

# 黄土高原水土保持与水环境

徐学选<sup>1</sup>, 崔小琳<sup>2</sup>, 穆兴民<sup>1</sup>

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100; 2. 西安科技学院遥感监测系, 陕西 西安 710054)

**摘要:** 通过分析黄土高原水环境背景特征, 认为黄土高原雨水环境差; 人工林草地土壤水分长期处在亏缺状态, 高产农田、林草、坡地生产力受水分环境制约严重; 径流水可利用程度低。生态环境的改善必须借助于水土保持的生物、工程等措施, 首先改善水环境。水土保持措施对在水环境的影响表现为: 在地块尺度上, 可以汇集雨水, 增加入渗, 满足作物、植物生长的水分需求平衡。但高耗水的林草地, 水分亏缺严重, 在植被建造中还因地制宜。水土保持措施在流域尺度上表现为增加流域贮水、蒸发, 但使流域径流有所减小。

**关键词:** 黄土高原 水土保持 水环境

文献标识码: A 文章编号: 1000-288X(1999)05-0044-06 中图分类号: S157, TV213

## Soil-water Conservation and Hydro-environment on Loess Plateau

XU Xue-xuan<sup>1</sup>, CUI Xiao-lin<sup>2</sup>, MU Xing-min<sup>1</sup>

(1. Institute of Soil And Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, Shaanxi Province, PRC; 2. Xi'an Scientific College, Xi'an 710054, PRC)

**Abstract** Through analysing the characteristics of hydro-environment on the loess plateau, It is pointed that the precipitation of loess plateau has two characters: one is low, the other is intensive, which can result in a strong soil and water loss. Soil moisture is always in stress statue there. The productivity of basic farmland and forest-pasture land has been seriously stressed by water shortage, and the runoff is affected by precipitation. The eco-environment should be improved by biological, engineering and chemical measures for soil and water conservation (SWC) in order to adjust water condition on the loess plateau. The SWC measures can bring impacts on hydro-environment in two aspects. (1) In land section scale, it can harvest rainwater and increase soil infiltration rate, which made soil can provide more water to plant; (2) For some high water consumption land, such as forest and pasture, the water stress can only be modified, and the hydro-environment should be considered into the constructing of vegetation; (3) For watershed scale, the SWC can increase water storage and evaporation, meanwhile, it can decrease runoff.

**Keywords** the loess plateau; soil and water conservation; hydro-environment

黄土高原地处内陆地带, 为我国季风气候降水的西北边缘带。其降水存在两个主要特征, 一是量小, 二是集中。加之黄土土壤的易蚀性, 集中的降雨, 会形成破坏力很强的侵蚀力, 在广泛缺乏植被保护, 亦无人控分流的地区, 会有很高的产沙率, 使黄土高原受侵蚀而形成丘

收稿日期: 1999-08-02

资助项目: 国家“九五”攻关项目: 区域水土流失与农业可持续发展中重大共性问题研究 (96-004-05-12) 专题

作者简介: 徐学选, 男, 1966年生, 在职博士, 副研究员, 主要从事作物水资源利用研究

陵沟壑、残塬等类型区,使得黄河成为世界含沙量之最,黄土高原治理势在必行。但黄土高原的水土治理也存在许多不利因素:(1)降水量小,植被恢复的水分条件差,速度缓慢;(2)坡耕地多且产量低,人口压力大;(3)蒸发力强大,使得土壤水环境不利于提高生物措施效益;(4)黄土土壤本身的易蚀性。尽管小流域综合治理试验示范模式在整个黄土高原已被认为是成功的经验加以推广,但是仍然存在不少问题。如包括水土保持措施的水文效益评价,植被恢复的水分基础,高效基本农田的水分补偿恢复能力,小流域保水对大区域水环境的影响等问题仍未得到较好的解决等等。出现了干土层水分胁迫而林草衰败,高产农田的水分永久亏缺,小流域减水减沙与黄河断流等新问题。这些问题的解决,应成为黄土高原山川秀美的基础理论依据

## 1 黄土高原的水环境

### 1.1 黄土高原的雨水环境背景

黄土高原地区雨水资源总量  $2.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ,合 488.1 mm,低于全国平均的 622 mm,它存在从东南向西北递减的总趋势,> 600 mm 等雨量线区域有甘肃省东南部、陕西省关中、晋东南、豫西等。400 mm 等雨量线大致沿长城一带,经准格尔旗、环县、榆林、横山、靖边、海源到定西、榆中等县一带。这种雨水环境很大程度上决定了黄土高原水土保持的基本植被环境,从东南向西北可分为:落叶、阔叶森林带→森林草原带→草原带→荒漠带。其它水土保持措施都是在维持和利用这一基本环境特征。

