

# 黄土丘陵区农田水分循环 特征及土壤水分生态环境

李开元 韩仕峰 李玉山 邵明安

(中国科学院  
水利部 西北水土保持研究所)

## 摘 要

在评价土壤水分性质的基础上,本文系统地讨论了黄土丘陵区农田水分循环特征及作物土壤水分生态环境,并从理论上解释了该区域土壤有效水利用率较高,土壤低湿度仍表现出较高的有效性。同时指出,该区域土壤有效水库容大,对作物供水调节能力强;但因气候干旱,土壤水分亏缺严重,土壤只在生育期内对作物供水起调节作用,这是黄土丘陵区土壤水库效应的区域特征。此外,本文将土壤蒸发分为旱季和雨季两个时段,研究表明土壤蒸发最强的时段,在雨季而不在旱季。

**关键词:** 黄土丘陵 水分循环 生态环境

## FIELD WATER CYCLE AND SOIL WATER ECOLOGICAL ENVIRONMENT OF CROPS IN THE LOESS HILLY REGION

*Li Kaiyuan Han Shifeng Li Yushan Shao Mingan*

### Abstract

Based on the evaluation of the soil water properties, this paper deals with the field water cycle and soil water environment of crops in the loess hilly region, concluding that the soil water use efficiency is high and low soil water content still displays high availability, which is explained from the theoretical point of view. Meanwhile, this paper indicates that the capacity of soil available water reservior is high, and soil capability of regulating and supplying water to plant is high as well. But because of the dry climate, the soil water is seriously deficient, therefore the effect of the regulation only takes place within the growth period, which is the regionalism of the effect of the soil water reservior. Moreover, in this paper soil evaporation is divided into two stages that are dry season and rainy season, the study shows that the stages of the maximal rate of evaporation is not in the dry season but the rainy season.

**key words:** loess hilly water cycle ecological environment

黄土丘陵区是黄土高原水土流失最严重的地区。区内大部分属半干旱地区,年降水量仅有300~500mm,且季节分配不均,土壤水分是作物生态环境中的重要因子。通过农田水分循环和土壤水分生态环境的研究,本文旨在为充分地、合理地利用土壤水分资源提供科学依据。资料主要来自甘肃的定西,陕西的米脂及山西的离石和河曲,由西南向东北跨越黄土丘陵区,具有充分的代表性。

## 1 土壤水分性质评价

### 1.1 土壤持水能力

土壤持水能力是一项重要的土壤物理性质,一般用田间持水量来表示。田间持水量习惯上作为植物有效水的上限,是决定土壤有效水库容的一个重要因子。

黄土丘陵区土壤大部分属轻壤和中壤,少部分属砂壤土。黄土高原从砂壤到重壤,田间持水量范围为13.0%~22.4%。由表1可知,定西和离石属中壤,其土壤持水能力在黄土高原地区居上;安塞、米脂和河曲属轻壤,土壤持水能力居中。黄土丘陵区2m土层田间持水量时可蓄积403.2~487.6mm的水量,约相当于该区域年平均降水量。由此可见,黄土丘陵区土壤具有较大的持水能力。此外,该区土层深厚疏松,具有很大的持水库容,为作物具备了良好的土壤生态环境。

表1 土壤基本物理性质

地名	土类	质地	物理粘粒	田间持水量		凋萎湿度	有效水范围
			(%)	(干土重%)	(mm/m土层)	(干土重%)	(干土重%)
定西	黄绵土	中壤	33.0	21.2	243.8	6.2	15.0
安塞	黄绵土	轻壤	27.3	18.4	226.3	5.1	13.3
米脂	黄绵土	轻壤	24.9	18.0	225.0	5.7	12.3
离石	黄绵土	中壤	31.0	19.2	236.9	5.5	13.7
河曲	栗褐土	轻壤	20.4	16.0	201.6	3.5	12.5

### 1.2 土壤凋萎湿度

迄今为止,凋萎湿度仍被普遍视为土壤有效水的下限。一般质地越重,凋萎湿度越高。沙壤土凋萎湿度为3%~4%,轻壤土为4%~5%,中壤土为5%~8%,重壤土大于8%。由表1可知,凋萎湿度最高的为定西中壤(6.2%),最低的为河曲轻壤(3.5%);可见黄土丘陵区土壤凋萎湿度较低,在黄土高原地区居中下水平,这对作物的供水具有重要意义,是一个良好的土壤水分性质。

