

明月江的森林水文效应研究

冯 光 扬

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所 成都 610041)

提 要 利用明月江水文站网观测资料,采用 5 个森林水文评价指标,检验 9 个对比年与 1 个对比时段共计 50 个评价项目表明:明月江随着森林生态环境的改善及森林覆盖率的提高,枯水流量、年径流与径流年内的均匀程度均有较大增加,而河川含沙量则有所减少,反应了森林涵养水源、保持水土、调节径流年内分配的森林水文效应。

关键词 明月江 森林水文效应 涵养水源 保持水土

明月江位于 $30^{\circ}44'—31^{\circ}13'N$, $107^{\circ}39'—108^{\circ}4'E$ 之间,发源于四川省开江县牛超岭,流经开江、梁平与达县,为嘉陵江的二级支流。该河的明月潭水文站以上的流域集水面积 736km^2 、河长 69.3km 、河床比降 2.85% ,流域内海拔 $300—1\,000\text{m}$,属中低山地区,土壤为棕紫泥与黄泥。

流域内主要树种为马尾松、松柏、竹、油茶、油桐及果树等。1977—1979 年少林期的林率为 $9.3\%^{1)}$;1978 年以来,随着用材林、竹林、经济林的逐年增加,森林生态环境有所改善,到 1985—1987 年多林期的林率提高到 $10.3\%^{2)}$,历时 9 年多林期林率绝对值净增 1.0% ,相对值增长 9.7% 。

1 研 究 路 线

明月江森林水文效应研究范围是明月潭水文站以上流域。

影响河川径流、枯水、泥沙水文特征值的七类因素分别是:地形、流域大小、土壤、地质、人类活动、气候及森林,明月江流域在 1977—1987 年研究期间未兴建大中型水利电力工程,前五类因素变化甚小,可忽略不计;影响明月江水文大小的因素仅余气候与森林两个,如果采用年径流系数 α 、径流年内不均匀系数的比值 β 、最小月径流深的比值 γ 、年含沙量的比值 ϵ 、初春月含沙量的比值 κ 共 5 个指标,则能扣除气候对水文特征值的影响,较能单一的反应森林因子对水文特征值的影响大小。可见, $\alpha, \beta, \gamma, \epsilon$ 及 κ 5 个森林水文评价指标,在对比年与对比时段内具有同一的可比基础,是研究流域森林水文效应的理想途径之一。

因此明月江森林水文效应的研究路线是:采用明月潭等水文站网的水文、气候观测资料,用 α 等 5 个评价指标,检验 9 个对比年与 1 个对比时段(表 1)中单项森林因子对水文特征值的影响,在定量基础上对森林水文效应进行定性研究。

1)四川省森林清查办公室. 四川省森林清查暨连续清查资料统计,1982.

2)四川省林业厅. 四川省森林资源连续清查第一次复查报告,1989.

本文改回日期:1993-12-25.

2 流域面降水量

分析流域面年降水量 P 及降水年内分配不均匀系数 $C_{a.p}$ ，是为了消除降水因素对水文特征值的影响，以便揭示森林水文效应规律。流域内有宝石桥、赤卫、明月潭三个雨量站，按泰森多边形法计算流域面雨量。宝石桥月降水 P_a 、赤卫月降水 P_b 、明月潭月降水 P_c ，三站的权重分别为 0.35、0.43、0.22，则流域面的月降水 $X_i = 0.35P_a + 0.43P_b + 0.22P_c$ ，其中 i 为 1—12 月；于是可计算流域面的年降水 P 及平均年降水 \bar{P} 。

降水年内分配不均匀系数 $C_{a.p}$ ，为月降水均方差 δ 与平均月降水 X_c 的比值，可由式 (1) 与 (2) 计算，式中 X_i 为流域面的月降水。 $C_{a.p}$ 是降水年内分配均匀程度的评价指标，当年内各月降水量相等时，即降水年内分配均匀，则 $\delta = 0$ ， $C_{a.p} = 0$ ；反之，月降水集中于几个月时，年内分配愈不均匀，则 $C_{a.p}$ 愈大。

$$X_c = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} X_i \quad (i = 1, 2, \dots, 12 \text{ 月}), \quad (1)$$

$$C_a = \frac{\delta}{X_c} = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{X_i}{X_c} - 1 \right)^2} \quad (i = 1, 2, \dots, 12 \text{ 月}). \quad (2)$$

明月江研究期各年流域面的年降水 P ， $C_{a.p}$ ，附表中第 1、2 行。其中少(或多)林期的平均年降水 \bar{P} (或平均降水不均匀系 $\bar{C}_{a.p}$) 为少(或多)林期三年 P (或 $C_{a.p}$) 的平均值。

