

# 低效防护林改造的水文效益

王 兴 中

(重庆市林业科学研究所·重庆市·630036)

**摘 要** 通过对华蓥山低效防护林改造试验研究及水文效益观测分析得出:低效防护林改造的水文效益明显。实施改造5年后,各种改造方式的土壤有效水贮存能力较无林地提高14.0%~38.0%;在年降雨量消耗分配中,土壤贮水量占55.5%,地表径流仅占1.8%,渗透径流占8.7%,壤中径流占23.7%;全林年径流系数为0.3415,比北碚水文站测得的多年平均径流系数减少12.48%,丰水期径流系数比北碚站减少22.52%,而非丰水期则增加20.35%,故低效防护林改造具有很高的贮水、减洪和调节河川径流量的效益。

**关键词:** 低效防护林 改造 水文效益 土壤贮水量 径流深

## Hydrologic Benefit of Reformed Low Beneficial Protection Forest

Wang Xingzhong

(Chongqing Research Institute of Forestry Science, Chongqing 630036, PRC)

**Abstract** The benefit of a test reformed low beneficial protection forest established on the Huaying mountain has been observed and appraised. The result shows that the hydrologic benefit of reformed low beneficial protection forest is obvious. Having been implemented reformation for five years, the available soil water for various reformative way has increased by 14.0%~38.0% over the unstocked forest land. In the portioning of annual precipitation, the storage of soil water was 55.5%, the surface runoff was merely 1.8%, the permeant runoff was 8.7% and the runoff in soil was 23.7%, the annual runoff coefficient in whole woods was 0.3415, it has decreased by 12.48% under the annual average runoff coefficient determined by Beibei Hydrology Station. The runoff coefficient in the plentiful water period has reduced by 22.52% as compared with Beibei Station, but in non-plentiful water period, it has heightened by 20.35%. Therefore, reforming low beneficial protection forest has a very high benefit of storing water, decreasing flood and regulating discharge in rivers.

**Keywords:** low beneficial protection forest; reforming; hydrologic benefit; storage of soil water; depth of runoff

长江上游防护林体系建设一期工程的实施,对大面积低效防护林进行了改造。水文效益是观测评价防护林改造效益的一个方面。

## 1 研究区概况

### 1.1 土地资源缺乏,林草地少,耕垦率极高,利用结构很不合理<sup>[1]</sup>

重庆市土地资源(幅员面积)人均仅 0.16hm<sup>2</sup>,为全国人均土地的 16%,由于人多地少,导致耕垦率极高,耕地面积占幅员面积的 51.13%,大大高于全国耕地面积占国土 10.4%的水平。因此,随处可见许多不适农耕的陡坡地业已开垦为耕地。全市林草地总面积仅占幅员面积的近 17%,与一个地区生态良性循环所要求的林草地面积最低指标 30%相差很远。

### 1.2 水土流失和环境污染<sup>[1]</sup>十分严重

全市土壤流失面积达 11 689.42 km<sup>2</sup>,占幅员面积的 50.57%,平均侵蚀模数达 6 057.6 t/km<sup>2</sup>,土壤侵蚀量达 7 081.0 万 t/a,相当于每年流失掉 2.67 万 hm<sup>2</sup> 耕地的 20 cm 厚的表土层。全市酸雨或酸雾平均 pH 值在 4.20 左右,最低 pH 值 2.80,使重庆成为世界闻名的雾都,给工农业生产和人民生活带来严重影响。

### 1.3 气候有利于植物生长发育,植物种类繁多,天然植被受人为破坏严重,群落呈现次生演替

重庆属于亚热带湿润季风气候区,全年温暖湿润,雨量充沛,四季分明,冬暖夏热,春早秋短。年均气温 18.4℃,年均降水量 1 081.7 mm。按植被区划,重庆属于亚热带常绿阔叶林地带,典型植被以樟科、山毛榉科、山茶科等树种为主。但由于人为破坏,使应有的天然常绿阔叶林仅存面积约占全市森林面积的 13%,取而代之的是马尾松林,面积占近 68%<sup>[3]</sup>。这些马尾松林多为人工营造的纯林,其效益大都较低,应进行改造,宜因势利导,使次生演替顺向进行。

