

# 渭北旱塬农田水分状况与 提高小麦水分利用途径的研究

董大学 郭民航 李玉山

(中国科学院水利部西北水土保持研究所)

## 提 要

通过对裸地土壤水分长期监测后得出：渭北旱塬土壤水分季节性动态分为四个阶段——雨季蓄墒阶段；雨后水分上移蒸发阶段；冬季缓慢蒸发阶段；春季干湿交替阶段。土壤湿度变化明显层次为0~200cm，其中0~80cm为活跃层，80~200cm为相对稳定层。同时通过对农田冬小麦地土壤水分系统测定后得出，底墒是本区冬小麦稳产的基础条件。以冬小麦播前7、8、9、10四个月合计降雨“模拟”底墒，与冬小麦籽实产量的线性关系是： $y = 196.4 + 0.357x$ ，相关系数 $r = 0.7$ ，增施肥料是增产和提高水分利用的关键措施。

关键词：旱塬 水分季节性动态 土壤湿度

渭北旱塬属暖温带半湿润偏旱地区，农业以旱作为主，大田主要粮食作物为冬小麦和春玉米，根据“六五”统计资料，渭北塬区23个县、市小麦播种面积828.5万亩，占全省的35.7%，小麦生产在全省起举足轻重的作用。

近年来，随着人地矛盾的日益加剧，粮食问题日趋突出。如何充分利用渭北塬区土壤水分条件，挖掘小麦生产潜力，我们以长武县为试验基地，开展肥水运行长期定位观测试验与降水产量潜势试验研究工作。现就冬小麦土壤水分状况、自然降水产量潜势及提高利用途径作如下分析。

## 一、自然概况与试验区土壤水分状况

### (一) 渭北旱塬自然概况

渭北旱塬位于北纬 $34.10' \sim 36.20'$ ，东经 $106.110' \sim 106.40'$ ，土壤以塬土、黑垆土为主。质地中壤，耕性良好。多年降雨量540~720mm，7、8、9三个月降雨量占全年总降雨量的50%~60%，年均气温 $7.7^{\circ}\text{C} \sim 13.3^{\circ}\text{C}$ ， $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $2500^{\circ}\text{C} \sim 4123^{\circ}\text{C}$ ，可满足当地一年一作农作物正常生长发育需要。本区土壤肥力较低，据西部6县统计，土壤平均有机质含量0.8~1.147%，有效氮含量40.4ppm，有效磷含量6.85ppm，有效钾含量142.9ppm，氮、磷极缺。

### (二) 试验区土壤水分状况

1. 土壤物理性状及持水能力。试验区位于长武县，海拔1240m，年降雨量584mm，干燥度1.3，中壤质，黑垆土主要物理性状见表1。按照表1数据计算，0~200cm田间持水量为556.8mm，接近本区全年降水总量。其中无效水为199.7mm，有效水为357.1mm。有效水占多年平均降雨量的61.1%。由此可见，本区土壤有较强的持水能力，有效水含量高，对调节和改善农田水分状况有重要意义。

2. 土壤水分季节动态规律与剖面水分特征。土壤水分季节性变化主要受降雨和蒸发制约, 由于降雨量和蒸发量的周期性变化, 土壤水分也呈季节性周期变化。但年内水分总消耗量与当年降水量接近, 见表2。同时, 0~200cm土层整体储水量稳定在500mm左右, 干旱年与丰水年, 雨季前与雨季后变化幅度不大, 约在 $\pm 50$ mm范围内。

1 土壤主要物理性状

层 次	深度 (cm)	田间持水量	凋萎湿度	容重 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	颗粒组成 ( $<0.01$ )
		(干土重%)			
熟化层	0~40	20.8	6.7	1.35	37.1
古耕层	40~60	20.7	8.4	1.42	45.5
垆土层	60~120	22.5	8.4	1.26	45.9
过渡层	120~180	21.7	7.7	1.24	41.8
淀积层	180~220	22.2	7.3	1.31	39.5
母质层	220~300	22.4	7.0	1.36	40.6

注: 据西北水保所张孝中、刘文兆资料

表2 年降雨量和蒸发量比较

年 度	多年平均降雨量 (mm)	试验年降雨量 (mm)	裸地土壤损耗量 (mm)	裸地总蒸发量 (mm)
1985年		514.1	41.0	555.1
1986年		442.4	38.8	481.2
1987年	584.0	532.7	27.6	560.3
1988年		797.5	22.2	819.7
平均		571.7	32.4	604.1

