

山西管涔山林区森林对径流的影响

刘志韬

(西北大学地理系)

森林是国家进行四化建设的重要资源，也是调节气候、美化环境、保护土壤、减少河道泥沙的绿色屏障。正确估价森林对河流水量的影响，对发展水利事业和工农业生产亦有其科学意义和现实意义。国内外科学工作者曾在这方面作过许多试验研究，其中有些试验资料说明森林的存在导致了河流水量的减少，有些资料则说明森林的作用使河流水量增加。本文着重探讨山西管涔山的森林对年径流和洪水的影响。

一、管涔山林区自然地理概况

管涔山林区在黄土高原范围内，位于山西省吕梁山北段，约2,423.2平方公里。林区内有管涔山和芦芽山，山系呈南北走向，东坡陡而西坡缓，海拔1,600—2,736米之间。汾河主流发源于林区内的宁武县东寨附近，向南流入黄河。桑乾河上游恢河发源于宁武县的天池，向北汇入海河水系。据宁武等县气象资料，林区年平均气温在6℃左右，七月份最高气温20—21℃，无霜期110—135天，年平均降水600毫米以上。

林区主要为棕壤，土层覆盖一般为30—100厘米。表层有1—5厘米厚的枯枝落叶层，其下为10—35厘米的灰黑色或棕褐色腐殖质层，有机质含量达8—10%。心土层为棕色或棕褐色，无碳酸盐反应。土层多粒状或碎片状结构。主要林分为云杉和华北落叶松，根系错综交织，大多盘结在30—60厘米的土层内，形成了一个良好的蓄水层。

林区内的北石河岔上村断面设有水文站，所测资料可代表管涔林区水文情况，也是我们研究管涔山林区森林对径流影响的依据(图1)。

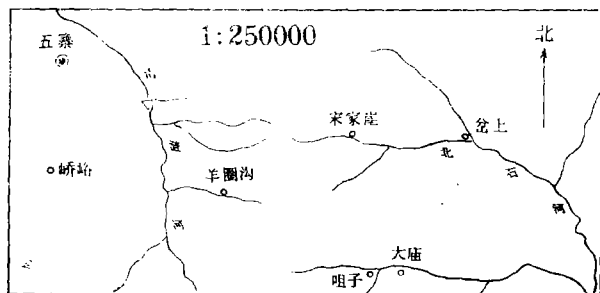


图1 岔上流域形势图

北石河位于汾河上游，岔上村水文断面以上流域面积为31.7平方公里，属山西省管涔山森林经营管理局秋千沟林场范围内。流域内林地面积20.5平方公里，村庄、道路、农地、沟床、裸露岩石等共11.2平方公里。流域几何中心的位置是东经111°59′、北纬38°52′。流域高程1,800—2,600米。

二、管涔山林区森林对年径流的影响

岔上水文站已刊布的资料有1962—1977年的水位、流量、含沙量、雨量和汛期水面蒸发量资料。这些资料中，除平水年份之外已包括了枯水年1972年、1965年和丰水年份1964年、1967年，可作为流域年径流总体分布的样本。流域年平均降水量687.0毫米，平均径流量169.0毫米，年最枯水量53.8毫米，实测最大年水量453.3毫米。

森林对径流的影响，是从下垫面的拦蓄作用开始的。落入流域的降水量，一部分汇入河道成为径流量，其余部分为流域所拦蓄。流域拦蓄的降水量的大部分俟后即转变为蒸发量，它们之间的关系为：

$$x = y + z \pm \Delta w \quad \text{或} \quad \frac{z + \Delta w}{x} = 1 - \frac{y}{x} \quad (1)$$

式中： x 、 y 、 z 分别表示降水量、径流量和蒸发量； Δw 为土壤储水量的变化； y/x 为径流系数； $(z \pm \Delta w)/x$ 即表示流域的拦蓄系数。