## 2 研究方法

### 2.1 试验设置

对“七五”期设于华蓥山的低效林改造试验,按改造方式分别设置样地,进行立地因子和林分因子的各项调查和测定。

### 2.2 测定土壤理化性状

测定土壤 N, P, K 和有机质含量、容重、最大和最小水量、稳渗速度、土壤机械组成等。

### 2.3 设置径流场(4个)和雨量观测点进行连续观测

观测期为 1993 年 3 月下旬至 11 月中旬。

## 3 结果与分析

将设于华蓥山的低效防护林改造试验测定部分指标列于表 1,以便讨论,计算时取用。

### 3.1 产流降雨量临界值 $r$ 。

产流降雨量是指有地表径流产生的降雨量,其临界值是指降雨量大于此值则一般有地表径流产生,小于或等于此值则一般不产生地表径流。影响产流降雨量临界值的因素很多,主要有植被截持量、坡度、雨前土壤含水率、土壤初渗速度和降雨强度。在具体的地块(例如径流场设置的样地)由于坡度和土壤初渗速度已由地形和土壤特性决定,植被状况在短期内的变化也不大,故产流降雨量临界值主要随雨前土壤含水率和降雨强度而变化。尽管其在具体地块仍是一个变化的量,但我们可以其平均值表示。

表1 试验林部分指标均值(1993年)

指标	容重 (g/cm <sup>3</sup> )	最大持水量		最小持水量		土层 厚度	坡度 (°)	郁 被 度	草 本 盖 度 (%)	灌 木 盖 度 (%)
		重量(%)	容积(%)	重量(%)	容积(%)					
全林均值	1.471	28.317	41.654	22.660	33.333	50.5	24	0.58	97	10
数据量(个)	48	48		48		30	30	30	30	30

注:1988年实施改造,采用间伐补植,全砍重造,封山育林三种方式。

我们通过雨量观测和地表径流量观测数据来分析求出产流降雨量临界值 $r_0$ ,为此,取观测期内降雨量 $r_i < 20\text{mm}$ 的各次产流降雨量与地表径流深 $R_{gi}$ 回归,在检验回归关系达到显著水平后,从回归式反求产流降雨量临界值。将分析结果列于表2。

表2 产流降雨量临界值 $r_0$ 的估计

径流场 样地号	数据 (组)	回 归 式	相 关 系 数	回归显著性检验		产流降雨量 临界值 $r_0$ (mm)	坡 度 (°)
				F	$F_{0.01}(1,12)$		
24	14	$R_{gi} = -104.67 + 31.0131r_i$	0.8017	21.58**	9.33	3.375	30
26	14	$R_{gi} = -94.64 + 21.9984r_i$	0.7374	14.30**	9.33	4.302	26
28	14	$R_{gi} = -92.86 + 21.3184r_i$	0.7780	18.40**	9.33	4.356	28
28	14	$R_{gi} = -87.03 + 28.7750r_i$	0.7844	19.19**	9.33	3.025	36

由表2可见,径流场所在样地的产流降雨量临界值在4mm左右。这与观测结果吻合得很好,在观测期内,共测得13次非产流降雨,其中12次降雨量在0.5~3.4mm范围内,仅一次为4.78mm,但此次降雨前有9天未下雨。在测得的产流降雨量32次中,最低为5.89mm。从表2还可知,产流降雨量临界值随坡度 $\alpha$ 的值增加而降低,可用下式表示这种相关关系:

$$r_0 = 11.691031 e^{-0.038178\alpha} \quad (\text{相关系数 } 0.9113) \quad (1)$$

由(1)式可以粗略的估计试验林的产流降雨量临界值。试验林全林平均坡度为24°,代入(1)式求得 $r_0 = 4.68(\text{mm})$ 。

### 3.2 年累计植被截持量 $I$

由前面对产流降雨量临界值的讨论可知,每次降雨过程植被截持量最大值 $I_{\max} < 3.025\text{mm}$ 。参考有关资料并根据试验林情况,可粗略的估计 $I_{\max}$ 之值在2.0mm左右,故对于每次降雨,有

$$I_i = \begin{cases} 2.0 & (\text{当 } r_i \geq 2.0 \text{ 时}) \\ r_i & (\text{当 } r_i < 2.0 \text{ 时}) \end{cases}$$

