

长江三峡地区森林变化对径流泥沙的影响

张洪江, 程金花, 陈宗伟

(北京林业大学, 北京 100083)

摘 要: 针对长江三峡地区森林变化及降雨、径流及泥沙运动的特点, 采用流域自身对比法, 在长江三峡库区选择了雾渡河流域的森林、径流及泥沙等观测数据, 研究径流及泥沙运动特性。分析研究了森林变化与年径流量、枯水期径流量、洪枯比及年输沙模数间的关系。结果表明, 在雾渡河流域内, 森林覆盖率每减少 1 个百分点, 年径流深增加 3.55 mm, 枯水期径流深减少 4.61 mm; 活立木总蓄积量每减少 1 万 m^3 , 年径流深增加 3.75 mm; 枯水期径流深减少 4.87 mm。森林覆盖率每减少 1 个百分点, 洪枯比增加 0.83, 年输沙模数增加 67.5 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$; 活立木总蓄积量每减少 1 万 m^3 , 洪枯比增加 0.88, 年输沙模数增加 71.3 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。

关键词: 三峡地区; 森林变化; 径流泥沙

中图分类号: S718.512

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)01-0001-03

Effects of Forest Variety on Runoff and Sediment in the Three-Gorge Region of Yangtze River

ZHANG Hong-jiang, CHENG Jin-hua, CHEN Zong-wei

(Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: In accordance with the characteristics of forest variety, precipitation, runoff and sediment movement of Three-Gorge region of Yangtze River, the properties of runoff and sediment movement is studied by the method of watershed comparison with itself, based on the observations on forest, runoff, sediment, etc of Wuduhe watershed in Three-Gorge region of Yangtze River. The influence of forest variety on annual runoff, scanty runoff, ratio of peak discharge to low flow and annual sediment delivery modulus is studied. The results show that annual runoff will increase by 3.75 mm and scanty runoff will decrease by 4.61 mm if forest cover decreases by 1%, and annual runoff will increase by 3.75 mm and scanty runoff will decrease by 4.87 mm if forest volume decreases by 10 000 m^3 . At the same time, ratio of peak discharge to low flow will increase by 0.83 and annual sediment delivery modulus will increase by 67.5 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ if forest cover decreases by 1%, and ratio of peak discharge to low flow will increase by 0.88 and annual sediment delivery modulus will increase by 71.3 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ if forest volume decreases by 10 000 m^3 .

Key words: Three-Gorge region; forest variety; runoff and sediment

长江是我国最大的河流, 其河长、径流量、输沙量在世界江河中分别位居第 3、4、5 位, 是一条具有中等含沙量的河。泥沙是水库建设的大敌, 修建大坝要考虑的主要问题之一就是水库泥沙淤积问题, 大坝建成后危及大坝安全运行的主导因子仍是径流和泥沙。森林的调节作用已普遍成为人们关注的问题。

关于森林对河川径流泥沙量的调节作用, 国内外学者已经进行了很多研究, 且还存在着不少争论。人们认识到森林植被通过其林冠层、枯枝落叶层、根系以及森林生态系统的功能, 直接或间接地影响着降水的时空分配过程、流域径流成分、蒸发散、径流量以及流域水量平衡变化^[1-5]。森林对径流时程分配的影响, 主要表现在削减洪峰流量和增加枯水期流量两个方面^[6-8]。同时森林植被对流域径流水质也有

较大影响, 主要表现在可显著减少流域土壤侵蚀、净化大气降水中的污染物质和对降水中的化学元素调节三个方面^[9-11]。在森林对河川径流量的影响方面, 国内较为一致的结论是, 黄河流域森林覆盖率的减少会不同程度地增加河川年径流量; 长江流域有林流域年径流量较无林或少林流域内的年径流量大^[12]。

为确切地评估森林作用在三峡工程中的地位, 为三峡库区径流和泥沙的调度提供依据, 本文选择了位于长江三峡库区的雾渡河流域的观测数据, 研究探讨森林变化对径流泥沙的影响。

1 研究区概况

雾渡河流域位于宜昌市境内, 属长江一级支流, 河流长

* 收稿日期: 2006-02-23

基金项目: 国家重点研究发展计划(973 计划)“长江上游环境变化与产水产沙作用机制”(课题编号: 2003CB415202)的资助

作者简介: 张洪江(1955-), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 流域治理。

度约 22.5 km。流域地理坐标为东经 110°48′~111°10′,北纬 31°10′~31°05′,面积为 222 km²,流域内水文站名称为雾渡河站,该流域内有雨量站 4 个。

