

# 黄土高原水土保持对地表水资源的影响

景 可<sup>1</sup>, 郑粉莉<sup>2</sup>

( 1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;  
2. 中国科学院水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨陵 712100)

摘 要: 有关黄土高原水土保持对地表水资源的影响在近 10 多年来受到普遍关注。分析了主要水土保持措施, 如林草措施、基本农田和沟道工程措施的水文效应及其对水资源的影响。预测到 2050 年黄土高原完成了各项水土保持治理任务后, 每年减少入黄泥沙 7~8 亿 t, 减少径流量 60 亿 m<sup>3</sup> 以上。

关键词: 黄土高原; 水土保持; 水文效应; 地表水资源

中图分类号: S 157; S273. 1 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2004) 04-0011-02

## Effects of Soil and Water Conservation on Surface Water Resource on the Loess Plateau

JING Ke<sup>1</sup>, ZHENG Fen-li<sup>2</sup>

(1. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;  
2. The State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resource, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** In recent 10 years, the effects of soil and water conservation on surface water resource were paid more attention on the Loess Plateau. The author analyzed hydrological effects of principal soil and water conservation measures, including forest and grass, basic farmland and channel engineering measures, and impacts of these measures on surface water resources. In 2050, it is estimated that after soil and water conservation planning is completely implemented on the Loess Plateau, sediment yield in the Yellow River will reduced by 0. 7~0. 8 billion tons, runoff volume will decreased by 6 billion cubic meters.

**Key words:** the Loess Plateau; soil and water conservation; hydrological effects; surface water resource

有关黄土高原水土保持对地表水资源的影响在近 10 多年来受到普遍关注。但如何确切评价水土保持对地表水资源的影响, 预测未来生态环境建设对地表水资源影响的研究还非常薄弱。本文基于已有的研究成果, 概述主要水土保持措施的水文效应及其对水资源的影响, 以期为黄土高原水土保持效应评价提供科学依据。

### 1 主要水土保持措施的水文效应

水土保持措施主要有林草地、梯田、淤地坝等。这些水土保持措施都有效地拦截降水, 减少地表径流, 减少入黄泥沙。

#### 1. 1 林草措施的水文效应

林草措施的水文功能主要表现在树冠的截留、树干滞流, 林下植被及枯枝落叶层滞流和增加土壤入渗。一般降雨条件下树冠截留可达降雨量的 20% 左右, 但随着降雨强度和历时增加, 截留量减少。枯枝落叶层的滞流作用也十分明

显, 一般地区也可达到 20% 左右, 但不同的林种和林分相差很大。黄土高原林草的水文效应, 过去做过大量的对比试验研究, 取得了不少有说服力的数据。山西水土保持研究所研究表明, 郁闭度 85% 的沙棘林可减少暴雨(降雨量 75. 3 mm, 降雨历时 45 min) 产流的 85. 2%; 12 种不同牧草平均减少地表径流 47. 5%。黄河水利委员会绥德水土保持试验站观测资料表明, 林地盖度为 30%、50%、70%, 分别减少地表径流 53%、86%、94%; 在同样盖度下, 草地分别减少地表径流 45%、75%、89%<sup>[1]</sup>。可见, 林地保水能力普遍高于草地。内蒙古准格尔旗五步进沟小流域 1981~1989 年观测资料表明, 17 的坡耕地每平方公里流失径流 3. 35 万 m<sup>3</sup>, 流失土壤 2 286 t; 但同样坡度的人工草地, 每年每平方公里流失径流量 1. 98 万 m<sup>3</sup>, 流失土壤 242 t/km<sup>2</sup>, 人工草地比裸地减少地表径流 41%, 减少土壤流失量 98. 5%。如果采用整地造林种草即径流造林方法, 拦水减沙效益更明显。林草植被拦蓄的径流有两条去路, 首先是一部分入渗到土壤, 增加土壤含

① 收稿日期: 2004-07-10

基金项目: 国家自然科学基金西部重大研究计划项目“近 140 年子午岭地区植被—侵蚀—土壤互动作用及机理”(90302001)

作者简介: 景可(1939-), 男, 江苏镇江人, 研究员, 主要从事侵蚀地貌、土壤侵蚀区域分异规律研究。

水量;而另一部分是通过植物蒸腾和地面蒸发散发到空中。黄土高原重点水土流失区为半干旱区,年均降水量 400 ~ 500 mm,而年蒸发量达到 1 500 ~ 1 800 mm,多年生的林草植被的蒸发蒸腾量大于降雨量,造成土壤水分亏缺,形成土壤干层。当林草地土壤干层形成后,其恢复难度非常大。据观测,3 年生的沙打旺草地形成的干层至少在沙打旺草铲除的 3 年以后方能恢复到原来状态。乔木形成的干层,在乔木砍伐后的几十年才能恢复到原来状态。