### 1.3 土壤有效水的范围及土壤水分在吸力段的分布

田间持水量至凋萎湿度之间的含水量一般视为土壤有效水范围。黄土丘陵区轻、中壤由于其较高的田间持水量和较低的凋萎湿度,有效水范围相对较宽(表1)。据在黄土高原的多点测定资料表明,轻、中壤土的有效水范围最宽,重壤土和沙壤土次之,紧沙土最窄<sup>[1]</sup>。黄土丘陵区有效水范围较宽这一性质使土壤具有较大的有效水库容,增强了土壤对作物供水的调节能力。

单从田间持水量、凋萎湿度和有效水范围还不足以完全反映土壤的持水性能。如果

详细探索土壤对作物的供水过程及土壤的蒸发失水过程, 还需了解土壤水分在吸力段的分布情况。表2是土壤比水容量, 为了便于比较说明, 我们以武功重壤土和海原沙壤土作为对照。由表2可知, 当小于1.0~2.0bar吸力段时, 黄土丘陵区的轻、中壤土比水

表2 不同质地土壤比水容量 (单位: 比水容量ml/bar.g)

土 类	吸 力 (bar)							
	0.1~0.2	0.2~0.4	0.4~0.6	0.6~1.0	1.0~2.0	2.0~4.0	4.0~6.0	6.0~10.0
定西中壤	$4.49 \times 10^{-1}$	$8.45 \times 10^{-2}$	$9.40 \times 10^{-2}$	$4.30 \times 10^{-2}$	$1.73 \times 10^{-2}$	$1.03 \times 10^{-2}$	$4.20 \times 10^{-2}$	$2.90 \times 10^{-2}$
安塞轻壤	$5.54 \times 10^{-1}$	$7.80 \times 10^{-2}$	$8.15 \times 10^{-2}$	$3.23 \times 10^{-2}$	$1.05 \times 10^{-2}$	$9.60 \times 10^{-3}$	$4.60 \times 10^{-3}$	$3.30 \times 10^{-3}$
米脂轻壤	$4.95 \times 10^{-1}$	$1.47 \times 10^{-1}$	$7.35 \times 10^{-2}$	$4.30 \times 10^{-2}$	$8.10 \times 10^{-3}$	$8.60 \times 10^{-3}$	$4.30 \times 10^{-3}$	$2.10 \times 10^{-3}$
离石中壤	$3.54 \times 10^{-1}$	$1.11 \times 10^{-1}$	$6.85 \times 10^{-2}$	$6.10 \times 10^{-2}$	$1.19 \times 10^{-2}$	$9.30 \times 10^{-3}$	$4.30 \times 10^{-3}$	$3.30 \times 10^{-3}$
河曲轻壤	$5.48 \times 10^{-1}$	$1.15 \times 10^{-1}$	$6.85 \times 10^{-2}$	$3.33 \times 10^{-2}$	$4.80 \times 10^{-3}$	$7.20 \times 10^{-3}$	$3.50 \times 10^{-3}$	$1.70 \times 10^{-3}$
武功重壤 (对照)	$2.00 \times 10^{-1}$	$7.00 \times 10^{-2}$	$6.50 \times 10^{-2}$	$3.00 \times 10^{-2}$	$1.00 \times 10^{-2}$	$1.31 \times 10^{-2}$	$6.54 \times 10^{-3}$	$4.30 \times 10^{-3}$
海原沙壤 (对照)	$9.10 \times 10^{-1}$	$1.21 \times 10^{-1}$	$9.10 \times 10^{-2}$	$1.73 \times 10^{-2}$	$1.04 \times 10^{-2}$	$5.80 \times 10^{-3}$	$2.60 \times 10^{-3}$	$1.90 \times 10^{-3}$

