

长白山高山苔原牛皮杜鹃群落物质循环的研究*

A STUDY ON THE ELEMENTS CYCLING OF THE (RHODODENDRON AUREUM) COMMUNITY IN ALPINE TUNDRA OF CHANGBAI MOUNTAIN

本文利用生态学方法定量地研究了长白山高山苔原主要建群种植物——牛皮杜鹃群落的物质循环。研究表明：在植物与土壤之间的封闭循环中，植物年吸收的元素数量大于凋落物年分解释放的量，处于不平衡状态。而在开放循环中，整个群落的物质(除N、P外)循环处于基本平衡状态。在研究不同元素与植物之间的关系时还发现：植物的各部位对不同元素的累积能力具有明显的差异。如植物花、果中的Ca、Mg、N和P含量高，根中的Fe、Al含量高。在植物同一部位中，各元素的累积能力也不同，如Ca、Mg、Mn、P和N在叶肉中的含量高于在叶脉中的含量，而Fe、Al在叶脉中的含量却高于叶肉中的含量。这种差异性标志着不同的化学元素具有不同的植物生理功能。存在于叶肉中的化学元素要比存在于叶脉或纤维中的化学元素循环周期短，植物利用率高，这对保持生态系统内的物质平衡具有重要的作用。

1 研究区自然概况

长白山高山苔原发育于长白山高山无林带，海拔2000m以上，是我国目前发现的唯一具有极地自然景观的典型苔原^[1]。带内植物矮小，株高10—25cm，匍匐生长，根系发达，叶子革质化。由于成土过程处于低温，介质过湿，微生物作用十分微弱等条件下，土壤表现出泥炭化和粗腐殖质的积累^[2]。在长期融冻和寒冻作用下，植被层发生蠕动，冻胀，形成了多边形土，小草丘^[3]，并有石海，石河等冰缘地貌形态^[4]。受大风，低温等气候因素的影响，牛皮杜鹃(*Rhododendron aureum*)主要分布在海拔2000—2400m，地势相对低洼，湿度较高的地方，生物量和生产量都较低。

2 研究内容

研究物质循环首先必须查清物质在迁移过程中的载体及其相关成分的数量。如大气降水，土壤淋溶水，植物冠层径流量，以及植物根、茎、叶、枝，年凋落物，凋落物年分解率等。在查清载体及其数量之后，测定其化学元素含量，按照物质循环和水分循环过程，建立物质循环模式，评价循环的规律和机理。

3 研究结果与讨论

3.1 植物生物量、生产量的测定 地上部分的生物量是把20个25×25cm样方内的植物在根茎处割下，分别将茎枝，叶现场称重。地下部分是将样方内所有根系挖出称重，测其生物量。在割下每一样方的植物时，随机抽取7株植物，切片后，在高倍解剖镜下读出每株的年龄。以下式计算出每株的年平均增长率(g_i):

$$g_i = \frac{W_{y_i}}{Y_i} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n.$$

式中 W_{y_i} ——单株植物重量； Y_i ——单株年令； g_i ——单株植物年平均增长率。

再以每株植物的年龄比加权求出每个样方内抽取出的7株植物年平均增长率(R):

$$R = \sum_{i=1}^n (g_i + L_i) / n \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

式中： L_i ——每株植物的年龄比；使 $L_i \geq 0$ ；

$$\sum_{i=1}^n L_i = 1;$$

* 本文在黄锡畴研究员指导下完成。

本文于1990年5月10日收到，修改稿于1992年9月20日收到。

最后以下式求出每个样方内的植物地上部分生产量:

$$G_i = \frac{T_i}{t_i} R_i \times P_i$$

式中: G_i ——样方内植物地上部分的生产量; T_i ——样方内植物地上部分的总重量;
 t_i ——样方内抽取出的 7 株植物总重量; P_i ——样方内随机抽取出的植物株数;
 地下部分的生产量采用相同的方法测定。综合 20 个样方的测定结果, 获得每公顷的数值(表 1)。

表 1 牛皮杜鹃的生物量、生产量

Table 1 The biomass and product of *Rhododendron aureum* (t/hm², t/hm²·a)

生物量 Biomass			生产量 Product				
地上部分 Above-ground parts			地下部分 Below-ground parts	地上部分 Above-ground parts			地下部分 Below-ground parts
茎枝 Branches	叶 Leaves	合计 Total		茎枝 Branches	叶 Leaves	合计 Total	
0.682	0.621	1.303	1.670	0.170	0.160	0.330	0.048

3.2 植物枯枝落叶和分解率的测定 首先把野外收集的枯枝落叶烘干, 恒重装入分解袋内, 然后将分解袋放在相应的植物群落下, 分别在 100, 200 和 321d 取样测定其平均分解率。测定结果为 11.43%。枯枝落叶现存总量是在测定生物量的同时, 把样方内的所有凋落物收集起带回实验室测其风干重, 其结果为 1.345t/hm²。根据枯枝落叶平均分解率和枯枝落叶现存总量以及植物的平均生存年龄算得枯枝落叶年凋落物值为 0.204 t/hm²·a, 年分解量 0.023t/hm²·a; 年积累量为 0.181t/hm²·a。

