

黄土高原土壤水分资源特征

韩仕峰 李玉山 石玉洁 杨新民 张孝中 史竹叶

(中国科学院
水利部西北水土保持研究所)

提 要

经58县调查,黄土高原土壤水分资源有以下特征:一、土壤持水能力高,其主体质地土壤(轻壤、中壤占80%)的田间持水量一般在19%~22%之间,居于全国中上等水平;二、土壤经常处于低储量水分状态,一般只占到田间持水量的60%~80%和43%~55.9%;三、土壤水分利用率偏低。黄土高原地区,0~5m土层的农田存有剩余有效水为463.16~413.4mm;四、生物利用干层普遍存在,有临时和永久性干层。改善土壤水分条件的措施:1.建立合理的农地、林地、草地配置区;2.建立合理的立体利用土壤水分模式;3.采取相应保墒和耕作措施。

黄土高原生物治理的关键问题是水资源不足,90%的土地面积依靠降水。而降雨通过土壤调节起作用,弄清土壤水资源及其利用,是黄土高原综合治理不可缺少的基础条件。为此,我们按照地貌、海拔、纬度、气象等因子选点作了路线考察。调查中,以自测为主,结合收集已有资料,共获取58个县区的5万多个数据。调查县区覆盖面和地貌类型覆盖面(有塬、丘和缓丘平地)分别占到黄土高原地区总面的20%和80%。考察结果如下:

一、黄土高原持水能力较高

影响土壤持水能力的主要因子是土壤质地和土壤结构。黄土高原土壤结构变化较小,主要是土壤质地影响土壤水分状况。从土壤质地分区看^[1],70%土壤处在重壤和轻壤土之间,南部以重壤和中壤土为主,北部以轻壤土居多数。由田间直接测定和室内样品分析数据整理得到(表1),这样一些质地土壤的田间持水量一般在19%~22%之间(干土重,下同),两米土层折合494~572mm。黄土高原大部分地区降雨400~600mm,两米土层即可全部蓄存起来。

土壤还有一部分紧束缚水,常年被土壤固定,植物无法利用。实际上平常只有部分可移动的有效水供给植物生长。这部分水由田间持水量减去凋萎湿度或最大吸湿水的办法求得。实际储存于土壤中的有效水,经计算为312~388mm。黄土高原7~9月份降雨量,占全年降雨的60%~70%,约210~400mm,两米土层一次性都可以全部容纳下来。如果地墒恢复的更深,有效水库容更大。

土壤持水能力因质地而异,从表2看到,黄土高原主体质地土壤的有效水多在12%~15%,比其它质地土壤高1.3%~9.5%,尤其中壤和轻壤土,其有效水达到14.4%~15.7%,两米土层内折374~389.4mm,在年降水400mm以下地区,可以全部容纳于土壤中,比其它质地土壤多蓄水58~132.9mm;在年降水400~600mm地区,由于年内多次降雨和在两米土层以下深层储水,也可全部蓄存起来。黄土高原土壤疏松,质地均一,持水能力较强,与全国土壤的田间最大持水

表1 各地田间持水量测值

地 点	物理粘粒(%)	土 壤 质 地	田间持水量 (干土重%)	测 定 方 法
洛 川	31.3~41.0	中 壤	20.2	田间淹灌法
渭 南	42.0~55.0	中、重壤	22.4	"
陇 县	43.2	中 壤	21.7	"
吴 旗	28.0~28.8	轻 壤	20.9	"
靖 边	23.0~25.0	"	20.1	"
固 原	30.3~40.1	中 壤	20.0	"
海 原	30.4~37.2	"	20.2	"
临 县	26.8	轻 壤	20.0	"
天 水	47.2~52.0	重 壤	20.1	室内离心机
华家岭	46.3~56.6	"	24.96	"
榆 中	30.7~33.6	中 壤	19.7	"
民 和	36.2~44.7	"	22.8	"
大 通	30.2~31.5	"	19.6	"
西 宁	25.0~29.9	轻 壤	17.1	"

