

黄土高原森林植被对流域径流的调节作用*

黄明斌^{1*} 刘贤赵²

(¹中国科学院、水利部水土保持研究所, 杨凌 712100; ²烟台师范大学, 烟台 264025)

摘要 对黄土高原腹地子午岭典型森林流域与非森林流域年径流变化的对比分析结果表明, 森林流域径流年内分配比非森林流域相对均匀, 汛期(6~9月)总径流量减少了8.9mm(葫芦河比蒲河)和7.1mm(合水川比东川); 枯季径流与汛期降水及枯水季节降水的回归分析可见, 森林植被能将雨季蓄积的部分降水转化为地下径流, 增大枯水季节的径流量。但由于黄土区土层深厚, 植被蒸腾耗水强烈, 森林植被对枯水期河川径流的调节作用十分有限, 森林植被对10~12月径流总的补枯效应仅为1.69mm(葫芦河比蒲河)和0.5mm(合水川比东川), 对1~4月径流无调节作用, 说明森林植被拦蓄的大部分降雨被植物吸收利用, 消耗于蒸腾, 从而揭示了森林植被对河川径流的削洪补枯效应及其机理。

关键词 黄土高原 森林植被 调节作用

文章编号 1001-9332(2002)09-1057-04 **中图分类号** S727.2 **文献标识码** A

Regulation effect of forest vegetation on watershed runoff in the Loess Plateau. HUANG Mingbin, LIU Xianzhao (¹Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100; ²Department of Geography, Yantai Normal University, Yantai 264025). *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2002, 13(9): 1057~1060.

The runoff and rainfall data of typical forested and nonforested watersheds in Ziwuling region, which is located in the hinterland of the Loess Plateau, were used to analyze their annual runoff variation comparatively. The result showed that the annual distribution of runoff in forested watersheds was uniform, compared with that in nonforested watersheds. The total runoff in flood season decreased by 8.9 mm and 7.1 mm. Regression analyses between runoff in dried-up season and rainfall in flood season or in dried-up season showed that the rainfall in flood season in forested watersheds could be changed into underground runoff by forest vegetation, and increased the runoff in dried-up season. The annual variation of runoff also indicated that the total effect of forest vegetation on dried-up runoff complement from October to December was 1.69 mm and 0.5 mm, and that from January to May was not significant.

Key words The Loess Plateau, Forest vegetation, Regulation.

1 引言

黄土高原森林植被的蓄水保土、截留降水、减少地表径流、拦截泥沙等方面的作用已被大量的研究结果所证实^[1-4,8,10]。但森林对河川径流的影响, 尤其是黄土高原的森林植被能否把雨季拦蓄的降水转化为地下径流、促进水流均匀地进入江河水库等问题缺乏定量的描述。孙长忠等^[11]把林地土壤蓄水能力高看成是转化为地下水的的原因, 实则蓄水能力高可能增加了截流作用; 黄明斌等^[4]从森林流域年径流变率小、枯水季节仍有部分径流量的角度, 推断黄土高原森林植被具有很好的调洪补枯作用。从林地土壤水分循环特征来看, 在半干旱、半湿润的黄土区, 由于土层深厚, 植被蒸腾耗水强烈, 林地常形成巨大的水分亏缺, 使入渗的水量一般只能湿润上部土层1~3m。水分被土壤吸持后, 在非生长季节可沿着水势梯度方向向下移动, 但不能释放出来转化为

地下径流, 林区总径流是减少的, 蓄积的部分降水消耗在土壤、植物、大气间的水分小循环上^[5]。然而, 流域空间变异性大, 土层厚度深浅不一, 裂隙垂直发育丰富, 植被拦蓄的降雨也有可能转化为地下径流, 补充枯水季节的流量。但从流域尺度来讲, 此种调节作用究竟有多大, 黄土高原植被建设能否缓解流域枯水季节径流量小的矛盾, 达到增加下游河川径流量的目的, 相关研究尚未见报道。本文选择位于黄土高原腹地子午岭林区的葫芦河和合水川森林流域以及附近非林区的蒲河和东川草地流域, 通过两类流域年径流变化的对比分析, 以期揭示流域尺度内森林植被对河川径流的调亏作用, 为黄土高原植被重建和流域水分环境演变研究提供科学依据。

