

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*

陈步峰 周光益 曾庆波 吴仲民 李意德 杜志鹄

摘要 采用了小集水区技术和定位观测方法, 研究分析了降雨、穿透水、树干流及径流的各化学物质含量和迁移变化特征。指出: 降雨和穿透水是热带山地次生雨林生态系统的主要化学物质输入源; 次生雨林不仅具有较强的养分截获和生态调节功能, 而且具有较强的化学过滤、吸贮功能; 且建立了穿透水、干流和总径流的各化学元素含量与降雨特征因子的多元线性关系。

关键词 热带山地次生雨林、水化学特征、穿透水、干流

热带山地次生雨林是我国热带地区分布面积较大、天然更新的热带山地雨林类型。它种群繁多, 生长量大, 结构复杂, 生产力高, 成为一典型的具有较高的生态效益和价值的生物群落。深入研究其结构与功能, 意义重大。我们在对尖峰岭半落叶季雨林和山地雨林研究的基础上, 采用小集区技术和长期定位观测方法对山地次生雨林生物群落进行研究。本文仅从其水化学及其与降雨量关系的角度, 探讨热带山地次生雨林的水化学规律。

1 自然概况及研究方法

1.1 自然概况

试验区位于海南岛尖峰岭热带林保护区的山地次生雨林内, $18^{\circ}44' N$, $108^{\circ}55' E$, 中山山地, 海拔826~1010 m。属热带季风气候, 年平均气温 $19.5^{\circ}C$, 一月平均气温 $14.3^{\circ}C$, 七月为 $22.8^{\circ}C$ 。年均降雨量为2265 mm, 多集中在5~10月; 暴雨出现日数可达53.1 d; 年平均相对湿度为88%, 年平均风速1.4 m/s。

小集区面积 3.01 hm^2 , 林分属1965年皆伐后天然更新的热带山地次生雨林, 上层木以黎蒴栲(*Castanopsis fissa*)占优势, 其次是越南栲(*C. tonkinensis*)、毛荔枝(*Nephelium topengii*)、盘壳栎(*Quercus patelliformis*)、广东钓樟(*Lindera kwangtungensis*), 并夹有莫氏五月茶(*Antidesma maclurei*)、橄榄(*Canarium album*)、海南水团花(*Adina hainanensis*)、毛果石栎(*Lithocarpus pseudovestitus*)和木荷(*Schima superba*)等种类; 下木为九节(*Psychotria rubra*)、粗叶木属(*Lasianthus*)、省藤属(*Calamus*)、红藤(*Daemonorops margaritae*)、

1992—01—13收稿。

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

* 承海口农垦测试中心分析水样, 卢俊培副研究员审阅本文, 一并致谢。

裂叶棕枚(*Licuala spinosa*), 林木繁茂, 枝冠浓密, 郁闭度达0.92。土壤属砖红壤性黄壤, 其母质基岩为伟晶花岗岩, 主要成分为钾长石。

1.2 研究方法

在热带山地次生雨林集水区设置两个坡面径流场, 面积各为221 m²和209.3 m², 采用分流池和V型堰测定径流量。在山脊森林蒸散观测塔塔顶部高出林冠2 m处装设一自记雨量计, 并在林外裸地天池气象站设一自记雨量计同时观测林外降雨量。集水区内设有巴歇尔测流堰和嵌套的V型溢流堰三级装置, 测定集水区总径流量。选定标准地1 200 m²(包括树种54种, 平均胸径17.9 cm, 平均树高11.92 m)作为林冠截流及干流测定场, 用网格法布设标准雨量筒23个(距地面70 cm), 测定穿透雨量。按树种的重要值和径级权重选取样株36株, 将内径为2.0~6.0 cm的聚乙烯管剖开绕在树干底部, 分一或二级收集干流, 收集干流承器采用一到三级分流装置。对林外、穿透雨, 干流、地表流及总径流采用标准洗液洗净未受污染的样瓶取得混合水样作为分析样, 且按雨量级取其各水样, 对所含N、P、K、Ca、Mg、Si、Al、Mn、有机C及pH值进行测定。

