

南极地区苔藓地衣植物的地球化学元素营养富集特征^{*}

李小梅^{**} 赵俊琳 (北京师范大学环境科学研究所, 北京 100875)

孙立广 (中国科技大学极地研究室, 合肥 230026)

【摘要】 研究南极苔藓地衣中地球化学元素的营养富集特征, 发现 K、Ca 为苔藓地衣中最活跃元素, 主要以主动吸收的方式累积于苔藓地衣植物中; P 极易富集在地衣的藻层, 参与藻类的有机合成过程; 苔藓容易富集环境中的 S; Al、Si 以被动吸收的方式累积于地衣中, 同时 Fe、Mg 以被动吸收的方式累积于苔藓体内。根据元素的含量和营养作用, 研究认为 K、Ca 为苔藓地衣的大量无机营养元素, S、P 为苔藓地衣的中等营养元素, Al、Si 为苔藓地衣的环境累积元素。

关键词 苔藓植物 地衣 地球化学元素 植物营养

文章编号 1001 - 9332(2001)04 - 0513 - 04 **中图分类号** Q945.1 **文献标识码** A

Nourishing characteristic of geochemical elements in Antarctic mosses and lichens. LI Xiaomei, ZHAO Junlin (*Institute of Environmental Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875*) and SUN Liguang (*Polar Research Laboratory, University of Science & Technology of China, Hefei 230026*). - *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2001, 12(4): 513 ~ 516.

Studies on the nourishing properties of geochemical elements in Antarctic mosses and lichens show that potassium and calcium were the most active elements, while phosphorous was accumulated in the middle part of lichen cells, and participated in organic synthesis. Mosses accumulated sulphur stressly, but took in iron and magnesium negatively. Aluminum and silicon were absorbed passively by lichens. It is concluded that potassium and calcium were the important nutrient elements for the growth of mosses and lichens, sulphur and phosphorous were the middle significant nutrients, while aluminum and silicon were the passively accumulated elements.

Key words Moss, Lichen, Geochemical elements, Plant nutrient.

1 引言

在一定生境中, 植物吸收环境(土壤、降水或空气中的降尘等)中的化学元素, 并累积合成自身的矿物成分。植物体中化学元素含量多少取决于植物种类及其生存环境。地衣和苔藓分布广泛, 生境多样, 与其对养分的吸收方式有关。地衣生长所需用的一切营养元素, 主要来自于雨、露和空气中的灰尘^[15]。如地衣叶状体对空气中的无机离子就具有很强的吸收和富集能力^[3]。外吸水性藓类植物体的各部分表面均能有效地吸收水分及溶解于水中的无机营养^[4]。

南极地区主要优势植物种群为地衣、苔藓和藻类^[5,14]。它们是南极陆地生态系统中的主要生产者^[10]。李锋等^[6]对苔藓、地衣的生物地球化学特征以及地球化学元素之间的彼此消长关系进行过初步研究。李永良^[8]对不同种类地衣体的元素组成、以及地衣不同部位、不同层次的元素相对含量做过详细研究。许多研究发现苔藓地衣对重金属、空气和环境污染反应敏感^[1,2,9], 在苔藓植物中已测得了 75 种元素^[13], 有关苔藓的矿质养分吸收特点曾有相关报道^[7,11]。但

南极低温条件下生长的苔藓地衣的元素富集特征和营养机理报道较少。本文旨在通过分析南极苔藓地衣的地球化学元素含量, 探讨极地低温条件下地球化学元素在苔藓地衣体内的营养富集规律。

2 材料与方法

2.1 供试材料

研究材料采自西南极菲尔德斯半岛地区的韩国站附近, 研究材料为长 28cm 的苔藓垂直剖面。现场采样后, 封闭保存。空运到国内, 冷冻储存。解冻后, 按 1cm 等间距分割剖面, 共获得 28 个苔藓样品, 然后进行室内分析。