* 国家自然科学基金重大项目(49890330)、国家自然科学基金项目(50079023)和中国科学院/西部之光资助项目。

** 通讯联系人。

2000-08-31收稿, 2000-11-25接受。

2 研究地区与研究方法

2.1 研究地区概况

研究流域位于黄土高原腹地的子午岭林区和非林区。该区是陕甘两省交界的一条和缓起伏的断块地形,是黄土高原现存较少的、保存较完整的天然次生林区。现有森林面积 $8.33 \times 10^5 \text{hm}^2$,由于人口增长和其它社会原因,森林植被不断经历破坏恢复再破坏的过程,对区域生态环境和植被演替造成明显影响。根据资料积累情况,选择了植被保存较好的葫芦河流域和合水川流域与植被较差的东川流域和蒲河流域进行对比分析,以揭示森林植被对河川径流的影响。

2.1.2 研究方法

上述四大流域的地理位置见图1,各流域植被情况采用航片资料进行调查分析所得。非林区东川流域面积 528km^2 ,流域左侧分水岭附近有 51.7km^2 左右的林地,有林面积仅占流域总面积的 9.79%;蒲河流域面积 3522km^2 ,流域内基本没有林地,仅在宅旁、路旁及一些台地有人工种植的零星树木及一些禾本科植物和草本植物,属于非林区。林区合水川流域系马莲河右岸的一条支流,流域面积 807km^2 ,区内为乔灌木混交的天然次生林,面积 410.25km^2 ,占流域总面积的 50.84%,乔灌木郁闭度平均 60% 以上,另有覆盖度大约 50% 的残林区面积约 233.75km^2 ,无林区面积 163km^2 ,沟底有散生的灌木丛分布,牧草生长良好;葫芦河流域面积 4715km^2 ,基本被森林覆盖,有覆盖度大约 50% 的残林区 200km^2 ,流域内水土流失小。各流域的径流资料分别采用蒲河巴家嘴水文站(1952~1987年)、东川悦乐水文站(1959~1987年)、合水川板桥水文站(1959~1987年)和葫芦河张村驿水文站(1958~1987年)的历年观测结果,降雨资料根据各流域多点实测资料,利用面积分割加权法计算平均值。

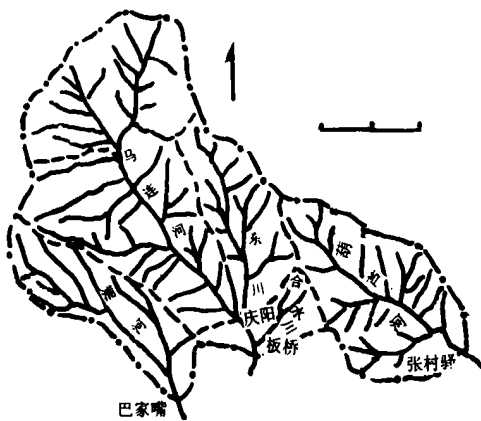


图1 研究流域分布示意图
Fig. 1 Sketch of studied watersheds.

3 结果与分析

3.1 流域径流量的年动态变化

图2为森林流域葫芦河、合水川和非森林流域蒲河、东川各月多年平均径流深的动态变化过程。为

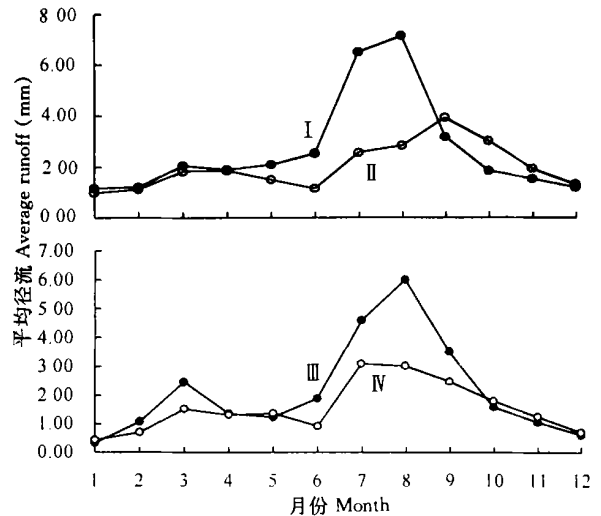


图2 森林流域和非森林流域径流年变化
Fig. 2 Annual variation of runoff in forest and non-forest watersheds.
N. 蒲河 Puhu, O. 葫芦河 Hulusi, N. 东川 Dongchuan, O. 合水川 Heshuichuan.

