

塿土水分状况与作物生长*

李玉山

(中国科学院西北生物土壤研究所)

土壤水分是土壤肥力基本要素之一,也是作物的主要营养物质。保证土壤中备有充足的蓄水量是一切作物获得丰产的基础。在我国北方地区,农业生产常因降水不足和分配不均而遭受干旱威胁,研究土壤水分状况对抗旱保产和进一步提高作物产量都有重要意义。

塿土分布在陕西关中平原,为我国著名的粮棉产区。除一部分已受渭惠、泾惠等渠灌溉外,大部仍属旱塬。旱塬地区地下水深30—50米,降水是农业生产中唯一的水分来源,经常出现长时间的季节性干旱。但这一地区与其他北方旱区相比,作物的产量水平则较高而稳定,尤其主要作物冬小麦,在1954年武功、岐山两县全县亩产已分别达到296和309斤,1955年春季虽遇到严重干旱情况(三、四、五月降水共29毫米)亩产依然分别达到270和260斤^[1,2]。甚至在百日大旱的1960年,歇槎小麦¹⁾单产仍接近常年²⁾。本区能在降水条件差别显著的年份内得到比较稳定的作物产量,与塿土的蓄水性能有密切关系。因之研究塿土水分状况及其在调节作物水分营养中的作用更有其特殊意义。

1957年我们开始在我所九区草田轮作试验中,而后又在总结农业丰产经验工作中,开展了此项研究,迄今仍在进行。鉴于我国近年来连续遭到干旱危害,抗旱保产成为农业生产中的迫切任务。同时,保证作物丰产需要的水分条件也是农业中一项长期性重要任务,所以现在根据已得资料作一初步总结,以作为运用本地区丰产经验和研究土壤肥力之参考。

一、研究地区的气候、土壤条件

我们的工作是在武功县头道塬旱地上进行的(渭河第三级阶地)。由于地势高(海拔505米),地下水深,一向无灌水条件,故通称为“旱塬”。这一地区气候比较温暖,年平均温度为13℃;7月份最高,为26℃;1月份最低,为-2℃。冬季土壤冻结时期短,冻层浅,只有十数厘米深。降雪很少,且遇中午日暖即行融化,不易形成复雪层。降水量多年平均为640毫米,水面蒸发量为1,400毫米,属半湿润、半干旱地带。

本区年降水总量一般说来可以满足当地现有农作制度的综合需要。旱情的形成是由于降水量在各年间的稳定性和一年内分配的不均匀性所致。据武功气象站1935年以来的气象记录,年降水量最少为457毫米(1939年),最多为979毫米(1958年),以致每逢缺雨年份就发生严重干旱。一年之内暖季半年(4—9月)降水量占全年的81.8%;冷季半

* 本文在朱显謨、杜豁然先生指导下写成。

1) 种在夏季休闲地上的小麦当地称为歇槎或正槎麦。

2) 根据本所彭林的资料。

年(10—3月)只占 18.2%。实际上各个年份内不同月份降水量分配的不均匀性远超过平均值,以致在年降水量并不太少的情况下,一旦遇到较长时期的季节性干旱,仍能造成旱情。当地农作制度在很大程度上是在这种水分条件下形成起来的。通过合理轮作和恰当地进行耕作保墒,正确和充分地利用土壤蓄水性能,是克服降水不利年份干旱影响的有效手段。

壤土是发育在深厚黄土母质上的古老耕种土壤。过去曾被称为栗钙土、灰褐土等。近年来由朱显謨先生定名为“壤土”¹⁾,为关中平原主要土壤。武功头道塬的紅油土是壤土中的一个有代表性的土种,具有壤土的一般性质,可以反映壤土的一般特性。壤土由于经受了人类长期耕耘、施肥、栽种作物的影响,形成了特有的土壤剖面形态。其主要特征是:在古自然土壤表面上由于长期施用土粪堆积了一层厚约 60 厘米的熟化复盖层,较疏松,呈粒状和块状结构;60—120 厘米明显地分布有一层棕褐色土带,即古自然土壤的粘化层,有时也见有薄层腐殖质的残存,呈稜柱状结构。粘化层以下为具有多量石灰菌丝体和小型钙质结核的淀积层;再下则向比较纯净的黄土母质过渡。除耕层外,整个剖面腐殖质含量均小于 1%。机械组成比较均匀,属粘壤至轻粘质(表 1)。中部粘化层较粘重。但该种土壤由于土粒常呈团聚体状态出现,用手触摸酷似壤土。Yoder 法分析耕层大于 0.25 毫米的团粒可达 30—50%,千筛法则高达 95%。干筛下的团聚体如果不是骤然浸水,而在逐渐被水浸润情况下,很少崩解。此种性状对渗透性和保水性当发生重要影响。

表 1 武功头道塬壤土耕地(YΓ-1-a)剖面机械组成(西北生物土壤所胶化室资料)

发生层	深度 (厘米)	粒 径 (毫 米) 组 成 (%)							质地名称
		1—0.5	0.5—0.1	0.1—0.05	0.05—0.01	0.01—0.005	0.005—0.001	<0.001	
耕 层	0—20	1.22	1.70	2.93	50.00	15.02	16.64	12.40	粉沙粘壤
犁底层	20—40	1.01	1.33	5.17	45.55	14.98	19.14	13.20	”
古耕层	40—62	0.45	0.67	2.24	46.68	18.30	17.51	14.00	”
粘化层	62—123	5.20	0.41	2.60	34.60	10.40	18.80	28.00	壤质粘土
过渡层	123—140	0.30	1.70	5.20	42.00	12.00	18.00	20.80	”
钙积层	140—159	1.20	0.80	5.60	44.40	12.40	17.60	18.00	粘 壤 土
钙积层	159—200	2.00	1.60	6.10	45.20	13.20	13.20	15.60	”

二、壤土水分的基本性质及其动态的一般规律

(一) 壤土水分的基本性质

本地区地下水位很深,土壤水分状况不受地下水影响,而以悬着水状态存在;同时,由于壤土渗透性良好,在自然情况下,一般不存在水分毛管饱和和最大饱和的情况。从作物生长观点出发,可以采用表 2 所列的水分性质和有关的物理性态来反映壤土水分的肥力特性(表 2)。

从表 2 中,对壤土水分的肥力特性可以获得以下概念:(1)壤土剖面中空隙很发达,2 米深土层内为 46—53%。在田间持水量湿度下,充气孔隙率仍保持在 18—27% 之间。

