

635-639

3660(9)

第17卷第6期

生态学报

Vol. 17, No. 6

1997年11月

ACTA ECOLOGICA SINICA

Nov. , 1997

热带山地雨林生态系统的水分生态效应*

——冠层对暴雨势能的消减、暴雨养分贮存

陈步峰 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)

A

摘要 基于对尖峰岭热带山地雨林集水流域的定位研究, 分析了3年间该群落冠层对大雨、暴雨及大暴雨势能的消减、缓冲耗能效应以及年暴雨携带养分在系统中贮存效应, 其冠层消减大雨、暴雨及大暴雨势能占年总消减势能在61.8%~71.8%之间, 其中消减($\geq 200\text{mm}$)大暴雨势能量占年总消减势能的43.9%; 大雨、暴雨及大暴雨雨水的年均养分含量为55.122kg/hm², 其产流流失为42.917kg/hm², 年均净积累为12.205kg/hm², 除取Si外, 年净积累量达32.674kg/hm², 充分体现出热带山地雨林生态系统具有的环境生态效应。

关键词: 海南岛尖峰岭热带山地雨林, 冠层消减暴雨势能, 暴雨养分贮存效应, 水分生态效应

森林生态学

HYDRO-ECOLOGICAL EFFECT OF TROPICAL MOUNTAIN RAINFOREST ECOSYSTEM ——POTENTIAL ENERGY OF STORM DECREASED BY CANOPY AND NUTRIENTS OF STORM STORED IN THE SYSTEM

Chen Bufeng Zhou Guangyi Zeng Qingbo Li Yide Wu Zhongmin

(The Research Institute of Tropical Forestry, CAF Guangzhou, 510520, China)

Abstract Based on located research of tropical mountain rainforest watershed at Jianfengling of China, it was analyzed that the influence of canopy upon storm and heavy storm. Nutrients' Input-output by storm and storm runoff were studied in the system for three years. The decreased potential energy of heavy rain, storm and heavy storm by canopy was occupied 61.8%~71.8% of the annual total of precipitation during three years, of which the heavy rain, storm and heavy storm amounted to 21.6%, 9.8%, 68.6%, respectively. Mean total amount of N, P, K, Ca, Mg and Si in heavy rain, storm and heavy storm was 55.12 kg/hm²·a and that in runoff was 42.92 kg/hm²·a, so the net accumulation of them in the system was 12.21 kg/hm²·a. When expected Si, the net accumulation of the nutrients in the system was 32.67 kg/hm²·a. The system had marked ecology function of water and purification effect of water quality.

Key words: tropical mountain rain forest, potential energy of storm decreased by canopy,

* 本文属林业部定位研究和中科院院科技发展基金资助项目(9586103)的部分前期研究内容。

收稿日期: 1995-09-20, 修改稿收到日期: 1996-05-10。

nutrient storage.

海南岛尖峰岭热带山地雨林属热带山地湿润性阔叶常绿森林,是热带山地垂直自然带的代表植物群落,也是我国热带地区目前保存较为完整的热带林之一,林区的水、热条件相对丰富,热带森林植被在维持区域生态环境方面发挥着重要作用。尤其是在抵御气候性灾害中发挥着不可替代的生态功能,诸如:该区域台风暴雨入侵,形成暴雨及大暴雨多发性,森林对暴雨性侵蚀的防治效应愈加重要,浓密的热带森林冠层对暴雨势能消减、缓冲效应,是减少土壤侵蚀的天然屏障,同时暴雨雨水携带的营养,是森林生态系统的环境输入,本文就暴雨产流中损失进行了以下方面的总结。

1 试验区自然概况和研究方法

1.1 研究地概况 实验区位于海南岛尖峰岭热带山地雨林区(18°44'N,108°50'E),海拔800~1100m,属热带季风气候,年平均气温19.5℃,最低月均气温14.3℃;多年平均降雨量2265mm,临近海域,受热带风暴及台风暴雨影响频繁,近5a的测定数据,年均降水量达2668.3mm,其中大雨、暴雨占有50%~70%,年均风速为1.5m/s,平均相对湿度为88%,花岗岩母质形成的山地黄壤,透水性能良好。