便于森林流域与非森林流域的比较,根据流域面积的大小将其分为两组讨论:葫芦河流域与蒲河流域为中尺度流域;合水川流域与东川流域为小尺度流域。由图2可见,森林流域无论是中尺度还是小尺度,年径流量的动态变化都表现得比较平稳,森林植被对汛期径流的拦蓄作用明显,而且森林覆盖度愈大,植被的拦蓄作用愈强。各流域径流量的年平均离差系数为:葫芦河 28.7;蒲河 49.4;合水川 25.0;东川 42.6。这与刘昌明等^[6]的研究结果相一致。

3.1.2 森林植被对流域汛期径流的拦蓄作用

图2表明,植被稀少的非森林流域全年径流量集中在汛期,造成年内径流分配极不均匀,而林区流域的年内径流分布也较均衡。非森林流域的多年汛期平均径流量占多年平均总径流量的 70.72% (蒲河)和 73.36% (东川),而森林流域的多年汛期平均径流量只占多年平均总径流量的 60.77% (葫芦河)和 64.62% (合水川)。另外,非森林流域的汛期径流量普遍大于森林流域的汛期径流量,6~9月非森林流域月多年平均径流深是林区流域径流深的 1.12~2.53倍。与非林区相比,森林植被6~9月总径流量分别减少 8.9mm (葫芦河与蒲河相比)和 7.1mm (合水川与东川相比),可见森林植被对河川汛期径流具有很好的拦蓄作用 ($P > 0.05$)。对非森林流域蒲河、东川和森林流域葫芦河、合水川汛期径流量与汛期降雨量的回归分析表明,非森林流域汛期径流量与降雨量之间均存在较好的相关关系;而森林流域由于植被的拦蓄作用和地形的影响,二者的相关

关系较差.

森林流域汛期径流量与汛期降雨量的回归:

葫芦河 $R = 119821e^{010029p}$ $R^2 = 012867$

合水川 $R = 119484e^{010026p}$ $R^2 = 012086$

非森林流域汛期径流量与汛期降雨量的回归:

蒲河 $R = 416283e^{010036p}$ $R^2 = 016816$

东川 $R = 119512e^{010034p}$ $R^2 = 015775$

式中, R 是汛期径流量(mm), p 是汛期降雨量(mm).

313 森林植被对枯水季节出境径流的调节作用

图3分别描述了4个流域枯水季节(10月到次年5月)总径流深与前期降水(6~9月总降水量)和同期降水量的关系,回归结果见表1.由图3和表1可见,4个流域两者的相关系数分别为:葫芦河014525、合水川0.4651、蒲河0.0051、东川0.3241.表明森林流域枯水季节的降水对流域同期径流量的影响要大于非森林流域;同样,森林流域前期降水(6~9月总降水量)对枯水季节的流域径流影响也较非森林流域要高,而且植被覆盖度愈高,相关性愈好.这说明森林流域的前期降水对形成枯水季节的流域径流有一定的贡献,植被拦蓄的汛期降水部分转化为地下径流,在枯水季节流出,成为枯水季节流域径流的组成部分,森林植被对流域枯水季节的河川径流具有一定的补枯作用.但是从图2森林流域与非森林流域年径流动态变化发现,在枯水季节,森林流域的径流并非总是大于同等尺度的非森林流

域.仅在10~12月间,森林流域多年月平均径流深大于非森林流域,其中蒲河与葫芦河差异显著($P > 0.05$),补枯效果较明显,而东川与合水川差别较小($P < 0.05$),补枯效果变化在12101%~15.32%,表明森林对河川枯季径流的补枯程度取决于流域森林覆盖度.而在1~4月,森林流域各月多年平均径流深均小于非森林流域,表明植被对年度径流分配的调亏作用有限.出现这种情况的原因很可能是由于非林区大气温度上升超过了林区温度^[5],导致1~4月积雪大量融化形成的径流占优势,掩盖了林区对枯季1~4月径流的补给效应,如非林区枯季最大径流出现在3月,实际上是以融雪补给为主形成的径流(图3).另外,由于黄土地区裂隙宽度较小,森林植被截持的降水在入渗的过程中,先要预湿/通道0,小雨因其小,对黄土地下水无明显的补给作用,大暴雨又因其易形成地表径流或造浆以致堵塞/通道0,所以降雨补给地下水形成地下径流需要较长的时间,一般至少需51~73d以上^[12].根据这一时间推算,雨季林区截留入渗的降水刚好补给枯季10~12月份的径流.再者,由于各地裂隙发育情况不同,降水平面分布不均,地面凹凸不平等,又限制了降水的入渗途径和对地下水的补给量.加上林草植被蒸发蒸腾量的增加(其腾发耗水量可占降水量的72.3%^[7]),促使土壤干层形成,从而阻断地下水的补给.因此,随着枯季月份的往后推移,很有可能导致林区降水的补枯效应相对减弱.

