

对森林能否增加降水和年径流总量的再探讨

李贵玉, 徐学选*

(西北农林科技大学 资源与环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 森林对降水的影响, 森林与流域年径流总量的关系是两个长期以来一直存有争议的问题。本文结合国内外几十年来在此领域的研究材料对上述问题做了重新探索、研究。研究结论指出: 森林若处在迎风坡上降水起始高度与降水终止高度之间时, 森林具备增雨功能, 但是否表现出增流取决于降水贡献损耗平衡值; 森林一般不会改变降水区域总的降水量, 只是改变了降水在降雨区的雨量分布情况; 研究尺度的大小因区域特殊性对研究结果产生重要影响等一系列新视角、全方位的分析结论。并提出降水贡献损耗平衡值, 流域面积增流功能最佳显现区间 T 值($[a, b]$), 降水终止线, 区域等降水量曲线等一系列表述水文现象的新概念。

关键词: 森林; 降水; 年径流总量

中图分类号: S715.7

文献标识码: A

文章编号: 1001-7461(2006)01-0001-06

Rediscussion about the Effects of Forests on Precipitation and Annual Runoff

万方数据

LI Gui-yu, XU Xue-xuan

(College of Resource and Environment, Northwest A & F University, Yangling Shaanxi 712100, China)

Abstract: The impact of forest on precipitation and relationship between forest and annual rainfall have long been two disputable issues. Based on the research both at home and abroad in recent decades, this paper rediscusses the above problems in new visual angle and aspect. It showed that forest has the function of increasing rainfall if it is growing in a facing wing gradient between the height where rain begins and the height where rain disappears, however, whether forest can increase precipitation depends on the balance point between the forest's contribution and loss for the rainfall; forest usually cannot change the total amount of rainfall in a raining region, while it just changes the spatial distribution of the rainfall in a raining region; studying areas in different scales had also made different impacts on the results, and so on. The authors also put forward some new conceptions to describe phenomenon of hydrology, for example, the balance point between the forest's contribution and loss for rainfall, the best range T ($[a, b]$) to show the impact on increasing the amount of rainfall in different watershed areas, the height of rainfall disappearing, the curves of regional rainfall.

Key words: forest; rainfall; annual total amount of runoff

森林水文学是研究森林植被对水分循环和环境影响的一门科学。森林水文学自产生以来就打下了地域性的烙印^[1]。自森林水文学诞生以来, 很多学者针对森林是否能够增加降水, 能否增加流域年径流总量的问题作了深入细致的研究, 这种研究至今还没有停止。他们在各自的研究区域得出许多不同的

结论。但这些结论归结起来主要表现为两个方面的分歧, 一是森林能否增加降雨, 二是森林能否增加流域的年径流总量。

森林与降水、森林与径流的关系能够反映一个林区的水文区域性规律。在林区水分循环的各个环节中, 既有共性的一面, 又因地域差异性和森林类型

收稿日期: 2005-04-08 修回日期: 2005-06-06

基金项目: 国家自然科学基金(40471126, 90202011), 中国科学院“西部之光”人才培养计划, 中国科学院科技创新(KZCX2-06)

作者简介: 李贵玉(1981-), 男, 山东苍山人, 硕士研究生。

* 通讯作者: 徐学选(1966-), 男, 陕西大荔人, 博士, 副研究员, 主要从事土壤水分生态、生态水文、水资源利用方向研究。

的多样性而表现出差异,甚至得出相反结论。森林不是影响降雨的主导性因子,在如气候、地形等其他因子的激发下森林才有可能表现出增雨功能;其他条件不具备时,森林就体现不出增雨功能。在森林能够增雨的前提下,如果增加的降水大于森林自身引起的损耗,森林则表现出增流功能;反之,森林表现出减流功能。在森林不能增加降雨的情况下,如果有由于其他特殊地理因素的存在,森林自身生长需水量不大,同时能够抑制蒸发、含蓄水源,同样能表现出增流功能。

对上述问题的研究、探索有利于该学科的不断完善和进一步发展。更加深入了解森林和水的相互关系与影响。为我国的生态林业建设和水土保持林草措施的配置提供理论依据。

1 森林与降水

1.1 降水的类型与降水形态

降水以降落方式分为水平降水(如雾、霜、露等)和垂直降水(如雨、雪、雹等)。降水以形成条件分为地形雨、对流雨、气旋雨、台风雨。如果森林能够增加降水,它只能在小范围降雨(如地形雨、对流雨)和拦截水平降水,通过自身对小气候的影响来实现。