乔木层主要有黎蒴栲(*Castanopsis fissa*)、盘壳栲(*C. patelloformis*)、斧柄椎(*C. tonkinensis*)、毛荔枝(*Nephelium topengii*)、大叶白颜(*Gironniera subaequalis*)、广东山胡椒(*Lindera kwangtungensis*)、海南水团花(*Adina hainanensis*)、白榄(*Canarium album*)、毛果桐(*Lithocarpus pseudovestitus*)、薄皮红桐(*L. amygdalifolius*)、苦楝(*Euodia meliaeifolia*)、线枝蒲桃(*Syzygium aratocladum*)等54个树木种类,林分平均胸径17.9cm,平均高度11.92m,林被繁茂,枝冠浓密,平均冠幅高3.92m^[1]。

1.2 研究方法 采用小集水区技术,选定了3.01hm²雨林自然闭合区定为小集水区的限定区域,作为一个热带山地雨林生态系统的功能单元,对区内森林生态系统的生物量、能量、水文物理量、水化学、系统输入-输出及生物地球化学循环等进行了全面的定位对比实验观测,其各水文量及水化学的年输入、再分配、输出的观测方法如下:

1.2.1 降水的测定 在蒸散观测塔顶部高出林冠2m处和林外气象观测站同时设置虹吸式自记雨量计和标准雨量筒,以控制圈法测定大气降水。

1.2.2 穿透水、树干茎流的测定 选定集水区内坡面标准固定样地1200m²,网格法设置标准雨量筒23个(距地70cm),测定穿透水量;按乔木组成的重要值、径阶选定36株茎流测定样株,用2~6cm内径聚乙烯管分1至2级法粘绕树干基部,多级分流法测定茎流量^[2]。

1.2.3 总径流量测定 集水区汇流口设置有巴歇尔无喉堰和嵌套的V型溢流堰连体三级测水工程,分别采用日记自计水文仪测定集水区的总径流量。

1.2.4 水样分析 按雨量级采集水文要素水样带至实验室分析,暴雨采集分水文过程的初期、中期和后期,水样元素分析方法:全N采用扩散法,P用磷钼蓝比色法,K、Ca、Mg用原子吸收光谱法,Si用硅钼蓝比色法,加权平均法统计,净变化等于输入输出的差。

1.2.5 冠层消减暴雨势能的计算方法 暴雨在林冠层顶部势能为(E): $E = mgH$ 。式中 m 为暴雨质量(kg),以暴雨量代替则为(kg/m²), g 为重力加速度(9.8), H 为林冠高(m)。暴雨势能以一个特殊的量纲J/m²衡^[3]。热带山地雨林林冠层浓密,郁闭密度达到0.92,暴雨经冠层界面的影响,进入林地的雨水冲击力减少,冠截留暴雨水和树干茎流的雨水的势能被消减,冠幅使暴雨穿透水的部分势能被消耗,所以冠层消减暴雨的势能量粗略用于下式表示: $\Delta E = E_{\text{截留}} + E_{\text{茎流}} + E_{\text{旁}} = m_{\text{截留}} g H_{\text{林冠高}} + m_{\text{茎流}} g H_{\text{林冠高}} + m_{\text{旁}} g (H - h)_{\text{冠幅等}}$

2 结果分析

2.1 冠层对大暴雨势能的消减、缓冲消耗效应

热带山地雨林冠层是降雨的第一界面,界面使进入林地的降水发生再分配,从而降低降水的动能和势能,有效地消减了暴雨雨滴对土壤的侵蚀,尤其对大暴雨雨滴侵蚀能量的消减效应,使水土流失和养分流失减少。笔者对热带山地雨林冠层3a间消减大雨、暴雨及大暴雨势能量进行了统计分析(结果见表1),3a

间大于50mm雨量的次数占年降雨次数的7.4%~10.3%,暴雨量则占年降雨量的61.9%~70.5%,大于200mm大暴雨量分别占年总降雨量的34.4%、42.5%、55.5%,冠层截留暴雨量分别占14.1%、13.4%、10.4%,冠层蓄水量不大;树干茎流量较大,年大雨、暴雨树干茎流量分别占相应年茎流量的77.9%、86.0%、89.2%;而大暴雨($P < 200\text{mm}$)的树干茎流量占相应年茎流量的42.8%、66.7%、76.7%,反映了热带林冠层结构以侧枝多、角度大,截留暴雨量有限,茎流量较显著。

表1 山地雨林冠层对大雨、暴雨及大暴雨降水量的再分配及对降雨势能的减少量

Table 1 Rainfall distribution passed canopy and potential energy of storm decreased by canopy