2.2 研究方法

利用等离子发射光谱法(ICP)对样品进行元素的全量分析, 共获得 Fe、Mg、Ca、K、Cu、Mn、Ba、Zn、Sr、Co、Cr、Ni 12 个元素的含量。样品前处理方法为在 105℃ 下干燥样品, 压碎混匀后称量, 湿法消化后测定上清液, 同时下部沉淀过滤后经 105℃ 干燥, 用于校正样品重量。

^{*} 国家“九五”重点科技攻关项目(98-927-01-04)。

^{**} 通讯联系人。

2000 - 07 - 17 收稿, 2000 - 11 - 13 接受。

3 结果与讨论

3.1 K、Ca 在苔藓地衣中的营养富集特征

K是植物生长的“三要素”之一,容易富集到苔藓地衣植物体内.如苔藓垂直剖面上,新鲜苔藓 K 含量为 0.35%,仅次于 Fe 和 Ca.同时,K在苔藓剖面上的移动性较强(表 2),极易转移到生长活跃的植物体内.由图 1 可知,地衣富集 K 的能力最强.在地衣微结构上(表 3),K 容易累积到地衣的藻层和髓层内,如石萝属的地衣横切面上存在明显的由皮层至髓层的 K 浓度梯度.因此,K 元素在南极苔藓地衣中的累积量较高,移动性和再利用能力很强,K 的吸收应为主动吸收.与高等植物体内 K 的性质相似,K 可以促进植物的光合作用,并作为酶的活化剂,促进碳水化合物的代

谢和合成. K 在地衣微结构上的分布特征,反应出 K 参与地衣的有机合成过程.

Ca 也容易富集在南极植物体内,如南极石萝和苔藓^[6]的 Ca 含量最高(表 1).苔藓剖面上的 Ca 元素极易从下层转移到上层,新鲜苔藓 1cm/2cm 的 Ca 元素含量比值为 1.76.因而,Ca 在苔藓体内极其活跃,再利用能力很强,南极苔藓主动吸收环境中的 Ca 元素.苔藓茎可以直接吸收水和溶质,细胞壁在吸收过程中具有重要的作用^[13].Ca 在植物体内主要以果胶酸钙的形态存在,是细胞壁中胶层的组成成分.苔藓植物对 Ca 很强的吸收能力与元素 Ca 的生理作用分不开.Ca 在新老苔藓中很强的转移能力也证实了其活跃性与主动吸收特性.与中纬地区高等植物对 Ca 的被动吸收方式^[12]截然不同.

表 1 南极地衣、苔藓和环境中地球化学元素含量(%)
Table 1 Contents of geochemical elements in antarctic lichens, mosses and environment

元素 Element	地衣 Lichen						苔藓 Mosses		苔藓 * Moss
	南极石萝 <i>Usnea antarctica</i> Du Rietz	簇花石萝 <i>Usnea aurantiacra</i> (Jacq.)Bory	石 蕊 <i>Cladonia</i> sp.	玄武岩 Basalt	地 衣 Lichen	土壤风化壳 Primitive soil	苔藓 Mosses	土壤风化壳 Primitive soil	
Ca	2.4340	0.5900	1.5060	3.5600	0.9526	4.1060	1.4194	3.8020	2.9000
K	1.5860	2.1010	2.5830	0.8000	0.1306	0.3731	0.0815	0.4590	0.3500
Al	1.3920	1.1130	1.6570	9.8600	0.0427	7.3672	0.8990	5.6779	
Si	1.1800	1.6330	0.4400	20.7800					
S	0.8910	1.4070	0.5240		0.0310	0.0107	0.0991	0.0793	
P	0.8290	0.8210	0.8540	0.4500	0.0307	0.0476	0.1492	0.2295	
Cl	0.4070	1.2920	0.3640						
Na	0.4080	0.5280	0.3330	2.4300	0.0323	3.1125	0.2189	1.7035	
Mg	0.2310	0.0770	0.2100	4.3300	0.0351	1.7888	0.3667	1.4007	0.6250
Fe	0.2190	0.1310	0.2850	12.2100	0.0444	4.7266	0.7927	3.6756	1.4500
Cu	0.1520	0.0000	0.5180	0.0006	0.0068	0.0017	0.0026	0.0465	
Ti	0.0570	0.0020	0.3500	1.0100	0.0042	0.3251	0.0389	0.2999	
Mn	0.0100	0.0340	0.3700		0.0012	0.0742	0.0250	0.0517	0.0230
Zn					0.0024	0.0064	0.0323	0.0053	0.0255
Ba									0.0125
Sr									0.0760
Co									0.0015
Cr					0.0002	0.0029	0.0004	0.0017	0.0004
Ni					0.0001	0.0017	0.0005	0.0017	0.0007