1.1.1 降雨量偏小,年内分配不均 黄土高原平均降水 488.1 mm,为世界平均值 573 mm 的 80%,为亚洲同纬度年降水 740 mm 的 58%,且年内分配不均(表 1)。较少的水量,使得植被的生长恢复受到严重制约,特别是冬春干燥,造成水保林木成活率低,草被春季干枯死亡,或者生长量小,使得林草恢复困难。对于作物来讲,其供需水时期错位和总量不足,使黄土高原的粮食单产低而不稳,缺粮使退耕还林还草难以成功。

表 1 黄土高原与同纬度地区降水量比较<sup>[1]</sup>

mm

地 区	3- 5月		6- 8月		9- 11月		12- 2月		年平均 降水量
	降水量	比率%	降水量	比率%	降水量	比率%	降水量	比率%	
黄土高原	93.9	19	254.8	52	130.0	26	14.2	3	792.7
35°~ 40°N	161.0	28	145.0	25	140.0	25	127.0	22	573.0
日本、朝鲜	325.0	21	625.4	41	388.3	25	188.3	12	1527.0
伊拉克等国	74.8	28	16.3	6	46.8	17	134.3	49	272.2

注:表中“比率”项为季降水量占年降水量的百分比。

1.1.2 降水变率大,旱涝灾害严重 黄土高原降水变率大,据多测站 1950- 1987 年资料分析,最大年雨量:最小年雨量大都为 2.5~ 4,离差系数为 0.20~ 0.35,最大年雨量一般为多年平均降雨量的 1.5~ 2.0 倍。这种年季变化,直接使农业遭受旱涝双重灾害。

黄土高原的降水环境总的概括起来就是量小、变率大、雨量集中,它对水土保持措施的影响归纳起来就是:生物水土保持措施的建造困难,工程措施易于毁坏,因此费用增大。

### 1.2 黄土高原水土保持的土壤水环境背景

1.2.1 林草地土壤水分长期严重亏缺 林草地由于植物生长相对较快,其耗水强度也较大,特别是人工林草地。据研究,一般林草地土壤水分平均值仅为田间持水量的 40%~ 60%,土壤水分长期处在亏缺状态,深层土壤水分可形成永久干旱层,难以恢复。据吴钦孝、杨文治<sup>[2]</sup>

研究, 平水年降水对土壤墒情恢复深度仅 1 m, 多雨年为 2 m, 平均 1.5 m 孙立达 朱金兆<sup>[4]</sup>对油松林的降水补偿深度研究也有近似结论 杨文治、余存祖<sup>[3]</sup>以 14 龄刺槐林为例, 高原沟壑区阴阳坡地土壤含水量分别变化为 10.7%~16.4% 和 7.1%~13.9%。黄土丘陵区阳坡林地土壤含水量的变化范围为 3.3%~7.6%, 土壤水分低影响黄土高原丘陵区的乔木林建造 (表 2)。

表 2 生长季节林地土壤含水量<sup>[3]</sup>

%

地区	林龄	当年降雨	坡向	坡度 (°)	土层厚 / cm	密度 / (株·hm <sup>-2</sup> )	5月	6月	7月	8月	9月	10月	平均
高原 沟壑 区	16	600	阴	27	0-160	2300	17.8	13.4	16.2	15.1	15.1	15.4	15.5
					0-350	2300	13.7	12.3	12.6	11.6	11.6	12.2	12.3
丘 陵 区	14	600	阳	28	0-160	2300	10.3	7.9	9.2	10.3	9.1	9.9	9.5
					0-350	2300	7.3	7.0	6.9	7.0	7.1	7.1	7.1
丘 陵 区	14	550	阴	25	0-200	2280	6.6	6.2	13.3	5.8	8.0	8.4	8.1
					0-300	2280	5.8	4.6	5.8	5.1	5.9	4.2	5.2

在固原县上黄试验地的测定认为, 沙打旺人工种植, 其水分维持正常生长的周期仅为 6~10 a, 梁一民在吴旗县的研究也认为 8~10 a 后沙打旺会衰败而死 其主要原因就是水分严重不足, 2~4 m 土壤层平均含水量 5%~18%, 个别层次低于 4%。陕西安塞试区 1983-1990 年连续 8 a 的观测结果<sup>[3]</sup>, 一般年份, 裸地 (0~2 m) 土层雨季后期都存在明显土壤水分亏缺, 亏缺量多年平均约为 90 mm, 而林草植被的参与, 大大强化了土壤水分的消耗过程, 使亏缺明显增加 据在固原县测定, 人工灌木地常处在“半饥饿水分状况下, 3~6 a 生灌木林地依靠 3~10 m 深土层保存的水分补充, 水分严重不足。7 a 生以上的灌木林地则主要依靠当年降水维持低生长的水分条件。