1) 根据朱显謨的研究资料。

表2 壤土的水分-物理性質

深度 (厘米)	容重 (克/厘米 ³)	总孔隙率 (%)	最大吸湿水	雕萎湿度	田间稳定湿度	田间持水量	最大吸湿水	雕萎湿度	田间稳定湿度	田间持水量	在田间持水量下		渗透性
			(干土重%)				(毫米)				有效水量 (毫米)	充气孔隙 (%)	
0—10	1.25	53.7	7.1	8.4	17.6	22.0	9.2	10.9	22.0	27.4	16.5	26.3	最大渗透率5.5毫米/分 恒定渗透率0.72毫米/分 1小时总渗透量70毫米
10—20	1.30	51.8	7.5	8.8	17.6	22.0	9.7	11.8	22.9	28.6	16.8	23.2	
20—30	1.42	47.5	7.7	9.2	16.3	20.2	11.0	13.0	23.2	28.6	15.6	18.9	
30—40	1.37	49.3	7.7	9.1	15.3	19.2	10.6	12.3	21.0	26.3	14.0	23.0	
40—50	1.38	48.9	8.4	9.9	15.4	19.3	11.6	13.7	21.2	26.2	12.5	22.7	
50—60	1.43	47.0	8.9	10.5	15.3	19.2	12.6	15.1	21.9	27.3	12.2	19.7	
60—70	1.40	48.1	8.7	10.3	15.3	19.2	12.2	14.4	21.4	26.9	12.5	21.2	
70—80	1.44	46.9	11.3	13.2	15.7	19.6	16.3	19.0	22.6	28.2	9.2	18.7	
80—90	1.45	46.3	10.9	12.9	15.7	19.6	15.8	18.7	22.8	28.4	9.7	18.0	
90—100	1.39	48.5	11.5	13.6	15.9	19.9	16.0	18.8	22.1	27.6	8.8	20.9	
100—110	1.36	49.6	9.9	11.7	16.3	20.4	13.5	15.9	22.1	27.7	11.8	21.9	
110—120	1.35	49.9	9.4	11.1	16.1	20.2	12.7	15.0	21.7	27.2	12.2	22.7	
120—130	1.38	48.9	8.0	9.5	16.3	20.4	11.0	13.0	22.5	28.5	15.5	20.4	
130—140	1.36	49.6	8.5	9.9	16.0	20.0	11.5	13.5	21.8	27.2	13.7	22.6	
140—150	1.37	49.3	7.6	9.0	15.9	19.9	10.5	12.4	21.8	27.2	14.8	22.1	
150—160	1.32	51.1	7.7	9.1	15.8	19.8	10.1	11.9	20.8	26.4	14.5	24.7	
160—170	1.32	51.1	8.2	9.7	15.3	19.2	10.8	12.7	20.2	25.4	12.7	25.7	
170—180	1.35	49.9	8.4	9.9	15.5	19.4	11.4	13.4	20.9	26.2	12.8	23.7	
180—190	1.35	49.9	8.7	10.1	15.3	19.1	11.7	13.6	20.6	25.8	12.2	24.1	
190—200	1.32	51.1	8.4	9.9	15.3	19.1	11.0	13.6	20.2	25.2	11.6	25.9	
0—200	—	—	—	—	—	—	239.2	282.7	433.7	542.3	259.6	—	

而絕大多数作物高产需要的适宜孔隙率約为土壤容积的 20—25%^[3], 可以认为, 壤土不存在水气矛盾的对立状态。这給作物根系发育以利用深层儲水創造了良好条件;(2)壤土具有良好的渗透性能, 一小时渗透总量达到 70 毫米, 这表明比較平坦的塬面上在一般降水情况下, 不易发生地表径流, 而具有較高的雨水吸收率。同时, 渗透性能良好也可避免土壤中发生水分飽和而使通气恶化的情况;(3)可能由于大孔隙(如虫孔、根孔、垂直裂隙)发达, 持水力不算太高, 但因剖面深厚, 土壤內儲水量仍較丰富。2米深土层的最大儲水量可达 540 毫米以上, 接近一年的降水量;(4)意味着水分以液态形式移动停止的田间稳定湿度占田间持水量 75—80%, 具有較好的保水力;(5)大部分土层的雕萎湿度为 9%, 有效水含量約占最大蓄水能力的一半, 2米深土层可达 259 毫米, 数量是較大的。

以上分析說明壤土具有頗为良好的水分性質和蓄水性能。如果通过合理輪作、正确耕作等措施, 有可能在气候多变的情况下, 取得作物的稳定收成。如 1955 年秋冬土壤儲水丰富, 使小麦免于春旱, 获得中上等产量; 1960—1961 年冬春四个月无雨, 水面蒸发达到 251 毫米, 2米深土层儲水量只減少了 34.3 毫米, 为冬前儲水量的 6%。直到小麦返青期全部土层仍保持在作物生长的适宜湿度。这都是壤土蓄水性能的良好作用。

(二) 壤土水分的剖面动态特征

壤土剖面中的水分主要来自雨季降水。表 3 所列小麦地土壤水分平衡資料表明: 通

过雨季除补充了由于蒸騰和蒸发消耗引起亏缺的全部水分外, 2 米深土层尚多出 19.2¹⁾ (1957 年)—52.2 毫米(1961 年)。超过了亏缺值的水分有一部分則渗向更深层。长年下渗积累的结果, 使更深层也处于非常湿润的状态。我們測至 5 米深度, 都保持在田间持水量, 沒有出現干层。

表 3 小麦夏開地雨季后水分虧缺与补充量(毫米)

深度(厘米)	田间持水量	收获期剩余水量	亏缺水量	雨季后蓄水量	雨季中补充水量
1957 (輪作試驗)					
0—50	137.1	80.9	56.2	126.1	45.2
50—100	138.4	101.5	36.9	144.2	42.7
100—150	137.8	102.2	35.6	141.0	38.8
150—200	129.0	109.3	19.7	139.1	29.8
0—200	542.3	393.9	148.4	550.4	156.5
1961 (61—5 号田)					
0—50	137.1	79.4	57.7	145.3	65.9
50—100	138.4	96.5	45.9	161.2	64.7
100—150	137.8	80.6	57.2	143.1	62.5
150—200	129.0	112.8	16.2	144.8	32.0
0—200	542.3	369.3	177.0	594.4	225.1

土壤湿润到田间持水量, 在蒸发下水分具有向蒸发表层整层上移的能力^[4]。壤土水分上移运行的影响深度在 2 米左右

(图 1)。图 1 繪出蒸发 82 天和 180 天后的湿度变动曲线。蒸发末期的湿度曲线与田间持水量曲线相交于 2 米附近。我們知道, 低于田间持水量的水分不能通过重力作用下渗流失, 显然这部分水分是通过上移蒸发而消耗的。

土壤水分以液态形式向蒸发表层移动的速度决定于土壤湿润程度。我們进行的土柱蒸发試驗表明, 50 厘米深度土壤处在田间持水量时, 开始蒸发的头两天, 水分日消耗量为 9.2 毫米, 湿润层湿度均行降低, Cl⁻ 向表层积聚的动态指出, 水分是整层上移的。蒸发第 5 天、

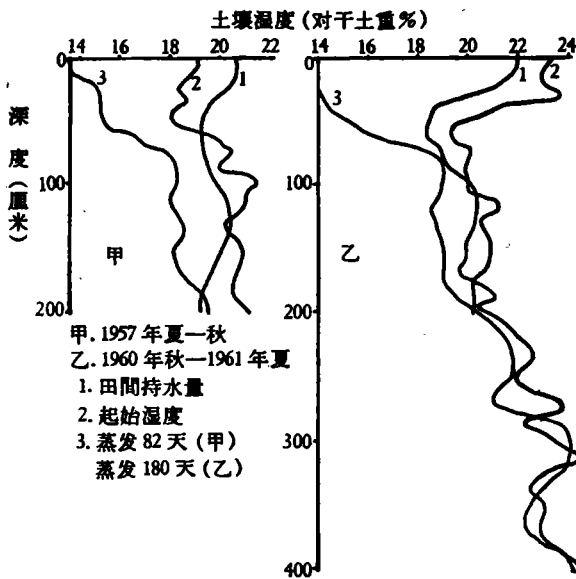


图 1 田间条件下, 土壤物理蒸发影响深度(武功)

