

在杉木林和马尾松林中 雨水的养分淋溶作用

马雪华

(中国林业科学研究院林业研究所, 北京)

摘 要

本试验地是在杉木林和马尾松林中, 主要对降雨和径流水中所含各种养分物质进行测定, 结果表明, 降雨的养分含量与降雨量存在着半对数函数关系, 降雨输入林地的养分量显著地大于径流输出的养分量, 林内雨和树干茎流淋溶的养分量占养分还原总量的48—53%。林内雨和树干淋溶的K、Mg、N养分质量超过凋落物归还养分量。

关键词: 降雨, 人工杉木林, 马尾松林, 养分循环。

一、试验区的自然概况及研究方法

本区位于江西省分宜县大岡山实验林业局的山下林场, 地理位置: 北纬 $27^{\circ}30'$ — $27^{\circ}50'$, 东经 $114^{\circ}30'$ 。地形属于丘陵山地, 海拔85—100m, 属中亚带湿润气候。年平均气温 17.9°C , 气温变化剧烈, 雨量丰富, 降雨集中在4—6月, 9月至次年1月为干季, 年平均降雨量为1100—1700mm。

由于人为活动频繁, 该区的原生植物大部分遭到破坏。目前, 主要是人工栽植的杉木林, 马尾松林和毛竹林。土壤属于长江中下游低山丘陵黄壤类型。成土母岩有砂岩、砂页岩、紫色岩、砂砾岩。

研究方法: 共设置2个杉木林试验小集水区和2个坡面径流场。在林外裸地栽有一个自记雨量计, 直接测定林外雨量。在集水沟设有V形溢流堰, 测定径流量。划定面积为 $10\text{m} \times 10\text{m}$ 林冠截留场, 采用网格法布设雨量筒10—15个。测定林内雨, 用算术平均法求得。选择标准树5—6棵, 将剖开的聚乙烯管围绕在树干四周, 用玻璃容器收集树干茎流量, 按每棵树的林冠投影面积换算成单位面积的树干茎流量。自1985年5月至1987年4月, 在上述样地上, 对降雨和径流水, 每月取样一次, 对其所含各种养分物质的浓度及pH值进行化学分析。用原子吸收分光光度计测定K、Ca、Mg。用721分光光度计测定 $\text{NH}_4\text{-N}$ (直接比色法), $\text{NO}_3\text{-N}$ (比色法), 有机-N (蒸馏比色法) 和P (钼兰比色法), N用凯氏蒸馏法, COD-高锰酸钾-硫酸氧化法; Na-火焰光度计法。pH值用电位法测定。养分含量是将养分浓度和雨量 (或径流量) 换算成统一单位相乘而得。另外, 在有林地上设有 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 凋落物收集箱5—6个, 每1—2个月收的一次凋落物, 并进行养分含量的测定。

2个小集水区面积分别为1.63ha、0.63ha, 集水沟为南北走向, 平均坡度为 15° — 20° 。

本文于1987年8月15日收到。

人工栽培有20年生的人工杉木林,每公顷达2100—2300株。郁闭度0.7,平均树高10.6—13.45m,平均胸径11.4—14.8cm。

皆伐迹地坡面径流场:面积10m×20m,坡向西北,坡度43°30′,1981年采伐,经过火烧整地,植被盖度100%。主要有山竹,大青、柃木、蕨类、苦槠等。

马尾松林径流场(10m×20m),坡向北偏东,坡度12°,栽有18年生人工马尾松林。平均树高12.5m,平均胸径13.5cm,地下植被盖度30%。

二、研究结果及分析

大气降水含有各种矿质元素是植物所需要的营养物质,它作为森林生态系统的养分输入,参加该系统的养分循环。

1. 雨水所含养分的平均浓度及其变化

降雨淋溶附着于林冠及植物体溶解出来的各种养分物质,使林内雨和树干茎流的各种养分物质的浓度均有所增加。这对于林地养分物质的补给,起了积极的作用。据测定,人工杉木林和马尾松林林内雨各种养分物质的平均浓度,除N元素外,均显著高于降雨中的平均浓度(表1)。