表 1 明月江森林水文效应特征表

Table 1 Characteristics of forest hydrologic effect along Mingyue River

项 目	第一对比年			第五对比年			第九对比年			对比时段		
	1977	1985	(2)比(1) (%)	1978	1986	(5)比(4) (%)	1979	1987	(8)比(7) (%)	少林期	多林期	(11)比(10) (%)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
$P(\text{mm})$	1190	1290	8	941	1210	22	1410	1280	-10	1180	1260	6
$C_{a.p}$	0.657	0.660	0.455	0.778	0.776	-0.258	0.915	0.849	-7.773	0.783	0.762	-2.275
$H(\text{mm})$	553	707	22	295	597	51	706	735	4	518	680	24
α	0.465	0.548	15.146	0.313	0.493	36.511	0.501	0.547	8.410	0.439	0.540	18.704
$C_{a.v}$	0.793	0.772	-2.720	1.230	0.957	-28.526	1.440	1.310	-9.923	1.150	1.010	-13.861
β	1.21	1.17	-3.42	1.58	1.23	-28.46	1.57	1.54	-1.95	1.47	1.33	-10.53
$H_n(\text{mm})$	3.09	5.36	42.35	3.28	7.99	58.95	1.12	6.73	83.36	2.50	6.69	62.63
γ	2.60	4.15	37.35	3.48	6.60	47.27	0.79	5.26	84.98	2.12	5.31	60.08
$S(\text{kg/m}^3)$	1.90	1.55	-22.58	1.77	1.21	-46.28	2.29	1.65	-38.79	2.05	1.49	-37.58
ϵ	1.60	1.20	-33.33	1.88	1.00	-88.00	1.62	1.29	-25.58	1.74	1.18	-47.46
$P_4(\text{mm})$	134.2	111.1	-20.8	95.6	97.4	1.85	159.5	99.2	-60.8	129.8	102.6	-26.5
$S_4(\text{kg/m}^3)$	0.85	0.77	-10.39	0.55	0.51	-7.84	1.81	0.30	-503.33	0.98	0.60	-60.33
κ	6.36	6.89	7.69	5.75	5.28	-8.90	11.35	3.01	-277.08	7.54	5.87	-28.45

注： P 为流域面年降水量； $C_{a.p}$ 为降水年内不均匀系数； H 为年径流深； α 为年径流系数； $C_{a.v}$ 为径流年内不均匀系数； $\beta = C_{a.v}/C_{a.p}$ ； H_n 为最小月径流深， $\gamma = 10^3 H_n/P$ ， S 为年含沙量； $\epsilon = S/P(\text{kg/m}^3 \cdot \text{m})$ ， P_4 、 S_4 分别为 4 月份的降水量与含沙量， $\kappa = S_4/P_4$ 。另外为节省篇幅，表 1 中省去第 2(1977 与 1986 年)、第 3(1977 与 1987 年)、第 4(1978 与 1985 年)、第 6(1978 与 1987 年)、第 7(1979 与 1985 年)、第 8(1979 与 1986 年)共 6 个对比年。少林期为 1977—1979 年，多林期为 1985—1987 年。

3 森林增加河川径流

明月江流域森林增加河川径流表现在:随林率的提高河川年径流、径流年内分配的均匀程度及枯水三个方面均呈增加趋势,反应了森林涵养水源与绿色水库调节径流之特性^[1].这是由于森林土壤的腐殖质含量高、孔隙大、透水性强,而林木根系活动有利于地表水下渗,从而提高土壤透水和蓄水性能,增加土壤含水量、冲积层地下水及深层地下水的缘故.

3.1 森林增加河川年径流

河川年径流深 $H(\text{mm})$ 表示年径流大小,是年径流总量平铺在整个流域上的水层深度.影响明月江 H 的流域大小、地形、地质、土壤及人类活动因素在研究期间变化甚微,所以制约明月江 H 大小的因素是气候和森林.然而年径流系数 α 为 H 与年降水 $P(\text{mm})$ 的比值, α 可以消除年降水(即气候)影响,反应森林因子对年径流的影响大小.

表 1 中第 4 行为 α 及时段平均年径流系数 $\bar{\alpha}$,其中 $\bar{\alpha}$ 为少(或多)林期平均年径流深 \bar{H} 与平均年降水 \bar{P} 的比值.由表 1 可知,多林期林率较少林期林率的相对值提高 9.7% 后,8 个对比年的 α 值增加 5.7—45.5%,仅 1 个对比年(1979 与 1986 年)减少 1.6%;就平均值 $\bar{\alpha}$ 而言,多林期 $\bar{\alpha}$ 较少林期 $\bar{\alpha}$ 提高 18.7%.年径流系数提高,表示相同年降水条件下河川年径流的增加.所以多林时期较少林时期河川平均年径流提高 18.7%.