第 10 天日消耗量降至 0.36—0.26 毫米。这说明了雨后及时保墒的强烈时间性。

1) 系 50—200 厘米統計值。

表 4 1957 年秋—1958 年春土壤湿度动态

深度 (厘米)	1957					1958	田间稳定湿度
	27/VII	13/VIII	13/IX	4/X	18/X	24/II	
0—10	19.11	10.60	13.60	14.35	8.30	11.00	—
10—20	18.85	16.00	15.54	15.90	14.00	16.00	15.35
20—30	18.20	17.00	15.71	15.70	14.90	15.05	15.34
30—40	18.83	17.66	15.67	15.99	15.60	15.35	15.65
40—50	17.54	17.44	15.77	16.19	15.00	15.45	15.60
50—60	19.22	17.88	17.20	17.56	15.85	16.15	16.69

水分的上移运行不是无止境的。表 4 列出 1957 年秋季干旱无雨天气下湿度变动资料表明了这一点。从 1957 年 9 月至 1958 年 2 月长达五个月, 其中一段时期尚处在蒸发量较大、温度很高的季节内, 但土壤湿度没有显著的变化。0—60 厘米土层湿度稳定在 15% 左右。只是地表强烈干燥了。这五个月降水量占年降水量 14.2%; 同期水面蒸发量超过降水量 3 倍, 可以认为, 在田间蒸发条件下土壤具有稳定地保持一定水量的能力。当土壤湿度降低到一定程度时, 水分液态运行现象即行消失, 除了表层因扩散蒸发继续变干外, 10 或 20 厘米以下土层湿度即不随时间延长而继续降低。整个剖面水分分布出现稳定的均衡状态。这种均衡状态下的湿度值, 我们暂称为“田间稳定湿度”。意思是说, 在田间条件下, 它具有相对稳定的性质。在水分运行最活跃的 0—60 厘米土层内其值约等于 15—16%, 相当于田间持水量的 80%。这一现象与 A. A. Роде 等人提出的“毛管联系破裂湿度”相似^[4,5]。他们把这个性质做为一个重要的水分常数, 看做为水分的液态形式移动能力降低的突变点, 因而对植物的有效性也骤然降低。并以此来划分水分对植物的有效等级^[6,7,8]。本地区渭惠渠灌溉站的小麦适宜湿度试验指出, 当土壤含水量低于占孔隙的 40% 时产量骤然下降¹⁾, 恰与 15% 的数值相当。

当剖面中湿度达到均衡状态时, 按照水分向蒸发表面移动能力的不同可以划分为三层: 0—60 厘米为第一层, 此层易受大气影响, 水分运行活跃, 湿度变化范围大, 在 15—20% 之间 (耕层大于此范围)。60—200 厘米为第二层, 此层不易受大气影响, 水分运行缓慢, 湿度变化范围小, 在 18—20% 之间。因物理蒸发损失的水量只占田间持水量的 5—10%。200 厘米以下土层的湿度几乎终年不变, 始终保持在田间持水量水平, 只有当作物根系的

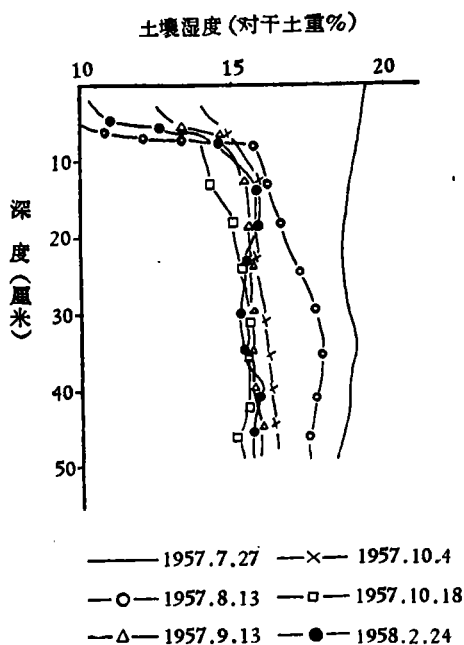


图 2 1957 年秋—1958 年春土壤湿度动态

1) 陕西渭惠渠灌溉试验站资料。

吸收作用参与影响时,这种剖面水分分布始起根本变化。由此可见,土壤内尤其是在深层,全年内总是保持有大量对作物有效的水分。

(三) 壤土水分的季节性动态——年循环的四个阶段

壤土水分季节性动态主要受气候条件的制约。随着降水的周期性和不断发生的蒸发过程,水分状况也呈周期性的变化。当有作物参予时,这种变化则表现出进程快、强度大的特征。从第一年雨季到第二年雨季前构成一个土壤水分不断消耗的过程。除同期降水量全部消耗外,还消耗了一部分土壤储水。如果从年初至年终作为一个周期看待的话,则一年内水分消耗与当年降水量相近。2米深土壤储水量稳定地保持在500毫米左右,没有过大的变动。

壤土水分季节性动态资料列于表5和表6,并绘制成湿度动态图(图3)。依照土壤水分积累和消耗的平衡关系,年循环可以划分为四个阶段。

1. 冬、春上层土壤缓慢蒸发阶段

这一阶段从头年11月至翌年3月中旬。这段时期气温低,蒸发量小,降水总量约占全年降水量10%,且多系小雨,只能湿润表层,随即蒸发,没有补充土壤储水的作用。

本阶段前期0—60厘米土层内湿度高于田间稳定湿度,秋雨多时,可达到田间持水量(如1961年),水分缓慢上移。当秋雨较少,本阶段初期即处于田间稳定湿度(如1957年)。

表5 1957年壤土蓄水量季节性动态(无作物) (单位:毫米)

深度(厘米)	8/II	8/III	22/IV	8/V	27/V	13/VI	4/VII	27/VII	13/VIII	13/IX	4/X	18/X	8/II—18/X
0—50	99.1	103.0	105.8	117.4	121.1	105.9	114.8	126.1	107.6	104.0	105.0	93.0	—
50—100	125.8	123.9	119.5	120.8	123.7	121.1	125.4	144.2	134.0	125.5	125.2	124.8	—
100—150	125.1	—	124.6	114.8	119.7	115.8	114.3	140.9	132.0	127.4	128.9	125.9	—
150—200	117.6	—	115.4	115.3	118.0	113.6	115.2	139.1	130.6	125.9	129.2	126.2	—
0—200	467.6	—	465.3	468.3	482.5	456.4	459.8	550.3	504.2	482.8	488.3	469.9	—
土壤貯水增減量	—	+2.0	-2.3	+3.0	+14.2	-26.1	+13.4	+80.5	-46.1	-21.4	+5.5	-18.4	+2.3
降水量	—	10	47.9	59.6	35.5	29.1	47.4	345.8	0.3	21.5	7.0	0.2	604.8
水分总消耗量	—	-8	-50.2	-56.6	-21.3	-55.2	-34.0	-265.3	-46.4	-42.9	-1.5	-18.6	-602.5
日平均消耗量	—	0.29	1.1	3.5	1.07	3.4	1.7	11.5	2.8	1.4	0.07	1.3	2.35

表6 1961年壤土蓄水量季节性动态(无作物) (单位:毫米)

