

森林植被和小流域生态修复对水沙变化的影响研究

兰跃东¹, 康玲玲²

(1. 山西省水土保持生态环境建设中心, 山西 太原 030002;

2. 黄河水利科学研究院 水利部黄河泥沙重点实验室, 河南 郑州 450003)

摘要: 为探讨植被建设对水沙变化的影响, 分析了北洛河流域森林植被和小流域生态修复的减水减沙作用。结果表明, 森林植被对径流、泥沙有明显的削减作用, 可削减径流 62.4%, 泥沙 94.9%, 同时还调蓄了径流的年内分配, 可将 20%~30% 左右的汛期径流调节到非汛期释放。但也应当看到, 森林一旦遭受破坏, 在暴雨洪水的作用下, 林区洪水泥沙也会剧增。另外, 从小流域生态修复对水沙变化的影响来看, 生态修复具有一定的减水减沙作用。

关键词: 森林植被; 生态修复; 水沙变化; 北洛河

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)01-0035-04

中图分类号: S157.1

Effects of Forest Vegetation and Ecological Recovery of Small Watershed on Water and Sediment Variations

LAN Yue-dong¹, KANG Ling-ling²

(1. Center for Environmental Construction, Soil and Water Conservation Bureau, Taiyuan, Shanxi 030002, China; 2. Institute of Hydraulic Research, YRCC, and Key Laboratory of Yellow River Sediment Research, MWR, Zhengzhou, Henan 450003, China)

Abstract: Effects of forest vegetation and small watershed ecological recovery on water and sediment variations in Beiluo River basin were studied. Results showed that forest vegetation could reduce runoff and sediment by 62.4% and 94.9%, respectively. Meanwhile, it regulated the annual distribution of runoff and released 20%~30% of runoff from flood season to non-flood season. However, flood sediment in forest region increased drastically under the effect of storm flood when forest was destroyed. In view of the effects of ecological recovery on water and sediment variation, the ecological recovery had a certain role in reducing water and sediment.

Keywords: forest vegetation; ecological recovery; water and sediment variation; Beiluo River

黄河中游近期水沙锐减, 关于水沙变化原因争论较大, 但不争的事实是林草植被建设发展很快, 植被建设对水沙变化的影响令人关注。本文通过对北洛河流域森林植被和小流域生态修复的调查分析, 探讨植被建设对水沙变化的影响。

1 北洛河流域自然环境主要特征

北洛河发源于陕西省定边县白于山的魏梁山, 流经陕西省榆林市的定边、靖边县, 延安市的吴起、志丹、甘泉、富县、洛川、黄龙、黄陵县, 铜川市及宜君县, 渭南市的澄城、白水、蒲城、大荔、合阳以及支流葫芦河上游伸入的甘肃省华池、合水县等, 在大荔县东南注入渭河, 长 680 km, 流域面积 26 905 km²。流域出口水文站为状头水文站, 集水面积 25 154 km², 占流

域面积的 93.5%。北洛河自北向南纵贯黄土丘陵沟壑区、黄土丘陵林区、黄土高塬沟壑区、黄土阶地区和冲积平原区等 5 个水土流失类型区。其中黄土丘陵沟壑区面积占流域总面积的 26.9%, 黄土丘陵林区占 41.9%, 黄土高塬沟壑区占 23.2%。

通过对北洛河流域 7 个水文站建站至 1970 年(视为治理前或治理较少时期, 代表天然情况) 的降雨、径流、泥沙实测资料统计(表 1) 可以看出, 多年平均降水量由南(570.3 mm, 状头) 向北递减(482.8 mm, 金佛坪)。由于该流域各区下垫面条件的差异, 径流泥沙的情况表现为明显的水沙异源。

刘家河以上为黄土丘陵沟壑区, 侵蚀强烈, 来沙集中, 侵蚀模数都在 1×10^4 t/(km²·a) 以上, 而其来水量仅占状头来水量的 26.8%, 输沙量却占 83.1%, 即泥沙主要来自刘家河以上河源区; 张村驿站以上大部处

于黄土丘陵林区,流失轻微,虽其年径流量占状头的 11.3%,但其输沙量仅占 0.51%;刘家河、张村驿至状头区间,来水量占状头的 61.9%,输沙量所占比例也只有 16.4%。