1.2 森林对降水的影响

关于森林与降水的关系存在着两种截然相反的观点和结论:一种观点认为森林具有增雨作用,另一种观点认为森林具有减雨作用。

(1) 增雨作用的理论依据^[2,3]:

① 森林枝叶繁茂,根系发达,可从土壤中吸收足够的水分供林木蒸腾消耗,使林区的空气湿度大于无林地区,为大气的垂直降水提供了条件。

② 森林的反射率比邻近的无林地区小,吸收率大。这样被森林吸收并用来产生降水的能量将比反射率大的无林区要多。

③ 森林植被通过其树高和树冠以改变下垫面的粗糙度,使下垫面的粗糙度增大,增加局部的大气湍流,一定程度的抬升气流,使水汽向上输送,降低了凝结高度,增加了水汽的饱和度,有利于促进降水。

④ 密度大的森林,创造了大量积雪的良好条件。降雪通常比林外厚度大,尤其森林成片状或带状分布时,在有风的条件下,降落在地上的雪在风的吹动下重新分配,林区边缘一般比林带中心和空旷地的积雪要厚得多。

(2) 减雨作用的理论依据^[2,3]:

① 森林不可能在很大程度上影响由大气环境决定的地区降水总格局。森林的蒸腾虽能增加大气中的水汽含量,但增加数量有限。

② 森林增加山地的有效高度,能使降水有所增加,但森林是透风体,森林对气流的抬升作用远不如地形明显,故增加降水是有限的。实际观测到的林区降水比相邻的无林区多,这是不争的事实。造成这种结论的原因有两个:(a)通常森林多分布于山区,而山地由于地形的影响往往使降水增加。一般来说,这种地形影响大约为每升高 100 m,年降雨量可增加 40~80 mm,以此计算 25 m 高的森林每年可增加地形降水 10~20 mm^[3](抬升高度远大于树高本身,因此这样计算结果是偏小的)。(b)林区风速通常较无林地小,风对雨量观测结果有一定影响。

③ 我国气象学家赵九章认为森林抑制林区间的地面温度的升高,削弱对流,从而可能使其上空的大气降水量减少。

④ 周国逸^[9]在南亚热带和热带边缘的研究认为:在热带和亚热带地区,由于对流雨是降水的主要来源,在无林区地表及其上空,小气候的变化远较有林地的变化大,热对流作用剧烈,夏季的午后常常会发生无林地的降水较森林地大的情况。⑤ 森林截流降水主要供雨后蒸发,是降水的损失过程,应从降水总量中扣除,从而减少了降水。

以上结论大都是区域性的表征和反映。并没有将其发展而上升到一般性的、普遍性的结论。因此,在诸多领域便产生了分歧。同时,由于研究方法的局限性、差异性,森林本身的复杂多样性,区域气候条件和地理环境的差异性或不可比性等决定了该领域的研究要达到高度统一有很大的难度。

以上理论分别在不同程度、不同方面表述了森林对降水的可能影响,但森林却不是导致降水的主导因子,只不过是在一定条件下被激化或抑制。由于其他降水因子的差异,森林在降水中的作用大小不同,表现形式或影响方式不一,作用性质也不同。如树高有时具有促进降水的作用,有时无明显相关性。

1.2.1 森林在地形雨中的作用 水汽饱和并开始形成雨滴下落到地面的高度称为该次降雨的起始高度,同样存在另一高度,在此高度以上降水消失,此高度称为该次降水的终止高度。在二者之间还存在一个降水最大高度 H m; 此高度以下起始高度以上,随着高度增加降水逐渐增加;此高度以上终止高度以下,随着高度增加降水逐渐减少(山要足够高)。森林若处在迎风坡上降水起始高度与降水终止高度

之间时,森林则表现出增雨功能。如果在水平高度上有两个测雨区,一个为有林地,另一个为无林地,分别放置若干雨量筒测量某一次降雨量,测量结果必定是有林地大于无林地。原因:由于森林冠体高大,高则十几米至几十米,加之阻挡可抬升气流达数百米或上千米,改变原来上坡上爬的趋势,使有林地测得的雨量比无林地大。一般来说,地形影响降水水平为:地形每升高 100 m,雨量增加 40~80 mm,依此计算 25 m 高的森林每年可增加地形降水 10~20 mm(假定气流沿森林上部光滑曲面爬升)。而实际情况并非如此,增加降雨不止 10~20 mm,而是要远大于此。增加雨量的多少依地理位置、云层厚度、空气含水量多少等因素有关,可用雨量垂直梯度来表示。雨量垂直梯度越大,森林所表现的增雨功能越大。一般趋势:南方大于北方,东部大于西部。同时若森林处在降雨起始高度以下和降雨终止高度以上,森林表现出与降雨的无关性。

