

春玉米不同水分处理的田间表现 及水分—产量关系

——模拟土柱试验

钟良平 董大学 李玉山 邵明安

中国科学院
(西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)
水利部

提 要

该文以不同水分处理玉米模拟土柱试验结果为根据,既定定性又定量地阐述了叶面积、株高、体积及密度与土壤湿度的关系及各自的时间动态,相对生物产量、相对经济产量与无量纲土壤湿度的关系;经济产量、水分生产效率与耗水量的关系。

关键词: 模拟土柱 春玉米 统计分析 水分—产量关系

Study on Relationship between Water Content and Yield of Spring Corn and its Growth in Simulated Experiment of Soil Column

Zhong Liangping Dong Daxue Shao Mingan Li Yushan

(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, Academia Sinica and
Ministry of Water Resources, Yangling Shaanxi, 712100)

Abstract

According to soil column simulation experiment growing with spring corn under different water content, the relationship between soil water concentration and corn leaf area, height, root density was studied separately qualitatively and quantitatively. And also, that between nondimensional soil humidity and both relative biomass and yield as well as between water efficiency and its consumption was discussed in the paper.

Key words simulation experiment spring corn soil water content biomass and yield.

一、试验设计

模拟土柱为直径0.2m、高1.0m的盛土塑料桶,桶壁四周有小孔,按八个方向均匀排列,每10cm一层,为测定剖面土壤湿度取土用,装土容重 $1.35\text{g}/\text{cm}^3$,蒸发由称重测得,水分由自表面起35cm、55cm、75cm三处加水管人工控制,预设20.9%、18.7%、16.5%、14.3%、12.1%五个水平,

分别为田间持水量的 95%、85%、75%、65%、55%，播种至收获全生育期，设四个重复，顺序排列，遮雨棚下进行，各处理均在同一肥力水平，为玉米生长不限制因子，即适肥水平。

供试土壤为中壤质马兰黄土，田间持水量为 22%，凋萎湿度为 9%，水文性质优良。供试作物为春玉米，品种为单玉 13。试验于 1991 年在陕西长武进行。

二、试验结果

(一)玉米不同水分处理的田间表现

1. 叶面积。叶片是植物进行光合作用的重要器官，光合产物的多少直接取决于叶面积的大小和光合作用时间的长短，而叶面积的大小和叶片功能期长短受土壤湿度状况影响。将各水分处理的叶面积按测定时间点绘成图 1，不难看出，只要土壤湿度不低于田间持水量的 75%，便不会对叶面积累积构成明显影响。反之，水分状况限制叶面积增长，图中曲线为各处理平均状况，处理 I、II、III 各测值几乎分布在曲线上方，处理 IV、V 各测值则多分布在曲线下方，由此可初步确定玉米适宜水分下限为 16.0%左右。

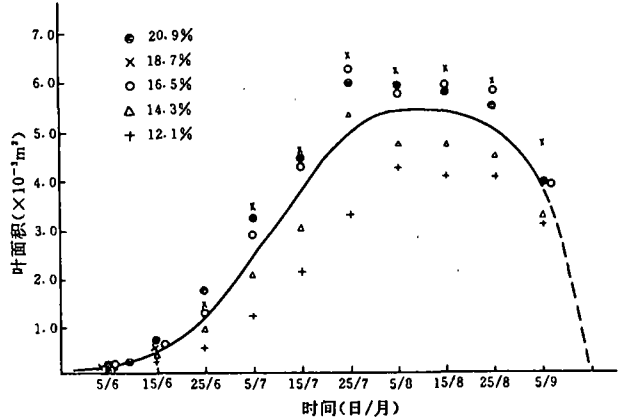


图 1 玉米不同水分处理的叶面积及其动态

从叶面积动态来看，低水处理叶面积达最大的时间较高水处理滞后 5~10 天，而叶片衰减过程表现为同步，也就是说，低水处理最大叶面积持续时间较高水处理短，这一时期正值玉米灌浆，叶片功能期短，说明干物质累积过程短，反映在最终产量上便是不同程度的减产。

