

# 海南岛尖峰岭热带林生态系统的地球化学特征\*

卢俊培 吴仲民

**摘要** 根据多年的定位观测研究,初步揭示了海南岛尖峰岭地区的半落叶季雨林和山地雨林生态系统中的植物、凋落物、表土、母岩、穿透水、渗透水、溪水等的化学丰度值,主要元素的生物地球化学作用及其富集与迁移规律,并作了综合对比分析评价。

**关键词** 尖峰岭、热带林生态系统、地球化学特征

热带林生态系统,由于其复杂的组成结构和其所处环境长年高温多雨,决定了其地球化学过程的复杂、活跃。有关海南岛尖峰岭热带林生态系统物质循环方面的研究,笔者先后有报道<sup>[1~6]</sup>,现仅就其地球化学特征,作初步的综合分析。

## 1 主要组分的化学丰度

根据在尖峰岭地区半落叶季雨林和山地雨林固定观测样地中多年定位研究的结果,以算术平均值±标准差为指标,将两个类型生态系统中主要组分的化学丰度值汇总如表1。

从表1两个类型相比较可见,不同组分的元素含量,大都是半落叶季雨林生态系统的高于山地雨林生态系统的,而Si、P、N等在某些组分中的含量差异则相反,如树干、表土、母岩和穿透水中的Si,残落物层(LF层)中的N、P,母岩中的K等。植物部分的含量水平,与国内外类似林分的研究接近<sup>[7~10]</sup>。植物叶片中的元素含量差异与叶量差异,也存在着“相互补偿”的特点,与植物种类组成有关。地表以下各元素的含量变化,除生物因素外,在相当程度上还受母岩类型及其化学成分的影响。降水也是影响各组分(尤指水系统)化学丰度的重要因素。

## 2 主要元素的循环特征

生态系统中不同组分间元素含量的差异及元素含量组合,是元素迁移、富集、循环等生物地球化学或地球化学过程的反映。尖峰岭热带林生态系统具有物种丰富、生物量高、高温多雨、垂直带变化明显等特点,对元素的地球化学过程增色不少,分述如下。

