

黄土高原地区土壤水分区域动态特征

韩仕峰 李玉山 张孝中 史竹叶

提 要

黄土高原地区土壤水分动态特征:一是土壤墒情恢复时间,由南向北和由东向西逐渐提高,高原北部和西部,接近与农作物生长同步,对提高降雨利用率有利;土壤失墒主要分布在两个时期:第一个时期在9—12月份,日平均失水0.64mm,失水量在平均值以上,为丰水失水期;第二个时期在3—7月份,日平均减少0.5—2.34mm,失水量在年平均值以下,为亏缺失水期。冬季蒸发量较少,地区之间有所不同,南部塬区为微弱蒸发,北部丘陵区为缓慢蒸发,西部地区为基本稳定期。二是剖面水分分布分为速变层、活跃层、次活跃层和相对稳定层四个部分。黄土高原各地速变层基本处在0—20cm深度内;土壤水分活跃层,东部地区一般在20—60cm,西部地区一般在10—30cm;土壤水分次活跃层,北部地区的黄绵土延伸到200cm,其它地区只延伸到80—90cm;相对稳定层在高原西部和南部存在。

黄土高原面积约53万平方公里,大部分属干旱和半干旱地区,少数处半湿润偏旱地带,以旱地耕作为主。旱作生长水源为降雨,并通过土壤调节起作用。摸清地区土壤水分变化特征,对全区农业布局有重要意义。因此,我们对裸地土壤水分动态作了专题测定研究。

一、测点及其代表性

黄土高原位于北纬34°—41°,东经97°—113°,内有台塬、高塬、丘陵和缓坡川地等地貌类型,海拔多在1000—2000m。海拔和纬度直接影响气温和降雨,进而影响土壤水分变化。根据这些因子及原来对土壤水分研究基础,我们选择了澄城、洛川、安塞、米脂、离石、河曲、定西、固原和海原九个点的资料,分别代表塬区、丘陵和不同海拔类

表 1 测点地理位置及主要气象条件

测点	地形	纬度	经度	海拔 (m)	降雨 (mm)	气温 (℃)	风速 (m/s)	最大冻深 (cm)
澄城	台塬	35°11′	109°55′	679.1	544.0	12.2	2.7	52
洛川	高塬	35°49′	109°30′	1158.3	621.7	9.2	2.3	76
安塞	梁丘陵	36°53′	109°19′	1067.7	492.5	8.8	1.9	88
米脂	岭丘陵	37°46′	110°10′	872.0	450.6	8.8	2.1	104
离石	丘陵	37°50′	110°10′	1093.8	490.6	8.8	2.0	95
河曲	缓丘	39°11′	111°12′	1080.0	462.0	8.6	—	—
定西	岭丘陵	35°50′	104°50′	1896.7	425.1	6.3	1.8	74
固原	梁丘陵	36°0′	106°20′	1753.2	442.2	6.2	2.9	114
海原	缓坡塬	36°40′	105°40′	1853.7	368.3	7.0	3.4	159

型条件(表1),其覆盖面涉及到高原90%地区。

在黄土高原,影响土壤持水性能的主要因子是土壤质地,现将质地和主要水分常数列于表2。由表2看出以下变化规律:

1.测区土壤质地从重壤到轻壤土之间,在海拔偏低的东部地区,质地自南向北变轻;在高原西部地区,变化不明显。

2.由于土壤质地不同,使田间持水量和凋萎湿度也成一定趋势变化。测区田间持水量大部分处于20%左右,轻壤土降为16—18.4%;测区凋萎湿度,在洛川以南的中壤土和重壤土地区为7—7.8%,其它多在5—6%,米脂为3.7%。这些基本常数对黄土高原地区土壤水分动态变化都有一定影响。

表2 土壤水分基本性质(干土)

地 点	物理粘粒(%)	质 地	田间持水量(%)	凋萎湿度(%)
澄 城	47.8	重 壤	20.8	7.7
洛 川	35.6	中 壤	20.2	7.0
安 塞	24.0	轻 壤	18.4	5.1
米 脂	22.6	轻 壤	15.8	3.7
离 石	35.0	中 壤	20.2	5.5
河 曲	22.0	轻 壤	16.0	5.3
定 西	35.4	中 壤	22.9	6.2
固 原	38.9	中 壤	20.6	6.1
海 原	32.0	中 壤	20.2	5.5

