

长白山暗针叶林苔藓植物在养分循环中的作用*

郝占庆 叶吉** 姜萍 蔺菲

(中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016)

【摘要】 测定了长白山暗针叶林5种主要苔藓植物养分含量,并结合生物量的测定结果,推算单位面积的苔藓植物养分含量。结果表明,单位面积苔藓植物氮含量为 $54.371 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,是乔、灌、草总氮量的12.22%;钾含量为 $12.042 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,是乔、灌、草总钾量的5.63%;磷含量为 $31.679 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,是乔、灌、草总磷量的70.57%,超过了乔木磷含量,是草本植物磷含量的2.4倍、灌木磷含量的792倍,苔藓植物是暗针叶林重要的磷库。同时测定不同苔藓盖度下土壤中的养分含量。方差分析结果显示,不同苔藓盖度下土壤中氮、钾含量差别不大,磷含量差异显著,没有苔藓覆盖的土壤中磷含量最高,为 $0.419 \pm 0.023 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$;苔藓盖度为第6级(80%~100%),土壤中磷含量最低,为 $0.346 \pm 0.017 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,随苔藓盖度的增加土壤中磷含量有减少的趋势。

关键词 苔藓植物 养分含量 磷库

文章编号 1001-9332(2005)12-2263-04 中图分类号 Q948.1 文献标识码 A

Roles of bryophyte in nutrient cycling in dark coniferous forest of Changbai Mountains. HAO Zhanqing, YE Ji, JIANG Ping, LIN Fei (*Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2005, 16(12): 2263~2266.

This paper measured the nutrient contents of five main bryophytes in the dark coniferous forest of Changbai Mountains, and estimated their values per unit area. The results showed that bryophyte had a nitrogen content $54.371 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, being 12.22% of total nitrogen content of arbor, shrub and herb, and its potassium and phosphorous content was $12.042 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ and $31.679 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, occupying 5.63% and 70.57% of the total, respectively. The phosphorous content of bryophyte was higher than that of arbor, and 2.4 and 792 times as much as that of herb and shrub, respectively, indicating that bryophyte was an important phosphorous pool. Soil nitrogen and potassium content under different coverage of bryophyte had little difference, while soil phosphorous content was significantly different. The soil with no bryophyte coverage had the highest phosphorous content ($0.419 \pm 0.023 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$), while that with 80%~100% bryophyte coverage had the lowest one ($0.346 \pm 0.017 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$), suggesting that soil phosphorous content was decreased with increasing bryophyte coverage.

Key words Bryophyte, Nutrient content, Phosphorous pool.

1 引言

暗针叶林生态系统林下灌木和草本植物稀少,苔藓植物作为主要的活地被物层,其腐烂、分解和更新在整个系统的生物地球化学循环中发挥着重要作用。苔藓植物大部分属于外吸水型,虽然只有假根,但由于其很强的体表吸水能力、较大的表面积与体积比、大量的阳离子交换点和由于不发达的角质层而产生的对离子吸收很低的阻力,使苔藓能吸收大量的溶解于体表水中的矿质元素,在N、P、K、Ca、Mg等养分元素的循环中具有极其重要的作用^[3,5,6,8]。苔藓植物常常和固氮菌共生,除了泥炭藓(*Sphagnum*)和真菌(*Funaria*)共生以外,在尖叶走灯藓(*Plagiomnium cuspidatum*)上也发现了固氮菌并具有很强的固氮能力^[1]。在苔藓植物较丰富的地区或群落,苔藓植物积累的养分元素的归还对于

维持系统的稳定及其它生物的正常生长具有极其重要的意义。长白山暗针叶林地面苔藓植物丰富,以往的研究多集中在树木凋落物的养分归还方面,忽略了苔藓植物的养分归还。本实验通过对5种主要地面生苔藓植物体内养分含量的测定,结合生物量的测定结果,推算暗针叶林生态系统中苔藓植物的养分含量,探讨苔藓植物在养分循环中的作用,为全面了解苔藓植物的生态功能奠定基础。

2 研究地区与研究方法

2.1 研究地区概况

暗针叶林生态系统位于我国长白山北坡海拔1 100~1 700 m(128°E, 42°N),是一个靠近太平洋的东亚沿海季风

* 国家自然科学基金项目(30270224)和中国科学院长白山森林生态系统定位研究站开放基金资助项目。

** 通讯联系人。

2005-09-06收稿,2005-09-30接受。

气候区.由于长白山山体高,气候随海拔升高而有所变化.年平均温度从 0.78 ℃ 下降到 -2.29 ℃,年平均降水从 782.37 mm 上升到 967.28 mm,最热月(7月)平均气温从 17.40 ℃ 下降到 14.06 ℃,最冷月(1月)平均气温从 -18.58 ℃ 下降到 -20.46 ℃^[4].暗针叶林土壤为山地棕色针叶林土,母质以火山喷出岩为主,底岩有多孔的玄武岩,上部覆盖有火山灰,土壤形态上有明显的层次分化,有机质含量较高,C/N率也较高.土壤显酸性或微酸性反应^[2].

