

糜子生育期土壤水分变化规律的研究

赵艺学 杨淑婷 李洪建 冯彩萍

(山西大学黄土高原地理研究所)

提 要

本文同五因素五水平糜子高产农艺措施试验同步进行,探讨了糜子生长期单因素、交互因素、生物量和土壤水分间的关系,分析计算了各试验小区的水分利用率。目的在于摸清半干旱区作物土壤水分规律,增加产量,发展生产。

关键词: 土壤水分 生物量 水分利用率

砖窑沟流域位于晋西北黄土高原丘陵沟壑区,土地总面积为28.71km²,其中耕地面积约18 500亩。在耕地面积中糜子作物播种面积7 000余亩,占耕地面积约40%。糜子是当地主要粮食作物,因此,开展对糜子生长期水分规律的研究,具有十分重要的意义。

一、流域自然概况及试验条件方法

砖窑沟流域属于暖温带半干旱气候区,年平均气温8.8℃。年平均降水440~460mm,降水集中在7、8两月。年辐射总量144.4千卡/cm²,年日照时数2 855.7h,≥10℃的积温3 000~3 400℃,无霜期140天,年平均蒸发量1 800~2 000mm。

糜子生长期土壤水分规律的试验研究,是结合糜子五因素五水平高产农艺措施的数学模型研究共同进行的。试验地块为旱坪地(地下水位很低),土壤为细砂壤,地力均匀。糜子品种为河曲大红糜。试验采取播前收后按小区分别测定土壤含水量。测深2 m,各样点除表层10cm处取样外,深度测距为20cm,共取11个层次,烘干测定土壤的含水量。

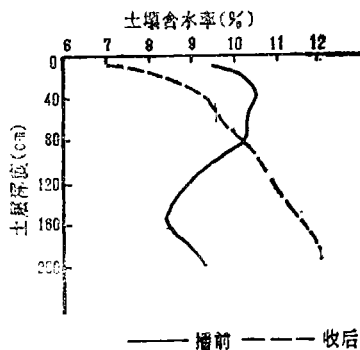


图1 播前收后土壤水分垂直变化曲线

二、结果与分析

(一) 土壤水分垂直变化规律

按播前收后所取的土壤含水量,分别取对应层次的平均值,并作土壤水分垂直变化曲线(图1)。图中呈现以下现象:

1. 播前土壤水分含量在垂直方向呈现两高两低。两个高值点位于地表以下40cm和200cm处,两个低值点位于地表及地表以下160cm处。说明了经过漫长的冬季,土壤水分总量没有增加供给,只是在毛细管作用下不同土层水分储量发生变化,而引起表层土壤水分亏缺,进入6月大气降水渐增,上层土壤水分得到补

层水分储量发生变化,而引起表层土壤水分亏缺,进入6月大气降水渐增,上层土壤水分得到补

偿，土壤含水量增加，而深层土壤仍未得到补偿。

2. 收后土壤水分含量随深度呈增加趋势。11月中旬，糜子进入成熟期，作物蒸腾作用减弱，土壤水分渐渐地由输出转入贮存，在以重力作用为主的“重力——蒸发”作用下，土壤含水量呈现较规律的“梯度”波状曲线。

3. 以地面以下80cm为轴心，上下土壤含水量在糜子生长期作往复的逆向运动，说明80cm以上土壤水分的变化以根系吸收供作物蒸腾为主，通过对糜子根系分布的研究（90%以上的根系分布在地下40~60cm深度），也证实了这点。