氮(N),降雨中氮含量较高,且变幅较大,由于氮是较难溶脱的元素。故雨水通过林冠时,氮溶脱量较少,同时,由于林冠叶面的直接吸收和吸附的结果,使林内雨水中氮浓度有明显降低。

钾(K),降雨中钾的平均浓度较低,钾是最容易溶脱的元素。经过杉木林林冠淋溶作用,林内雨水中钾的平均浓度迅速增加,约为林外雨的6倍。马尾松林林冠淋溶作用不如杉木林强,林内雨中钾的平均浓度增加得不多。

钙(Ca)、镁(Mg),较钾(K)稳定,不易迅速溶脱,在雨水中的浓度也较低,林内、林外雨中的养分浓度差别不大,且季节变化不明显。

磷(P)是最难溶脱的元素,雨水中P的浓度很小,所以林内雨、林外雨P的浓度差别不大,年内变化很小。

林内雨中各种养分物质的浓度,除了与降雨量多少有关外,还与林木地上营养器官(叶、枝、干、皮、果等)所含各种养分物质及其可溶程度有联系。林外雨中所含养分物质按其浓度高低次序排列: $N > Ca > K > Mg > P$ 。杉木林林内雨各种养分物质的平均浓度: $K > N > Ca > Mg > P$ 。降雨养分物质平均浓度一般自森林上层至下层作梯度增加(表1)。两个林分降雨水所含各种养分平均浓度和有机质残渣(COD)增加的顺序是地表水>林内水+树干茎流>林外雨。

降雨所含各种养分物质的平均浓度还与雨量大小和林木生长节律有关。一般,干季(8月至次年2月)雨水养分物质浓度较高,雨季,养分物质浓度较低。降雨的pH值平均为6.24,偏微酸性。地表径流的pH平均值为7.0,呈中性(表1),这是由于林地植被和土壤有机质与粘土平衡的结果,使径流水有较强的阳离子交换能力,增加了pH值,提高了水的碱性,改善了水质。

杉木林经过采伐火烧整地后,由于林木的叶、根、花、果都烧成灰烬,使各种矿质养分大量释放,容易被水稀释,冲洗,造成皆伐迹地径流水中各种养分物质浓度大幅度提高,增

加了养分物质的流失，径流水的养分量中，以 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的浓度增加得最多，其次是K、Na，随着迹地草木植物的逐步恢复，径流水中各种养分物质的浓度逐年减少，养分流失量也随之减少。

表 1 林外雨、林内雨、树干茎流、径流水养分物质月平均浓度（1985年4月—1987年5月）

Table 1 Nutrient concentration in precipitation, throughfall, stemflow runoff in average month for the period April 1, 1985 through May 30 1987.

林种	项目	pH值	营 养 物 质 (ppm)									
			K	Ca	Mg	P	N	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	Org-N	Na	COD
人工杉木林	林外雨	6.24	0.683	0.935	0.141	0.023	5.954	0.110	4.627	1.227	1.852	6.914
	林内雨		4.21	1.620	0.845	0.037	5.355	—	—	—	—	—
	树干茎流		9598	2.982	2.204	0.344	8.351					
	径流	6.80	13.35	2.459	0.642	0.04	4.524	0.156	2.791	1.577	5.835	10.964
马尾松林	林内雨		1.459	1.126	0.247	0.222	4.492	—	—	—	—	—
	树干茎流		4.749	1.099	1.156	0.044	6.185	—	—	—	—	—
	径流		36.985	2.996	0.594	0.454	12.594	1.515	7.183	3.601	14.057	32.141
皆迹伐地	径流	7.1	72.268	3.268	2.082	0.324	10.327	5.188	2.551	2.235	25005	50.064

2. 降雨对林冠养分的淋溶

降雨对林冠养分的淋溶，由于淋溶出来的养分都是水溶性的，无需要经过复杂的分解过程，可以被植物直接吸收，因此降雨的养分淋溶具有加速植物生长，促进养分循环的重要作用。本试验区对降雨的养分淋溶量比较如下：