令 $y/x = c$ ， $(z \pm \Delta w)/x = \beta$ ，则式(1)为

$$\beta = 1 - c \quad (2)$$

根据(2)式，可借用流域的年径流系数导出流域的拦蓄系数。

岔上流域面积的65%为森林所覆盖，因此该流域的拦蓄系数反映了森林对年径流的影响，各典型水文年的拦蓄系数如表1。

表1 拦蓄系数与水文年的关系

年 分	1972	1974	1968	1977	1967
机率	0.87	0.75	0.35	0.25	0.04
年雨量(毫米)	448.0	517.3	598.0	773.2	1007.2
年径流(毫米)	53.8	75.9	169.2	211.7	453.3
径流系数(C)	0.12	0.13	0.3	0.27	0.45
拦蓄系数(β)	0.88	0.87	0.7	0.73	0.55

数字表中的拦蓄系数因水文年分变丰，呈由大而小的变化，这说明对于不同的水文年分森林的影响是不同的。因此森林对年径流的影响不宜拘泥于个别年分的情况，而应以其对多年平均径流量的影响作为问题定性和定量的依据。

多年平均的水量平衡方程式为：

$$y_0 = x_0 - z_0 \quad (3)$$

式中： y_0 、 x_0 、 z_0 分别为多年平均的径流量、降水量、蒸发量。

根据式(3)得出在同一雨量条件下流域内非林地和林地多年平均径流量的差值为：

$$\Delta y = z_{10} - z_{r0} \quad (4)$$

式中： z_{L_0} 、 z_{F_0} 分别为林地和非林地的多年平均蒸发量；

Δy 即为森林对径流的影响量。若 Δy 为正值，表明森林的作用导致多年平均径流量减小；若 Δy 为负值，则表明森林将导致多年平均径流量加大。

本文依据左大康编《中国地表辐射平衡的时空分布图》，内插了管涔山岔上流域的辐射差额 R 为56.0千卡/平方厘米·年，制图时采用反射率 α 为0.18。在管涔山岔上流域，林地主要林分为云杉和华北落叶松，郁闭度大于0.5，取林地的反射率 α 为0.14；非林地有农地、荒草山坡、土路面、沟床、裸露岩石、村庄等，综合这些因素选取非林地的反射率为0.25。

据管涔山林地和非林地的反射率，对上述由图内插的辐射差额分别进行了调整。调整后的林地年辐射差额 R 为61.2千卡/平方厘米，非林地为47.3千卡/平方厘米·年，则按：

M.И.布德科联系方程求得林地多年平均蒸发量 z_{L_0} 为561.0毫米，非林地 z_{F_0} 为509.0毫米；根据崔启武联系方程求得林地的多年平均蒸发量 z_{L_0} 为499.0毫米，非林地 z_{F_0} 为462.0毫米。

以上林地的两个蒸发量数据都大于非林地，这一情况在别处也有发现。据贺庆棠同志称，在小兴安岭落叶松林地生长季节中观测到森林地蒸发量为4.8毫米/日，而空旷地为4.0毫米/日。类似的情况，如：新疆生产建设兵团安集海灌区内，护田林带中心的地下水位比非林带的地下水位一年之内降低了0.7米，其影响范围达到林带两侧各70多米远；霍应强同志称，南京地区生长期末马尾松林地比林外草地土壤水分垂直变化明显的偏低（如图2）。这些情况都表明林地的蒸发量大于非林地。

又据水量平衡方程式（3），求得岔上全流域的蒸发量为：

$$z_0 = x_0 - y_0 \\ = 687.0 - 169.0 = 518 \text{ 毫米}$$

此蒸发量数据系包括20.5平方公里林地，同时还包括11.2平方公里非林地之上的综合情况，所以应介于 z_{L_0} 与 z_{F_0} 之间。

对上述三组蒸发量数据进行比较，得知按布德科联系方程所计算的林地和非林地的多年平均蒸发量数据比较合理。将此组数据代入式（4）得

$$\Delta y = z_{L_0} - z_{F_0} = 561.0 - 509.0 = 52.0 \text{ 毫米}$$

Δy 是正值，因此管涔林区，森林的影响将导致多年平均径流比非林地减少52.0毫米。

三、管涔山林区森林对洪水的影响

岔上流域暴雨时林地和非林地形成的洪水过程不同。事实表明，流域内林地出现的洪水在非林地出现的洪水在岔上断面处先后分别出流。如1973年6月25日，流域上平均降雨量27.5毫米，岔上水文

