

黄土高原旱地土壤水资源管理

李 开 元

(中国科学院
水 利 部 水土保持研究所·陕西杨陵·712100)

摘 要 该文论述了黄土高原土壤水资源的数量、性质和动态规律,提出了土壤水资源管理应从提高作物耗水量,水分利用效率和建立水分良性循环的种植制度3个途径进行。

关键词 土壤水资源 旱地 黄土高原

Management for Soil Water Resource in Dryland of Loess Plateau

Li Kaiyuan

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and
Ministry of Water Resources, 712100, Yangling, Shaanxi)

Abstract The amount, properties and dynamics of soil water resource are discussed. Three approaches of management for soil water resource, which are increasing crop water consumption and water use efficiency and establishing crop rotation system with proper water cycle, are proposed.

Key words soil water resource; dryland; loess plateau

旱地农业主要指半干旱地区在没有灌溉条件下的农田生产^[1]。降水是旱地农业唯一的水分补给源,而土壤水作为降水入渗后所形成的动态水资源,是作物赖以生存的直接水资源。旱地水分补给来源有限,因此土壤水资源管理一直是旱地农业生产管理的核心。

1 黄土高原土壤水资源的数量、性质及动态规律

1.1 土壤水资源的数量

深厚疏松和壤质的土体特性使黄土高原旱地具有巨大的贮水容量。黄土高原由北向南顺序分布有沙壤、轻壤、中壤和重壤4种质地的土壤,相应的田间持水量为15.0%,17.3%,20.0%和21.1%,凋萎湿度为3.0%,3.8%,6.9%和10.0%。黄土高原作物耗水层为2m^[4-5],上述4种土壤2m土层最大贮水容量可达390mm,450mm,520mm和550mm;2m土层无效水贮量分别达80mm,100mm,180mm和260mm。凋萎湿度是作物水分利用的下限,在其之下的土壤水是无效的静态的(土壤表层除外)水资源;因此,2m土层实际可用来贮存雨水的容量就是有效水贮存容量,4种土壤分别为310mm,350mm,340mm和290mm,约相当于各自所在地

① 收稿日期:1995-09-10

区年降水量的80%~50%,接近或相当于雨季的降水总量。由于降水是间歇式的,土壤水资源处于不断消耗和间歇补充的连续变化状态,因此在一般情况下2m土体可蓄纳全部降水。

土壤水资源数量是指土壤中可以周而复始更新的那部分有效水量。对于某一瞬时状态,土壤水资源数量是指一定土体范围内土壤所贮存的有效水量;对于某一时段而言,土壤水资源数量即时段初一定土体范围内土壤有效水贮量和该时段水分收入量之和。一般而言,以年为时段的旱地土壤水资源数量就等于年降水量(在不发生径流和深层渗漏条件下),黄土高原由北向南主要集中在400~600mm。

1.2 土壤水资源的性质

降水入渗土壤后便形成一种特殊的水资源—土壤水资源,其具有以下性质:(1)不能自由流动,不能采集,不能运输,即不能进入“水利”的状态^[3],但可为植物直接利用;(2)不断为作物吸收利用或蒸发而同时又间歇地为降水所补充,处于连续变化的状态,是一种动态的水资源;(3)可缓解大气对作物造成的干旱。对于农作物来说,干旱可分为3种情况^[6],第一种是大气和土壤皆旱;第二种是大气干旱,土壤不旱;第三种是土壤干旱,大气不旱。大气和土壤这两个系统可以互为缓冲,当一个系统发生干旱时,另一个系统可以使之得以缓解。

例如,位于黄土高原南部的陕西省长武县,在1991年6月至1992年5月发生了一次特大干旱,持续时间达350天,降水量比历年同期降水量减少48%,即减少281.3mm;对于1991年的春玉米来说干旱属于第二种情况,由于土壤水资源对大气干旱的缓解,使春玉米的耗水量和产量均接近于常态年型(表1);而对于1992年的冬小麦则属于第一种情况,即土壤和大气皆旱,结果产量较之常态年型减产一半。