水样测定方法: 全氮用扩散法, 磷用磷钼蓝比色法, 钾、钙、镁、铝、锰用原子吸收光谱法, 有机碳用重铬酸钾氧化亚铁滴定法, 硅用硅钼蓝比色法, pH值用DF-807型pH/mv离子计测定法; 在水化学与降雨量关系研究中采用多元线性方法。

2 结果与分析

2.1 热带山地次生雨林区降雨及林层水的化学性状和功能

降雨是热带山地次生雨林生态系统化学物质的主要来源之一。尖峰岭热带山地次生雨林区, 地处高温高湿多雨地, 大气层雨水中溶解的与保留的以有机、无机微粒或者大气层中以‘干沉降’形式的气雾及烟雾进入生态系统。此外, 邻近集水区外的部分海洋水汽及集水区外围森林采伐后烧山的部分烟雾灰尘均溶解在雨水中。其各元素化学测定值见表1。

表1 热带山地次生雨林水化学含量测定值

(1990—10~1991—10, 单位: mg/L)

项 目	N	P	K	Ca	Mg	Si	Al	Mn	有机C	pH
林外雨A	0.53	0.0145	0.128	1.845	0.336	0.084	0.020	0.0034	1.121	5.8
穿透水B	0.91	0.0399	1.818	1.815	0.773	0.639	0.063	0.0548	9.690	6.4
树干流C	1.05	0.0552	3.301	2.324	0.735	0.908	0.106	0.0510	10.61	5.2
地表流D	1.53	0.0614	2.900	2.311	0.342	0.972	0.610	0.0517	27.6*	5.7
径流E	0.39	0.0146	1.588	2.190	0.449	9.590	0.072	0.0013	0.865	7.2

注: 化学含量分析取样的降雨范围: 0~6.0 mm, 取5次; 6.1~15 mm, 取13次; 15.1~30 mm, 取14次; 30.1~50 mm, 取11次; 50.1~100 mm, 取5次; 100.1~458.6 mm, 取3次。表中的统计值为历次测定的算术平均值, *为疑问数据。

表1反应出降雨各化学元素含量序列是: Ca>C>N>Mg>K>Si>P>Al>Mn, 降雨属微酸性, 与各热带地区测定的资料相比各有异同^[1]。Ca、Mg、K主要来源于海洋水蒸气气体被雨水溶解以及烟尘被降雨的溶解; C、N为大气层中的含量, 其他元素均来自于溶解尘埃和有机物。

热带山地次生雨林的土壤淋溶、风化^[2]，土壤中的Ca、Mg、K含量贫瘠，降雨的输入对于改善土壤某些化学性状是极为重要的，而以有机形式作为蛋白质的氨基氮和游离氨基酸进入土壤，对植物的吸收和生长是非常有益的。

山地次生雨林体系，林地水体及土壤中的一些养分物质受蒸腾“拉力”或“内聚力”升到林冠^[2]，会被留在叶、枝、花、果及树体的各个部位，此后因淋溶或者落叶分解而进行再循环，同时林层能有效地截获空气中的尘埃、烟和雾、花粉及在风的作用下沉积在林层上面的化学物质。无雨日，这些大气输入的化学物质储在林层的各个部位，经雨水的淋溶以穿透水和干流为载体带入林地(表1)；穿透水中Mn、K、C、Si的含量分别是林外雨含量的16、14、9、8倍，干流中可达15、26、11、10倍；而穿透水与干流中的Al、P、N含量分别高于林外降雨含量的5、4、1.7倍和3、3、2倍；也反应了冠淋溶率与元素在植物体内移动和分配速度的相关；进入植物各器官的化学物质，除了可以在体内重新分配外，一部分可以从活组织中丢失至环境中，茎叶中盐分也会被降水及次生雨林的夜雨淋洗；木质部汁液可以被根压经由叶子的气孔或水孔压出后被雨带走；况且雨水呈微酸性，那么雨水中氢离子可以经过角质层把叶内的金属阳离子交换出来。该群落高温高湿，使得微生物能持续活动，从而N的固定、挥发、反消化及有机态N转化为可溶态N均可持续进行，它又易从老叶移到嫩叶中而利于雨水溶脱；P以 H_2PO_4^- 状态为植物吸收^[3]，在植物各组织中以果实、种子及活跃的分生组织含量最多，易从老叶迁移新叶和分生组织；K在植物活跃的生长区，特别是芽、嫩叶和根尖部位含量很多，它在化学上移动性极强，水中极易溶解，极易从叶、枝、花、果上溶脱；Ca在植物体内，老叶多于嫩叶并以果胶钙形式永久固定于细胞壁的中胶层，不易移动与再分配，因而影响到穿透水和林外雨含量的变化；Mg在种子内含量多，易移动且易溶脱；Si在植物体内含量较高，当P的水平低时，Si可代替；Mn和Al的移动性也较高；C以 CO_2 、 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 等形式存在并与C循环相联系；这均增加了淋溶量。