(二) 单因素对土壤水分的影响

在糜子高产农艺措施数学模型试验中，我们选取17~26小区，分组讨论各因素对土壤水分影响的差异性。播前各区各个相应层次的土壤含水量，从理论上讲是较为平衡的。但是由于试验地是数十年前由坡状地铲平而成，土壤物理性状差异较大，因此各小区各层次土壤含水量也不一致。我们使用平均差，求出各小区的修正系数，然后修正收后各小区的土壤含水量（表1和后面的分析中皆同）。表中显示，糜子生长期影响土壤水分的因素顺序为： x_3 （氮肥） $>x_2$ （密度） $>x_4$ （磷肥） $>x_5$ （有机肥） $>x_1$ （播期）。以 x_3 、 x_2 、 x_4 因素水平变化土壤水分差异显著。 x_5 变差小的原因是由于增施有机肥肥力（有机质）效果不佳而致。

(三) 交互因素对土壤水分的影响

试验2~7、9~11、13小区是代表其他任意3个因素为“1”水平和“-1”水平交互因素影响区，（因素水平线性编码表及试验矩阵见附表1、2）。通过对各个交互因素区的修正值（表2）进行对比分析，得出以下两点结论：

表1 各因素土壤含水量比较

区号	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
修正系数(%)	+1.12	+0.31	-1.03	-1.28	+0.22	-0.69	+0.59	+0.92	-0.94	+0.90
修正值(%)	11.12	10.78	9.25	10.07	8.86	10.05	8.93	9.75	10.00	9.92
水分组差(%)	0.34		0.82		0.19		0.78		0.38	

表2 交互因素中土壤含水量比较

区号	2	3	4	5	6	7	9	10	11	13	对照1
土壤含水量(%)	10.02	13.33	10.20	10.91	10.50	9.03	9.59	10.69	11.09	13.37	9.73

1. 交互因素对土壤水分的影响从两个方面讨论，即土壤水分高值方向（含水量大的方面）和低值方向（含水量低的方面）。高值方向，影响土壤水分较大的交互项排列的顺序为： x_1x_2 （播期，密度） $>x_3x_5$ （氮肥，有机肥） $>x_2x_5$ （密度，有机肥）；低值方向的排列为： x_2x_3 （密度，氮肥） $>x_1x_5$ （播期，有机肥）；

2. 用1号区（水平均为“1”）作对照分析，交互因素中除 x_2x_3 （密度，氮肥）、 x_1x_5 （播期，有机肥）土壤含水量比对照区低外，其他交互因素下的土壤含水量均高。说明，低密低

附表1 因素水平线性编码表

因素	【零水平	变化间距	水平线性编码 (r = 2)				
			-2	-1	0	1	2
播期 (X ₁)	6.19 (月、日)	6	6.7	6.13	6.19	6.25	7.1
密度 (X ₂)	30 000 (株/亩)	5 000	20 000	25 000	30 000	35 000	40 000
氮肥 (X ₃)	6 (kg/亩)	3	0	3	6	9	12
磷肥 (X ₄)	6 (kg/亩)	3	0	3	6	9	12
有机肥 (X ₅)	2 500 (kg/亩)	1 250	0	1 250	2 500	3 750	5 000

附表2 试验矩阵

区号	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	区号	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
1	1	1	1	1	1	19	0	2	0	0	0
2	1	1	1	-1	-1	20	0	-2	0	0	0
3	1	1	-1	1	-1	21	0	0	2	0	0
4	1	1	-1	-1	1	22	0	0	-2	0	0
5	1	-1	1	1	-1	23	0	0	0	2	0
6	1	-1	1	-1	1	24	0	0	0	-2	0
7	1	-1	-1	1	1	25	0	0	0	0	2
8	1	-1	-1	-1	-1	26	0	0	0	0	-2
9	-1	1	1	-	-1	27	0	0	0	0	0
10	-1	1	1	-1	1	28	0	0	0	0	0
11	-1	1	1	1	1	29	0	0	0	0	0
12	-1	1	1	-1	-1	30	0	0	0	0	0
13	-1	-1	-1	1	1	31	0	0	0	0	0
14	-1	-1	-1	-1	-1	32	0	0	0	0	0
15	-1	-1	-1	1	-1	33	0	0	0	0	0
16	-1	-1	-1	-1	1	34	0	0	0	0	0
17	2	0	0	0	0	35	0	0	0	0	0
18	-2	0	0	0	0	36	0	0	0	0	0