1992—01—07收稿。

卢俊培副研究员,吴仲民(中国林业科学研究院热带林业研究所 广州 510520)。

\* 参加部分工作的有刘其汉、曾庆波、林月娟、刘京等同志,化学分析由本所分析室和广东省土壤研究所完成,一并致谢。

表1 尖峰岭热带林生态系统主要组分的化学丰度

类型	元素	项目	叶片	树干	凋叶	凋枝	凋杂	LF层	表土	母岩	穿透水	渗透水	溪水
半 落 叶 季 雨 林	N	x	2.22	0.88	0.920	0.850	0.910	0.590	0.240	—	1.36	2.37	0.40
		s	0.50	0.35	0.230	0.270	0.210		0.110	—	1.59	4.54	0.78
	P	x	0.124	0.02	0.051	0.064	0.062	0.027	0.0012	0.009	0.20	0.16	0.08
		s	0.040	0.01	0.013	0.021	0.020		0.0006	0.064	0.24	0.14	0.07
	K	x	1.18	0.21	0.810	0.480	0.990	0.460	0.030	3.290	3.97	1.12	1.25
		s	0.51	0.10	0.140	0.150	0.380		0.006	1.200	5.17	7.02	2.12
	Ca	x	1.26	0.07	1.430	1.510	0.730	1.090	0.102	2.230	1.85	2.74	2.19
		s	0.39	0.04	0.130	0.230	0.120		0.040	1.680	3.17	3.85	1.42
	Mg	x	0.35	0.06	0.410	0.350	0.330	0.280	0.040	0.940	1.26	1.63	1.21
		s	0.13	0.04	0.050	0.170	0.080		0.020	1.080	1.55	1.91	1.91
	Si	x	1.14	0.16	1.050	0.400	0.430	2.630	28.800	31.48	0.53	5.71	13.48
		s	1.23	0.27	0.190	0.310	0.160		2.990	8.090	0.90	4.15	6.37
Fe	x	—	—	0.036	0.000	0.071	0.160	—	1.063	0.04	0.04	0.03	
	s	—	—	0.013	0.058	0.064		—	0.731	0.08	0.09	0.06	
Al	x	—	—	0.166	0.104	0.341	0.350	—	7.414	0.08	0.14	0.06	
	s	—	—	0.065	0.078	0.172		—	1.035	0.09	0.31	0.10	
样品数			18	11	36	36	31	1	67	5	90	20	60
山 地 雨 林	N	x	1.51	0.82	0.680	0.510	0.670	1.120	0.180	—	1.06	0.13	0.05
		s	0.38	0.31	0.230	0.210	0.280	0.190	0.080	—	1.06	0.45	0.11
	P	x	0.058	0.010	0.031	0.024	0.048	0.031	0.0007	0.013	0.16	0.10	0.03
		s	0.012	0.005	0.011	0.018	0.020	0.008	0.0004	0.006	0.20	0.09	0.03
	K	x	0.70	0.07	0.510	0.210	0.590	0.160	0.010	4.800	3.62	0.35	0.24
		s	0.24	0.02	0.080	0.070	0.220	0.070	0.003	0.680	5.02	1.26	0.81
	Ca	x	0.21	0.03	0.570	0.600	0.430	0.083	0.017	0.500	0.28	0.34	0.09
		s	0.27	0.02	0.050	0.090	0.120	0.036	0.008	0.290	0.57	0.66	0.17
	Mg	x	0.19	0.03	0.270	0.150	0.240	0.093	0.014	0.085	0.81	0.67	0.48
		s	0.11	0.01	0.050	0.020	0.070	0.031	0.010	0.035	1.34	0.35	0.20
	Si	x	0.95	0.76	0.650	0.180	0.310	1.950	30.000	34.910	1.15	1.21	6.25
		s	1.25	1.31	0.180	0.050	0.260	0.970	4.710	0.070	1.86	0.63	3.13
Fe	x	—	—	0.014	0.015	0.027	—	—	0.381	0.04	0.03	0.02	
	s	—	—	0.004	0.005	0.014	—	—	0.104	0.07	0.09	0.05	
Al	x	—	—	0.068	0.022	0.078	—	—	6.239	0.10	0.13	0.06	
	s	—	—	0.010	0.015	0.133	—	—	0.135	0.17	0.31	0.12	
样品数			23	12	24	24	21	4	70	2	30	36	17

注：水的含量单位为 mg/L，其它组分为 %；表土中的 P、K 为速效性，Ca、Mg 为代换性，余为全量，Si 的样品数 < 5；渗透水系 100 cm 土层的渗流水。

## 2.1 元素含量序列

不同类型的各组分元素含量组合各有异同。两类生态系统的土壤、母岩中的元素含量序列相同，而其他组分间的差异较大，主要反映在植被体系不同对地球化学过程的影响，并与元素的性质及其存在形态有关。从鲜叶→凋落叶→LF层→表土，主要富集元素的含量变化依次为 N→Ca→Si，两类生态系统相同，穿透水以 K-Ca 或 K-Si 淋失为主，而渗透水和溪水则以 Si-Ca 或 Si-Mg 迁移为主。其含量序列如下：

	半落叶季雨林	山地雨林
叶片	N>Ca>K>Si>Mg>P	N>Si>K>Ca>Mg>P
凋叶	Ca>Si>N>K>Mg>P	Ca>N>K>Si>Mg>P
LF层	Si>Ca>N>K>Mg>P	Si>N>K>Mg>Ca>P
表土	Si>N>Ca>Mg>K>P	Si>N>Ca>Mg>K>P
母岩	Si>K>Ca>Mg>Al>Fe>P	Si>K>Ca>Mg>Al>Fe>P
穿透水	K>Ca>N>Mg>Si>P>Al>Fe	K>Si>N>Mg>Ca>P>Al>Fe
渗透水	Si>Ca>N>Mg>K>P>Al>Fe	Si>Mg>K>Ca>N>Al>P>Fe
溪水	Si>Ca>Mg>K>N>P>Al>Fe	Si>Mg>K>Ca>N>Al>P>Fe