次生雨林系统冠淋溶率正是伴随化学元素被截获量和植物体内的移动速度而变化，冠层介面不仅使降雨量再分配，而且使化学物质量再分配，干流和穿透水经溶脱过程的物理化学效应，各元素含量均呈增加态，穿透水较降雨增加0.43~15.1倍，干流较降雨增加0.26~24.7倍，表明热带山地次生雨林群落对化学物质具有较强的截获和调节功能。降雨淋溶叶、树干面上的尘埃、盐分、有机物，同时可以溶解叶细胞的浸出物，所以说穿透水和干流化学物质的输入，保障了林分对养分量的需求，何况淋溶出来的养分都是水溶性的^[4]，无需经过复杂的分解过程便可被植物直接吸收，从而加速了次生雨林的生长。

2.2 热带山地次生雨林集水区地表和地下径流化学元素含量变化

热带山地次生雨林生态系统的地表及地下径流是化学物质损失的一个重要渠道^[5]。从表1结果分析，热带山地次生雨林地表流养分是伴随着地表群落养分动态的复杂过程。一则大量的枯枝落叶在高温高湿以及地表微生物活动下迅速分解，而从腐解的凋落物及动物尸体中释放出的养分不能直接移动到土壤或林木的根系，二则落下的有机体腐烂分解，组成生物体各种元素，如C、H、O、N相当大部分形成 CO_2 、 H_2O 、 NH_3 及复杂的高分子腐殖质；植物遗体分解过程中可释放出 SiO_2 和 Al_2O_3 ，正由于地表群落的分解、呼吸、溢泌及从活到死有机物被淋洗溶解所致，地表流中N、K、P、Ca、C、Si、Al的含量尤为增加，而且在这一过程中，可能因湿润环境中产生的 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$ ，地表水的酸性较穿透水有极

微的增加。多雨的山地雨林区，表流是化学物质迁移的途径之一。

地下径流中化学物质分两部分：一种是溶解中的离子形式，另一种是颗粒形式被迁移（表1）。从表1可见，除了Si、Ca、K的含量较高外，其余元素含量均较低，这是因为进入土壤中的水分经土壤剖面向下淋溶，淋溶和风化的速度受控于水的酸性之故。热带山地次生雨林区正是处于高温高湿引起强风化的条件下，风化强烈进行，有机质被迅速分解，产生的CO₂向大气分逸，腐殖酸被大量雨水冲稀，如风化过程中的水解：



H⁺将K⁺、Ca²⁺排挤出硅酸盐，OH⁻与金属阳离子汇入径流使径流具有中性和微碱性反应，而使风化中SiO₂、Ca、K、Mg淋失量较大。Al则呈氧化物、氢氧化物聚集在风化壳中，从风化得到的可溶性养分被土壤胶体吸附而被森林植物利用。分析结果表明，径流化学物质含量较低，集水区域具有一定的储存养分功能，而大量的无机物转移过程发生在暴雨期间。