### 1.2 基本农田的水文效应

基本农田是指梯田、条田和坝地。根据黄土高原的治理规划方案,要将坡耕地全部退下来,一部分还林还草,另一部分坡改梯,保证人均有 0.09 hm<sup>2</sup> 基本农田,到 2050 年,基本农田中的梯田和坝地总和达到 124.5 万 hm<sup>2</sup>,折合为 1 245 hm<sup>2</sup>。无论是梯田,还是坝地都具有拦蓄天然降水,增加降水入渗,提高降水利用率,减少地表径流的功能。观测结果表明,有田埂的梯田,只要田埂不毁坏,100 mm 的次降雨量都可拦蓄在农田内。甘肃省定西家坡村 1963 年 6 月 14 日,一次降水 101 mm,全部被拦蓄。不同坡度的梯田平均每公顷减少径流量 360 ~ 375 m<sup>3</sup>,土壤流失量 57.0 ~ 124.5 t/hm<sup>2</sup>,而水平梯田降水却能全部入渗,做到水不出田;又如陕西省米脂县高西沟 1958 年 8 月 1 ~ 2 日,一次 150 mm 的降水,梯田没有产生径流;甘肃武山东梁山梯田一次纳蓄 90 ~ 120 mm 的降雨<sup>[2]</sup>。大量的长期观测资料证实,一般梯田拦蓄径流的效益达到 95% 以上。天然降水是黄土丘陵区土壤水的惟一补给源,由于降雨特性及降雨的分布特性,在黄土高原小于 10 mm 的降水一般是不产流的,雨后很快蒸散空气中。这种降水不仅对地表径流无补给意义,对深层土壤水更无补给意义。黄土高原对径流和土壤水真正有补给意义的总降水量仅 200 mm 左右。而对于水平梯田无论怎样的降水,对地表径流的补给量都是微不足道。而土壤水分的补给量取决于降水总量和雨型,如 1987 年,安塞年降水量 425 mm,5 ~ 10 月降水量 243.2 mm,柠条林地 0 ~ 500 cm 的土层储水量增加不到 10 mm,其补偿深度仅 50 cm;1988 年降水量 729.2 mm,5 ~ 10 月降水量 628.4 mm,0 ~ 500 cm 土层的储水量增加 170.8 mm,补偿深度仅达 320 cm。由此可知,鉴于黄土特性,即使水平梯田全部拦蓄降雨,但地表水入渗到土壤的深度也是极其有限的。

有田埂的水平梯田,天然降水几乎不产生径流,而全部进入田间,其中一部分入渗到土壤中,成为土壤水;还一部分积水蒸发到大气中。土壤中的水分有两种运行途径,一是沿着土壤孔隙或裂隙继续向下入渗,成为地下径流,再在适宜的部位溢出地面补偿河川径流,另一途径是通过植物根系或土壤孔隙蒸腾或蒸发于大气中。由于黄土高原大部分地区属半干旱区,蒸发量大于降水量,因而作物生长期的水分始终处于亏缺状态,必须吸收土壤水分来满足自身生长需要。由此作物耗水层加深,涉及 1 ~ 3 m 深度的土层相对干燥而成为干土层。有效天然降水的年入渗深度与黄土特性和降水总量关系密切,北部和西部地区,目前旱作农田降水入渗深度一般在 80 ~

140 cm 范围内,这一深度一般小于土壤干层,农田水分垂直渗透几乎不可能发生,由此黄土高原旱作农田水分循环为大气-土壤-作物模式,不大可能参与地下水循环。

### 1.3 沟道工程措施

黄土高原除上述水土保持措施的水文效应外,对水资源能够产生明显影响的还有治沟骨干工程。根据水土保持规划,黄土高原到 2040 年要修建 2 万座治沟骨干工程,平均每年近 500 座,每座库容 100 万 m<sup>3</sup>,总库容 200 亿 m<sup>3</sup>,平均每年增加库容 5 亿 m<sup>3</sup>。治沟骨干工程是大型淤地坝工程,前期是拦蓄洪流和泥沙为主的水库,库容逐年减少,最后成为淤地坝,每座淤地坝至少可以造地 10 hm<sup>2</sup>,总共造地 20 万 hm<sup>2</sup>。淤地坝不仅能将 20 万 hm<sup>2</sup> 土地上空的天降降水全部拦蓄于坝地中,而且可以拦蓄坝地以上流域的来水,坝地土壤含水量常处于饱和状态,因而进入坝地的水除了参与大气-土壤-作物模式循环外,还参与大气-土壤-地下水循环模式。因此,骨干工程建设可以适当增加常流水,如韭园沟 1953 年未修坝以前常流水量为 20 L/s,修坝后的 1966 年增至 60 L/s。