## 2.2 地球化学作用

主要是随植物生命活动过程进行的生物地球化学作用和随降水再分配进行的地球化学作用，其特点可以几类率值表示如表 2。在元素的生物循环过程中，同时存在极强烈的生物吸收与富集，多数元素的率值都在百至千位数，P、K、N、Ca 尤为强烈，Si 的循环较缓慢，生物吸收、分解、归还均 < 100；两类林分略有不同，半落叶季雨林的生物吸收、分解、归还均以 P、K 为强，山地雨林则以 K、Ca、Mg 为优，其余元素差异较小。这种土壤与植物间强烈的物质交换，丰富了土壤养分来源，促进常淋溶状态下的砖红壤和砖黄壤肥力的发展。在地质循环过程中，以表土而言，多数元素的淋失率都在 95% 以上，K 尤甚，唯 Si 只有 10% 左右。土层中元素的水迁移率及输出迁移率大都较低，尤以山地雨林为著，反映了封闭式循环的特点。Si、Ca、Mg、Al 等的迁移明显，可以说明砖红壤和砖黄壤尚有较弱的现代脱硅脱盐基过程，强烈的生物富集作用，滞缓了地质淋溶过程。

表 2 热带林生态系统的元素循环与迁移 (%)

项 目	半 落 叶 季 雨 林							山 地 雨 林								
	N	P	K	Ca	Mg	Si	Fe	Al	N	P	K	Ca	Mg	Si	Fe	Al
生物吸收率	925	10333	3938	1235	875	4			839	8286	7000	1235	1357	3		
生物迁移率	241	243	146	88	81	109			222	187	137	37	70	146		
生物分解率	376	459	257	116	125	43			135	187	438	253	204	49		
生物归还率	246	2250	1533	1069	700	9			622	443	1600	1205	664	6		
表土淋溶率	—	98.3	99.1	95.4	95.7	8.5			—	94.6	99.8	96.6	83.5	14.1		
土层迁移率	174	80	28	148	129	1077	100	175	12	63	10	121	83	105	75	130
总迁移率	29	80	31	117	96	236	75	75	5	19	7	32	59	543	50	60
生物吸收	P>K>Ca>N>Mg>Si							P>K>Mg>Ca>N>Si								
生物迁移	P>N>K>Si>Ca>Mg							N>P>Si>K>Mg>Ca								
生物分解	P>N>K>Mg>Ca>Si							K>Ca>Mg>P>N>Si								
生物归还	P>K>Ca>Mg>N>Si							K>Ca>Mg>N>P>Si								
表土淋溶	K>P>Mg>Ca>Si							K>Ca>P>Mg>Si								
土层迁移	Si>Al>N>Ca>Mg>Fe>P>K							Al>Ca>Si>Mg>Fe>P>N>K								
总迁移	Si>Ca>Mg>Al, Fe>P>K>N							Si>Al>Mg>Fe>Ca>P>K>N								

注：生物吸收率 = 叶/表土 × 100%；生物迁移率 = 叶/凋叶 × 100%；生物分解率 = 叶/LF × 100%；生物归还率 = LF/表土 × 100%；表土淋溶率 = [(支土/母岩) - 1] × 100%；土层迁移率 = 渗透水/穿透水 × 100%；总迁移率 = 溪水/穿透水 × 100%。

### 2.3 N素积累与迁移

有机质是土壤中N素的主要来源,凋落物则是持续提供N素的主要源体,过去常以年凋落量作为年归还量,事实上热带地区当年的凋落物平均只能归还约75%,尚有约25%残留林地,逐年分解归还。根据凋落物及其分解积累过程的变化来评估N素富集情况,可能较符合实际。

