

黑龙江省汤旺河和呼兰河流域森林 对河川年径流量的影响

张庆费

周晓峰

(上海市园林科学研究所, 上海 200232) (东北林业大学森林资源与环境学院, 哈尔滨 150040)

摘要 利用连续 17 年的流域森林资源和水文资料, 分析黑龙江省汤旺河和呼兰河流域森林对河川径流的调节效应, 结果表明: (1) 森林能使径流年内分配和年际变化趋于均匀, 其调节径流能力与森林状况相关; (2) 森林覆被率和单位面积蓄积与河川年径流量和年径流系数均呈正相关关系, 森林具有增加年径流量和年径流系数的作用, 但年径流量和年径流系数主要受年降雨量的影响。

关键词 森林覆被率; 单位面积蓄积; 年径流量; 年径流系数; 流域

Influence of forest on runoff discharges in Tangwang River and Hulan River basins of Heilongjiang Province Zhang Qingfei (Shanghai Landscape Gardening Research Institute, Shanghai 200232), Zhou Xiaofeng (College of Forest Resources and Environment, Northeast Forestry University, Harbin 150040), *J. Plant Resour. & Environ.* 1999, 8(1): 22~27

The effects of forest regulating runoff in Tangwang River and Hulan River basins in Heilongjiang Province were analyzed by using 17-year series of forestry and hydrological data. The results were as follows: (1) forest could make intra-annual distribution and inter-annual variation of runoff uniform, and the ability of forest regulating runoff increased with the improvement of forest condition; (2) forest coverage and unit stock volume were positively correlated with annual runoff discharges and annual runoff coefficient, so forest could increase annual runoff discharges and runoff coefficient in the two rivers, but the influence was not significant. On the other hand, annual precipitation was the main factor which determined the annual runoff discharges and runoff coefficient.

Key words forest coverage; unit stock volume; annual runoff discharge; annual runoff coefficient; basin

森林与水的关系, 尤其是森林涵养水源及其能力大小, 一直为人们所关注。但由于两者之间关系复杂, 并受自然地理等因素的深刻影响, 目前也缺乏对森林水文效应机制的深入研究, 因此, 尚存在分歧, 焦点在于森林对流域降水、年径流及蒸散发等影响上^[1~4]。作者选择黑龙江省两个典型流域(农区和林区), 比较不同植被状况的流域间及不同时期森林变化对同一流域森林年径流的影响, 探讨森林涵养水源和调节径流的能力, 为确切认识森林生态效应提供科学依据。

* 林业部重点科研项目“森林生态系统定位研究”课题资助

张庆费: 男, 1966 年 12 月生, 生态学博士, 主要从事城市绿地系统效益及评价、城市植物生态和城市森林等研究。

收稿日期 1998-08-06

1 研究流域概况

1.1 汤旺河流域

汤旺河位于小兴安岭南麓,全长 509 km,流域面积 20 838 km²,晨明水文站控制全长 449 km,流域集水面积 18 857 km²。本流域属北温带大陆性季风气候区,年平均气温 -1 ℃,1 月平均气温 -26 ℃,7 月平均气温 20 ℃,年降雨量 627.9 mm,年蒸发量 1 036.0 mm。流域主要岩层为花岗岩和花岗闪长岩,土壤以棕色针叶林土和暗棕壤为主,主要植被是以阔叶红松林为主的温带针阔混交林及阔叶混交林,是我国主要林区之一。

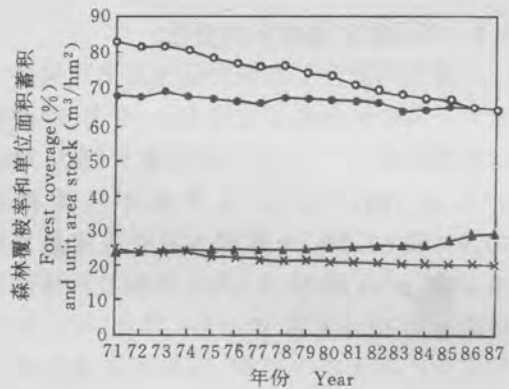
1.2 呼兰河流域

呼兰河流域发源于小兴安岭西麓,全长 523 km,流域面积 35 683 km²。兰西水文站控制全长 420 km,流域面积 27 736 km²。本区属北温带季风气候区,年平均气温 2~4 ℃,1 月均温 -21.1 ℃,7 月均温 22.2 ℃,年降雨量 576 mm,年蒸发量 1 182 mm。本流域上游东北部山区多为森林覆盖,其余部分为漫岗平原,原始植被消失殆尽,主要为农作物及杂草群落,森林植被以农田防护林和水土保持林为主,本区是黑龙江省的主要粮区之一。