深度(厘米)	20/I	28/II	28/III	17/IV	15/V	30/VI	21/VII	21/VIII	21/IX	7/XI	5/XII	20/I—5/XII
0—50	109.7	103.3	113.8	104.4	110.5	118.8	111.1	135.6	98.0	133.4	124.9	—
50—100	141.6	131.8	136.6	136.2	137.2	127.1	130.8	155.4	140.9	152.4	149.9	—
100—150	140.8	139.4	136.3	131.2	136.5	126.6	127.6	136.9	134.9	141.0	139.1	—
150—200	142.6	141.2	137.1	141.3	144.7	134.5	136.0	138.5	138.2	139.0	139.6	—
0—200	534.7	515.7	523.8	513.1	528.9	507.0	505.5	566.4	512.0	565.8	553.5	—
土壤貯水增減量	—	-19.0	+8.1	-10.7	+15.8	-21.9	-1.5	+60.9	-54.4	+53.8	-12.3	+18.8
降水量	—	0.9	33.4	14.3	60.2	84.9	67.8	169.6	17.5	146.2	32.1	626.9
水分总消耗量	—	-19.9	-25.3	-25.0	-44.4	-106.8	-69.3	-108.7	-71.9	-92.4	-44.4	608.1
日平均消耗量	—	0.49	0.9	1.25	1.58	2.32	3.3	3.5	2.32	1.97	1.59	1.9

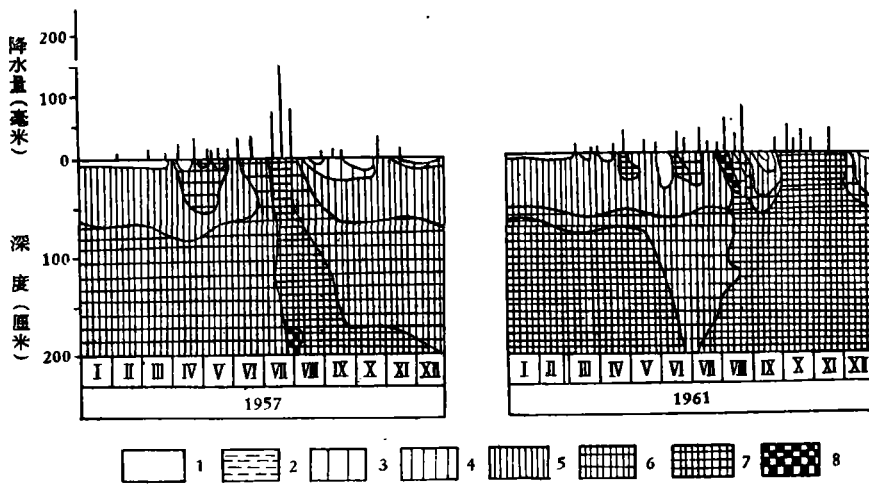


图3 壤土休閑地土壤湿度季节性动态

图例: 1. < 9% (对干土重) 无效水; 2. 9—11% 无效水; 3. 11—13% 极难效水; 4. 13—15% 难效水; 5. 15—17% 易效水; 6. 17—19% 易效-极易效水; 7. 19—21% 极易效水; 8. > 21% 重力水。

这时剖面内湿度进入稳定状态。干燥过程表现为地表干土层逐渐加厚, 不会引起下层湿度降低。60 厘米以下接近或处于田间持水量水平(参看图 3)。本阶段水分总消耗量等于或略多于同期降水量(参看表 5, 6)。

由于本区地下水位深, 上层土壤的湿度在冬季较低, 温差梯度较小, 所以没有明显的由于水分向表层凝聚而发生的冬季剖面水分重新分布的现象(表 7)。

表7 冬季上层土壤湿度动态* (1960—1961年)

深度 (厘米)	1960				1961		
	12/XI	21/XI	17/XII	27/XII	20/I	11/II	28/II
0—10	18.2	16.9	16.3	16.9	16.3	15.4	14.3
10—20	18.7	18.5	16.6	17.0	16.4	16.8	14.9
20—30	18.5	17.7	16.6	16.9	16.4	15.7	15.3
30—40	17.8	17.3	17.1	17.5	16.5	15.7	15.7
40—50	18.2	17.4	17.4	17.8	16.1	15.7	15.9
50—60	18.6	19.9	18.4	17.9	17.2	16.1	15.5

* 12月上旬結冻, 2月上旬解冻。

这个阶段正是小麦越冬期, 春播作物地的冬閒期。地面没有复被或复被度很小。为了减少水分的扩散蒸发消耗, 务要保持地面平整、致密, 防止耕层因整地不良而形成胡基(坷垃)架空现象。

2. 晚春初夏上层土壤干湿交替阶段

本阶段包括 4、5、6 三个月, 月平均温度 14—25°C, 相对湿度逐渐降低, 6 月份达到全年最小值, 因而大大强化了蒸发过程。但此期降水增多, 月平均降水量为 50—60 毫米, 可以渗至 50 厘米或更深些, 部分地补充了上层土壤储水。但春季降水被截留在毛管运行活跃的土层内, 极易上移蒸发而消耗。这样, 上层土壤就处于下渗、上升两个对立过程并存

的频繁干湿交替状态中。6月干热季节内下层湿度出现降低现象,但一般不低于18% (对干土重)。本阶段水分总消耗量略低或略高于同期降水量。

此期正是夏田作物(小麦、豌豆)主要生育时期,需水量大增,春播作物正是播种和苗期阶段,需要播种深度和上层具有较高湿度。上层土壤水分的补充具有良好的增产作用。表层耙耱保墒至为重要。

3. 雨季水分恢复和下淋阶段

主要包括7、8、9三个月。这期间虽属气温最高、蒸发最大时期,但降水多而集中,大大超过土壤蒸发量,使全部测定层(2米)恢复到田间持水量。在短暂时期内并有重力水出现,随即渗入底层。土壤高湿度水平持续时期的长短,视雨季延续时间而定。此期水分下渗和上升过程都较活跃,但因降水量超过同期水分总消耗量,水分下渗和恢复过程占主导地位。

一年内土壤最干时期在雨季前高温时期。此时2米深土层蓄水量裸露地为460—500毫米;小麦地为360—390毫米。以田间最大持水能力为540—560毫米计算,则裸露地水分亏缺量为70毫米左右;小麦地约为180毫米。雨季中平均降水量超过300毫米,所以通过雨季水分得以恢复,并有一部水分下淋至底层,湿润了深层土壤。

这个阶段是关中歇茬小麦夏季休闲伏耕时期。群众说“麦收隔年墒”,就是指这个时期土壤蓄水多少,直接关系到来年小麦产量。因此,防止地表径流,使土壤尽多接受雨水,是此期土地管理的主要任务。此期又是秋田作物(玉米、棉花)主要生育时期,雨后中耕松土,既利保墒,又利渗透。

4. 晚秋初冬水分上移蒸发消耗阶段

主要指雨季末期至冬季来临前,包括10月全月和9月、11月一部分。气温仍然较高,降水减少,土壤仍处于高湿度状态,充满了移动性很强的活跃水分。大量水分能运行至表层,通过蒸发而消耗。水分总消耗量超过同期降水量,引起土壤储水量较迅速地下降,是一年内土壤储水消耗较多的时期。关中群众在雨季末期耕地后非常重视耙耱。他们说“耕后不带耱,不如家中坐”。耙耱后可形成一个粗孔隙的毛管隔离层,也消灭了胡基架空状态,既防止水分上升,又削弱扩散蒸发,达到了保墒的目的。

上面所讲的是土壤水分年循环的一般规律,每年情况又有各自的特殊性。近四、五年来,降水特征变化大。如1957年雨季于7月底结束,第四阶段于8月即开始,至9月中旬已进入水分缓慢蒸发阶段。而1961年晚秋多雨,10月份降水110毫米,同期水面蒸发为30.9毫米,水分恢复过程仍在继续。1959年奇旱,7、8月份降水量只有常年的三分之一,以致种植作物地块的水分恢复阶段没有完成。所以,由于各年降水不同造成的不同情况在农业生产中应给以充分注意。