表 1 北洛河流域各站降雨、径流、泥沙特征值

站名	流域面积/km ²	年均降雨量/mm	年均径流/10 ⁸ m ³	年均输沙量/10 ⁴ t	侵蚀模数/(t·km ⁻² ·a ⁻¹)
金佛坪	3 842	482.8	1.575 7	8 053.33	20 961
志丹	774	502.1	0.366 5	1 406.83	18 176
刘家河	7 325	500.5	2.674 0	9 770.00	13 338
交口河	17 180	537.2	4.832 0	9 161.11	5 332
张村驿	4 715	592.0	1.128 0	59.84	127
黄陵	2 266	545.8	1.196 0	84.80	374
状头	25 154	570.3	9.970 0	11 750.00	4 671

注:统计年限为建站至 1970 年。

2 森林植被对水沙变化影响分析

北洛河流域现有保存较完好的大面积天然林区,其中位于子午岭林区的葫芦河沟口设有张村驿水文站,可代表林区;与其地理位置相邻,地形相似,土壤、气候相差不大的黄土丘陵沟壑区设有刘家河水文站,可代表非林区。这就为分析森林植被对水沙变化影响提供了得天独厚的有利条件。

2.1 对年径流变化的影响分析

通过对刘家河站和张村驿站及相邻流域(汾川河、延水)资料的统计计算可知,森林覆盖可减少年径流 35.3%~44.6%。

表 2 列出了志丹站与张村驿站年径流量变差系数 C_v 和最大年径流量与年最小年径流量比值,由此可以看出,林区的 C_v 值和 值都较非林区小,说明

林区年径流变化比非林区均匀,也就是说,林区在一定程度上起到了调丰补欠的作用,这样有利于水资源的开发利用。

2.2 对径流年内分配的影响分析

选择径流深大致相同或相近的年份统计刘家河站和张村驿站径流年内分配(表 3)。由表 3 可以看出,林区对径流年内分配有显著的调节作用。从 6 月份开始,林区的径流小于非林区的径流,6,7,8 这 3 个月林区将大量径流滞蓄起来,调蓄量约为年径流的 20%左右,这就为削减汛期水量,减轻洪水对黄河下游的危害起到一定作用;9 月以后,径流大量释放,且释放的速度较快,主要集中在 9,10,11 这 3 个月,到翌年 3,4,5 这 3 个月,正是农业用水季节,有林与无林径流相差无几,说明这种调蓄不能同人工水库相比,也不能完全适应农业用水的需要。

表 2 北洛河流域森林对径流年际变化影响分析

站名	植被	统计年数	最大年径流深/mm	最小年径流深/mm	均值/mm	C_v
张村驿	林区	21	30.3	7.70	20.8	0.311
志丹	非林区	20	87.3	17.26	46.1	0.375

注:统计系列 1959—1981 年。

表 3 林区与非林区径流年内分配

月份	北洛河			南小河口		
	刘家河/%	张村驿/%	林区调蓄/%	流域平均/%	杨家沟/%	林区调蓄/%
6—8	48.5	29.7	-18.8	56.0	26	-30
9—11	19.8	35.2	15.4	21.0	41	20
12—2	8.9	13.3	4.4	6.0	12	6
3—5	22.8	21.8	-1.0	17.0	21	4

2.3 对洪水径流、泥沙关系影响分析

为分析洪水径流、泥沙关系,统计计算了北洛河流域 1959—1985 年 27 a 的刘家河站 137 次和张村驿站 82 次降雨、洪水、泥沙资料,据此,对降雨产流产沙关系进行了分析评价。

2.3.1 降雨产流关系分析 依据产汇流基本理论,产流主要分为超渗产流和蓄满产流,但由于下垫面条件及降雨特性的影响,有些地区的产流特点介于上述两种类型之间,即所谓混合型。在北洛河流域,张村驿以上大部地区处于林区,由于森林覆盖度较高,受

落叶腐殖质等影响,土壤孔隙度较大,下渗能力较强,或者说森林的调蓄能力较大,故洪水产流受雨强的制约较小。产流方式蓄满与超渗兼而有之,但以前者为主。这种产流方式就决定了次洪降雨径流关系分配主要决定于土壤含水量,在年内分配上表现为洪水期径流占年径流量的比例相对较小。据张村驿站资料统计,该站多年平均洪水径流量仅占年径流量的 12.3%。

与张村驿站相比,刘家河站则表现出完全不同的降雨产流特性。由于刘家河以上地区为黄土丘陵沟壑区,自然植被稀少,夏季太阳辐射强,易形成直气流,酿成热雷雨和地形雨,雨量集中,且多暴雨。次洪水产流量的多寡主要取决于降雨强度,也就是说,该区以超渗产流为主,在降雨量相同的条件下,由于降雨强度及降雨笼罩下垫面的差异,其径流量往往也有较大差别,这就使得次洪降雨产流关系比较散乱。尽管如此,但从总体来看,降雨径流呈正相关,即降雨量越大,径流量也越大。