2 研究方法

在流域水平上,研究森林对径流影响的主要方法有:森林植被不同的流域间对比和同一流域不同时期对比^[1,2]。不过,前者受流域相似性影响,易受流域间地理位置、气候和地质等因子的影响;后者若无较长序列的资料,也不易得出确切结论。汤旺河和呼兰河流域纬度、气候等自然条件相近,森林和水文资料的数据序列较长,而且,集水区界和行政区界比较吻合,因此,本文采用两者结合的方法,利用 17 年的连续资料,对流域各年度水文参数及森林资源参数进行回归分析,探讨森林对河川径流量的影响。

水文资料取自《黑龙江省水文年鉴》(1971~1987),由于两流域集水面积大,降雨量观测点多(分别为 28 个和 60 个),故以算术平均法计算时段降雨量;森林资源资料取自流域内林业局、县森林资源统计资料以及资源清查资料,计算流域各年森林覆被率和单位面积蓄积量,并分别作为森林数量和质量的度量指标(图 1 和表 1)。



- 汤旺河流域森林覆被率 forest coverage in Tangwang River
- 汤旺河流域单位面积蓄积 unit stock in Tangwang River
- ▲— 呼兰河流域森林覆被率 forest coverage in Hulan River
- ×— 呼兰河流域单位面积蓄积 unit stock in Hulan River

图 1 汤旺河和呼兰河流域森林覆被率和单位面积蓄积
Fig 1 Forest coverage and unit area stock in Tangwang River and Hulan River of Heilongjiang Province

表1 黑龙江省汤旺河和呼兰河流域水文参数值

Tab 1 The values of hydrological parameters in Tangwang River and Hulan River basins of Heilongjiang Province

年份 Year	年径流量 (m ³ /s) Annual runoff discharge		年径流系数 Annual runoff coefficient		年降雨量 (mm) Annual precipitation		年蒸发量 (mm) Annual evaporation	
	汤旺河 Tangwang	呼兰河 Hulan	汤旺河 Tangwang	呼兰河 Hulan	汤旺河 Tangwang	呼兰河 Hulan	汤旺河 Tangwang	呼兰河 Hulan
1971	186.0	119.0	0.46	0.23	675.5	607.1	1 020.7	1 176.4
1972	183.0	151.0	0.45	0.26	690.2	667.6	1 009.5	1 166.3
1973	216.0	170.0	0.55	0.34	654.9	585.8	1 024.4	1 098.7
1974	168.0	88.2	0.33	0.19	630.4	530.7	867.9	1 085.5
1975	87.7	73.6	0.29	0.17	510.4	499.8	1 076.0	1 308.7
1976	77.9	36.4	0.28	0.11	474.3	407.9	1 055.6	1 303.5
1977	71.8	74.6	0.23	0.14	527.8	594.5	1 083.6	1 181.2
1978	102.0	59.4	0.28	0.13	603.4	526.5	1 102.6	1 203.8
1979	83.6	65.9	0.26	0.15	541.3	524.9	1 131.3	1 187.6
1980	99.0	47.7	0.28	0.12	573.8	475.4	986.9	1 133.1
1981	218.0	85.6	0.51	0.18	708.6	557.5	876.7	1 141.9
1982	101.0	55.0	0.31	0.12	533.5	503.6	1 079.7	1 404.6
1983	173.0	145.0	0.42	0.25	664.3	659.0	895.9	1 094.0
1984	187.0	139.0	0.44	0.24	703.1	649.3	945.5	1 061.1
1985	278.0	241.0	0.51	0.35	897.5	793.6	991.8	1 053.7
1986	139.0	67.7	0.41	0.17	564.7	456.7	1 183.2	1 090.5
1987	179.0	127.0	0.41	0.20	721.0	707.8	1 237.5	1 045.6

3 结果与分析

3.1 河川径流量的年内变化

研究河流位于温带大陆性夏雨气候区,径流量呈明显的洪枯季节交替规律(图2),连续最大4个月平均径流量出现在6~9月,兰西站和晨明站该4个月平均径流量分别为74.5 m³/s和100.8 m³/s,占各自年径流量的70.9%和67.2%,4月和5月春汛流量分别为13.2 m³/s和26.1 m³/s,分别占各河流年径流量的12.6%和17.4%,可见,呼兰河汛期流量比例大于汤旺河,而春汛流量比例小于汤旺河。因此,呼兰河的汛期和枯水期径流量比大于汤旺河,而年内各月径流量离差系数 C_L 值分别为1.14和0.94,径流年内分配不均匀系数 C_L 值分别为0.41和0.39。因此,汤旺河的径流年内分配比呼兰河均匀。这与流域水分调蓄能力相关,汤旺河流域森林覆被率和单位蓄积均高于呼兰河流域,表明了森林消洪补枯,调节径流的作用。