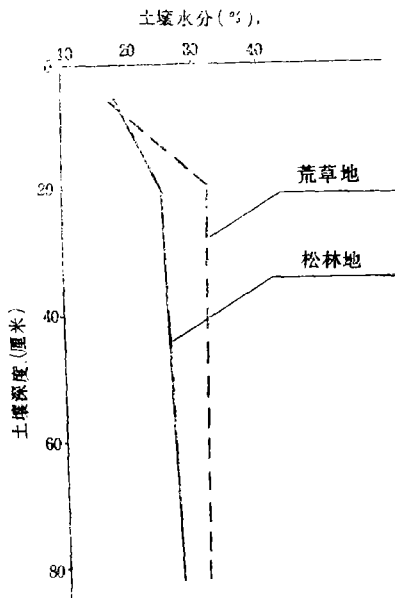


图2 生长期末，林内外草地土壤水分的垂直变化

站 6 月 25 日零时至 24 时出现了一个暴涨暴落的洪水过程，即

时间(时:分) 0:0 14:00 14:37 14:44 15:00 15:18 16:00 24:00

流量(立方米/秒) 0.027 0.027 8.56 19.6 17.2 8.76 6.97 0.03

另外，此期间的逐日流量又呈现为另一个缓涨缓落的过程，即

日 24 25 26 27 28 29

流量(立方米/秒) 0.032 0.82 0.05 0.66 0.028 0.028

以上第一个过程在 6 月 25 日之内即告结束，其水量 6.86 万立方米，是 6 月 25 日总水量的一部分。从 25 日总水量扣除此量后，该日的流量即为 0.027 立方米/秒。这表明若流域上未出现此暴涨暴落的洪水，此期间的逐日流量过程为：

日 24 25 26 27 28 29

流量(立方米/秒) 0.032 0.027 0.05 0.66 0.028 0.028

这个过程反映了流域内林地的出流过程，而上述涨落迅猛的洪水，则是流域内非林地的出流过程。

再如 1967 年 8 月 19 日 20 时至 20 日 7 时 40 分，流域平均降雨量 62.5 毫米，流域的出口仍然是两个流量过程，即 8 月 20 日

时间(时:分) 1:00 4:00 4:20 5:00 6:00 8:00 24:00

流量(立方米/秒) 1.48 8.65 7.43 6.35 2.23 1.28 1.2

另一个过程是：

日 19 20 21 22 23 24

流量(立方米/秒) 1.28 1.28 1.48 1.48 1.38 1.2

注：20 日的流量 1.28 立方米/秒，是已扣除了当日暴涨暴落的洪水量之后的流量。

岔上水文断面历次暴雨出现的以上两类洪水过程，把同期、同雨量且地貌、地质大体相同的非林地和林地的洪水天然地、明显地表达出来，给我们提供了难得的平行对比资料，为研究森林对河流洪水的影响给了方便条件。现摘取岔上流域历次暴雨洪水中较有代表性的几场资料，列如表 2。

表 2 同一暴雨时非林地和林地洪水、泥沙对照表

序号	年.月.日	雨量 (毫米)	非林地流量 (立方米/秒)	林地流量 (立方米/秒)	非林地径流 (毫米)	林地径流 (毫米)	前 30 天雨量 影响值 (毫米)	非林地最大含沙量 (千克/立方米)	林地含沙量 (千克/立方米)
1	63.7.19	24.1	7.42	0	1.6	0	37.5	276	0
2	68.7.25	17.4	9.77	0	2.6	0		345	0
3	70.7.6	48.1	11.0	0	2.5	0	46.8	201	0
4	74.7.23	28.4	11.2	0	3.3	0	34.7	332	0
5	73.7.17	26.2	26.1	0	2.8	0		197	0
6	69.7.13	66.8	85.8	0.39	13.9	6.7	47.6	478	0
7	64.8.13	93.9	10.4	2.74	6.9	46.2	70.5	91.7	0.45