根据壤土的蓄水性能和动态规律分析,我们认为:深厚的壤土土体具有蓄水库的功能,它可以接纳、储存雨季中大量降水,在缺雨季节持续不断地供作物吸取利用,因而避免或减轻了降水不利年份造成的干旱影响。

三、壤土水分状况与作物生长的关系

(一) 壤土水分对作物的有效性

为了确定壤土剖面中大量儲水对作物的有效性，必須通过对土壤水分性质和作物复盖下土壤水分动态的研究来明确下列两个問題：(1) 不同土壤湿度的水分对作物的有效程度；(2) 作物利用土壤水分的深度和强度。

在作物栽培中，通常认为作物最适宜的湿度为最大持水量(即饱和持水量)的70%，此值正相当于田间持水量；适宜湿度下限认为是田间持水量的70—75%，又恰恰相当于田间稳定湿度。这表明土壤水分有效性与其移动性密切相关。我們参照 A. A. Роде^[7] 和 С. И. Долгов^[8] 提出的水分有效等級分类方法，采用田间持水量、田间稳定湿度、雕萎湿度三个常数将壤土水分有效性分为六个等級(表 8)。雕萎湿度以下划为无效水；雕萎湿度至田间稳定湿度划为难效水；田间稳定湿度至田间持水量划为易效水；大于田间持水量划为重力水。重力水虽易被作物吸收，但在土壤中停留时间短，生物学意义不大。在难效水和易效水范围内，又等分地划分出“极难”和“极易”二級。六个水分有效等級适与本地区群众对墒情的分級相符合，說明其具有一定客观性。

表 8 壤土(紅油土)水分有效等級分类

級 別	土壤湿度 (对于土重%)	湿 度 范 围	水分液态 运行能力	羣 众 分 級*	
				名 称	土壤湿度
1. 无效水	8—11	<雕萎湿度	不 运 行	浅 黄 墒	5—8
2. 极难效水	11—13	雕萎湿度— $\frac{1}{2}$ (雕—田间稳定湿度)	不 运 行	黄 墒	8—12
3. 难效水	13—15	$\frac{1}{2}$ (雕—田间稳定湿度)—田间稳定湿度	不 运 行	潮 黄 墒	12—15
4. 易效水	15—18	田间稳定湿度— $\frac{1}{2}$ (田—田间持水量)	緩慢运行	合 墒	15—18
5. 极易效水	18—21	田间持水量	迅速运行	黑 墒	18—20
6. 重力水	>21	>田间持水量	向下淋失	飽 墒	>20

* 羣众墒情分級資料取自本所 1960 年小麦抗旱考察报告。該資料原系刘鵬生先生調查取得。

单凭水分有效等級还不能解决判断田间作物水分供应条件的問題。实践中常常出現这样的情况，耕层或更深土层(如至 60 或 100 厘米)含水量已降至适宜湿度以下，但作物仍未表现出缺水特征，最后还收到可观的产量。在这里，土壤深层儲水对調节作物供水条件起了重要作用。

武功旱塬地区作物利用土壤水分的深度超过 2 米。表 9 列出三种作物 1957 年生长期始和生长期終土壤湿度的变化，并繪成图 4，可以明显看出这一点。

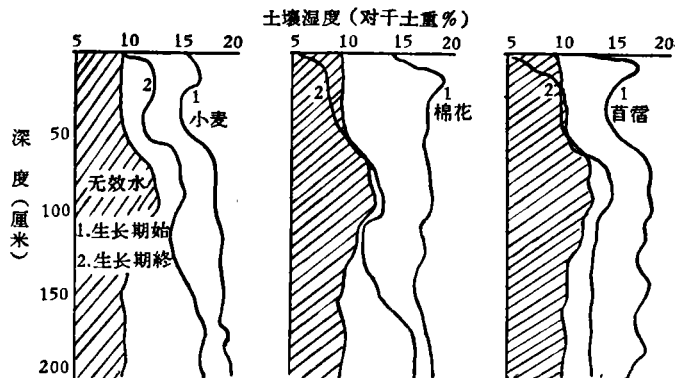


图 4 作物吸水深度

表 9 作物利用土壤水分的深度

深 度 (厘米)	1957年					
	小 麦		棉 花		苜 蓿	
	生长期始	生长期终	生长期始	生长期终	生长期始	生长期终
0—10	15.04	12.60	16.00	6.1	17.20	7.3
10—20	16.70	12.25	18.93	8.2	15.00	9.5
20—30	13.85	12.00	17.72	8.8	13.84	10.0
30—40	15.00	11.13	17.16	8.7	13.92	10.3
40—50	14.66	11.60	17.48	9.4	14.25	10.5
50—60	16.42	13.34	15.76	11.1	16.07	12.5
60—70	18.41	14.84	17.38	12.5	17.88	14.8
70—80	17.20	14.51	16.38	12.9	17.82	14.8
80—90	18.82	14.90	18.06	12.7	17.82	14.5
90—100	18.10	14.28	17.98	13.4	18.07	13.7
100—110	18.41	13.80	16.33	11.7	17.73	13.5
110—120	18.64	14.13	17.27	11.6	16.41	13.1
120—130	17.91	14.31	17.06	11.8	17.42	12.9
130—140	18.42	14.84	16.33	13.0	17.00	12.9
140—150	18.50	15.40	16.72	13.1	17.77	12.8
150—160	18.91	15.92	16.67	14.3	16.75	12.9
160—170	18.65	16.00	17.18	15.3	16.72	12.9
170—180	19.40	16.95	17.12	16.2	17.10	12.6
180—190	18.65	16.54	17.66	16.4	17.89	12.8
190—200	19.66	16.64	17.89	16.5	15.91	12.8

作物利用土壤水分通过两种方式,一是根系直接吸收;一是靠根分布层以下或根束之间的土壤水分向根际的移动。二者共同构成了水分最大有效层。根据1960、1961年资料,小麦的水分有效层深达350厘米,棉花相仿,苜蓿则超过5米(图5)。由此不难想象,为什么旱塬小麦产量非常稳定,而拥有最多耗水量的苜蓿却具有最强的抗旱能力。

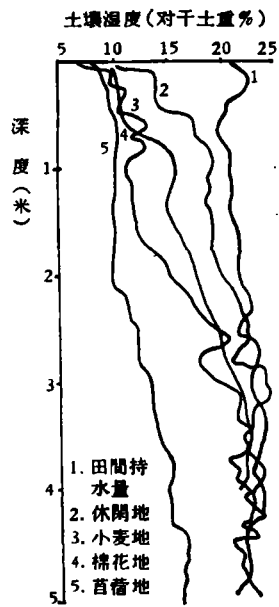


图 5 小麦、棉花、苜蓿对深层土壤水分的利用

可供作物利用的土壤水分有效层竟深达数米,但对不同深度土层水分的利用强度是不相同的。这一点因作物种类、生育期、发育好坏以及生育期内降水量而异。表10表明在1957年条件下三种作物对不同深度土层水分的消耗能力。苜蓿从2米深土层内吸取了226毫米水分,占有效水总量87%;棉花吸取了209毫米,占81%;小麦吸取了147毫米,占57%。1米以下土层苜蓿耗水能力最强,直到第四层(150—200厘米),仍保持在80%,棉花降低为37%。在当年条件下,小麦消耗深层水分最少,100—150厘米利用了有效水总量的一半,150—200厘米利用了三分之一。对苜蓿和棉花来说,上述耗水量由于秋旱可以视为近似的耗水最大能力。但小麦因春雨较多未表现出其最大耗水能力。生育期内湿润年份较干旱年份消耗土壤水分少。