## 2 水土保持对地表水资源量影响

黄土高原开展生态环境建设的主要目的之一是防治水土流失。因而采用的每一项水土保持措施的目的都是减少天然降水对土壤的侵蚀作用,每一项水土保持措施都或多或少要减少地表径流量,不然的话就达不到水土保持目的。但是水是一个流动体,天然降水可以直接补给河川径流,也可以通过入渗转为地下水,再补给河川径流。上文已经分析了各项水土保持措施的水文效应,但并没有回答各项措施对地表水资源数量的影响。

### 2.1 林草措施对水资源数量的影响

一般说来,降水量增加,径流量将会增加,平均降水量不增加,河川径流量亦是不可能增加,仍保持现状。未来黄土高原河川径流量能否增加,取决于降水量能否增加。一般而言降水增减取决于天气系统或气候变化。对于气候变暖是否增加降水,争议较大。有研究者认为,未来气候变暖,华北地区的降水量要增加;另一种完全相反的结论是未来气候变暖,华北地区的降水量将会减少,或者是冬季增加,夏季减少。但无论是增加还是减少,在短时期内都是难以定论的问题,况且气候变化是极缓慢的过程,在短期内难以显露出这样或那样的趋势。因而有理由认为,未来的几十年的河川径流量不会因温室效应形成的气候变化影响。那么未来黄土高原林草覆盖率增加能否增加黄土高原的河川径流,至今未达成共识,具体到黄土高原还未见有关报道。黄土高原大部分地区是半干旱的区域,部分地区为半湿润区,因而大部分地区的高空层的空气干燥,处于未饱和状态,林草叶面蒸发的水汽进入大气,便立即随风远扬,既不可能在原地上空积聚,也不大可能在邻近地区停滞,难以腾云致雨,所以黄土高原林草面积的增加不能使林区及邻近地区增水。事实上,由于林草

(下转第 73 页)

the Revised Universal Soil Loss Equation [J] · R. Sutherlandb, Catena , 2002, 47: 203– 226.

[ 6] 刘高焕, 刘俊卫, 朱会义. 基于 GIS 的小流域地块单元划分与汇流网络计算[J]. 地理科学进展, 2001, 21(2): 139– 145.

[ 7] 金争平, 赵焕勋, 和泰, 等. 皇甫川小流域土壤侵蚀量预报方程研究[J]. 水土保持学报, 1991, 5( 1) : 8– 18.

[ 8] Baffaut, C, Nearing, M A, Govers G. Statistical distributions of soil loss from runoff plots and WEPP model simulations [J]. Soil Sci Soc Am J, 1998, 62: 756– 763.

[ 9] Baffaut, C, Nearing, M A, Govers G. Statistical distributions of soil loss from runoff plots and WEPP model simulations [J]. Soil Sci Soc Am J, 1998, 62: 756– 763.

[ 10] 包为民, 陈耀艇. 流域水耦合模拟物理概念模型[ J]. 水科学进展, 1994, 5(4) : 287– 192.

[ 11] 杨艳生. 区域性土壤流失预测方程的初步研究[J]. 土壤学报, 1990, 27(1) : 73– 78.

[ 12] R E Braziera, J S Rowan, S G. Anthony “MIRSED ” towards an MIR approach to modeling hillslope soil erosion at the national scale[J]. Catena, 2001, 42( 1) : 59– 79.

[ 13] 蔡强国, 陆兆熊. 黄土丘陵沟壑区典型小流域侵蚀产沙过程模型[J]. 地理学报, 1996, 51( 2) : 108– 117.

[ 14] 唐政洪, 蔡强国, 张光远, 等. 黄土丘陵沟壑区小流域侵蚀产沙的地貌分带研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(4) : 34– 37.

[ 15] 雷阿林, 唐克丽. 土壤侵蚀模型实验的原形选定问题[ J]. 水土保持学报, 1995, 9(3) : 60– 65.

[ 16] 承继成. 坡地流水作用的分带性[A]. 中国地理学会 1963 年年会论文集[C]. 北京: 科学出版社, 1965. 99– 104.

[ 17] 陈永宗, 景可, 蔡强国. 黄土高原现代侵蚀与治理[M]. 北京: 科学出版社, 1988. 170– 181.

[ 18] 蔡强国, 王贵平, 陈永宗. 黄土高原小流域侵蚀产沙过程与模拟[ M]. 北京: 科学出版社, 1998. 3– 225.