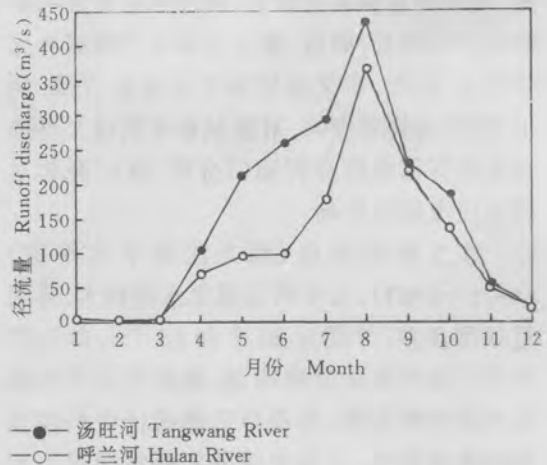


图2 黑龙江省汤旺河和呼兰河月平均径流量
Fig 2 The average monthly runoff discharge in Tangwang River and Hulan River of Heilongjiang Province

3.2 河川径流量的年际变化

利用研究时段内的一些水文参数年极值的比值和径流量离差系数,比较森林资源状况不同的径流量年际变幅(表 2)。从表 2 可见,两流域年降雨量 P_{\max}/P_{\min} 值相差不大,但年径流量变幅相差显著,而且呼兰河的各项径流量变幅值均大于汤旺河,说明呼兰河年径流量变幅更大,汤旺河流域森林覆被率较高,径流量年际分配也更趋均匀,表明森林能影响河川径流年际变化。

表 2 黑龙江省汤旺河和呼兰河一些水文参数的年极值对照表¹⁾

Tab 2 Comparison of annual extreme values of several hydrological parameters in Tangwang River and Hulan River of Heilongjiang Province¹⁾

河流 Rivers	R_{\max}	R_{\min}	R_{\max}/R_{\min}	I_{\max}	I_{\min}	I_{\max}/I_{\min}	C_v	P_{\max}	P_{\min}	P_{\max}/P_{\min}
汤旺河 Tangwang River	456.1	120.4	3.87	0.55	0.23	2.39	0.40	897.5	467.4	1.92
呼兰河 Hulan River	274.0	42.1	6.51	0.39	0.11	3.55	0.48	793.9	407.9	1.95

¹⁾ R_{\max} : 最大年径流量 maximum annual runoff discharge; R_{\min} : 最小年径流量 minimum annual runoff discharge; I_{\max} : 最大年径流系数 maximum annual runoff coefficient; I_{\min} : 最小年径流系数 minimum annual runoff coefficient; C_v : 径流量离差系数 runoff variation coefficient; P_{\max} : 最大年降雨量 maximum annual precipitation; P_{\min} : 最小年降雨量 minimum annual precipitation.

3.3 森林对年径流量的影响

森林与年径流量的关系是一个有争议的复杂问题,以往的研究主要从年径流量和森林覆被率的关系进行分析,几乎未涉及森林质量的影响。事实上,森林的类型和群落结构的不同,森林水文效应也不同^[4];并且,以往研究一般也是根据几次森林调查资料进行时段分析,也有将各时段覆被率和年径流量的均值进行分析^[5~7]。本研究以单位面积蓄积作为森林质量指标,以森林覆被率作为数量指标,对每年森林指标值与相应的年径流量,结合年降雨量和年蒸发量等气候因子,进行回归模拟分析,以同步动态分析森林对年径流量的影响。

经过多元回归分析,建立以下回归方程:

$$\text{汤旺河: } R = -292.5850 + 0.5254P - 0.0680E + 2.7741C + 0.0144V$$

$$\text{回归参数显著性水平} \quad 0.0000 \quad 0.7814 \quad 0.3234 \quad 0.9953$$

$$\text{复相关系数 } \gamma^2 = 0.89 \quad \text{F 值} = 23.39 > F_{0.01}(4, 12) = 5.41$$

$$\text{呼兰河: } R = -352.4314 + 0.4490P - 0.0560E + 3.0513C + 8.7463V$$

$$\text{回归参数显著性水平} \quad 0.0001 \quad 0.5314 \quad 0.6531 \quad 0.2409$$

$$\text{复相关系数 } \gamma^2 = 0.83 \quad \text{F 值} = 14.60 > F_{0.01}(4, 12) = 5.41$$

