

热带山地次生雨林生态系统的 水文学过程及养分动态*

陈步峰 周光益 曾庆波 李意德 吴仲民

摘要 在小集区技术和定位观测综合实验测定的基础上,研究分析了尖峰岭热带山地雨林更新林生态系统3年间的水文学过程、水质的动态变化、营养元素积累。结果表明:水量及营养元素的输入、再分配和输出量主要集中在雨季的5~10月份,两者月动态变化特征密切相关,年降水输入营养元素的78%被森林生态系统积累。

关键词 热带山地雨林更新林、水文分量、养分动态

森林生态系统是一个内部结构和功能错综复杂的系统^[1],系统中水分和养分循环是维持系统有机物质生产的基本功能,而且在水文过程中营养元素的变化将成为系统研究中的一个重要分支。为此,研究实验以小集水区作为尖峰岭热带山地雨林更新林生态系统的一个限定范围,较精确地测定水文分量及水化学元素的输入输出,并确定某些养分的收支,同时与生态系统内生物群落的生产力、生物量积累、凋落物及分解归还等参数相配合,了解热带林皆伐后的更新前景和生态功能。本文仅从水文特征及其水质变化,研究该群落的水文效益和养分贮蓄功能,对合理经营热带林提供一些科学依据。

1 自然概况和研究方法

1.1 自然概况

作者在“林业科学研究”6卷2期中已有介绍^[2],此处略。

1.2 水量测定及水样采集分析方法

1.2.1 降水测定 在集水区山脊森林蒸散观测塔顶部高出林冠2m处设一自计雨量计,并在林外裸地气象观测站设雨量筒和自记雨量计同步观测降水量。

1.2.2 穿透水、树干茎流测定 在集水区内选定坡面标准地1200m²,用网格法机械地设置标准雨量筒23个(距地面70cm),测定穿透水量;根据标准地内树种的重要值和径阶权重选取36棵样株,用2~6cm内径聚乙烯管分1、2级粘绕样树底部,同时承接池采用2到3级分流测定树干茎流量。

1.2.3 总径流量测定 在集水区内设有巴歇尔无喉堰和嵌套的V型溢流堰三级装置,测定集水区总径流量。

1.2.4 水样采集分析 按雨量级,对降水、穿透水、树干茎流和总径流采用标准洗液洗净未受污染的样瓶取其混合样,分析N、P、K、Ca、Mg、Al、Mn、Si、有机C的含量。分析方法:全N用

1993-06-09 收稿。

陈步峰助理研究员,周光益、曾庆波、李意德、吴仲民(中国林业科学研究院热带林业研究所 广州 510520)。

* 本文系林业部重点项目“海南岛尖峰岭热带林生态系统研究”和国家自然科学基金(9390011)资助项目的一部分,杜志鹤同志参加部分工作。

扩散法,P用磷钼蓝比色法,K、Ca、Mg、Al、Mn用原子吸收光谱法,有机C用重铬酸钾氧化亚铁滴定法,Si用硅钼蓝比色法。

2 结果和分析

2.1 热带山地雨林更新林生态系统的水文学特征

受热带季风气候的影响,该生态系统具有高温、高湿、多雨,尤其是台风暴雨频繁、干湿季明显的特征,形成丰富的光、热、水资源。年降水量的一半多来源于台风暴雨。1989年5月至1990年4月,暴雨、大暴雨、特大暴雨总量占年降水量的50.6%,1990年5月至1991年4月,三者占年降水量的57.8%,1991年5月至1992年4月,三者占年降水量的67.5%;3年间特大暴雨发生8次,大暴雨发生3次,暴雨发生10次,因而构成该森林生态系统独特的水文学特点。现就3年间降水、林内雨和总径流水文分量变化,分别予以分析讨论。

降水在输入生态系统、穿过和流出该系统的过程中,水量分配会发生明显的变化,经3年多的实际测定和计算,年均降水量为2869.7mm,穿透水量为2253.3mm,树干茎流量为189.20mm,总径流输出量为1445.3mm;其月及年水量分配格局见图1,其主要水文特点有:

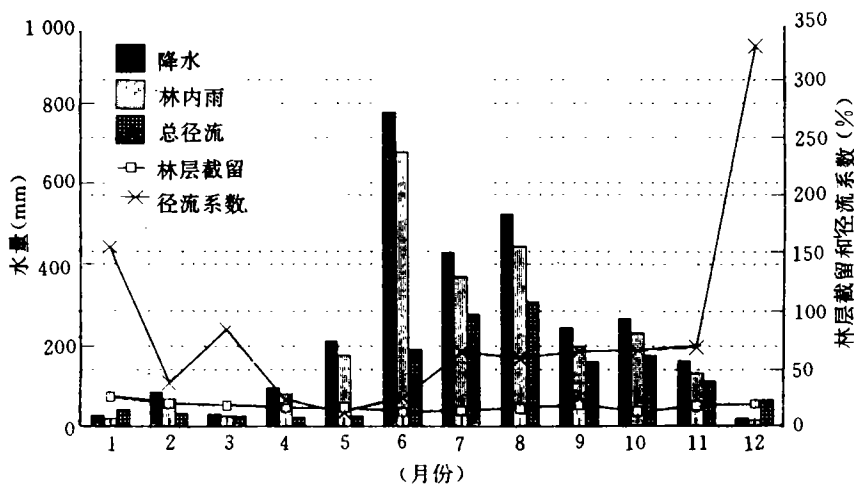


图1 月水文学特征

2.1.1 季节分配 降水、林内雨输入主要分配在5~10月份(即雨季),分别占年各输入量的85.4%和85.8%;降水量较少的11~4月为旱季,两者仅占14.6%和14.2%,雨季即是台风侵入和暴雨、特大暴雨发生较多的季节,又是植物群落高生长季节。降水和林内雨的年高峰值均出现在6月,分别为776mm和678.6mm,占年降雨量的27%和23.6%;降水及林内雨的次峰值均出现在8月,分别为523.0mm和441.10mm,占年降水量的18.2%和15.4%;森林冠层的截留率变化范围,雨季为12.6%~19.4%,旱季为15.9%~26.0%,两个季节的冠层截留率均值分别为15.1%和19.7%。反映出林层截持水量受季节的变化而变化;旱季降水量少,强度小,林层较干,截留率高,雨季则相反。

2.1.2 对降水尤其是对大暴雨较多的雨季降水径流的水文效应 从(图1)月径流变化来看,

总径流输出从 5 月的 26.8 mm 开始逐渐增加至 8 月的峰值,除 10 月份大于 9 月份外,此后逐月递减,4 月出现最小值。季节分配也较明显,雨季为 1 141.9 mm,占年总径流量的 79%,月径流峰值滞后于降水峰值(6 月),出现在 8 月为 308.6 mm。从月径流系数变化角度分析,2、4、5 月份,径流系数变化范围为 0.13~0.38;6~10 月份,变化范围在 0.59~0.66;11 月至次年 1 月,径流系数分别为 0.69、3.29、1.54。反映出更新林生态系统的蓄贮水源、延缓洪峰的发生,尤其是对大暴雨及特大暴雨的雨季降水径流的滞后作用,具显著的水文效益。

2.2 水文分量及水化学元素的收支状况

热带山地雨林更新林生态系统水文过程中的养分收支状况,能够客观地反映该生物群落所具有的养分贮存和再循环能力,损耗最小、积累有效、节约生命必需的养分使群落保持经常性的生长和发育^[3],是系统功能的主要体现,因而分析输入与输出物理量 and 水质变化对于阐明群落的生态功能是十分必要的。

表 1 热带山地雨林更新林生态系统水量及水化学元素的收支状况

[1989.5~1992.4,单位:kg/(hm²·a)]