1.2.2 农地高产田的土壤水分亏缺 在需水量范围内, 产量和耗水呈直线、抛物线或指数形式关系, 表明产量越高, 消耗水量愈大, 收获时, 高产田土壤较低产田块明显干燥 长武塬面小麦田土壤墒情与产量关系表现为, 随着低产→高产顺序, 土壤整个剖面由湿→干<sup>[5]</sup>。高产田块, 其施肥量也高, 由于高肥的投入, 土壤水分消耗强度加大, 土壤水分亏缺量增大<sup>[6]</sup>。

### 1.3 黄土高原水土保持的径流水环境背景

黄土高原的雨水特征为雨量集中, 暴雨强度大, 因此该地区的径流年内分配也很集中, 年际变率很大, 这种旱涝交替的径流特征对径流的工农业利用十分不利。另外, 黄土高原径流的高含沙率, 使得目前黄土高原的水库、淤地坝等水保水利措施因泥沙淤积而失效严重。如延安 50-60 年代的水库、淤地坝大都被淤平。因此, 径流水利用存在诸多不利因素。

## 2 水土保持措施的水环境效应

### 2.1 种植方式的土壤水环境效应

固原试区的研究<sup>[7]</sup>表明, 农田耗水强度虽比刺槐地大, 但在雨季其土壤得到水分补充恢复强度也大, 平均多恢复土壤水 60~70 mm, 补偿了其作物的亏缺耗量, 而高产田块一般雨季末仅比低产田块少贮水 10~50 mm, 采取少量补充灌溉, 或者采取豆茬轮作就可以使其恢复, 宁南山区主要作物的蒸散量<sup>[8]</sup>依次为豌豆 196 mm, 糜子 286 mm, 小麦 290 mm, 谷子

314 mm, 苜蓿 379 mm, 豌豆地耗水明显偏低, 因此采取粮豆轮作就可以使高产田墒情恢复。

## 2.2 覆盖措施的水环境效益

覆盖措施包括: 秸秆覆盖、残茬覆盖、农膜覆盖等, 采取覆盖可抑制无效蒸腾, 从而增加土壤水分含量。固原县<sup>[9]</sup>谷子播前覆膜 10~30 d 左右, 增加水分 10 mm 左右, 春麦收获后覆膜, 雨季增加贮水 50~60 mm, 整个生育期, 若采取覆盖措施, 0~2 m 土壤含水量一般提高 1%~2%<sup>[10]</sup>, 总耗水减少 185 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 或节水 7.8%。麦糠秸秆、地膜覆盖小麦生育期减少蒸发 20~50 mm, 休闲期多蓄水 24~50 mm, 玉米生育期多蓄水 70 mm 左右<sup>[11]</sup>。而在正常年, 固原县各种作物土壤水分年亏缺仅为 13.6~47 mm, 采取覆盖措施可使高产田块土壤水分恢复到普通田块水平。另外水保法种植(集水种植)也是其土壤快速增墒的有效途径。

## 2.3 林草地土壤水分恢复

2.3.1 林草地人工集流的效益分析 王斌瑞、王百田等的研究表明<sup>[12]</sup>, 黄土高原在降水量为 650 mm, 400 mm, 300 mm 的地区, 当林地密度保持为 1350 株/hm<sup>2</sup>, 900 株/hm<sup>2</sup>, 435 株/hm<sup>2</sup> 时, 就能维持林木正常生长的水分需求, 目前大部分林地密度为 1500~2500 株/hm<sup>2</sup>, 黄土高原降水平均为 490 mm, 如果需要林木正常生长, 还需降低林木种植密度或采取集雨方式种植。王斌瑞的研究表明, 集水造林的集水效果非常好, 如在前期表层土壤含水率为 10%, 降水强度在 0.1~1.0 mm/min, 集水坡面经高分子化合物 YJG 喷涂, 人工铲平压实拍光, 自然坡的径流系数分别为 0.7~0.9, 0.1~0.2, 0.03~0.1 不同集水措施的集水效果有很大差异, 如在 1992~1993 年 5~10 月降水量平均 351 mm, 具有 8 m<sup>2</sup> 集水坡面积 YJG 喷涂, 人工铲平压实拍光和自然坡面的产流量分别为相当于给 2 m<sup>2</sup> 林带内增加雨量 780 mm, 380 mm, 250 mm 左右。另据多年试验结果, 经过处理的地面, 土壤蒸发明显减小。