1.3 土壤水资源的变化动态

土壤水资源的消长规律受降水和作物需水规律的共同影响。根据作物生育期所在季节的不同可将土壤水的消长规律分为两种类型:

第一种类型为消耗下降型。此种类型的作物是以冬小麦为代表的夏收作物,通常农田经过夏季休闲后,在播种时土壤水资源的数量达到顶峰;由于此类作物生长在旱季,土壤水得不到充分补给,土壤水资源数量呈下降趋势,翌年收割时土壤水资源接近枯竭状态,通常此类作物的耗水量有35%来自播前土壤贮水^[7]。

第二种类型为消耗—补给波动型。这种类型的作物是以春玉米为代表的秋收作物,由于此类作物的生育期和雨季同期,因此,土壤水资源在为作物利用的同时也不断地得到降水的补充,整个生育期土壤水资源呈上下波动的变化状态,通常此类作物的耗水量只有10%来自播前土壤贮水^[7]。

2 旱地土壤水资源管理途径

旱地土壤水资源管理应主要围绕提高作物耗水量和水分利用效率两个途径进行。在田间

表1 不同年型旱地水量供需平衡与产量效应(长武)

作物		特大旱年	常态年型
冬小麦	产量(kg/hm ²)	2461.5	4954.5
	耗水量(mm)	312.2	452.5
	需水量(mm)	639.4	490.3
	缺水率(%)	51.2	7.8
春玉米	产量(kg/hm ²)	7558.5	7716.0
	耗水量(mm)	430.4	447.0
	需水量(mm)	749.8	524.9
	缺水率(%)	42.6	14.8

管理中,应将上述两个途径放到整个种植制度中考虑,以提高整个轮作系统,而不仅仅是单季单作的耗水量和水分利用效率为目标,使水分在整个轮作系统中得以良性循环^[8]。

从提高耗水量的角度,土壤水资源管理仍有较大的潜力。黄土高原一年一作的种植制中,作物耗水量和年降水量之比变化在 70%~80%之间(表 2),说明在不发生径流条件下仍有 20%~30%的降水量在非生长期蒸发损失掉了。因此保蓄非生长期,尤其是麦田夏季休闲期的土壤水分,对于提高作物 ET 起着重要作用。据研究,黄土高原南部传统耕作方法在麦田夏季休闲期所保蓄的土壤水分占同期降水量的 40%左右^[7],采取秸秆覆盖可提高到 65%^[10]。以长武为例计算,7~9 3 个月降水量多年平均值为 321.4mm,夏季休闲采取覆盖措施可比传统耕作提高蓄水量 80.4mm。假设所增加的蓄水量可全部转化为作物耗水量,那么按水分利用效率 $9.0/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$ 计算,每 1hm^2 可增产冬小麦 724kg。

表 2 以年为时段的农田水量平衡

地 区	作 物	年份 (年)	P (mm)	E (mm)		ΔW (mm)	E_1/P	
				E_1	E_2			
北部地区	河曲	马铃薯	1988~1989平均	403.6	287.1	108.6	7.9	0.71
		谷 子	1988~1989平均	403.6	302.7	94.3	6.6	0.75
中部地区	米脂	马铃薯	1988~1989平均	418.6	334.4	81.9	2.3	0.80
		谷 子	1988~1989平均	418.6	296.9	118.3	3.4	0.71
南部地区	长武	冬小麦	1985~1990平均	578.9	452.5	131.8	-5.4	0.78
		春玉米	1985~1990平均	578.9	447.0	136.8	-4.9	0.77

注: P ——降水量; E_1 ——作物耗水量; E_2 ——非生长期土壤蒸发量

水分利用效率系指作物耗水量和产量之间的关系,它反映出作物生产中的能量转化效率。黄土丘陵区旱地的水分利用效率一般为 $4.5\text{kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$ ^[2];黄土高原沟壑区冬小麦一般为 $6.0\text{kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$,春玉米 $13.5\text{kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$ 。而已有研究表明^[16],北方旱地冬小麦的水分利用效率可达 $15.0\text{kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$,玉米可达 $24.0\text{kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$ 。说明黄土高原大田作物生产水分利用效率有成倍增长的可能,其中土壤水资源的田间管理可发挥重要作用。