项 目	水量(mm)	N	P	K	Ca	Mg	Al	Mn	Si	有机 C
降水	2 869.7	13.845	0.383	4.42	56.75	8.75	0.760	0.110 0	3.670	22.32
元素浓度(mg/L)		0.575	0.013 3	0.154	1.98	0.30	0.027	0.003 7	0.128	0.78
林内雨	穿透水 2 253.3	18.737	0.928 0	49.178	44.31	16.54	1.482 3	1.285 8	14.842	387.1
	元素浓度(mg/L)	0.832	0.041 2	2.728	1.97	0.73	0.065 8	0.057	0.659	17.18
雨	干茎流 189.2	1.794	0.087 6	4.533	4.03	1.04	0.186 7	0.772 3	1.603	33.23
	元素浓度(mg/L)	0.948	0.046 3	2.396	2.14	0.55	0.098 7	0.408 2	0.946	17.56
合 计		20.531	1.015 6	53.711	48.34	17.58	1.669 0	2.058 1	16.445	404.7
淋 溶 量		6.686	0.635 6	49.291	-8.41	8.83	0.909	1.948 1	12.775	382.4
总径流输出 1 445.3		7.418	0.238 9	21.787	32.01	5.26	1.018 4	0.045 1	101.46	29.26
元素浓度(mg/L)		0.513	0.016 5	1.508	2.21	0.36	0.070 5	0.003 1	7.020	2.02
收 支 差 额		13.113	0.776 7	31.924	16.33	12.32	0.659 4	1.103	-85.02	353.1

注:表中各水文分量的元素年输入输出量是根据 3 年各 74 次水样分析结果每月加权均值乘月水量的月量之和;元素浓度为月加权值的年加权值。水样分析取样的雨量级分配为 2.0~10.0 mm,15 次;10.1~24.9 mm,25 次;25.0~49.9 mm,20 次;50.0~100.0 mm,7 次;大于 200 mm,7 次。

2.2.1 表 1 结果给出更新林林层穿透水量占年降水的 78.5%,树干茎流量占年降水的 6.6%,林冠层年均截留率为 14.9%,年径流系数为 0.50;大气降水输入热带山地雨林更新林系统的 9 种元素总量为 111.03 kg/(hm²·a),其中 Ca 元素占比例最大,为降水输入元素总量的 51.1%,其次是 C 和 N 元素,为年降水输入总量的 20.1%和 12.5%,余下的依次为:Mg>K>Si>Al>P>Mn。

与国内外热带地区的资料相比,该地区降水中 N 的年输入量小于马来西亚[19.5 kg/(hm²·a)]和我国西双版纳地区[17.3~19.9 kg/(hm²·a)]^[1],而大于该地区半落叶季雨林区的分析值[5.59 kg/(hm²·a)]^[4],原因是山体影响降水量分配,半落叶季雨林区降水低于该林区。降水中 P 的年输入量介于西双版纳地区[0.22~0.49 9 kg/(hm²·a)]中间^[1],小于半落叶季雨林[1.69 kg/(hm²·a)]。K 则均小于这两个地区。降水中 Ca 的年输入量均大于马来西亚[11.58 kg/(hm²·a)]、香港[11.60 kg/(hm²·a)]、西双版纳[8.9 kg/(hm²·a)]和该区半落叶季雨林[13.03 kg/(hm²·a)]^[1,4]。降水中 Mg 的输入量大于马来西亚[2.0 kg/(hm²·a)]、

香港[3.0 kg/(hm²·a)]和本区半落叶季雨林区[7.71 kg/(hm²·a)],而在西双版纳 6.7~12.3 kg/(hm²·a)之间。

2.2.2 林内雨水化学元素的输入 林内雨即到达林地的水量,包括穿透水和干流,这部分水中水化学元素是经林冠截留和淋溶综合作用后的结果,除 Ca 外(表 1),淋溶后元素浓度增加,与降水中元素含量相比,穿透水和树干茎流中水化学元素浓度增加序列分别为:

穿透水/降水序列:C(22.0)>K(17.7)>Mn(15)>Si(5.2)>P(3.1)>Al(2.44)>Mg(2.43)>N(1.50)>Ca(0.99)

树干茎流/降水序列:C(22.5)>K(15.6)>Si(7.4)>Al(3.7)>P(3.5)>Mg(1.8)>N(1.7)>Ca(1.1)

因而林内雨中元素年输入序列为有机 C>K>Ca>N>Mg>Si>Mn>Al>P;降水穿过更新林系统的林层,淋洗和淋溶了林层上的大量物质,其元素的淋溶量序列为:有机 C>K>Si>Mg>N>Mn>Al>P>Ca,其中 Ca 为负值,表明 Ca 元素在植物体内移动性差或被冠层吸收所致。从水循环的角度看,穿透水与林地的状况构成水的来源面,树干流与树根周围的大空隙,决定了这部分水的运动以点源形式进入林地,因而干流水质元素更易被植物吸收。淋溶量的增加,无疑增加了林地化学物质的输入,特别是解决了林分从母质风化所得不到或量少的元素,如 N、P 元素等,从而加速植物的生长。