由表3和图1看出, 关于土壤水分季节性动态规律〔1988年资料〕, 依照土壤水分累积与消耗的平衡关系, 可粗略划分为两个阶段: 即雨季蓄墒阶段和蒸发消耗阶段, 其动态规律与关中塬土水分季节动态规律类似, 不同的仅仅是时间范围上的微小差异。

据1982年降雨统计资料表明, 本区7、8、9月为集中降雨阶段, 平均降雨量321.1mm, 占全年降雨总量的55%。同时此期处于全年气温最高期, 蒸发量大, 两者平衡结果, 降雨大于蒸发。故土壤蓄积雨水, 是土壤水库储量增加的重要时期。一般年份雨季蓄墒可补给土壤水分110mm左右, 土壤水分恢复土层为0~200cm, 正是小麦等农作物吸水的主要层次。丰水年份, 可使0~300cm土层得到充分恢复并达田间持水量水平。雨季大量蓄墒形成了渭北旱地特有的水分规律。

蒸发消耗阶段包括7、8、9月以外的所有月份, 根据蒸发强度此阶段又可划分为: 雨季后水分上移蒸发阶段; 冬季缓慢蒸发阶段; 春季上下干湿交替阶段。水分上移蒸发阶段在10月初~

表3 土壤储水量季节动态 (裸地)

深度 (cm)	1月5日	2月5日	3月5日	4月6日	5月5日	6月5日	7月13日	8月5日	9月5日	10月5日	11月5日	12月5日	全年
	(mm)												
0~50	126.4	116.6	124.4	141.8	122.1	105.6	124.3	125.1	134.3	123.8	127.0	115.2	
50~100	116.7	113.8	108.4	133.4	176.3	123.1	133.3	135.7	135.1	130.8	135.3	128.8	
100~200	243.6	250.1	235.3	234.0	131.1	250.4	241.0	277.4	280.3	274.8	273.7	273.8	
0~200	486.7	480.5	468.1	509.2	429.5	479.1	498.6	538.2	550.2	528.9	536.0	517.8	501.9
土壤储水量 增减 (+) (-)		-6.2	-12.4	41.1	-79.7	49.6	19.5	39.6	12.0	-21.3	7.1	-18.2	+31.1
降水量 (mm)		2.4	25.6	57.1	33.4	48.9	146.2	125.6	275.5	29.1	46.0	0.0	789.8
水分总消耗 量 (mm)		8.6	38.0	16.0	113.1	-0.7	126.7	86.0	263.5	50.4	38.9	18.2	753.7

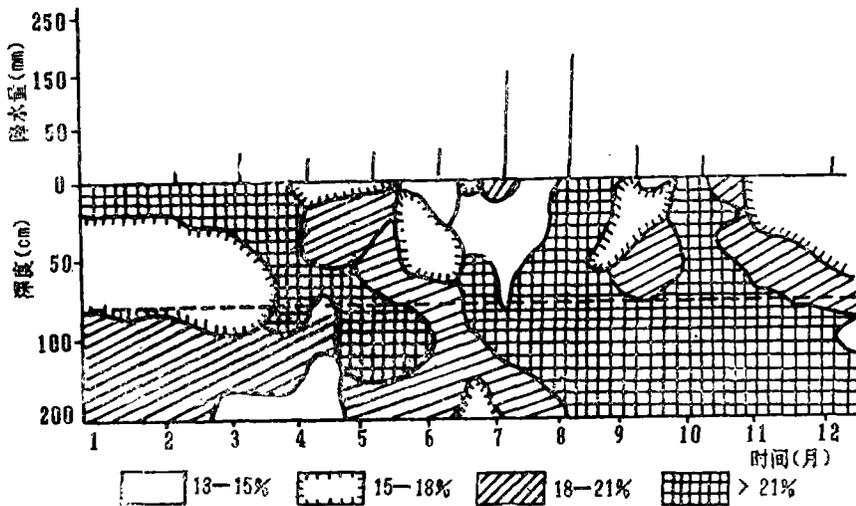


图1 裸地土壤湿度季节动态 (1988年)

12月中旬, 此时气温依然较高, 但降雨明显减少, 土壤水分上移蒸发, 把土壤水库雨季蓄存的部分水分损耗, 是全蒸发阶段损耗最显著时期。12月下旬至3月底, 进入冬季, 土壤冻结, 表层形成冻层, 冻层厚度约为45cm, 最冷时达55cm, 这段时期温度低、土壤水分为缓慢蒸发阶段, 水分损耗极少。从土壤剖面上看, 此期40~80cm土层较干, 而0~40cm则较湿, 与前一段水分上移和本阶段迅速冻结有关。4月初至6月底, 气温回升, 土壤完全解冻, 上层土壤很快蒸发失墒, 其强度介于雨季后水分上移蒸发消耗与冬季缓慢蒸发消耗之间, 剖面影响层为0~80cm, 若遇春雨偏少年, 蒸发层可影响到0~200cm。一般在雨季来临前的6月底达全年湿度最小值, 0~200cm土层蓄水量为450.8mm, 较田间最大持水量556.8mm, 亏缺106.0mm, 亏缺部分