森林一般没有改变降水区域总的降水量,只是改变了降水在降雨区的雨量分布。森林在增加某一高度(坡面高度)区域降水的同时,其他高度的雨量将减少。从表观上看相当于把山坡的等降水量曲线向下平移了一段距离,而实际上我们测得的降雨结果比理论值大,它真正代表的是某一山坡坡面高度加上森林的影响高度之和所对应高度的降水量。

1.2.2 森林在增加水平降水中的作用 森林增加水平降水主要是通过捕捉雾滴来实现的,这是公认的事实,有各国的观测实例加以证实。在美国加州威尔逊山,10月到5月间,树高 12~14 m 的云杉、松树等对雾滴的捕捉作用使林内的雨量为林外雨量的 2.0~2.7 倍。日本海岸防雾林在风速为 6 m/s,气流含水量为 200~250 mg/m³ 的情况下,1 m 宽的防雾林 1 h 大约可捕获 5 L 水,因而林后雾中的含水量大约比林前减少约一半。Jurik 和 Ekern(1978)使用特殊雨量器在夏威夷冒纳罗亚山进行了对比观测,在迎风坡 1 500~2 500 m 之间,雾降水量可达 750 mm,占当地年降水量的 50%或更多,在 2 000 m 以上,由于年降水量已较少,雾降水量更相当于年降雨量的 65%~70%。在背风坡,雾降水量约为 250 mm,占年降水量的 25%^[4]。我国热带地区,有人认为热带雨林具有增加水平降水的作用^[5],在西双版纳,仅雾一项全年可达 70~80 mm,而 20 世纪 70 年代后森林遭到破坏,使水平降水大大减少。

常年以降雪为主的地区,带状森林对雪的捕获作用也是相当大的。林带内风速小,创造了大量积雪

的良好条件。一是林内空旷地没有被树冠阻留,也不致被风吹散。二是降落到地面的雪在大风的吹动下好似沙漠中蠕动的沙粒沿地面移动或贴近地面飘动。在此情况下降雪产生了二次分配,垂直于风向的林带将截获大量积雪,尤其是在林带的边缘地带更为明显。

1.2.3 森林在对流雨中的作用 热带地区以对流雨为主,森林强大的蒸发散对对流雨具有很大影响。雨后的森林蒸发面往往是裸地的好几倍甚至几十倍,它的蒸发速率不小于水面蒸发。由于森林强大的蒸发散,使得森林上方空气含水量很大,它可以饱和和经过此地的不饱和气流并阻挡抬升,增加降雨次数和降雨强度。据研究^[6-7]在海南岛万宁县 20 世纪 50~60 年代的 2~5 月间,经常在上午 8~10 时该县西南部打雷降雨,日雨量 30~40 mm,年降雨量 2 900 mm,从来不发生干旱,可 70 年代破坏森林后,该地区几乎不出现“西南雷雨”(即森林地形雨),年降雨量降至 2 500 mm 左右。海南陵水县年降雨日数 70 年代后期比前期平均减少 9 d,比 50 年代减少 13 d,年降雨量 1966~1975 比 1956~1965 年平均减少 105.9 mm,1976~1979 年又比前 10 年平均减少 158.5 mm。

在亚马逊热带雨林区,鉴于已知道的水汽流动和降水研究结果,可以断定水汽必须在该地区进行再循环,即亚马逊地区的总降水量大于进入该地区的总水汽量。利用现有资料估计有 50%~60% 的降水是来源于通过蒸散的水汽再循环^[8]。

以上几种是在特定背景条件下森林所体现的增雨作用,但是单纯说森林具有增加降雨的功能是不确切的,它不是影响降水的唯一主导因素。尽管森林的减雨功能有时在发挥作用,但对降雨的负面影响在雨量上不明显。综上所述森林与降水的关系可表述为:在通常情况下森林与区域性降水无明显相关性,但在特定情况下森林会表现出增雨作用,有时会成为增加降水的主导因子。但这是其他环境因子的特殊性赋予森林的,是特殊的,不具有一般性。森林与降水的问题没有唯一解。

2 森林和径流的关系

森林能否增加径流总量的分歧可分为两个方面:一是森林能够增加径流总量,一是森林的存在会减少径流总量(以后简称增流和减流)。但是,流域的水源主要来自降水,森林能否增流必须与森林能否增雨结合起来。在森林能够增加降雨的条件下,存在