2.2.3 总径流水化学元素的流失 总径流化学物排出不仅受降水、林内雨、枯落水中元素相互作用的影响,而且受生物的吸收、淋溶作用和土壤离子交换以及母质风化水解等复杂化学反应过程的影响。从水化学元素输出结果分析,年总径流输出元素的序列为 Si>Ca>有机 C>K>N>Mg>Al>P>Mn;风化释放及水解使 Si 和金属元素随径流输出量较高,其余元素均输出量较少,说明该群落具有较高的养分保存机理,特别是在多雨的季节。

2.2.4 水化学元素的收支状况 热带山地雨林区,由于气候、地质生物群落和系统的发育水平,决定了养分源的大小,导致具有的溶解物质和微粒物质的最小输出量及最大抗蚀力。从系统输入输出差额即净变化值来分析了解营养元素的功能^[5],表 1 中 Si 的净变化值为负值,但它极易从风化中得到补充。除此之外,各元素均有相应程度的积累,尤其是有机 C、K、Ca、N 积累量大,水化学元素的积累,作为长效养分输入而被积累,对于植物群落高速生长发育是非常重要的。从热带山地雨林更新林生态系统具有的涵养水源、养分贮存和再循环能力来看,除 Si 外,8 种水质元素年输入林地的总量,78.1%被系统积累。

2.3 水化学元素贮存动态

热带山地雨林更新林水文学过程与集水区化学物质的生物地球化学循环是同步进行的。分析重点以养分随降水和径流输入输出变化特点为主体,即避开复杂的内部机理和相互关系的数量化,从输入林地水量和总径流输出的月间和季节变化来反映系统贮存水化学物功能。这里我们仅取 5 种营养元素贮量来分析(表 2)。

2.3.1 从表 2 反映出,更新林生态系统林地暂贮蓄水量的特点。雨季为贮蓄水量的主要季节,占年贮水量的 94.8%,由于 6、8 月降水量多,林地对水的有效贮留,使径流输出后系统贮水量仍较大,而 9、10 月间则贮量减少。旱季贮水量相对很少,仅占年贮水量的 5.2%,由于降水少,且系统对雨季降水径流的滞后作用,使 12 月、1 月经流输出量大于降水输入量,表现为水分亏缺,3 月份有微弱水分亏缺。

表 2 系统中部分水化学元素贮量的月动态 [单位:kg/(hm²·a)]

雨林地暂 ^①							雨林地暂 ^①						
季	贮水量	N	P	K	Ca	Mg ^②	季	贮水量	N	P	K	Ca	Mg ^②
(月)	(mm)						(月)	(mm)					
05	150.2	1.870	0.112	4.71	2.85	1.32	11	21.1	0.898	0.129	2.52	0.56	0.30
06	487.1	4.600	0.204	5.06	9.89	4.27	12	-49.5	-0.362	0.002	-0.98	-0.85	-0.01
07	91.5	0.733	0.107	10.43	0.89	2.20	01	-22.5	-0.035	0.002	-0.47	-0.83	0.03
08	132.5	2.016	0.082	3.95	-0.13	1.50	02	36.1	0.698	0.032	2.29	0.64	0.39
09	36.6	0.855	0.026	-1.44	0.74	0.70	03	-0.7	-0.008	0.019	0.46	0.06	0.11
10	56.3	1.179	0.020	1.10	1.42	0.90	04	58.3	0.711	0.041	4.28	1.12	0.58
合计	954.2	11.253	0.551	23.81	14.86	10.9	合计	42.8	1.902	0.225	8.10	0.67	1.40