表2 不同土壤质地有效水比较 (干土%)

测 地	土 壤 质 地	田 间 持 水 量	凋 萎 系 数	有 效 水
安 康	轻粘土	22.0	12.5	9.5
志 丹	轻粘土	22.1	16.6	5.5
武 功	重壤土	20.2	9.4	10.8
天 水	重壤土	21.1	9.9	11.2
洛 川	中壤土	20.2	7.1	13.1
民 和	中壤土	22.8	8.4	14.4
固 原	中壤土	20.0	7.4	12.6
靖 边	轻壤土	20.0	4.4	15.7
西 宁	轻壤土	17.1	4.4	12.7
绥 德	沙壤土	15.8	2.6	13.2
大 路 沟	沙壤土	16.3	2.9	13.4
榆 林	紧沙土	13.0	1.7	11.3

量范围 5%~40%^[2] 比较, 从水分角度评价是一个比较好的土壤。

二、黄土高原经常处于低储水量状态

从调查知, 土壤水分亏缺较多, 这种亏缺不是生物利用引起的水量不足, 而是气象和土壤条件所致。黄土高原土壤疏松多孔, 一般总孔隙度占到50%~55%^[3], 加之本区以干旱、半干旱气候类型为主, 因此, 雨季恢复的水分, 有相当一部分很快又蒸发到大气中, 土壤接纳的水分减少很多。从多年水分动态测值看(表3), 一般占到田间持水量值的60%~80%, 在高原北部土壤质地偏轻地区, 由于土壤水分整体运行强, 能够比较稳定地保持在土壤中的水分, 只有田间持水

表3 各类型区土壤水分亏缺比较

测地	土地类型	田间持水量 (干土重%)	稳定储水量 (干土重%)	占“田持”%	亏缺占“田持”%
澄城	台原	21.3	12.9	60.6	39.4
洛川	高原	20.2	15.6	77.2	22.8
茶坊	丘陵	18.4	10.3	55.9	44.1
绥德	崩丘	15.8	9.8	62.0	38.0
固原	丘陵	20.7	14.9	71.9	28.1
海原	缓丘	20.2	8.3	41.0	59.0

量的43%~55.9%，亏缺更多。质地偏轻的黄绵土基本分布在黄土高原丘陵沟壑区。丘陵区接近高原面积的三分之一，所以黄绵土常态水分保持不足的问题应该引起重视。

黄土丘陵区土壤水分含量低的原因，主要是土质疏松均一，毛管孔隙发达，具有极强的蒸发性能。据试验研究^[4]，质地为沙壤的黄绵土，蒸发历时三昼夜，其失水比为0.22，当蒸发20昼夜时，失水比达到0.31，而中壤土只有0.23。从安塞县茶坊6年测定的裸地土壤水分动态图中也可以看到（图1），经过雨季恢复后的土壤水分，很快减少到均值以下。其动态变化规律近似为正弦曲线，经拟合得方程如下：

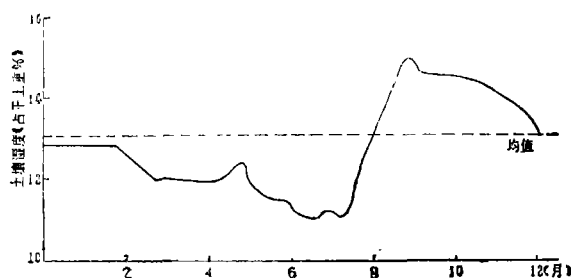


图1 茶坊年土壤水分动态（0~200cm土层平均值）

$$y = 12.75 + 1.41 \sin \left(1 + \frac{x}{6} \right) \pi \quad (r = 0.837)$$

对于吻合程度，将计算值和实测值作了比较，结果如表4。可以看出基本拟合。距实测值差

表4 茶坊裸地水分动态曲线实测和计算值比较（占干土重%）

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
实测	12.9	12.0	11.9	12.4	11.4	11.2	12.6	14.6	14.5	13.9	13.4	12.9
计算	12.7	12.0	11.7	11.5	11.5	12.0	12.2	13.4	14.0	14.1	14.0	13.5
差值	0.2	0	0.2	0.9	-0.1	-0.8	0.4	1.2	0.5	-0.2	-0.6	-0.6
差值%	1.6	0	1.6	7.3	0.9	7.1	3.2	8.2	3.4	1.4	4.5	4.7