暗针叶林以云杉和冷杉为主要建群种,具有典型的北方山地森林特点,构成了长白山北坡森林植被的主体.暗针叶林地面覆盖有大量的苔藓植物,以塔藓(*Hylocomium splendens*)、拟垂枝藓(*Rhytidiadelphus triquetrus*)、树藓(*Pleuroziopsis ruthenica*)、毛梳藓(*Ptilium crista-castrensis*)和曲尾藓(*Dicranum scoparium*)为主,被喻为“苔藓世界”^[7].

2.2 研究方法

2.2.1 苔藓植物养分测定 在暗针叶林海拔 1 250 m 附近随机采集塔藓、拟垂枝藓、树藓、毛梳藓和曲尾藓样品,带回实验室,洗净,在烘箱内 60 ℃ 下烘 12 h,然后磨碎,测定全氮、全磷、全钾.用凯氏定氮法测氮;用硫酸-高氯酸溶-钼锑抗比色法测磷;用硫酸-高氯酸溶-火焰光度法测钾.

2.2.2 不同苔藓盖度下土壤养分含量测定 由于苔藓层的养分归还很难直接测定,故采用间接方法,测定不同盖度梯度下土壤中养分含量的变化,以期能和苔藓盖度建立一种关联,间接探讨苔藓层在养分归还中的作用.分别选取苔藓盖度在 80%~100%、60%~80%、40%~60%、20%~40%、0%~20%和没有苔藓覆盖的地块各 3 个,剥去苔藓层,分别取 3~10 cm 深的土柱,带回实验室进行养分含量分析.采用凯氏定氮法测氮;用氢氧化钠碱熔-钼锑抗比色法测磷.

3 结果与分析

3.1 苔藓植物的养分含量

由表 1 可见,暗针叶林 5 种主要苔藓植物中,氮浓度以塔藓最高,毛梳藓最低,5 种苔藓之间相差不大;磷含量以曲尾藓最高,拟垂枝藓最少,两者相差较大;钾含量树藓最高,曲尾藓最低,5 种苔藓之间相差不大.5 种苔藓植物体内养分浓度都是氮 > 磷 > 钾.

表 1 5 种主要苔藓植物的养分浓度

苔藓种类 Species	N	P	K
塔藓 <i>Hylocomium splendens</i>	1.257 ± 0.012	0.748 ± 0.013	0.276 ± 0.022
拟垂枝藓 <i>Rhytidiadelphus triquetrus</i>	1.126 ± 0.005	0.496 ± 0.003	0.270 ± 0.006
树藓 <i>Pleuroziopsis ruthenica</i>	1.105 ± 0.008	0.706 ± 0.021	0.313 ± 0.006
毛梳藓 <i>Ptilium crista-castrensis</i>	1.055 ± 0.016	0.622 ± 0.010	0.231 ± 0.002
曲尾藓 <i>Dicranum scoparium</i>	1.095 ± 0.002	0.807 ± 0.006	0.227 ± 0.009

表 2 单位面积 5 种主要苔藓植物的养分含量

苔藓种类 Species	N	P	K
塔藓 <i>Hylocomium splendens</i>	49.350 ± 0.471	29.367 ± 0.510	10.836 ± 0.864
拟垂枝藓 <i>Rhytidiadelphus triquetrus</i>	4.594 ± 0.020	2.024 ± 0.012	1.102 ± 0.025
树藓 <i>Pleuroziopsis ruthenica</i>	0.199 ± 0.001	0.127 ± 0.004	0.056 ± 0.001
毛梳藓 <i>Ptilium crista-castrensis</i>	0.042 ± 0.001	0.025 ± 0.000	0.009 ± 0.000
曲尾藓 <i>Dicranum scoparium</i>	0.186 ± 0.000	0.137 ± 0.001	0.039 ± 0.002
平均值合计 Sum of mean	54.371	31.679	12.042