尖峰岭热带林凋落物的年凋落量(未计大枝),半落叶季雨林和山地雨林分别为9.75和7.71 t/hm<sup>2</sup>·a,当年的分解率分别为85%和65%,理论自然分解期(按网罩法试验结果)依次为2 a和3 a<sup>[2,3]</sup>,残落物层现贮量为3.89和5.96 t/hm<sup>2</sup><sup>1)</sup>,据此,按表1的相应含N率,可估算出N素的生物归还积累如下(kg/hm<sup>2</sup>):

	半落叶季雨林	山地雨林
年凋落物含N量 <sup>2)</sup>	89.60	52.43
当年凋落物归还量	76.16	34.08
当年残留积累量	13.44	18.35
残落物层现贮量	22.95	66.75
残落物层年归还量	14.48	22.25
总计年归还量	87.64	56.33

可见,凋落物分解矿化过程中,N素的释放、归还的速度和强度,都是半落叶季雨林优于山地雨林,而积累强度则相反。除根际的生物归还未计外,热带林平均N素富集量达70 kg/hm<sup>2</sup>·a以上,这对林地土壤培肥的作用是不可低估的。

N素在生物富集的同时,与降水的大气输入N一起参与地质循环,随水迁移。从穿透水→渗透水→溪水中的N素含量变化,可见N素迁移的特点,随林分和地层不同而异。半落叶季雨林生态系统从冠层→土层为添加淋溶,总的淋失强度大,迁移率数倍至十数倍于山地雨林(表2);山地雨林生态系统水体系的含N量,依冠层→土层→溪流递减,反映了其冠层淋洗→地层过滤吸贮的特点,迁移率低,水化学净化调节功能优于半落叶季雨林生态系统。

### 2.4 灰分元素的富集与迁移

森林土壤中的灰分元素,除由成土母质风化释放外,也主要来自凋落物的分解矿化。尖峰岭热带林凋落物中的灰分含量约4%~7%,其中P、K、Ca、Mg等主要养分约占2%~4%,Si约占1%。遵循有机质逐步矿化的自然规律,其归还、残留量如下(kg/hm<sup>2</sup>,计算方法同N素):

半落叶季雨林:	P	K	Ca	Mg	Si	灰分
当年凋落量	4.97	78.97	139.43	39.98	102.38	701.03
当年残留量	0.75	11.85	20.92	6.00	15.36	105.16
当年归还量	4.22	67.12	118.51	33.98	87.02	595.87
LF层年归还量	0.54	9.15	21.69	5.57	52.34	192.83
年总归还量	4.76	76.27	140.21	39.55	139.36	788.70
富集序列	Ca>Si>K>Mg>P					

1) 定位观测分别为二年逐月和一年四季多点的平均值。

2) 以比例最大的凋叶的含N率计,未分组成。

山地雨林:	P	K	Ca	Mg	Si	灰分
当年凋落量	2.39	39.32	43.95	20.82	50.12	313.80
当年残留量	0.84	13.76	14.38	7.29	17.55	109.83
当年归还量	1.55	25.56	28.57	13.53	32.57	203.97
LF层年归还量	0.62	3.18	1.65	1.85	38.74	135.92
年总归还量	2.17	28.74	30.22	15.38	71.33	339.89
富集序列	Si>Ca>K>Mg>P					

可见两类凋落物的灰分元素富集量十分丰富,富集规律相似,半落叶季雨林凋落物 Ca 的富集量略大于 Si,山地雨林则以 Si 的富集最多,灰分总富集量则较少,这与两类林型的种类组成及叶质差异相吻合<sup>[6]</sup>。在元素的迁移中,不同元素的迁移各有异同。穿透水→渗透水→溪水, P、K 素的含量变化,两类生态系统都呈递减趋势,系统内贮存为主,输出少; Si 则相反,呈明显的递增,反映了铁铝土的现代脱硅过程,尤以半落叶季雨林生态系统最为清楚; Ca 素的含量变化则表现为冠层和上部土层呈添加淋溶,下部土层吸贮,输出减少; Mg 的变化不同,在半落叶季雨林生态系统与 Ca 的变化相同,以下部吸贮为主,在山地雨林生态系统则呈递减趋势,以内部吸贮为主,输出量相应减少。

