

云南哀牢山中山湿性常绿阔叶林的降水化学¹⁾

甘健民 薛敬意 谢寿昌

(中国科学院昆明生态研究所, 昆明, 650223)

摘要 为了分析大气降水的化学物质输入及其降水淋溶对云南哀牢山森林生态系统生物物质循环产生的影响。通过观测大气降雨过程中大气降水、穿透雨及树干茎流在 1991 年 5 月 ~ 1993 年 4 月间的变化并测定其相应的水质特征, 发现 大气降雨和穿透雨 是养分输入的主要形式, 其中以穿透雨养分输入为主, 树干茎流养分输入很小, 可忽略不计。N、P、K、Ca、Mg 养分元素的输入量是穿透雨: 6.099, 0.423, 5.915, 1.789 和 0.771 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$; 大气降雨: 14.18, 0.123, 0.08, 1.429 和 0.183 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$; N、P、K、Ca、Mg 浓度在大气降雨、穿透雨和树干茎流中有很大差异, 三种养分输入形式除 N 外, 浓度大小依次是: 树干茎流 > 穿透雨 > 大气降雨。其中穿透雨 N > K > Ca > Mg > P; 树干茎流 K > N > Ca > Mg; 大气降雨 N > Ca > Mg > P > K。表明大气降雨中化学物质输入对穿透雨和树干茎流具有较大影响。

关键词 哀牢山中山湿性常绿阔叶林; 降水化学; 淋溶

分类号 S715

The Precipitation Chemistry of the Moist Evergreen Broadleaved Forest at the Ailao Mountain in Yunnan Province/ Gan Jianmin, Xue Jingyi, Xie Shouchang (Kunming Institute of Ecology, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China) // Journal of Northeast Forestry University. - 1997, 25(1). - 8~11

The influences of chemical substance import of rainfall and rain dripping on organism substance circulation of forest ecosystem in Ailao Mountain of Yunnan Province were analyzed. The changes of rainfall, penetrative rain and stemflow were observed during May of 1991 to April of 1993, and the characteristics of corresponding water quality were measured. Concerning the nutrient import, rainfall and penetrative rain are both the main forms, but penetrative rain is much more important, while the amount of nutrient import by stemflow is too little to be mentioned. The amount of N, P, K, Ca, Mg imported by penetrative rain are 6.099, 0.423, 5.915, 1.789 and 0.771 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ respectively, and by rainfall, that are 14.18, 0.123, 0.08, 1.429 and 0.183 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$. Considering the concentration of N, P, K, Ca, Mg, there exists a considerable difference among rainfall, throughrain and stemflow: stemflow > throughrain > rainfall. The concentration of these nutrients are arranged as N > K > Ca > Mg > P for penetrative rain, K > N > Ca > P > Mg for stemflow, and K > N > Ca > P > Mg for rainfall.

Key words The Moderate mountain moist evergreen broadleaved forest; Ailao Mountain; Precipitation chemistry; Leaching

森林生态系统养分输入的一个重要途径是大

气降水过程中的营养物质输入。大气降水一方面携带化学物质进入森林生态系统; 另一方面淋洗或淋溶植物体枝叶和树干上的分泌物质, 促进森林生态系统生物物质循环。近年来, 国内外对森林降水养分输入及其化学特性的研究已成为森林水文学和

1) 国家自然科学基金重大项目基金资助, 云南省自然科学基金资助。

收稿日期: 1996 年 6 月 12 日。

责任编辑: 郭海燕。China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

森林生态学研究的重点。本文以云南哀牢山中山湿性常绿阔叶林为研究对象, 通过观测大气降雨过程中大气降水、穿透雨及树干流在 1991 年 5 月 ~ 1993 年 4 月间的变化, 测定其相应的水质特征, 以此来分析大气降水的化学物质输入及其降水淋溶对森林生态系统生物物质循环的影响。

1 实验区概况及研究方法

1.1 实验区概况

实验地点位于云南中南部景东区境内的哀牢山中山湿性常绿阔叶林国家级自然保护区的中心地带——徐家坝。北纬 24°32', 东经 101°01', 海拔 2450 m, 属北亚热带山地常绿阔叶林潮湿气候带。年平均气温 11.1℃, 8 月最热平均气温 16.8℃, 1 月最冷平均气温 4.7℃, 年平均降雨量 1860 mm。实验样地内, 乔木上层高 20~25 m, 平均盖度 0.9, 乔木亚层 5~10 m, 平均盖度 0.5, 植被主要由壳斗科 (Fagaceae)、樟科 (Lauraceae)、木兰科 (Magnoliaceae)、茶科 (Theaceae) 构成, 主要植物有木果石栎 (*Lithocarpus xylocarpus*)、景东石栎 (*L. jingdongensis*)、腾冲栲 (*Castanopsis Wattii*)、绿叶润楠 (*Machilus viridis*)、绿毛润楠 (*M. bombycina*)、柴桂 (*Cinnamomum tamala*)、红花木莲 (*Manglietia insignis* Blume)、滇木荷 (*Schima noronhae*)、舟柄茶 (*Hartia sinensis*)、小花茶 (*Comellia forrestii*)。灌木层主要由箭竹 (*Sinarundinaria*) 组成, 高 1~3 m, 平均盖度 0.7; 草本层主要由滇西瘤足蕨 (*Plagiogyria communis*)、细梗苔草 (*Carex teinogyna*) 等组成, 高度小于 0.5 m, 平均盖度 0.3。