( 上接第 12 页)

叶面的蒸腾作用, 消耗的水分大于降雨量, 植物靠根系吸收土壤水分补充, 形成了 1~ 8 m 的土壤干层. 由于土壤干层的存在, 隔断了大气降水与地下水的循环通道, 不能形成地表水补给地下水的运移机制, 因而也就无地下水补充地表径流的过程。

由上述可见, 黄土高原林草面积的增加只有利于拦蓄径流, 而无增雨作用或通过入渗量增加地下水补给的功能. 林草面积增加以后地表水资源总的趋势是减少. 根据多方面的对比观测, 林草地拦蓄径流量都在 40% 以上, 考虑到黄土高原的陡坡地多, 超渗产流多, 保守的估计拦蓄径流量平均为 10%, 即每公顷拦蓄径流 75 m<sup>3</sup>; 林草面积总共是 197.67 万 hm<sup>2</sup>, 年总减少径流量 22.23 亿 m<sup>3</sup>。

2.2 水平梯田和坝地对水资源的影响

大量的观测资料证明水平梯田拦蓄的径流量都在 90% 以上, 考虑到部分梯田的质量不高, 或者某些地区的降雨强度太大等原因, 拦蓄径流量不大可能都在 90% 以上, 但保守估算梯田拦蓄径流量至少有 50%, 即每公顷拦蓄径流量 300 m<sup>3</sup>; 到 2050 年完成全部治理任务时, 基本农田总量是 1 125 万 hm<sup>2</sup>; 也就是说每年拦蓄径流总量是 37.4 亿 m<sup>3</sup>。此外还有 20 万 hm<sup>2</sup> 的坝地, 也以每公顷拦蓄 300 m<sup>3</sup> 计算, 总共拦蓄 6 000 万 m<sup>3</sup>, 两项合计就是 38.0 亿 m<sup>3</sup>。

2.3 治理流域减水量的分析

为了进一步论述各项水土保持的减水作用和上述减水量估算的可靠性, 下面用流域综合治理减水效益作进一步的论证( 表 1)。由表 1 可见黄土高原各地区小流域综合治理的减水效益是非常明显, 所有流域减少径流量都在 60% 以上。

参考文献:

[ 1] 李玉山. 黄土高原治理开发与黄河断流的关系[ J]. 水土保持通报, 1997, 17( 6) : 41– 45.

[ 2] 黄河中游治理局. 黄河水土保持志[ M]. 郑州: 河南人民出版社, 1993.

[ 3] 景可, 等. 黄土高原水土保持对未来地表水资源影响研究[ J]. 中国水土保持, 2002, ( 1) : 12– 14.

因而有理由认为前面林草措施和基本农田的减水估算量中, 即林草措施拦蓄径流量 10%, 梯田拦蓄径流量 50% 是留有余地的保守数。

综上所述, 到 2050 年黄土高原完成了各项水土保持治理任务完成后, 不仅完全控制了水土流失, 也使天然降水的利用率提高, 提高了作物单位面积产量. 在流域环境 and 经济效益都获双赢的同时, 给下游水沙带来了各自不同的变化: 减少入黄泥沙 7~ 8 亿 t/a 的同时, 也减少入黄径流量, 保守估算每年至少要减少径流量 60 亿 m<sup>3</sup> 以上( 表 2)。

表 1 不同治理流域减水状况<sup>[ 3]</sup>

流域名称	减水概况
绥德韭园沟	1979~ 1990 年 12 年内洪水泥沙都未出沟
延安上砭沟	试验观测期的减水效益达到 62.3%
青海湟中阿滩	80 年代与 50 年代相比流量减少 70%
定西官兴岔	减少径流量 61.4%
宁夏海原关庄沟	1982~ 1987 年洪水泥沙不出沟
南小河沟	80 年代比 50 年代减少 67.6%
陕县火烧阳沟	1987~ 1982 年对比观测减少地表径流 73.5%
西吉黄家二岔	1983~ 1990 年径流量平均减少 83.9%
山西河曲砖窑沟	1987~ 1989 年平均消减洪峰流量 52%

表 2 黄河流域各项治理任务完成后的减水量<sup>[2]</sup>

措 施	数 量	单位减水量		说 明
		/( m <sup>3</sup> · hm <sup>-2</sup> )		
基本农田	1245 万 hm <sup>2</sup>	300	37.4 亿 m <sup>3</sup>	以最低效益计算
林 草	2965 万 hm <sup>2</sup>	75	22.2 亿 m <sup>3</sup>	以最低效益计算
骨干工程	2 万座淤地坝 20 万 hm <sup>2</sup>	300	6000 万 m <sup>3</sup>	以最低效益计算
合 计	-	-	60.20 亿 m <sup>3</sup>	-