

黄土高原南部农田水分条件及其产量效应

李 开 元

(中国科学院水土保持研究所·陕西杨陵·712100)
水利部

摘 要 黄土高原南部土层深厚疏松,质地中壤,土壤水分性质优良,作物具有良好的水分生态环境。对农田水分条件及其产量效应进行了定量评价,结果表明:东部旱塬农田水分亏缺率和减产率为30%左右,西部旱塬为10%左右。同时还对旱作水分产量潜势进行了估算,结果表明:在目前生产力条件下冬小麦旱作水分产量潜势为5 330~6 300kg/hm²,春玉米为7 700~9 000kg/hm²。此外,水肥产量效应的研究指出,目前水分亏缺发生频率为50%左右,养分为100%;养分对提高作物产量具有普遍性,不论何种水文年型,增加农田养分投入均可显著提高作物产量。

关键词 黄土高原南部 农田水分 产量效应

Field Water Condition and Its Effect on Crop Yield in the South of Loess Plateau

Li Kaiyuan

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

Abstract In the south of loess plateau, soil water properties are excellent and crops have a proper water environment. The field water condition and its effect on crop yield are appraised and dryland productivity is estimated. The results show that, the rate of field water deficiency is 30% in the east and 10% in the west; in current condition of productive forces, the potential productivities in dryland are 5 330~6 330kg/hm² and 7 700~9 000kg/hm² for wheat and corn respectively.

Key words loess plateau; field water condition; yield effect

长武王东沟试区位于黄土高原南部,属暖温带半湿润大陆季风气候。年平均气温9.1℃,年平均降水量587.4mm,≥10℃活动积温3 029℃,无霜期171天。土壤属粘黑垆土地带,母质为深厚的中壤质马兰黄土。田间持水量为21.1%。凋萎湿度为8.8%;2m土层有效水贮存容量达332mm,相当于年降水量的57%和作物耗水量的74%,深厚、疏松、壤质的土层和较高的有效水贮存容量为作物提供了良好的生态环境,同时对大气干旱对作物所造成的威胁能起到有效的缓解作用。正是由于土壤的这些优良的水分物理性质,才使得该地区旱作农业得以长期

维系和发展。

土壤水分一直是黄土高原南部旱作农业研究的重点。对于“水分和养分哪一因子是限制旱作产量提高的首要因子”的争议,即所谓“水肥之争”,从80年代初期一直持续至今;水肥耦合效应的研究也日趋活跃。“七五”期间我们曾对作物水—肥—产量关系和旱作水分产量潜势进行了系统研究^[1],指出在目前生产力水平条件下限制作物产量提高的首要因子是养分不足而不是水分亏缺,并根据田间试验得出了长武试区的旱作水分产量潜势。“八五”期间,在“七五”的基础上将研究进一步深化,在机理研究方面由过去的定性进入到定量研究阶段,在研究区域范围上由过去的长武王东沟试区扩展到黄土高原南部。本文就农田水分条件及其产量效应与旱作水分产量潜势的定量评价,水分和养分发生亏缺的频率,不同水文年型的水肥产量效应等作一评述。

1 农田水分条件及其产量效应的定量评价

目前在黄土高原南部,限制作物产量提高的首要因子是养分供应不足,而不是农田水分亏缺,这意味着农田水分尚未得到充分利用,农田水分仍有一定增产潜力。那么,农田水分究竟还有多大增产潜力?这就需要对其水分条件及其产量效应进行定量评价。

以往对农田水分条件的评价多属定性评价,而且多数没有和作物水分需求结合起来,所以有很大的局限性。譬如,单从降水量或干燥度都不能完全反映农田水分条件,因为它们没有和作物水分需求发生联系。

本文采用文献[2]中提出的农田水分满足率或农田水分亏缺率与产量减低率指标,对黄土高原南部8个有典型代表性县的农田水分条件及其产量效应进行了定量评价。结果表明:(表1)西部旱塬农田水分条件较好,冬小麦和春玉米的农田水分满足率分别为84%~100%和80%~93%,农田水分亏缺率分别为0%~16%和7%~20%,由于水分亏缺所引起的产量减低率分别为0%~11%和6%~18%;而东部旱塬农田水分条件相对较差,冬小麦和春玉米的农田水分满足率分别为68%和66%,农田水分亏缺率分别高达32%和34%,由于水分亏缺所造成的产量减低率分别达22%和31%。由此可见,东部旱塬有较大的灌溉增产潜力,水资源的分配利用和发展灌区应首先考虑这一地区。