表 10 作物对不同深度土壤水分的消耗能力

深 度 (厘米)	有效水总量 (毫米)	苜 蓿		棉 花		小 麦	
		耗水数量 (毫米)	耗水能力 (占有效水 总量%)	耗水数量 (毫米)	耗水能力 (占有效水 总量%)	耗水数量 (毫米)	耗水能力 (占有效水 总量%)
0—50	75.4	71.4	96	79.6	100	55.1	74
50—100	52.4	44.7	85	51.3	98	37.0	70
100—150	68.0	58.2	87	54.2	81	35.6	53
150—200	63.8	51.9	80	24.0	37	19.7	31
0—200	259.6	226.2	87	209.1	81	147.4	57

同一种作物消耗土壤水分的能力也不是固定的。依产量和相应的农业技术措施而异(表 11)。

表 11 不同产量和农业措施对小麦耗水能力的影响 (1960 年)

深 度 (厘米)	田间持水量 (毫米)	亩产 604 斤*		亩产 380 斤**	
		耗水数量 (毫米)	耗水能力 (占田间持水量%)	耗水数量 (毫米)	耗水能力 (占田间持水量%)
0—50	146.3	85.7	59	74.5	51
50—100	144.1	73.6	51	63.8	44
100—150	139.6	62.5	45	37.3	27
150—200	125.2	38.5	30	26.4	21
0—200	555.2	260.3	47	202.0	36

* 深耕 30 厘米, 基肥 2 万斤。

** 浅耕 15 厘米, 基肥 1 万斤。

表 11 载明, 深耕多肥亩产 604 斤处理区较浅耕少肥亩产 380 斤处理区多消耗 58.3 毫米水分, 耗水能力高出 11%。尤其是二者耗水能力的差别愈往下层愈见显著。提高产量增多的需水量依靠深层储水得到补给。这一点很重要。说明丰产技术措施由于加强了植株发育和根系发育, 可以动用深层储水来改善作物供水条件和增多供水数量, 以应较高产量的需要。同时能提高对天气干旱的抵抗力。

以前对于作物利用深层土壤水分的能力, 也就是深层储水的生物学意义是估计不足的。由于这个原因, 对灌溉试验中如何评价适宜湿度的问题, 以及采用的研究方法(如盆栽、田间测定的供水层厚度等)都和实际情况有很大距离, 以致影响这些问题的彻底解决。

强调深层土壤储水的生物学意义, 并不因此而忽视上层(包括耕层)甚至表层土壤湿润的特殊作用。作物发芽、形成新根, 都需要表层湿润; 根系的良好发育也需要自上而下的连续湿润剖面。以何种深度作为作物供水层, 不能一概而论。通常以 60 或 100 厘米为准, 对于苗期, 嫌其过深; 对于后期, 嫌其偏浅。我们认为, 应根据水分有效等级, 按照作物耗水和土壤储水变化的动态, 在不同生育期内按不同深度进行判断。例如小麦苗期、分蘖期看表层; 返青至拔节期看 60 厘米深度; 拔节至抽穗以至成熟, 观察深度不应少于 150 厘米, 对生育好的植株可以延伸到 200 厘米或更深些。由于这是一个复杂问题, 彻底解决还

需今后进行大量的工作。

(二) 作物对土壤水分状况的影响

前面我們所討論的水分动态的一般規律是沒有作物參予影响的情况。在那种情况下,由于物理蒸发消耗水分最后达到稳定状态时,整个土层依然非常湿润。60 厘米以上土层相当于田间稳定湿度,60 厘米以下則接近或相等于田间持水量。当种植作物后,此稳定剖面即被破坏,由于根系吸收蒸騰作用对水分的消耗,引起深层土壤严重干燥,其激烈程度远非物理蒸发对水分的消耗所能比拟的。作物是影响土壤水分状况的一个强有力的因素。

依作物消耗土壤水分的特点,关中作物可分为三大类:(1)夏田作物——秋种夏收,主要生长阶段在雨季之前,如小麦、豌豆等;(2)秋田作物——春种(或夏种)秋收,主要生长阶段在雨季,如棉花、玉米等;(3)多年生牧草——全年生长,如苜蓿。夏田作物种植面积占耕地面积 70—80%,其中小麦又占耕地面积 50—60%。下面就三种代表性作物分别予以分析。

1. 冬小麦 旱塬小麦亩产 337—604 斤情况下,总耗水量为 314—440 毫米。生长期內 10 年平均降水量为 249 毫米,最低曾达到 165 毫米(1954—1955 年),远不能满足小麦生长需要,需要依靠土壤儲水补给。

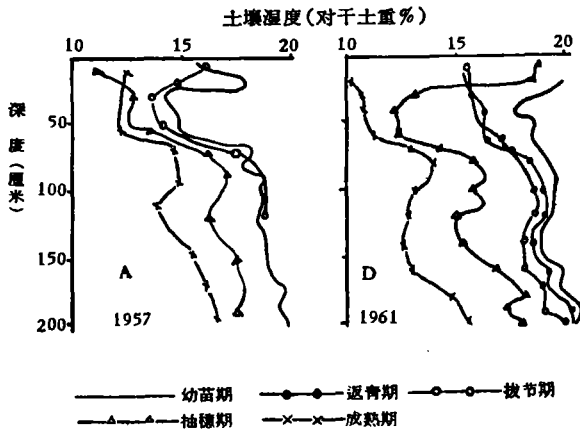


图 6 1957 年及 1961 年小麦各生育期土壤湿度

图 6 繪出小麦各主要生育期土壤水分的消耗进程。曲线向左移动的情况表明小麦从苗期到拔节期(10 月下旬至 3 月下旬)耗水很少,且利用部位主要在 60 厘米以上土层。拔节至抽穗期(4 月下旬)2 米深土层湿度曲线几乎平行地、宽幅度地向左移动,证明这时期小麦大量地从 2 米深土层內几乎等量地吸取水分。抽穗至成熟期(6 月上旬),80 厘米以下土层曲线移动宽度大于上层,表明主要吸收部位转向深层。

收获期土层强烈干燥。

小麦主要生长阶段处在雨季以前 4 月和 5 月。据 1961 年資料,此期耗水量为 222.1 毫米,同期降雨只有 99.4 毫米,不足需要之半数,是为水分供求关系最尖锐的时期。从土壤湿度动态图可以得知(图 7),此期主要水源取自头年雨季积存下来的深层儲水,即所謂“底墒”。

从图 7 可看出,在 3 月下旬拔节始期之前土壤湿度较高而稳定,整层处于易效水一极易效水級。关于本区长期以来有爭論而未能取得解决的小麦早春灌水效果問題,从土壤水分动态和春季需水强度看,一般年份是不需要早春灌溉的。3 月底以后土壤湿度逐层下降,至收获期 80 厘米土层达到或接近无效水級;在 1961 年高产情况下則延伸至 180 厘米。小麦耗水形成的深层干燥,通过雨季(小麦地处于夏闲状态)整层恢复到田间持水量。

土层湿润可以保持到来年, 供翌年小麦拔节—成熟期利用, 以解决降水不足的矛盾。因此, 本区形成了小麦的歇茬栽培制, 即把小麦种在夏季休闲地上。这是利用土壤水分循环特点, 保证常年丰收的有效手段。农谚云“麦收隔年墒”, 正是这一规律的科学概括。