容量大于重壤土; 当大于1.0~2.0bar吸力段时则小于重壤土。但是, 当小于0.6~1.0bar吸力段时则小于沙壤土。由此可见黄土丘陵区轻、中壤土比水容量介于重壤土和沙壤土之间。由表2还可看出, 黄土丘陵区轻、中壤土的比水容量在高吸力段和低吸力段之间的差异比较显著; 其虽不及沙壤土, 但远较重壤土大。由表3可以更加直观地说明, 黄土丘陵区的轻、中壤土水分在低吸力段的分布比例远大于高吸力段。由此说明, 作等以相同能量来吸水, 在低吸段的吸水量远大于高吸力段; 但另一方面, 由于低吸力段较高的比水容量, 降水后土壤水分又极易蒸发损失。黄土丘陵区农田蒸发强烈, 除半干旱的气候外, 土壤的这一持水性能也是一个重要原因。

#### 1.4 土壤导水性能

表3 土壤水分在吸力段的分布情况 (土壤含水量单位, %)

吸 力 段	定西中壤	安塞轻壤	米脂轻壤	离石中壤	河曲轻壤	武功重壤*	海原沙壤*
0.1~1.0bar 的土壤含水量	9.78	9.62	11.20	10.87	10.47	6.40	14.03
占0.1~10.0bar 含水量的%	62.9	64.9	72.6	65.1	76.2	49.2	80.2
1.0~10.0bar 的土壤含水量	5.76	5.20	4.23	5.82	3.28	6.60	3.46
占0.1~10.0bar 含水量的%	37.1	35.1	27.4	34.9	23.8	50.8	19.8

\*武功重壤和海原沙壤为对照。

土壤非饱和导水率与土壤质地密切相关。一般沙性土壤导水率比粘性土壤大, 但当吸力很高时, 沙性土壤导水率反比粘性土壤低。表4是黄土高原三种质地土壤的导水率<sup>[1]</sup>, 中壤土导水率低于紧沙土; 低吸力段时远高于重壤土, 高吸力段时又低于重壤土。由此说明, 黄土丘陵区土壤在低吸力段时具有较高的导水率, 这对于作物吸水是一

种有利的性质,但不利于土壤保墒,低吸力段较高的导水率使土壤水分更易蒸发损失。

表4 不同土壤湿度和吸力下的导水率

土壤湿度	中 壤 土		重 壤 土 (对照)		紧 沙 土 (对照)	
(占干土重)	水吸力 (mb)	导水率 (cm/天)	水吸力 (mb)	导水率 (cm/天)	水吸力 (mb)	导水率 (cm/天)
0.04					12645	$2.45 \times 10^{-2}$
0.06					1586	$2.15 \times 10^{-1}$
0.08					363	1.88
0.10					116	$1.65 \times 10$
0.12	11146	$1.02 \times 10^{-4}$	21769	$4.32 \times 10^{-5}$	45	$1.44 \times 10^2$
0.14	4730	$6.48 \times 10^{-4}$	8475	$1.48 \times 10^{-4}$		
0.16	2252	$4.14 \times 10^{-3}$	3743	$5.05 \times 10^{-4}$		
0.18	1770	$2.64 \times 10^{-2}$	1820	$1.73 \times 10^{-3}$		
0.20	651	$1.69 \times 10^{-1}$	956	$5.92 \times 10^{-3}$		
0.22	383	1.08	533	$2.02 \times 10^{-2}$		
0.24	236	6.87	313	$6.93 \times 10^{-2}$		
0.26	151	$4.39 \times 10$	192	$2.37 \times 10^{-1}$		

## 2 农田水分循环特征

农田水分循环是从水分入渗至土壤开始,然后在土壤中,暂时储存最后以农田排水、土壤蒸发和作物蒸腾排入土壤的循环过程。黄土丘陵区土壤水分的唯一来源是降水,无地下水补给,土壤水分支出主要是蒸腾和蒸发。

### 2.1 降水对土壤水库的补充与土壤水分的入参与再分布

黄土丘陵区降水季节分配不均,年降水量的60%以上集中在6~9月,2m土层一年四季均处于水分亏缺状态。雨季时土壤水分虽在一定程度上得到补充,但土壤水分仍表现亏缺。图1是裸露农田在不同水文年型下的土壤水分动态。