式中: R : 年径流量(m^3/s); C : 森林覆被率(%); V : 单位面积蓄积(m^3/hm^2); P : 年降雨量(mm); E : 年蒸发量(mm)

F 检验结果表明,两河年径流量回归方程的线性关系均达到极显著水平,两河的年径流量均与年降雨量、森林覆被率、单位面积蓄积呈正相关关系,与年蒸发量呈负相关。但从回归参数的显著性水平来看,除年降雨量外,其它参数均未达到 0.05 的显著水平。因此,运用逐步回归方法,重新建立了回归参数均达到显著水平的回归方程:

$$\text{汤旺河: } R = -187.9143 + 0.5381P \quad \text{呼兰河: } R = -173.7093 + 0.4821P$$

$$\text{回归参数显著性水平} \quad 0.0000 \quad \text{回归参数显著性水平} \quad 0.0000$$

$$\gamma^2 = 0.87 \quad \text{F 值} = 97.40 > F_{0.01}(1, 15) = 8.68 \quad \gamma^2 = 0.79 \quad \text{F 值} = 57.45 > F_{0.01}(1, 15) = 8.68$$

可见,汤旺河和呼兰河的年径流量仅与年降雨量呈显著的正相关关系,年降雨量是决定年径流量的主要因素,森林覆被率和单位面积蓄积尽管与年径流量呈正相关关系,但均未达到统计上的显著水平。

河川径流量是反映流域水文过程的一项综合指标,主要受气候和下垫面因素的影响,两者的不同组合,在不同的研究范围内,将对河川径流产生不同的影响^[1]。森林的蒸腾作用,加上庞大的根系,使林地土壤水与地下水的水分蒸散发量大于非林地土壤水的蒸发量,因此,森林具有减少径流量的效应。但研究流域地处高纬度地区,无霜期只有100~140 d,植物生长季比较短,多数在5~10月中旬。5月和6月的降雨量比较小,土壤水分不足,森林实际蒸腾量低于其蒸散发潜能;7月下旬至9月中旬是主要降雨期,土壤湿度大,森林蒸散发量可能达到蒸散发潜能,而9月和10月林木的蒸腾量已经下降。可见,流域内森林年实际蒸腾量小于其蒸散发潜能;而且,林地的水平降雨,能使少量水汽凝结而保留于林地中,郁闭的林冠及林下地被物能减少林内地面蒸发,森林下垫面也具有良好的渗透性和持水性;另外,森林还能增加融雪径流量^[9],因此,研究流域的森林对河川径流具有正效应。

流域出口断面的径流是降雨通过流域自然地理因素综合影响的产物,因此,气候因子,尤其是降雨量决定了河川径流量,森林作为流域下垫面因素之一,虽对河川径流具有一定的调蓄作用,但不能更多地改变降水导致的流域产流汇流过程和模式。况且,尽管森林的覆被和蓄积发生了变化,但由于研究地区属湿润地区,坡度不大,土壤比较肥沃,森林采伐后,灌木、地被植物和枯枝落叶层仍具有一定的涵蓄水分作用,对径流也有一定的调节性,这也部分补偿了森林减少导致水文效应的降低。

3.4 森林对年径流系数的影响

径流系数是表示流域降雨量形成径流量的比例,它不仅与降雨量等气候因子密切相关,也受自然地理条件的影响,反映了下垫面的状况,尤其是植被和土壤持水性。

为了揭示森林与年径流系数的关系,利用年径流系数(I)与森林覆被率(C)、单位面积蓄积(V)、年降雨量(P)和蒸发量(E)进行多元回归分析,建立了以下回归方程:

$$\text{汤旺河: } I = -0.3894 + 0.0008P - 0.0001E + 0.0045C + 0.0006V$$

$$\text{回归参数显著性水平} \quad 0.0024 \quad 0.8083 \quad 0.8839 \quad 0.9341$$

$$\text{复相关系数} \quad \gamma^2 = 0.62 \quad F \text{ 值} = 4.89 > F_{0.05}(4, 12) = 4.63$$

$$\text{呼兰河: } I = -0.4473 + 0.0005P - 0.0002E + 0.0048C + 0.0204V$$

$$\text{回归参数显著性水平} \quad 0.0057 \quad 0.3334 \quad 0.6921 \quad 0.1334$$

$$\text{复相关系数} \quad \gamma^2 = 0.70 \quad F \text{ 值} = 7.14 > F_{0.01}(4, 12) = 5.41$$