3.3 土壤淋溶的测定 土壤淋溶是物质循环研究的一项重要内容, 但实际观测的人很少^[5-8], 往往以实验室的模拟代替实地观测。为了获得真实的结果, 选择 10 个未被干扰的实验点。在向土壤层与母质层之间安装无张力土壤淋溶液收集器的过程中, 使土壤结构、植被均保持原来状态。所获结果为土壤水实际淋出的数量。经两个夏季的观测, 苔原带每年将有 1.47 × 10⁸ ml/hm² 的土壤溶液自土壤层淋出。

4 植物群落化学元素循环

物质循环的研究国内外已有报道^[5-11]。在我国研究物质循环仍是今后生态学研究的主要内容之一。

4.1 样品处理与分析 风干植物样品经常规灰化, 消解, 脱硅处理后, 用 0.1mol 热 HCl 定容, 然后采用 ICP 发射光谱测定, 其中全氮用 MT500C-N Coder 碳、氮仪测定。水样经浓缩后, 用 ICP, 原子吸收乙炔-空气火焰法和常规化学法对比测定。测定结果经标准曲线校正后使用。雨水中除 Ca 和 N 的含量分别达 2.113 mg/l 和 1.48mg/l 以外, 其它所测元素的含量均在 8.0 × 10⁻² mg/l 以下。在土壤淋溶液中, N 的含量与雨水中的含量相比明显地降低, 而其它元素的含量都程度不同地有所增加, 特别是 Ca, 已达到 5.178mg/l。表 2 显示了植物不同部位中的化学元素含量。大量营养元素 N 在叶子中的含量明显高于根、茎、枝中的含量, 而 Al, Fe 在根、茎、枝中的含量显著高于叶中的含量。这表明: 植物不同部位对不同元素的累积能力不同。

表 2 植物不同部位中的化学元素含量

Table 2 Contents of chemical elements in different parts(μg/kg)

	Al	Fe	Ba	Ca	Mg	Mn	P	Sr	Zn	N*
根 Root	35619	24661	2612	141852	17206	35554	17649	728	1403	0.89
茎枝 Branches	20568	7816	6634	153551	20073	53694	25663	722	1428	0.55
叶 Leaves	2263	886	1548	99334	15694	25438	17613	259	353	1.23
枯枝落叶 Litter	39722	12855	1920	115566	11577	21102	6163	435	484	0.86

* N 的百分含量。The contents percentage of N

4.2 化学元素循环

通过对群落内各个成分的化学元素分析表明；如果地面现存的凋落物全部分解，那么由分解释放归还给土壤的Al, Fe和Ca的总量大于活植物体贮存的总量(表3)，其余元素的归还量都小于活植物体贮存量的20%左右，只有P的归还量达200%，显得严重不足。表明维持植物生长所需的P必须有其它的补给源。当对比根、茎、枝、叶的灰分总量与现存凋落物灰分总量以及相应成分贮存的元素总量之间的关系时发现：P, N, Zn在易分解物质(叶肉，表皮和韧皮)中的含量高于叶脉和茎、枝、根的木质部中的含量，其循环周期短，植物利用率高。从植物年吸收元素的数量和枯枝落叶年分解释放给土壤的元素数量关系看(表4)除元素Mn外，其它元素的吸收量都高于由枯枝落叶分解归还给土壤的量，不难看出植物生长所需

表3 植物不同部位的灰分总量及化学元素

Table 3 The total amounts of ash and chemical elements in different parts of the plant (g/hm²)

各部位的灰分总量 The total amounts of ash										
根 Root	茎枝 Branches			叶 Leaves			凋落物 Litter			
33900	11230			30520			89110			
各部位的化学元素总量 The total amounts of chemical elements										
	Al	Fe	Ba	Ca	Mg	Mn	P	N	Zn	Sr
根 Root	1139.7	836.6	83.5	4808.8	583.3	1205.3	590.3	1484.2	47.5	24.7
茎枝 Branches	231.9	87.7	74.5	1724.4	225.4	602.9	200.2	3774.9	16.1	8.1
叶 Leaves	69.1	27.4	42.3	3331.7	478.9	776.4	534.5	7623.1	70.8	7.9
凋落物 Litter	3539.6	1145.5	171.1	10298.1	1031.6	1880.4	549.2	11507.9	43.1	35.8

的元素数量只依赖于枯枝落叶分解释放是远远不够的。由于大气降水的补充，使上述极不平衡状况有较大地改变(表4)，N、P的吸收值与归还值的差由原来的3133.8g/hm²·a、217.4g/hm²·a分别减少到1266.2g/hm²·a和116.8g/hm²·a。其它元素的归还与输入量几乎相当于或超过吸收与输出的量。整个群落的物质循环处于基本平衡状态。(表5)反映了牛皮杜鹃群落各个要素中化学元素年迁移转换动态。不难看出，除土壤能为植物生长提供大量的营养外，大气降水补充是一项重要的营养来源，它补给土壤的元素数量远远大于枯枝落叶年分解释放的数量。另外，从土壤淋溶一项看，虽然淋出的量很少，但对一些微量元素来说是非常重要的，如Zn, Sr的淋出量已超过枯枝落叶年分解释放的数量。这表明土壤淋溶是研究物质循环，特别是研究微量元素循环不可缺少的一项内容。