表1 黄土高原南部农田水分条件及其产量效应

地 区		冬 小 麦					春 玉 米				
		<i>ETm</i> (mm)	<i>ETa</i> (mm)	R_1 (%)	R_2 (%)	R_3 (%)	<i>ETm</i> (mm)	<i>ETa</i> (mm)	R_1 (%)	R_2 (%)	R_3 (%)
西部旱塬	千阳	532.6	530.8	100	0	0	538.0	484.8	90	10	9
	凤翔	529.4	506.4	96	4	3	553.7	475.6	86	14	13
	旬邑	568.7	476.1	84	16	11	568.7	456.2	80	20	18
	长武	509.7	474.2	93	7	5	540.3	467.3	86	14	12
	洛川	559.5	508.9	91	9	6	543.8	505.9	93	7	6
	富县	517.7	466.5	90	10	7	537.4	484.8	90	10	9
东部旱塬	澄城	674.8	443.0	68	32	22	670.9	442.8	64	34	31
	合阳	666.9	452.7	68	32	22	679.7	447.4	64	34	31

注: *ETm*——需水量; *ETa*——耗水量; R_1 ——农田水分满足率; R_2 ——农田水分亏缺率; R_3 ——产量减低率

2 农田水分和养分发生亏缺的频率^[3]

以上对农田水分条件及其产量效应进行了定量评价,评价结果是针对常态水文年型而言,具体到某一个水文年份,农田有可能表现为水分亏缺,也有可能表现为养分亏缺,或两者俱缺,虽然难以确切预知哪一因素发生亏缺,但可以预知每一因素发生亏缺的频率,这一频率值可以作为衡量农田水分和养分亏缺发生概率的区域特征值。

衡量水肥亏缺须以产量差异的统计检验为标准。试验年限为 1985 年至 1992 年,由表 2 可知试验年份的作物生育期降水量和年降水量的平均值与多年的平均值非常接近;因此,1985 年至 1992 年的试验结果可视为该地区的区域特征值。表 3 是水肥双因子试验产量差异的 F 值检验,从表中可以看出,冬小麦在 7 年的试验中,水因素有 3 年达到了显著或极显著水平,说明 7 年中有 3 个年份存在水分亏缺,水分亏缺发生的频率为 43%,也

就是说 43% 的年份存在水分亏缺;肥因素 7 年全部达到了极显著水平,说明肥料发生亏缺的频率为 100%,也即 100% 的年份存在肥料亏缺。春玉米 7 年的试验中,水因素有 4 年达到了极显著水平,肥因素 7 年全部达到了极显著水平;说明水因素发生亏缺的频率为 57%,肥因素为 100%,亦即 57% 的年份存在水分亏缺,100% 的年份存在肥料亏缺。

表 3 水肥双因子试验产量差异 F 值检验

类别	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
冬水	4.81 *	2.41	2075.80 **	0.36	—	0.42	0.21	151.57 **
小肥	22.71 *	48.27 **	589.20 **	54.63 **	—	145.49 **	160.39 **	225.32 **
麦水×肥	0.37	4.06	2.00	0.53	—	0.17	1.17	16.06 **
春水	2.74	2.02	26.91 **	3.02	21.11 **	8.23 **	26.76 **	—
玉肥	36.39 **	169.00 **	138.10 **	319.50 **	56.38 **	46.31 **	30.64 **	—
米水×肥	0.69	0.78	2.20	0.42	13.62	1.51	1.20	—

注: * 表示产量差异达 5% 显著水平, ** 表示达 1% 极显著水平

综上所述,黄土高原南部 50% 左右的年份存在水分亏缺,100% 的年份存在肥料亏缺。由此说明,肥因素对提高作物产量具有普遍性,即不论何种水文年型,增加农田养分投入均可引起作物产量的显著提高;而水因素只有在干旱年型增加灌水才可引起产量的显著提高。