异较大的为4月和8月，离差也在10%以下，其它月份均在5%以下。黄绵土失水快，储备水分能力低，其田间稳定湿度只保持到田间持水量的一半，稳定有效水不到田间持水量的三分之一。在黄土丘陵沟壑区，采取一定措施，较好地保持土壤中的降水，对地面生物的生长发育至关重要。

三、黄土高原土壤水分利用率偏低

尽管土壤水分储备能力差，利用也相当低下。据对高原西部三省区的74个农地、林地、草地测点调查^[6]，在1986年的干旱年份里，各种植被利用后，都存有一定数量的剩余有效水（表5）。

农田最多, 0~5m土层平均剩余有效水储量463.16mm, 按作物一般可利用的0~2m土层平均计算, 也存到156.12mm左右, 海拔较高地区(2000m以上), 作物收获后, 2米土层内的剩余

表5 黄土高原西部地区1986年干旱期土壤有效水储量比较

植 被	调查地块数	平均土壤含水量				平均土壤凋萎湿度		
		0~2m土层		0~5m土层		占干土重%	0~2m	0~5m
		占干土重%	mm	占干土重%	mm			
农 地	16	12.50	325.25	13.62	885.98	6.50	169.13	422.83
乔木林地	19	9.65	250.51	9.73	631.48	6.64	172.37	430.94
灌木林地	13	7.23	185.96	7.82	502.83	6.43	165.38	413.45
人工草地	9	7.71	199.23	8.30	536.18	6.16	159.17	397.94
自然草地	11	7.70	196.04	8.40	534.66	5.18	131.88	329.71

植 被	调查地块数	平均土壤剩余有效水储量				按最大吸湿水算土壤剩余有效水储量		
		0~2m土层		0~5m土层		占干土重%	0~2m	0~5m
		占干土重%	mm	占干土重%	mm			
农 地	16	6.00	156.12	7.12	463.16	4.33	—	—
乔木林地	19	3.01	78.14	3.09	200.92	4.43	135.60	344.57
灌木林地	13	0.30	20.58	1.39	89.38	4.29	75.71	227.20
人工草地	9	1.55	40.05	2.13	137.60	4.11	93.11	270.25
自然草地	11	2.47	62.88	3.13	199.22	3.45	—	—

有效水量高达250~300mm; 灌木林地对土壤水分利用率相对较高, 但也未能达到充分利用程度。0~5m土层平均剩余有效水89.38mm, 按最大利用下限最大吸湿水值框算, 剩余水分227.2mm。灌木林在海拔较低(1000m以下)、气温较高、林龄较长的地区, 土壤水分亏缺量才接近最大限度。如甘肃环县柠条林地的土壤含水量已降到4.8%~5.0%, 一米土层降为3.6%, 2m土层降为4.4%, 接近最大吸湿水值(3.1%), 就是这样, 0~2m土层还剩余有效水22.32mm。当然土壤层的有效水不可能全部耗尽, 环县的柠条林可以算为最好的利用; 乔木林地, 0~5m土层储存200.92mm, 按最大吸湿水推算达到344.57mm, 高者到500~900mm; 草地水分也有一定剩余量: 人工草地0~5m土层平均270.25mm, 天然草地199.22mm, 0~2m土层内的剩余有效水储量达到62.88mm。都没有发挥出土壤水分利用的最大潜势。影响地面生物生长状况不好, 如乔林地的“小老树”到处可见, 农作物产量多数地方停留在亩产50kg左右, 天然草地产量也只有20~25kg/亩水平等等。