对于全年,则植被截持总量为

$$I = \sum_{i=1}^{n_0} r_i + (n - n_0) \times 2.0 + 0.5r_n \quad (2)$$

式中: $n$ ——观测期内降雨次数;  $n_0$ ——观测期内降雨量 $r_i < 2.0\text{mm}$ 的降雨次数; $r_n$ ——非观测期内降雨量合计。据合川市气象站多年观测资料统计平均,11月下旬至3月中旬降雨量为98.2mm。由于在非观测期内降雨量不多,而且雨强很小,基本上没有地表径流产生,更无地下径流,所降之雨只消耗于植被截持和土壤贮存,但二者之比并不知道,好在非观测期雨量不多,我们以二者各占1/2计算,其误差不致对总的计算产生较大的影响。

据观测资料得到: $n_0 = 3, n = 45, \sum_{i=1}^3 r_i = 1.4 + 0.5 + 1.8 = 3.7\text{mm}$ 。非观测期降雨量合计 $r_n = 98.2\text{mm}$ 。将这些数据代入(2)式,求得全年累计植被截持量 $I = 136.80\text{mm}$ 。

### 3.3 年累计地表径流深 $R_g$

由于在非观测期内每次降雨基本上没有地表径流产生,故年地表径流深可直接由观测期内每次降雨所测得之地表径流深  $R_{gi}$  求和面而得(在 45 次降雨中,有 13 次未产生地表径流,即此 13 次  $R_{gi}=0$ )。由观测资可得  $R_g = \sum_{i=1}^n R_{gi} = 23.34\text{mm}$ 。

### 3.4 土壤水分贮存

3.4.1 降雨对土壤水分的作用过程 在林地一般条件下,由于地下水位很深,故土壤水分主要来自降雨。降雨使土壤含水率逐渐提高,若降雨过程在土壤含水率小于或等于最小持水量时便停止,则由降雨补给土壤的水量全部被土壤存贮,成为有效水的组成部分,直接与生产力有关。从水循环角度看,这部分水量称为土壤贮水量。当土壤含水率达到最小持水量后,若降雨仍继续,或者当雨前土壤含水率本身已等于或大于最小持水量再接纳降雨,若降雨过程在土壤含水率小于或等于最大持水量时便停止,则由降雨补给土壤的这部分水可暂时贮存于土壤中。土壤中这部分水称为重力水。与此同时,因重力作用,重力水即开始缓慢地从土壤中渗出,形成地下径流  $R_w$  的组成部分  $R_w^{(1)}$  (不妨称为壤中径流),作为河川径流,山泉以及地下水的补给。因此,土壤中的重力水对河川、山泉流量的调节具有重要意义。当土壤含水率达到最大持水量后,若降雨仍继续,土壤接受的这部分后续水量,由于土壤的渗透性而迅速渗出,形成地下径流的另一组分  $R_w^{(2)}$  (不妨称为渗透径流)。若土壤稳渗速度快,则地下径流占后续降雨量的百分比增大;反之,若土壤稳渗速度较小,则地表径流的百分比增大。渗透径流与地表径流汇合,在汛期形成洪水,但由于渗透径流受到土层厚度的阻碍而延迟了洪峰形成的时间并削减了洪峰流量。