2.3.2 林草对径流的调蓄作用 一般林草地比自然坡地有明显的减洪减沙效益。当植被盖度超过 90% 时, 林地可基本不产流, 据我们对黄土高原沟壑区森林水分效应分析, 其森林小流域在盖度达 60% 时, 径流深为 6.1 mm, 70% 盖度时为 3.2 mm, 草地径流也相当低(表 3)。

表 3 森林小流域与自然草地小流域水均衡要素比较

时 期	森林小流域			荒草小流域
	1954- 1970	1971- 1980	1981- 1990	1954- 1980
多年平均盖度 /%	60	70	50	60
多年平均雨量 /mm	569.9	544.9	563.1	560.6
多年径流深 /mm	6.1	3.2	7.9	12.3

另外, 林草植被可以提高土壤饱和导水率, 据测定<sup>[13]</sup>黄土高原乔木、灌木的土壤(0~1 m)饱和导水率为 0.3~0.6 cm/min, 荒草地为 0.1 cm/min, 因此, 在降水期间, 可增加土壤入渗量, 从而改善土壤水分状况。

4.3.3 以土壤水分平衡为基础的草地恢复与建设 我们在固原进行的沙打旺人工恢复试验结果表明: 沙打旺需进行隔带种植, 其作法为种植 3~4 a, 空带以 3 m 为宜, 种植 5 a 则空带以 4 m 为宜, 如种植 6 a, 空带还需大于 6 m, 这样方可自动恢复。进行停歇恢复试验, 在当地年降水 478 mm 状况下, 种植 2 a 后, 轮歇 4 a 的草地, 其 5 m 土壤层可得到恢复。种 3 a, 休闲 3 a, 仅 2 m 土层可得到恢复, 其 5 m 土壤水恢复所需年限比种植年限多 1~2 a, 所以在草地建设中, 仍需注意集水。

## 2.4 工程措施的增水效果

据对大量黄土高原工程措施增水效益研究分析<sup>[18]</sup>,在降水量 450~500 mm地区,其拦蓄功能为(与坡地比):水平梯田 35~100 mm/a,隔坡梯田 25~65 mm/a,水平沟 15~57 mm/a。这些新增水量,就可以补偿其植被作用下土壤水分亏缺。如果再辅以森林、草地本身对径流的调节作用,或防渗汇流集水技术,就可保证黄土高原森林、草被、农作物在适宜的密度、盖度下正常生长。

## 3 水土保持措施对流域水环境的影响

### 3.1 森林草被对雨水分配的影响

对黄土高原森林调蓄效益已有大量研究,其结论是,森林植被具有林冠层截留,灌木层截留,枯枝落叶层截留,其作用是减少林地或流域的水分入收。许多研究表明其截留量分别占降水总量的 15%~30%<sup>[14]</sup>。

### 3.2 综合水土保持措施对径流的影响

据对南小河流域分析,及对水土保持工程措施、生物措施、土地利用结构调整和生产力提高对小流域出境流量的影响的评价。发现南小河流域水循环在近 50 a内发生了较大变化,平均年径流在治理前是 15.76 mm,通过 60~70年代的连续治理后,减为 5.16 mm,现在为 3.66 mm,未来 10 a可能减少到 2.86 mm。这种减小趋势来自于:(1)高产农田增加了土壤贮存降水的功能;(2)增加基本农田建设和水土保持工程措施使部分径流就地入渗,或汇集利用;(3)林、草植被建设,降低了径流系数,使流域产流减小。

### 3.3 流域水环境反应

在黄土高原,小区试验结果一般为不同类型植被(与农耕地比较)下可消减径流 20.6%~98.8%,且随覆盖度愈大,减洪效果愈佳。森林植被对河川水量影响总体上是减小河川径流。吴钦孝、杨文治<sup>[2]</sup>得出,森林植被可减少进入河川水量数占年降水的 5.0%~8.0% (但在更大区域上,减流效果会有所降低),同时增加土壤贮水量约占全年降水的 10%。水土保持措施对流域水分的影响还表现在,流域生态系统总蓄水量可能会增加(土壤水库蓄量减小,生物蓄水量增加)。森林生态系统总蓄水量增加,流域蒸发散量增大,流域出水量减少。黄土高原减小 5%~10%。黄河断流现象既存在气候因素(降水量在 80~90年代比 70年代减少 5%,比 50~60年代减少约 12%),还存在水土保持措施对流域产流的影响。但水保措施是否确为黄河断流的主要因素,还需进一步研究。另外,由于沟边道路、农庄、集镇、城市的道路建设,流域产流也有所增加。

