

# 海南岛尖峰岭热带林生态系统的 水化学特征\*

卢俊培

(中国林业科学研究院热带林业研究所)

**摘要** 本文根据对降水、渗透水及林区溪水水质的动态观测分析,探讨了海南岛尖峰岭半落叶季雨林—砖红壤—花岗闪长岩、黑云母花岗岩及山地雨林—砖黄壤—似斑状(钾长石)花岗岩两个植被—土壤—基岩体系的水化学性状、季节变化及水化学平衡特点。文章指出,降水和渗透水是热带林生态系统主要的元素输入源,森林生态系统具有较强的水化学过滤、吸贮功能,元素的输出率可以大大降低,保持物质循环的封闭式平衡状态。山地雨林生态系统的水化学调节功能优于半落叶季雨林生态系统。

**关键词** 热带林生态系统;降水;渗透水;溪水;水化学特征

降水、渗透水和溪水的化学性状常被视作区域环境质量的指标,也是森林生态系统中物质循环的重要量值,这方面的研究不断有报道<sup>[1~5,9~11]</sup>。笔者曾对海南岛尖峰岭的两个植被—土壤—基岩体系的降水、渗透水、溪水进行过动态性的化学分析研究,现报道如后。

## 1 研究方法

分别在半落叶季雨林和山地雨林样地中,各设置5个塑料器皿收集渗透水(离地面70 cm),取平均混合水样作分析样,视降水过程不同每月抽测3~5次。采样点的分布兼顾林分主要种群、郁闭度和坡位。降水样只在半落叶季雨林区的林外旷地收集。溪水每月取样1~2次。观测时间1980年6月至1984年2月,山地雨林区前两年缺测。

水样分析项目及方法<sup>[6,7]</sup>:全氮(扩散法)、磷(磷钼蓝比色法)、钾(四苯硼钠比浊法)、钙、镁(EDTA容量法)、硅(硅钼蓝比色法)、铝(铝试剂比色法)、铁(邻啡罗啉比色法)、总酸度(中和滴定法)、总碱度(双指示剂滴定法)、pH(比色法)、烘干残渣(重量法)。

## 2 不同体系的水化学性状

水是一种活动载体,其所流经的环境条件不同,水化学性状各异。观测场地是两个不同而有垂直带联系的体系,其一为海拔200 m的半落叶季雨林,土壤为砖红壤,基岩为花岗闪长岩和黑云母花岗岩,简称A体系;其二为海拔850 m的山地雨林,土壤为砖黄壤,基岩为