F 检验结果表明,两回归方程的线性关系都达到显著水平,两河的年径流系数均与年降雨量、森林覆被率、单位面积蓄积呈正相关关系,与年蒸发量呈负相关。但从回归参数的显著性水平来看,除年降雨量外,其他参数均未达到0.05的显著水平。因此,运用逐步回归方法,重新建立了回归参数均达到显著水平的回归方程:

$$\text{汤旺河: } I = -0.0971 + 0.0008P$$

$$\text{回归参数显著性水平} \quad 0.0002$$

$$\text{呼兰河: } I = -0.1226 + 0.0006P$$

$$\text{回归参数显著性水平} \quad 0.0004$$

$$\gamma^2 = 0.61 \quad F \text{ 值} = 23.05 > F_{0.01}(1, 15) = 8.68 \quad \gamma^2 = 0.58 \quad F \text{ 值} = 20.59 > F_{0.01}(1, 15) = 8.68$$

可见,汤旺河和呼兰河的年径流系数仅与年降雨量呈显著正相关关系,年径流系数决定于

年降雨量,流域内的降雨特性是流域产流的主要条件,尽管森林通过水源涵养和调节径流,有利于增加年径流系数,但森林的影响不如降雨量显著。可见,森林对年径流的作用既不能忽视,也不能过分夸张。

4 结 论

(1) 森林能调节径流,使径流年内分配趋于均匀,也能减少年际变幅,森林调节径流能力与流域森林资源状况呈正相关;

(2) 森林覆被率和单位面积蓄积与年径流量和年径流系数呈正相关,森林能增加年径流量和年径流系数,但森林的影响也具有相对性。河川年径流量和年径流系数主要由年降雨量决定,并呈显著的正相关关系;因此,在评估森林对年径流量调节效应时,应该考虑年降雨量这个主要影响因子,以保证分析的准确性和科学性;当然,森林还能增加融雪径流^[8]、减少次洪水径流量和洪峰径流量,减少洪峰暴涨和暴落现象^[9],能调节径流量的时空变化,尤其森林能明显减少土壤侵蚀。所以,在流域治理中,应该大力恢复和营造森林,改善森林群落结构,坚持生物措施和工程措施相结合。

(3) 同一地区内,在流域集水面积 2 km²以下的集水区和径流小区中,森林的存在,使总径流量减少 1.31%~9.19%^[4],可见空间尺度不同的流域森林对径流影响有差异。河川径流是地表径流和地下径流的总和,大流域比小流域具有更大的调蓄作用,使地下径流能更充分地汇入河川径流中,降低集水区封闭性产生的偏差;另外,径流测试方法的完整性和统一性也有待进一步完善,而下渗流和基流的测定仍不准确,统计方法也不尽一致。因此,不同集水面积森林的影响状况和机制亟待深入研究,这也有赖于森林水文测试技术和手段的提高和完善。

参 考 文 献

- 1 于静洁,刘昌明. 森林水文学研究综述. 地理研究, 1989, 8(1): 88~98.
- 2 金栋梁. 森林对水文资源的影响. 水资源研究, 1987, 8(1/2): 91~101.
- 3 何固心. 美国森林植被对河川径流影响的研究. 地理译报, 1986, (1): 35~40.
- 4 周晓峰,李庆夏,金永岩. 帽儿山、凉水森林水分循环的研究. 见:周晓峰主编. 中国森林生态系统定位研究. 哈尔滨:东北林业大学出版社, 1994. 213~222.
- 5 陈祖望,任守贤. 岷江上游森林水文效应研究. 地理学报, 1992, 47(1): 49~57.
- 6 曹艳杰,李庆夏,蔡体久. 松花江流域森林对河川径流的影响. 见:周晓峰主编. 森林生态系统定位研究(第一集). 哈尔滨:东北林业大学出版社, 1991. 396~404.
- 7 李杰友. 清江流域森林水文效应分析. 见:潘维传主编. 全国森林水文学学术讨论会文集. 北京:测绘出版社, 1990. 199~206.
- 8 张庆费,周晓峰,蔡体久. 黑龙江中部地区森林对融雪径流的影响. 植物资源与环境, 1994, 3(3): 36~40.
- 9 张庆费,周晓峰,王传宽. 小兴安岭西南部森林对洪水径流的影响. 生态学杂志, 1995, 14(4): 10~14.

(责任编辑:惠 红)