已知在海拔 1 250 m 处 5 种主要地面生苔藓植物的生物量分别为:塔藓 3 926 kg·hm⁻²、拟垂枝藓 408 kg·hm⁻²、树藓 18 kg·hm⁻²、毛梳藓 4 kg·hm⁻²、曲尾藓 17 kg·hm⁻²^[12].据此计算单位面积苔藓植物的养分含量,结果如表 2.从表 2 中可以看出,单位面积塔藓的氮、磷、钾含量都相当高;拟垂枝藓的养分含量次之,曲尾藓和树藓养分含量较少且相近,毛梳藓最少.研究表明,5 种主要苔藓植物的生物量占该取样地地面生苔藓总生物量的 98%^[12].将据此计算的苔藓植物养分含量作为暗针叶林地面苔藓植物总的养分含量,与红松云冷杉林生物养分含量(表 3)进行对比分析^[8,11],从中可以看出,暗针叶林苔藓植物氮含量为 54.371 kg·hm⁻²,是暗针叶林乔、灌、草总氮量(445.04 kg·hm⁻²)的 12.22%;钾含量为 12.042 kg·hm⁻²,是乔、灌、草总钾量(213.99 kg·hm⁻²)的 5.63%;磷含量为 31.679 kg·hm⁻²,是乔、灌、草总磷量(44.89 kg·hm⁻²)的 70.57%,超过了乔木的磷含量(31.67 kg·hm⁻²),是草本植物总磷含量(13.18 kg·hm⁻²)的 2.4 倍和灌木总磷含量(0.04 kg·hm⁻²)的近 792 倍.生物地球化学循环中磷的循环是不完全的循环,一旦从陆地进入海洋,磷便会大量的沉积海底,而离开整个循环体系,即使是陆地生态系统中的磷也会因与 Ca 和 Fe 结合而不能为植物所吸收利用,造成系统中磷的不足.苔藓植物作为一种重要的磷库,对维持系统内磷的平衡具有重要作用.暗针叶林中苔藓植物在生物地球化学循环过程中相当重要.

3.2 不同苔藓盖度下土壤养分含量

图 1 是不同苔藓盖度下土壤养分含量的测定结果,其中苔藓盖度分级从 1 级到 6 级分别代表苔藓盖度 0、0%~20%、20%~40%、40%~60%、60%~80%和 80%~100%.由图 1 可以看出,暗针叶林土壤中的养分含量是氮 > 磷.不同的苔藓盖度下养分含量有所差异,氮含量在第 5 级(盖度 60%~

80%)最高,为 $2.102 \pm 0.735 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$;在第2级、第3级(盖度 20%~60%),土壤中氮含量相差不大;在没有苔藓覆盖的第1级,氮含量最低,为 $0.950 \pm 0.448 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$;在第6级(盖度 80%~100%),土壤氮含量为 $1.077 \pm 0.323 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. 土壤中磷含量随苔藓盖度的增加呈减少趋势,没有苔藓覆盖的土壤中磷含量最高,为 $0.419 \pm 0.023 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$;苔藓盖度为第6级(80%~100%)的土壤中磷含量最低,为 $0.346 \pm 0.017 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$.

表3 红松云冷杉林地上部分生物量中的养分含量^[11]

Table 3 Amount of nutrients in aboveground biomass of Korean pine-spruce-fir forest ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

组分 Components	N	P	K
乔木 Trees	350.82	31.67	183.16
灌木 Shrubs	0.22	0.04	0.15
草本 Herbs	94.00	13.18	30.68
合计 Total	445.04	44.89	213.99

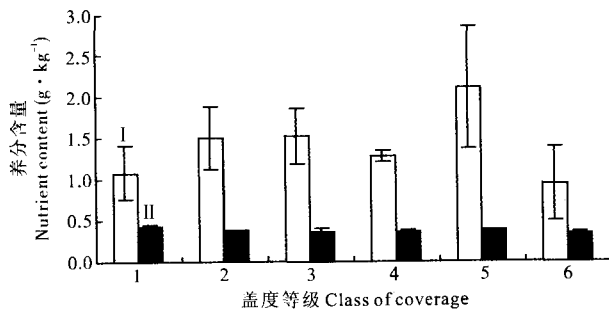


图1 不同苔藓盖度下土壤养分含量

Fig. 1 Nutrient content of soil in different coverage class of bryophytes. I. 全氮 Total N; II. 全磷 Total P.

