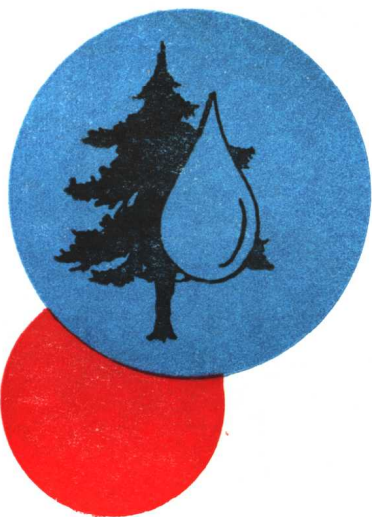


林业技术知识丛书



● ● 中国林学会 主编

森林与水

● ● 中国林业出版社

林业技术知识丛书

森 林 与 水

中国林学会 主编

马 雪 华 编著

中 国 林 业 出 版 社

林业技术知识丛书

森 林 与 水

中国林学会 主编

马 雪 华 编著

中国林业出版社出版（北京西城区刘海胡同7号）
新华书店北京发行所发行 河北昌黎县印刷厂印刷

787×1092 毫米 32 开本 3.25 印张 62 千字

1987 年10月第1版 1987 年10月第1次印刷

印数 1—3,000 册

统一书号 16046·1379 定价 0.75 元

ISBN 7—5038—0030—5/S.0022

前 言

森林与水的关系主要是谈森林对水的影响。在19世纪中期至20世纪初期，欧美各国开始研究森林对水的影响，其中包括了森林对周围水分状况影响的观测试验。研究森林与水的关系，其主要内容有森林对大气降水、土壤水分、径流及林地的蒸发、蒸腾等影响。

我国是一个文明古国，对于茂密森林和植被的蓄水和保土作用，古人曾作过详细的描述。20年代开始对不同森林植被对地面径流和土壤流失的影响进行观测。60年代以后才较系统地研究森林与水的关系。

随着社会经济的发展和科学水平的提高，要求保持丰富优质的水资源，日益成为世界各国人民关注的重要问题。1965年，在美国宾夕法尼亚州大学召开了国际森林水文学的学术讨论会。至今，森林与水的研究已逐渐成为一门新兴的中间学科——森林水文学，并已列入一些国家林业高等院校的课程。目前，美、日等国在测试仪器和装置上都采用先进技术，如采用中子散射、无线电遥测等现代化装置，把一些繁重的野外观测工作转入实验室内控制，并做到预测预报水情的变化。

森林的水源涵养、水土保持、调节河流流量等有益作

用，目前愈来愈引起我国人民广泛的重视。森林对水影响的研究，已逐渐在全国各林区开展起来。有的地方已从单项水文因素的测定，转向综合性森林水分循环、水量平衡的研究，同时着手开始森林水文效益的计量评价工作。

本文就森林的水文性质作一些简要介绍，仅供这方面感兴趣的同志参考。文中有不妥之处，请予以指正。

编 者

1986年

目 录

一、大气降水与森林	(1)
(一) 森林对增加降水的影响	(2)
(二) 森林与地面积雪、融雪	(4)
(三) 森林对大气降水的再分配	(6)
二、林地降水种种	(8)
(一) 林外、林内降水	(8)
(二) 林冠截留降水	(8)
(三) 树干流水	(12)
三、林中海绵层——苔藓、枯枝落叶层	(15)
(一) 不同的森林和自然条件枯枝落叶量不同	(16)
(二) 枯枝落叶层与土壤养分循环	(18)
(三) 枯枝落叶层的水文性质	(19)
四、林地的一项主要水分消耗——蒸发蒸腾	(25)
(一) 森林植物对水分的需要	(25)
(二) 林木的蒸腾	(28)
(三) 地表覆被层的总蒸发	(30)
(四) 有林地和无林地的总蒸发	(32)
五、土壤水分	(35)
(一) 土壤水分状态	(35)
(二) 土壤水分——物理性质	(40)