3 不同水文年型作物水肥产量效应^[4]

关于作物水肥产量效应的基本关系在“七五”期间曾作过深入研究,这里我们只讨论在干湿不同的水文年型里作物水肥产量效应。

3.1 不同水文年型、不同肥力条件下的水分—产量效应

由表 4 看出,在湿润年份,冬小麦水分处理间产量差异在各种肥力条件下均未达到统计检验显著水平,春玉米在高肥和低肥条件下未达显著水平,而在中肥条件下,灌水处理达显著水平。1990 年降水偏多,1991 年的冬小麦土壤底墒高于常年 11.1%(生育期降水量接近常年)。所以,1990 年和 1991 年分别属春玉米和冬小麦的偏湿润年份。可见冬小麦在偏湿年份不存在水分亏缺而春玉米仍有亏缺,这也是春玉米的水分亏缺频率高于冬小麦的原因所在。但是在偏湿润年份,只有在适当的肥力条件下,春玉米的灌水效益才能发挥,肥力过高或过低灌水效益均不能发挥,其原因是肥力过低,自然水分本身可以完全满足作物生长要求,肥力过高再灌水,易使水肥过量,造成作物旺长。

表 4 不同肥力条件下水分处理间产量多重比较的互比差数 15kg/hm²

互比对		高水 中上水	高水 中水	高水 中下水	高水 低水	中上水 中水	中上水 中下水	中上水 低水	中水 中下水	中水 低水	中下水 低水	5%LSD	1%LSD	
湿润 年型	冬小麦	高肥	-16.1		-17.4					-1.3		27.3	41.3	
		中肥	-12.2	-10.3	5.0	2.0	1.9	17.2	14.2	15.3	12.3	-3.0	43.6	62.3
		低肥		16.5		-8.5					-25.3		51.6	78.2
	春玉米	高肥		17.2		49.0					31.9		95.3	144.4
		中肥	8.2	0.8	40.4	91.5*	7.4	31.9	83.3	39.2	90.7*	51.5*	84.9	120.8
		低肥		45.8		40.1					5.8		111.6	169.1
干旱 年型	冬小麦	高肥		45.3		237.3**				192.0**		54.7	82.8	
		中肥	-0.4	18.9	62.0**	181.7**	19.3	62.4**	182.1**	43.1*	162.8**	119.7**	36.6	52.1
		低肥		42.4**		216.3**					173.9**		19.8	30.0
	春玉米	高肥		85.5		270.0**					184.5**		116.1	175.9
		中肥	42.0	136.9*	157.5*	293.2**	94.9	115.5*	251.2**	20.6	156.3*	135.7*	112.2	159.5
		低肥		4.0		215.2*					211.2*		147.8	224.0

注: * 表示产量差异达 5% 显著水平; ** 表示达 1% 极显著水平。

干旱年份,两种作物水分处理间产量差异在各种肥力条件下均达显著或极显著水平,说明在干旱环境下,水分—产量效应无论在何种肥力水平上均为正效应。

3.2 不同水文年型、不同水分条件下的养分—产量效应

表 5 不同水分条件下肥力处理间产量多重比较的互比差数 15kg/hm²

互比对		高肥 中上肥	高肥 中肥	高肥 中下肥	高肥 低肥	中上肥 中肥	中上肥 中下肥	中上肥 低肥	中肥 中下肥	中肥 低肥	中下肥 低肥	5%LSD	1%LSD	
湿润 年型	冬小麦	高水	-73.6		137.7**					64.1*		58.3	88.2	
		中水	-23.0	-79.4**	129.0**	170.3**	56.4**	106.0**	147.3**	49.6*	90.9**	41.3*	38.6	54.8
		低水		93.0**		160.0**					67.0**		31.1	47.1
	春玉米	高水		13.1		197.0**					205.0**		104.6	158.4
		中水	-9.0	-29.4	-11.5	220.6**	-20.4	-2.5	229.6**	35.9	250.0**	232.1**	131.8	187.5
		低水		29.4		183.0*					153.6*		136.7	207.0
干旱 年型	冬小麦	高水		66.9**		251.4**				184.5**		29.8	45.2	
		中水	-25.5	40.5*	139.7**	220.2**	66.0**	165.2**	245.7**	99.2**	179.7**	80.5**	29.8	42.4
		低水		11.3		86.2**					74.9*		50.3	76.3
	春玉米	高水		-12.6		221.7**					234.3**		120.7	182.8
		中水	34.4	38.6	29.8	140.2*	4.4	-4.6	105.8	-9.0	101.4	110.4	128.9	183.3
		低水		10.6		166.9**					156.3**		83.0	125.8