氮(N)，世界各地降雨中氮素含量变幅很大，多数地区资料约为2.25—11.2kg/ha·a。本试验区大气降雨含氮量过大(表2)，可能与本区位于发电站附近，大气中有工业污染物有关，也与本地夏季多雷电(放电)以及当地居民烧柴使大量N进入空气中有关，因而增加了降雨中N的含量。由于林冠的吸收和吸附，结果使林内雨中N的含量有相应减少。

钾(K)，是林木生长所需的重要元素，虽然降雨中K的含量不多，但是，降雨对补充土壤K含量具有重要作用。国外多数资料表明：降雨中K含量约是0.900—8.470kg/ha·a。本区降雨中K含量处于世界一般水平(表2)。由于钾的溶解度高，通过雨水的淋溶，使林内雨中K含量较大气降雨中的K含量明显增多。杉木林中K的淋溶量仅次于马来西亚热带林(40.00kg/ha·a)，稍高于海南岛尖峰岭热带季雨林(27.480kg/ha·a)。

钙(Ca)，主要来源于大气中的尘埃及有机物，其供应量有限，释放速度较缓慢，溶脱程度不如钾。降雨中Ca的含量较低，且较稳定，本区降雨中Ca的含量与马来西亚(11.580kg/ha·a)及英国(11.000kg/ha·a)的资料相接近。两个林分Ca的淋溶量显著低于马来西亚热带雨林(14.00kg/ha·a)和海南岛热带季雨林(13.670kg/ha·a)。Ca多积累在树干里，其生物循环不如K、Na剧烈。

镁(Mg)是较难淋溶的一种化学元素，本区降雨中镁的含量为2.85kg/ha·a，介于香港(3.0kg/ha·a)和马来西亚(2.0kg/ha·a)之间。杉木林和马尾松林镁的淋溶量都低于海南岛热带季雨林的淋溶量(9.54kg/ha·a)。

磷(P)通常降雨中磷含量很低，本区降雨中磷的含量(0.236kg/ha·a)与世界资料

(0.07—0.22kg/ha·a) 相类似。磷在降雨中很难溶解,其淋溶量低于海南岛尖峰岭热带季雨林。本区土壤普遍缺磷,林冠的淋溶对补充土壤中磷的含量,具有一定的意义。

表 2 降雨淋溶养分值 (公斤/公顷·年)
Table 2 Nutrient content of rain water (kg/ha.a)

地 点	元 素 项 目	K	Ca	Mg	P	N
人工杉木林	降 雨	10.671	11.724	2.850	0.236	60.650
	林 内 雨	46.510	13.974	9.942	0.413	36.945
	树 干 茎 流	1.585	0.492	0.364	0.057	1.379
	淋溶养分量	37.424	2.742	7.456	0.234	—
马尾松林	降 雨 量	10.037	11.021	2.670	0.222	57.011
	林 内 雨	19.557	12.446	3.215	0.227	42.847
	树 干 茎 流	0.863	0.199	0.021	0.112	0.008
	淋溶养分量	10.983	1.544	0.566	0.117	—

3. 降雨养分含量的季节变化

本试验区位于中亚带,雨季正值林木生长季节,林内雨养分量随着降雨量的增加而增加,林内雨的养分含量与雨量存在着密切的关系。一年内,养分量的增减趋势与雨量的季节变化基本类似。同时,林内雨的养分量与林冠淋溶作用的强弱和养分元素本身的溶脱程度有关。据回归分析表明(表3),雨水的养分量与降雨量存在着半对数函数关系($y = a + b \cdot \log x$)。由此说明:从大气间林木叶面上和叶细胞淋溶出来的养分供应量是有限的,而且较缓慢。在回归式中,养分量是按算术级数增加,而降雨量是按几何级数递增的。林内雨和