1.2 研究方法

在实验区样地内采用网格法分设 7 个雨量筒, 并根据哀牢山生态定位站所设林外、林内气象观测资料, 采用算术平均法分析整理每天观测的大气降水和穿透雨。按树干茎级分选 6 棵标准树, 用剖开的聚乙烯塑料管一端固定在树干上, 沿树干螺旋缠绕一周半后固定, 下端接一塑料容器, 用于接收树干茎流, 并按每棵树的林冠投影面积换算成单位面积的树干茎流量。以上项目每天均同步于林外、林内气象观测检查三次。对大气降水、穿透雨和树干茎流每月取样分析一次。采用直接蒸馏法测定 N

素含量, 采用钼蓝比色法测定 P, 用日立 17030 型原子吸收分光光度计测定 K、Ca、Mg 含量。

2 结果与分析

2.1 养分浓度

大气降水透过森林林冠后, 降水中的营养元素浓度会发生较大程度的改变, 使林内穿透雨和树干茎流中的营养元素的浓度含量显著增加。

表 1 月平均值对比养分浓度 $mg \cdot L^{-1}$

营养元素	大气降水浓度	穿透雨		树干茎流	
		浓度	浓度比	浓度	浓度比
N	5.257	3.154	0.60	4.456	0.85
P	0.059	0.167	2.83	0.178	3.02
K	0.029	2.357	81.28	5.419	186.86
Ca	0.466	0.674	1.45	1.712	3.67
Mg	0.064	0.328	5.13	0.906	14.16

哀牢山中山湿性常绿阔叶林大气降雨、穿透雨和树干茎流养分浓度(1991 年 5 月 ~ 1993 年 4 月)的分析结果表明(见表 1), (1) 穿透雨和树干茎流中除 N 元素外, 其余四种养分元素浓度均有不同程度的增加。(2) 穿透雨和树干茎流养分浓度大小排序与大气降水相比, 三者均不相同。穿透雨: $N > K > Ca > Mg > P$; 树干茎流: $K > N > Ca > Mg > P$; 大气降水: $N > Ca > Mg > P > K$ 。(3) 三种养分输入形式除 N 外, 浓度大小依次是: 树干茎流 > 穿透雨 > 大气降水。

大气降水的水质浓度会对林内穿透雨和树干茎流的水质浓度产生影响。Yawney^[1]指出, 外部雨水的浓度通过冲洗、淋溶和吸收过程的影响来改变穿透雨和树干茎流的化学物质浓度。淋溶和枝叶吸收是大气降水过程中的一个相互对立的动态过程, 在低的雨水浓度时以树冠淋溶为主, 在高雨水浓度时则以枝叶吸收占优势。由于哀牢山大气降水中 N 浓度含量较高, 而 P、K、Ca、Mg 浓度含量较低, 降雨透过林冠后, N 以枝叶吸收为主, P、K、Ca、Mg 以降雨林冠淋溶为主, 因此, 穿透雨与树干茎流营养元素养分浓度与大气降雨相比较, N 浓度有所减少, 而 P、K、Ca、Mg 均有所增加。这个结果与马雪华^[2]在江西人工杉木林中对大气降水、穿透雨和树干茎流的分析结果是一致的。降水淋溶对于增加养分浓度的输入, 补充植物生长所需的养分物质起到了积极的作用。

2.2 养分浓度比

为了更好的比较大气降水淋溶对穿透雨和树干茎流水质浓度的影响,采用穿透雨和树干茎流与大气降水的水质养分浓度比来分析降水淋溶对穿透雨和树干茎流水质中各元素的淋溶程度和影响大小(见表1)。如按养分浓度比大小排序:

穿透雨: $K > Mg > P > Ca > N$;

树干茎流: $K > Mg > Ca > P > N$ 。

大气降雨淋溶对穿透雨和树干茎流中 K 浓度影响改变最大,分别是大气降雨 K 养分浓度的 81 倍和 187 倍,而对 N 浓度影响改变最小,分别只是大气降雨 N 养分浓度的 0.60 倍和 0.85 倍。可见,