(三) 土壤水分的贮存和移动	(46)
六、森林与径流	(51)
(一) 地表径流 (地表水)	(52)
(二) 地下径流 (地下水)	(55)
七、森林防止土壤侵蚀的作用	(60)
(一) 土壤水蚀的因素	(60)
(二) 森林的保土作用	(62)
(三) 防止土壤侵蚀的途径	(65)
八、森林与水质	(67)
(一) 森林对水质的影响	(67)
(二) 森林是污染水的净化剂	(69)
(三) 人类活动对水质的影响	(71)
九、森林涵养水源及调节河流流量的作用	(73)
(一) 森林与洪水	(73)
(二) 森林与枯水流量	(79)
(三) 森林对河流年径流量的影响	(81)
十、自然界水分循环与森林	(84)
(一) 水在自然界的分布	(84)
(二) 水循环与水量平衡	(86)
(三) 森林中水分循环与水量平衡	(88)
(四) 森林水量平衡测定方法	(91)

一、大气降水与森林

大气降水由于气候状况不同，有固态降水和液态降水二种。常见的固态降水有雪、雹、霜、雨淞、雾淞等；液态降水最为常见的是雨，当温暖、饱和的湿空气受到冷却时，就凝结成水珠，出现降水。上述现象产生在冰点（零度）以上时，就形成雨；发生在冰点以下时，就变成雪。当水汽凝结成一些悬浮的小水珠时，就成为空中的云或近地面空气层中的雾。水汽直接凝结在一个冷表面上时称为露。

降水量的多少及其分布情况，主要与气象条件、季节、地形和其他因素有关。降水及对土壤水分供应的状况，影响着树木的分布和生长。同时，森林的存在对大气降水有一定的影响。

树木生长在一块土地上，必须有能满足树木在蒸腾和光合作用时对水分的最低要求，这个最低需水量大约每年要有126—205毫米的降水；生长速度中等的森林最低供水量为380毫米；生长快的森林每年约需水量至少在500—760毫米。如果扣除地表流失、树冠截留、直接蒸发等水分消耗，每年需要的降水量就要超过上述数字。在北方寒冷地区，在漫长的冬季，降水几乎没有受到任何损失，在短暂的夏季，蒸发量也很微小。因此，在这种条件下，即使降水量很低，森林仍可

生长得很好。在北方要使森林维持中等生长速度，至少需要380毫米的降水量，南方则需要890—1000毫米的降水量。一般说来，要维持稀疏的木本植物的生长（矮松-桧柏林等）大约需要380毫米的年降水量，而郁闭的针叶阔叶混交林则需要635毫米以上的年降水量。

另一方面，森林的存在对大气降水又有一定的影响。

（一）森林对增加降水的影响

森林对降水量的增加所能产生的影响，有以下几个方面：森林可以阻挡气流，促使气流的升高和涡动，促进水汽的凝结；森林可以阻留大量降水，使降水不至一下沿着地面流入溪河，因而蒸发到大气中的水量要比无林地上多；森林大量蒸腾消耗水分，需要热量较多，因而森林上空，不但气温低，湿度大，容易形成一股湿润的冷气团，造成下降气流，并增加大气压力，促使水汽的凝结和降水的降落。所以有了森林，容易形成新的降水，并且可以使降水量增加。森林对降水的这种影响，常常因降水的种类，森林的状况而不同，有时比较显著，有时不太显著。据苏联研究，有了森林，一般年降水量可以增加1—25%左右，并由此得出结论，在草原上进行造林以后，可使当地的降水量增加。

森林对降水的影响，更为重要的是，森林对于雾等凝结水具有较强的捕获能力，森林以它的多层次结构和茂密的枝叶可以从雾中凝聚相当多的水，当这些雾水落到地面上时，就等于降雨，俗称树雨。在美国离太平洋海岸3公里的一个山