该流域属亚热带大陆性气候,还具有较为明显的中亚热带和暖温带气候特点。年均气温 17.8℃,多年平均降水量为 1 218.7 mm。以中山、低丘地貌为主,岩石主要以凝灰岩、页岩等为主,土壤多为山地草甸土、山地黄褐土、黄棕壤。主要森林类型有一马尾松和栎类为主的中山针阔混交林、低山丘陵针阔混交林等,栽培植被主要有柑橘、茶树及板栗等。

2 研究内容与方法

2.1 研究内容

雾渡河流域内不同时段森林变化情况,流域年径流量、枯水期径流量、年输沙量变化等,以及森林变化与年径流量、枯水期径流量和年输沙量间的相关关系。

2.2 研究方法

通过流域调查,收集流域相关基础资料,利用定位观测得到的相关资料,采用流域自身对比法,研究流域内径流及泥沙运移变化。采用综合分析,研究森林变化对径流量和输沙量的影响。

2.2.1 降雨差异对径流和泥沙的影响

影响径流的因子主要有气象、下垫面和人类活动等。下垫面中地貌、土壤、母质等因素对同一流域来说基本上是稳定的,人类活动主要通过影响森林变化来对径流和泥沙产生影响。气象因子中则以降雨变化对水流和泥沙的影响最大,且目前不能控制这些因素。因此在进行结果分析时,有必要消除降雨差异对径流和泥沙的影响。

以某一时段的逐年降雨量($P_{\text{年}}$)与相应的年径流深($R_{\text{年}}$)相关关系建立二者之间的关系式:

$$P_{\text{年}} = A + BR_{\text{年}} \tag{1}$$

式中: A, B ——参数。

由对比时段的年降雨量求出相应时段的年径流深 $R_{\text{计}}$,采用式 $\Delta R = R_{\text{实}} - R_{\text{计}}$,求出 ΔR , $R_{\text{实}}$ 为实测的相应时段年径流深, $R_{\text{计}}$ 为计算出的相应时段年径流深。 ΔR 即为消除了降雨量差异后,森林变化对年径流的影响。

利用式(2)消除不同时段降水差异对悬移质输沙量的影响:

$$\Delta M_s = M_{s\text{实}} - M_{s\text{计}}, M_{s\text{计}} = AL^B \tag{2}$$

式中: M_s ——输沙模数; A, B ——参数; L ——产沙系数。

可用式(3)求得:

$$L = \frac{\bar{P}_D}{P_D} \left(\frac{W_{SD}}{W_{SY}} \right) + \frac{\bar{P}_M}{P_M} \left(\frac{W_{SM} - W_{SD}}{W_{SY}} \right) + \frac{\bar{P}_X}{P_X} \left(\frac{W_{SX} - W_{SM}}{W_S} \right) + \frac{\bar{P}_Y}{P_Y} \left(\frac{W_{SY} - W_{SX}}{W_{SY}} \right) \tag{3}$$

式中: P_D, P_M, P_X, P_Y ——最大 1 日降水量、最大 1 月降水量、汛期降水量和年降水量。 $\bar{P}_D, \bar{P}_M, \bar{P}_X, \bar{P}_Y$ ——最大 1 日降水量均值、最大 1 月降水量均值、汛期降水量均值和年降水量均值; $W_{SD}, W_{SM}, W_{SX}, W_{SY}$ ——最大 1 日悬移质输沙量、最大 1 月悬移质输沙量、汛期悬移质输沙量和年悬移质输沙量。

2.2.2 资料收集与使用

用森林覆盖率及活立木总蓄积量 2 个指标描述森林变化情况,森林面积和蓄积量从森林资源二类清查资料中查得。

需收集的气象和水文资料包括:日降水量、降水摘录、日

平均径流量、洪水水文要素摘录,日平均含沙量和输沙率等。

3 结果分析

3.1 流域森林及水文状况变化

随时间的推移变化,森林面积及其活立木蓄积量也在发生着变化。雾渡河流域森林变化情况见表 1,其流域水文状况如表 2 所示。

表 1 流域森林变化状况

流域名称	森林覆盖率 $F/\%$			活立木总蓄积量 $C/\text{万 m}^3$		
	70 年代	80 年代	增量	70 年代	80 年代	增量
雾渡河	64.57	59.08	- 5.49	49.14	43.94	- 5.20

表 2 流域水文变化状况

雾渡河流域	年均降水量/ mm	年均径流深/ mm	洪枯比	年均输沙模数/ $(\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})$
70 年代	1153.8	484.8	6.13	79.6
80 年代	1254.7	570.2	10.69	471.4
增量	+ 100.9	+ 85.4	+ 4.56	+ 391.8