表 3 养分含量Y (kg/ha) 和雨量x (mm) 的回归关系 (1985.4—1987.4)
Table 3 Relation between Precipitation (x, mm) and nutrient content (Y, kg/ha) of throughfall and stemflow in *Cunninghamia lanceolata* and *Pinus massoniana* forests (Apr. 1985—Apr. 1987)

养分元素	降 雨	回 归 方 程 式	相 关 系 数	显 著 性 检 验 (P%)
K	林 外 雨	$Y = -2.179 + 1.637 \log x$	0.480	6
	杉木林、林内雨	$Y = -5.3405 + 4.50 \lg x$	0.512	5
	马尾松林林内雨	$Y = -4.435 + 3.024 \log x$	0.647	1
Ca	林 外 雨	$Y = -2.874 + 2.272 \log x$	0.462	10
	杉木林、林内雨	$Y = -5.364 + 3.708 \log x$	0.674	1
	马尾松林林内雨	$Y = -4.867 + 2.984 \log x$	0.473	5
Mg	林 外 雨	$Y = -0.235 + 0.196 \log x$	0.460	5
	杉木林、林内雨	$Y = -0.949 + 0.789 \log x$	0.540	2
	马尾松林林内雨	$Y = -0.985 + 0.644 \log x$	0.628	1
P	林 外 雨	$Y = -0.074 + 0.053 \log x$	0.712	0.1
	杉木林、林内雨	$Y = -2.583 + 0.186 \log x$	0.20	不显著
	马尾松林林内雨	$Y = -0.049 + 0.035 \log x$	0.644	1
N	林 外 雨	$Y = -37.027 + 22.889 \log x$	0.641	1
	杉木林、林内雨	$Y = -10.425 + 7.064 \log x$	0.660	1
	马尾松林林内雨	$Y = -21.799 + 13.878 \log x$	0.537	2

林外雨中养分含量 (K、Ca、Mg、N) 与降雨量都存在着显著的关系。由于磷的含量很少，且最难溶解，因此，较难测定它与降雨量微小变化的关系。故在杉木林内雨与雨量出现不显著相关的现象 ($r=0.2$)。

养分含量的季节变化与养分浓度的变化正相反。即雨量多的月份，降雨的养分浓度低，养分量高，雨水量少的月份，养分浓度高，养分量低。

4. 雨水淋溶在森林生态系统养分循环中的作用。

在大气降雨中含有相当数量的植物养分物质，降雨中所含养分物质就是生态系统的养分收入，径流流出界外的养分量则作为森林生态系统的养分支出，森林生态系统养分的收入与支出，就是降雨（林外雨）和径流中所含养分量的比较。据测定，每年通过降雨输入林地的养分量大于支出量，各种养分量都被蓄积在森林生态系统中，杉木林养分的积贮量为 $84.254\text{kg/ha}\cdot\text{a}$ ，马尾松林、 $79.001\text{kg/ha}\cdot\text{a}$ ，皆伐迹地 $58.677\text{kg/ha}\cdot\text{a}$ 。从径流养分流失量计算，皆伐迹地径流失养分量最大，达 $2.492\text{t/h}\cdot\text{a}$ ，马尾松次之 ($1.958\text{t/ha}\cdot\text{a}$)，杉木林最少 ($1.877\text{t/ha}\cdot\text{a}$)。

在杉木和马尾松林中，通过降雨淋溶的养分量占养分还原量的 48—53%，其中，K、Mg、N 占主要比重。林内雨中 K、Mg、N 养分含量高于凋落物归还养分量。而凋落物 Ca、P 的养分归还量却大于林内雨淋溶养分量（表 4）而马尾松林中凋落物中 Mg 的含量却较林内雨多。

从养分元素还原总量（凋落物和林内雨淋溶养分量之和）来说，亚热带人工杉木林和马尾松林的各种养分还原总量显著地低于热带加纳雨林和海南岛热带季雨林的养分元素的还原

表 4 林内雨和凋落物在森林养分循环中的作用

Table 4 Impact of throughfall and litterfall on nutrient cycling in forests of subtropical and tropical area