## 参 考 文 献

- [1] 穆兴民,徐学选,等.黄土高原降雨量的地带性研究[J].水土保持通报,1992,12(4):27-32.
- [2] 吴钦孝,杨文治.黄土高原植被建设与持续发展[M].北京:科学出版社,1998.168-175.
- [3] 杨文治,余存祖.黄土高原综合治理与评价[M].北京:科学出版社,1992.245,250,361,50.
- [4] 孙立达,朱金兆.水土保持体系综合效益研究与评价[M].北京:中国科学技术出版社,1995.300-305.
- [5] 李玉山,史竹叶,等.长武王东沟流域土壤墒情影响因素与分布特征[J].水土保持通报,1990,10(6):1-6.
- [6] 董大学,郭明航,等.渭北旱源农田水分状况与提高小麦水分利用途径研究[J].水土保持通报,1990,10(6):13-20.

划,做到土方挖、填量基本平衡,并严格按规划的进度夷平山头,以免造成长期严重的景观破坏和水土流失危害。(2)在市政建设和成片的土地开发中,符合如下条件之一的,应向水务行政主管部门报送水土保持方案:主坡地形坡度大于 $50^{\circ}$ (8.75%);斜坡工程高差大于3m;红线外的集流水网需经开发地或因该红线范围的建设开发需改道的。建设业主应把水土保持和生态环境建设同土地开发同步进行。(3)城市土地划给开发商进行开发时,除按要求须向水务主管部门报送水土保持方案外,建议政府划出一定比例的土地开发基金统一实施开发地的主干排水系统

### 3.3 政府投资治理与“谁造成水土流失谁治理”的关系问题

深圳市的水土流失发展历史和现状是开发流失地危害最为严重的城市。这些土地主要属于:(1)市、区政府(或所属部门);(2)镇开发公司、农村村委或村民小组;(3)已转让给开发商业主(此业主已不是流失造成者)

深圳市政府每年拿出 $2.00 \times 10^7$ 元水土保持专项启动资金本是用于公共流失部分的治理。按照“谁造成水土流失谁治理”的原则,绝大部分开发流失地应由业主负责治理,而真正的“公共流失部分”很少。对第2类业主的“历史遗留地”,政府只有出资补助治理或贷资治理,以免延误治理时机,否则水土流失对社会的危害更大,但同时必须克服村镇“等靠要”思想,使政府少量的补助启动资金能带动其大规模的治理和开发。对第1类业主,可从市、区政府的土地开发基金或部门的建设资金中拿出一部分进行“开发性治理”。对第3类业主,遵循的原则是“谁使用谁负责治理”,避免因过分追究造成水土流失的责任而出现互相扯皮推诿现象。

### 3.4 治理后的管护问题

城市水土流失治理的纯生态恢复性治理和封禁育草都属过渡性的,最终会被城市化的建设覆盖所取代。但在过渡时期,必须保护水土保持设施,严格禁止乱倒土、毁林毁草破坏水土保持设施的行为。应在治理地块设立水土保持标志牌,并加强管护责任制和管护的监测。对确因建设需要须毁坏的,建设业主必须按有关规定办理水土保持方案申报审批手续,并对毁坏的水土保持设施给予补偿

(上接第 48 页)

- [7] 韩仕峰. 宁南半干旱地区不同立地农田水分恢复评价 [J]. 水土保持研究, 1996. 22- 26.
- [8] 山仑. 旱地农业中有效水高效利用的研究 [J]. 水土保持研究, 1996(1): 8- 13.
- [9] 刘忠民, 山仑. 宁南干旱区农田土壤水分重度损失及其对策研究 [J]. 宁夏农林科技. 1993. 109- 122
- [10] 王利民, 严江平, 董宏儒. 田间集水小气候工程在旱区农业中的应用 [C]. 全国首届雨水利用学术会议暨东亚地区国际研讨会论文集 [C], 1998. 109- 122.
- [11] 陶毓份, 王立祥, 韩仕峰. 中国水分旱地农业水分生产潜力研究 [M]. 北京: 气象出版社. 1995. 95- 115.
- [12] 王斌瑞, 王百田, 张府娥. 黄土高原径流林业 [C], 全国首届雨水利用学术会议暨东亚地区国际研讨会论文集. 1998. 180- 185.
- [13] 陈国良, 徐学选. 黄土高原雨水利用技术与发展 [J]. 水土保持通报, 1995, 15(5): 6- 9.
- [14] 刘向东, 等. 六盘山森林保持水土生态功能评价 [J]. 水土保持学报, 1987(1): 90- 96.