3 旱地土壤水资源管理措施

3.1 覆盖耕作

覆盖耕作主要包括秸秆覆盖、地膜覆盖和秸秆与地膜的组合覆盖3种措施。

近10年来,对秸秆覆盖的产量效应和增产机理做了大量研究工作,提出了全程覆盖^[10],免耕整秆半覆盖^[11],二次秸秆覆盖^[12]等耕作措施,研究证明这些措施平均增产幅度在30%左右,增产的主要原因是:(1)减少了非生长期土壤水分损失,提高了作物需水量;(2)减少了棵间无效蒸发,提高了作物水分利用效率。

地膜覆盖技术的推广应用始于80年代初期,是一种广泛使用而且技术成熟的耕作措施,对棉花、玉米、花生和瓜菜等有十分显著的增产作用。这一措施可使水分利用效率大幅度提高,如棉花水分利用效率可提高30%~62.2%^[13]。

秸秆地膜组合覆盖是建立在秸秆、地膜覆盖基础上的一种新型的耕作措施^[13],它将地膜覆盖的增温保墒和秸秆覆盖的降温保墒有机地结合起来,改善了土壤环境条件,增加了土壤蓄水保墒能力。棉花和玉米的组合覆盖耕作措施分别比地膜覆盖措施增产18%和15%~35%。

3.2 深耕休闲

深耕休闲无论在缺水年,还是丰水年,都能显著增加土壤贮水^[14]。深耕保水的原因主要是打破了畜耕在距表层16~25cm之间所形成的紧实犁底层。深耕地比传统耕作有明显增产作用,在缺水年增产幅度为12.8%~41.2%,在丰水年为16.0%~31.7%^[14]。

3.3 夏季休闲

夏季休闲盛行于小麦产区,占小麦面积的80%,占耕地面积的40%,是土壤水资源管理的一项重要措施。以渭北旱塬为例,该地区540~600mm的年降水量不可能满足一年两作的耗水;多年的田间试验表明,冬小麦需水量514mm,耗水量446mm,在小麦收获时土壤湿度常常达到凋萎湿度水平,如果再强种一季秋收作物,那么土壤水资源就得不到充分补充,翌年作物的土壤水分条件将被恶化,农田水分良性循环的链条因此而断裂。由此不难看出夏季休闲在旱地土壤水资源管理中的重要作用。

3.4 增加农田养分投入

目前黄土高原旱地养分投入普遍不足,养分亏缺是旱地产量进一步提高的主要限制因子,无论在何种水文年型增加农田养分投入均可显著提高作物产量^[9]。从水分利用角度讲,增加农田养分投入增产的重要原因是大幅度提高了水分利用效率。从表3可以看出,不论在何种水文年型,不论土壤为何种水分条件,高肥处理的水分利用效率均显著高于低肥处理。由此可见,养分投入在旱地土壤水资源管理中占有极其重要的位置。

3.5 建立以水分良性循环为目标的种植制度

旱地农业的种植制度应充分考虑水分来源的有限性。黄土高原作物耗水量一般占年降水量的70%~80%,因此该地区的种植制度应以一年一熟为主,兼有二年三熟。

在田间土壤水管理中,应以整个轮作系统的水分良性循环为目标。合理的轮作系统有较高的产出和较高的水分利用效率。据在陕西澄城多年研究^[15],高肥豌豆小麦轮作系统,即豌豆—小麦—小麦+谷子3年四作,与小麦连作相比,增产1 036~2 490kg/hm²,水分利用效率提高3.60~8.25kg/(mm·hm²)。宁南山区的轮作试验表明^[2],粮豆轮作较小麦连作和草粮轮作有较高的产量,且有较强的调节土壤水分的能力;粮豆轮作收获期2m土层内平均剩余水量292.9mm,作物水分利用效率为5.10kg/(mm·hm²),而小麦连作则分别为260mm和4.65kg/(mm·hm²)。由此可见,建立良好的轮作系统是水分良性循环,高效利用以及高产的重要的田间管理措施。