黄土丘陵区土层深厚而疏松,质地为壤质偏轻,极有利于土壤水分的下渗,雨季时降水在农田上可以全部入渗。无论是丰水年还是旱年,土壤水分渗深均超过2m。但土壤在雨季所接纳的雨水不会保持较长的时间,到11月底时土壤又重新处于严重的亏缺状态。由图1可知,即使在丰水年也是如此。1988年6月下旬到8月下旬两个月,米脂的降水高达300mm,但到11月底时,雨季储蓄的水量已蒸发损失殆尽,土壤湿度基本和雨季前持平。这是由这一地区的气候条件和土壤性质所共同决定的<sup>[4]</sup>。

黄土丘陵区土壤具有较强的再分布能力。田间土柱再分布模拟试验表明,米脂轻壤土水分再分布至2.5m深度所需时间比武功重壤土少需25天。另外田间土柱模拟试验表明,再分布过程具有显著减缓土壤蒸发的作用。表5所列两组试验,第一组为在灌水后放置一周时间(在防止蒸发条件下进行再分布),然后开始蒸发;第二组在灌水后一夜即和第一组同时开始蒸发。两组试验蒸发历时均为20天。结果表明,第一组蒸发量明显低于第二组,统计检验达极显著水平。说明再分布过程具有显著削弱土壤蒸发的作用。

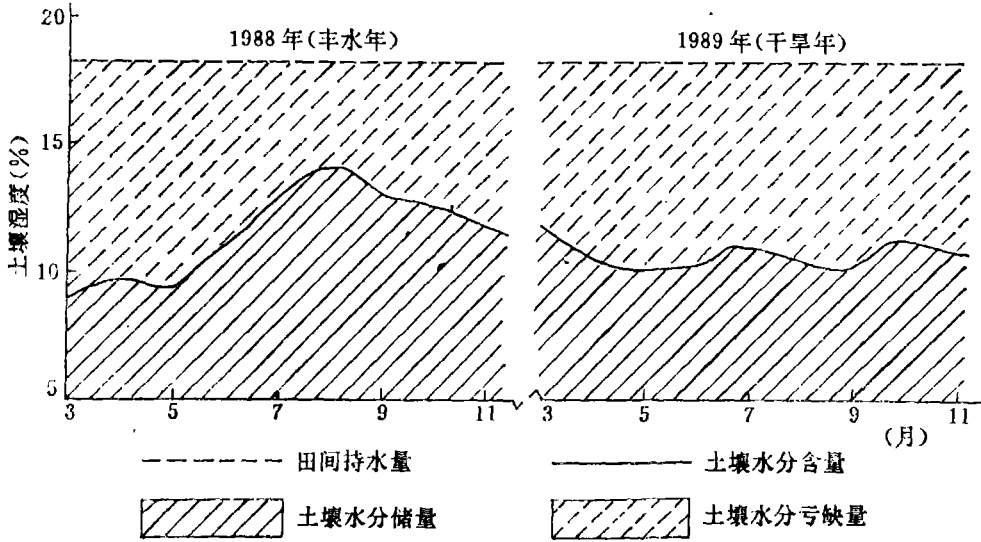


图1 裸露农田土壤水分动态(2 m土层)(米脂)

其原因在于再分布过程降低了表层容易蒸发消耗的土壤含水量,同时也减少了水分的总梯度和导水率<sup>[5,6]</sup>。黄土丘陵区土壤较强的入渗和再分布能力对于储蓄降水和减少蒸发起到了重要的作用。

表5 米脂轻壤土两组不同处理的蒸发试验

组 别	第 一 组			第 二 组		
给水量	15.0	30.0	45.0	15.0	30.0	45.0
蒸发量	10.5	16.9	20.8	13.4	20.9	28.4

2.2 土壤物理蒸发

2.2.1 土壤蒸发强度和蒸发量

土壤蒸发强度决定于土壤含水量、导水性能和气象条件。土壤蒸发可分雨季和旱季两个阶段。雨季系指6~9月,是土壤蒸发最强烈的阶段,蒸发强度在1.51~3.60mm/天之间,丰水年蒸发更为严重。此阶段因地区不同,蒸发量可达同期降水量的63%~93%(表6)。