水文年 Hydro year	雨量级 Rainfall range	降雨 次数 No.	雨量 Rainfall (mm)	穿透雨 Throughfall (mm)	茎流 Stemflow (mm)	截留量 Intercepted (mm)	冠层减少降雨势能(J/m^2) Potential energy of rainfall decreased by canopy			
							EI^*	ES^*	ET^*	Σ
1989.5	50~100mm	6	477.5	265.6	20.0	91.9	10735.4	2336.3	8563.5	21635.2
	100~200mm	3	455.1	378.9	23.8	52.4	6121.1	2780.2	12216.4	21117.6
	>200mm	2	1001.9	820.7	53.4	127.9	14940.8	6238.0	26461.0	47639.8
1990.4	Σ (大、暴雨)	11	1934.5	1465.2	97.2	272.2	31797.3	11354.5	47241.0	90392.7
	占年总量% P^*	8.5	66.4	68.5	77.9	53.8	53.8	77.9	68.5	61.8
1990.5	50~100mm	4	300.3	244.9	20.0	35.6	4158.6	2336.3	7896.1	14391.0
	100~200mm	1	131.8	100.8	7.8	23.3	2721.8	911.2	3250.0	6883.0
	>200mm	3	944.6	720.5	96.0	128.2	14975.8	11214.3	23230.4	49420.5
1991.4	Σ (大、暴雨)	8	1376.7	1066.2	123.8	187.1	21856.2	14461.8	34376.5	70694.5
	占年总量% P^*	7.4	61.9	63.2	86.0	47.7	47.7	86.0	63.2	60.3
1991.5	50~100mm	7	524.8	424.0	37.2	63.7	7441.2	4345.6	13670.6	25457.4
	>200mm	3	1943.4	1520.6	229.7	193.1	22557.2	26832.6	49027.3	98417.6
	Σ (大、暴雨)	10	2468.2	1944.6	266.9	256.8	29998.4	31178.2	62697.9	123872.5
	占年总量% P^*	10.3	70.5	69.5	89.2	63.2	63.2	89.2	69.5	71.8

注 Notes: EI^* ——林冠截留耗能 Endergonic energy by the canopy interception. ES^* ——树干茎流耗能 subduction energy of stemflow. ET^* ——穿透水缓冲耗能 Decreased energy of throughfall cushioning. P^* ——subducted potential energy account for total amount of annual subduction energy.

冠层年消减大雨、暴雨及大暴雨的势能量在3a间的分配量分别是相应年总消减势能量的61.8%、60.3%、71.8%,其中冠层截留暴雨消耗势能占年消减势能量的21.7%、18.7%、17.4%,树干茎流减少势能占年总耗势能量的7.8%、12.3%、18.1%,穿透水缓冲耗能占年消耗势能量的32.3%、29.3%、36.3%,冠层年均消减暴雨势能量为94986.7J/m²,占年总消减势能量的65.4%,而消减的大暴雨(雨量大于200mm)势能效应更为显著,3个水文年的测定统计结果是,消减势能量分别占相应年总消减势能量的32.6%、42.2%、57.0%,平均为44.0%左右,反映出冠层对大暴雨的势能消减效应是极为显著的,大大减少了暴雨对林地土壤表层侵蚀力,从而有效防止大暴雨发生时,区域水土流失及灾害性泥石流的发生,比如:发生日降雨600mm的情况下,热带雨林冠层这一效应尤为重要,它的截留降水、消减缓冲耗能,使集水流域的洪水及泥沙流失量减少,对环境保护起到不可替代的生态效应。

2.2 热带山地雨林生态系统对暴雨养分物质的贮存效应

集水流域的水分补充源,年暴雨量的侧重输入,雨水及携带养分物质通过雨林生态系统后净积累量变化,在生物群落养分循环中具有重要的意义,因此作为研究实验中重要环节,尤其是养分物质随暴雨的发生过程,养分流失量含量的比重。经过20次大雨、暴雨分析和9次大暴雨、及其产流初期、中期、后期的养分物质含量测定分析,本文给出3a的测定分析结果(见表2)。

2.2.1 暴雨输入与产流输出变化 雨量50mm以上的大雨、暴雨、大暴雨输入、输出差额统计结果见表2,

表2 热带山地雨林生态系统大雨、暴雨及大暴雨的养分输入输出及贮存($\text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)