2.3 热带山地次生雨林集水区化学物质的迁移变化

各种元素的生物地球化学流包括生态系统各成分之间的交换^[7]，养分可以被植物和微生物吸收和同化，有的传递到异养消费者，并通过呼吸、生物分解等过程得以再利用。因此，分析森林水化学物质输入输出动态变化，可以深入分析森林水化学物质的相对特性，研究次生雨林生态系统的动态功能。

表2结果表明，山地次生雨林冠净淋溶量较大，Ca为负淋溶；从淋溶系数可明了各元素淋溶的大小序列；而通过迁移系数和迁移序列可反映出Si、Ca、Al的迁移性大，在水体中移动性较高，从而使水体性质有所变化；从相对平衡值来看，除Si和Ca为损失元素外，尽管山地次生雨林土壤的淋溶率高，但由于各种养分保存机理制约，如林分根系的生物量大，根在土壤表层或近于土壤表层的聚集，菌根、复杂的地下群落的维持，寿命长、抵抗力强的叶子，林分有较厚的树皮，土壤的迅速排水，以及可能存在的硅的代谢，降低了养分的损失。

表2 热带山地次生雨林集水区水化学物质迁移变化

项 目	N	P	K	Ca	Mg	Si	Al	Mn	有机C	pH
冠净淋溶	0.38	0.025 4	1.695	-0.03	0.437	0.555	0.043	0.051 4	8.569	0.6
淋溶系数	1.72	2.751 7	14.20	0.984	2.304	7.607	3.150	16.12	8.644	1.1
迁移系数	0.43	0.365 9	0.873	1.207	0.581	15.01	1.149	0.024	0.089	1.12
相对平衡	0.52	0.025 3	0.230	-0.38	0.324	-8.95	0.009	0.053 5	8.825	-0.8
淋溶序列	Mn>K>有机C>Si>Al>P>Mg>N>Ca									
迁移序列	Si>Ca>Al>K>Mg>N>P>有机C>Mn									

注：淋溶系数=穿透水含量/降水含量；迁移系数=输出含量/输入含量；相对平衡值=输入含量-输出含量；冠净淋溶和相对平衡值的单位为mg/L。

2.4 热带山地次生雨林化学元素与降雨量关系的研究

植物种群的增长毫无疑问地受生物与非生物环境的限制^[8]。热带山地次生雨林集水区域具有高温、多雨、降雨频繁、降雨强度大、多台风暴雨等引起大的产流等特征，从降雨量因素的角度出发，本文捕捉了每次降雨量(x₁)、每次降雨至上次降雨的时间间隔(x₂)、每次降雨的最大雨强(x₃)、上次降雨量(x₄)、每次降雨时间(x₅)、及每次降雨后的总流量(x₆)；以此作为化学物质输入输出该系统的影响因素，通过多元线性模式反映其数量规律^[9](表3)。