脊上的雾带内，雾滴使林冠下的降水量要比空旷地多 $1/4$ 。日本北海道东南海岸的“防雾林带”，在正常的风速下，每6亩表面积，每小时能收集到1364升的雾水，在相似条件下，草地上凝结的露水还不到这个数量的 $1/6—1/10$ 。我国江苏省射阳县沿海边的防护林中比没有防护林带的干旱地区增加露水60%。林缘附近的凝结水量较空旷地增加26%。森林为什么较田野能获得较多的凝结水呢？由于森林的枝叶占有巨大的表面积，晚间能向大气放出较多的热量。田野或农田所占的表面积相应较少，向大气放出的热量也较少，因而，森林冷却得较快，在枝叶上凝结的水较多，田野冷却得慢，凝结的露水就少。同样原因，当夜间温度降至零度以下时，森林中形成的霜比田野多。有雾的时候，大气中充满了许多悬浮的小水滴，在田野上空，由于没有任何阻挡，这些小水滴就随之飘浮开来而不能降落，但一遇到森林以后，它们就被林木阻留下来，最后流到地面；如果温度很低，它们就在枝叶上结成雾凇。一般说，针叶林由于具有茂密的枝叶，叶面积大，能够截拦较多的雨量，阻拦露水也较阔叶林多。

根据世界各国和我国有关森林增雨效益的研究结果来说，有的地方增雨效果显著，有的地方就不那样显著。在印度南部平原地区，由于造林的结果，增加雨量12%（约150毫米）。据我国东北长白山林区、甘肃兴隆山、江西太岳山等地的试验结果，森林能使降雨量平均增加2—5%。倘若把森林增加大气凝结水估算在内，则森林能提高平均降水量约为10%左右。

(二) 森林与地面积雪、融雪

雪是一种固态降水形式，是大气降水的重要来源之一，而且它的实际意义较大。北方寒冷气候带内的森林中，地面积雪量占年降水量的比例较大。在南方温暖气候带的森林，雪在年降水量中的比例就相应减少。

森林的种类、密度、林龄直接影响到地面的雪量。密度大的森林，创造了大量积雪的良好条件。松散、湿润、棉花状的降雪能大量积留在树冠上，特别是树冠稠密的针叶林，林冠截留雪量较截留雨水的比例大。被截留的雪，大部分落到林地地面上，增加到达林地地面的降水量，同时增加土壤含水量。林中空旷地的雪贮量最多，因为这里的积雪没有被树冠阻留，也不致被风吹散。44年林龄橡树林林中空旷地的积雪总量为136.5毫米，田野的积雪量为108.1毫米；橡树林林中空旷地较田野多28.4毫米。另外，阔叶林保持积雪较针叶林多40—50%。林木的年龄对地面积雪的保持具有一定的影响，随着林龄增大，保持的雪水量相应减少。据测定，幼年龄松树林较老年龄（60—90年）松林，多保持积雪9—10%。

雪水不但能湿润土壤，供给农作物及森林植物所需水分，同时雪水能够补给河流水源。森林中积雪较田野多，它能形成一个较厚的雪被物层，这对防止土壤深层的冻结和植物免受冻害具有良好的保护作用。雪被物层很厚的土壤，在多数情况下，几乎完全不冻结或冻结不深。当雪被物厚15—50厘米时，有雪被物层的土壤温度与无雪被物层的土壤温度

相差约达15—20℃，雪被物层愈是疏松，温差也愈大。冬天，林中积雪可不致使林地土壤冻结，从而，保证了地下水源源不断地供应使河流保持正常的水位。此外，在严寒的冬季，许多不抗寒的森林植物和动物（如在枯枝落叶层下面过冬的蚯蚓等），在土壤的雪被物层下得以保暖，免于死亡。积雪还可以改善森林采伐条件，减少树干碰击石块而遭到损坏。同时，均匀的雪被覆盖层能够改善木材的流放。