哀牢山大气降水淋溶过程是以 K 为主的淋溶过程。

2.3 淋溶沉降比

大气降水通过林冠对穿透雨、树干茎流以及淋溶量养分输入量的改变影响程度可通过淋溶沉降比(D_R)来反映⁶⁾。

淋溶沉降比(D_R) = 穿透雨(树干茎流或淋溶量)

养分输入量 / 大气降雨养分输入量

从式中可以看出,穿透雨、树干茎流及淋溶量的养分输入量改变程度与大气降雨的养分输入量有关。该参数通常可用来说明林冠淋溶的化学效应。

表2 营养成分比较

$kg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$

营养元素	穿透雨		树干茎流		淋溶量	D_R	大气降水 输入量	输入总量
	输入量	D_R	输入量	D_R				
N	6.099	0.43	0.022	0.002	—	—	14.179	20.300
P	0.423	3.44	0.001	0.008	0.301	2.447	0.123	0.547
K	5.915	73.94	0.029	0.363	5.864	73.300	0.080	6.024
Ca	1.789	1.252	0.009	0.006	0.306	0.214	1.429	3.227
Mg	0.771	4.213	0.005	0.027	0.593	3.240	0.183	0.959
输入总量	14.997	—	0.066	—	7.064	—	15.994	31.057

从表2中可以看出,如按穿透雨、树干茎流和淋溶量的 D_R 值大小排序依次是:

穿透雨 $K > > Mg > P > Ca > N$;

树干茎流 $K > Mg > P > Ca > N$;

淋溶量 $K > Mg > P > Ca > N$ 。

从顺序来看,林内穿透雨、树干茎流和淋溶量具有相同的倾向,说明大气降雨对哀牢山中山湿性常绿阔叶林的林冠及树干淋溶影响结果是一致的。穿透雨中 K 养分输入量是大气降雨中 K 养分输入量的74倍,而 N 只有0.43倍;树干茎流中 K 为0.363倍, N 为0.002倍;淋溶量中 K 为73倍,而 N 没有淋溶(为负值)。

由 D_R 值大小还可以看出,大气降雨中养分物质输入量较高者(如 N)淋洗和淋溶树冠后,穿透雨和树干茎流中的养分输入量改变程度较低,反之则相对较高(如 K)。这种结果同样反映在大气降雨淋溶后的穿透雨和树干茎流水质养分浓度上(见表1)。穿透雨和树干茎流水质的五种养分浓度中, K 浓度改变最大, N 浓度改变最小,而在大气降雨中 N 浓度最高, K 浓度最低。

我国所有湿性常绿阔叶林中几乎都有附生植物,且以蕨类附生为主。云南哀牢山中山湿性常绿阔叶林除了蕨类附生外,苔藓附生也非常丰富。附

生的蕨类和苔藓也许不能立刻对植物营养产生影响,但它确能影响大气降雨进入生态系统的养分元素。

2.4 降雨过程中的化学物质输入

2.4.1 大气降雨 大气降雨养分输入大小依次是 $N > Ca > Mg > P > K$,分别占总养分输入量的69.85%、45.35%、19.08%、22.49%和1.33%,大气降雨养分输入以 N 为主,其次是 Ca 。

李凌浩⁶⁾在研究了世界各地大气降雨化学物质输入量后认为,大气降水中 N 的含量多数地区在 $2.1 \sim 2.5 kg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$;苏门答腊可高达 $45 kg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$; P : $0.07 \sim 1.8 kg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$; K : $1.0 \sim 15 kg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$; Ca : $2.0 \sim 19.3 kg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$; Mg : $0.5 \sim 11.3 kg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ 。哀牢山大气降雨中 N 、 P 、 K 、 Ca 、 Mg 养分输入量见表2, N 输入量较高,而 K 、 Ca 、 Mg 均低于该元素养分输入量的下限。

2.4.2 穿透雨 穿透雨是最主要的养分输入形式。其输入量大小依次是 $N > K > Ca > Mg > P$,它们分别占总养分输入量的30.04%、98.19%、54.38%、80.40%和77.33%,显然 K 元素养分输入主要来源于穿透雨。

2.4.3 树干茎流 树干茎流养分输入大小依次是

$K > N > Ca > Mg > P$, 分别占该元素总养分输入量的 0.48%、0.11%、0.27%、0.52% 和 0.18%, 所占比例均小于 1%。

2.4.4 淋溶量 从淋溶养分量来看, 除了 N 的含量外, 其它养分元素的淋溶量均是正值, 以 K 的淋溶量最大, 为 $5.864 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 其次是 Mg: $0.593 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, Ca: $0.306 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 大小依次是: $K > Mg > Ca > P$, 分别占养分总输入量的 97.34%、61.84%、9.30% 和 55.03%。