表4 化学元素循环平衡表

Table 4 Equilibrium of chemical elements cycling (g/hm²·a)

	Al	Fe	Ba	Ca	Mg	Mn	Zn	Sr	N	P
归还 Return	60.7	19.7	2.9	176.6	139.2	253.7	0.7	0.1	196.8	9.4
吸收 Absorb	108.1	52.6	33.2	134.90	196.3	37.6	8.2	4.7	3330.6	226.8
归还+输入 Return and input	119.3	56.3	13.3	2868.7	363.2	296.2	20.2	4.6	2091.5	110.3
吸收+淋溶 Absorb and leaching	118.7	59.3	33.9	1565.3	259.4	38.7	11.5	5.6	3357.7	227.2

5 结论

5.1 苔原带牛皮杜鹃群落的物质循环(除N、P外)处于动态平衡状态。

5.2 植物的不同部位对不同的元素累积能力不同。同一部位不同组织(如：叶肉，表皮，韧皮，木质部等)中的元素含量也不同。大量营养元素释放快、循环周期短、植物利用率高。

表 5 牛皮杜鹃群落化学元素动态

Table 5 The dynamics of chemical elements in *Rhododendron aureum* community (g/hm²·a)

项	目 Item	Al	Fe	Ba	Sr	Ca	Mg	Mn	P	N	Zn
降水	输入 Rain	69.6	36.6	10.4	4.0	2692.2	547.5	42.5	100.9	1894.7	13.7
冠、茎	径流输入 Throughfall	1.8	31.4	19.2	2.8	1508.3	340.4	55.6	491.9	812.6	26.9
淋溶	输出 Leaching	10.6	6.7	0.7	0.9	216.1	63.1	1.1	0.4	27.1	3.4
根	吸收 Root absorb	39.8	24.1	2.6	0.7	138.2	16.8	34.6	17.2	426.6	1.4
茎、枝	吸收 Branches absorb	36.6	21.9	18.6	2.0	429.9	56.2	150.3	71.9	941.1	4.0
枯枝落叶	年凋落量 Litter yearly	536.4	173.8	25.9	5.9	1582.1	156.5	285.2	83.3	1745.6	6.5
凋落物	年分解量 Litter decompose yearly	60.8	19.6	2.9	0.1	176.6	17.7	32.2	9.4	196.8	0.7
凋落物	现存总量 Total litter*	3539.6	1145.5	171.1	38.8	10298.1	1031.6	1880.4	549.2	11509.0	43.1
叶	吸收 Leaves absorb	27.8	6.9	12.2	2.1	781.1	123.3	200.0	137.7	1963.1	2.7

* g/hm².

5.3 大气降水和土壤淋溶输出是开放生态系统物质循环研究的重要内容，在一定条件下，它们可以调控生态系统的物质平衡。

参 考 文 献

- [1] 黄锡畴. 长白山北侧的自然景观带. 地理学报, 1959, 25(6): 435—445
- [2] 黄锡畴. 长白山高山苔原景观生态分析. 地理学报, 1984, 39(3): 285—298
- [3] 孟宪玺. 长白山的高山苔原土. 地理科学, 1982, 2(1): 57—64
- [4] 裘善文. 长白山冰缘地貌. 冰川冻土, 1981, 3(1): 26—31
- [5] Edwards P J, Grubb P J. Studies of Mineral Cycling in A Montane Rain Forest in New Guinea I The Distribution of organic Matter in the Vegetation, *J Ecol.* 1977, 67 943—969
- [6] Edwards P J. Studies of Mineral Cycling in A Montane Rain Forest in New Guinea, II The Production and Disappearance of litter *J Ecol.* 1977, 67 971—992
- [7] Grubb P J, Edwards P J. Studies of Mineral Cycling in A Montane Rain Forest in New Guinea III The Distribution of Mineral elements in the above-ground Material, *J. Ecol.* 1982, 70 623—648
- [8] Grubb P J, Edwards P J. Studies of Mineral Cycling in A Montane Rain Forest in New Guinea, IV Soil Characteristics and the Division of Mineral elements between the Vegetation and Soil, *J Ecol.* 1982, 70 649—666
- [9] 陈灵芝. 英国Hampsell的蕨类草地生态系统的营养元素循环. 植物学报, 1983, 25(1): 67—74
- [10] Edwards P J. Studies of Mineral Cycling in A Montane Rain Forest in New Guinea, V Rates of Cycling in throughfall and litter fall, *J Ecol.* 1982, 70: 807—827
- [11] Turner J. et al. Mineral nutrient Accumulation and Cycling in A Stand of Red Alder, *J Ecol.* 1982, 70 965—973

刘景双

Liu Jing-Shuang

(中国科学院长春地理研究所, 长春, 130021)

(Changchun Institute of Geography, Academia Sinica, 130021)