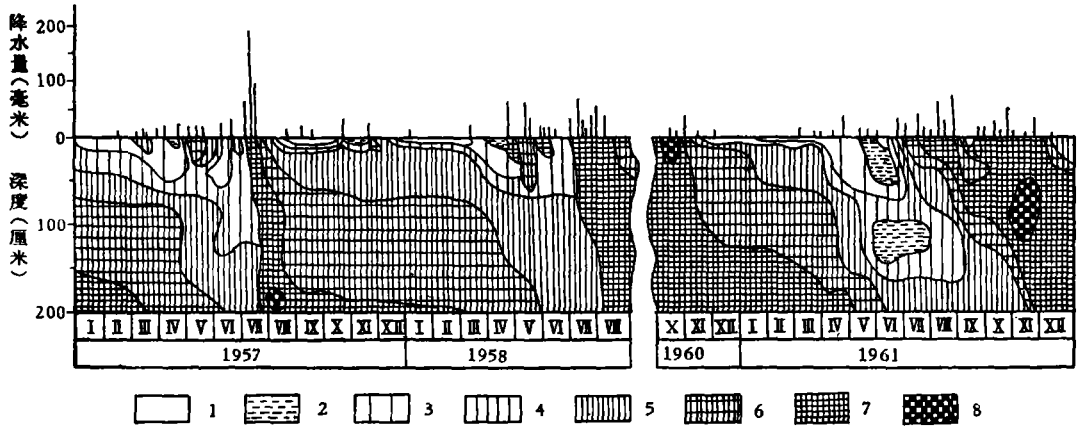


图7 冬麦地土壤湿度季节性动态

图例: 1. < 9%(对干土重)无效水; 2. 9—11%无效水; 3. 11—13%极难效水; 4. 13—15%难效水; 5. 15—17%易效水; 6. 17—19%易效-极易效水; 7. 19—21%极易效水; 8. > 21%重力水。

2. 棉花 棉花主要种在灌区, 解放以后旱塬植棉面积逐渐扩大。我所旱塬轮作试验中6年(1953—1958年)棉花平均产量为247.3斤。1957年亩产310斤, 总耗水量为477毫米。本区棉花4月中旬播种, 10月陆续采收, 生长期长约180天。蕾期以前生长迟缓, 耗水很少。始花—成铃阶段(7月下旬、8、9月)耗水量巨增。

棉花地土壤湿度动态见图8。可以看出棉花消耗土壤水分显然可分两个阶段: 7月盛花期以前, 土壤湿度处于较高而稳定的水平。2米深剖面多属于易效水级, 可以满足苗期生长的需要。花铃期大量耗水阶段已进入雨季, 土壤全层充分湿润。至秋末收获时, 在1957年雨季提前结束条件下, 补充的土壤储水复被大部消耗, 造成严重干燥的湿度剖面: 0—60厘米降至无效水级(8—11%), 60—170厘米为难效水级(11—15%)。在秋雨特多条件下(1961年), 棉花铃期消耗的水分得能重新恢复, 但湿润深度也只达到120厘米

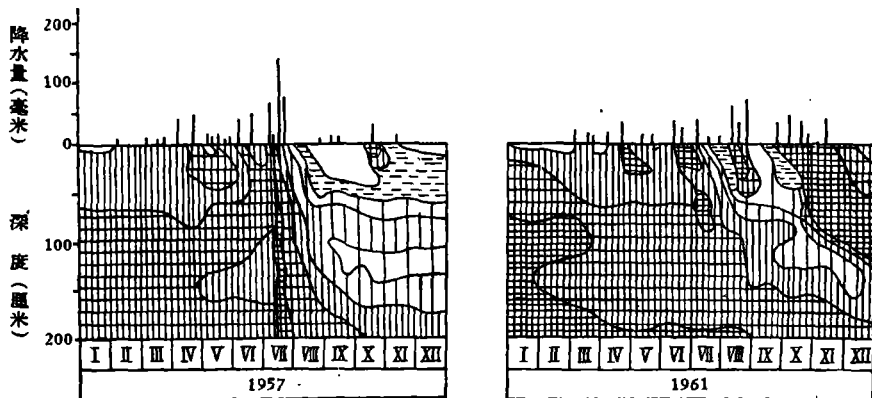


图8 棉花地土壤湿度季节性动态(图例同图7)

米,其下仍保留根系吸水造成的干燥层,形成上湿下干的水分割面分布特点。如此,棉花地(或其他秋田作物)水分循环和夏田作物地全然不同。夏田作物地最干燥时期在雨季之前,秋季湿润;而秋田作物地到秋季又重行干燥。

3. 苜蓿 苜蓿在本区种植面积占耕地面积 5—8%。从春暖至落霜终年生长,每年完成三次分枝—开花的生长周期。收刈三次亩产青草 4,000—6,000 斤。由于它具有很深的根系和全年不断再生长、多次刈割的特点,所以成为利用土壤储水最深、耗水最多、抗旱性却又最强的作物。

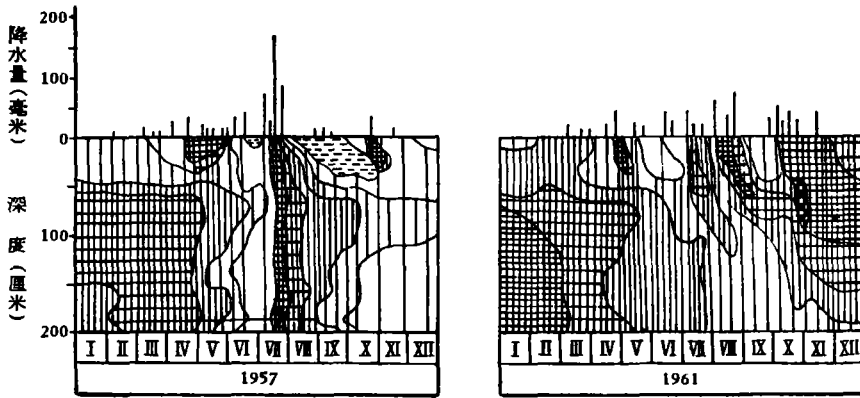


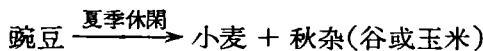
图 9 苜蓿地土壤湿度季节性动态,(图例同图 7)

从苜蓿地土壤湿度动态图(图 9)表明,1957 年自 4 月现蕾期后,2 米深全部土层内即迅速干燥。至收刈第一茬草时(5 月下旬),已降至难效水级。春季降水不能改变这种干燥过程。第一次干燥发生在雨季前,其影响深度和强度甚于小麦。雨季恢复的土壤储水又迅速被第二茬草消耗殆尽,至生长末期出现第二次干燥,2 米深剖面复降到极难效水级。1961 年情况有些不同。这年苜蓿损伤较多,草从不厚。植物蒸腾消耗减少,所以雨季前土壤干燥的进程和强度比之 1957 年较缓、较弱。雨季降水不集中,土壤储水由上向下逐层补充。10 月降水较常年多一倍,所以生长末期,120 厘米深度恢复至田间持水量。但如秋田作物一样,仍呈上湿下干的特征。

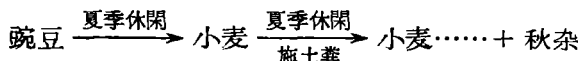
苜蓿对土壤水分动态影响的独有特征是,每年于雨季前后出现两次干燥过程;而且在 2 米深土层内湿度几乎同时地由较高变向较低,不象小麦或棉花那样,土壤干燥有明显的层次性。另外,苜蓿使土壤干燥的深度和强度也超过任何作物。