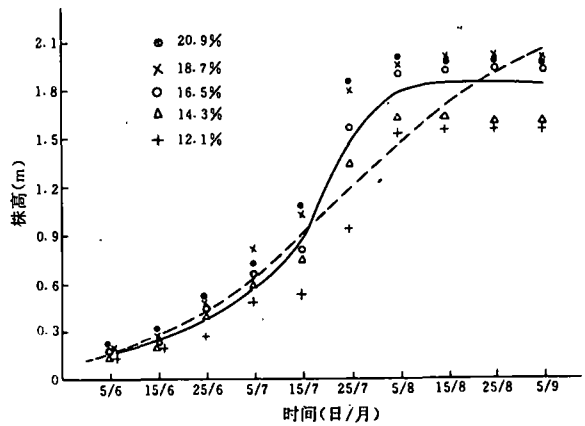


图 2 各水分处理株高及其动态

2. 株高。株高受植物自身生理特性和生长环境条件的双重制约，从图 2 来看，各水分处理株高动态趋势一致，不同于叶面积动态有滞后现象，这是玉米生理特性决定的。但是，株高明显受制于土壤湿度，表现为：拔节以前，株高随土壤湿度增大而增加(图 3)，近似直线变化，将各处理株高(多次测定的平均值)与相应土壤湿度拟合方程为

$$H = 3.0000W - 0.0234$$

式中：H 为株高；W 为土壤湿度。相关系数达 0.9893。拔节以后，株高大致可分为两个等级，一是高水处理的高值区；二是低水处理的低值区，以占田间持水量 75% 的土壤湿度为界，没有严格呈现出随土壤湿度增大而增加的趋势，从各时段各水分处理株高的增长速度可看出，后期株高差异主要是前期累积所致，前期株高受土壤湿度影响，后期株高则由自身生理特性决定。

株高随时间的变化近似 S 曲线，前期增长缓慢，中期增长较快，直到后期停止增长。将各处理株高平均值与时间拟合可得生长曲线方程：

$$H = \frac{2.3047}{1 + e^{5.0372 - 0.0488D}}$$

式中:H为株高; D为时间累计值。从播种之日(4月15日)起计,单位为日。

检验: $r = 0.9690 > r_{0.001}^8 = 0.8721$

$$F = 123.00 \gg F_{0.01}^{(1,8)} = 11.30$$

即方程很合适,误差范围为 $P\{ : \pm 0.365 \} = 95\%$ 。

3. 根系。根是植物吸收土壤水分的重要器官,一方面,土壤水分状况制约根系发育;另一方面,根系又影响对土壤水分的吸收利用。体积根密度是描述根系分布的重要参数,吸水速率又是描述根系吸水的重要参数,已有研究表明:吸水速率与体积根密度关系密切。试验测定结果表明:根径与土壤湿度状况关系不大,接近一常数(表 1)。因此,根系吸水函数也可用重量根密度代替体积根密度来表示。在本次试验的水分处理下,体积根密度随土壤湿度增大而增大(图 4),呈线性变化,拟合直线方程为:

$$Lv = 49.091W - 1.368$$

相关系数为 0.9570, 0.05 水平显著,方程较合适。

从根系的分布来看,各处理无明显差异,0~25cm 土层占 45%~53%, 25~55cm 土层占 32%~35%, 55~95cm 土层占 14%~20%,没有反映出根系随土壤湿度降低而下扎,这与试验的分层灌水有关。

(二)玉米水分——产量关系

1. 玉米生物产量,经济产量与土壤水分的关系。各处理产量见表 2。

表 2 中相对产量是视 20.9%水分处理产量为最大产量,将各水分处理产量与之相比而得。无量纲土壤湿度 $r(w)$ 既反映实际土壤湿度与田间持水量的接近程度,又反映实际土壤湿度的有效程度,用它与相对产量的关系来反映水分—产量关系意义更为明确。