从表 1 和表 2 可看出,森林变化对径流和泥沙均有一定的影响,雾渡河流域 80 年代同 70 年代相比,其年输沙量、年降水量和年径流深呈上升趋势,而其森林覆盖率呈下降趋势。可见森林减少是引起流域径流和泥沙增加的主导因子。

3.2 森林变化对年径流的影响

森林覆盖率的变化可直接或间接导致流域内径流的变化,研究流域不同年代森林覆盖率与年径流深的关系见表 3。

表 3 森林变化与年径流深的关系

流域名称	雾渡河流域	
	70 年代	80 年代
年均径流深/ mm	484.8	570.2
$R_{\text{计}}/\text{mm}$		550.7
$\Delta R/\text{mm}$		+ 19.5
森林覆盖率增量 $\Delta F/\%$		- 5.49
活立木总蓄积量增量 $\Delta C/(\text{万 m}^3)$		- 5.20
$\Delta R/\Delta F$		- 3.55
$\Delta R/\Delta C$		- 3.75

以 70 年代资料为基础,用式(1)对雾渡河流域建立年降水量与年径流深的关系为:

$$R_{70} = - 1238.5 + 1.426P_{70} \quad R = 0.892 \tag{4}$$

将 80 年代平均降水量代入式(4),求得

$$R_{80\text{计}} = 550.7 \text{ mm}$$

由 $\Delta R = R_{\text{实}} - R_{\text{计}}$,得出年径流增量 $\Delta R = + 19.5 \text{ mm}$ 。

同期森林覆盖率减少了 5.49 个百分点,活立木总蓄积量减少了 5.20 万 m^3 。即雾渡河流域年径流深与森林覆盖率、活立木总蓄积量呈负相关关系。森林覆盖率每减少 1 个百分点,年径流深增加 3.55 mm,活立木总蓄积量每减少 1 万 m^3 ,年径流深增加 3.75 mm。

3.3 森林变化对洪枯比的影响

洪枯比是指汛期(长江三峡库区为 6~9 月份)径流深与枯水期(长江三峡库区为 11 月至次年 4 月份)径流深之比,雾渡河流域森林覆盖率与洪枯比间的关系见表 4。

表 4 流域森林变化与洪枯比关系

流域名称	增量 ΔG	森林覆盖率 增量 $\Delta F/\%$	活立木总蓄积量 增量 $\Delta C/(\text{万 m}^3)$	$\Delta G/\Delta F$	$\Delta G/\Delta C$
雾渡河	+ 4.56	- 5.49	- 5.20	- 0.83	- 0.88

从表 4 中可看出,雾渡河流域 80 年代的洪枯比比 70 年

代增加了 4.56。与相应时段森林覆盖率增量相比, 可得流域洪枯比与森林覆盖率、活立木总蓄积量成负相关关系, 森林覆盖率每减少 1 个百分点, 洪枯比增加 0.83, 活立木总蓄积量每减少 1 万 m³, 洪枯比增加 0.88。

表 5 枯水期降雨、径流与森林变化的关系

年代	枯水期径流 深 $R_{枯}$ /mm	枯水期降雨 量 $P_{枯}$ /mm	枯水期径流深 增量 $\Delta R_{枯}$ /mm	森林覆盖 率增量 $\Delta F/\%$	活立木总蓄积量 增量 $\Delta C/\text{万 m}^3$	$\Delta R_{枯}/\Delta F$	$\Delta R_{枯}/\Delta C$
70	78.7	245.5	-25.3	-5.49	-5.20	+4.61	+4.87
80	53.4	220.3					

由表 5 可知, 雾渡河流域 80 年代和 70 年代相比, 随着森林覆盖率、活立木总蓄积量的减少, 枯水期径流深也减小。即枯水期径流深与森林覆盖率、活立木总蓄积量成正相关, 森林覆盖率每减少 1 个百分点, 枯水期径流深减少 4.61 mm, 活立木总蓄积量每减少 1 万 m³, 枯水期径流深将减少 4.87 mm。

3.5 森林变化对输沙量的影响

森林覆盖率和森林活立木总蓄积量的变化, 对输沙量具有直接或间接的影响, 研究流域森林变化与年输沙模数的关系见表 6。

表 6 流域森林变化与年输沙模数的关系

雾渡河流域	70 年代						80 年代					
	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1982	1983	1984	1985	平均
输沙模数 M_s	84.4	100.4	39.4	59.7	81.3	112.8	241.0	540.3	600.5	670.8	304.3	471.4
降水产沙系数 L	1.056	1.007	0.702	0.717	0.809	1.183	1.047	1.454	1.177	0.778	0.879	
$M_{s\text{计}}$							96.1	159.5	115.1	60.7	73.3	100.9
ΔM_s												370.5
$\Delta F/\%$										-5.49		
$\Delta C/\text{万 m}^3$										-5.20		
$\Delta M_s/\Delta F$												-67.5
$\Delta M_s/\Delta C$												-71.3