恰好由下一循环的雨季蓄水补充。

从土壤剖面看,本区水分湿度变化活跃层为0~80cm,较关中塬土为深。80~200cm湿度较稳定,变化范围小,不易受大气影响。

总之,渭北旱塬通过土壤水库的蓄水调节作用,可以在缺雨季节不断地供水,在一定程度上避免和减轻了小麦生育期内降雨偏少和分配不均的影响。

## 二、冬小麦对土壤水分的利用和影响

作物是影响土壤水分亏缺的主要因素之一,在作物参与下土壤耗水强度与广度,都较裸露地更大。

本区冬小麦一般于9月下旬播种,翌年6月底收获,整个生育期处于旱季,生长期降雨仅能满足小麦需水量的53.5%~63.7%,且小麦耗水高峰期正处于春夏之交,此期小麦耗水量大于降雨量,所以土壤水库调节作用显得尤为重要。

表4 渭北旱塬冬小麦生育期耗水量及土壤供水

年 度	总耗水量	生育期降雨	土壤供水	土壤供水/总耗水 (%)
	(mm)			
1987年	391.8	275.6	116.2	29.7
1988年	433.9	327.8	106.1	24.5
1989年	586.1	286.0	300.1	51.2
平 均	470.6	296.5	174.1	37.0

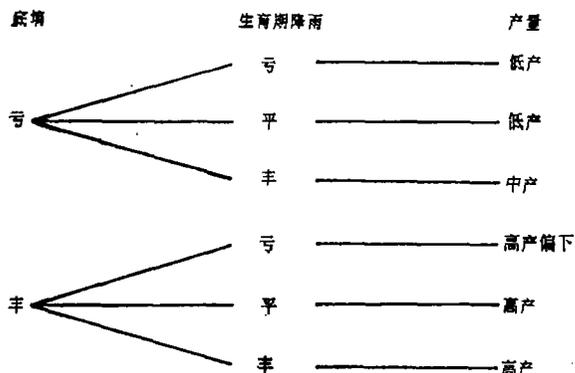
由表4看出,无论是降雨偏少年、平水年还是丰水年,土壤供水都是小麦耗水量的重要组成部分(为24.5%~51.2%,平均供水占总耗水的37.0%)。土壤供水量与生育期降雨和播前底墒有关。生育期降雨多,且降雨分布合理,土壤供水相对较少。反之土壤供水相对较多。而底墒是土壤水库调节的水分基础,底墒愈高土壤水库调节能力愈强,土壤供水愈多,呈正相关。表5为小麦播前底墒、生育期降雨及产量资料。由表5可以看出1988年、1989年的差别,两年生育期降雨都较高。1988年的产量低于1989年,相差116.7kg/亩,显然是由于底墒的差异造成的。以冬小麦播前7、8、9、10月降雨模拟“底墒”,用变量x表示,因变量产量以y表示,分析多年资料,得出产量与“底墒”在施肥水平为每亩纯氮8kg,五氧化二磷4kg,有机肥5000kg的条件下,存在下列线性关系: $y = 196.4 + 0.357x$ ,  $r = 0.7$ ,证明“底墒”对冬小麦产量起重要作用。

通过分析,笔者认为底墒,生育期降雨、产量一般存在下列定性关系:底墒是产量形成的基础,生育期降雨对产量形成起关键作用。两方面共同组成高产小麦的水分条件。

从相反的角度考虑,作物参与下的高强度耗水又为雨季蓄墒提供了条件。分析土壤在播种、收获期的湿度资料得到,每通过一个种植季节,除本季降雨相当充沛外,一般情况下收获期土壤剖面湿度降低很多,接近萎蔫湿度。尤其高产年,产量愈高,收获后土壤剖面愈干,如1988年小麦收获后测得0~200cm剖面湿度平均值仅为11.7%,30~70cm已降到10%以下(见图2)。表6反映出1987年不同施肥处理产量结果与当年小麦收获后湿度恢复程度,随产量增高,恢复深度愈浅,规