本文于1990年11月5日收到。

\*本研究为自然科学基金资助项目内容之一。参加工作的还有刘其汉、林月娟、刘京同志,本所分析室化学分析,一并致谢。

似斑状花岗岩(钾长石花岗岩), 简称B体系。它们的水化学性状与某些地区比较, 各有异同(表1)。

表1 不同类型的水化学背景值比较

地点	项目	mg/L								me/L		pH	
		N	P	K	Ca	Mg	Si	Al	Fe	干残渣	碱度		酸度
A	1.降水	0.43	0.12	1.28	1.01	0.78	0.30	0.05	0.03	143	—	—	6.24
		0.55	0.28	2.13	1.74	0.85	0.83	0.09	0.08	150	—	—	2.53
	2.渗透水	1.36	0.20	3.97	1.85	1.26	0.53	0.08	0.04	146	—	—	5.99
		1.59	0.24	5.77	3.17	1.55	0.90	0.09	0.08	181	—	—	0.31
	3.溪水	0.40	0.08	1.25	2.16	1.21	13.48	0.06	0.03	332	—	—	6.18
		0.78	0.07	2.12	1.42	1.01	6.37	0.10	0.06	492	—	—	0.21
B	4.渗透水	1.06	0.16	3.62	0.28	0.81	1.15	0.10	0.04	217	0.20	0.20	5.53
		1.06	0.19	5.02	0.56	1.32	1.86	0.17	0.07	219	0.16	0.14	0.19
	5.溪水	0.05	0.03	0.24	0.09	0.48	6.25	0.06	0.02	158	0.25	0.22	6.21
		0.11	0.04	0.81	0.17	0.20	3.13	0.12	0.05	186	0.09	0.27	0.28
C <sup>[9]</sup>	渗透水	0.78	0.065	1.87	0.50	0.29	—	—	—	—	—	—	
D <sup>[11]</sup>	降水	0.43	0.006	0.17	0.30	0.36	0.05	0.02	0.02	—	—	—	4.44
	渗透水	0.96	0.015	1.44	0.78	1.14	0.05	0.02	0.02	—	—	—	4.05
	溪水	0.82	0.005	0.24	1.08	0.82	0.73	0.70	0.02	—	—	—	4.30
E <sup>[5]</sup>	降水	0.46	0.049	0.90	1.31	0.30	—	—	—	—	—	—	6.00
	渗透水	1.58	0.038	3.22	2.17	1.17	—	—	—	—	—	—	5.9
	溪水	0.37	0.060	0.70	1.33	1.51	—	—	—	—	—	—	6.5

注: A、B分别为尖峰岭的半落叶季雨林和山地雨林, 均为历年历次测值的算术平均值(上行)和标准差(下行); C为新几内亚山地雨林, 根据原文中4种林地换算的算术平均值; D为英国威尔士北部云杉林; E为湖南会同杉木人工林。

从表1可见, 尖峰岭地区的水质均为弱酸性软水, 绝大多数元素含量都是A体系大于B体系; 渗透水的酸度及干残渣含量, B体系略高于A体系, 而溪水则相反。元素之间的含量序列有不同的组合, 按表1中的代号排列如下:

1. K>Ca>Mg>N>Si>P>Al>Fe;
2. K>Ca>N>Mg>Si>P>Al>Fe;
3. Si>Ca>K>Mg>N>P>Al>Fe;
4. K>Si>N>Mg>Ca>P>Al>Fe;
5. Si>Mg>K>Ca>Al>N>P>Fe.

其中, 1、2序列的结构相似, N素因冠层淋溶浓度增大而位置前移。2、4序列相比较, A体系富Ca少Si, 而B体系相反。两类溪水相比较, 元素含量组合差异大, A体系属Si-Ca型, B体系为Si-Mg型, 同时B体系中Al的位置也因N、P的含量减少而前移, 从而改变了其它四类水稳定的P>Al>Fe结构。

热带阔叶林盐基物质的冠淋强度远大于高纬区的针叶林, 与亚热带的杉木林相差较小,

但元素的含量序列各不相同。溪水中的元素含量序列及含量水平差异尤大,尖峰岭地区为硅质软水,显示了热带砖红壤地区的现代脱硅过程,与其它类型显著不同。所有类型水的pH立体格局都有一个增酸—变碱过程,其弱酸性变化明显区别于高纬区针叶林灰化土区<sup>[11]</sup>的强酸性的地球化学过程。B体系中的总酸度和总碱度都不高,与硬质碱性水区的高浓度不同<sup>[8]</sup>。

烘干残渣的含量说明,该地区大气中的干沉降是明显的,两类林冠都有近似的净化作用,半落叶季雨林更稳定。两类溪水的差异主要是水中悬移质及可溶盐,可能与半落叶季雨林区大面积游耕加剧水土流失有关。

### 3 不同体系水化学的季节变化

区域性的水质特征同时受约于该地区的降雨过程、植物生长发育过程和元素的可溶性,因而元素含量有不同的季节变化,现摘其含量大者汇总如图1。总的来说,水质的季节变化较大且与降雨的季节性大致关联,而各类水的关联程度和变幅又各异。

降水中多数元素的含量季节差异较小,K、Ca的变化较大,元素含量与降雨量月变化曲线有负向拟合趋势,尤以Si最吻合。这可能与该地区间隙性不定期的烧垦活动有关,烧失烟尘飘逸于大气中,烟尘中含量较高的K、Ca、Si等元素,自然反映最明显。