增流的可能性,若森林表现不出增雨作用,则森林一般只能表现为减流作用。

森林与水的关系的科学研究始于 20 世纪初期,早期主要是从森林对河川径流量的影响来进行这一研究^[8]。森林对河川径流的影响也是该学科一直争论不休的问题。森林是一个巨大的耗水系统,它消耗了大量的降水。森林耗水的主要途径是通过林冠截流、枯落物吸收和蒸散。温带针叶林带林冠截流占年降水量的 20%~40%^[9,10],亚热带杉木林、马尾松林和季风带阔叶林林冠截流分别占年降水量的 15%、25%、30%^[11~13]。对我国不同气候带及其相应的森林植被类型林冠截留分析表明:截留变动范围在 11.4%~34.3%,变动系数为 0.68%~55.05%^[14]。马雪华^[15]以不破坏林地死被物结构为原则,对林冠下苔藓、枯枝落叶拦截雨水进行研究,其结果表明:在一般情况下,当降雨量小于 5 mm 时,苔藓、枯枝落叶层几乎可以全部吸收降下的雨量,当降雨量大于 5 mm 时,苔藓、枯枝落叶层开始出现渗水,贡献给土壤;当降雨量接近 8 mm 时,苔藓、枯枝落叶层的蓄水量达到最大饱和值,接着开始下降。邓世宇^[16]在广西里骆生态站测定杉木林下、常绿阔叶林下的枯枝落叶最大吸水量分别是自身重量的 3.35 倍和 4.58 倍。我国不同森林水文观测站实际蒸发散研究结果:会同杉木人工林为 865.03 mm,占降雨量的 81.3%^[17];里骆杉木林为 849.5 mm,占降水量的 55.2%^[18];西江坪常绿阔叶林为 929.3 mm,占降雨量的 47.8%^[18];灰桥马尾松林为 852.2 mm,占降雨量的 68.3%^[18];小兴安岭红松林为 559.6 mm,占降雨量的 87%^[19];海南岛山地雨林为 1 370.6 mm,占降雨量的 47.08%^[20];小良桉树林为 614.4 mm,占降雨量的 46.6%^[21]。从以上数据可以看出,我国森林生态系统实际蒸散量是系统水分输出的较大项,占降雨量的变化范围在 40%~90%。如果这些水汽不能在该地区进入径流,森林将会表现出减流作用。因此森林蒸发散大的地区,森林若体现增雨功能必须具备下面的条件:蒸散水汽必须能够实现内循环,并且区域水汽进入大于水汽输出。这就决定了森林增雨的地域范围只能在热带、亚热带对流雨区和其它特殊地形区,而不可能在干旱、半干旱的中西部地区。除此之外,森林还能改良土壤孔隙和结构,增加土壤的蓄水能力、下渗能力。在中亚热带杉木人工林和南亚热带地带树种的混交林和桉树林长期观测表明:土壤的水分蓄存占整个系统的 90%以上^[22]。以上所述为森林对降雨的损耗蓄存功能,这

对于流域的径流量来讲会大大减少。

2.1 森林能够增雨时森林与径流的关系

若森林使该流域的径流总量增加这说明:(1)森林在此区域具有增雨功能,否则,径流总量不会因森林的栽植或种植密度的增大而增加,因为森林本身是一个巨大的耗水系统。(2)森林对该地区降水的贡献大于自身的损耗,否则即使能够增雨,增加的降水也要被森林自身的生长而损耗掉,不会表现出增加流域径流的功能。在某一特定地理条件下一定树种、林种组成的森林体系存在着与之对应的临界值,称之为降水贡献损耗平衡值。用 E 表示,并设定此时森林覆盖率为 $A\%$ 。大于此 E 值时随着森林盖度的增加,森林在表现为增雨的同时,由于森林损耗大于其贡献,表现出减少流域径流量作用。小于 E 值时随着森林盖度的增加,森林表现增雨的同时径流总量也逐渐增加,但又存在着增长趋势的问题。在 $0\sim A\%$ 之间,随着森林覆盖度的增加径流总量增势并不是一味的增加,而是大致呈开口朝下的抛物线型。假定某一流域径流总量最大时森林覆盖度为 $B\%$,那么当森林盖度在 $B\%\sim A\%$ 之间时,随着森林盖度的增加,森林此时仍然表现出增雨、增流功能,但径流量的增势已经开始减弱直至为零;在 $0\sim B\%$ 之间时,随着森林盖度的增加森林而表现出增雨、增流功能,并且增流的增势逐渐增强直至最大值。由于增雨受气候条件的限制,因此增流也受气候因素的制约。由于降雨条件的限制,有些地区并不是每次降雨都能表现出增流,它对一次性降雨量也有最低要求,雨量甚小时雨水全被截留,到达地面都很困难时也就更谈不上增流了。