*元素含量为苔藓垂直剖面上 1~2cm 平均值 Element contents are the average of upper two layer samples on the mosses profile.

表 2 地球化学元素在苔藓剖面上的含量对比
Table 2 Ratio of geochemical elements between different depth on the section of mosses

剖面 Section(cm)	元 素 Element											
	Fe	Mg	Ca	K	Cu	Mn	Ba	Zn	Sr	Co	Cr	Ni
1/2	1.64	1.91	1.76	1.41	1.07	1.42	1.08	1.22	1.2	0.81	1.18	0.75
2/3	1.26	2.26	2.26	2.23	1.5	4.22	4.29	6.39	4.06	1.14	0.34	1.93

表 3 地球化学元素在南极地衣横切面上的流向
Table 3 Distribution of geochemical elements on the crosscut surface of antarctic lichens

物种 Speices	项目 Item	元 素 Element													
		Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Cu	
南极石萝	藻层/ 皮层 Algae/ Cortex	1.29	0.49	0.20	0.34	3.21	5.78	21.82	4.78	49.39	0.08	0.00	0.01	0.29	
<i>Usnea antarctica</i> Du Rietz	髓层/ 藻层 Marrow/ Algae	0.79	0.55	0.13	0.27	0.97	1.15	2.04	1.37	1.16	0.64		0.00	1.54	
簇花石萝	藻层/ 皮层 Algae/ Cortex	11.98	0.83	0.23	0.66	1.08	1.53	2.37	1.80	6.44	0.00	0.79	0.29		
<i>Usnea aurantiaca</i> (Jacq.) Bory	髓层/ 藻层 Marrow/ Algae	0.85	0.00	1.11	0.89	1.39	0.78	1.39	1.55	0.00		0.00	0.00		
石蕊 <i>Cladonia</i> sp.	藻层/ 皮层 Algae/ Cortex		5.32	0.15	0.36	1.16	1.50	2.64	2.45	1.67	30.64	3.46	2.84	1.55	
	髓层/ 藻层 Marrow/ Algae	1.67	4.14	0.53	1.03	0.44	0.34	0.50	0.65	0.87	2.15	3.05	4.82	2.42	

由表 3 可知,Ca 在不同地衣微结构上的分布特征不同.从皮层至髓层,南极石萝 Ca 含量由低到高而变

化,藻层和皮层的 Ca 含量相差极其悬殊.说明皮层菌丝吸收 Ca 后,立即转移到藻层,藻层内多余的 Ca 转移

到髓层,贮藏起来;簇花石萝 Ca 含量不高,主要集中于藻层;石蕊皮层、藻层和髓层的 Ca 含量处于均衡状态。由此可见,当 Ca 的总含量(皮层+藻层+髓层)相对较高时,Ca 主要累积在藻层和髓层;当 Ca 的总体含量相对中等时,Ca 较均匀分布在地衣横切面上。当 Ca 的总体含量较低时,Ca 主要集中于藻层,参与藻类合成有机物过程。因此,Ca 元素易于累积在地衣(松萝属)体内,优先集中于藻层,积极参与地衣的有机合成过程。依据 Ca 总量的相对多少,地衣微结构上 Ca 的分配方式不同。

