

371-376

第17卷第4期

1997年7月

生态学报

ACTA ECOLOGICA SINICA

Vol. 17, No. 4

Jul., 1997

华北暖温带山地落叶阔叶混交林的茎流研究

李海涛

(中国科学院北京森林生态系统定位研究站, 北京, 100096)

韩兴国 ✓ 陈灵芝

(中国科学院植物研究所, 北京, 100093)

S 718.554.2

A 摘要 测定华北暖温带山地落叶阔叶混交林的树干茎流量及其元素含量, 并比较了不同树种间的差异。通过 82 次孤立降雨的测量, 得到了辽东栎、棘皮桦、五角枫、大叶白蜡和蒙椴 5 种主要树种及整个林分茎流量 S 与降雨 P 的关系, 经多种方程拟合, 仍以直线方程为最佳。降雨水质分析的结果给出了 N、P、K、Ca、Mg、Al、S 元素各次测量的平均浓度及其变异系数, 以及年输入量的估测值。茎流元素含量的分析结果表明, 5 种乔木中, 以棘皮桦的茎流中各元素浓度的增加幅度最大, 表现出最强的淋溶效应。辽东栎、大叶白蜡、蒙椴形成的茎流中 P 的浓度均有下降。Al 元素在各树种茎流中与降雨相比其浓度均无显著变化。就整个林分而言, 茎流中以 N、S 和 K 浓度的增加较为显著, 分别增加了 53.4%、337.4% 和 124%, P 的浓度表现为负增量。

关键词: 暖温带, 落叶阔叶混交林, 茎流,

森林生态学;

A STUDY ON THE STEMFLOW OF THE DECIDUOUS
BROAD-LEAVED MIXED FOREST IN THE WARM
TEMPERATE ZONE OF NORTHERN CHINA

Li Haitao

(Beijing Forest Ecosystem Research Station, the Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100093, China)

Han Xingguo Chen Lingzhi

(Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100093, China)

Abstract The stemflow and its element content were studied, meanwhile comparisons were made among five main tree species in the deciduous broad-leaf mixed forest in this paper. The relationships between gross rainfall and stemflow in the five main tree species and in the whole forest were analyzed in 82 precipitation events in the growth seasons of 1993 and 1994, concentration and amount of seven chemical elements in the gross precipitation and stemflow were also analyzed. The results showed that the concentrations of the seven chemical elements were all the highest in the stemflow of *Betula dahurica* in the five

感谢马克平、黄建辉、邢雪荣、王其兵、刘文彬、严昌荣等先生的热情帮助和大力协作!

收稿时间: 1996-05-20, 修改稿收到时间: 1997-04-25。

tree species. The concentrations of N, S and K were remarkably increased by 53.4%, 337.4% and 124% respectively, P was reduced, and Al was not changed in the stemflow of the whole forest. The order of relative element content in gross rainfall was $N > K > Ca > S > Mg > P > Al$, and that in stemflow was $K > S > N > Ca > Mg > P > Al$ in the whole forest.

Key words: gross rainfall, stemflow, chemical elements, the deciduous broad-leaved mixed forest.

大气降水到达森林表面后被重新分配,其中由林冠截留后沿树干流下的水量称为茎流。由于雨水对树体表面分泌物的溶解、枝叶对降水中离子的吸收以及雨水对枝叶表面粉尘、微粒等大气悬浮沉降物的淋洗,茎流中的化学成分发生变化,影响树木根系的养分状态、树体四周土壤含水量以及 pH 值等理化性状,因而茎流在森林生态系统的功能研究中具有重要的地位。魏晓华、周晓峰^[1]、马雪华^[2]等对此作过专门研究。而在华北暖温带地区,对其代表性植被——以辽东栎(*Quercus liaotungensis*)为主的落叶阔叶混交林的茎流规律研究,国内尚未见报道。笔者于 1993 年及 1994 年的 5~10 月对上述方面作了测定,现将结果报告如下。