黄土高原东部4省区, 虽较西部地区的土壤水分利用偏多一些, 仍然有一定差距^[6](表6)。总体看, 农地、林地、草地比西部地区多利用土壤水分0.6%~3.8%, 但同本身可以利用的水分量比较还是利用率不足(表7)。其中农田剩余有效水多, 草地剩余有效水少, 接近最大利用量。农田剩余有效水较多的原因, 是深层土壤水分储存多, 农田本身可利用深度一般为2m。就

表6 黄土高原东、西部地区土壤水分比较 (占干土重%) ※

	农 田		乔 木 林				灌 木 林		草 地			
	冬麦谷糜		刺 槐		杨 树		柠 条		自然草地		沙 打 旺	
	测地	含水率	测地	含水率	测地	含水率	测地	含水率	测地	含水率	测地	含水率
黄土高原西部	天水	21.3	天水	14.9	定西	12.6	通渭	9.2	固原	11.6	固原	8.1
	静宁	13.5	通渭	8.6	海原	8.9	西吉	5.7	西吉	8.0	同心	8.8
	定西	13.7	环县	6.0	民和	9.1	同心	6.5	海原	7.9		
	海原	9.3			大通	8.3	榆中	5.0	定西	9.4		
	民和	12.0					民和	4.2	兰州	8.6		
							大通	6.3	西宁	7.7		
	平均	14.0	平均	9.8	平均	9.7	平均	6.2	平均	8.9	平均	8.5
黄土高原东部	吉县	16.2	黄陵	11.9	府谷	9.3	离石	8.0	离石	8.5	离石	4.2
	兴县	10.2	富县	8.5	平鲁	8.0	榆林	5.9	神木	6.7	准旗	4.3
	米脂	11.9	米脂	5.4	准旗	6.4	五寨	6.0	东胜	7.1	和林	5.5
	准旗	9.3			和林	5.8	神木	3.6				
	府谷	8.4					准旗	2.8				
							和林	7.1				
	平均	11.2	平均	8.6	平均	7.4	平均	5.6	平均	7.4	平均	4.7
西部减东部		2.8		1.2		2.3		0.6		1.5		3.8

※测定时间为1985~1986年,数据是0~5m土层的平均值。

表7 黄土高原东部土壤剩余有效水 (测深0~5m) *

植 被	测 点 数	剩 余 有 效 水	
		占干土重 (%)	(mm)
农 田	5	6.4	413.4
乔 林	7	4.4	292.4
灌 木	6	1.9	103.5
自然草地	3	1.7	71.5
沙 打 旺	3	0.7	43.6

* 农田和自然草地按凋萎值计算;林地和沙打旺按最大吸湿水计算。

0~2m土层计算,土壤经生物吸收利用后,还余244.4mm有效水分。

由表5、表6、表7比较知道,西部地区人工草地和灌木林的水分利用率较高,农田、杨树利用率低下。提高现有土壤水分利用率是黄土高原的普遍问题,西部比东部更为突出。

四、黄土高原生物利用干层普遍存在

土壤干层,是干旱、半干旱环境条件下的特殊产物。在这个地区,由于大气干旱和生物利用的共同作用,土壤水分普遍存在支大于收的问题。深层土壤储水被生物吸收利用后,又不能降水

恢复,以至在某个深度下,逐渐形成一个低湿层。此低湿层即为干层。土壤干层是一个相对概念。由于温度不同,土壤水分传导速度不一,植物种类不一样,对土壤水分利用的强度不同,土壤类型各异,保持土壤水分传能力不一样,加之地形、耕作等的共同作用,在土壤某个层次形成一个植物暂时难以吸收水分的低湿层,这就变成了干层。它和植物“干涸”的凋萎湿度不是一回事,其土壤湿度可占到田间持水量的40%,60%或80%〔2〕,但就一个剖面而言,却是一个比较稳定的低湿层。

根据植物耗水深度和降雨恢复深度推算(调查中测深5m),结果列于表8。可以看到:天

表8 黄土高原土壤干层厚度(m)(测深5m)