3.2 P、S 在苔藓地衣中的营养富集特征

南极地衣对 P 的富集能力仅次于 K(图 1),3 种地衣对 P 的富集能力均等。由表 3 可见,地衣对 P 的营养需求和累积量并不很大,P 主要存在于地衣的藻层,参与藻类的有机合成过程。南极石萝和簇花石萝髓层中也分布着较多的 P,可见 P 在这两种地衣中的供应较充足。石蕊皮层和藻层的 P 含量较髓层大,说明 P 在石蕊横切面上的运移效率较低。

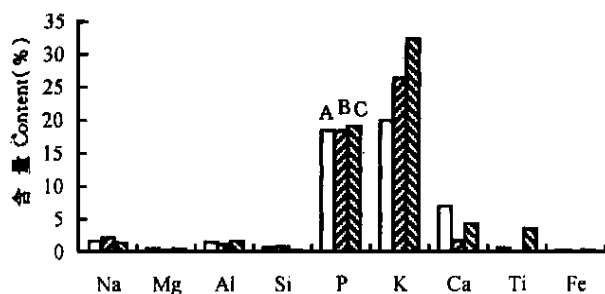


图 1 地球化学元素在不同地衣中的富集

Fig. 1 Accumulation of geochemical elements in three lichens. A) 南极石萝 *Usnea antarctica* Du Rietz, B) 簇花石萝 *Usnea aurantiacoatra* (Jacq.) Bory, C) 石蕊 *Cladonia* sp. 下同 The same below.

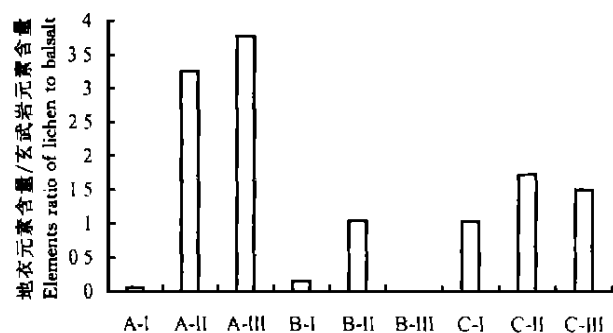


图 2 Ca 在地衣微结构上的分布

Fig. 2 Distribution of Ca on the microstructure of lichens. 皮层 Cortex, 藻层 Algae layer, 髓层 Marrow layer.

S 元素在苔藓地衣中的含量均大于它们所发育的土壤风化壳含量(表 1),说明 S 易富集在南极植物中。S 主要集中在地衣藻层,参与藻类的有机合成过程。

3.3 Al、Si 在苔藓地衣中的营养富集特征

Al、Si 是环境中含量最高的元素,尤其在原生或次

生矿物中。尽管它们环境中的本底值很高,但并不是植物体内必需的营养元素。苔藓可以富集一些 Al,Al 是苔藓的有益元素。苔藓中 Al 的含量/风化壳中 Al 含量为 0.158,而 Ca 的比值为 0.373。

地衣对 Al、Si 的富集能力不强,但 Al、Si 在地衣中的含量不低,主要是环境介质中这两种元素含量高的缘故。地衣横切面上 Al、Si 主要集中于皮层,藻层和髓层的含量相对较低,Al、Si 较难进入地衣的藻层和髓层(表 3)。由此可见,Al、Si 并不是地衣体中的活跃元素,地衣对它的吸收完全可看作是被动吸收。

3.4 Na、Cl 在苔藓地衣中的营养累积特征

Na、Cl 主要来自于海洋,在地壳中的含量较低。Na 仅是盐土植物所必需的,Cl 是植物生长必需的微量营养元素。苔藓从陆源风化壳中富集 Na 的能力较低,但南极苔藓有可能接受采样点周围(长城湾)海水飞沫中高浓度的 Na,致使体内累积一定量 Na。地衣 Na、Cl 的性质相似,地衣横切面上,Na、Cl 都易累积在藻层和髓层,可见 Na、Cl 在地衣体内的移动性较强,起到稳定渗透压的作用。由于地衣中 Na、Cl 的含量不高,所以地衣不能称为“喜 Na、Cl 植物”。