穿透水中的元素含量季节变化普遍较大,在冠层淋溶过程中,大气降水的物质含量因生物因素及界面作用的引入而产生复杂的变化。初夏季节,多数树种都大量抽梢展叶且富含易溶的K、N,穿透水中的K、N含量相应增加;雨季末期,新叶处于成熟或老龄期,K、N转移或易移性滞缓,水中的含量随之降低。难移性元素如Mg等,季节变化小,山地雨林尤为明显,说明热带林冠层Mg积累可能较丰,从而能维持全周期较稳定的淋溶特点;Ca元素含量变化大,B体系的冠流还连续出现痕量月份,A体系则富含Ca,与树种组成中后者多富Ca植物相符,与降水的季节变化大体一致;两体系冠流的Si含量变化均与降水月变化呈负向吻合,雨量增加后的稀释作用十分明显。

A体系溪水中各元素的季节变化差异较小,唯K的跳动较大,这与该区游耕农业的季节性烧垦有关,也与降水的月际变化略显相反的关联;N素的变化与降水较一致,6~8月多暴雨,地表径流大量汇集,溪水含N量升高;Ca、Mg含量变化不规则;Si的月变化在7~20 mg/L的范围内近水平趋势跳动,反映了较强的硅释放和脱硅过程。B体系的溪水中K、Ca、N的含量常出现断续图象,可能说明这些元素在生态系统内部的截留利用较多;Mg的变化较有规律,与降水变化大体呈负关联;Si的含量除4、11月最低外,余均在4~12 mg/L之间略呈渐减趋势跳动,水溶性Si的释放和淋洗稍弱于A体系。

此外,尚可从烘干残渣等其它性质的差异分析水质的季节变化特点。统计结果说明,在五类水中,雨水和穿透水的烘干残渣的极值多出现在10月至翌年3、4月,月际差异大,年中月变异系数约60%;溪水则不同,干残渣的高含量多在雨季月,旱月含量低,年中月变异系数达90%以上,尤以B体系明显,反映了地表冲刷及林地渗滤作用的强度和时效效应差异。P、Al、Fe等元素在各类水中的含量少,变化小,溪水中的含量更低,常有痕量。B体系穿透水的总酸度变异小(变异系数33%),总碱度变异大(变异系数71%);溪水相反,变异系数依次为113%和25%,反映了前者植物活体酸淋溶的稳定性及碳酸、重碳酸盐类的