表5 冬小麦产量与底墒、生育期降雨关系

项 目	1987年	1988年	1989年
有效底墒 (mm)	238.1	132.0	349.2
亏缺评价	亏	亏	丰
生育期降雨 (mm)	275.6	327.8	286.0
亏缺评价	平	丰	丰
生育季水分整体评价	亏	稍亏	丰
产量 (kg)	280.6	323.4	440.1



律性极强。

总之，冬小麦高强度耗水增强了土壤水库蓄水能力，高库容水库又反过来调节改善土壤供水，形成本区麦田的水分运动规律及供水特点。

### 三、水分产量潜势

近年来的研究表明，在现有的自然降水资源下冬小麦产量仍有很大潜力，目前限制本区作物产量的主要因子是肥而不是水。

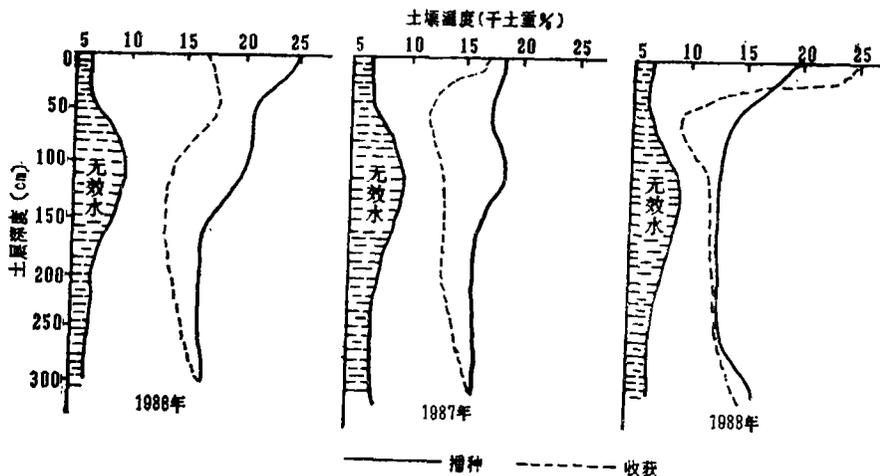


图2 小麦播种、收获期土壤湿度变化图

表7为潜势试验产量结果。对表中3年产量进行统计分析表明，所有试验年肥力间差异均达极显著水平，而水分差异除1985年高肥、中水与高肥、低水两处理差异显著外，其它两年均无差

表6 小麦产量与当年雨季后恢复程度

处 理	$N_8P_4M_5$ 千	$N_8P_8$	$P_4$	$N_8$	$M_5$ 千	0
产 量(kg)	280.6	190.8	103.2	94.5	95.4	105.6
收获后雨季降雨(mm)	288.9					
土壤水分恢复深度 (cm)	0~50	0~70	0~90	0~90	0~10	0~1000

表7 潜势试验产量结果

项 目		1985年	1986年	1988年
施肥水平 (kg/亩)	高 肥	$N_{10}P_{10}M_{5000}$		
	低 肥	$N_4P_2$ 或 $M_{2500}$		
灌水水平 (mm)	高 水	184.5	285.0	225.0
	中 水	100.5	105.0	112.5
	低 水	0.0	0.0	0.0
籽实产量 (kg)	高肥、高水	228.0	403.3	381.7
	高肥、中水	226.0	376.3	363.4
	高肥、低水	204.0	393.3	337.6
	低肥、高水	191.5	324.9	175.9
	低肥、中水	187.0	338.8	156.7
	低肥、低水	169.0	278.3	153.0

异,说明肥力问题突出。

我们以水分产量潜势系数 $k_{dp}$ 和肥力作用系数 $k_f$ 反映自然降水和施肥对产量的影响程度,对其肥力作用进一步分析,水分潜势产量系数指充分供肥、旱作(即高肥、低水处理)水分适宜条件下的产量之比,若高肥各水分处理间产量无显著差异,则水分产量潜势系数 $k_{dp}=1.0$ ,表明农田供水已能满足本区小麦生长发育之要求,若 $k_{dp}$ 值小于1.0,表明农田水分亏缺。由于本试验低肥处理基本代表本区目前大田施肥水平,而高肥处理代表适宜施肥水平,故肥力作用系数定义为旱作条件下当地施肥水平作物产量与高肥产量之比,它是用以衡量当地施肥对实际水分潜势产量的满足程度。求得各年 $k_{dp}$ 、 $k_f$ 值如表8。

由表8可以看出,除偏早年份由于降水偏少可导致水分亏缺,使产量降低10%外,平水年、丰水年本区降雨完全能满足作物需水的要求。可以认为,水分不是限制本区目前产量的首要因子。而肥力却使目前大田产量较水分潜势产量减少17%~55%,平均减少33%,肥的矛盾是突出的。