Table 2 Nutrients input-output by storm and storm runoff in the system

年份 Year	1989-5~1990-4				1990-5~1991-4				1991-5~1992-4			
元素 Elements	输入 Input	输出 Output	净变化 Net-V	$P\%/R\%^{2*}$	输入 Input	输出 Output	净变化 Net-V	$P\%/R\%^{2*}$	输入 Input	输出 Output	净变化 Net-V	$P\%/R\%^{2*}$
水量 ^{1*}	1934.4	355.5	1578.9	51.8/81.6	1376.7	225.0	1151.7	68.6/78.4	2468.2	787.4	1680.8	78.7/86.4
N	9.022	2.394	6.628	51.0/86.7	6.402	1.508	4.894	67.7/83.7	11.456	5.489	5.977	77.8/88.8
P	0.2862	0.0869	0.1995	51.1/85.6	0.2032	0.0541	0.1491	67.9/83.5	0.3640	0.1926	0.1714	77.9/90.5
K	2.886	5.793	-2.907	24.0/64.3	1.756	3.659	-1.903	37.1/62.0	2.858	11.098	-8.241	46.9/78.9
Ca	36.998	6.949	30.049	50.7/81.4	26.176	4.402	21.773	67.5/78.2	46.778	15.479	31.299	77.7/85.8
Mg	5.175	1.439	3.736	52.3/82.3	3.687	0.908	2.779	69.2/89.5	6.612	3.204	3.407	79.4/87.1
Si	1.784	16.915	-15.131	27.0/80.7	1.105	10.830	-9.725	41.1/51.3	1.820	38.371	-36.551	51.3/83.5

注 Notes: 1*——输入、输出水量(mm)input-output waters.

2*——年暴雨(雨量 $>200\text{mm}$)化学元素输入和暴雨径流化学输出所占的比例(%)the proportion of input-output elements by storm and runoff($P>200\text{mm}$).

其水量平均的年输入输出差额为 1470.5mm ,各水文年暴雨径流分别占相应年暴雨量 18.4% 、 16.3% 、 31.9% ,占年总径流量比例分别为 27.8% 、 28.3% 、 34.9% ,山地雨林系统的对暴雨输入水量具有良好的蓄水性能^[4],而雨量 $>200\text{mm}$ 大暴雨量分别占年大雨、暴雨和大暴雨量为 51.8% 、 68.6% 、 78.7% ,年均值达到 66.3% ,其相应暴雨产流量占年总径流的比例分别为 18.7% 、 22.2% 、 30.1% ,表现出大暴雨产流中,土壤的蓄满产流量增加较大,土壤体渗出水速度加快,林下群落蓄水容量降低。3a暴雨径流量均为 449.3mm ,占年均暴雨量的比例为 23.3% ,占年均总径流量的 31.1% ,说明热带山地雨林生态系统年径流量的约 70% 是以基流及雨量在 50mm 以下所产生的径流为主,热带山地雨林系统具有显著的调节水源能力。

2.2.2 雨林系统对暴雨养分物质的贮存 暴雨雨水为热带山地雨林生态系统携带了大量的雨水养分物质,表2的统计显示出,大雨、暴雨年输入系统的总养分量分别为 $56.148\text{kg}/\text{hm}^2$ 、 $39.329\text{kg}/\text{hm}^2$ 、 $69.888\text{kg}/\text{hm}^2$,径流年输出 $33.577\text{kg}/\text{hm}^2$ 、 $21.361\text{kg}/\text{hm}^2$ 、 $73.814\text{kg}/\text{hm}^2$,年均输入、输出量分别为 $55.122\text{kg}/\text{hm}^2$ 、 $42.917\text{kg}/\text{hm}^2$,输入养分元素序列为 $\text{Ca}>\text{N}>\text{Mg}>\text{K}>\text{Si}>\text{P}$,输出序列是 $\text{Si}>\text{Ca}>\text{K}>\text{N}>\text{Mg}>\text{P}$,该系统净积累 $12.205\text{kg}/\text{hm}^2$,输入元素中Ca、N量较大,输出以Si、Ca量较大,象Si元素的径流输出量高出暴雨量输入的 13.6 倍,除此元素外,其5种营养元素的年暴雨输入、输出净变化值为 $32.674\text{kg}/\text{hm}^2$,可见热带山地雨林生态系统对暴雨的养分输入具有较高的保存、贮留功能,较大地限定了养分随径流的损失。