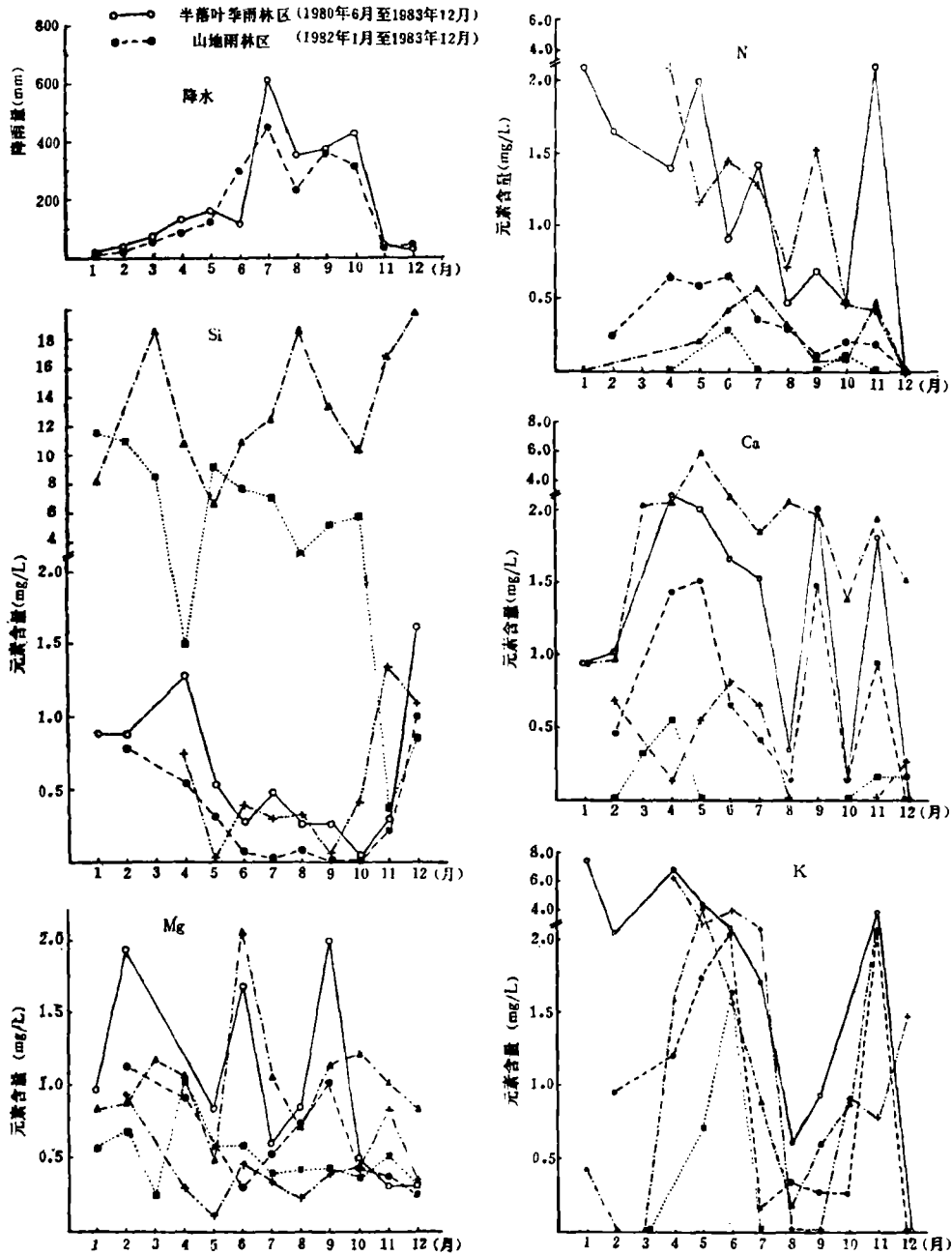


图1 不同类型水中元素含量及同期降水量季节变化

●---● 大气降水, ○—○ 半落叶季雨林穿透水,  
 ▲---▲ 半落叶季雨林区溪水, +---+ 山地雨林穿透水,  
 ■---■ 山地雨林区溪水

不稳定淋溶以及后者植物残体有机酸释放及风化层有机、无机酸淋失迁移的不稳定和各类无机酸盐类的稳定迁移特点。pH 值的月变化都很小, 变异系数仅 1%~3%, A 体系的降水、穿透水和溪水 pH 月变化范围依次为 6~6.3、5.9~6.2、6.1~6.2; B 体系的穿透水和溪水的 pH 依次为 5.8~6.2、6.2~6.4。溪水 pH 的变幅小于降水和穿透水, A 体系的变化小于 B 体系。