表3 热带山地次生雨林集水区水化学元素含量与相关因素的回归方程及检验

元素	项目	样数	回 归 方 程 式	剩余S (平方和)	R 值/ R 检验	F 值/ F 检验	显著因子
N	B	44	$Y = 0.5151 - 0.015084X_1 + 0.0019696X_2 + 0.0091948X_3 - 0.000435X_4 + 0.05348X_5$	0.3573	0.62/0.56 (R**)	.7/3.54 (F**)	X_5^{**} X_2^{**}, X_1^{**}
	C	47	$Y = 0.7083 - 0.003107X_1 + 0.00187537X_2 - 0.0027145X_3 - 0.001131X_4 + 0.02523X_5$	0.4646	0.5/0.48 (R*)	2.76/2.3 (F*)	X_4^* X_2
	E	31	$Y = 0.0271 + 0.011X_2 - 0.000019(X_2)^2$	(6.99)	0.57/0.56 (R**)	6.77/4.2 (F*)	X_2^{**}
P	B	43	$Y = 0.05785 + 0.0008195X_1 + 0.000605X_2 - 0.001576X_3 - 0.0001126X_4 + 0.0011X_5$	0.0512	0.74/0.57 (R**)	9.17/3.6 (F**)	X_2^{**}
	C	50	$Y = 0.0922 - 0.00016X_1 + 0.00072687X_2 - 0.00171X_3 - 0.000077X_4 + 0.002241X_5$	0.0981	0.66/0.55 (R**)	6.8/3.47 (F**)	X_2^{**}
	E	38	$Y = 0.02798 - 0.0000764X_1 - 0.00000603X_2 + 0.001202716X_5$	0.0181	0.46/0.46 (R*)	3.1/2.88 (F*)	X_5^*
K	B	40	$Y = 1.041 - 0.02839X_1 + 0.003249X_2 + 0.014405X_3 - 0.001562X_4 + 0.12773X_5$	0.9439	0.56/0.52 (R*)	3.15/2.5 (F*)	X_5^{**} X_1, X_2
	C	48	$Y = 4.42239 - 0.004347X_1 + 0.0037X_2 + 0.076053X_3 - 0.004668X_4 + 0.02859X_5$	1.7624	0.58/0.53 (R**)	4.32/3.5 (F**)	X_3^* X_4
	E	36	$Y = 1.801348 - 0.00197186X_4$	(22.0)	0.31/0.30 $R > R_{(0.1)}$	3.48/2.9 $F_{(0.1)}$	X_4
Ca	B	37	$Y = 1.9161 + 0.001407X_2 - 0.013173X_3$	0.3906	0.39/0.39 (R*)	2.98/2.5 (F _{0.1})	X_3^*, X_2
	C	48	$Y = 2.5534 - 0.001225X_1 + 0.00368X_2 - 0.01525X_3 - 0.001556X_4$	0.9872	0.46/0.44 (R*)	2.9/2.58 (F*)	X_2^*
	E	38	$Y = 2.255705 \times (X_6)^{-0.108185}$	(2.15)	0.48/0.42	11.0/7.4	X_6^{**}
Mg	B	46	$Y = 0.64992 - 0.012896X_1 + 0.001453X_2 + 0.010895X_3 - 0.00038086X_4 + 0.0320X_5$	0.4360	0.56/0.55 (R*)	3.66/3.5 (F*)	X_1^*, X_2^* X_5
	C	50	$Y = 0.835 - 0.00189X_1 + 0.00123X_2 - 0.00804X_3 - 0.0008659X_4 + 0.010663X_5$	0.452	0.49/0.46 (R*)	2.76/2.4 (F*)	X_2^*
	E	38	$Y = 0.56297 - 0.0002063X_1 - 0.02496X_6$	0.2885	0.34/0.39 $R > R_{(0.1)}$	2.3/2.47 F 不显著	X_6
Si	B	44	$Y = 1.43477 - 0.023197X_1 + 0.002094X_2 - 0.0098886X_3 - 0.00095X_4 + 0.097185X_5$	0.9422	0.65/0.55 (R**)	5.73/3.5 (F**)	X_5^* X_1^*
	C	47	$Y = 2.5672 - 0.003202X_1 + 0.000477X_2 - 0.046242X_3 - 0.0007199X_4 + 0.03289X_5$	0.8638	0.61/0.54 (R**)	4.74/3.5 (F**)	X_3^{**}
	E	40	$Y = 23.067 + 0.02222X_1 + 0.008423X_2 - 0.10478X_3 - 0.1473X_5 - 0.51233X_6$	2.7394	0.65/0.60 (R**)	4.94/3.6 (F**)	X_6^{**} X_3^*
Al	B	41	$Y = 0.10795 + 0.0000496X_1 - 0.001164X_3 + 0.00415788X_5$	0.0689	0.52/0.52 (R**)	4.61/4.4 (F**)	
	C	47	$Y = 0.17446 - 0.0117X_1 + 0.0003157X_2 + 0.007145X_5$	0.1850	R 不显著	2.22/2.2 (F _{0.1})	X_1
Mn	B	44	$Y = 0.06154 - 0.0003401X_1 + 0.00023X_2 - 0.0115X_3 - 0.00008219X_4 + 0.00132X_5$	0.02371	0.71/0.56 (R**)	7.84/3.5 (F**)	X_2^{**} X_4^*, X_3^*
	C	48	$Y = 0.07581 + 0.0000543X_1 + 0.0000219X_2 - 0.001596X_3 - 0.0000547X_4 - 0.00019X_5$	0.02643	0.60/0.53 (R**)	13.1/3.5 (F**)	X_3^{**}
	E	38	$Y = 0.0005597 - 0.000003612X_1 + 0.00002178X_3 + 0.00019566X_6$	0.00072	0.7/0.59 (R**)	11.1/4.4 (F**)	X_6^{**} X_1, X_3