高新和等(2000)认为森林调蓄功能以森林分布的规模和森林质量为基础,在具有一定森林规模的河流集水区,森林质量的高低是决定森林与河川径流关系的重要因素,在对天山北坡山地森林与河川径流关系的研究表明“森林覆盖度低于 10% 的流域,森林具有增加河川径流量的效应;而森林覆盖度高于 10% 的流域,森林具有减少河川径流的效应^[23]。以上研究结果支持了关于森林覆盖度和降水贡献损耗临界值的观点。森林盖度为 10% 是临界点 (E),大于 10% 森林表现为减流,小于 10% 森林表现为增流。

西峰水土保持实验站在黄土高原子午岭林区的合水川和邻近的党家川设置的有林、无林小集水区的径流对比观测结果(表 1)表明:以堡子沟(森林地),杨家沟(幼林地),董庄沟(无林地)的 1957~

1962年6a降雨量、径流深、径流系数进行比较,有林的堡子沟年平均降雨量较杨家沟、董庄沟分别多16.0%、16.7%,而年平均径流深却减少3.414 mm、7.977 mm。年平均径流系数堡子沟较杨家沟、董庄沟减少0.7%、1.57%。以上研究结果说明:(1)森林在此具有增雨功能,年平均降水量:森林地>幼林地>无林地。(2)森林表现出减少年径流量的功能,年平均径流量:森林地<幼林地<无林地。黄土高原地处内陆,蒸发强烈,强大的蒸发散致使降水的大部分

被林木损耗掉,使得森林对降水的损耗大于贡献。森林覆盖度越大,蒸散量越大,并且水汽很难在当地达到饱和再次形成降水,实现其内循环。这与上面所提实例相反,但这不是对上述结论的否定,而是对它的补充和完善。类似的实验还有如1959~1962年林区的王家河和无林区的南小河实测资料。4a的平均年降水量王家河均大于南小河,年径流深却比南小河减少2.035 mm(16.9%)。

表1 有林、无林集水沟多年平均径流深对比(黄土高原子午岭区)

Table 1 contrast of average runoff depth between collecting channels which have forest and haven't

集水区	流域面积 /km ²	森林覆盖率 /%	多年平均降水量 /mm	多年平均 径流深/mm	多年平均 径流系数	资料时期
堡子沟	2.86	90.0	613.5	1.962	0.32	1957~1962年
杨家沟	0.87	27.8	526.0	5.376	1.02	
董庄沟	1.06	0	525.7	9.939	1.890	
王家河	47.80	90.0	639.2	10.028		1959~1962年西峰
南小河	27.78	0	499.8	12.063		水土保持站测定

2.2 森林不能增加地区降水时森林对径流的影响

在森林不能增加地方降水的条件下,如果蒸散量较大森林通常表现为减流。如在黄土高原干旱、半干旱区,年蒸发力大于实际蒸发力,蒸发力甚至可以比实际蒸发量大一倍,森林的生长必须引起蒸腾量的增加和蒸散量的增大^[24,25]。位于黄土高原范围内的山西省汾山林区,汾河上游的北石河岔上村流域,面积为31.7 km²,主要为云杉和华北落叶松林,覆盖率60%,刘志韬用计算公式推算得出结论:该林区多年平均年径流量较非林地减少52.0 mm^[26]。但是在某些高海拔地区,年均气温相对较低,起到抑制或减少蒸发的作用。由于山高谷深,气候湿润,蒸发力与实际蒸发量接近,在这种气森林的存在气候条件下,森林的生长并不一定引起实际蒸发量的显著增加^[27]。森林的破坏反而可以导致蒸发系数相对增加,径流降低。所以在这类地域条件下,森林覆盖率高的流域径流量却比森林覆盖率低的或少林、无林流域径流量高。在四川省西部米亚罗高山林区,岷江上游冷杉林小集水区以及长江四对大流域的对比研究指出:森林流域年径流量较少林或无林流域大^[24~26]。1960年马雪华与四川省林业科学研究所所在四川省西部米亚罗高山林区,岷江上游支流杂谷脑河的两个小集水区进行径流量观测:一个为森林小集水区(夹壁沟),面积为3.13 km²,为原始冷杉林覆盖(覆盖率达70%),另一个相类似的皆伐迹地集水区,面积为2.095 km²。1965~1967年资料表明:有林地小集水区的年平均径流量为709.37 mm,径流系数为70.2%,皆伐迹地集水区的年径流

