林下草本植物繁茂,林下枯枝落叶较多,基质不稳定,因而苔藓种类贫乏,其盖度小于 1%;常见藓类有密叶绢藓(*Entodon compressus* C. Muell.)、鼠尾藓(*Myuroclada maximowiczii* (Borszcz.) Steer et Schof.)、鳞叶藓(*Taxiphyllum taxirameum* (Mitt.) Fleisch.)等,生于较湿润的阴坡、树干基部、岩石表面(样方 11、13、14)。西焦得布、莫拉布石塘林内苔藓种类较为丰富(样方 12、15),盖度为 10%—15%,主要有生态幅较广的角齿藓(*Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid.),干燥石生的毛尖紫萼藓(*Grimmia pilifera* P. Beauv.),湿润石生的山羽藓(*Abietinella abietina* (Hedw.) Fleisch.)、美灰藓(*Eurohypnum leptothallum* (C. Muell.) Ando)、树形疣灯藓(*Trachycystis ussuriensis* (Maack et Regel) T. Kop.)、虎尾藓(*Hedwigia ciliata* (Hedw.) Ehrh. ex P. Beauv.)、长叶纽藓(*Tortella tortuosa* (Hedw.) Limpr.)、岩石缝内以石缝藓(*Saelania glaucescens* (Hedw.) Broth. ex. Bom. et Broth.)、卷叶凤尾藓(*Fissidens cristatus* Wils. Ex Mitt.)、纤枝细裂瓣苔(*Barbilophozia attenuate* (Mart.) Loeske)、细裂瓣苔(*Barbilophozia barbata* (Schmid.) Loeske)、红色拟大萼苔(*Cephaloziella rubella* (Nees) Warnst.)占优势。这两座老期火山的石塘林中除石生苔藓外还生长着

很多土生藓类,说明该处已经形成和积累了较厚的土壤层,为这些土生藓类提供了适宜的生长环境。

表 1 各样方苔藓植物物种组成及盖度

Table 1 Species of bryophytes in each quadrat and coverage

样方 Quadrat	苔藓植物物种组成及盖度 Species of bryophytes in each quadrat and coverage
1	老黑山五彩沙滩,火山砾;苔藓群落(几乎无草本);地衣盖度 15%,苔藓盖度 35% 优势种(dominant species):砂藓占 35% 伴生种(Accompanying species):真藓
2	老黑山五彩沙滩,火山砾;多年生草本植物群落,以委陵菜(<i>Potentilla chinensis</i> Ser.)为主;地衣盖度 10%,苔藓盖度 45% 优势种:砂藓占 45%
3	老黑山五彩沙滩,火山砾;地衣为主;地衣盖度 75%,苔藓盖度 5% 优势种:砂藓占 5%
4	老黑山山脚下,火山砾;山杨(<i>Populus davidiana</i> Dode)-白桦(<i>Betula platyphylla</i> Suk.)混交林,地衣盖度 9%,苔藓盖度 15%。优势种:砂藓占 14%;垂枝藓占 1%
5	老黑山南坡山脚下,较厚的火山砾;山杨矮曲林,地衣盖度 15%,苔藓盖度 3% 优势种:砂藓占 3% 伴生种:美灰藓、垂枝藓、桧叶金发藓
6	老黑山脚下,路边土壤;苔藓植物盖度小于 1% 常见种(Common species):真藓、垂蒴真藓
7	老黑山阴坡北偏东;火山砾;落叶松群落;地衣盖度 75%;苔藓盖度 36.2% 优势种:垂枝藓占 36%;山羽藓占 0.2% 伴生种:缺齿小石藓 <i>Weissia edentula</i> Mitt.、狭叶小羽藓 <i>Haplocladium angustifolium</i> (Hamp.et C.Muell.) Broth.、细叶小羽藓 <i>Haplocladium microphyllum</i> (Hedw.) Broth.、金灰藓 <i>Pylaisiella polyantha</i> (Hedw.) Grout
8	老黑山北偏东 20°(石海北侧);结壳熔岩;白桦林(地面凹凸不平);地衣盖度 15%;苔藓盖度 70% 优势种:垂枝藓占 59%;虎尾藓占 5%;砂藓占 3%;毛尖紫萼藓占 3%
9	老黑山阴坡凹陷处;火山砾;兴安落叶松林;地衣盖度 2%;苔藓盖度 85% 优势种:垂枝藓占 84% 伴生种:毛尖紫萼藓、中华缩叶藓 <i>Ptychomitrium sinense</i> (Mitt.) Jaeg.、真藓、盔瓣耳叶苔 <i>Frullania muscicola</i> Steph.
10	火烧山,峭壁下岩面/石缝内;苔藓盖度 10% 在石缝、岩面的常见种:美灰藓、垂枝藓、毛尖紫萼藓、毛尖金发藓、桧叶金发藓、密叶三瓣苔
11	西焦得布山,土壤;黑桦-蒙古栎林;苔藓盖度小于 1% 在岩面、石缝、树基部的常见种:密叶绢藓、尖叶美喙藓 <i>Eurhynchium eustegium</i> (Besch.) Dix.、多疣麻羽藓 <i>Claopodium pellucinerne</i> (Mitt.) Best.
12	西焦得布山,石塘林石缝内;苔藓盖度 10% 在林下潮湿土壤、树基部、岩面、石缝的常见种:树形疣灯藓、虎尾藓、毛尖紫萼藓、山羽藓、长叶纽藓
13	卧虎山,山坡土壤;蒙古栎-枫树混交林;苔藓盖度小于 1% 在林下潮湿土壤、树基部、岩面的常见种:鼠尾藓
14	南格拉球山,山坡土壤;蒙古栎-枫树混交林;苔藓盖度小于 1% 在林下潮湿土壤、树基部、岩面的常见种:密叶绢藓、鼠尾藓、鳞叶藓
15	莫拉布山,石塘林岩面、石缝;苔藓盖度 15% 在石缝、岩面的常见种:山羽藓、虎尾藓、卷叶凤尾藓、角齿藓、石缝藓、美灰藓、纤枝细裂瓣苔、细裂瓣苔、红色拟大萼苔、毛尖紫萼藓