二、土壤水分区域动态规律

(一) 土壤水分时空分布特征。黄土高原土壤水分时空变化,主要受到大气因子制约。对其变化,人们按其自然动态,已总结出规律,将年内动态分为四个阶段,即水分蓄积、缓慢蒸发、凝结累积和大量蒸发等。这样的水分变化概念,在一个小地区,是有其规律性的,但在黄土高原大区范围内,因气温、降雨、土壤等因子不同,而略有差异,土壤水分动态随地区变化而变化(图1)。主要反映在土壤墒情恢复,保持和蒸发等方面。

1. 土壤墒情恢复。

随着气温由南向北下降,恢复时间逐渐提前。渭北台塬地区澄城县,土壤水分大量增加阶段,在深秋的9—10月份,渭北高塬的洛川提前到8—9月份,北部丘陵沟壑区的安塞茶坊,为8月到9月15日,比洛川提前半个月,纬度比安塞高一度的米脂地区,提高到5—7月份,内蒙四子王旗也是在6月份恢复土壤水分。

在同一纬度或接近同一纬度地区,土壤水分恢复到最大值的时间,由东向西逐渐提前。据对浑源、河曲和米脂三地区的土壤水分动态资料统计,依次提前半个月左右,其

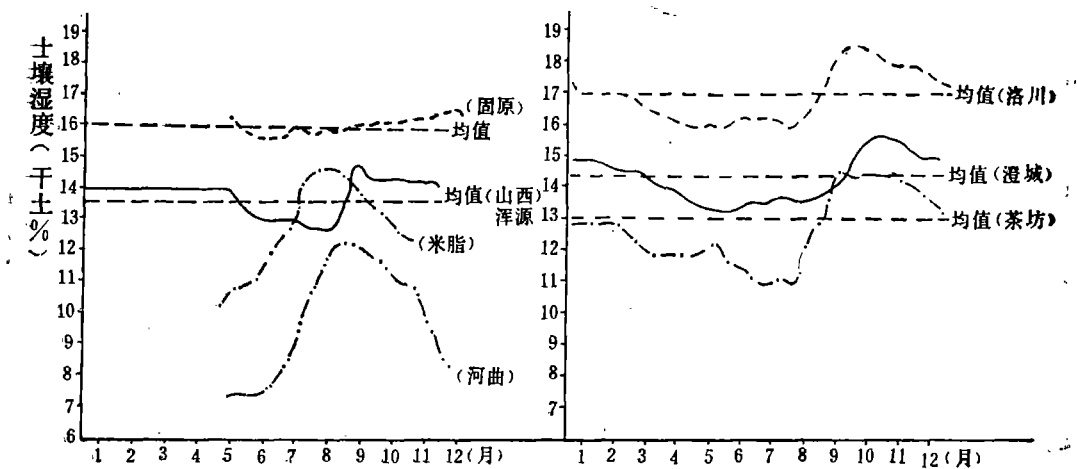


图1 不同地区土壤水分动态

主要原因是受海拔和降雨时空分布的影响。如同处北纬35°的安塞和固原，经度相差3°，海拔相差800m，安塞土壤墒情恢复时间推迟一个月。

一般来说，在黄土高原北部和西部，土壤墒情恢复，接近于与作物生长同步。在高原北部和西部，要十分注意对当时降雨的利用，这对提高作物产量十分有利。据有关试验证明，固原地区的谷子产量，正常降雨年份，可保持200kg/亩左右，其关键原因是降雨与作物生长同步。

2. 冬季土壤水分保持

按气候条件分析，漫长冬季，土层冻结，土壤水分运行十分缓慢，大气蒸发仅以气态交换形式进行，失水量很少，整个土层处于水分稳定期。但是，由于纬度、温度和土壤的差异，使各地冬季土壤水分动态并未处于同一状态。由图1和表3反映的结果看到，随纬度增大，气温下降，蒸发量增多。依变化趋势，基本可分为三个级：台塬区，日蒸发0.1mm左右；高塬区0.2mm左右；丘陵沟壑区0.3—0.4mm。在农作物苗期，用水很少，一般日平均耗水量0.8mm左右^[1]，所以，其损失量按对作物生长影响程度分类，在黄土高原，可划为以下三方面：南部塬区（台塬、高塬）冬季土壤水分蒸发动态，为