量为275.59 mm,径流系数为27.3%,有林沟的年径流量较无林沟多433.74 mm。1969年后有林沟进行采伐,森林覆盖率下降了60%,伐后经观测,其年径流量减少380 mm。由以上实例得出结论,即使森林在不能增加垂直降雨的前提下,森林在其他特殊条件下仍存在增加年径流量的可能。

3 降雨与径流量关系的尺度问题

流域面积的大小也是影响研究结果的重要因子。森林对流域水文的影响靠的是群体规模效应。流域面积过小,很难发现其系统内在规律。

上面提到了蒸散水汽内循环的问题,林区蒸发的湿热气流在林区上空不是静止不动的,如果研究对象的面积太小,这些水汽移动一定距离再次降落到地面时就不是原来的流域,而是降落到邻近的其他流域。这样对于研究区域而言,蒸散水汽没有实现内部循环,系统水汽损失。区域水汽移动距离根据地域特征有一定的范围,如果研究面积足够大在某些区域将可避免上述情况。此外,很多流域的地上分水线与地下部分不重合,再加上地下河和溶洞等因素的存在使得流域面积的大小成为表征水文功能(尤其是径流量)的重要因素。如果流域面积足够大,不仅能够大大降低以上因素对流域径流观测结果的影响,而且森林改变流域水文的整体功能也得到更大程度的发挥。某一流域可能是不能增雨、减少径流的流域,但是如果把流域面积扩大,对将其包含的大流域进行观测,结论就可能会相反,即森林在此流域具有增加径流的功能。但是这又面临新的问题:多大

的面积才不至于使其他因素掩盖森林的增流功能呢? 这要视区域的自然、地理、气候及其他特殊条件而定。但并不是流域面积越大, 森林的增流功能更明显或者说能更真实的显现森林的水文功能。这里存在着一个流域面积增流功能最佳显现区间 T 值 $([a, b])$ 。在森林能够增流的前提下, 研究面积超出过此范围时森林的增流功能将被掩盖。

前苏联水文气象总站设有 17 个径流水量平衡站, 集水面积为 $20 \sim 50 \text{ km}^2$, 关于森林对河川径流量的影响始终存在着两种截然相反的观点^[28]。对上述问题有两种解释: (1) 森林在某些流域增流, 另一些流域减流。(2) 森林在这 17 个站都增流, 至少有一个流域的 T 值一端在 $20 \sim 50$ 之间。自 1900 年瑞士对两小集水区进行森林作用的研究以来, 美、苏、德、日相继对此开展研究, 或用采伐先后的对比法, 或用成对集水区法, 或用几十条流域或几百条流域的综合分析, 结论不一。大致趋势为: 面积较小的流域和集水区(数十平方千米以下), 森林的存在会减少年径流量, 采伐森林通常可使年径流量增加数十毫米至 500 毫米。面积较大的流域(数百或数千平方千米以上)情况相反, 有林流域的年径流量比无林或少林流域多, 森林覆盖率每增加 1%, 年径流量增加 0.8 mm 至数毫米。如俄罗斯沿海边区 40 条山区河流 10 a 观测结果经多元回归分析得出结论: 森林覆盖率每增加 1%, 年平均径流量相应增加 1.5~1.9 mm。以上材料表明流域面积的大小与流域径流量的关系, 并且在临界 T 值内随着森林覆盖率的增加, 径流量逐渐增加的内在规律。国内也有类似的研究: 黑龙江省松花江水系 20 个流域($101 \sim 170 \text{ 000 km}^2$) 10 a 测定的多元回归分析结果也得到类似结论, 森林覆盖率每增加 1%, 年径流量增加 1.46 mm^[29]。

流域面积大小对流域径流量产生的正负效应依地域差异而不同, Grazynki 对美国 196 条流域回归分析结果: 西俄勒州的流域面积大于 150 km^2 (a) 时森林对年径流量的影响为正效应; 加利福尼亚南部的流域面积超过 210 km^2 ($x \in [a, b]$) 时为正效应, 而小于 130 km^2 (a) 时则为负效应。面积大的森林不仅能增加降水, 加之森林有利于水分下渗, 使林区地下径流的比重增大。如美国俄亥俄州的米尔—克里克河, 其流域面积为 70.8 km^2 。它有许多支流, 年平均降雨量为 1 020 mm, 1956~1959 年 32 个不同面积集水区的资料说明, 流域面积为 0.24 hm^2 时径流量很小, 径流系数为 0.05~0.1。流域面积增至