旱季土壤蒸发分雨季前和雨季后两个阶段;雨季前系指3~5月,是一年中蒸发最弱的阶段,蒸发强度在0.47~0.97mm/天之间。雨季后系指10~11月,蒸发强度在0.85~1.73mm/天之间,次于雨季,但高于雨季前的3~5月(表6)。

2.2.2 土壤物理蒸发作用层深度

土壤物理蒸发作用层深度是影响农田水分循环层的主要因子,降水只有超过作用层深度才能形成渗漏,否则降水转化为土壤水后,不参与地下水循环,而又重新返回大气层中。

图2表明,定西和河曲地区土壤物理蒸发作用层深度为1.7m,米脂和离石地区均超过2m。定西位于黄土丘陵区的西部,河曲位于北部,由于海拔高,气候相对冷凉,

表 6 土壤蒸发强度和蒸发量

年 型	土壤蒸发强度 (mm/天)			土壤蒸发量 (mm)			土壤蒸发量占降水量%		
	雨 季	旱 季	旱 季	雨 季	旱 季	旱 季	雨 季	旱 季	旱 季
	6~9月	3~5月	10~11月	6~9月	3~5月	10~11月	6~9月	3~5月	10~11月
定 西 地 区									
1989 (旱 年)	1.51	0.78	0.86	184.1	72.3	52.8	69.2	128.9	100.0
米 脂 地 区									
1988 (丰水年)	2.45	0.62	0.94	298.9	57.0	57.3	90.0	66.3	521.6
1989 (旱 年)	1.71	0.83	0.85	208.4	76.6	51.9	78.3	214.0	176.9
离 石 地 区									
1988 (丰水年)	3.60	0.75	1.32	438.6	69.2	81.1	85.1	80.6	1448.2
1989 (旱 年)	2.60	0.47	1.73	317.6	42.9	105.6	93.0	162.4	154.0
河 曲 地 区									
1988 (丰水年)	2.52	0.97	1.07	302.4	89.2	65.3	63.3	82.2	218.4
1989 (旱 年)	1.86	0.74	1.04	226.9	68.1	63.5	72.9	132.1	167.7

土温较低, 土壤水分移动相对迟缓, 这是这两个地区土壤物理蒸发作用层深度较浅的主要原因。

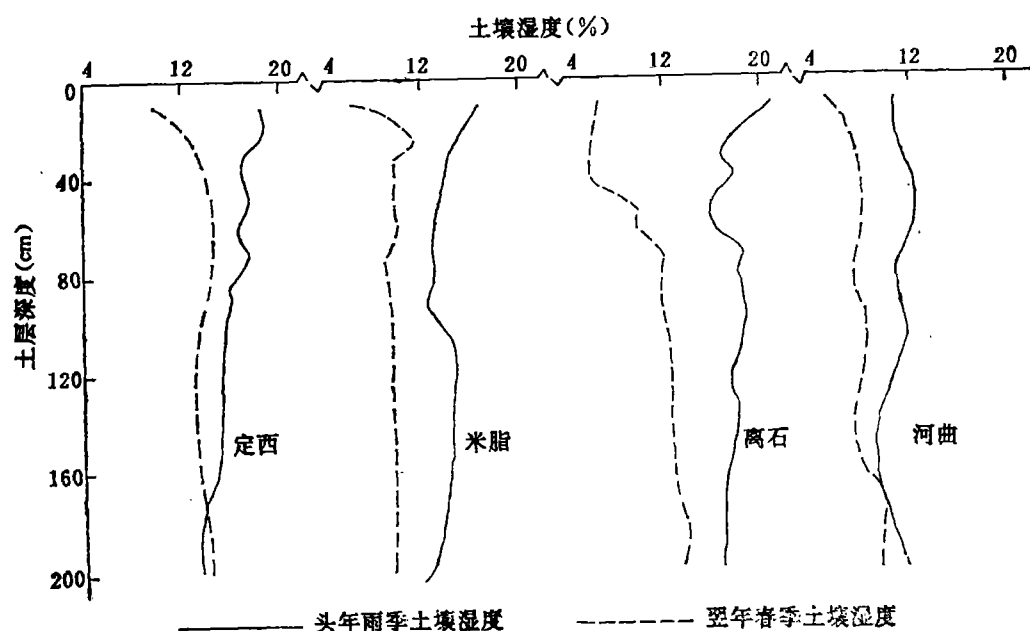
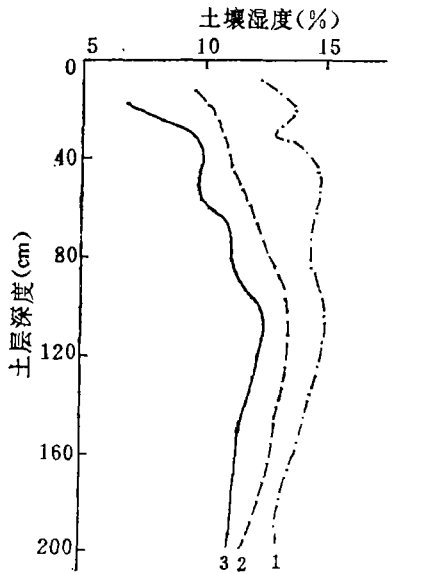