### 3 结 语

尖峰岭热带林生态系统的生物量大,组成、结构复杂,高温多雨,生物地球化学过程强烈,既有强烈的生物吸收、分解与归还,植物—土壤间持续强烈的物质交换,又有较强的淋溶、迁移,但输出量小于归还富集,处于封闭式循环状态。半落叶季雨林的生物化学富集强度和速度优于山地雨林,积累强度却相反。山地雨林的水化学净化调节功能优于半落叶季雨林。不同元素的富集和迁移特征,两类生态系统略有异同。凋落物是物质循环和林地自肥的物质基础,应重视其管理利用。

### 参 考 文 献

- 1 卢俊培.海南岛尖峰岭半落叶季雨林生态效应的研究 I——冠层淋溶.热带林业科技, 1985, (1): 1~6.
- 2 卢俊培,刘其汉.海南岛尖峰岭热带林凋落物研究初报.植物生态学与地植物学学报, 1988, 12(2): 104~112.
- 3 卢俊培,刘其汉.海南岛尖峰岭热带林凋落物分解过程的研究.林业科学研究, 1989, 2(1): 25~33.
- 4 卢俊培.海南岛尖峰岭热带林土壤渗透水的初步研究.植物生态学与地植物学学报, 1988, 12(3): 181~188.
- 5 卢俊培,吴仲民.海南岛尖峰岭热带林的植物化学特征.林业科学研究, 1991, 4(1): 1~9.
- 6 卢俊培.海南岛尖峰岭热带林生态系统的水化学特征.林业科学研究, 1991, 4(3): 231~237.
- 7 王景华.海南岛土壤和植物中的化学元素.北京:科学出版社, 1991.
- 8 Frank B G(李文华译).热带林的生产量和矿质循环.植物生态学译丛第四集,北京:科学出版社, 1982. 124~134.
- 9 Tsutsumi T(陈佐忠译).森林生态系统中营养元素的积累和循环.植物生态学译丛第四集,北京:科学出版社, 1982. 171~178.
- 10 Edwards P J(汪洋森译).新几内亚山地雨林矿质养分循环研究.热带林业科技, 1986, (3)、(4): 55~60, 63~70.
- 11 W.拉夏埃尔(李博,张陆德,岳绍先等译).植物生理生态学.北京:科学出版社, 1985.

- 12 Carl F J. Nutrient cycling in Tropical Forest Ecosystems, John Wiley & Sons, 1985, 45~145.
- 13 Likens G E, Bormann F H, Pierce R S, et al. Biogeochemistry of Forested Ecosystem, Springer-Verlag, New York, Heidelberg Berlin, 1977, 14~59.

## *Biogeochemistry Characteristics on Tropical Forest Ecosystems in Jianfengling, Hainan Island, China*

Lu Junpei      Wu Zhongmin

**Abstract** According to the experimental results, the background value of both semi-deciduous monsoon forest and mountain rain forest ecosystems on the plant, litterfall, surface soil, rock, throughfall, seepage water and stream were shown. The biogeochemical action on the elements capital aggregation and migration were synthetically analysed and estimated. Strong action of the biological absorption, decomposition, returned back and the leaching had been found. The substance exchange between the plant and the soil is strong. The tropical forest ecosystems keep a tightness balance on the substance cycle because the input content is more than the output. The intensity and velocity on the biochemical aggregation of the semi-deciduous monsoon forest ecosystem are larger and faster than that of the mountain rain forest ecosystem, but whose accumulation is contrary. It is obvious that the hydrochemical regulating function of the mountain rain forest ecosystem is superior to that of the semi-deciduous monsoon forest ecosystem. The characteristics on the elements aggregation and migration in the two type ecosystems have some differences. It is pointed out that the litterfall plays an important dominant part in the nutrient cycle direction and acts as a material base on the forest land fertility, which must be paid great attention to.

**Key words** Jianfengling, tropical forest ecosystem, geochemistry characteristics