老黑山林下以垂枝藓(*Rytidium rugosum* (Hedw.) Kindb.)为优势种,形成大面积的地被层;在阴坡林下,其盖度可达 80%以上(样方 7—9);对岩石的分解分化、土壤的形成和积累以及水土的保持起着重要作用。火山砾生境以石生藓类砂藓(*Racomitrium canescens* (Hedw.) Brid.)为优势种,盖度达 45%;常见的伴生种有:生于干燥岩面的真藓(*Bryum argenteum* Hedw.)、垂蒴真藓(*Bryum uliginosum* (Brid.) B.S.G.)、垂枝藓、美灰藓以及桧叶金发藓(*Polytrichum juniperinum* Hedw.)(样方 1—6)。老黑山分布的苔藓主要以耐干旱的石生藓类为主,桧叶金发藓的出现说明该样地内的火山喷发物在各种自然因素的共同作用下已经积累了一层较薄的土壤。而上述大面积分布的苔藓为土壤的积累起到了极重要的作用。火烧山除苔藓地衣植被外无其他植被,其

生境单一;以干燥石生的毛尖紫萼藓、美灰藓为主。在峭壁背阴处或石缝等小生境内分布有垂枝藓、密叶三瓣苔(*Tritomaria quinquedentata* (Huds.) Buch)、毛尖金发藓(*Polytrichum piliferum* Hedw.)、桧叶金发藓等,对土壤积累起到了重要作用(样方 10)。

3.2 各样地火山土壤养分含量特点

为了解该区土壤养分状况,讨论苔藓对土壤养分的积累作用,采集苔藓的同时采集了土壤和火山砾,并对其 N、P、K、Ca、Mg、S、Fe、Mn、Zn、B、Cl 等矿质元素和有机质含量及 pH 值进行了测定(表 2,表 3)。