(三) 壤土水分循环与轮作问题

关中旱塬地区典型的轮作方式是以小麦为主体的粮豆二年三作,形式为:



在土壤较肥、粪源较多的省西地区,则以小麦连作形式来增加小麦在轮作中的比例。成为三年四作或四年五作,形式为:



上述轮作的特点是广泛地采用了夏季休闲措施。主体作物小麦在当地几乎全部种在

夏閑地上。实践証明, 此种輪作保证了小麦在不同气候年份中可以获得較好的产量。当小麦倒种豌豆时, 才增加一季秋杂粮, 看做为“捎带田”。

此种輪作方式与本区的水分循环有密切关系。如前所述, 本区土壤水分一年恢复一次。豌豆槎麦和連作麦田地于雨季期間都处于休閑状态, 土壤儲水得能充分补充。深厚土体能容納大量降水, 且由于田間稳定湿度的存在, 这些水分得能常年保持。成为来年小麦生长的“保产水”。同时, 歇槎小麦各生育阶段需水規律也与壤土水分季节性动态相吻合。当歇槎麦播种、分蘖阶段, 正逢土壤秋季表层湿润时期; 冬春干旱阶段来临前小麦分蘖盘根过程已充分进行, 根系伸至 1 米以下, 奠定了来春利用深层儲水的基础; 拔节期后, 土壤上层因降水增多不断湿润, 补充了小麦对水分的迫切需要, 如果春季缺雨, 則向深层索取水分满足生理需水要求。

如果种植棉花, 則排在秋杂之后豌豆之前, 不打乱小麦的歇槎栽培制, 形式为:

豌豆 $\xrightarrow{\text{夏季休閑}}$ 小麦……+ 秋杂 \rightarrow 棉花(3—4年)

近年来旱塬固有輪作制有些打乱。分析起来不外乎两种情况。其一是原秋杂或棉花之后应种豌豆, 却换成小麦; 其二是在連作小麦中間插进一料秋杂, 变成为以下形式:

小麦 + 秋杂 [\rightarrow 棉花 3—4 年] \rightarrow 小麦

小麦 + 秋杂 \rightarrow 小麦 + 秋杂

第一种形式挤掉了养地作物豌豆, 复种指数并不增加; 第二种形式主要是增加了复种指数。两种形式的共同点是破坏了小麦的歇槎栽培制, 变歇槎麦为回槎麦。在水、肥、劳畜力条件跟不上时, 引起产量大幅度下降。造成所謂两料不如一料的情况^[9,10,11]。

回槎麦产量低除肥料不足等原因外, 水分条件不好是一个重要原因。第一, 底墒不足。如前所述, 秋作物消耗了当年雨季降水, 留下的土壤儲水較夏閑地为少。尤其在秋旱情况下, 将更严重。如 1957 年豌豆槎地和麦槎地剩余有效水量占最大儲量的 72—73%, 而棉槎地只有 37—39%, 刈草用草木樨槎为 48%, 芝麻槎为 53%。三种秋槎地上翌年小麦和豌豆产量均严重降低。另外, 有时虽秋雨較多, 补充了土壤儲水, 但因回槎麦播种迟, 地力薄, 冬春干旱来临前分蘖盘根过程尚未充分进行, 根系发育不完全, 底墒不能很好利用, 一遇春旱即行受灾。

只有在水、肥、劳畜力等条件較好的地区和生产队才宜于种回槎麦。

在旱塬地区当前生产条件下, 則宜坚持小麦的歇槎栽培制。这是本区保证小麦稳产、丰产, 从而保证粮食总产量稳定上升的基本措施。

关中輪作中的其他某些問題, 已在另文叙述^[12], 此处不再重复。

結 論

壤土具有較好的农业水分性質。其水分年循环分为四个阶段, 每年夏秋季有一次水分的总恢复。由于土层深厚絕大部分降水被截留在作物吸水有效层內, 并因田間稳定湿度的存在, 这些水分得能长期保持, 具有調节作物水分供应的重要作用, 成为作物抗旱、稳产、丰产的重要因素。

作物具有利用土壤深层儲水的強大能力。丰产措施可以加强这种能力。因而在現有水源条件下依靠动用深层儲水, 可以获得更高的产量。

当地輪作制度受土壤水分条件的制约。利用夏季休閑为主体作物——小麦儲足底墒,是小麦丰产的主要条件。以小麦歇茬栽培制为主体的本区固有輪作方式仍宜坚持。

参 考 文 献

- [1] 中共武功县委员会: 武功县小麦是怎样获得連年丰产的。陝西农訊, 1955, 10.
- [2] 农业部粮食作物局編: 小麦丰产經驗。羣众出版社, 1956.
- [3] Алпатьев А. М.: Влагооборот культурных растений, 1954 из. ГИМИЗ. Л. р. 80—100.
- [4] Абрамова М. М.: Передвижение воды в почве при испарений. 1953, Тр. поч. ин-т им В. В. Докучаева, том XLI из. АН СССР, р. 80—113.
- [5] Роде А. А.等: Испарение из почвы подвешенной влаги. Почвоведение, 1956, 2.
- [6] Васильев И. С.: К вопросу о влагообеспеченности. Почвоведение, 1956, 10.
- [7] Роде А. А.: Почвенная влага. 1952, из. АН СССР, р. 353—398.
- [8] Долгов С. И.: 土壤水分性状的基本規律及其对植物生命活动的意义。灌溉农业生物学基础, 569 頁, 科学出版社, 1961.
- [9] 王玉成等: 陝西关中旱瘠地区复种問題。西北农业科学, 1957, 5.
- [10] 吳永祥: 武功地区小麦輪作倒茬的經濟效果。中国农报, 1962, 4.
- [11] 陝西省农业厅研究室: 关中农作物合理布局的商榷。陝西农业, 1961, 3.
- [12] 彭祥林等: 关中紅油土地区的輪作制。土壤学报, 1961, 9 卷 1—2 期。

ВОДНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВЫ “ЛОУТУ” И РОСТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ

Ли Юй-шань

(Северо-западный биолого-почвенный институт АН КНР)

(Резюме)

“Лоуту” является старопашотной окультуренной почвой, образующейся на мощной лессовой материнской породе. Она обладает лучшим с. х. водным свойством. Влагооборот в почве в течение года разделяется на 4 стадии. Валовой расход почвенной влаги за год приблизительно равен сумме годовых осадков. Физическое испарение почвы происходит до глубины около 200 см. Но даже после длительного испарения запас влаги в двухметровом слое почвы достигает почти до 500 мм, в том числе запас доступной для растения влаги превышает 200 мм.

Культурные растения обладают способностью использовать влагу, накопленную на значительной глубине. Для пшеницы глубина залегания влаги доступной растениями достигает до 350 см, а у люцерны — глубже 600 см. Агротехнические мероприятия, направленные на улучшение условий развития растений и углубление его корневой системы, дают возможности более полно использовать запасы влаги в почве, повысить засухоустойчивость и получить более высокие и устойчивые урожая в засушливые годы. Поэтому всестороннее изучение и оценка действия запасов влаги, накопленной в глубинных слоях почвы, имеет большое значение в сельском хозяйстве.

Наряду с вышесказанными в статье рассмотрели также и связь влагооборота почвы “Лоуту” с системой севооборота в данном районе.