各养分元素在大雨、暴雨及大暴雨的输入和径流输出的净积累变化特征,N的年均净积累 $5.833\text{kg}/\text{hm}^2$,P积累 $0.1741\text{kg}/\text{hm}^2$,Ca为 $27.707\text{kg}/\text{hm}^2$,Mg为 $3.307\text{kg}/\text{hm}^2$,大小序列为 $\text{Ca}>\text{N}>\text{Mg}>\text{P}$,暴雨发生,产流量增加,相比暴雨养分元素的输入,流失量不大,以相应元素积累序列分析,积累量分别占大雨、暴雨及大暴雨含量的 75.6% 、 65.1% 、 61.6% 、 61.2% ,反映了热带森林生态系统对大雨、暴雨及大暴雨发生的水化学贮存产生积极效应,而平衡值为负值的元素即为系统亏损元素,如Si、K元素,其年均净变化为 $-20.469\text{kg}/\text{hm}^2$ 和 $-4.350\text{kg}/\text{hm}^2$,反映出此二种元素的母质风化释放量较大,因而它们在暴雨径流中含量相对较高,形成径流含量高出雨水含量,故而在系统水化学地化循环中,以亏损元素即随径流输出到外界环境较多。就大暴雨量($P>200\text{mm}$)分析统计看,雨水携带养分元素N、P、Ca、Mg的含量占年大雨、暴雨携带量比率:第一水文年为 $50.7\%\sim 52.3\%$,第二年为 $67.5\%\sim 69.2\%$,第三年为 $77.7\%\sim 79.4\%$,相应产流中含量所占份额分别在 $81.4\%\sim 86.7\%$ 、 $78.2\%\sim 89.5\%$ 、 $85.9\%\sim 90.5\%$ (见表2),反映出在大雨、暴雨及大暴雨的产流损失中,大暴雨造成养分元素损失的比例较高,因此,对于热带山地雨林更新林群落,大暴雨的发生是年水化学流失量增多的主要因素。

热带山地雨林生态系统对于年大雨、暴雨及大暴雨水化学营养元素的贮存效应,充分显示了系统所具有的养分保存机制,增强系统的化学丰度和植物生长的需要^[5],比如:系统对暴雨携带给系统的N元素积累占相应年总积累量的56%~70%,P占84%左右,Mg占72%~85%,而K在暴雨输入、产流输出中净变化值仅占年相应量20%~29%,Si占18%~24%,反映出系统对于暴雨水化学积累元素的贮滤效应较高,K、Si的暴雨径流损失较小,有效地抵御了水质养分流失造成下游湖泊、水库的水质富养化。

3 结语

研究结果反应出,热带山地雨林区域,年暴雨发生的次数占年降雨发生次数的8.5%~10.3%,大雨、暴雨及大暴雨量占年降雨量的60%以上,暴雨尤其是台风大暴雨的发生,是造成区域水土流失重要因子,热带森林群落尤其是冠层,在防治暴雨造成的危害中发挥着巨大的生态效益,其冠层对暴雨势能的消减,有效地防止了或减少了区域的水土流失。

山地雨林冠层年均消减大雨、暴雨及大暴雨势能为94986.7J/m²,占年均总消减量65.4%,特别是对雨量在200mm以上大暴雨势能的消耗缓冲,年均均为65159.1J/m²,是年均总消减势能的44.0%,反应出热带林冠层具有的不可替代的水文生态功能,以此,人们应该加强对热带森林资源的保护,科学地经营和合理地利用热带森林资源,使热带森林得到持续发展。

热带山地雨林生态系统对于大雨、暴雨及大暴雨输入的水化学营养物质具有较强的化学贮滤机能,从而增强其本身的化学丰度,使得群落在发展演替中不断获得有效积累,逐步向顶极群落发展,同时,系统对暴雨及大暴雨N、P元素的有效贮滤效应,可有效地防治径流汇聚的湖泊、水库的富养化形成,系统对环境保护具有净化功能。

参 考 文 献

- 1 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): 118~123
- 2 陈步峰,周光益,曾庆波等.热带山地次生雨林生态系统的水文学过程及养分动态,林业科学研究,1994,7(5):526~528
- 3 周光益,曾庆波,黄全等.热带山地雨林林冠层对降雨的影响分析,植物生态学报,1995,19(3):201~207
- 4 曾庆波,丁美华.尖峰岭热带森林垂直带的生态气候学分析,哈尔滨:东北林业大学出版社,1994
- 5 蒋有绪,卢俊培等著.海南岛尖峰岭热带林生态系统,北京:科学出版社,1991