注: B、C、E 分别表示穿透雨、干流和总径流项, X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 分别为林外(内)降雨量(mm), 每次降雨至上次降雨时间(h), 每次降雨最大雨强(mm/h), 前次雨量(mm), 每次降雨时间(h), 流量(l/s); Y 为元素浓度(mg/l); $\alpha < 0.1$ 为无*, $\alpha < 0.05$ 为*, $\alpha < 0.01$ 为**水平。

2.4.1 穿透水化学元素含量与降雨特征的回归分析 降雨经林冠介面到达林地的穿透水的各元素量变化与降雨特征密切相关。表3给出其与 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5 的多元线性回归式; N

的含量与 x_5 、 x_2 、 x_1 成极显著水平, P 受 x_2 极显著影响, K 受 x_5 极显著影响, x_2 对其有 $\alpha < 0.1$ 的影响^[9]; Ca 与 x_5 成显著、与 x_2 成 $\alpha < 0.1$ 的影响; Si 受 x_5 、 x_1 显著影响; Mn 受 x_2 极显著和 x_4 、 x_3 显著影响; 各模型的 F 、 R 检验除 Ca 外均达到 $\alpha < 0.05$ 、 0.01 的水平, 模型均达统计要求。影响因素的机理在于林冠截获与植物体内元素的移动速率及其积累量, 溶脱和离子交换的时间效应。如各元素量变化与降雨间隔和降雨时间均成正偏关, 而 K、Mg、Si 与 Ca、Si、Mn 以及 P、K 分别与林内穿透雨量、最大雨强和上次雨量成负偏关较大, 表明这些影响因子的变化对于冠体上元素的积累及淋溶程度相应的时间效应成负相关, 因而其量愈大, 元素在水体中含量愈低。此外, 各因子间的交互影响也会纳入模型, 通过模型中各因素的变化便可获得穿透水输入物质的量变化。

2.4.2 干流化学元素含量与降雨特征的回归分析 林内雨的一部分是通过干流输入的。热带山地次生雨林的干枝浓密, 树体粗大皮厚, 干流量大, 冠淋溶的部分水经枝干汇聚于干底部时同时淋溶了枝干表面的化学元素, 因而从含量与降雨量关系表现出比穿透水较多而复杂的变化。从表 3 各元素模型影响因素的偏关程度分析, 干流的特征是除冠淋溶外增加了枝干表面物的溶脱。各元素量均与最大雨强和上次雨量成负偏关, 较大的有 K、Si、Mn 和 N、K、Mg、Mn, 表明上次雨量和雨强愈大, 相应的积累和淋溶时间愈少; 而各元素量均与降雨间隔和降雨时间成正偏关, 除 N 外各元素量与林外雨量均成负偏关; 这些因素对含量的影响效应类同穿透水。各模型的 F 、 R 检验除 Al 外均达到显著与极显著水平, 因此将此模型用于研究干流物输入量的计算是极其适应的。

2.4.3 集水区径流元素含量与其各因素的回归模拟 径流是系统内物质经复杂的循环过程后输出系统外的。本文仅通过降水、降水强度、降水间隔、上次雨量、降雨时间和降雨后流量来探讨与元素在径流中的含量模式。经反复拟合检验得出 N 与降雨间隔成二次回归, K 与上次雨量成直线回归, Ca 与流量成幂回归, 其余元素经反复剔除因子获相应的多元线性式。Mg 受流量一定影响, P 受降雨时间显著影响, Si 受流量和雨强极显著和显著影响; Mn 受流量、降雨和雨强相应极显著和一定影响, Al 在径流中未表现出数量规律。除 K、Mg 外各模型的 F 检验均达到显著和极显著水平。由于系统内循环的复杂性而导致各因子影响的复杂性, 但通过数量模式易获得系统物质的输出量。