表8 不同年份降水小麦潜势产量

年 度	1985年	1986年	1988年	平 均
降水潜势产量 (kg)	226.0	393.6	337.6	319.0
$K_{dp}$ 值	0.9	1.00	1.00	0.97
$k_r$ 值	0.83	0.74	0.45	0.67

西北农大采用田间试验，公式概算和高产记录值的社会调查结果也表明，在年降水量 350~650mm 的西北黄土高原区，农田降水生产潜力均较当地大田年均单产高出 1~3 倍，见表 9。说明干旱固然是旱地农业的主要威胁，但肥力不足乃是导致目前水分效率和产量低下的重要原因。

表9 固原等县小麦实际产量与降水潜势产量比较

地 点	年降水量 (mm)	小麦产量 (kg/亩)	降水潜势产量 (kg/亩)	潜势产量 / 实际产量
固 原	440	41	129.5	3.2
定 西	440	—	109.5	
西 峰	556	72	358.0	5.0
榆 林	437	—	127.0	
延 安	551	110.5	311.0	2.8
洛 川	623	84.5	417.0	4.9
澄 城	570	96.5	307.5	3.2
长 武	584	150.0	319.0	2.1

注：据西北农业大学王立祥资料。

#### 四、土壤肥力作用与水分生产效率分析

试验结果表明，增施肥料可明显提高水分生产效率，使降水资源较高的转化为生产力。

表10 不同施肥处理小麦产量与用水效率 (1989年)

施肥水平 (kg/亩)	$N_3P_4M_{5000}$	$N_3P_4$	$N_3$	$P_4$	$M_{5000}$	0
生育期降雨量 (mm)	286.0					
土壤供水量 (mm)	300.1	302.2	245.8	224.5	156.1	177.1
总耗水量 (mm)	586.1	570.3	513.9	492.6	424.2	445.2
产 量 (kg/亩)	440.1	369.1	269.4	249.1	186.8	196.0
水分生产效率(kg/亩)	0.75	0.65	0.52	0.51	0.44	0.44

由表10,1989年不同施肥水平产量水分效率可以看出,施足肥料的处理每1 mm水分生产小麦为0.75kg,不施肥的只有0.44kg。相差很大。

## 五、小 结

渭北旱塬土壤水分季节性动态可划分为四个阶段:1. 雨季蓄墒阶段;2. 雨后水分上移蒸发阶段;3. 冬季缓慢蒸发阶段;4. 春季干湿交替阶段。土壤剖面湿度影响层为0~200cm,其中0~80cm为活跃层,80~200cm为相对稳定层。其规律性与关中塬土水分运动规律类似,所不同的是冬季缓慢蒸发期时间范围较大,一般为11月底至翌年3月底或4月中旬。

在保持现状一年一熟耕作体系下,渭北旱塬通过土壤水库的蓄水调节作用,自然降水已能从整体上满足冬小麦正常生长发育的需水要求。播前底墒是小麦稳产、高产的基础条件,其产量和底墒数学关系式为 $y = 196.4 + 0.357x$ 。目前,肥力不足乃是限制本区产量提高的首要因子。增施肥料、培肥地力,是提高小麦产量的关键。

## 《水土保持通报》征稿简则

1991年即将来临。为了在新的一年里进一步提高期刊质量,促使《水土保持通报》在内容和形式上日趋完美,达到较高水平。为此,本刊编辑部热诚希望广大作者能予我们密切合作,共同办好期刊。现提出如下惠稿要求:

一、本刊刊登水土保持领域内新的科研成果论文;新的实验方法、技术;土壤侵蚀规律和治理对策;小流域综合治理等方面的经验和措施;以及水土保持工作方面的评价、综述和问题讨论等等。

二、稿件必须用方格稿纸书写清楚(印刷或复印稿件往往字迹不清、恕不受理)文章一般在3000~5000字,最多不超过6000字。

三、每篇文章必须有中、英文摘要和中英文关键词,如作者写英文摘要有困难者,请声明。由编辑部代写。

四、文中图(照片)、表要清晰,文表、文图一致,图应用透明绘图纸清绘;表格一律采用三线表格式,表头无斜线;文章中采用的数学公式要标准、符号要规范,数字要准确无误,计量单位一律按国家统一规定处理。

五、文责自负,稿件不要一稿两投。半年内本刊未采用者,作者可自行处理,原稿不退。

以上要求,自1991年第1期实行。谢谢合作。

《水土保持通报》编辑部