表3 不同地区冬季土壤耗水量

地 点	纬 度	海 拔 (m)	气温 (℃)	1—2月 (北部 3月) 耗水量	日均耗水 (mm)
澄 城	35°11′	679.1	12.2	8.1	0.135
洛 川	35°49′	1158.3	9.2	13.0	0.217
安 塞	36°53′	1067.7	8.8	22.32	0.372
米 脂	37°46′	872.0	8.8	32.4	0.360
河 曲	39°11′	1080.0	8.6	33.8	0.376
固 原	36°0′	1753.2	6.2	2.6	0.02

微弱蒸发；北部丘陵区为缓慢蒸发；在海拔较高的西部地区，如固原，日平均耗水量只有0.02mm，数值很小。在四个月的冬季内，2 m土层仅损失2.6mm，可划为基本稳定类型区。在冬季，不同地区需要采取不同的保墒措施。

3. 土壤失墒分析。

从图1土壤水分动态图看到，土壤失墒期要占到全年2/3—2/5时间。强烈蒸发分为两个阶段：雨季后为第一个大量失墒期；开春后为第二个大量失墒期。

雨季过后失墒期，一般集中在9—12月份，耗水强度大，平均日减少0.64mm（表

表 4 雨季后裸地土壤水分减少量（0—200cm土层）

地 点	计 算 月 份	累积减少水分 (mm)	日均减少 (mm)
澄 城	10.20—12.20	37.8	0.63
洛 川	10—12	49.4	0.55
安 塞	9—12	42.2	0.38
离 石	9—12	148.8	1.24
米 脂	9—12	85.4	0.71
河 曲	9—11	54.6	0.61
四子王旗	8.17—9.30	41.6	0.57
平 均		5.64	

4)。在黄土地区，由于降雨量有限，土壤水分基本无渗漏，2 m土层的水分损失量可考虑全部为蒸发。据研究，冬小麦冬前日平均耗水0.75—0.8mm，可以看到裸地蒸发要占到小麦耗水量的85%，大部分水分无效蒸发。在土质疏松的黄土地区，秋后收墒的作用不可低估。天水水土保持站1984年研究，秋季采取耕耙等保墒措施的地块比春季耕耙减少水分损失87%。但是雨季过后的土壤水分蒸发，虽然量大，土壤失水后的剩余水分继续高于年平均值，此阶段的土壤水分蒸发应算为丰水失水期。土壤在丰水时间内保存的水分多为作物易于利用的易效水，保住这部分水分对防止春旱及秋雨春用的作用是很大的。

开春后失墒，是土壤水分动态中第二个失墒高峰期。一般在3—7月份，日水分减少量在0.5—2.34mm，由南向北增加（表5），和第一个失墒高峰期失水量变化趋势成反方向。如内蒙四子王旗的春季土壤水分蒸发量是秋季的2.7倍，而南部澄城县测试地，秋季土壤蒸发量（0—2 m土层）却是春季的1.26倍。在北部和比较寒冷地区，春季保墒十分重要。同时，由图1看到，春季土壤蒸发失水一般在年平均值之下，属于亏缺失水期。保住每1 mm水分，对作物的正常生长都是重要的，尤其对土壤水分常处于低含量、低利用的黄土丘陵地区更应引起重视。

春季蒸发失水的失水高峰，在南部地区反映在两个时段内，到北部地区归集到一个时间，因此蒸发强度增大。如延安南部高塬区洛川，在4月末和8月初的土壤含水量出现两次低值，比年平均值土壤水分含量低1.1%（干土重），比田间持水量值低4.1—4.2%，而北部丘陵山地的安塞县的茶坊，春季蒸发后的土壤含水量最低值集中到7月份，比年平均值低2.1—2.2%，比当地田间持水量值低8.6%。海拔偏高的固原，6月份蒸发量达到高值，但强度偏小，它距年失水量平均值仅是高原东部同纬度地区的

表 5 春季裸地土壤水分减少量比较 (0—200cm)