表 2 土壤样品采集的各样点概况

Table 2 General characters of each sampling plots

样地名称 Name of plots	火山最后一次喷发 停止的时间 Time of the latest eruption stopped	样品名称 Name of samples	生境 Habitat	样方内分布的苔藓植物 Bryophytes found in quadrats
老黑山 Laoheishan volcano	1721 年	老黑山 1* Laoheishan1	山下路边	真藓、垂蒴真藓
		老黑山 2 Laoheishan2	白桦-落叶松混交林下	垂枝藓、山羽藓、砂藓、桧叶金发藓
		老黑山 3 Laoheishan3	白桦-落叶松混交林下	砂藓
火烧山 Huoshashan volcano	1721 年	火烧山 1 Huoshashan1	山顶峭壁石缝	毛尖金发藓、美灰藓、桧叶金发藓、垂枝藓、密叶三瓣苔、毛尖紫萼藓
		火烧山 2 Huoshashan2	山顶峭壁石缝	毛尖金发藓、美灰藓、桧叶金发藓、垂枝藓、密叶三瓣苔、毛尖紫萼藓
西焦得布山 Xijiaodebushan volcano	34 万年前	西焦得布山 1 Xijiaodebushan1	蒙古栎林下,石塘林石缝	密叶绢藓、树形疣灯藓、毛尖紫萼藓、山羽藓、虎尾藓
		西焦得布山 2 Xijiaodebushan2	黑桦林下	尖叶美喙藓、多疣麻羽藓
卧虎山 Wohushan volcano	42 万年前	卧虎山 Wohushan	蒙古栎-枫树混交林下	鼠尾藓
南格拉球山 Nangelaqiushan volcano	43 万年前	南格拉球山 Nangelaqiushan	蒙古栎-黑桦混交林下	鳞叶藓、鼠尾藓、密叶绢藓
莫拉布山 Molabushan volcano	60 万年前	莫拉布山 Molabushan	石塘林,石缝	角齿藓、虎尾藓、石缝藓、美灰藓、卷叶凤尾藓、纤枝细裂瓣苔、细裂瓣苔、红色拟大萼苔、山羽藓、毛尖紫萼藓

* 老黑山 1 为路边土壤,老黑山 2 为林下火山细渣,老黑山 3 为林下土壤和火山砾的混合物;火烧山 1 为山顶峭壁石缝土壤,火烧山 2 为山顶峭壁石缝火山砾;西焦得布山 1、西焦得布山 2、卧虎山、南格拉球山、莫拉布山都为林下土壤

3.2.1 不同年代火山土壤中三大营养元素全量含量的丰缺评价

氮、磷、钾是植物必需的三大营养元素。它们或者是细胞结构物质的组成成分,或者参与调解生理代谢活动^[21],与植物生理代谢和生长发育具有密切的关系。

根据对火山土壤三大营养元素含量丰缺度的分析,全 N 在老黑山路边土壤和林下火山砾土壤混合物中极缺,在老黑山林下火山砾中稍缺,在火烧山火山砾中为中等,在其余样品土壤里的含量都为丰;全 P 除了在火烧山火山砾中的含量稍缺外,在其他样品中的含量都为丰;全 K 在卧虎山中的含量稍丰,在其他样品中的含量均为丰(表 3)。整体来看,N、P、K 三大营养元素在老期火山土壤中基本上都为丰。从这一结果可以看出,该区火山土壤仍然保留着其富钾玄武岩母质的特征^[22-25];也可以看出,由于老期火山形成年代久远、植被茂密,土壤中的有机质含量高,从而使 N 大量积累于土壤中。

表 3 各样地土壤基本化学性质
Table 3 Soil chemical properties of each sampling plots

测定指标 Test indicators	老黑山 1 Laoheishan1	老黑山 2 Laoheishan2	老黑山 3 Laoheishan3	火烧山 1 Huoshashan1	火烧山 2 Huoshashan2	西焦得布山 1 Xijiaodebushan1	西焦得布山 2 Xijiaodebushan2	卧虎山 Wohushan	南格拉球山 Nangelaqiushan	莫拉布山 Molabushan	黑土表土中的平均值 Mean values in black soil (surface soil)
全 N Total N/(g/kg)	0.34	0.83	0.46	3.24	1.02	5.46	7.50	10.9	3.57	7.61	3.33
全 P Total P/(g/kg)	2.104	3.470	3.605	2.791	0.559	2.823	2.847	2.448	2.730	2.157	1.88
全 K Total K/%	4.65	5.26	5.30	3.66	4.65	2.96	3.15	2.48	3.40	2.72	1.95
全 Ca Total Ca/%	1.72	1.42	3.29	2.12	4.42	0.546	1.65	1.68	1.58	1.44	0.81
全 Mg Total Mg/%	1.08	1.39	2.04	1.13	2.27	0.482	0.724	0.680	0.827	0.815	0.546
全 S Total S/(g/kg)	1.06	2.13	1.34	2.06	2.02	2.78	5.22	4.91	3.42	4.34	0.527
全 Fe Total Fe/%	3.57	4.93	4.97	3.98	6.07	1.81	3.19	2.24	2.86	2.67	3.44
全 Mn Total Mn/%	0.0516	0.0683	0.0675	0.00630	0.166	0.0489	0.0931	0.0606	0.103	0.0598	0.0656
全 Zn Total Zn (mg/kg)	186	140	132	145	609	123	116	108	139	109	74
全 B Total B (mg/kg)	103	151	142	122	170	116	97.95	84.6	110	115	36.3
氯离子 Chlorion Cl ⁻ /(g/kg)	0.0040	0.012	0.012	0.012	0.0040	0.020	0.012	0.0079	0.0040	0.012	0.028
有机质 Organic matter/(g/kg)	6.52	36.3	14.5	60.1	29.8	127	172	298	73.0	189	66.57
pH	7.54	7.07	7.56	5.72	6.41	6.09	6.97	6.71	5.92	6.80	6.68