表 2 的数据对比, 说明有两种情况:

1、在序号 i—6 号的六场暴雨时, 非林地洪峰流量平均值 25.2 立方米/秒, 平均最大含沙量 304.8 千克/立方米, 而林地里基本上没有洪水和泥沙发生。1969 年 7 月 13 日, 流域平均暴雨量 66.8 毫米时: 非林地洪峰流量 85.8 立方米/秒, 最大含沙量 478 千克/立方米, 洪峰模数 7.7 立方米/秒·平方公里, 产流量 13.9 毫米; 林地洪峰流量 0.39 立方米/秒, 未反映出含沙量, 洪峰模数 0.02 立方米/秒·平方公里。产流量 6.7 毫米。在这场暴雨中非林地的洪峰模数是林地的 385 倍, 产流量是林地的 2.1 倍。非林地冲刷很大, 而林地仍为清水。

这六场暴雨洪水代表了黄土高原最常见的情况, 暴雨的特点是历时短、强度大, 降水总量虽不突出, 但在非林地都造成了强烈的水土流失。此时林地上的情况则是“泥不下坡, 水不出沟”, 显示了森林削减洪水、保持水土的作用。

2、在序号 7 的暴雨时, 非林地的洪峰模数仍为林地的 7 倍, 然而林地的洪水总量是非林地的 6.7 倍, 这场暴雨的特点是雨量大、历时较长, 平均雨强以及流域前期雨量的影响值均偏大。在这场暴雨中, 虽然森林起到了一定的削减洪峰的作用, 但林地的洪水总量大于非林地。

以上两种情况说明, 森林对流域洪水的影响是比较复杂的, 既有其削减洪峰、拦截洪量的一面, 又有其增大洪水总量的情况。此外, 在某种条件下林地的洪峰流量是否有大于非林地的可能性, 也有待积累资料作出答案。如泾河支流三水河念里断面、渭河支流沮水苏家店断面分别在 1866 年、1870 年发生过洪峰流量大于 2,000.0 和 5,000.0 立方米/秒的洪水, 念里断面以上基本属于林区、苏家店断面以上部分面积也是林区, 这些洪峰数值在与面积相当的非林区流域迄今还没有发生过。

所以出现上述第二种情况, 盖由于流域前期雨量影响值使流域土壤含水量增大以至接近于流域最大蓄水量, 此时暴雨耗于下渗的量很小几近于零, 则此后的暴雨量将绝大部分或全部变为洪水出流。

还应注意的是, 由于森林对洪水的滞留作用, 若洪水前期已经蓄满, 本次洪水出流尚未结束而又发生新的暴雨时, 则洪水相互叠加, 此时林地洪水总量更比非林地为大。岔上流域 1967 年 9 月份降雨量 87.9 毫米, 而该月产流量却达 178.1 毫米, 即属于森林对洪水的这类影响。

为了比较管涔林区某设计暴雨时林地和非林地的洪水总量, 根据实测的暴雨洪水资料分别绘制了两处的暴雨径流关系图。林地的渗透性极强, 接近于蓄满产流的类型, 其暴雨径流关系如图 3 所示; 非林地属超渗产流, 其暴雨径流关系如图 4 所示。

若流域上机率为 P_1 的雨量是 80.0 毫米, 雨强是 5.0 毫米/小时, 流域前期雨量的影响值 P_1 是 76.0 毫米, 则由图 3 查得林地洪水量是 25.0 毫米, 由图 4 可查得非林地洪水量是 4.5 毫米; 若流域上机率为 P_2 的雨量是 40.0 毫米, 雨强为 10 毫米/小时, 流域前期雨量影响值 P_2 是 39.0 毫米, 则从图 3 查得林地洪水量为 0.5 毫米, 而由图 4 查得非林地洪水量为 5.5 毫米, 此时非林地洪水量大于林地 5.0 毫米。由于机率 P_1 的雨量不仅大, 且流域前期雨量影响值也较大, 此时林地洪水量大于非林地, 而机率 P_2 的雨量其产流情况则恰适其反。