表4 不同苔藓盖度下土壤养分含量的方差分析

Table 4 Results of anova about nutrient content of soil in different bryophyte coverage

养分 Nutrient		平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F	P
全 N	I	1.824	5	0.365	2.481	0.104
	II	1.470	10	0.147		
全 P	I	0.008	5	0.002	4.703*	0.018
	II	0.003	10	0.000		

* $P < 0.05$. I. 组间 Between groups; II. 组内 Within groups.

由表4结果可以看出,不同苔藓盖度分级之间土壤中氮含量差异不显著,说明不同苔藓盖度对土壤中氮含量影响不大.各个分组之间磷含量差异显著,表明不同苔藓植物盖度对土壤中磷含量有一定影响.苔藓植物对磷的大量吸收导致了苔藓植物覆盖率越高,土壤中磷含量越低.

4 讨 论

苔藓植物对养分元素尤其是对磷的吸收,对维持暗针叶林生态系统的养分平衡有重要作用.通常

情况下,磷随着水循环从陆地进入海洋.磷从海洋返回陆地比较困难,因此是不完全的循环.磷只能在酸性溶液和还原状态下才能参与生物地球化学循环.在土壤中,磷易与钙和铁结合,形成磷酸盐类,成为不活动的状态,植物不能吸收利用,在没有人干扰的自然条件下,磷的供应往往不足^[9,10].长白山暗针叶林生态系统磷的输入主要靠降水,输出则主要是径流输出.降水中含有的磷主要来自空气中的尘埃物质,长白山地区降水中磷含量为每年 $0.29 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,林内降水中磷含量为每年 $1.44 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,降水对林冠层的淋洗作用强烈^[14].暗针叶林地面苔藓-枯落物层在一次降水中可以保持近 5 mm 的降水^[13],一方面有效地减少了地表径流,另一方面由于苔藓植物的外吸水特性、大量的阳离子交换点和由于不发达的角质层而产生的对离子吸收很低的阻力,使苔藓吸收了大量的溶解于体表水中的矿质元素^[1],有效地减少了系统中磷的损失.此外,我们只对地面苔藓进行了研究,没有考虑树附生苔藓,而树附生苔藓的生物量也很大,在海拔 1 250 m 达到了 $625 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,约占地面生苔藓生物量的 14%^[12].树附生苔藓对磷的循环也起到一定作用.

目前,有关苔藓植物的腐烂、分解过程研究还很少,以前的研究多集中于林木枯落物的养分归还过程,对于地面覆盖有大量苔藓植物的暗针叶林来说是不全面的.本研究结果表明,暗针叶林中苔藓植物在整个系统的生物地球化学循环中具有极其重要的作用,因此研究苔藓植物的养分归还过程非常必要.在野外调查时发现,占长白山暗针叶林苔藓植物主体的塔藓具有很典型的特性,其茎每年都向上长一节,在分节处长出一轮新的叶片,状如塔型.塔藓的叶片分层大多为 4 层,最多不超过 5 层,说明塔藓自开始生长到具有 4~5 层叶片后,每年至少会有 1 层叶片凋落,由于其只具有假根,新生叶片的养分供给大部分来源于所截留的降水,凋落叶片的养分将归还给林地,年归还量相当于塔藓叶片现存量的 1/5~1/4,对于维持整个系统的养分平衡可能具有非常重要的作用.进一步研究归还到林地的苔藓凋落物的分解过程,可更加全面地了解暗针叶的生物地球化学循环过程.

参考文献

- 1 Brown DH. 1982. Mineral nutrition. In: Smith AJC ed. Bryophyte Ecology. London: Champan & Hall. 383~444
- 2 Cheng B-R(程伯容), Xu G-S(许广山), Ding G-F(丁桂芳), et al. 1981. The main soil groups and their properties of the natural