3.2.2 不同年代火山土壤各矿质元素含量特点

取火烧山和老黑山土壤各养分含量的平均值作为新时期火山养分含量;西焦得布山石塘林、西焦得布山林下土壤各养分含量的平均值,作为西焦得布山养分含量;然后与其他几座火山土壤进行比较(图 1)。

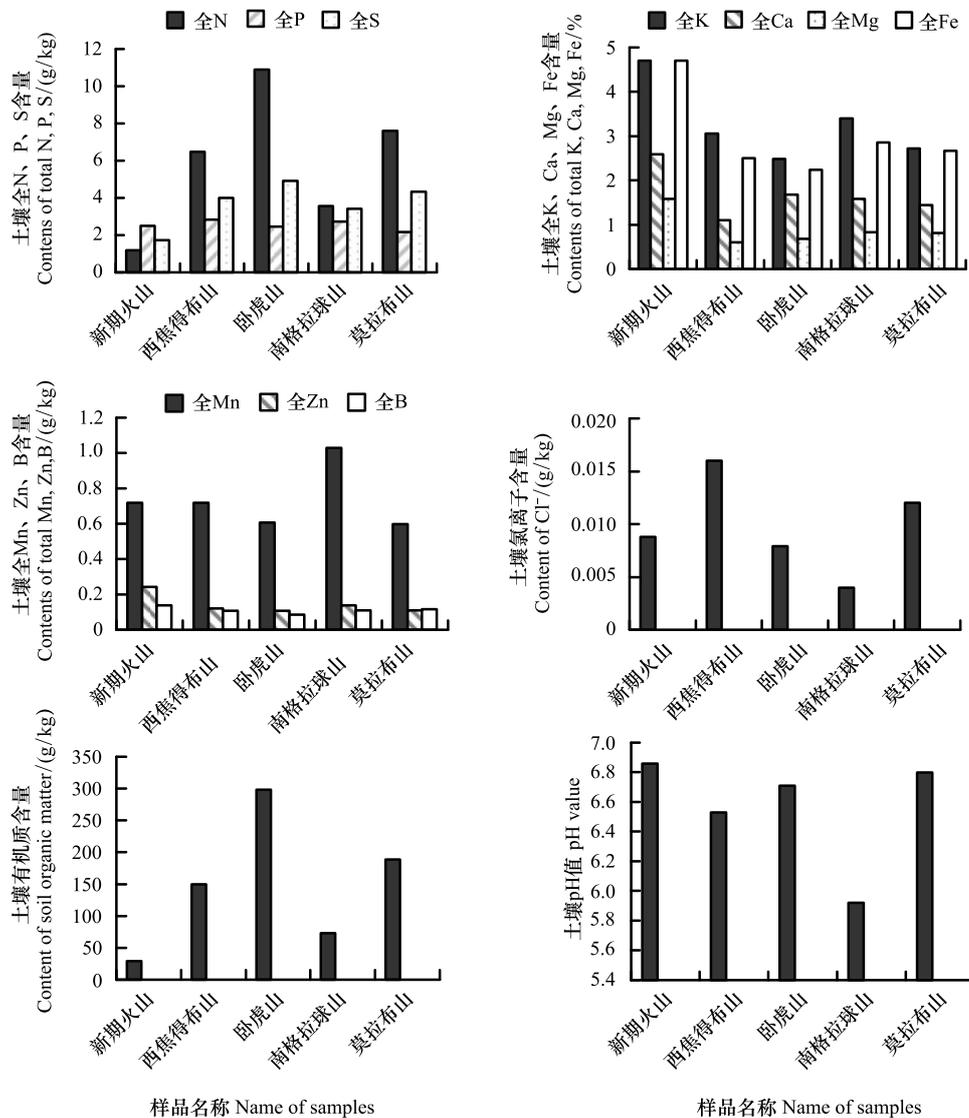


图 1 五大连池不同年代火山土壤各养分含量的比较

Fig.1 Comparison among components of nutrients in Wudalianchi volcanic soil

土壤全 N、S 与有机质含量的变化随年代的不同而表现出相同趋势,反映了全 N、S 含量与有机质含量密切相关。该三项测定指标含量在新期火山土壤中最低,卧虎山最高,具有随形成年代的增加而逐渐升高的趋势(图 1)。随着年代的逐渐增加,土壤发育程度加深,有机质不断积累^[22]。N 主要以有机态形式存在于土壤中,S 主要存在于有机质中^[26-27],因此,土壤中有有机质的积累使 N、S 的含量也不断增加。

土壤全 P 含量在所有样地的含量都很高,不同样地间的差异较小。其含量随年代的变化,具有轻微下降的趋势。全 K、Ca、Mg、Fe、Zn、B 含量在新期火山土壤中最高,并随年代的增加具有下降趋势。全 Mn 在南格拉球山土壤中的含量最高,新时期火山次之,莫拉布山含量最低。Cl⁻ 在南格拉球山土壤中的含量最低,新时期火山次之,西焦得布山最高,其含量随年代的增加也呈下降趋势。P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Zn、B、Cl⁻ 等元素主要受成土母质、风化程度、淋溶强度等的影响^[26-28]。上述矿质元素在新期火山中的含量比老期火山中的高,说明这些元素受成土母质的影响较大,而且可能随着风化程度、土壤发育程度和淋溶作用等的影响,其含量逐渐