#### 4 不同体系的水化学平衡

降水—穿透水—溪水化学性状的系统变化, 可相对地反映系统内的水化学平衡状况和生态系统物质循环特征(表 2)。

表 2 不同体系的水化学迁移

项 目		N	P	K	Ca	Mg	Si	Al	Fe	干残渣	总碱度	总酸度	pH
6. 林冠净淋溶 (mg/L)	A	0.93	0.08	2.69	0.84	0.48	0.23	0.03	0.01	53	—	—	-0.25
	B	0.63	0.04	2.34	-0.73	0.03	0.85	0.05	0.01	74	—	—	-0.31
7. 淋溶系数	A	3.16	1.67	3.10	1.83	1.62	1.77	1.60	1.33	1.57	—	—	0.96
	B	2.47	1.33	2.83	0.28	1.04	3.83	2.00	1.33	1.52	—	—	0.95
8. 迁移系数	A	0.45	0.50	0.48	1.51	1.19	32.48	0.92	0.86	0.96	—	—	1.01
	B	0.05	0.19	0.07	0.32	0.59	5.44	0.60	0.50	0.73	1.25	1.10	1.05
9. 相对平衡值 (mg/L)	A	0.50	0.08	1.38	-0.73	-0.19	-13.07	0.01	0.01	-162.5	—	—	-0.07
	B	1.01	0.13	3.38	0.19	0.33	-5.10	0.04	0.02	59	-0.05	-0.02	-0.28
10. 水化学淋溶 序列	A	N>K>Ca>Si>P>Mg>Al>Fe											
	B	Si>K>N>Al>P(Fe)>Mg>Ca											
11. 水化学迁移 序列	A	Si>Ca>Mg>Al>Fe>P>K>N											
	B	Si>Al>Mg>Fe>Ca>P>K>N											

注: 项目栏中的 1~5 见表 1。8、9 项中的 A 因该区有约 50% 的游耕地, 故取降水和穿透水含量的平均值作输入量。

淋溶系数 = 穿透水含量/降水中的含量; 迁移系数 = 输入含量/输出含量; 相对平衡值 = 输入含量 - 输出含量。

降水通过林冠后, 由于枝叶面上的积尘及植物器官中可溶物质被淋洗, 使水化学浓度添加而产生林冠净淋溶, 不同元素的可溶性及其在植物体内的转移情况和时期不同, 净冠淋含量及元素组合序列也各异。从表 2 可见, A 体系的冠淋元素含量, 除 Si、Al 外都大于 B 体系, 淋溶系数全部 > 1~3, 淋溶序列有较大改变, 如取淋溶系数 > 2 为限, 则为 N-K 型淋溶; B 体系淋溶系数 < 1~> 3, Ca 为负淋溶, Si、Al 的淋溶含量增加, 使淋溶序列大改变, 这个趋势可能与山地雨林树种组成中较少富 Ca 的豆目植物或叶面直接吸收多有关。烘干残渣的相对淋洗量与多数元素相反, 山地雨林略高于半落叶季雨林, 这与山地雨林冠层厚度及重叠度大、表面积大的林分结构特征相吻合。从 pH 看, B 体系的冠淋增酸作用稍强于 A 体系, 与前述元素淋溶差异一致。

溪水是降水通过生态系统立体空间多层次再分配后的地面输出水, 其化学成分变化是复杂的。如以溪水的元素输出含量与降水和穿透水的元素输入含量之比(暂名迁移系数)等于 1, 或输入含量与输出含量之差值等于零为平衡界限(表 2), 并将其分为不同类型, 按平衡

值大小排序,则在A体系中,  $Si > Ca > Mg$  为淋失迁移型(负值),  $K > N > P > Al > Fe$  为内贮型,即输入含量尚有部份在系统内吸收贮存;烘干残渣为侵蚀型; pH 变化为微增碱型。在B体系中,  $Si > \text{总碱度} > \text{总酸度}$  为淋失迁移型;  $K > N > Mg > Ca > P > Al > Fe$  为内贮型;烘干残渣为过滤型; pH 值变化为增碱型。对比两体系依元素迁移系数排列的迁移序列可见,最突出的差别在 Ca 和 Al 的位置,如将其抽出,则两体系拥有完全相同的水化学迁移。据其异点可视A体系为 Si-Ca 型迁移, B体系为 Si-Al 型迁移。以上水化学的相对平衡特点,与两体系的植被类型的组成和结构、土壤类型及其性状和基岩类型差异相吻合,与两体系所处的气候垂直带差异相符,从水化学角度证实了B体系较之A体系具有更大的生态化学调节功能和游耕农业对A体系水化学的影响。