3.5 Fe、Mg 在苔藓地衣中的营养累积特征

Fe、Mg 在苔藓和地衣中的累积情况差异较大,Fe、Mg 在苔藓中含量较多,而在地衣中却较少。在苔藓垂直剖面上,从下层到上层,Fe、Mg 含量依次减少,说明苔藓分解释放 Fe、Mg 的能力很低。新鲜苔藓(第一、二层)的 Fe、Mg 含量仅为底层苔藓的 17.4% 和 33.8%。说明苔藓 Fe、Mg 的再利用能力很弱,生理活性不强,以被动吸收为主。

地衣富集 Fe、Mg 的能力很小(图 1)。在南极石萝和簇花石萝微结构上,Fe、Mg 主要分布在皮层,很难进入藻层和髓层。石蕊中的 Fe、Mg 主要集中在髓层。由此可见,南极石萝和簇花石萝中 Fe、Mg 的生理活性很弱,仅能被动吸收到皮层。石蕊对 Fe、Mg 的营养需求量很小,二者参与藻类的有机合成过程,并被贮藏在髓层内。

3.6 Cu、Mn、Ti 在苔藓地衣中的营养累积特征

Cu、Mn 为植物生长必需的微量营养元素,Ti 为有益元素。南极植物富集这几个元素的能力较差。相对而言,苔藓富集 Cu、Mn、Ti 的能力强于地衣。在苔藓垂直剖面上,Cu、Mn 较难从老的苔藓上转移到新苔藓中去。地衣(尤其是石蕊)富集 Ti 的能力强于 Cu、Mn。3 种元素在地衣微结构上的分布也有差异,石萝属地衣中 3 种元素的含量很低,只在皮层有一定的分布。石蕊中 3 种元素的含量较石萝属的高,累积在藻层和髓层。

说明 Cu、Mn、Ti 对石蕊有一定的营养作用。

4 结 论

4.1 南极苔藓地衣中大量存在并对植物营养起重要作用的元素为 K、Ca (指植物的灰分元素, 不包括 C、N、O、H); 植物对 K、Ca 的吸收为主动吸收。Ca 在地衣微结构上的分配以 Ca 含量的多少而有所差别。

4.2 南极苔藓地衣植物对 S 的富集能力很强, 地衣对 P 的富集能力也很强。P、S 积极参与地衣的有机合成过程, 易于在藻层累积。

4.3 Al 是苔藓的有益元素, 地衣对 Al、Si 的吸收完全为被动吸收。

4.4 苔藓富集风化壳 Na 的能力较低。Na、Cl 集中在地衣的藻层和髓层, 起到稳定渗透压的作用。

4.5 苔藓 Fe、Mg 的再利用能力很弱, 以被动吸收为主。地衣富集 Fe、Mg 的能力很差。

4.6 南极植物富集 Cu、Mn、Ti 的能力较差。仅石蕊中 Cu、Mn、Ti 有一定的营养作用。

参考文献

- 1 Brown DH. 1984. Uptake of mineral elements and their use in pollution monitoring. In: Dyer AF and Duckett J G eds. The Experimental Biology of Bryophytes. London: Academic Press. 229 ~ 255
- 2 Carlberg GE, Ofstad ED, Drangsholt H *et al.* 1983. Atmospheric deposition of organic micropollutants in Norway studied by means of moss and lichen analysis. *Chemosphere*, **12**: 341 ~ 356
- 3 Harris GP and Kershaw KA. 1971. Thallus growth and disturbance of stored metabolites in the phycobionts of the lichens *Parmelia sulcata* and *P. physodes*. *Can J Bot*, **49**: 1367 ~ 1372