从图 1 点绘的刘家河站与张村驿站次洪降雨—产流关系图可知,无论是刘家河站还是张村驿站,降雨产流都成正相关,即随降雨量的增大而增大。同时也可以看出,在相同降雨条件下,刘家河站产流量远比张村驿站为大,且降雨量越大,差异越大。这种情况表明,森林植被有巨大的滞洪作用,它不仅减少了洪水危害,也增加了土壤的蓄水能力。

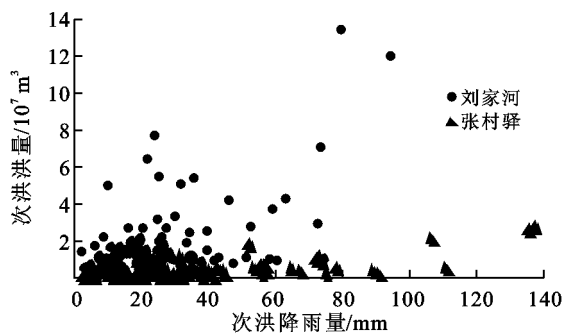


图 1 刘家河站与张村驿站次洪降雨产流关系

2.3.2 降雨产沙关系分析 流域向外输送的泥沙,归根结底是流域土壤侵蚀的结果,而土壤侵蚀又是因水力、风力、重力等作用所致。显然,林草覆盖率的大小对上述 3 种侵蚀方式都有一定的影响。覆被的存在,增加了地表糙率,不仅可以降低地表水流的流速,还可以减缓地表面的风速,使输送泥沙的水力或风力动能变小,从而达到减少侵蚀的目的。此外,由于植物根系的作用,增加了土壤的稳定性,因而也遏制了重力侵蚀的发生。就北洛河流域而言,森林植被对产

沙的影响是非常显著的。图 2 给出了刘家河站与张村驿站次洪降雨产沙关系。由图 2 可以看出,在相同降雨量下张村驿站次洪产沙远比刘家河站为小。

从刘家河与张村驿两流域的地理位置(相邻)来看,其气象条件不会有很大差别,但由于张村驿以上森林植被较好,所以在相同的降雨条件下,其侵蚀较刘家河以上要小得多。由此可见,森林对减少侵蚀的作用是非常显著的。

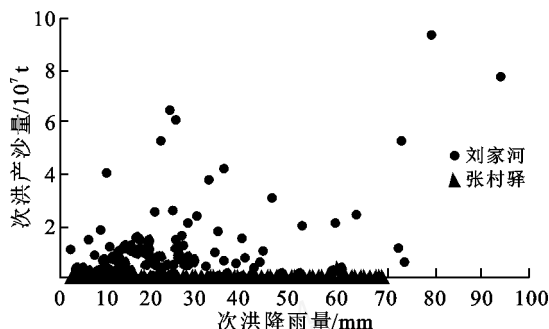


图 2 刘家河站与张村驿站次洪降雨产沙关系

但也应当看到,森林抵御暴雨的能力也是有一定限度的,若遇暴雨集中的年份,产沙也激增。如张村驿站 1977 年 7 月 6 日至 7 日,在 17 h 连续降雨 30.6 mm(流域平均雨量)的一次暴雨中,次洪产流达 $1.155 \times 10^7 \text{ m}^3$,产沙 $3.93 \times 10^6 \text{ t}$,最大流量 $466 \text{ m}^3/\text{s}$,最大含沙量达 $537 \text{ kg}/\text{m}^3$,该年产沙量达 $3.98 \times 10^6 \text{ t}$,为有实测资料以来最大值。

2.3.3 相似降雨条件下森林减少洪水、泥沙作用分析 利用统计计算的流域内林区的张村驿站 82 次与非林区的刘家河站 137 次次洪降雨产流产沙资料,统计分析了 45 组相似降雨(降雨量、降雨历时基本相同或相近)的洪水泥沙情况,结果表明,森林植被有巨大的削峰减沙作用,林区削峰 82.0%,削减径流 62.4%,削减侵蚀模数 94.9%;这一成果也从西峰水保站人工造林的杨家沟和天然状态下的董家沟暴雨洪水资料对比得到旁证。

3 小流域生态修复对水沙变化影响分析

1998 年以来,为了充分发挥生态自我修复能力,增加植被覆盖度,探索迅速恢复植被,治理水土流失,改善生态环境的新路子,黄河上中游各省(区)按照水利部治水新思路,结合黄土高原实际,将水土保持生态修复作为生态环境建设的一项重要内容,积极开展生态修复试点工作。据统计,黄河流域近期试点县生态修复规模每年约 $2\,000 \text{ km}^2$,而林业等相关部门封山育林、退耕封育等项目规模远大于黄河流域近期试