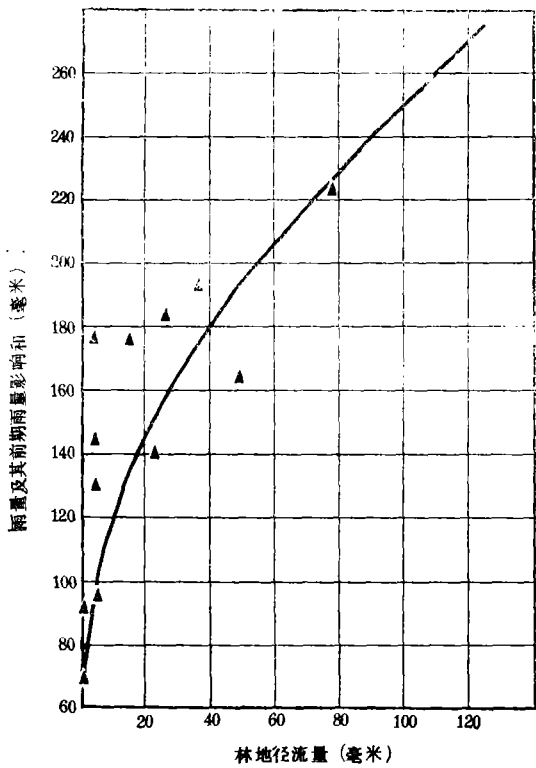


图3 林地暴雨径流关系

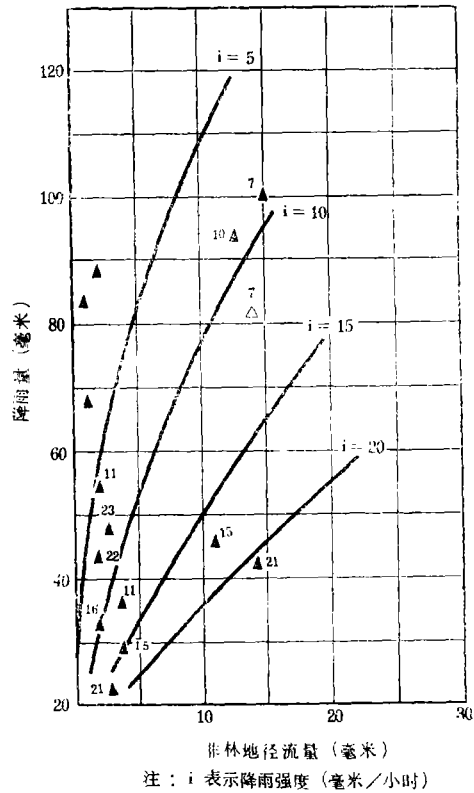


图4 非林地暴雨径流关系

四、结 语

管涔山林区森林对年径流和洪水的影响表明：

1、在不同的水文年分，森林对产流量的影响不同，所以森林对年径流的影响的定性或定量都应以对多年平均径流量引起的效果进行评价。在管涔林区，森林将导致多年平均径流量减少52.0毫米（占年平均径流量31%左右）。

2、森林对洪水的影响，视暴雨的量级和流域前期土壤含水量的大小而有不同的效应。在林地虽然暴雨强度大，但在历时短、量级小且前期流域干旱的情况下，森林能起到显著的削峰、减洪和拦沙作用，当暴雨量级大，前期流域已经蓄满之后，其削减洪水的作用即行减弱而且将导致洪水产量增加的作用，当森林滞蓄出流而与新的暴雨洪水遭遇之时，森林导致的叠加洪水，其总量比无林地区还要迅猛。