植 被	东 部			西 部		
	半 湿 润	半 干 旱	干 旱	半 湿 润	半 干 旱	干 旱
农 田	临时干层	0~1.2	0~1.4	临时干层	0~0.5	很薄半干层
乔 木 林	1.3	3.4	3.5	1~2	3~4	4.0
灌 木 林	—	1.8~2.4	2.4~2.8	2.5	2.6	2.8~4
人工草地	—	1.6~2.8	3.2~3.4	—	1.8~4.0	3.0~4.0
自然草地	临时干层	临时干层	临时干层	临时干层	临时干层	临时干层

然草地,经过长期生长选择,均适应当地水分条件,在一般降雨年份内,水分利用和恢复达到平衡,属于年周期补偿的土壤水分生态环境,土壤干层只是季节性的表现;农田土壤水分,因作物耗水强度大,年度之间轮作的作物不一样,表现为两种情况:在降雨较多的半湿润地区,年度内基本得到恢复(干旱年除外),在降雨较少的干旱、半干旱地区,形成非周期性补偿的土壤水分环境。生长年为丰水年,生物利用亏缺得到补偿。如东部的清涧,为降雨不多的半干旱类型区,在1985年干旱季节调查时,因冬小麦对土壤水分利用多,使土壤干燥到3.8m(黄绵土中水整体运行强)深。但秋季雨多,干旱和雨季两次调查期间降雨量为395.7mm,占到年均降雨的75.4%,又使土壤水分全部得到恢复。生长年为干旱年,会出现0.5~1.4m厚度的干层或半干层。如1986年对西部土壤水分状况调查,许多地方长达半年没有下过透雨,半干旱类型区的静宁,到11月份,表层还继续出现1.2m厚度的低湿层,海原县在2m深土层处,也出现1.4m厚度的干层。这些干层要经过丰水年渐次补偿方可恢复;乔木林、灌木林和人工草地用水量多,强度大,且为多年连续耗水,当年降雨入不敷出,都会形成“永久性生物利用干层”,随着年限增长,干层逐渐加厚。如吴旗飞播沙打旺,7年内已使7m土壤层降到凋萎湿度,固原9龄苜蓿使8m深土壤层的有效水分剩下1/3,干层出现部位较深,并且生物利用形成的干层由半湿润到干旱地区,不断加厚。以0~5m深测值分类:一般是半湿润区为1~2m,半干旱区为2~3m,干旱地区3~4m,黄土高原西部地区较为突出。提高西部地区土壤水分利用率要和克服干层障碍水分运行的措施结合起来。

五、改善黄土高原土壤水分条件的措施

确定土壤水分条件因子包括供水、储水和用水三个方面内容。黄土高原地区降水不足,且多集中到7、8、9三个月,分配不均,对地面植物生长供水不利。黄土区土壤疏松多孔,从基本性质分析,一方面持水能力较高,一方面储存率低,尤其是质地均一的黄绵土,调节能力甚低。

从利用分析，由于气温、海拔、地形等因子限制，农地、林地、草地土壤水分利用普遍偏低，加之在大气干旱和生物利用的共同作用下，都会形成障碍土壤水分运行的干层。这些方面互相制约，既使水分成为黄土高原生物治理的主要限制因子，又使水分有一定潜力，如果能够按照土壤水分资源的赋存特点，采取合理改善措施，水分的作用一定会发挥的更好。

(一) 建立合理的农地、林地、草地配置区 根据降雨、土壤、植被及土壤水分持蓄能力，建议：

1. 南部塬区，雨量偏多，年均500~600mm，土壤蓄水能力强，调节作用好，以农为主，农乔林综合配置，兼顾草地，走就地改进耕作措施，扩大拦蓄降雨，提高利用率的道路；

2. 梁状丘陵区，雨量有所减少，年均400~500mm，农林综合发展，兼顾乔灌草配置，走台田、梯田蓄水利用的道路；

3. 丘陵沟壑区，降雨300~400mm，属不稳定农业生产区，可进行农灌草综合发展，兼顾乔林配置，走径流农业、径流林业蓄水利用的道路；

4. 缓丘滩平地区，降雨300mm左右，亦属不稳定农业生产区，应该是草灌农综合发展。滩地走灌溉农业、灌溉林业道路，在缓丘坡地，搞条带式径流灌木林，以及区域调水发展草田的道路。