下降。

总体来看,该区土壤酸碱反应呈中性。其中新期火山土壤 pH 值偏高,这可能与该地土壤中的有机质含量相对较少有关。

3.2.3 五大连池火山区土壤养分含量之间的相关性分析

土壤营养元素间存在着复杂的相互关系。为探讨研究区域土壤矿质元素、pH 以及有机质含量之间的相互关系,对其进行了相关分析(Pearson 相关性)。

从表 4 可以看出:土壤全 N 含量和全 S 含量与有机质含量呈极显著正相关($P<0.01$),全 K 含量和全 Mg、全 Fe 含量呈极显著正相关($P<0.01$),全 Mg 含量和全 Fe 含量也呈极显著正相关,全 S 含量和有机质含量具有显著正相关性($P<0.05$);土壤全 N 含量和全 K 含量呈极显著负相关($P<0.01$),全 N 和全 Zn、全 K 和全 S 与有机质、全 Ca 和 Cl^- 、全 S 和全 Zn、全 Zn 和有机质含量间具有显著的负相关性($P<0.05$)。

S 主要存在于土壤有机质中。从表 4 可以看出,全 S 含量与有机质含量呈显著正相关,即有机质含量越高,全 S 含量也越高。有机质和全 N 含量具有极显著的正相关性,有机质与全 P 含量也具有显著的正相关性,说明有机质含量的高低是影响全 N、P 含量的重要因素。土壤有机质含量和 pH 值呈负相关关系,其原因是有机质矿化过程中产生的 CO_2 溶解于水形成碳酸,降低了 pH 值。

表 4 五大连池土壤各养分的相关性分析

Table 4 Statistically significant relationship between nutrient characteristic within soil in different plots in Wudalianchi