氮,早播低有机肥处理,作物对土壤水分利用率高。除上述两交互因素外,早播、低密、氮、磷及有机肥施量减少,两2因素任意结合,其收后土壤含水量都高,土壤水分利用率均低。

(四) 土壤水分与生物量间的关系

影响作物生物量的因素很多,但为了说明土壤水分与生物量间的关系,我们假设其他因素对作物生物量影响不大。根据各区土壤含水量和相应区作物的生物量,绘制出二者间的散点图(图2)。图中显示土壤水分同作物量没有明显的线型关系,但有三种情况:

1. 生物量聚集的区段所对应的土壤含水量为中等含水量区段。70%以上小区的生物量集中在土壤含水量在9%~11%之间,作物生物量为500~700kg。

2. 土壤含水量小于9%所对应的生物量为680~770 kg占15%左右。

3. 土壤含水量大于11%所对应的生物量为500~610kg占15%左右。

上述说明,生物量与收获后的土壤含水量呈逆相关。即生物量高,土壤含水量低;生物量低,土壤含水量高。

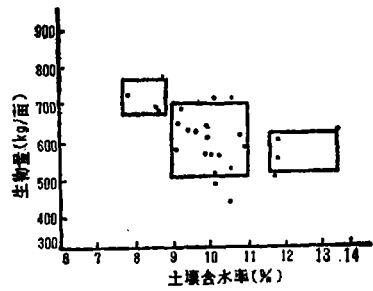


图2 土壤水分与作物生物量散点图

(五) 作物水分利用率及计算

由于试验因素和试验所采取的水平不同,因此作物对土壤水分的利用率也有差异。

1. 作物生长期水量平衡式的建立

根据作物生长期的水分活动规律,我们建立了糜子生长期水量平衡式,即

$$E = P + (w_1 - w_2) + C - R - I \tag{1}$$

式(1)中 E——作物生长期的耗水量; P——作物生长期的降水量,受试验播期限制,p取五个值;

w_1 与 w_2 ——分别为播前、收后土壤贮水量; C——作物生长期通过毛细管作用的水量;

R——作物生长期的地表径流量; I——作物生长期土壤水补给地下的水量。

以上单位均为mm。通过观测和经验认为,作物生长期田间未出现径流,故R为零;毛细管作用进入土壤的水量同土壤补给地下的水量基本趋于平衡,故I、C取零值。(1)式可简化为:

$$E = p + (w_1 - w_2) \tag{2}$$

2. 水分利用效率。作物的水分利用效率就是消耗单位土壤水量所生产的干物质(本文以产量计)。即:

$$q = Ey - 1 \tag{3}$$

式(3)中 q——作物水分利用效率(kg/mm); y——作物产量(kg/亩)。

根据式(2)、(3),求得各小区的作物水分利用效率(表3)。

计算结果表明,水分利用率同产量关系十分密切,如生长期降雨量相同的11小区和12小区产量不同(11小区223kg,12小区140kg),水分利用效率也相差较大(11小区水分利用效率0.62kg/mm,12小区0.45kg/mm),说明降雨量相同的条件下,产量高水分利用效率也高。

各因素中对水分利用效率也大小不一,我们取各因素的极值区(17~26小区,其他4因素为“0”),求得试验水平内极限下的水分利用差,结果表明:

$$\begin{aligned} |\Delta qx_1| &= 0.37 & |\Delta qx_2| &= 0.02 \\ |\Delta qx_3| &= 0.05 & |\Delta qx_4| &= 0.02 & |\Delta qx_5| &= 0.11 \end{aligned}$$

x_1 (播期)对糜子水分利用率影响大,其次是 x_5 (有机肥),所以提高糜子土壤水分利用率的关键在于早播和增施有机肥。

交互因素对水分利用率的影响,仍以2~7、9~11、13小区交互因素水平为“-1”,其他因素水平为“1”来说明,通过对交互因素小区水分利用率分析,可分为高、中、低三个水分利用层次:

高层次为 x_3x_5 (氮肥、有机肥)、 x_1x_2 (播期、密度)、 x_1x_3 (播期、氮肥)；
 中层次为 x_3x_4 (氮肥、磷肥)、 x_2x_5 (密度、有机肥)、 x_1x_5 (播期、有机肥)、 x_1x_4 (播期、磷肥)；
 低层次为 x_4x_5 (磷肥、有机肥)、 x_2x_4 (密度、磷肥)、 x_2x_3 (密度、氮肥)。

三、结 论

通过对糜子生长期土壤含水量对各因素，交互因素及生物量，水分利用效率诸方面的研究分析，结论如下：

1. 糜子生长对土壤水分影响较大的层次是0~80cm土层部分。

表3 各区水分利用效率

区号	生 长 期 雨 P(mm)	播前收后 土壤水量 差 w_1-w_2 (mm)	耗水量 E(mm)	产 量 y(kg)	水分利用 率q(kg /mm)	区号	生 长 期 雨 P(mm)	播前收后 土壤水量 差 w_1-w_2 (mm)	耗水量 E(mm)	产 量 y(kg)	水分利用 效率q (kg/mm)
1	339.8	-19.8	320.0	181	0.57	15	359.9	-20.1	339.8	204	0.60
2	339.8	-37.7	302.1	122	0.40	16	359.9	-43.3	316.6	180	0.57
3	339.8	-83.3	256.5	171	0.67	17	331.4	-32.1	299.3	101	0.34
4	339.8	-42.9	296.9	164	0.55	18	363.3	-41.6	321.7	228	0.71
5	339.8	-43.1	296.7	173	0.58	19	354.9	-12.6	342.3	205	0.60
6	339.8	-45.1	294.7	123	0.42	20	354.9	10.1	365.0	212	0.58
7	339.8	-17.6	322.2	152	0.47	21	354.9	-2.7	352.2	183	0.52
8	339.8	-42.2	297.6	109	0.37	22	354.9	-12.1	342.8	161	0.47
9	359.9	-57.7	302.2	153	0.51	23	354.9	23.4	378.3	203	0.54
10	359.9	-35.5	324.4	166	0.51	24	354.9	-3.9	351.0	182	0.52
11	359.9	0	359.9	223	0.62	25	354.9	-7.7	347.2	214	0.62
12	359.9	-45.7	314.2	140	0.45	26	354.9	-10.7	344.2	177	0.51
13	359.9	-47.9	312.0	210	0.67	27-36	354.9	23.7	378.6	202.3	0.54
14	359.9	-60.8	299.1	173	0.63	平均	351.4	-26.3	325.1	174.5	0.54

2. 单因素中 x_3 (氮肥)、 x_2 (密度)对土壤水分影响最大。

3. 交互因素 x_1x_2 (播期、密度)、 x_3x_5 (氮肥、有机肥)、 x_2x_3 (密度、氮肥)和 x_1x_5 (播期、有机肥)对土壤水分影响显著。

4. 糜子作物的生物量同土壤含水量的关系，为收获后土壤含水量小，生物量增多，反之减少。土壤含水量在9%~11%之间，作物生物量为500~700kg的概率为0.7。

5. 交互因素中对水分利用可分为三个层次，以 x_3x_5 (氮肥、有机肥)、 x_1x_2 (播期、密度)和 x_1x_3 (播期、氮肥)交互处理的水分利用率高。

晋西北黄土丘陵沟壑区，地形复杂，气候干旱，特别是水分资源贫乏，因此，摸清作物水分规律，是发展旱作农业生产的基础工作。