图 5 所示,相对生物产量(RBY)、相对经济产量(RY)与 $r(w)$ 呈近似直线的开口向下的抛物线型关系,回归方程为: $RBY = 0.8079r(w) + 0.2623$ $r = 0.9975$ $RY = 0.8611r(w) + 0.2400$ $r = 0.9952$

$$RBY = 0.2186 + 0.9653r(w) - 0.1262r^2(w) \quad r = 0.9979$$

$$RY = 0.1318 + 1.3123r(w) - 0.3907r^2(w)$$

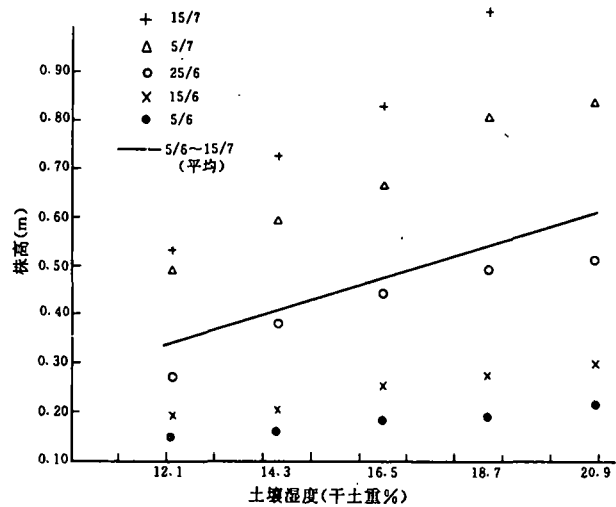


图 3 株高与土壤湿度的关系(拔节前)

表 1 玉米不同水分处理的根系状况

土壤湿度(W)	20.9%	18.7%	16.5%	14.3%	12.1%
根总长(10 ³ m)	2.7438	2.2126	2.1168	1.4765	1.4983
体积根密度(Lv)(cm/cm ³)	9.19	7.41	7.09	4.95	5.02
根径(mm)	0.16	0.16	0.17	0.18	0.15
0~5cm 所占比例	53.1%	44.8%	48.9%	47.4%	52.8%
25~55cm 所占比例	33.2%	34.9%	34.9%	35.3%	31.5%
55~95cm 所占比例	13.7%	20.3%	16.2%	17.3%	15.7%

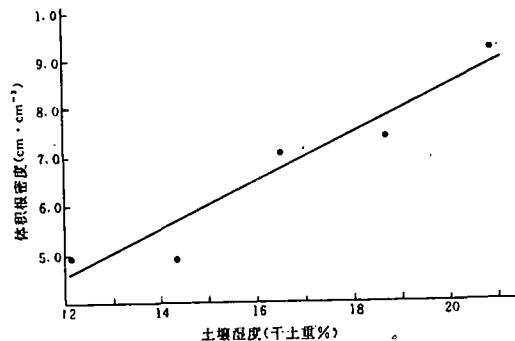


图 4 体积根密度与土壤湿度的关系

$r = 0.9993 r_{0.001}^3 = 0.9912r$, 故各方程均很合适, 相关极显著。

表2 玉米不同水分处理的产量情况

土壤湿度(%)			生物产量(g/柱)		经济产量(g/柱)	
W	占 F_c	$r(w)^*$	绝对值	相对值	绝对值	相对值
20.9%	95%	0.9153	390.1	1	196.5	1
18.7%	85%	0.7461	333.5	0.855	178.0	0.906
16.5%	75%	0.5769	294.1	0.754	148.7	0.757
14.3%	65%	0.4077	225.4	0.578	116.4	0.593
12.1%	55%	0.2385	173.6	0.455	84.0	0.428