养分 Nutrient characteristic	N Nitrogen	P Phosphorous	K Potassium	Ca Calcium	Mg Magnesium	S Sulphur	Fe Ferrum	Mn Manganese	Zn Zinc	B Boron	Cl^- Chlorine	有机质 Organic matter	pH
N	1												
P	-0.267	1											
K	-0.905 **	0.420	1										
Ca	0.012	-0.277	0.172	1									
Mg	-0.713	0.333	0.898 **	0.431	1								
S	0.902 **	-0.065	-0.789 *	0.180	-0.559	1							
Fe	-0.680	0.490	0.894 **	0.412	0.958 **	-0.448	1						
Mn	0.026	0.326	-0.050	0.411	0.025	0.406	0.172	1					
Zn	-0.856 *	-0.141	0.754	0.222	0.553	-0.872 *	0.474	-0.146	1				
B	-0.635	0.662	0.673	-0.330	0.650	-0.502	0.658	-0.059	0.173	1			
Cl^-	0.234	0.379	-0.239	-0.845 *	-0.384	0.147	-0.275	-0.365	-0.509	0.318	1		
有机质 Organic matter	0.988 **	-0.244	-0.846 *	0.045	-0.629	0.863 *	-0.617	-0.048	-0.841 *	-0.597	0.212	1	
pH	-0.282	-0.203	0.523	0.526	0.595	-0.286	0.592	-0.337	0.451	0.034	-0.286	-0.215	1

** 在 0.01 水平上显著相关, * 在 0.05 水平上显著相关

3.3 苔藓植物对土壤养分的积累

为探讨苔藓植物对土壤养分的积累的影响,对新期火山各样品养分含量进行了比较分析。

对火烧山表面覆盖毛尖金发藓、桧叶金发藓、美灰藓、密叶三瓣苔等的土壤与火山砾的养分含量进行比较,发现土壤中的全 N、P、S、 Cl^- 和有机质含量均高于火山砾中的含量(表 3)。老黑山路边土壤中除 Ca 和 Zn 以外其他养分含量都低于老黑山林下样品(表 3)。这可能与路边土壤积累年代较短、覆盖的苔藓植物盖度较小有关。由于上述原因,路边土壤所积累的 N、P、S、有机质较少;也因为苔藓盖度较小,淋溶作用较大,土壤养分流失较多,所以 K、Ca、Mg 等的含量也低于林下样品。老黑山林下覆盖有垂枝藓、山羽藓、砂藓和桧叶金发藓的火山砾所含 N、S、有机质的含量高于只覆盖砂藓的火山砾(表 2,表 3)。从以上结果可以看出来,苔藓植物对火山熔岩裸地土壤的形成和矿质营养的积累具有较明显的作用。而且,也有利于土壤 N、P、S、有机质的

积累以及土壤养分的保持。

4 结论

(1) 新时期火山林下和火山砾生境苔藓植物盖度达 30%—40%, 甚至达到 80% 以上, 对原生裸地土壤的形成和矿质营养的积累具有十分明显的作用。老期火山主要是被子植物的作用, 但是苔藓对小生境土壤的积累也具有一定的作用。

(2) 土壤全 N、S、有机质在老期火山中含量高于新时期火山, 随火山形成年代的增加而积累于土壤中。全 P、K、Ca、Mg、Fe、Zn、B、Mn 在新期火山土壤中的含量高于老期火山, 这些元素在新期和老期火山土壤中的含量都高于黑土表层的平均值, 说明它们受成土母质的影响较大^[22-25]; 但是受风化程度、土壤发育程度和淋溶作用等的影响, 其含量随着火山形成年代的增加而逐渐下降。

(3) 全 N 与全 S 和有机质含量呈极显著正相关, 全 K 含量和全 Mg、Fe 含量呈极显著正相关, 全 Mg 含量和全 Fe 含量也呈极显著正相关, 全 S 含量和有机质含量具有显著正相关性; 全 N 含量和全 K 含量呈极显著负相关, 全 N 和全 Zn、全 K 和全 S 与有机质、全 Ca 和 Cl⁻、全 S 和全 Zn、全 Zn 和有机质含量间具有显著的负相关性。

(4) 苔藓植物不仅有利于土壤的形成和积累, 也有利于土壤 N、P、S、有机质等养分的积累和土壤养分的保持。火烧山土壤和老黑山火山砾(细渣) 采样点都生长有金发藓属(*Polytrichum*) 植物。金发藓是多年土生藓类, 只在富含养分的较厚的土壤上才能生长。而这些土生苔藓的生长, 也有利于土壤养分的积累。

致谢: 黑龙江省五大连池风景名胜自然保护区申报世界自然遗产办公室李洪光、张言国、李伟东对本项目野外考察给予帮助, 特此致谢。

参考文献 (References):