- reserve on northeast slope of Changbai Mountain. *Res For Ecosyst* (森林生态系统研究), 2:196~206(in Chinese)
- 3 Chen Q-B(陈奇伯), Zhang H-J(张洪江), Xie M-S(解明曙). 1996. Study on runoff velocity retardation by forest litter and moss. *J Beijing For Univ* (北京林业大学学报), 18(1):1~5(in Chinese)
 - 4 Chi Z-W(迟振文), Zhang F-S(张凤山), Li X-Y(李晓晏). 1981. The primary study on water-heat conditions of forest ecosystem on northeast slope of Changbai Mountain. *Res For Ecosyst* (森林生态系统研究), 2:167~178(in Chinese)
 - 5 Ferris R, Peace AJ, Humphrey JW, et al. 2000. Relationships between vegetation, site type and stand structure in coniferous plantations in Britain. *For Ecol Man*, 136:35~51
 - 6 Gordon C, Wynn JM, Woodin SJ. 2001. Impacts of increased nitrogen supply on high arctic health: The importance of bryophytes and phosphorus availability. *New Phytologist*, 149(3):461~471
 - 7 Li W-H(李文华), Deng K-M(邓坤枚), Shao B(邵彬), et al. 1994. Studies on the community characteristics of dark conifer forest of Changbai Mountain. *Res For Ecosyst* (森林生态系统研究), 7:1~15(in Chinese)
 - 8 Scott DB, Karen U, John P. 1998. Carbon, nitrogen, and phosphorus mineralization in northern wetlands. *Ecology*, 79(5):1545~1561
 - 9 Sun R-Y(孙儒泳), Li B(李博), Zhuge Y(诸葛阳), et al. 1993. *General Ecology*. Beijing: Higher Education Press. 254~268 (in Chinese)
 - 10 Sun R-Y(孙儒泳). 2001. *Principles of Animal Ecology*. Third Edition. Beijing: Beijing Normal University Press. (in Chinese)
 - 11 Xu G-S(许广山), Zhang Y-H(张玉华), Liu C-P(刘春萍). 1995. Biological nutrient cycling in a Korean pine-spruce-fir forest stand in Changbai Mountain. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 15(supp.):54~60(in Chinese)
 - 12 Ye J(叶吉), Hao Z-Q(郝占庆), Dai G-H(戴冠华). 2004. Bryophyte biomass in dark coniferous forest of Changbai Mountain. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 15(5):737~740(in Chinese)
 - 13 Ye J(叶吉), Hao Z-Q(郝占庆), Jiang P(姜萍). 2004. Studies on rainfall holding process of the bryophyte and litter layer in dark coniferous forest of Changbai Mountain. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 24(12):2859~2862(in Chinese)
 - 14 Zhang Y-H(张玉华), Cheng B-R(程伯容), Xu G-S(许广山), et al. 1992. Content of nutrient elements in precipitation Korean pine-broadleaved forest at the Changbai Mountain. *Res For Ecosyst* (森林生态系统研究), 6:194~199(in Chinese)

作者简介 郝占庆,男,1964年生,博士,研究员.主要从事生物多样性和森林生态学研究,发表论文50余篇. E-mail: hzq@iae.ac.cn

致读者·作者

《应用生态学报》系中国科学院沈阳应用生态研究所和中国生态学会主办的国内外公开发行的学术性期刊,科学出版社出版.国际标准刊号为ISSN1001-9332.专门刊载有关应用生态学方面具有创新性的、高水平和有重要意义的最新综合评述、研究报告、研究简报和简讯等,主要领域包括森林生态学、农业生态学、草地生态学、渔业生态学、自然资源生态学、景观生态学、全球变化生态学、城市生态学、产业生态学、生态规划与生态设计、污染生态学、化学生态学、生态工程学、恢复生态学、生物入侵与生物多样性保护生态学、流行病生态学、旅游生态学和生态系统管理等。

本刊创刊于1990年,现为月刊,采用国际标准开本(210 mm×285 mm),192面,每期43万字.本刊系中国自然科学核心期刊,曾荣获全国优秀科技期刊和中国科学院优秀期刊称号.本刊整体质量和水平已达到相当高度,在国内外应用生态学界的影响日益扩大.《中国科学引文索引》、《中国生物学文摘》、美国《生物学文摘》(BA)、美国《化学文摘》(CA)、英国《生态学文摘》(EA)、日本《科学技术文献速报》(CBST)和俄罗斯《文摘杂志》(PЖ)等数十种权威检索刊物均收录本刊的论文摘要(中英文)。

据悉,您们正在从事有关生态与环境科学研究项目(如国家基础科学人才培养基金项目、国家杰出青年科学基金项目、国家自然科学基金重大和重点项目、国家攀登计划项目、国家“863”和“973”计划项目、国家重点科技攻关项目、“百人计划”项目、“长江学者计划”项目和国际合作研究项目等),并有望取得重大研究成果和产生一系列创新论文,本刊编辑同仁热切希望您及您的同行们充分利用这一科学园地,竭诚为您提供优质跟踪服务,本刊将及时发表您们的创新成果论文(或以特刊、专刊及增刊等形式发表,或以专刊形式发表优秀英文创新论文).我们相信这一承诺一定能得到您们的积极响应,愿我们迎着新世纪的曙光,为应用生态学的发展协同奋进!

我们的目的:

读者——广泛订阅这一优秀期刊

作者——充分利用这一科学园地

编者——精心编制这一信息精品