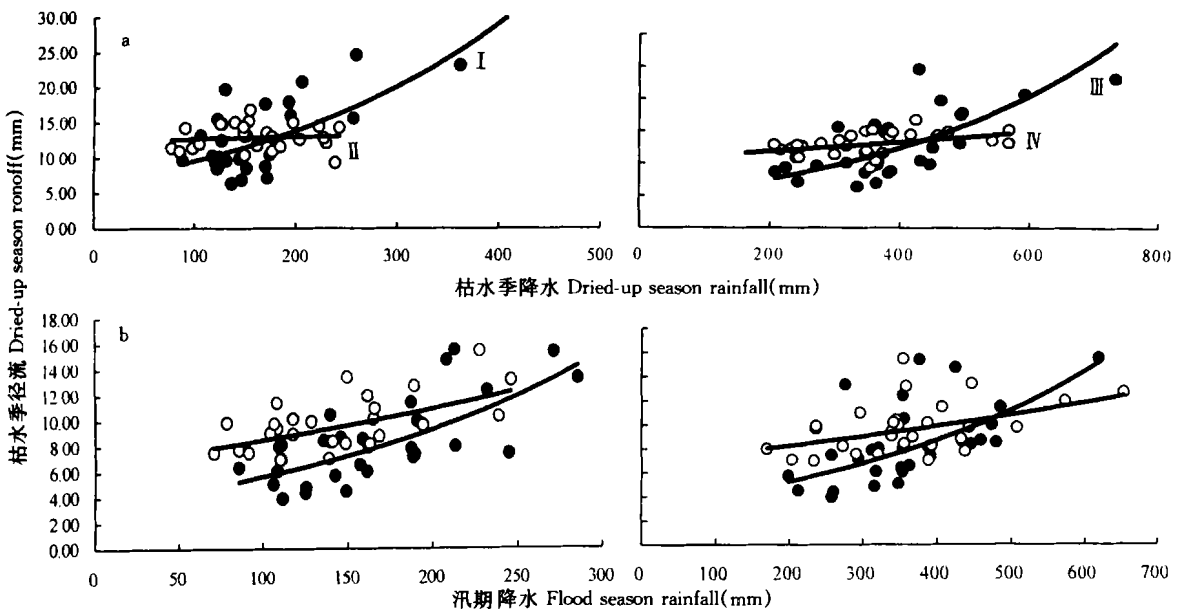


图3 林区与非林区枯季径流与枯水季降水(a)和汛期降水(b)相关分析

Fig. 3 Correlation analysis of dried-up season runoff (a) and flood season rainfall or rainfall (b) from October to May in next year.

表1 时段降雨量与产流量的回归关系

Table 1 Regression relation between rainfall in special period with runoff

项目 Item	流域名 Watershed name	样本数 Samples number	回归方程 Regression equation	R ²
枯水季降水与 枯水季径流	葫芦河 Huluhu	27	$R = 6.617e^{0.0031p}$	0.4525
Driedup season rainfall / flood season runoff	合水川 Heshuichuan	29	$R = 3.425e^{0.005p}$	0.4651
汛期降水与 枯水季径流	蒲河 Puhe	27	$R = 11.04e^{0.0306p}$	0.0051
Flood season rainfall/ driedup season runoff	东川 Dongchuan	29	$R = 6.6018e^{0.0025p}$	0.3241
	葫芦河 Huluhu	27	$R = 4.5654e^{0.0025p}$	0.4689
	合水川 Heshuichuan	29	$R = 3.1667e^{0.0025p}$	0.3783
	蒲河 Puhe	27	$R = 10.572e^{0.0006p}$	0.1840
	东川 Dongchuan	29	$R = 6.8559e^{0.0009p}$	0.2129

总之,在枯水季节,森林植被对流域出境径流有一定的调亏作用,其程度受植被覆盖度的影响,但总的效果并不十分突出,仅能增大10~12月份的径流量,反而削弱了1~5月份的径流.森林植被拦蓄的大部分降雨被植物吸收利用,消耗于蒸腾.