3.4.2 土壤贮存有效水能力  $W_e$ 。土壤中的有效水,是指植物能够长期利用的土壤水分。从理论上讲,在萎蔫系数以上的土壤水分都能被植物利用,但由于重力水在土壤中存在的时间不长,故植物不可能长久利用这部分水;在毛管水中超过毛管悬着水的部分,即毛管持水量与最小持水量之差,这部分水可为植物长期利用,而且植物首先利用这部分水,但在林地一般条件下,由于地下水位很深,故常不存在这部分水。所以,土壤贮存有效水的能力可用最小持水量 ( $W_{\min}$ ) 与萎蔫系数 ( $P_0$ ) 之差来表示,即

$$W_e = W_{\min} - P_0 \quad (3)$$

式(3)中,萎蔫系数主要取决于土壤、气候和植物种类。然而对大多植物和气候条件来说,萎蔫系数差异不大,可取一个很好的近似值<sup>[3]</sup>。对于土壤来说,萎蔫系数完全取决于土壤机械组成,随粘粒,含量的增加,萎蔫系数亦增加。据有关研究,有资料<sup>[4]</sup>表 3。

表 3 黄壤类粘粒含量与萎蔫系数

土壤质地		粘粒含量 (%)	萎蔫系数 (重量%)
砂	土	≤10	0.2~0.3
壤	砂壤土	10~20	0.3~3.0
土	轻、中、重壤土	20~60	3.0~12.0
粘	土	>60	12.0~15.0

根据表 3 中资料,可得到粘粒含量 ( $G$ ) 与萎蔫系数 ( $P_0$ ) 的粗略关系式

$$P_0 = -16.51 + 15.97\lg G$$

把试验林地平均粘粒含量约 30% 代入上式,则可估计萎蔫系数  $P_0 = 7.08\%$  (重量%)。

式(3)中各项宜用容积百分数,以使相同

含水率的不同土壤,在相同土层厚度或相同体积土壤中实际含水量相同。把重量百分含水率转换成容积百分含水率的算式为

$$x_{(v)} = x_{(m)} \cdot d_c / d_w \quad (4)$$

式中:  $x_{(m)}$  和  $x_{(v)}$  分别表示土壤的某一个重量百分含水率和相应的容积百分含水率;

$d_c$ ——该土壤容重;  $d_w$ ——水比重。下文中,凡含水率指标若未特别声明为重量%,则均以容积%表示。取全林平均容重  $d_c = 1.471\text{g/cm}^3$ ,按(4)式把萎蔫系数转换为容积百分数得  $p_0 = 10.415\%$ ,此值与参考文献[2]中列出壤土的萎蔫系数为10%是很接近的。另外,还可以土壤水势与含水量关系推算萎蔫系数,在轻、中壤条件下,求得的萎蔫系数亦与此接近。萎蔫系数确定后,可利用测得容重最小持水量,按(3)式求得土壤贮存有效水的能力,结果如表4。

表4 不同改造类型林地贮存有效水能力

改造方式	土层(cm)	0~20	20~40	0~40	0~20	20~40	0~40
	改造类型	$W_e$ (容积%)	$W_e$ (容积%)	$W_e$ (容积%)	与无林地	林地	比值
补植	湿地松+香樟	25.949	23.623	24.941	1.470	1.278	1.380
	马尾松+香樟	24.626	19.374	22.112	1.395	1.047	1.223
封育	湿地松纯林	23.746	25.096	24.436	1.345	1.358	1.352
	马尾松纯林	20.599	23.151	21.852	1.167	1.253	1.209
重造	杉木+香樟	23.904	22.197	23.159	1.354	1.201	1.281
	杉木纯林	20.353	20.696	20.608	1.153	1.120	1.140
近旁无林地		17.651	18.483	18.073	1.000	1.000	1.000

从表4可见,各种改造方式和改造类型,土壤贮存有效水的能力都比近旁无林地有较大提高,平均提高26.4%;其中混交林类型较无林地平均提高29.5%,比纯林类型多提高6.1%

4.4.3 年累计土壤获得的总水量  $\Delta W$  (1)土壤年平均含水率  $\bar{P}$ 。土壤含水率  $P$  是随时变化的,但可以适当地选取一个年平均含水率  $\bar{P}$ ,以便深入讨论和计算。这样做虽然对于每次降雨来说,计算土壤获得的水量会产生较大的误差,但对于全年来说,由于在一个水文年之末次降雨到下一个水文年之首次降雨这个时段内,土壤含水率的变化会再次达到年平均含水率  $\bar{P}$  之值,因此选取年平均含水率的做法是允许的。