地 点	土壤含水量 (干土%)		相 差		天 数	日 均 减 少 (mm)
	3 月	7 月	干土 (%)	(mm)		
澄 城	14.3	13.9	1.4	37.80	75	0.50
洛 川	17.2	15.6	1.6	41.60	75	0.55
安 塞	13.2	10.3	2.9	71.92	105	0.68
四子王旗	9.2	7.4	1.8	46.80	30	1.56

1/3。因此保墒措施应该有所不同。

(二) 土壤剖面水分分布特征。黄土高原土层深厚, 质地均一, 剖面土壤水分变化受气象条件影响明显。对剖面水分分布特征, 一般划分为三个层次, 即活跃层、缓慢变化层和相对稳定层。但黄土高原的地区土壤水分动态和层间分配深度仍有较大差异。为了便于比较, 我们根据土壤水分测定规范和选取 8 个点的 570 个测值统计, 认为宜分为四个层次, 即速变层、活跃层、次活动层和相对稳定层。

速变层完全受气象条件制约, 干湿变动频繁剧烈, 接纳雨水快, 蒸发快, 对作物生长影响大, 尤其对播种和幼苗生长影响更大。

活跃层, 对上下层土壤水分传导快, 干湿变化幅度大, 作物可以利用的水分多。一般来说, 土壤水分活跃层处于植物根系密集层, 直接促进作物生长。

次活动层, 介于活动层和相对稳定层之间, 对作物的供水比较强。

最下层是相对稳定层。此层受大气因子影响小, 正常降雨年份, 会保持一个定值, 是土壤的稳定蓄水库。当然, 如果连续性较长时间干旱, 或过量降雨, 此层也会相应增值和减值。了解这层土壤水分的深度及量值, 对开发深层水分利用和调节有帮助。

分级办法是, 在强烈蒸发时期, 连续 30 天内, 如果某层土壤水分增减值小于 1%, 为相对稳定层; 增减值在 1—3% 之间, 为次活动层; 3—5% 为活跃层; 大于 5% 为速变层。将计算结果列于表 6。从表 6 数字看到:

1. 土壤水分速变层。在黄土高原各地区, 基本处于一个深度, 都在 0—20cm 的土壤耕作层内。本层调墒能力差, 但又是农作物种子播种层, 看墒下种十分必要。

2. 土壤水分活跃层。在黄土高原东部, 一般在 20—60cm, 由南向北加厚约 30cm。加厚的原因, 主要是土壤类型的不同, 南部塬区为塬土和黑垆土, 一般于 40cm 以下有一个垆土粘化层, 它们改变了土壤导水速度。据研究^[2], 粘化层的土壤物理粘粒含量比其它层高出 5—15%, 一般变成重壤土, 而其它层继续保持中壤土。中壤土非饱和导水率比重壤土高 2.36—28.5 倍, 这就造成层间水分运行活跃性的差异。而北部黄绵土区, 多系幼年土, 剖面均一, 其活跃层的深度就要大一些。

活跃层的厚度与气温变化关系密切。黄土高原西部地区的海拔比东部高, 气温下降 2.5—2.6℃, 土壤水分活跃层的厚度只有 10—20cm, 一般处在 10—30cm 深度处。青海

表 6 测点剖面土壤水分分层统计表(干土)(单位:深度—cm;变幅—%)

地 点	速 变 层		活 跃 层		次 活 跃 层		相 对 稳 定 层	
	深 度	最大变幅	深 度	变 幅	深 度	变 幅	深 度	变 幅
澄 城	0—20	6.3—11.0	20—30	2.7—3.2	30—90	1—2.8	90—	< 1
洛 川	0—20	5.6—	20—40	3—5	40—80	1—2.1	80—	< 1
安 塞	0—20	8.4—9.0	20—40	3.6—3.8	40—200	1—1.6		
米 脂	0—10	6—7.9	10—60	3.2—3.6	60—200	1.1—2.3		
河 曲	0—20	9.5—11.0	20—40	3.0—4.7	40—200	1—3		
定 西*	0—20	8.3—9.0	20—30	2.8—3.3			30—100	< 1
固 原	0—20	8.9—10.2	20—30	3.8—	30—50	1.6—2.2	50—200	< 1
海 原	0—10	7.9—9.3	10—30	3.5	30—90	1—3	90—200	< 1