以雾渡河流域 70 年代逐年悬移质输沙模数 (M_s) 和逐年降水产沙系数 (L) 为基础资料, 建立关系式为

参考文献:

[1] 王礼先, 张志强. 干旱地区森林对流域径流的影响[J]. 自然资源学报, 2002, 17(5): 439-444.

[2] 刘昌明, 钟骏襄. 黄土高原森林对年径流影响的初步分析[J]. 地理学报, 1978, 33(2): 112-126.

[3] 张志强, 王礼先, 等. 森林植被影响径流形成机制研究进展[J]. 自然资源学报, 2001, 16(5): 79-84.

[4] Swanson R H. Forest hydrology issues for the 21st century: A consultant's viewpoint[J]. Ameri. Water Resource Assoc., 1998, 34(4): 755-763.

[5] Vorobeichik, E L, Pozolotina, V N. Microscale spatial variation in forest litter phytotoxicity[J]. Russian Journal of Ecology, 2003, 34(6): 381-388.

[6] Semkin, R G, Hazlett, P W, Beall, F D. Development of stream water chemistry during spring melt in a northern hardwood forest[J]. Water, Air and Soil Pollution. 2002, 2(1): 37-61.

[7] Chen, G X, Yu, K W, Liao, L P. Effect of human activities on forest ecosystems: N cycle and soil fertility[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2000, 57(1): 47-54.

[8] Anderson, P H, Pezeshki, S R. The effects of intermittent flooding on seedling of three forest species[J]. Photosynthetica, 2000, 37(4): 543-552.

[9] Laiolo, Paola, Rolando, Antonio. The evolution of vocalizations in the genus corvus&colon: effects of phylogeny, morphology and habitat[J]. Evolutionary Ecology, 2003, 17(2): 111-123.

[10] 张洪江, 解明曙, 等. 长江三峡库区不同林地的土壤保持作用[J]. 水土保持研究, 1998, 5(2): 99-103.

[11] 张洪江, 解明曙, 王玉杰, 等. 长江三峡库区多功能防护林建设途径探讨[J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(6): 47-53.

[12] 王礼先, 张志强. 森林植被变化的水文生态效应研究进展[J]. 世界林业研究, 1998, 11(6): 14-23.

3.4 森林变化对枯水期径流的影响

长江三峡库区枯水期为 11 月至次年 4 月, 雾渡河流域不同时段枯水期降雨量、相应的径流深及森林覆盖率、活立木总蓄积量见表 5。

$$M_s = 89.483L^{1.5438} \quad r = 0.875 \quad (5)$$

将 80 年代逐年降雨产沙量指标代入式 (5), 求得 M_s 计 (表 6), 取其平均值得 $M_{s\text{计}} = 100.9 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 同实测 $M_{s\text{实测}} = 471.4 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 相比较, $\Delta M_s = 370.5 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$; 即森林覆盖率每减少 1 个百分点, 年输沙模数增加 67.5 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 活立木总蓄积量每减少 1 万 m³, 年输沙模数增加 71.3 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。

4 结 论

(1) 长江三峡库区内的雾渡河流域年径流深与森林覆盖率、活立木总蓄积量呈负相关关系。森林覆盖率每减少 1 个百分点, 年径流深增加 3.55 mm, 活立木总蓄积量每减少 1 万 m³, 年径流深增加 3.75 mm。

(2) 雾渡河流域洪枯比与森林覆盖率、活立木总蓄积量均呈负相关关系。森林覆盖率每减少 1 个百分点, 洪枯比增加 0.83, 活立木总蓄积量每减少 1 万 m³, 洪枯比增加 0.88。

(3) 雾渡河流域枯水期径流深与活立木总蓄积量、森林覆盖率呈正相关, 活立木蓄积量每减少 1 万 m³, 枯水期径流深减少 4.87 mm, 森林覆盖率每减少 1 个百分点, 枯水期径流深减少 4.61 mm。

(4) 年输沙模数与森林覆盖率、活立木总蓄积量呈负相关, 森林覆盖率每减少 1 个百分点, 年输沙模数增加 67.5 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 活立木总蓄积量每减少 1 万 m³, 年输沙模数增加 71.3 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。