4 结 语

黄土高原深厚疏松的土层和优良的土壤水分性质,是半干旱气候条件下旱地农业赖以存

表3 水分利用效率 kg/(mm·hm²)(长武)

作物	处理组合		湿润年间	干旱年型
	冬小麦	高水	高肥	8.85
低肥			4.95	3.75
中水		高肥	9.00	10.05
		低肥	5.10	4.50
低水		高肥	9.90	7.95
		低肥	6.15	4.05
春玉米	高水	高肥	14.25	15.45
		低肥	9.60	11.85
	中水	高肥	16.20	17.10
		低肥	10.05	14.40
	低水	高肥	20.10	17.55
		低肥	13.65	15.60

在发展的基础。然而,目前黄土高原旱地水分利用效率普遍偏低,土壤水无效蒸发,尤其是夏季休闲期的蒸发还相当严重,有的地区种植制度以及大农业布局也不尽合理。从提高作物耗水量和水分利用角度分析,黄土高原旱地农业生产具有成倍增长的潜力。因此,土壤水资源的管理在黄土高原旱地农业生产管理中占有极其重要的位置。

参 考 文 献

- 1 山仑. 现代旱地农业发展状况与面临的任务. 见:黄土高原旱地农业的理论与实践. 北京:科学出版社, 1993,1~2
- 2 山仑. 提高农田降水利用效率的原理与途径. 见:黄土高原旱地农业的理论与实践. 1993,215~229
- 3 李玉山. 水资源、节水农业与土壤学. 见:中国土壤科学的现状与展望. 南京:江苏科技出版社,1991,37~40
- 4 李开元,李玉山. 黄土高原农田水量平衡研究. 水土保持学报,1995,9(2):39~44
- 5 李开元,李玉山. 黄土高原南部旱作水分产量潜势计算模型及其参数修正. 应用生态学报(待刊)
- 6 李开元,邵明安. 黄土高原南部特大旱年农田水分状况与作物产量反应. 土壤通报,1994,25(4):145~148
- 7 李开元,韩仕峰等. 黄土高原农田水分循环与调控. 见:现代土壤科学研究. 北京:中国农业出版社,1994,98~101
- 8 李开元,李玉山. 黄土高原旱地土壤水分利用和管理. 陕西农业科学,1991,5:45~47
- 9 李开元,李玉山. 黄土高原南部农田水量供需平衡与作物水肥产量效应. 土壤通报,1995,26(3):105~107
- 10 李立科,赵二龙. 旱地小麦高产问题的研究. 见:中国北方旱地农业综合发展与对策. 北京:中国农业科技出版社,1994,244~248
- 11 王树楼,王筋等. 旱地玉米免耕整秸秆半覆盖耕作技术试验研究. 见:中国北方旱地农业综合发展与对策. 北京:中国农业科技出版社,1994,217~221
- 12 萧复兴,刘国定等. 旱地麦田二次秸秆覆盖增产模式及机理研究. 见:中国北方旱地农业综合发展与对策. 北京:中国农业科技出版社,1994,211~217
- 13 陈奇恩,张宝林. 建立山西省特色的高效稳产高产旱地农业技术体系. 见:中国北方旱地农业综合发展与对策. 北京:中国农业科技出版社,1994,17~20
- 14 高绪科,王小彬. 晋东南旱地麦田蓄水保墒耕作技术研究. 见:中国北方旱地农业综合发展与对策. 北京:中国农业科技出版社,1994,180~185
- 15 韩仕峰,张孝中等. 提高黄土高原农田土壤水分利用的主要途径. 水土保持通报,1990,10(6):39~45
- 16 信乃途. 我国北方地区旱地农业研究与开发新进展. 见:中国北方旱地农业综合发展与对策. 北京:中国农业科技出版社,1994,52~58