关于淋溶冯宗炜等认为^[1], 林内穿透雨和树干茎流中营养元素浓度的增加, 是来自细胞壁的蒸腾液, 而细胞原生质只是在选择性的从液流中吸收当时所需要的营养元素, 其余的营养物质聚结在细胞壁和角质层内, 当降水时它们被氢离子 (H^+) 所交换出来。李凌浩则认为^[2]外部雨水与叶片及其它组织的外部空间和细胞内部自由空间之间的离子交换反应是物质淋溶的主要机制。因此, 大气降雨对林冠及树干枝叶淋溶的过程, 既是降水对枝叶分泌物冲洗和淋溶的过程, 又是枝叶对降水营养物质吸收吸附的过程。这个动态过程, 一方面取决于降雨强度、酸度、降水中营养物质的浓度; 另一方面还取决于枝叶分泌物, 枝叶对降雨养分元素和大气尘埃的吸附或吸收以及植株的蒸散过程。这些因素相互联系决定了穿透雨和树干茎流的养分浓度和养分输入量, 从而影响森林系统淋溶量大小。

从大气降雨、穿透雨和树干茎流中五种养分输入总量来看, 分别是 15.994 、 $14.997 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $0.066 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 穿透雨和树干茎流分别占大气降雨养分输入总量的 93.77% 和 0.41%, 树干茎流又占穿透雨输入总量的 0.44%。通常树干茎流的营养物质输入量远比穿透雨的输入量要小得多, 一般研究认为^[3], 树干茎流养分输入量是穿透雨的 1%~20%, 显然哀牢山树干茎流养分物质输入量低于此下限 1%, 可以认为, 哀牢山中山湿性常绿阔叶林大气降雨过程中, 树干茎流养分物质输入量可忽略不计。

3 结果与结论

3.1 从养分浓度看, 穿透雨和树干茎流与大气降雨相比较, 除 N 外, 其余养分元素均有所增加。养分浓度: 树干茎流 > 穿透雨 > 大气降雨。

3.2 从养分浓度比来看, 树干流 > 穿透雨。穿透雨和树干茎流中 K 浓度改变最大, 分别是大气降雨 K 浓度的 81 倍和 187 倍, 而 N 浓度改变最小, 只有 0.60 倍和 0.85 倍。

3.3 从养分淋溶沉降比 D_R 值来看, 穿透雨 > 树干茎流。穿透雨中 K 养分输入量是大气降雨中 K 养分输入量的 74 倍, 而 N 只有 0.43 倍; 树干茎流中 K 为 0.363 倍, N 为 0.002 倍。

3.4 该地区大气降雨过程中养分输入 N 以大气降雨为主, P、K、Mg 以穿透雨为主, 分别占总输入量的 69.85%、77.33%、98.19% 和 80.40%, Ca 养分输入, 大气降雨和穿透雨约各占总输入量的一半, 分别是 45.35% 和 54.38%。

3.5 降雨淋溶和树冠枝叶吸收吸附是一个动态过程。穿透雨、树干茎流中养分浓度和淋溶量大小与大气降雨中养分浓度和养分输入量大小有很大的关系。大气降雨中养分浓度小, 则穿透雨和树干茎流中的元素浓度大, 养分输入量小, 则穿透雨和淋溶量中的淋溶沉降比 (D_R) 值大, 反之则小。

3.6 云南哀牢山中山湿性常绿阔叶林大气降水过程中, 大气降水和穿透雨是营养物质输入的主要途径, 大气降水中化学物质浓度含量大小对降水淋溶量具有较大影响。

参 考 文 献

- 1 Yawney H W, Leaf A L. The contribution of through-fall and stemflow to nutrient cycling in red pine plantations. *Agron. Abstr.* 1970. 164~173
- 2 马雪华. 在杉木林和马尾松林中雨水的养分淋溶作用. *生态学报*, 1989, 9(1): 15~20
- 3 李凌浩, 林鹏, 何建源等. 森林降水化学研究综述. *水土保持学报*, 1994, 8(1): 84~96
- 4 冯宗炜, 陈楚莹, 王开平. 亚热带杉木纯林生长生态系统中营养元素的积累、分配和循环的研究. *植物生态学与地植物学丛刊*, 1985, 9(4): 246~256
- 5 中国科学院昆明生态研究室. 云南哀牢山森林生态系统研究. 昆明: 云南科技出版社, 1983. 20~30
- 6 阿姆森 K A. 森林土壤: 性质和作用. 林伯群, 周重光译. 北京: 科学出版社, 1984. 156~186
- 7 唐常源, 王翌. 湿地松人工林中降雨对养分物质的淋溶作用. *植物生态学与地植物学学报*, 1992, 16(4): 379~383