由于林中较少受到太阳辐射热能及风的影响，森林中的积雪能够较长久地保持。一般森林中融雪时间较晚、较长，比农田积雪多保持10—30天之久。森林中雪的融化快慢速度因林种、森林密度、林龄及林地所处的海拔、方位及地形等条件而有所不同。一般来说，密度大的林分融雪时间要比稀疏的林分长久些。由于林分随着林龄的增加而变得稀疏，密度变小，林龄大的林分融雪时间要比林龄小的林分早些，时间长些。

一般融雪先在海拔低的森林中进行，然后逐渐延伸到海拔高的森林中。山坡的方位对雪的融化有显著的影响，一般分布在南坡、东南坡、东坡（即阳坡和半阳坡）的森林比分布在北坡、西北坡（即阴坡及半阴坡）和山洼地森林中的雪融化得快，保持的积雪较少。因而，采用抚育采伐可以减少森林的密度，增加冬天降至地面的雪量，并且加速融雪的速度。

因为林中融雪速度较农田慢，融雪时间较长，所以在森林覆盖的集水流域，春天融雪形成的汛期要比无林流域晚半个月至1个月，最大汛水流量也较小。同时汛期水流量过程较平缓、均匀。这就是森林能够调节春季融雪径流的缘故。

由上述情况说明，森林不但能增加积雪量，增加到达地面的雪水量，提高土壤水分含量。同时它能延长融雪时间，调节融雪径流，即减少最大汛期流量，延长融雪的汛期。

（三）森林对大气降水的再分配

天地自然界之间进行着无休止的搏斗，雨猛击土壤层，同时随着水把土冲走，太阳和风则很快地把水分夺走。大地设置了层层防御工事，保护着它的表面。森林就是大地上一个主要防御工事，它不但以森林覆盖层保护着土壤表层免受水蚀和土蚀，同时以林木的高耸繁茂的枝叶组成林冠层，疏松而深厚的枯枝落叶层截持大气降水，从而对大气降水进行重新分配。

降落到森林上部的降水，一部分被林木的树冠层（树叶、树干）所截拦（约占降水总量15—45%），但大部分雨水穿过树冠之间的空隙直接落下或从林冠冠缘滴落下来，到达苔藓、草被、枯枝落叶层。被树冠截拦的降水量，除了很小一部分用于湿润枝叶外，大部分直接蒸发返回大气中。还有很小一部分沿着树干流入树根周围的土层中。到达草被、枯枝落叶层的降水，除了被草被和枯枝落叶层吸收和蒸发一部分水分外，其他剩余的水，一部分沿着地表流走（即成为地表径流），另一部分渗入土中，增加土壤水分含量。如果土壤含水量超过饱和时，水就继续往下渗，至土壤母质风化层，补充地中和地下径流量。

森林对降水分配情况，在各种条件下是不同的，它取决

于林分组成、密度、林龄及所处的土壤、地形和气候条件。美国科维塔地区,每年降水量为1925毫米,树冠截留量占降水总量18.75%;消耗于蒸发的水分占6.25%;蒸腾占20%;其余的水分变成地表径流及渗入土壤,这部分水约占55%。同时,在草被覆盖集水区,蒸发量占总降水量17.5%;蒸腾量占15%;草被截留降水量占6%;地表径流量占61.5%。勃劳克斯(Brooks)总结世界各地的水分分配情况,见表1(以百分比计算)。

表1 森林降水的水分分配

森 林	农 耕 地	裸 露 地
降 水 量 100	100	100
径流流出量 53	45	70
截 留 量 15	—	—
蒸 发 量 7	17	30
蒸 腾 量 25	38	—