再从土壤全年获得的总水量  $\Delta W$  的直接计算式看,若全年共降雨  $m$  次,每次雨前土壤含水率水为  $P_i$ ,当降雨过程停止时,土壤含水率增加到  $P'_i$ ,若土层厚度为  $h$  cm,则土壤年累计获得的总水量为

$$\Delta W = \sum_{i=1}^m \Delta W_i = \sum_{i=1}^m 10h(P'_i - P_i) = 10h \left( \sum_{i=1}^m P'_i - \sum_{i=1}^m P_i \right) = 10h \left( \sum_{i=1}^m P'_i - m\bar{P}_{真} \right) = \sum_{i=1}^m 10h(P'_i - \bar{P}_{真}) \quad (5)$$

式(5)表明:对于年累计土壤获得的总水量的计算,完全可以用年平均含水率真值  $\bar{P}_{真}$  来代替  $P_i$ 。但  $\bar{P}_{真}$  是未知的,适当确定的  $\bar{P}$  前非  $\bar{P}_{真}$ 。若令  $\bar{P}_{真} = \bar{P} + \Delta P$ , 则有:

$$\Delta W = 10h \sum_{i=1}^m (P'_i - \bar{P}_{真}) = 10h \sum_{i=1}^m [(P'_i - \Delta P) - \bar{P}]$$

上式表明,以  $\bar{P}$  代替  $\bar{P}_{真}$ ,其误差将使  $P'_i$  的计算值产生相同的误差,从而使含水率差值累计保持不变。因此,完全可以用适当确定的年平均土壤含水率  $\bar{P}$  来进行有关的讨论和计算。

我们利用水势(基模势)与有效水消减少百分数的关系曲线<sup>[2]</sup>,取曲线拐点元有效水消减少百分数所对应的含水率作为年平均土壤含水率  $\bar{P}$ 。查质地为壤土的曲线,其拐点处有效水消减少量为27.5%。把全林土壤平均最小持水量和萎蔫系数代入下式:

$$\frac{W_{min} - \bar{P}}{W_{min} - P_0} = \frac{33.333\% - \bar{P}}{33.333\% - 10.415\%} = 27.5\%$$

求得  $\bar{P}=27.031\%$

(2)年累计渗透径流深  $R_u^{(2)}$  渗透径流只有在降雨量大到使土壤水达饱和后才产生。对于每一次降雨,当降雨量  $r_i > I_i + R_{gi} + 10h(W_{\max} - P_i)$  时,有  $R_{ui}^{(2)} = r_i - I_i - R_{gi} - 10h(W_{\max} - P_i)$ , 如前讨论,以  $\bar{P}$  代  $P_i$ ,则有

$$R_{ui}^{(2)} = r_i - I_i - R_{gi} - 10h(W_{\max} - \bar{P}) \quad (\text{当 } r_i > I_i + R_{gi} + 10h(W_{\max} - \bar{P}) \text{ 时}) \quad (6)$$

能够满足(6)式条件的降雨量,一年中次数不多,便于统计。且在此条件下,由前文讨论,知  $I_i = 2.0 \text{ mm}$ 。若一年中有  $n$  次降雨能满足(6)式的条件,则年累计渗透径流深为

$$R_u^{(2)} = \sum_{i=1}^{n_1} R_{ui}^{(2)} = \sum_{i=1}^{n_1} (r_i - R_{gi}) - n_1 [10h(W_{\max} - \bar{P}) + 2.0] \quad (\text{当 } r_i - R_{gi} > 10h(W_{\max} - \bar{P}) + 2.0 \text{ 时}) \quad (7)$$

将  $\bar{P}=27.031\%$ ,  $h=50.5 \text{ cm}$ ,  $W_{\max}=41.654\%$  代入(7)式的条件不等式中得到:  $r_i - R_{gi} > 75.846(\text{mm})$