注: * 表示产量差异达 5% 显著水平; ** 表示达 1% 极显著水平。

由表 5 分析可知,肥料处理间产量差异在不同水文年型下均达极显著水平,但是在同一年型,不同水分条件下的肥料—产量效应表现如何呢? 由表 5 可知,无论在干旱年型还是湿润年型,在每种水分条件下,至少有一对肥料处理的产量差异达到显著或极显著水平。由此说明,增加农田养分投入,不仅在任何水文型条件下,而且在同一水文年型任何水分条件下均能显著提

高作物产量,这更进一步说明了肥因素对提高作物产量具有普遍性,一定程度上肥料具有水分所不可替代的作用。

4 旱作水分产量潜势估算

“七五”期间我们根据多年田间试验结果得出了长武的旱作水分产量潜势,但是用长武的试验结果来代替黄土高原南部区域具有很大的局限性。因此在“八五”期间我们着重于建立旱作水分产量潜势计算模型^[3]。本文运用文献[5]所提出的模型。对黄土高原南部不同地区的 8 个典型代表县的光温产量潜势和旱作水分产量潜势进行了估算。由表 6 可知,光温产量潜势(Y_m)分为两个台阶:第 1 个台阶为西部地区,冬小麦为 5 600~6 600kg/hm²,春玉米为 8 800~10 200kg/hm²。第 2 个台阶为东部地区,冬小麦在 7 500kg/hm² 以上,春玉米在 11 700kg/hm² 以上。黄土高原南部光温产量潜势这一明显的两个台阶充分反映了黄土高原南部光热资源的分布特征。

表 6 光温产量潜势(Y_m)和旱作水分产量潜势(Y_d)估算 kg/hm²

作物	西部地区						东部地区		
	南部		中部		北部		澄城	合阳	
	千阳	凤翔	旬邑	长武	洛川	富县			
冬小麦	Y_d	6357.0	6337.5	5293.5	5340.0	5902.5	6144.0	6144.0	5977.5
	Y_m	6357.0	6534.0	5947.5	5620.5	6279.0	6606.0	7876.5	7663.5
春玉米	Y_d	8791.5	8857.5	7636.5	7750.5	8866.5	9036.0	8280.0	8071.5
	Y_m	9661.5	10180.5	9312.0	8806.5	9432.0	9930.0	12000	11698.5

但是,由表 6 可知,旱作水分产量潜势在东、西部并不存在大的区域分异性,东西部地区处于同一个产量台阶,冬小麦为 5 330~6 300kg/hm²,春玉米为 7 700~9 000kg/hm²。旱作水分产量潜势是光温产量潜势经过水分订正后的产量,它不仅与光热资源特征有关而且和水分条件有关。东部地区光温产量潜势比西部地区高一个台阶,但二者的旱作水分产量潜势处于同一台阶,这说明东部地区光热资源丰富,但水分条件相对较差;而西部地区光热资源虽不及东部地区,但水分条件相对较好。

参 考 文 献

- 1 李玉山,郭明航等.渭北旱塬旱作水分产量潜势与水—肥—产量关系.长武王东沟高效农业生态经济系统综合研究.北京:科技文献出版社,1991,115~125
- 2 李开元,李玉山.渭北旱塬农田水分条件及其产量效应的定量评价.土壤通报,待刊
- 3 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(3):105~107
- 4 李开元,邵明安等.不同水文年型作物水肥产量效应.见:土壤物理与农业持续发展,北京:农业出版社,1995
- 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