1 试验区概况

试验区位于北京市门头沟区齐家庄乡小龙门中国科学院北京森林生态系统研究站,站区距北京市区 114km,东经 115°26',北纬 39°58',海拔 1140m。该地区处于太行山北段小五台山余脉,属暖温带半湿润季风气候区,年均温 2~8℃。年平均降水量为 611.9mm,全年降水的 78%集中在 6、7、8 三个月。年蒸发量为 1077.3mm,年平均相对湿度为 66%。全年总日照时数为 2003.9h,生长季(5~10月)为 1194.8h,占全年的 59.6%。太阳总辐射为 2985~3095MJ/m²。

以辽东栎为主的落叶阔叶混交林是该地的重要植被,也是中国暖温带森林区域的代表性森林群落类型。其中建群种除辽东栎外,尚有棘皮桦(*Betula dahurica*)、五角枫(*Acer mono*)、大叶白蜡(*Fraxinus rhynchophylla*)和蒙椴(*Tilia mongolica*)。群落成层现象非常明显,按生活型可分为乔木层、灌木层和草本层。乔木层分为两个亚层,其地上部分所处的微气象条件均有差异。辽东栎、棘皮桦、蒙椴处于第一亚层,郁闭度为 0.75,五角枫、大叶白蜡处于第二亚层,郁闭度为 0.4~0.6。样地土壤类型为山地棕壤土,成土基岩以花岗岩、石英岩为主,成土母质为其风化的残坡积物。坡度为 28°,坡向 N35°W。样地林学特征见表 1。

表 1 样地中各树种的群落学特征

Table 1 The community characteristics of various tree species in the plot

树种 Species	密度 Density (N/hm ²)	平均高度 Mean height (m)	平均胸径 Mean DBH (cm)	相对密度 Relative density(%)	相对优势度 Relative dominance(%)	相对频度 Relative frequency(%)	叶形特征 Characteristics of leaf
辽东栎(1)	746	11.8	15.7	29.22	41.68	24.56	叶大、羽状裂
棘皮桦(2)	590	10.5	11.9	23.38	32.7	22.81	卵形、叶小
大叶白蜡(3)	450	7.6	6.3	16.88	2.06	19.3	叶椭圆形
五角枫(4)	169	6.4	6.1	6.80	3.68	15.97	叶掌状五裂
蒙椴(5)	506	11.0	13.2	20.28	16.7	10.53	卵形、基部心形

(1)Oak (2)Dahurian birch (3)Ash (4)Maple (5)Mongolian linden

2 研究方法

2.1 水量观测

2.1.1 林外降雨的观测 在落叶阔叶林伸出林冠的 24m 高铁塔上设置标准雨量筒及虹吸式自记雨量计,

以每次降雨后观测值作为林外雨值。油松林样地以位于林外开阔地上本站气象站内的标准雨量筒和遥测雨量计值为林外雨值。灌丛样地外降雨由位于样地外开阔地段上的 2 个雨量筒观测值作为林外降雨值。

2.1.2 茎流的测定 在乔木林内根据不同树种依其胸径大小均匀选择径级,在每一径级上选取其标准木,将直径 6cm 的塑料管沿中缝锯开,取其一半螺旋状缠绕于树干上,接缝处用橡皮泥堵严,使干流能沿导管导流到塑料容器内进行测量,按每株树的树冠投影面积换算成单位面积的树干茎流量。各树种样本数为:辽东栎 10 株,棘皮桦 7 株,蒙椴 7 株,大叶白蜡 6 株,五角枫 5 株。5 种乔木树种样本数共 35 株。

2.2 水化学分析

2.2.1 取样 为避免林冠对大气降水可能污染,林外雨水取自设置于林中观测铁塔上的雨量筒中的水样,茎流雨水样的采集在每次降雨结束后水量观测时进行。用未经使用过,并经蒸馏水冲洗的 200ml 塑料瓶取样,每个取样单元设两个重复,以保证结果的准确性。取样后用酸度计测量 pH 值,并用 HgCl_2 固定,置于冰箱中,以备元素分析用。1994 试验年度雨量变化范围为 0.30~62.8mm,均值为 16.59mm,统计了 6 月 29 日、7 月 22 日、7 月 24 日、8 月 5 日、8 月 13 日、9 月 9 日的分析结果,对应降雨量分别为 25.1mm、8.9mm、29.5mm、15.8mm、43.5mm、5.65mm,共取得并分析水样 480 个。