## 5 结 语

海南岛尖峰岭地处热带区,高温多雨,降雨是热带林生态系统主要的物质输入源。通过林冠的穿透水可使雨水中的绝大多数元素含量增加0.3~2.8倍,富化了输入源,有利于系统内的物质循环。半落叶季雨林的冠淋含量大于山地雨林,各元素的淋溶量依植被类型而异, K、N 的含量高。山地雨林冠流中的含 Ca 量因树种含 Ca 少和冠层直接吸收多而降低。溪水中的多数元素含量低于穿透水中的含量,系统内相对的水化学平衡特点是内部贮存利用大于输出。半落叶季雨林的 Si、Ca、Mg、烘干残渣和山地雨林的 Si、总碱度、总酸度的输出含量稍大于输入含量。山地雨林生态系统对水化学的生态调节功能优于半落叶季雨林生态系统。随降水及植物的季节变化和元素可溶性不同,各类水的元素含量均有明显不同的季节波动。

## 参 考 文 献

- [1] 鲁如坤等, 1979, 金华地区降雨中养分含量的初步研究, 土壤学报, 16(1):81~84.
- [2] 邹桂昌, 1980, 香港红壤地区的林内雨养分含量, 林业科学, 16(2):102~108.
- [3] 卢俊培, 1986, 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, (1): 1~6.
- [4] 马雪华, 1988, 降雨在杉木和马尾松人工林养分循环中的作用, 林业科学研究, 1(2):123~131.
- [5] 潘维俊、田大伦等, 1988, 渠水区森林生态系统的养分分析, 中南林学院学报, 8(2):115~121.
- [6] 张万儒主编, 1987, 森林土壤分析方法(国家标准), 中国林业出版社.
- [7] 中国科学院南京土壤研究所, 1978, 土壤理化分析, 上海科学技术出版社, 378~409.
- [8] 汪炳根等, 1986, 大青山实验基地苗圃土壤性状与苗木适宜性的调查, 热带林业科技, (1):40~47.
- [9] Edwards, P. J., 1986, (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, (3): 55~60, (4):63~70.
- [10] Likens, G. E. et al., 1977, Biogeochemistry of a forested ecosystem, Springer-Verlag New York Heidelberg Berlin, 31~45.
- [11] Stevens, P. A. et al., 1989, Solute Concentrations, Fluxes and Major Nutrient Cycles in a Mature Sitka-spruce plantation in Baddgelest Forest, North Wales, *Forest Ecology and Management*, 27(1):1~20.

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

Lu Junpei

*(The Research Institute of Tropical Forestry CAF)*

**Abstract** The hydrochemical properties, seasonal changes and their balance of both semi-deciduous monsoon forest-latosol-granodiorite, granite and mountain rain forest-lateritic yellow soil-potassium feldspar granite systems were studied at Jianfengling, Hainan Island, China based on the observations and chemical analyses on the major elements of precipitation, throughfall and stream. Elements content of the throughfall increased by 0.3~2.8 times more than that of the precipitation. More leaching quantity was found in the semideciduous monsoon forest than that of the mountain rain forest particularly K and N the most, and the leaching loss of Ca was less than the surface uptake of the plants in the mountain rain forest. The elements content of the stream were also less than that of the throughfall. The output content is more than input both in the Si, Ca, Mg and dried residue for the semi-deciduous monsoon forest and the Si, total acidity and total alkainity for the mountain rain forest. There are obviously seasonal changes in various hydro-elements content with seasonal changes of rainfall and forest plants and solubility of elements. It is pointed out that the precipitation and throughfall are an input source of the important elements of the tropical forest ecosystem, which has stronger function on the filtration, uptake and store. It is clear that hydrochemical regulating function of the mountain rain forest ecosystem is superior to that of the semi-deciduous monsoon forest ecosystem.

**Key words** tropical forest ecosystem; precipitation; throughfall; stream; hydrochemical characteristics