图 2 土壤物理蒸发作用层深度

2.2.3 土壤物理蒸发移动特征

(1) 土壤在高湿度阶段具有较强的蒸发移动能力。田间土柱模拟试验表明(表7), 土壤从田间持水量开始蒸发, 最初10天的蒸发强度明显高于以后的时段。在第21~25天以前, 米脂轻壤土的蒸发强度高于武功重壤土, 在第21~25天以后轻壤土又低于重壤土。土壤蒸发的这一特征是由土壤本身的持水性能和导水性能决定的。因此, 黄土丘陵区土壤在雨季作好中耕保墒工作尤其重要。

(2) 土壤蒸发时水分向上的整体移动性较强。土壤水分蒸发不是由浅至深, 而是浅层和深层同时向上移动。因此在旱季时, 土壤湿度剖面相对比较均一(图3)。



1. 8月23日; 2. 9月20日; 3. 11月20日  
图3 裸露农田土壤湿度剖面(米脂)

2.3 作物耗水

作物耗水包括作物蒸腾和棵间土壤物理蒸发, 是农田水分的主要支出项目。作物耗水强度及耗水层深度是影响农田水分循环的重要因子。

2.3.1 作物耗水量与耗水组成

由表8可知, 作物耗水量因作物种类、年型和地区不同而不同。除糜子外, 各种作物丰水年(1988年)的耗水量明显高于干旱年(1989年)。糜子干旱年的耗水量和丰水年几乎相等, 且土壤供水量最多, 说明糜子利用土壤水分的能力较强。土壤供水量因作物种类、年型和地区不同而变化在-83.2~88.7mm之间, 土壤供水量占耗水量的比例变化在-27.1%~32.9%。丰水年土壤供水量多数为负值, 降水能满足作物的需水, 干旱年土壤供水量多数都不大, 作物耗水极大程度上来自降水, 土壤水库在生育期内对供水主要起调节与再分配作用, 这是黄土丘陵区土壤水库效应的区域特征。

表7 两种质地土壤的蒸发强度\* (mm/天)

时 段 (蒸发开始后的天数)	米脂轻壤土	武功重壤土
0~3	3.74	3.01
4~5	6.81	4.96
6~7	5.92	5.26
8~10	2.82	2.56
11~20	1.34	1.20
21~25	1.05	1.16
26~36	0.31	0.63
37~45	0.75	0.91
46~56	0.42	0.70
57~67	0.30	0.55
68~78	0.32	0.62
79~89	0.29	0.56
90~99	0.30	0.54
100~109	0.28	0.46
110~120	0.18	0.32