2.2.2 元素分析 全氮测定采用蒸馏法,磷测定采用钼蓝比色法,钾、钙、镁采用火焰原子吸收法,Al 采用铅试剂比色法,S 采用硫酸钡比浊法。

3 结果与讨论

3.1 单次降雨茎流量与降水量的关系

选择了主要优势树种辽东栎、棘皮桦、蒙椴、五角枫、大叶白蜡作为观测对象,通过 1993、1994 年度全生长季共 82 次孤立降雨的测量,得到各树种茎流量 S 与降雨 P 的关系,经多种方程拟合,仍以直线方程为最佳,结果见表 2。

表 2 各主要树种单次降雨茎流量 S 与降雨量 P 的关系

Table 2 The relationships between stemflow of the main tree species and rainfall

树种 Species	经验方程 Regression equation	相关系数 Coefficient	最小产流降 雨量(mm)(6)	单次降雨平 均茎流率(7)	实测最大 茎流率(8)
辽东栎(1)	$S = -0.0095 + 0.0631P$	0.844	0.15	4.4	11.1
棘皮桦(2)	$S = -0.0176 + 0.00649P$	0.732	2.71	0.28	2.3
蒙椴(3)	$S = -0.0624 + 0.132P$	0.884	0.47	12.7	13.3
五角枫(4)	$S = -0.0709 + 0.0742P$	0.91	0.96	4.3	10.8
大叶白蜡(5)	$S = -0.126 + 0.0663P$	0.959	1.9	3.5	7.9

(1)Oak (2)Dahurian birch (3)Mongolian linden (4)Maple (5)Ash (6)Minimum precipitation at which stemflow was observed initially (7)Mean ratio of stemflow to precipitation (8)Maximum ratio of stemflow to precipitation calculated by measurements.

结果表明,上述树种单次降雨茎流量均随降雨量的增加而线性增加。单次降雨茎流量与降雨量的关系非常复杂,产生的茎流量既与降雨前树体表面的干燥程度、雨强随时间的变化关系、雨量大小、冲击叶片的雨滴动能及角度等因素密切相关,也与树种自身形态结构特征如叶片形状大小、叶片与水平面角度、叶柄粗细、树皮粗糙程度、枝条与树干的夹角有关,同时也受到不同树种所在层次及树种之间相互遮蔽程度的影响。而在野外条件下,上述种种因素难以定量测定,因而基于大量取样基础上得到的直线关系往往更接近于真实。由表 1 可见,令 $S=0$,由经验方程可得各树种的产生茎流所需的最小降雨量大小顺序依次为棘皮桦>大叶白蜡>五角枫>蒙椴>辽东栎,棘皮桦虽与蒙椴及辽东栎均处于乔木层第一亚层,但由于其叶片面积较小、质薄、叶柄支持力弱、叶片多数平展或下垂,树皮斑驳片状剥落,粗糙度最大,小雨量难以形成明显水流,而多以雨滴形式从树皮表面滴落,因而需要较大的降雨量方能产生茎流。辽东栎处于乔木上层,在群落中为重要值最大的主要优势种,同时具有最大的叶面积指数,叶柄短粗,树叶排列紧密且叶尖向上

倾斜,能够承接较大的雨滴动能而截获雨水,同时树皮上纵纹发达,有利于雨水沿着倾斜的枝干汇入主干。蒙椴叶片较大、树皮光滑且具有较小的枝干交角,大叶白蜡与五角枫主要由于受上层乔木的遮蔽,产生茎流所需要的降雨量亦较大,表中各树种单次降雨平均茎流率(单次降雨茎流量与单次降雨量的平均比率)的大小顺序为蒙椴>辽东栎>五角枫>大叶白蜡>棘皮桦,实测最大茎流率(单次降雨茎流量与降雨量的最大比率)的顺序也与此相同,反映了各树种产生茎流的能力,基本与前述情形一致,