10 hm^2 时, 径流系数为 0.17; 流域面积为 100 hm^2 (b) 时径流系数为 0.3。米尔—克里克河的径流系数为 0.39, 达最高值。

4 结论

(1) 森林能够影响降水, 但不是影响降水的主导因子, 在某些地区具有增雨功能, 在其它地区表现减雨作用。森林依其强大的蒸发散和高大茂密的冠体在地形雨、对流雨和拦截水平降水中能发挥其增雨功能。在气团含水量较低, 运动范围较广, 水汽很难实现内循环的地区森林表现出减雨功能。

(2) 森林能否增加垂直降水与森林能否增流没有必然联系。森林增雨时不一定增流, 一次性降雨量必须足够大, 并且森林对降雨的贡献大于自身的蒸散损耗时才能增流; 否则, 森林表现为减流。森林不能增加降水时主要表现为减流。但在某些高海拔山区, 由于其它特殊条件的存在, 森林也能够表现出增流作用。

(3) 流域面积的大小影响研究区域系统内水汽的交换状况, 决定研究结果的科学性和真实性。流域面积较小时森林可能表现出减流作用, 但当流域面积达到一定值时结论却相反。

参考文献:

- [1] 闫俊华. 森林水文学研究进展[J]. 热带亚热带植物学报, 1999, 7(4): 347-356.
- [2] 贺庆棠. 中国林业气象学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.
- [3] 马雪华. 森林水文学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1993.
- [4] Reger, G. Bany, Mountain weather and climate[M]. Methuen London and New York, 1981. 217.
- [5] 周光益. 中国热带森林水文生态功能[J]. 生态学杂志, 1997, 16(5): 47-50.
- [6] 周光益, 陈步峰, 李意德, 等. 热带雨林生态系统对台风暴雨的再分配规律[J]. 生态学杂志, 1998, 17(sup. 3): 31-36.
- [7] A sdak C, Jarvis P G, Gardingen P V an, etal. Rainfall interception loss in unlogged and logged forest areas of Central Kalmantan [J]. Inclonesia Journal of Hydrology (Amsterdam), 1998, 206(3/4): 237-244.
- [8] 高甲荣, 肖斌, 张东升, 等. 国外森林水文研究进展述评[J]. 水土保持学报, 2001, 5(15): 61-75.
- [9] Rutter A J. A predictive model of rainfall interception in forests, 1: Derivation of the Modal from observations in a plantation of Corsican pine[J]. Agric, Meterorol, 1971, 9: 367-384.
- [10] Gash J H C. Analytical model of rainfall interception by forest [J]. Quart J R Met Soc, 1979, 105: 43-53.
- [11] 邓世宗, 唐俊. 广西不同生态地理区域杉木林水量平衡的研究 [A]. 广西森林水文及流域治理论文集[C]. 北京: 气象出版社, 1994, 59-63.

于下层,反映了土壤氮素垂直分布的普遍规律。

不同修复措施地类中,土壤全磷含量最大的是灌木林地和坡耕地,其次是人工混交林地和荒草地,全磷含量最小的是高山松次生林地。各地类 0~20 cm 土层速效磷的变化规律与全磷量的变化规律有较大的差别,含速效磷最高的是坡耕地,且远远大于其他地类,其次是灌木林地、高山松次生林地和人工混交林地,速效磷含量最低的是荒草地。除高山松次生林地下层土壤的速效磷含量略大于上层外,其余各类型的全磷量和速效磷的剖面分布都表现为表层含量较高,以下各层次随深度增加而逐渐减少。

生态修复措施对土壤的全钾含量影响不大,不同地类 0~20 cm 土层除高山松次生林地由于其特殊的立地条件全钾含量较低外,其余均在 1.26%~1.45%之间。速效钾则是荒草地最大,这与荒草地具有丰富的草本植物有关。

4 结 论

试验区经过多年的水土保持生态修复,对土壤的理化性质产生了一定的影响。植被对土壤理化性质的作用总体表现为表层土壤的孔隙度、含水量及 pH 值比下层土壤增加,而容重则较下层土壤减小,表明表层土壤的质地及结构比下层土壤改善速度快;土壤有机质、全氮、水解氮、全磷、速效磷和全钾、速效钾主要富集在土壤表层。灌丛、草本对 0~20 cm 土壤理化性质的改良作用大于云杉高山松混交林和高山松次生林,而下层土则是灌丛、云杉高