二、林地降水种种

(一) 林外、林内降水

林地降水分为林冠上降水及林冠下降水。林冠上的降水量基本上与空旷地的降水量相同，因此它又可以称为林外降水量。林冠下降水量则称为林内降水量。林内降水包括从树冠间隙穿落下来或从树木的茎叶滴落下来到达地面层的雨水，以及沿着树干流下来的雨水。下雨时，试把林内与林外的雨量作一比较，可以发现，林外雨量大，林内雨量小。当绵绵小雨时，有时可以感到林外有雨，林内无雨。这是因为茂密的树冠象一把伞似的，它可以阻留一部分雨水，从而，使林冠下的降雨量常常较林冠上的雨量小得多。一般说，若以林外降雨量为100%计算，则林冠下的雨量约占60—85%。树冠截留降水量约为15—40%。林内降水，由于树冠的截留，其降雨强度大为减弱。

(二) 林冠截留降水

降至林冠上的雨水，有一部分被树冠截留住，这部分雨水称为树冠截留量，被树冠截留的雨水，除了很小一部分用

来湿润枝叶外，其大部分被蒸发，返回大气中。枝叶稠密，叶面粗糙的树种截留的降水较多，叶面光滑，枝叶稀疏的树种则截留较少。常绿树种对雪的截持力较落叶树种强。冠幅愈大，叶片总量愈多，截留水量愈多。枝条分布形状对截留降水也有影响，梳子状分布的枝条和侧枝向下斜的林木截留降水量最少，刷子状分布的枝条和侧枝向上斜的林木截留降水量较多。

林冠截留降水量主要取决于林分组成、林龄、郁闭度，并与降雨量和降雨强度有关。从树种来讲，针叶林截留降水量较阔叶林多。茂密的针叶林截留降水约为25—45%，而阔叶林则为20—25%。各种树种对降雨的平均截留百分比是不同的，落叶松截留降水为15%；松树为20—25%；云杉为40—60%；冷杉约为40—80%。林冠截留量与林分的郁闭度有关，郁闭度愈大，则其截留降水量就愈大。四川西北部高山云杉、冷杉林，林龄在140年以上，郁闭度为0.7时，林冠截留量为24%；郁闭度为0.3时，林冠截留量则为12.0%。65年生的松林，郁闭度为1.0时，截留降水量27%；郁闭度0.4—0.5时，截留降水量为11%。同一树种，林木的郁闭度和叶片（针叶或阔叶）量在天然发育过程中随着林龄增长而变化，从幼龄到中龄，随着林龄的增高，叶片量相应增加，林冠的截留降水量也随之增加。当林分接近近熟龄和成熟龄时，林分的叶片量逐渐减少，林木逐渐稀疏，其林冠截留降水量也随之减少。林木从它的幼龄开始就具有明显的截留降水作用，如7年生的刺槐林可以截留13.5%降水量，5年生的白榆、臭椿林分别可以截留15%和7.4%的降水量。林

木到达中龄时，由于叶片量的迅速增加，达到最高值，其林冠的截留量也随之增加，达到最大值。从山毛榉林中，可以发现林冠截留降水量与林龄的关系（见表2）。

表2 林冠截留降水量与林龄的关系

林 龄 (年)	20	50	60	90
林冠截留降水量 (%)	20	27	23	17

在同一林龄中，单层林分的降水截留量少于复层林分。150年生纯松林林冠截留20%的降水，但是稠密的复层云杉林则可达35%。

林冠截留量与降水形态和特征有关，一般固态降水在林冠上遗留的要比液态降水稍为少些，而且林龄愈高，林冠截留降水的百分比愈小。林冠对液态降水比对固态降水截留多（表3），大约增加20—50%，落叶树种尤为明显。

表3 不同林龄的林分在郁闭度为1.0时林冠对降水的截留量

林 龄 (年)	12	33	65	90	150
液态降水的截留量 (%)	20	32	27	25	20
固态降水的截留量 (%)	16	25	20	15	10

在林分郁闭度和叶量相同的条件下，降雨强度愈大，则林冠对降水的截留量愈小。降雨量愈大，降雨时间愈长，林冠截留降水量的百分比愈小，因此，小雨比大雨截留得