利用观测资料(表 5),知  $r_i - R_{gi} > 75.846\text{mm}$  的降雨次数仅有 5 次(即  $n_1=5$ ),并求得

$$\sum_{i=1}^5 (r_i - R_{gi}) = 493.764\text{mm}.$$

于是,由(7)式得到年累计渗透径流深

$$R_u^{(2)} = 493.764 - 5 \times [10 \times 50.5 \times (41.654\% - 27.031\%) + 2.0] = 114.53(\text{mm}).$$

(3)年累计土壤获得的总水量  $\Delta W$

利用水量平衡方法,按下式计算  $\Delta W$

$$\Delta W = r - I - R_g - R_u^{(2)} \quad (8)$$

(8)式中:  $I, R_g$  和  $R_u^{(2)}$  分别为年累计植被截持量、地表径流深和渗透径流深(都已在前面求出);  $r$  为全年总降雨量,由

观测期每次降雨量  $r_i$  之和求得,即  $r = \sum_{i=0}^n r_i + r_n = 1225.83 + 98.2 = 1324.03(\text{mm})$  把  $r, I, R_g, R_u^{(2)}$  之值代入(8)式得到

$$\Delta W = 1324.03 - 136.80 - 23.34 - 114.53 = 1049.36(\text{mm})$$

3.4.4 年累计土壤贮水量  $\Delta W_s$  全年土壤获得的总水量  $\Delta W$  并非年累计土壤贮水量,因为它还包括了重力水,这部分水形成壤中径流  $R_u^{(1)}$ 。由于雨前土壤含水率  $P_i$  也可低于或高于最小持水量  $W_{\min}$ ,因而对于土壤贮水量的准确计算更复杂。但由于我们采用了年平均含水率  $\bar{P}$ ,使问题大大减化,完全可以按 3.4.3 中的方法讨论,并获得类似结果。仿(7)式得

$$R_u = \sum_{i=1}^{n_2} (r_i - R_{gi}) - n_2 [10h(W_{\min} - \bar{P}) + 2.0] \quad (\text{当 } r_i - R_{gi} > 10h(W_{\min} - \bar{P}) + 2.0 \text{ 时}) \quad (9)$$

式(9)中,  $R_u$ ——年累计地下径流深,它包括  $R_u^{(1)}$  和  $R_u^{(2)}$  两部分;  $n_2$ ——降雨量  $r_i > R_{gi} + 10h(W_{\min} - \bar{P}) + 2.0$  的降雨次数。把  $h, W_{\min}, \bar{P}$  之值代入(9)式的条件不等式中得  $r_i - R_{gi} > 33.825$

mm。由观测资料(表 5)可知,满足此条件的降雨共有  $n_2=13$  次,并求得  $\sum_{i=1}^{n_2} (r_i - R_{gi}) = 868.604 \text{ mm}$ 。于是,由(9)式得

表 5 降雨量、地表径流深\*  
部分测定资料 mm

次数	降雨量 $r_i$	地表 径流深 $R_{gi}$	$r_i - R_{gi}$
1	125.70	2.735	122.965
2	104.67	2.303	102.367
3	96.20	1.830	94.370
4	91.20	1.799	89.401
5	86.10	1.439	84.661
6	58.60	1.042	57.558
7	55.23	1.196	54.034
8	54.30	1.128	53.172
9	49.70	1.146	48.554
10	48.93	1.182	47.748
11	41.35	0.800	40.550
12	38.70	0.641	38.059
13	35.86	0.695	35.165

\* 4 个径流场测定值平均。

$$R_u = 868.604 - 13 \times [10 \times 50.5 \times (33.333\% - 27.031\%) + 2.0] = 428.88(\text{mm}).$$

顺便得到地下径流的组分壤中径流深:  $R_u^{(1)} = R_u - R_u^{(2)} = 428.88 - 114.53 = 314.35(\text{mm})$ .