地点	林分	观测项目	养分含量 (kg/ha·a)					合计
			K	Ca	Mg	P	N	
江西省 分宜县	杉木林	凋落物 A	13.720	31.686	7.533	7.432	37.820	98.171
		林内雨 + 树干茎流 B	48.095	14.486	10.306	0.472	38.820	112.157
		养分还原量 A+B	61.815	46.132	17.839	7.904	76.640	210.328
		林内雨 + 树干茎流占 还原量 A/A+B%	77.805	31.358	57.772	5.972	50.652	53.325
	马尾松林	凋落物 A	5.159	26.645	6.861	5.784	41.844	86.273
		林内雨 + 树干流 B	20.420	12.856	3.236	0.339	42.855	79.706
		养分还原量 A+B	25.579	39.501	10.097	6.103	84.699	165.979
		林内雨 + 树干流占还 原量 A/A+B	79.831	32.546	32.049	5.555	50.597	48.022
海南岛	热带季 雨林	凋落物 A	13.200	103.200	16.800	8.600	83.000	204.800
		林内雨 B	51.600	37.730	24.280	6.190	15.460	135.280
		养分还原量 A+B	64.800	140.930	41.080	14.790	78.460	340.060
		林内雨占还原量 A/A+B %	79.630	26.772	59.104	41.853	19.704	39.775
加纳	热带雨 林	凋落物	69.000	208.000	45.000	7.300	261.000	530.300
		林内雨	238.600	41.800	29.400	4.100	18.1	330.000
		养分还原量 A+B	307.600	249.80	74.400	11.400	218.100	860.300
		林内雨占还原总量 A/A+B%	77.588	16.733	39.516	35.965	7.418	38.359

量, 而亚热带人工杉木林、马尾松林林内雨淋溶的养分量占总养分还原量的比例却大于热带森林(表4)。其中, K、Mg的淋溶量占养分还原量的百分比与热带森林没有显著差别。而Ca的淋溶量占养分还原量的百分比却大于热带森林。马尾松林P的淋溶量很小, 占养分还原总量5.5%, 低于热带森林的淋溶量数十倍。而热带森林P的淋溶量却占养分还原总量的35.965—41.853%。

三、结 论

亚热带杉木林区, 在林木生长季节期间气温较高, 雨量较丰富。降雨所含各种养分物质是森林生态系统养分的主要来源。降雨对林冠养分的淋溶量占养分还原量的48—53%。它为该区森林植物提供一定量可以直接吸收的水溶性各种养分, 同时在加速森林中养分循环方面具有重要的作用。

参 考 文 献

- [1] 中野季章(日), 1983, 森林水文学 216—221.
- [2] 鲁如坤、史陶钧, 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.
- [3] 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.
- [4] 卢俊培, 1986, 海南岛尖峰岭半落叶季雨林生态效益的研究 I——冠层淋溶, 热林科技第一期.
- [5] 岩坪五郎, Ⅱ 森林生態系での植物养分物質の循环——それごのはたす役割にのいて.

EFFECTS OF RAINFALL ON THE NUTRIENT CYCLING IN MAN-MADE FORESTS OF CUNNINGHAMIA LANCEOLATA AND PINUS MASSONIANA

Ma Xuehua

(The Research Institute of Forestry CAF)

The preliminary study indicates that the nutrient concentration of throughfall has increased obviously in man-made forests of *Cunninghamia lanceolata* and *Pinus massoniana* as compared with rainfall in adjacent opening. The relative abundance of nutrient content for precipitation was $N > Ca > K > Mg > P$. The relative abundance of nutrient content for throughfall was $K > N > Ca > Mg > P$. The total amount of nutrient input with rainfall in two stands account for 48—53% of total nutrient returns. More amounts of N, K, Mg were transferred to the soil through throughfall than litterfall while more Ca and P were added to the soil through litterfall. Nutrient return approximates precipitation closely in a semi-log curve, indicating a limited and gradual supply of nutrients from their respective sources between the intervals of rain.

Key words: nutrient concentration, nutrient content, runoff, stemflow nutrient cycling,