穿透水、树干茎流和径流纳括了系统的输入输出, 故通过拟合精度高的模型对研究该系统的化学物流数量规律是特别有意义的, 它既反应出其数量规律, 又反应出该系统的生态效益, 而且避免了长期复杂的取样分析。

3 结语

(1) 热带山地次生雨林地处高温多雨地, 次生群落生长期长, 降雨是系统的化学物质输入源。通过林冠的穿透水可使降水中的元素含量增加 0.43~15.1 倍; 干流元素含量较雨水元素含量增加 0.26~24.7 倍, 尤以 K、Mn、C、Si、P 的淋溶量相对较高; Ca 因林分含量或体内移动或吸收所致, 穿透水中含量偏低。穿透水及干流的各物质输入, 有利于系统内物质循环。

(2) 高温高湿使次生林系统地表群落高速分解, 多雨尤其台风暴雨引起径流。地表流中各元素含量较高, 但由于各种物质的保存机理, 地下径流中各元素含量除 C、Ca、Si 外均较

低, Ca、Si 是系统中流失量最高的元素。

(3) 降雨量特征因素与系统各水化学物质含量关系显著, 穿透水、干流及径流的元素含量与降雨量的关系模式, 宜用于研究热带山地次生雨林的水质与量的变化规律, 对于保护和优化经营该林分是极其有效的数量指标。

参 考 文 献

- 1 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):231~236.
- 2 迪维诺 P 著(李耶波译). 生态学概论. 北京: 科学出版社, 1987. 182~197.
- 3 北京林学院主编. 植物生理学. 北京: 中国林业出版社, 1981.
- 4 马雪华. 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, 1988, 1(2):123~131.
- 5 鲍尔曼 F H 等著. 森林生态系统的格局与过程. 北京: 科学出版社, 1985. 60~85.
- 6 武汉地质学院地球化学教研室编. 地球化学. 武汉: 地质出版社, 1979. 308~313.
- 7 雷默 H 著(庄吉珊译). 生态学. 北京: 科学出版社, 1988.
- 8 埃塞林顿 J R 著. 环境和植物生态学. 北京: 科学出版社, 1989. 171~206.
- 9 北京林学院主编. 数理统计. 北京: 中国林业出版社, 1980.

Hydrochemical Characteristics and Their Regression Analysis on the Secondary Rain Forest Ecosystem of Tropical Upland in China

Chen Bufeng Zhou Guangyi Zeng Qingbo
Wu Zhongmin Li Yide Du Zhihu

Abstract As part of the systematic study, the element contents in rainfall, throughfall, stemflow, surface flow and stream were measured from October 1990 to October 1991 at the secondary rain forest catchment of tropical upland in Jianfengling, Hainan Island, China. The hydrochemical properties and migratory changes of nutrient in the hydrochemistry system were studied and analyzed by the method of small catchment and orientation observation. Element contents of the throughfall and stemflow increased by 0.43~15.1 and 0.26~24.7 times more than that of the precipitation respectively. Except Ca, Si and Al, the elements of stream were less than that of the throughfall. The output contents of Ca and Si were more than the input of both. It is pointed out that the rainfall and throughfall are an input source of the hydrochemical elements of the secondary rain forest ecosystem of tropical upland. The system not only has stronger hydrochemical regulating function but also has the function of chemical filtration, uptake and store. Moreover, multivariate linear models have been established between each element content and the characteristics factors of precipitation in throughfall, stemflow, stream.

Key words Secondary rain forest of tropical upland, hydrochemical characteristics of rainfall, throughfall, stemflow and runoff

Chen Bufeng, Assistant professor, Zhou Guangyi, Zeng Qingbo, Wu Zhongmin, Li Yide, Du Zhihu (The Research Institute of Tropical Forestry, CAF Guangzhou 510520).