\*系田间土柱模拟试验

表8 作物耗水量及其组成

作 物	年 型	耗 水 量	耗 水 量 组 成			
		(mm)	降 水	占耗水%	土壤供水	占耗水%
定 西 地 区						
春小麦	1988	302.6	228.9	75.6	73.7	24.4
	1989	240.5	161.0	67.1	79.1	32.9
豌豆	1988	185.1	187.9	101.5	- 2.8	- 1.5
	1989	128.6	88.7	69.0	39.9	31.0
马铃薯	1988	357.4	335.0	93.7	22.4	6.3
	1989	257.6	279.3	108.4	- 21.7	- 8.4
米 脂 地 区						
马铃薯	1988	393.3	390.7	99.3	2.6	0.7
	1989	275.5	275.5	100.0	0.0	0.0
谷 子	1988	307.5	390.7	127.1	- 83.2	- 27.1
	1989	286.2	275.5	96.3	10.7	3.7
离 石 地 区						
谷 子	1988	467.3	515.4	110.3	- 48.1	- 10.3
	1989	389.0	341.7	87.8	47.3	12.2
马铃薯	1989	351.1	341.7	97.3	9.4	2.7
河 曲 地 区						
马铃薯	1988	318.5	348.3	109.4	- 29.8	- 9.4
	1989	255.6	232.5	91.0	23.1	9.0
谷 子	1988	304.4	333.3	109.5	- 28.9	- 9.5
	1989	300.9	212.2	70.5	88.7	29.5

### 2.3.2 作物耗水层深度和作物耗水特征

作物耗水层深度主要取决于作物根系的分布深度。由表9可知,作物耗采层深度在1~2 m之间,马铃薯最深,其次为春小麦、谷子和糜子,豌豆最浅。干旱年(1989年)作物耗水层深度明显大于丰水年(1988年)。

由图4作物收获时的土壤湿度剖面可以看出,作物耗水主要在1 m以上的土层,丰水年农田留下一个较高的土壤湿度剖面,干旱年则留下一个较低的湿度剖面。但是,即使在干旱年仍有一部分有效水未被作物利用,尤其是1 m以下的土层。

由表9可知,干旱年的有效水利用率均大于丰水年。此外,各地区有效水利用率差异较大,离石和定西较低,米脂和河曲较高;这可能与地力水平和施肥水平有关。因为



表 9 作物耗水层深度与土壤有效水利用率

地 区	作 物	耗水层深度 (m)		有效水利用率 (%)	
		1988年	1989年	1988年	1989年
定 西	春小麦	/	1.6	/	55.0
	豌 豆	/	1.0	/	50.0
	马铃薯	/	1.4	/	55.7
米 脂	马铃薯	1.4	2.0	79.7	89.3
	谷 子	1.2	1.4	64.2	79.8
离 石	马铃薯	/	2.0	/	49.6
	谷 子	1.2	1.6	47.7	53.4
河 曲	马铃薯	1.2	1.6	73.7	83.9
	糜 子	1.2	1.4	78.4	80.4

\*土壤有效水利用率 = (有效水全量 - 收获时土壤有效水储量) / 有效水全量

黄土丘陵区普遍土壤肥力较低，施肥水平是影响有效水利用率的主要因素。米脂和河曲的土壤有效水利用率在丰水年达64.2%~79.7%，在干旱年达79.8~89.3%，其显著高于关中重壤土地<sup>[2]</sup>。由此可见，黄土丘陵区土壤有效水更容易被作物吸收利用，有很大的利用潜力。这与土壤持水性能有很大关系，黄土丘陵区土壤相对于关中地区重壤土来说，有更大比例的有效水吸持在低吸力段范围内。

3 作物土壤水分生态环境

3.1 土壤有效水库容大，对作物供水的调节能力强

黄土丘陵区轻、中壤土，田间持水量较高，凋萎湿度较低，有效水范围相对较宽；加之土层深厚，有很大的有效水库容；而且土壤疏松，有利于水分的入渗和再分布，可以接纳全部降水，并在非雨时期供给作物利用。因此土壤对作物供水有较强的调节能力。但因气候干旱，土壤水分亏缺严重，这种供水调节作用主要发生在作物生育期内，这是土壤水库效应的区域特征。