314 森林对河川径流削洪补枯的机理

当降雨强度和降雨量较小时,森林及土壤凭借自身的巨大蓄水能力把降水全部贮存起来,阻止径流的发生.研究表明,森林可以消耗降雨量的70%~80%,其中林冠截留蒸发为8%,森林植被生理消耗为23%,森林地被物和土壤蓄水为45%.子午岭林区树冠的截留率为11.4%~2214%,树冠蒸发为8%~10%,地被物吸水量和拦水量、土壤蓄水量分别为21%和33.1%^[9].同时林区枯枝落叶层具有滞缓产流时间和降低径流流速的作用.吴钦孝等^[10]研究发现,在黄土高原常见坡度25°条件下,有1cm厚的枯落物覆盖,径流流速可降到相当于无覆盖坡面的1/10~1/15,从而有利于降水渗入土壤.加上林区根系土壤层的透水和蓄水性能,把雨季相当一部分降水转化为土壤水,其中的一部分通过裂隙等途径可转化成地下水,起到补充调节枯季径流的作用.

由于子午岭地区汛期以短历时大暴雨为主要特征,属超渗产流区.当降雨强度超过土壤入渗速率和降雨量超过林地土壤的蓄水量时,虽然也发生径流,但其径流形式与非森林流域完全不同.非森林流域把地表承受的降雨量大多以地表径流的形式汇入集水区、沟道,并迅速形成洪水,导致河流水位猛涨;森林流域枯枝落叶层、腐殖质层厚,根系土壤层的渗透速率大大超过非森林流域,有较强的调蓄能力,洪峰被延缓,径流速度小,时间相对要长.森林流域把地表承受的降雨量转化为土壤储水量,而流域尺度

地形变化较大,黄土覆盖厚度深浅不一,裂隙发育丰富,虽然在某一微观尺度内,入渗降雨大多被植物的强烈蒸腾作用所消耗掉,不能转化为地下水.但流域尺度内,仍有拦蓄的部分降雨入渗转化为地下水,在枯水季节流出,调节流域年内径流分配,起到补充枯季径流的作用.

参考文献

- Chen DF(陈军锋), Pei TF(裴铁播), Tao XX(陶向新), et al. 2000. Effect of unsymmetrical cutting along both river slopes on rainstorm runoff process. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, 11(2): 210~214 (in Chinese)
- Fan SX(范世香), Pei TF(裴铁播), Jiang DM(蒋德明), et al. 2000. Rainfall interception capacity of forest canopy between two different stands. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, 11(5): 671~674 (in Chinese)
- Huang MB(黄明斌), Kang SZ(康绍忠), Li YS(李玉山). 1999. A comparison of hydrological behaviors of forest and grassland watersheds in gully region of the Loess Plateau. *J Nat Resour (自然资源学报)*, 14(3): 226~231 (in Chinese)
- Huang MB(黄明斌), Kang SZ(康绍忠), Li YS(李玉山). 1999. The change of water environment of small watershed in gully region of the Loess Plateau. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, 10(4): 411~414 (in Chinese)
- Li YS(李玉山). 1983. The properties of water cycle in soil and their effect on water cycle for land in the Loess Plateau. *Acta Ecol Sin (生态学报)*, 3(2): 91~101 (in Chinese)
- Liu CM(刘昌明), Zhong JX(钟骏襄). 1978. Study on effect of forest on year runoff in the Loess Plateau. *Acta Geog Sin (地理学报)*, 33(2): 112~127 (in Chinese)
- Liu ZW(刘增文), Wang YM(王佑民). 1990. The features of transpiration and soil water dynamic change in man-made forest. *Bull Soil Water Conserv (水土保持通报)*, 10(6): 78~84 (in Chinese)
- Shen H(沈慧), Jiang FQ(姜凤岐). 1999. Benefit evaluation on water and soil conservation forest- A review. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, 10(4): 492~496 (in Chinese)
- Sun CZ(孙长忠), Huang BL(黄宝龙), Liu SM(刘淑明). 2000. Soil moisture dynamics in forest and wasteland of Loess Plateau. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, 11(4): 523~526 (in Chinese)
- Wu QX(吴钦孝), Yang WZ(杨文治). 1998. *Vegetation Building and Sustainable Development in the Loess Plateau*. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- Wu QX(吴钦孝), Zhao HY(赵鸿雁). 2000. Hydroecological effect of forest and appropriate covering index in the Loess Plateau. *Bull Soil Water Conserv (水土保持通报)*, 20(3): 1~4 (in Chinese)
- Xue GL(薛根良). 1995. Study on the form of supply and conservation of groundwater in the Loess Plateau. *Hydro Engin Geol (水文地质与工程地质)*, 22(1): 38~40 (in Chinese)

作者简介 黄明斌,男,1968年生,博士,副研究员,主要从事土壤水动力学、流域水文生态环境等方面的研究,发表论文40余篇. Tel: 02927019071, E-mail: hmbd@public.xa.sn.cn