- [1] 孙化江, 钟帮权. 五大连池火山地貌景观及其开发保护. 国土与自然资源研究, 2004, (3): 72-74.
- [2] 孙文昌. 五大连池地区火山自然地理景观. 东北师大学报: 自然科学版, 1980, (4): 84-96.
- [3] 张树民, 陈黎明, 邢润贵, 金凯忠. 五大连池火山区土壤和植被分布与特征. 国土与自然资源研究, 2005, (1): 86-88.
- [4] 吴鹏程. 苔藓植物生物学. 北京: 科学出版社, 1998: 242-251.
- [5] 叶吉, 郝占庆, 于德永, 闫海冰, 封德全. 苔藓植物生态功能的研究进展. 应用生态学报, 2004, 15(10): 1939-1942.
- [6] 吴玉环, 程国栋, 高谦. 苔藓植物的生态功能及在植被恢复与重建中的作用. 中国沙漠, 2003, 23(3): 215-220.
- [7] 胡人亮. 苔藓植物学. 北京: 高等教育出版社, 1987: 1-14.
- [8] Greenfield L E. Retention of precipitation nitrogen by Antarctic mosses, lichen and fell field soils. Antarctic Science, 1992, 4(2): 205-206.
- [9] Lee J A. Unintentional experiments with terrestrial ecosystems: Ecological effects of sulphur and nitrogen pollutant. Journal Ecology, 1998, 86(1): 1-12.
- [10] 刘学炎, 肖化云, 刘丛强, 李友谊. 碳氮稳定同位素指示苔藓生境特征以及树冠对大气氮沉降的吸收. 地球化学, 2007, 36(3): 286-294.
- [11] 陈奇伯, 张洪江, 解明曙. 森林枯落物及其苔藓层阻延径流速度研究. 北京林业大学学报, 1996, 18(1): 1-5.
- [12] Walton D W H. The effects of cryptogams on mineral substrates// Miles J, Walton D W H, eds. Primary Succession on Land. London: Blackwell, 1993: 33-53.
- [13] 张元明, 曹同, 潘柏荣. 干旱与半干旱地区苔藓植物生态学研究综述. 生态学报, 2002, 22(7): 1129-1134.
- [14] Smith E P. Niche breadth, resource availability, and inference. Ecology, 1982, 63(6): 1675-1681.
- [15] 赵兰坡, 杨学明, 丁桂云, 江源. 长白山及五大连池火山灰土基本特性的研究. 吉林农业大学学报, 1992, 14(2): 47-54.
- [16] Du J G, Li S Q, Zhao Y, Ren J Z, Sun R B, Duanmu H S. Geochemical characteristics of gases from the Wudalianchi volcanic area, Northeastern China. Acta Geologica Sinica, 1999, 73(2): 225-229.
- [17] 周志强, 徐丽娇, 张玉红, 夏春梅, 李洪光, 刘彤, 马克平. 黑龙江五大连池的生态价值分析. 生物多样性, 2011, 19(1): 63-70.
- [18] 陈洪洲. 五大连池火山喷发史料研究概述. 国际地震动态, 2004, (4): 33-35.
- [19] 王允鹏, 穆丽霞, 刘文. 五大连池火山活动规律及特征. 黑龙江地质, 1996, 7(4): 1-7.

- [20] 白学良. 内蒙古苔藓植物志. 呼和浩特: 内蒙古大学出版社, 1997.
- [21] 潘瑞炽. 植物生理学. 6 版. 北京: 高等教育出版社, 2008: 28-33.
- [22] 赵其国. 中国的火山灰土. 土壤学报, 1988, 25(4): 323-329.
- [23] 王俊文, 解广轰, Tatsumoto M, Basu A R. 五大连池钾质火山岩的 Sr、Nd、Pb 同位素地球化学及岩浆的化学演化. 地球化学, 1988, (4): 310-318.
- [24] 樊祺诚, 隋建立, 刘若新. 五大连池、天池和腾冲火山岩 Sr、Nd 同位素地球化学特征与岩浆演化. 岩石矿物学杂志, 2001, 20(3): 233-238.
- [25] 夏林圻. 论五大连池火山岩浆演化. 岩石学报, 1990, 6(1): 13-29.
- [26] 刘克峰, 刘建斌, 贾月慧. 土壤、植物营养与施肥. 北京: 气象出版社, 2006: 1-8.
- [27] 关连珠. 普通土壤学. 北京: 中国农业大学出版社, 2007: 153-174.
- [28] 孙向阳. 土壤学. 北京: 中国林业出版社, 2005: 244-269.