落叶阔叶混交林单次降雨的茎流量与降水量的回归关系为: $S' = -0.0397 + 0.0583 P$ 相关系数为 0.944。

3.2 茎流中的元素浓度及淋溶量变化规律

3.2.1 大气降水元素浓度的变化 由表 3 可见,大气降水中所含各种元素的浓度明显不同。所有元素中,N 是测区降水中占优势的成分,平均浓度为 2.61mg/l,其次为 K,平均为 2.2mg/l,P 和 Al 的浓度较低,分别为 0.295mg/l 和 0.0617mg/l,

表 3 大气降水中的元素浓度和输入量

Table 3 The nutrient concentrations and inputs by precipitation

项目 Items	N	P	K	Ca	Mg	Al	S
①平均浓度(mg/l)	2.610	0.2950	2.2000	1.8000	0.3700	0.06170	0.9800
②变异系数	0.147	0.6600	0.5880	0.7604	0.5400	0.88000	0.5003
③年输入量(kg/hm ²)	17.520	2.0520	11.5800	11.2300	2.0260	0.32410	6.5840

① Average concentration ②Coefficient of variation ③Input per year

表 3 中最后一栏列出了对应于年总量达 717.3mm 的降雨中的 N、P、K、Ca、Mg、Al、S 的总输入量的估测值,系由统计的各次降雨的总输入量除以其代表雨量在年降雨量中所占比例得出。

不同地区由于年降水量和雨水元素浓度的不同,其各种元素的年输入量也不同。N 的含量各地变化很大,据 Cooks 估计^[3],世界大部分地区 N 的年输入量在 2.3~11.3kg/hm² 之间,本地高于此值,但远低于已有资料中的最高值 45kg·hm⁻² (苏门答腊),亦低于马来西亚 19.5kg/hm²,我国金华地区为 23.1kg/hm²^[4],P 为雨水最为缺乏的元素,年输入量绝大多数地区在 0.2kg/hm²·a 左右,原因可能在于降水中的 P 主要来源于大气尘埃的溶解,我国海南尖峰岭 P 年输入量为 3.71kg/hm²·a^[5],本地低于此值。我国降水中化学元素输入量的顺序依次为:N>Ca>S>K>Mg>P,这与世界其它地区雨水元素输入的规律大体一致。而北京西部暖温带山地大气降水中各元素的年输入量顺序为 N>K>Ca>S>Mg>P,除 K 的位置略有提前外,基本符合上述规律。

3.2.2 茎流的化学元素浓度与淋溶量 大气降水经过树体表面后,通过交换,其中部分元素含量将显著增加,而另一些元素的含量则有所降低,其含量的增减取决于交换过程中雨水淋溶和枝叶吸收的数量对比,并因植被类型、树种及营养元素种类的不同而异。

首先讨论落叶阔叶混交林中不同树种的茎流元素浓度变化。表 4 给出 6 次不同季节的测量值的平均浓度及其变异系数。

由表可见,降雨中的元素经过不同树种体表交换后,其浓度变化因不同树种而异。除蒙椴外,辽东栎、棘皮桦、五角枫、大叶白蜡 4 类树种茎流中的元素浓度均以 K 为最高。与林外雨水相比,茎流中 K 浓度的增加最为显著。辽东栎、棘皮桦、五角枫、大叶白蜡、蒙椴茎流中的 K 浓度分别增加了 110%、527%、361%、274.9%、12.6%,其中以棘皮桦增加幅度最大,而以蒙椴最小。上述树种中棘皮桦的树皮粗糙度最大,雨水沿树体表面移动的时间及距离均相对较长,因而有较多与树皮表面进行离子交换的机会。从反映元素浓度季节波动的变异系数上看,表 4 中 5 类树种的茎流中以 N 的浓度变异系数较小,而以 S 的浓度变异系数为最大,与大气降水中 S 较小的元素浓度变异系数相比较有明显不同,表明茎流中 S 浓度的季节变差远大于输入的大气降水中的 S 浓度的季节变差。