点县生态修复规模^[1]。通过封山禁牧,疏林补植,退耕种草,人工抚育等措施,地上生物量、枯落物量明显增加,植被截持降水能力和土壤拦蓄径流能力有不同程度提高,水土流失强度明显减弱^[2]。为研究大面积生态修复对水沙变化的影响,本文对林草植被覆盖率与产流产沙关系进行了分析。

3.1 林率与产流产沙关系

当地面为森林或林灌草覆盖情况下,对产流产沙有一定影响。选择北洛河流域及黄河中游 13 个代表流域或区间,点绘出植被覆盖率与产流产沙关系,得到植被覆盖率与径流泥沙的指数关系,相关性显著^[3]。

植被覆盖率与径流关系:

$$y = 43.848e^{-0.0069x} \quad r = 0.9085 \quad (1)$$

植被覆盖率与泥沙关系:

$$y = 11848e^{-0.0382x} \quad r = 0.9059 \quad (2)$$

据此,只要知道植被覆盖率的变化,便可求得径流泥沙的变化。

3.2 小流域生态修复减水减沙作用分析

2006 年 7 月中国水土保持学会和国际泥沙研究培训中心在北洛河流域吴起县召开了“中国水土保持生态修复研讨会及吴起县生态建设现场观摩会”,提供了金佛坪和杨青 2 个小流域的生态修复资料(表 4)。

根据前述的植被覆盖率与径流、泥沙关系,计算出 2 个小流域生态修复的减水减沙作用(表 5)。两小流域自 1997 年至 2006 年植被覆盖率平均提高了 31.5%,径流深平均减少 6.7 mm (19.6%);侵蚀模数平均减少 2 102.8 t/(km²·a) (70.0%)。尽管生态修复的林草质量和郁闭度不如森林,计算结果可能偏大一些,但生态修复具有一定的减水减沙作用,这一结论是毋庸置疑的。

表 4 金佛坪和杨青小流域生态修复基本情况

小流域	村/个	人口/人	总面积/ km ²	生态修复前(1997年)			生态修复后(2006年)			
				林地/hm ²	草地/hm ²	林率/%	林地/hm ²	草地/hm ²	封育/hm ²	林率/%
金佛坪	2	946	25	193	120	38	1 760	520	300	69
杨青	8	2 725	80	1 407	647	34	4 487	2 027	500	66

表 5 吴起县典型小流域生态修复减水减沙作用计算表

小流域	植被覆盖率/%		径流量/mm				侵蚀模数/(t·km ⁻² ·a ⁻¹)			
	生态 修复前	生态 修复后	生态 修复前	生态修 复后	减少量	百分比/ %	生态 修复前	生态修 复后	减少量	百分比/ %
金佛坪	38	69	33.7	27.2	6.5	19.3	2 774.0	849.0	1 925.0	69.0
杨青	34	66	34.7	27.8	6.9	19.9	3 232.8	952.1	2 280.7	70.5
平均	36	68	34.2	27.5	6.7	19.6	3 003.4	900.6	2 102.8	70.0

注:生态修复前后径流量、侵蚀模数按式(1)和式(2)计算。

4 结论

黄河中游近期植被建设发展很快,植被建设对水沙变化影响令人关注。本文通过对北洛河流域植被建设和小流域生态修复的调查,分析了森林植被对径流、泥沙的削减和调蓄作用,以及森林遭受破坏时,林区洪水泥沙也剧增的情况;同时也说明了小流域生态修复具有一定的减水减沙作用。从长远来看,北洛河流域生态修复是流域减水减沙的重要措施之一。黄河中游植被建设对水沙变化影响是值得深入研究的课题。

[参 考 文 献]

[1] Liang Qichun, Wei Tao, Liu Hanhu. Developing the eco-

logical self-rehabilitation capability and speeding up the control and harnessing of soil and water loss in the upper and middle reaches of the Yellow River [C]// Proceedings of the 3rd international Yellow River Forum on sustainable water resources management and delta ecosystem maintenance, Volume . Zhengzhou: the Yellow River Conservancy Publishing House, 2007: 158-167.

- [2] 张金昌,吴祥林,贵立德.半干旱黄土丘陵沟壑区生态修复效益监测与评价[C]//北京:全国水土保持生态修复研讨会论文集,2004.
- [3] 唐克丽,熊贵枢,梁季阳,等.黄河流域的侵蚀与径流泥沙变化[M].北京:中国科学技术出版社,1993:144-145.