仿(8)式有年累计土壤贮水量  $\Delta W_s$  为

$$\Delta W_s = r - I - R_g - R_u \tag{10}$$

把  $r, I, R_g, R_u$  之值代入式(10),求得

$$\Delta W_s = 1324.03 - 136.80 - 23.34 - 428.88 = 735.01(\text{mm})$$

### 3.5 水量平衡

式(10)实际上是试验林的近似水量平衡方程,其中没有考虑水汽交换量  $W_a$  和植物因生长体内贮存水分增量  $\Delta W_p$ 。据文献资料,一般  $W_a$  只有 0.5mm 左右;又据本试验地生物量增量和林木体内含水率计算,1993 年乔木体内水分增量约 1.22mm,再适当加上灌草层体内水分增量,  $\Delta W_p$  只有约 2.0 mm 左右。由于  $W_a$  和  $\Delta W_p$  都很小,故式(10)是一个近似程度很好的试验林水量平衡方程。在忽略水汽交换量和植物体内水分增量的前提下,年累计土壤贮水量  $\Delta W_s$  完全消耗于蒸腾和蒸发;植被截持量  $I$  则完全用于蒸发。此二项合计即蒸散总量  $E$ ,即  $E = \Delta W_s + I$ 。下面列出试验林水量平衡各组分的数值及其占降雨量的百分比于表 6。

从表 6 看到,壤中径流深占总降雨量的 23.7%,这一百分比是较高的,故改造后的试验林对河川径流量具有很强的调节能力。渗透径流深和地表径流深合计仅占总降雨量的 10.5%,故试验林具有很强的减洪效益。

### 3.6 径流系数

#### 3.6.1 年径流系数 低效防护林改造试验林设在合川市华蓥山林场山王

庙工区,虽属于渠江流域,但在罗渡溪水文站的下游,其水汇入嘉陵江,由更大流域面积的北碚水文站观测。因此,我们以北碚站资料<sup>[3]</sup>与试验结果比较,列下表 7。从表 7 可见,试验林比北碚站在大范围内测得的多年平均径流系数减少 12.48%,说明试验林贮水、减洪效益明显。

3.6.2 分期径流系数 (1)丰水期确定。由试验林观测资料,求得月平均降雨量为  $\bar{r}_月 = 92.44$  mm,标准差  $s = 55.50$  mm,取各月降雨量  $r_月 > \bar{r}_月 + 0.382s$  为丰水月,得到丰水期为 5~9 月。据资料表明:北碚站测得各月径流量百分比,其丰水期为 5~10 月。为进行比较,必须选取等长时段,并考虑河川径流形成有一定的时滞,故取其丰水期为 5 月 16 日~10 月 15 日。(2)径流系数比较。把式(9)应用于丰水期,可求得试验林丰水期地下径流深为 290.55mm。地表径流深直接由丰水期内各次产流降雨(21 次)所测得数据求和得到,为 15.93 mm。对于北碚站丰水期径流深的计算,先用内插法求 5 月下半月和 10 月上半月径流量所占百分比,再累计丰水期径流量百分比,然后按年径流量和年降水量换算,得到北碚站丰水期径流深为 343.30 mm。最后,把试验林与北碚站分期径流系数比较于表 8。

表 7 年径流系数比较

站名	流域面积 (km <sup>2</sup> )	年降雨量 (mm)	年径流深 (mm)	年径流系数	年径流系数比较 增减值 增减%
(试验林)		1324.03	452.22	0.3415	-0.0487
北碚	156142	1149	448.30	0.3902	-12.48

最后,把试验林与北碚站分期径流系数比较于表 8。

(下转第 20 页)

表 6 华蓥山低效防护林改造试验林水量平衡表 mm

1993 年 降雨总量 $r = 1324.03$ (100.0%)	径流深 $R = 452.22$ (34.2%)	地下径流深 $R_u = 428.88$ (32.4%)	壤中径流深 $R_u^{(1)} = 341.35(23.7\%)$
			渗透径流深 $R_u^{(2)} = 114.53(8.7\%)$
		地表径流深 $R_g = 23.34(1.8\%)$	
	蒸散量 $E = 871.81$ (65.8%)	植被截持量 $I = 136.80(10.3\%)$	
		土壤贮水量 $\Delta W_s = 735.01(55.5\%)$	

4.217 7万元,其中沟道措施年运行费 0.960 6 万元;集水区年净效益 8.363 2 万元,其中沟道措施年净效益 1.716 9 万元(折合 1.996 万元/km<sup>2</sup>)。