- 4 Hu R-L (胡人亮). 1987. *Bryology*. Beijing: High Education Press. 433 ~ 439 (in Chinese)
- 5 Hu S-S (胡舜士). 1993. On general aspects of the Antarctica plants and vegetation and them prospects in botanical research. *Acta Bot Sin (植物学报)*, **35**(11): 868 ~ 876 (in Chinese)
- 6 Li F (李 锋), Li T-J (李天杰). 1997. Biogeochemical characteristics of Mosses and lichens in Fildes Peninsula, Antarctica. *Chin J Polar Res (极地研究)*, **9**(4): 299 ~ 303 (in Chinese)
- 7 Li Y, Gime JM. 1990. Growth and nutrient ecology of two *Sphagnum* species. *Hikobia*, **10**: 445 ~ 451
- 8 Li Y-L (李永良), Zhou Y-L (周云龙), Zhang Z-W (张正旺). 1999. Determination and analysis of element composition and distribution of three kinds of lichens by EDS in King George Island, Antarctic. *Chin J Polar Res (极地研究)*, **11**(1): 69 ~ 73 (in Chinese)
- 9 Rao DN. 1982. Responses of bryophytes to air pollution. In: Smith AJ E ed. *Bryophyte Ecology*. London: Chapman and Hall. 445 ~ 471
- 10 Shen J (沈 静), Xu R-M (徐汝梅), Zhou G-F (周国法). 1999. Research on the structure and relationship of terrestrial, freshwater, intertidal and shallow sea ecosystems in Fildes Peninsula, Antarctica. *Chin J Polar Res (极地研究)*, **11**(2): 100 ~ 112 (in Chinese)
- 11 Spearing AM. 1972. Cation exchange capacity and galacturonic acid content of several species of *Sphagnum* in Sand Ridge bog, central New York State. *Bryologist*, **75**: 154 ~ 158
- 12 Sun X (孙 羲). 1995. The Theory of Plant Nutrient. Beijing: China Agricultural Press. 165 ~ 166 (in Chinese)
- 13 Wu P-C (吴鹏程). 1998. *Bryology*. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- 14 Wu P-C (吴鹏程), Hu S-S (胡舜士). 1990. The Bryophytes of King George Island, Antarctic. *Acta Bot Sin (植物学报)*, **32**(6): 477 ~ 482 (in Chinese)
- 15 Zhao J-D (赵继鼎), Xu L-W (徐连旺), Sun Z-M (孙曾美). 1982. *Dromus Lichenum Sinicarum*. Beijing: Science Press. 1 ~ 2 (in Chinese)

作者简介 李小梅, 女, 1969 年生, 硕士, 讲师, 主要从事极地环境地球化学特征与环境变化研究, 发表论文 5 篇。Tel: 010-62206534, E-mail: lixiaomei @263.net

《应用生态学报》加入万方数据网络系统 (China Info) 数字化期刊群的声明

为了实现科技期刊编辑、出版发行工作的电子化, 推进科技信息交流的网络化进程, 本刊现已入网“万方数据网络系统 (ChinaInfo) 数字化期刊群”(网址为: <http://www.wanfangdata.com.cn>, <http://www.periodicals.com.cn> 或 <http://www.chinainfo.gov.cn/periodical>)。所以, 向本刊投稿并录用的稿件文章, 将一律由编辑部统一纳入万方数据网络系统 (ChinaInfo), 进入因特网提供信息服务。凡有不同意者, 请另投它刊。本刊所付稿酬包含刊物内容上网服务报酬, 不再另付。

万方数据网络系统 (ChinaInfo) 数字化期刊群是国家“九五”重点科技攻关项目, 截止 1998 年底已有 200 种期刊全文上网 (网址: <http://www.chinainfo.gov.cn/periodical>), 将在近年内增至 1000 余种科技期刊。本刊全文内容按照统一格式制作编入万方数据网络系统 (ChinaInfo), 读者可上因特网进入万方数据网络系统 (ChinaInfo) 免费 (1 年后开始酌情收费) 查询浏览本刊内容, 也欢迎各界朋友通过万方数据网络系统 (ChinaInfo) 向本刊提出宝贵意见、建议或征订本刊。

《应用生态学报》编辑部