表 5 给出了与大气降水相比较的落叶阔叶混交林不同树种的茎流中的元素浓度增减情况。经过 t 检验

可知茎流中大多数元素浓度显著高于降雨中的浓度。其中以棘皮桦的茎流雨中各元素浓度的增加幅度最大,表现出最强的淋溶效应。表 5 还表明,经过树体表面离子交换后,辽东栎、大叶白腊、蒙椴形成的茎流中 P 的浓度均略有下降,与大气降水相比分别下降了 9.6%、27.3% 和 11.9%,表明上述树种的树体表面对 P 具有一定程度的吸收和吸附作用。Al 元素在各树种茎流中与降雨相比其浓度均无显著变化,可见上述树种对 Al 元素未见明显的离子交换。

表 4 落叶阔叶混交林生长季中各树种茎流元素的平均浓度及变异系数

Table 4 The mean and coefficient of variation of nutrient concentrations of the tree species in all the growth season

树种 Species	项目 Items	N	P	K	Ca	Mg	Al	S
辽东栎	平均浓度 ^①	2.797	0.267	4.62	1.805	0.423	0.077	3.830
Oak	变异系数 ^②	0.288	0.456	0.548	0.786	0.713	0.850	1.380
棘皮桦	平均浓度	5.516	0.368	13.802	4.367	0.737	0.106	5.327
Dahurian birch	变异系数	0.259	0.544	0.434	0.661	0.389	0.909	1.064
五角枫	平均浓度	4.638	0.315	10.150	1.856	0.459	0.077	4.868
Maple	变异系数	0.427	0.408	0.734	0.781	0.606	1.03	1.613
大叶白腊	平均浓度	3.856	0.214	8.247	3.043	0.581	0.074	5.279
Ash	变异系数	0.378	0.424	0.615	0.501	0.357	0.473	1.075
蒙椴	平均浓度	5.178	0.260	2.478	1.654	0.353	0.090	5.022
Mongolian linden	变异系数	0.683	0.417	0.468	0.688	0.541	1.034	1.110

①Average concentration ②Coefficient of variation

表 6 为与林外雨水相比较的落叶阔叶林不同树种茎流元素浓度的高低顺序的变化情况。表中可见与林外雨相比,除 Mg>P>Al 的顺序未改变外,茎流雨中 N、K、Ca、S 的浓度顺序均发生了明显改变。辽东栎、五角枫、大叶白腊茎流元素表现出相同的浓度高低顺序,而棘皮桦与蒙椴各不相同。上述情形说明,在树体表面对茎流中离子的离释及吸收吸附过程中,不同树种对不同元素表现出不同的选择性吸收效应。

表 5 落叶阔叶林不同树种茎流与降雨间的浓度比较

Table 5 The comparison of nutrient concentrations of the tree species between stemflow and rainfall

项目 Items	N	P	K	Ca	Mg	Al	S
辽东栎 Oak	+	0	+	0	0	0	+
棘皮桦 Dahurian birch	+	+	+	+	+	0	+
五角枫 Maple	+	+	+	0	0	0	+
大叶白腊 Ash	+	0	+	0	+	0	+
蒙椴 Mongolian linden	+	0	0	0	0	0	+

备注:显著性水平为 0.05。+表示差异显著,茎流浓度显著高于降雨浓度;0 表示差异不显著,茎流浓度与降雨浓度无显著差异。Explanations: The significance level is 0.05. + represents that nutrient concentrations of stemflow were higher than nutrient concentrations of rainfall significantly. 0 represents that there was no significant difference between them.