经分析计算,孙沟沟壑面积占总集水区面积的 12.6%,在沟道治理开发程度达到 95.8%,坡面治理程度达 91.8%的前提下,沟道治理措施的蓄水效率占总蓄水效率的 32.2%,保土效率占总保土效率的 29.8%,削峰效率占总削峰效率的 33.7%;沟道措施年总产值占集水区总产值的 21.3%,运行费占集水区的 22.8%,沟道措施年净效益占集水区总净效益的 20.8%;沟坝地面积占集水区基本农田面积的 60%,粮食产量占集水区总产量的 32.2%。

### 5.3 山丘区沟道治理经济效益

通过 1990~1995 年沟道治理开发,土石山区新增沟道治理面积 29.66km<sup>2</sup>,累计达到 64.16km<sup>2</sup>,开发程度达 62%;丘陵区新增沟道治理面积 107.61km<sup>2</sup>,累计达到 251.09km<sup>2</sup>,开发程度 70%。根据所选 8 条典型试验沟道 1995 年效益分析(见表 2),土石山区沟道年均效益为 3 043 元/hm<sup>2</sup>,丘陵区年均效益 3 480 元/hm<sup>2</sup>。

表 2 沟道投入及产出效益计算表

沟道名称		集水区 面积 (hm <sup>2</sup> )	沟 壑 面 积 (hm <sup>2</sup> )	治 理 程 度 (%)	治 理 投 入 (元)	单 位 面 积 投 入 (元/hm <sup>2</sup> )	年 效 益 (元)	单 位 面 积 年 效 益 (元/hm <sup>2</sup> )
土 石 山 区	漆树沟	194	22.74	98	130 829	5 871	78 071	3 503
	青 沟	115	12.22	94	55 996	4 874	33 805	2 942
	李大沟	192	9.736	92.8	41804	4 625	30 452	3 369
	三叉沟	22.8	1.187	100	5207	4 387	3 062	2 580
	柳树堂沟	135	20.687	93	80027	4 125	55 567	2 821
	合 计	658.8	66.57	—	313863	23 882	200 957	15 215
	平 均	131.76	13.314	95.2	—	4776.4	—	3 043
丘 陵 区	窑场沟	46	6.88	95.5	24 724	3 763	26 002	3 958
	老常沟	21	4.3	100	16 710	3 886	16 815	3 910
	孙 沟	86	10.86	95.8	28 290	2 719	26 775	2 573
	合 计	153	22.04	—	69 724	10 368	69 592	10 441
	平 均	51	7.347	96.5	—	3 456	—	3 480

经分析计算,土石山区新治理沟道 1995 年效益为 902.55 万元,丘陵区新治理沟道 1995 年效益为 3 744.83 万元。

~~~~~

(上接第 7 页)

表 8 分期径流系数比较

| 站 名   | 年径流<br>系 数 | 丰水期<br>径流系数 | 非丰水期<br>径流系数 | 增 减 值   |         | 增 减 %  |        |
|-------|------------|-------------|--------------|---------|---------|--------|--------|
|       |            |             |              | 丰水期     | 非丰水期    | 丰水期    | 非丰水期   |
| (试验林) | 0.3415     | 0.2315      | 0.1100       | -0.0673 | +0.0186 | -22.52 | +20.35 |
| 北 碚   | 0.3902     | 0.2988      | 0.0914       |         |         |        |        |

由表 8 可见,试验林比北碚站丰水期径流系数减少 22.52%,而在非丰水期却增加 20.35%。故低效防护林改造后对河川径流量分配具有很强的调节能力。

### 参 考 文 献

- 1 马良清.重庆地区的森林和空气污染对森林的影响.四川林业科技,1993,14(3):40~50
- 2 [美]Hanks R J, Ashcroft G L. 杨诗秀等译.应用土壤物理.北京:水利电力出版社,1984
- 3 杨玉坡.长江上游(川江)防护林研究.北京:科学出版社,1993
- 4 马学尼,叶镇国.水文学.北京:建工出版社,1989