3.2 森林增加河川径流年内分配的均匀性

与采用 $C_{x,v}$ 衡量降水年内均匀性一样,河川径流 V 的年内分配均匀性用径流年内不均匀系数 $C_{x,v}$ 表示. $C_{x,v}$ 为月径流均方差 δ 与平均月径流 X_v 之比值,由式(1,2)计算,式中 X_v 为 1—12 月的月径流(10^8m^3).当各月 X_v 相等时,径流年内分配均匀,这时 $\delta=0$, $C_{x,v}=0$;反之, X_v 愈集中, δ 与 $C_{x,v}$ 则愈大,径流年内分配愈不均匀.因此 $C_{x,v} \geq 0$.影响 $C_{x,v}$ 大小的因素中,同一流域的研究期内除变化较小的流域大小、地形、地质、土壤与人类活动因素外,还有降水年内分配均匀程度 $C_{x,p}$ 及林率大小.显然 $C_{x,v}$ 与 $C_{x,p}$ 是呈正相关的;如前所述林率大可增加土壤含水量及地下水蓄量,而土壤与地下水蓄水量具有调节径流年内分配的作用,故人们称森林为绿色水库;所以林率与径流年内分配均匀性呈正相关,也就是林率与 $C_{x,v}$ 呈负相关.那末怎样扣除径流 $C_{x,v}$ 中降水 $C_{x,p}$ 的影响部分呢?可以采用 $C_{x,v}$ 与 $C_{x,p}$ 的比值 β , β 可消除降水年内不均性因子,揭示可比时期内森林单项因子对径流年内均匀性影响的规律.

明月江各年 $C_{x,v}$, β 见表 1 中第 5 与第 6 行,而少(或多)林期的径流平均年内不均匀系数 $\bar{C}_{x,v}$ 为该期间三年 $C_{x,v}$ 的平均值,相应少(或多)林期 $\bar{\beta}$ 为径流 $\bar{C}_{x,v}$ 与降水 $\bar{C}_{x,p}$ 的比值.流域内 9 个对比年中,7 个对比年随林率提高 β 值减少 2.0—35.0%,仅 2 个对比年随林率提高 β 值分别增加 1.6% 与 21.4%;另一方面,就多、少林期的平均值 $\bar{\beta}$ 而论,多林期较少林期减少 10.5%,表明多林期径流年内分配均匀性较少林期提高 10.5%.

3.3 森林增加河川枯水

一年枯期(11,12,1—4 月)中的最小月径流深 $H_s(\text{mm})$ 避免了人类活动影响因素,能较好的反应河川枯水特性.枯水主要来至于冲积层与深层的地下水,而地下水源与地质、

土壤、林率、降水有密切关系,同一流域可比期内的地质和土壤变化甚小,地下水主要与降水、林率呈正相关。最小月径流深 H_* 与流域年降水 P 的比值 $\gamma, \gamma = 10^3 H_*/P (\text{mm/m}), \gamma$ 的物理意义是:流域内单位年降水量(m)所产生的枯水(最小月径流深)。 γ 可扣除降水对枯水的影响因素,揭示森林因素影响枯水大小的特性。

流域各年的 H_*, γ 见表 1 中第 7, 8 行,其中少(或多)林期的 $\bar{\gamma}$ 为该时期平均最小月径流深 \bar{H}_* 与平均年降水 \bar{P} 之比值。表 1 中 9 个对比年评价结果表明,多林年份的林率提高 9.7% 后,枯水较少林年份增加 16.2—88.0%;而多林期 $\bar{\gamma} = 5.3 (\text{mm/m})$ 较少林期 $\bar{\gamma} = 2.1 (\text{mm/m})$ 增加枯水 60.1%,十分显著的反映了森林涵养水源、增加枯水的生态环境效益。

4 森林减少河川含沙量

本文采用含沙量 S 为衡量河川泥沙大小的指标。在同一流域的研究期内,影响河川含沙量的地形、地质、土壤、人类活动因素相对变化较小;一方面含沙量随降水增加而增加,另一方面 S 随林率增加而减少。 S 随林率增加而减少,是由于林冠减轻雨滴对表土的溅蚀、枯枝落叶层拦截部分降水并减轻地表径流对土壤侵蚀的缘故。森林影响河川泥沙的研究中,采用含沙量的比值 ε, κ 为评价指标,尽可能除去降水的影响部分,较为单一的反映森林对河川含沙量的影响范围。下面就森林对年含沙量 S 与初春含沙量 S_4 的影响进行分别论述。