表 6 落叶阔叶林不同树种茎流元素浓度顺序变化情况

Table 6 The comparison of sequence of nutrient concentrations of the tree species in stemflow and rainfall

项目 Items	元素浓度顺序 Sequence of nutrient concentrations
林外雨水(1)	N>K>Ca>S>Mg>P>Al
辽东栎茎流(2)	K>S>N>Ca>Mg>P>Al
棘皮桦茎流(3)	K>N>S>Ca>Mg>P>Al
五角枫茎流(4)	K>S>N>Ca>Mg>P>Al
大叶白腊茎流(5)	K>S>N>Ca>Mg>P>Al
蒙椴茎流(6)	N>S>K>Ca>Mg>P>Al

(1)Gross precipitation, (2)Oak stemflow, (3)Stemflow of Dahurian birch, (4)Maple stemflow, (5)Ash stemflow (6)Mongolian linden stemflow

表 7 为落叶阔叶混交林中茎流的元素浓度及淋溶量,反映了由各树种茎流的元素浓度及淋溶量的综合效应。由表中可见,落叶阔叶混交林中茎流雨水化学元素的淋溶量较小,各种元素的年淋溶量一般在 $2 \text{ kg/hm}^2 \cdot \text{a}$ 以下。在 1994 试验年度,茎流雨水中年淋溶量较高的元素有 K、N、S,分别为 1.393、1.1917、 $1.14 \text{ kg/hm}^2 \cdot \text{a}$ 。虽然茎流雨量及其所含的元素总量和淋溶量较少,但茎流雨中所含的元素离子均为可利用态,并能直接到达树木根系四周,对树木营养生长的养分供应具有特殊的意义。同时,对于树干上附生植物如苔藓等生长的影响也应引起足够重视。表中可见,与林外雨水相比较,P 的浓度表现为负增量,表明在冠层交换过程中,以树木枝叶对 P 的吸收吸附占优势,使得 P 元素浓度有所下降,因而出现负值。这一现象应引起高度重视,因为本来 P 素在大气降水中的总输入量就很低,而随林内起到达树木根区的部分又有所减少,这样势必对林木正常生长造成不利影响。其他元素在茎流中浓度均高于林外雨水,而以 N、S 和 K 的增加较为显著,分别增加了 53.4%、337.4% 和 124%,S 的增幅最大。从浓度变异系数上看,茎流中以 S 元素浓度的季节波动亦最大,远高于林外雨水。大气中硫的主要来源是燃料,如煤和石油,S 在茎流中的高浓度可能表明该区大气干沉降中具有较高含量的硫含量。

表 7 落叶阔叶混交林茎流元素浓度、变异系数及淋溶量

Table 7 The nutrient concentrations, coefficient of variation and nutrient depositions in stemflow in deciduous broad-leaved forest

项目 Items	N	P	K	Ca	Mg	Al	S
平均浓度 ^① (mg/l)	4.004	0.260	4.928	1.900	0.397	0.082	4.287
浓度变异系数 ^②	0.430	0.393	0.539	0.631	0.553	0.872	1.190
年淋溶量 ^③ (kg/hm ²)	1.192	0.091	1.393	0.541	0.120	0.028	1.143

①Average concentration ②Coefficient of variation ③Input per year

从元素浓度高低顺序来看,在林外雨水中为 $N > K > Ca > S > Mg > P > Al$,而在落叶阔叶混交林中为 $K > S > N > Ca > Mg > P > Al$ 。可见,与林外雨比较,N、K、Ca、S 4 种元素的浓度大小次序在茎流中均发生明显变化,而 Mg、P、Al 的相对顺序在各林分中均无变化。

参 考 文 献

- 1 魏晓华,周晓峰.三种阔叶次生林的茎流研究.生态学报,1989,9(4):325~329
- 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 Cooks G W. *The Control of Soil Fertility*. Crosby Lockwood and Son Ltd,1967.179
- 4 鲁如坤,史陶钧.金华地区降雨中养分含量的初步研究.土壤学报,1979,16(1):81~84
- 5 卢俊培.海南岛尖峰岭半落叶季雨林生态效应的研究——冠层淋溶.热带林业科技,1989,1:1~6