* 仅测定 1 m。

等地海拔更高,土壤水分活跃层会更浅。

3. 土壤水分次活动层。从统计数字看到,安塞、米脂和河曲等丘陵区的深度已延伸到200cm,反映出黄绵土水分运行整体性强的特点。正是由于水分次活跃层较深,作物对水分利用层也很深。据在清涧等地测定,冬小麦吸水层达到4 m;而高原南部的残垣地区和西部丘陵区的次活动层比较浅,只延伸到80—90cm深。

4. 相对稳定层。土壤水分运行十分缓慢,30天内的变化不到1%。按0.5%算,2 m土层日平均耗水量只有0.22—0.24mm,对储存水分十分有利。从表6看到,相对稳定层在南部塬区和高原西部地区存在。这层水分对翌年作物生长有利。关中地区“麦收隔年墒”的谚语就是佐证。

三、蓄水保墒措施

黄土高原作物生长的主要限制因子是水分。在旱农地区,如何保障现有降水的充分利用,是一个重要环节。根据区域土壤水分动态特征,建议抓以下措施:

(一) **按照地区土壤水分运行特点,采取相应的保墒措施。**在黄土高原的旱作地区,可分为三个类型区:一是高原南部地区的秋蓄秋耕保墒区,主要是就地拦蓄降水,防止秋季大量蒸发,发挥“秋雨春用”的作用;二是北部丘陵沟壑区的秋耱冬覆盖春用保墒区,通过系列措施防止春季无效蒸发;三是高原西部秋翻耕春利用区,应充分发挥“相对稳定层”深厚及易于充分利用的优势。

(二) **具体措施。**在秋蓄秋耕保墒区,可全面推行秋雨期耕翻土地。宝鸡农业科学研究所试验,夏闲秋雨期间,可把40%的降雨贮存在土壤中,在本区折合160 mm多。天水地区试验,雨季耕翻土壤,可使原来0—200cm土层不足300mm的蓄水量增长到460—470mm。然后加上冬麦种后的生物、麦糠覆盖等措施,翌年土壤水分利用将会得到改善。

在北部的秋耱地冬覆盖保墒区,主要是通过人为覆土,制造一个与地下土壤结构,

孔隙组成不等的表面间层，防止无效蒸发。覆盖的耕作措施有两法种田等。同时，选用与降雨同步的作物，提高对降雨的利用率。

在西部秋翻耕地春利用区，一方面通过秋耕多接纳雨雪，增加相对稳定层的土壤水分储量；另一方面，通过地膜、沙石田等措施，提高地温，扩大利用量，提高水分利用率。

参 考 文 献

- [1] 武汉水利电力学院农田水利教研室：《作物的合理用水》，农业出版社，1978年。
[2] 李玉山等：“黄土高原土壤水分性质及其分区”，《中国科学院西北水土保持研究所集刊》，第2集，1985年。

The Regional Dynamic Characteristics of Soil Water on the Loess Plateau

Han Shifeng Li Yushan Zhang Xiaozhong Shi Zhuye

Abstract

The soil on the loess plateau varied in texture generally from heavy to light loam; the field moisture capacity of them is about 20%; while their permanent wilting point ranged between 3.8-7.8%, and most of the soil types are within 5-6%. The dynamic characteristics of soil water in the barerainfied farmland are as followings: 1. The recovering time for soil moisture is moving along generally from south to north and from east to west respectively, while in the northern and western area, it is nearly simultaneous with the crop growth, which is helpful to raising the utlization ratio of rainfall. There are two critical periods for the loss of soil water. The first period called abundant water loss period is from September to december in which the water loss ratio is 0.64mm/day, which is above the annual average value. The second period called deficient water loss period is from March to July in which the water loss ratio is between 0.5-2.34mm/day, which is lower than the annual average value. 2. The soil profile can be divided into four sections: (1) fast variation layer; this layer generally ranged from 0-20cm depth on loess plateau area. (2) active layer; It ranged generally from 20-60cm depth in eastern area and from 10-30cm depth in western areas. (3) sub-active layer; It can reach to 200cm depth for Huang Mian soil in north area and reach to 80-90cm depth in the other areas. (4) relative stable layer; This layer only exists in western and southern plateau.