3.2 土壤有效水吸持在低吸力段的比例较高，土壤低湿度仍表现出较高的有效性

黄土丘陵区轻、中壤有效水吸持在低吸力段的比例明显高于关中地区的重壤土，说

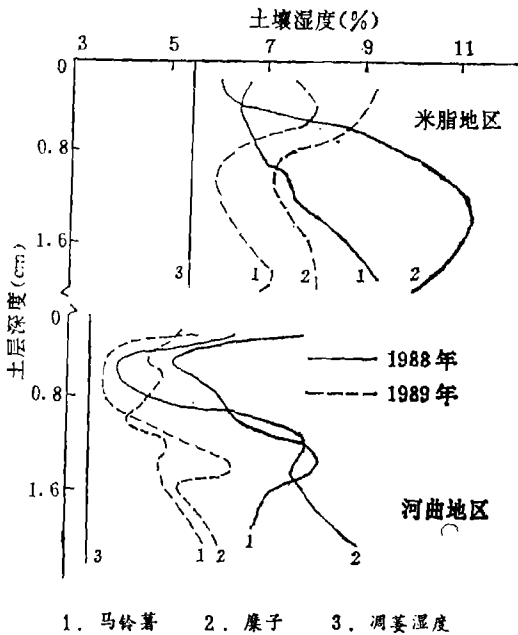


图 4 作物收获时的土壤湿度剖面

明黄土丘陵区土壤容易被作物吸收利用的有效水比例较高,因此在生产实践中常常出现“土壤低湿度仍表现出较高的有效性”的现象。这也是土壤有效水利用率明显高于关中地区重壤土的主要原因。

### 3.3 土壤常常处于低湿状态,土壤水分亏缺较为严重

黄土丘陵区属半干旱地区,虽土壤有较大的持水库容,但降水量不多,加之土壤蒸发强烈,农田土壤常常处于低湿状态。由图5可知,整个生育期内土壤水分相对于田间持水量亏缺较为严重。这是黄土丘陵区作物土壤水分生态环境总的特征。

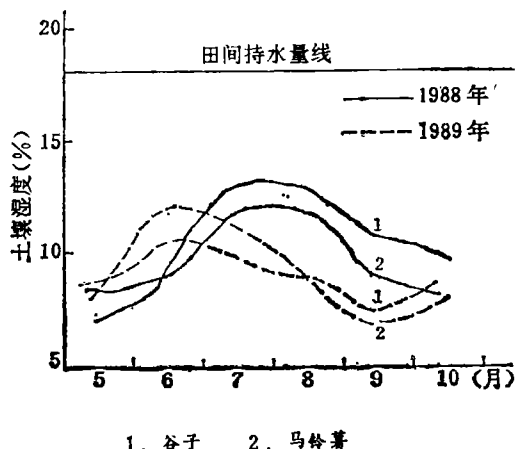


图5 农田土壤水分状况(米脂)

表10 田间稳定湿度(米脂)

土 层 (cm)	土壤湿度 (占干土重%)	占田间持水量%
20	10.0	55.6
40	9.7	53.9
60	9.6	53.3
80	10.0	55.6
100	9.4	52.2
120	9.4	52.2
140	9.4	52.2
160	9.8	54.4
180	9.7	53.9
200	9.8	54.4
平 均	9.7	53.9

### 3.4 土壤水分容易蒸发损失,田间稳定湿度相对较低

由于在低吸力段土壤导水率和比水容量较高,加之气候干燥,因此土壤在雨后水分极易蒸发损失。此外,有效水在低吸力段的比例较高,因而田间稳定湿度相对较低。表(10)所示,田间稳定湿度在9.4%~10.0%之间,相当于田间持水量的52.2%~55.6%。2 m土层田间稳定湿度平均为9.7%,相当于田间持水量的53.9%;而武功重壤土田间稳定湿度为15%左右,相当于田间持水量的80%左右<sup>[3]</sup>。由此可见,黄土丘陵区土壤田间稳定湿度较低,土壤水分容易蒸发损失。

## 参 考 文 献

- [1] 李玉山、韩仕峰等。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》,1985,第2集,1~16页。
- [2] 李玉山、喻宝屏。土壤深层储水对小麦增产效应的研究,《土壤学报》,1980,17卷1期,43~54页。
- [3] 李玉山。塋土水分状况与作物生长,《土壤学报》,1962,10卷3期,289~303页。
- [4] 李开元、韩仕峰等。陕北黄土丘陵沟壑区旱地土壤水分动态,《水土保持通报》,1990,10卷6期,21~25页。
- [5] Gardner, W. R. et al 1970, Post irrigation movement of Soil water, Water Resources Res. 6(3), 851~856, 6(4), 1148~1153.
- [6] Rubin, J. 197, Numerical method for analyzing hysteresis-affected, Post-infiltration, redistribution of soil moisture. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31, 13~20.