(二) 建立合理的立体利用土壤水分模式^[7] 用好深层土壤水。立体供水包括两方面：一是宏观配置，如宁夏固原，年均降雨500mm以下，属于半干旱地区，不同立地条件的水分不同，岭顶适宜发展草地，缓平地发展农田，梁顶和沟洼地发展灌木林，沟谷和村旁利用径流水发展乔木林，有利于促进对地面植物的发展；二是循环种植配置，考虑到有限降雨下土壤水分集中利用和恢复，要根据地面植物用水的深度和强度不同，镶嵌轮种作物，如草地循环，农草循环，林草循环等。

(三) 根据区域土壤水分特征，采取相应的保墒和耕作措施 在保墒措施上，分三个类型区，南部为秋耕秋蓄保墒区，发挥秋雨春用作用。秋雨时耕翻土壤，冬麦种后进行生物、麦糠覆盖，可使翌年水分利用得到改善。丘陵沟壑区为秋糖冬覆春用保墒区，主要是防止黄绵土的无效蒸发，可行措施有“两法”种田等^[8]。高海拔和缓丘地区，为秋翻耕春利用区，一方面秋耕接纳雨雪，增加深厚“相对稳定层”的储水量，另一方面提高地温，扩大对土壤水分的利用量^[9]。

耕作措施较多，如合理种植密度：北部地区发展林业，要变分散用水为集中用水，改造“小老树”，西部地区，要增加透光面，提高地温，促进树木正常生长；在草地发展上，适当控制人工草地，可以防止土壤水分资源利用的超负荷。总之，对黄土高原的土壤水分资源要作到蓄保用结合起来。

参 考 文 献

- [1] 李玉山等: 黄土高原土壤水分基本性质分区, 《中国科学院西北水土保持研究所集刊》, 第2集, 1985年。
- [2] 李玉山: 黄土区土壤水分循环特征及对陆地水分循环的影响, 《生态学报》, 1983年第2期。
- [3] 水电部西北水利科学研究所: 《西北黄土的性质》, 陕西人民出版社, 1959年。
- [4] 杨文治、韩仕峰: 黄土丘陵区人工林草地的土壤水分生态环境, 《中国科学院西北水土保持研究所集刊》, 第2集, 1983年。
- [5] 韩仕峰、杨新民、张孝中: 黄土高原西部地区土壤水分利用及其提高途径, 《水土保持通报》, 1988年第2期。
- [6] 韩仕峰: 立体利用土壤水分的生物结构的探讨, 《水土保持学报》, 1988年第4期。
- [7] 韩仕峰: 水平沟种植冬小麦的土壤水分利用, 《中国水土保持》, 1985年第2期。
- [8] 韩仕峰、李玉山等: 黄土高原地区土壤水分区域动态特征, 《中国科学院-水利部西北水土保持研究所集刊》, 第10集, 1989年。

The Characteristics of Soil Moisture Resources on the Loess Plateau

*Han Shifen Li Yushan Shi Yujie Yang Xingmin
Zhang Xiaozhong Shi Zhuye*

*(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation under
the Chinese Academy of Sciences and the Ministry of Water Conservancy)*

Abstract

On the basis of the investigation to 58 counties on the Loess Plateau of the soil types it is found that the soil moisture resources have the characteristics as follows:

1. the water holding capability of soil is high and the field capacity of the main soils ranges from 19 to 22 percent, being as the middle and higher level;

2. soil water storage keeps lower regime, generally about 60%~88% and 43%~56% of the field capacity;

3. the use ration of the soil moisture is lower, the surplus available water in the depth of 0~5 m varies from 413.40 to 463.16 mm;

4. a dry horizon of the biological utilization commonly exists in the loessial soils, i. e., temporary or permanent dry layer.

According to the analysis of soil moisture regime, some measures improving soil water conditions have been suggested in this paper.