4.1 森林减少河川年含沙量

研究森林对泥沙影响,河川年含沙量比值 $\varepsilon = S/P (\text{kg/m}^3 \cdot \text{m})$,即年含沙量 $S (\text{kg/m}^3)$ 与流域年降水 $P (\text{m})$ 之比, ε 表示流域一年内单位降水(m)所产生的河川年含沙量 (kg/m) 。显而易见 ε 能部分消除降水对年含沙量 S 的影响,反映森林因素对 S 的影响大小,因此 ε 具有同一的可比基础。

明月江各年 S 与 ε 见表 1 中第 9、第 10 行,其中少(或多)林期的平均年含沙量 \bar{S} 为该时期三年输沙总量与三年径流总量的比值,而 $\bar{\varepsilon}$ 为 \bar{S} 与平均年降水 \bar{P} 之比值。由表 1 的 9 个对比年可知,多林年 ε 较少林年减少 24.0—88.0%,而多林期 $\bar{\varepsilon} = 1.2 (\text{kg/m}^3 \cdot \text{m})$ 较少林期 $\bar{\varepsilon} = 1.7 (\text{kg/m}^3 \cdot \text{m})$ 减少 47.5%,从而十分显著的表明森林保土固土、减轻水土流失的生态效益。

4.2 森林减少初春含沙量

一方面冬季降水少,土壤侵蚀少;另一方面经过冬季风化作用,土壤比较疏松,土壤抗蚀力低,遇春雨则大量流失,致使河川初春月含沙量急增。可见初春月含沙量与春雨大小、林率大小密切相关,即春雨大必然含沙量大,而林率大则土壤抗蚀力强、侵蚀小、含沙量小。初春月含沙量是 3—5 月期间的最早最大的月含沙量,明月潭站在研究期的 6 年中,初春月含沙量有 5 年出现在 4 月份,仅 1977 年发生在 3 月份,所以明月江初春月含沙量的月份选择为 4 月份。另外,初春月含沙量的比值 κ 为 4 月份月含沙量 S_4 与 4 月份降水量 P_4 的比值, $\kappa = S_4/P_4 (\text{kg/m}^3 \cdot \text{m})$,表示一个月单位降水量产生的月含沙量 (kg/m^3) 。显然 κ 值能扣除月降水影响,较单一的反映林率对初春月含沙量的影响范围。

明月江各年的 P_i, S_i, κ 见表 1 第 11—13 行。1977, 1978, 1979(年)为少林期, 1985, 1986, 1987(年)为多林期, 其中少(或多)林期的平均含沙量 \bar{S}_i 为该时期 4 月份输沙量与其径流总量之比, 则 $\bar{\kappa} = \bar{S}_i / \bar{P}_i$ 。9 个对比年中, 7 个多林年的 κ 值较少林年减少 9.9—275.0%, 仅 2 个多林年的 κ 值较少林年分别增加 7.7%, 15.8%; 而多年期 $\bar{\kappa}$ 为 5.9 ($\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{m}$) 较少林期 $\bar{\kappa} = 7.5 (\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{m})$ 减少 28.5%。由此可见, 明月江初春含沙量随林率的增加而减少, 个别对比年例外。

5 结 论

采用 5 个森林水文效应评价指标 $\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon$ 及 κ , 对明月江 9 个对比年与 1 个可比时段共计 50 个评价项目的分析研究表明, 45 个评价项目占总数的 90.0% 具有明显的森林涵养水源与保持水土的森林水文效应, 仅 5 个评价项目占总数的 10.0% 不具备森林水文效应。另外, 明月江流域森林覆盖率的相对值提高 9.7% 后, 增加河流枯水 60.1%, 增加河川年径流 18.7%, 提高河川径流年内均匀分配程度 10.5%, 减少河流含沙量 47.5%。所以明月江森林水文效应中, 森林增加枯水最为显著, 然后是森林保土固土、减少河流含沙量, 其次是森林增加河川年径流、提高径流年内均匀分配程度。

参 考 文 献

- [1] 李昌哲, 郭卫东. 森林植被涵养效益的研究. 林业科学, 1986, 2(1): 86—88.

A STUDY ON FOREST HYDROLOGIC EFFECT ALONG MINGYUE RIVER

Feng Guangyang

(Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences &
Ministry of Water Conservancy Chengdu 610041)

Abstract

Based on the data of hydrologic network of Mingyue River, 9 comparison years and 1 comparison time interval (amounting 50 evaluated items) are tested according to 5 forest Hydrologic data. The result shows: Owing to the improvement of forest ecologic-environment and the increase of forest coverage, the low water flow, annual runoff and the even distribution of runoff in a year along Mingyue River will increase greatly, as well as the sediment content of the river will decrease. Therefore, the study shows that the forest conserving water, conservation of water and soil and regulating the runoff distribution in a year have distinct forest hydrologic effects.

Key words Mingyue River, forest hydrologic effect, conserving water, conservation of water and soil.