①为林内雨减去总径流量;②表中N、P、K、Ca、Mg的贮量为林内雨中输入元素量减去总径流输出量。

2.3.2 更新林系统中水化学元素贮量动态 从表2看出,系统水化学元素N、P、K、Ca、Mg的贮量也主要集中在雨季,分别占各自年贮量的85.5%、70.9%、74.6%、95.9%、88.4%。雨季元素贮量变化是:N在7、9月份相对较少,P在9、10月份相对较少,K在9月份要从系统中亏损,Ca在8月份要从系统中亏损。旱季水化学元素贮量月动态变化较突出,5种元素均在12、1、3月份要从系统内亏损或者是贮量较少,其中N贮量在12、1、3月份均要亏损,K、Ca贮量在12、1月份均要从系统中亏损,Mg贮量在12月有微量亏损。其原因是降水量少的旱季,随降水的养分输入相对较少,而径流量相对降水量大,使养分随径流流失大于输入量。

3 结 语

(1)热带山地雨林更新林的气候具有明显的干、湿两个季节。降水、林内雨、总径流的输入输出主要分布在雨季(5~10月份),分别占年降水的85.4%、85.8%、79%,雨季降水径流滞后作用明显,旱季林冠层截留率较高。穿透水占年降水的78.5%,树干径流占6.6%,年总径流输出占年降水输入的50%,该群落具有良好的水文效益。

(2)降水是该系统水质元素输入主要来源之一,经林层淋溶作用,水化学元素含量被增加,林层的年淋溶量序列为有机C>K>Si>Mg>N>Mn>Al>P>Ca;系统具有有效的水化学物质保存功能,可抑制总径流养分物的流失。

(3)系统具有良好的涵养水源和养分贮存功能。年贮水量为997.9mm,94.8%为雨季贮量,营养元素的贮量动态与蓄水量显著相关。在雨季N、P、K、Ca、Mg的贮量分别占其年贮量的85.5%、70.9%、74.6%、95.9%、88.4%,营养元素表现亏损的月份主要集中在12月和1月(即旱季)。除了Ca元素外,年降水输入林地8种元素的总量,78.1%被系统积累。

(4)研究表明,尖峰岭热带山地雨林更新林生态系统具有显著的水文效益和水化学物积累功能。

参 考 文 献

- 1 周晓峰主编.森林生态系统定位研究(第一集).哈尔滨市:东北林业大学出版社,1991.152~158.
- 2 陈步峰,周光益,曾庆波,等.热带山地次生雨林的水化学特征及其与降雨量关系的研究.林业科学研究,1993,6(2):117~123.
- 3 鲍尔曼 F H 等(李景文等译).森林生态系统的格局与过程.北京:科学出版社,1985.65~101.

- 4 蒋有绪,卢俊培等. 中国海南岛尖峰岭热带林生态系统. 北京:科学出版社,1991. 232~234.
- 5 中国林学会森林水文与流域治理专业委员会. 全国森林水文学学术讨论会文集. 西安:测绘出版社,1989. 31~35,43~52.

Hydrological Process and Nutrient Tendency on the regenerative Forest Ecosystem of Tropical Mountain Rain Forest in Jianfengling, China

Chen Bufeng Zhou Guangyi Zeng Qingbo Li Yide Wu Zhongmin

Abstract Based on the technique of small catchment and the measurement of integrated experiment, the nutrient tendency with the hydrological processes of rainfall, throughfall, stemflow and total runoff for 3 years were studied and analyzed at the regenerative forest of tropical mountain rain forest in Jianfengling, China. The results showed:

(1) 85.4 percent of annual precipitation was distributed in rainy reason—May to October, 15.1 percent of rainfall was intercepted by the forest canopy in rainy reason, 19.7 percent of rainfall was intercepted by that in dry reason. 50 percent of annual rainfall was washed away by the total runoff. The system had marked a lag-phase on the runoff with the rainfall processes.

(2) There was a close relation between tendency changing of the nutrient storage and hydrological changing, Main storage of hydrochemical matter was at rainy reason. Except Ca, annual nutrients input of the internal rainfall of forest could be increased by 1.5~18.7 times more than that of the precipitation, and main input by both distributed in the rainy season.

(3) Except Si, annual accumulation of the nutrients in the catchment amounted to about 78 percent of the nutrient input amounts by rainfall, particularly Org. C, K, Ca and N. The accumulative order of elements in the catchment as follow: Org. C > K > Ca > N > Mg > Mn > P > Al > Si.

Analysis results displayed that the system not only had significance hydrologic benefit but also had store function of hydrochemical matter.

Key words regenerative forest of tropical mountain rain forest, hydrological process, nutrient tendency