山松混交林对土壤的改良作用优于荒草地,所以在进行生态修复时应该利用生态学原理,做到乔、灌、草一起上,根深植被与根浅植被、阳性植物与耐阴植物相搭配。

不同生态修复措施对土壤全钾含量的影响非常小。与坡耕地相比,除荒草地的速效钾含量略有增加外,其余地类均表现为负增长。

坡耕地 0~20 cm 土层的土壤理化性质比人工混交林地和高山松次生林地好。表明合理的耕种和施肥可以对表层土起到一定的培肥改良作用。

高山松次生林地的土壤理化性质在 5 种研究地类中是最差的,这是由于高山松次生林地的坡度陡、土层薄等本底条件差所致。这从另一方面说明土壤基质的好坏在很大程度上决定了土壤恢复的速度。

参考文献:

- [1] 彭鸿,邓兴民,王伟,等. 生态工程综合效益测算指标体系和评价方法初探[J]. 水土保持研究,2004,11(2):71-73.
- [2] 陈齐伯,寸玉康,刘芝芹,等. 滇西高原不同地类坡面产沙规律研究[J]. 水土保持研究,2005,12(2):12-15.
- [3] 段志诚. 中甸县志[M]. 北京:水利电力出版社,1987.
- [4] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科学技术出版社,1987.
- [5] 北京林业大学. 土壤学[M]. 北京:中国林业出版社,1981.
- [6] K. A. 阿姆森著. 森林土壤:性质和作用[M]. 林伯群,周重光译. 北京:科学出版社,1984.
- [7] 高亚军,朱培立,黄东迈. 稻麦轮作条件下长期不同土壤管理对有机质及积累的影响[J]. 土壤与环境,2000,9(2):27-30.
- [8] 衡及主要养分的地球化学循环研究[J]. 生态学报,1996,16(1):28-32.
- [9] 周国逸,余作岳,彭少麟,等. 小良试验站 3 种生态系统中蒸发散的对比较研究[J]. 生态学报,1995,15(增 A):230-236.
- [10] 周国逸. 生态系统水热原理及其应用[M]. 北京:气象出版社,1997. 216.
- [11] 高新和. 天山北坡山地森林与河川径流关系的探讨[J]. 新疆农业大学学报,2000,23(1):25-29.
- [12] 马雪华. 森林水文学[M]. 北京:中国林业出版社,1993. 11-39.
- [13] 刘昌明,钟骏襄. 黄土高原森林对年径流量影响的初步研究[J]. 地理学报,1978,33(2):112-126.
- [14] 刘志韬. 山西管湾山区森林对径流的影响[J]. 水土保持通报,1981,(4):56-61.
- [15] 巩合德,王开运. 森林水文生态效应在川西亚高山针叶林群落中的研究[J]. 世界科技研究与发展,2003,25(5):41-46.
- [16] 王礼先,解明曙. 山地防护林水土保持水文生态效益及其信息系统[M]. 北京:中国林业出版社,1998. 361.
- [17] 周晓峰,赵惠助,孙慧珍. 正确评价森林水文效应[J]. 自然资源学报,2001,5(16):420-426.
- [18] 唐常源. 亚热带马尾松人工林的降雨截留作用[J]. 地理学报,1992,47(6):545-551.
- [19] 黄忠良,孔国辉. 鼎湖山季风常绿阔叶林生态水文功能研究[A]. 热带亚热带森林生态系统研究第 8 集[M]. 北京:气象出版社,1998. 150-155.
- [20] 刘世荣,温远光,王兵. 中国森林生态系统水文生态功能规律[M]. 北京:中国林业出版社,1996. 203-207.
- [21] 马雪华. 四川米亚罗地区高山冷杉林水文作用研究[J]. 林业科学,1987,23(3):356-359.
- [22] 邓世宗. 从广西森林水文的研究谈漓江流域洪水的治理[A]. 广西森林水文及流域治理论文集[C]. 北京:气象出版社,1994. 41-47.
- [23] 康文星,田大伦,方海波,等. 杉木人工林水量平衡和蒸发的研究[J]. 植物生态学与地植物学学报,1992,16(2):187-195.
- [24] 钟国华,邓世宗. 广西不同生态地理区域杉木林水量平衡的研究[A]. 广西森林水文及流域治理论文集[C]. 北京:气象出版社,1995. 1-13.
- [25] 朱劲伟,崔启武. 红松林和采伐迹地的水量平衡分析[J]. 生态学报,1982,2(4):335-344.
- [26] 周光益,陈步峰,曾庆波,等. 海南岛热带山地雨林短期水量平

(上接第 6 页)