注 * $r(w) = (W - W_d) / (F_c - W_d)$, 为无量纲土壤湿度, 田间持水量 F_c 为 22%, 凋萎湿度 W_d 为 9%。

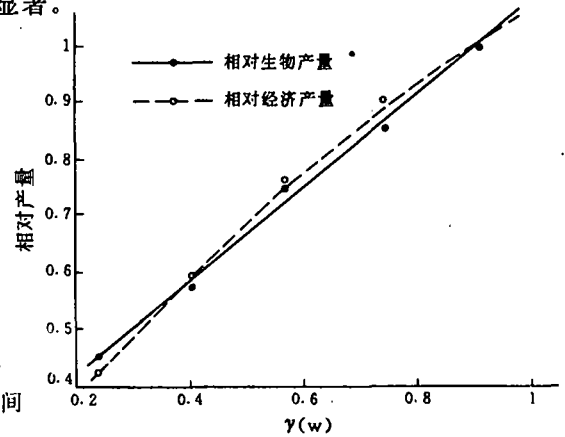


图5 玉米产量与土壤湿度的关系

2. 玉米产量与耗水量的关系。各处理产量、耗水量见表3, 点绘成图6表明, 产量随耗水量增加而增加, 拟合回归方程如下:

$$y_a = 2.1486ETa + 6.622$$

$$y_a = 11.7722 + 1.9635ETa + 0.0015ET^2$$

相关系数分别为 0.9981、0.9982, F 检验 0.01 水平极显著, 方程均很合适, 即用直线方程和抛物线方程拟合产量与耗水量的关系效果一样, 我们引用李玉山的研究结果认为, 本试验的耗水量上限小于需水量。

3. 玉米水分效率与耗水量的关系

水分效率即单位耗水所生产的干物质重, 与产量随耗水量增加而增加, 相反, 它随耗水量增加而降低(图7), 呈双曲线型关系, 可拟合为下列方程:

$$\frac{1}{WUE} = 0.4611 - \frac{1.4376}{ETa}$$

式中: WUE 为水分效率, 单位用 g/L 表示。相关系数为 -0.9804 0.01 水平下显著, 方程合适。

表3 玉米不同水分处理的产量及耗水量

水分处理	20.9%	18.7%	16.5%	14.3%	12.1%
产量(g/柱)	196.5	178.0	148.7	116.4	84.0
耗水量(L/柱)	88.66	78.11	68.04	50.63	35.93

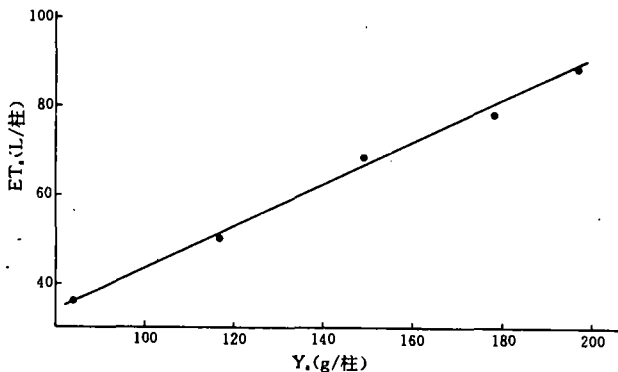


图6 玉米产量与耗水量的关系

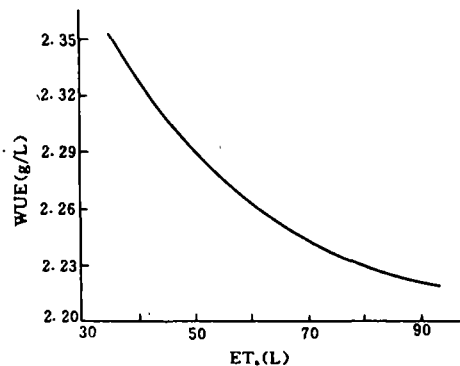


图7 玉米水分效率与耗水量的关系

三、结 语

(一)只要土壤湿度不低于田间持水量的75%，便不会对叶面积累积构成明显影响，适宜水分下限为16.5%左右，低于这个值越多，对叶面积累积影响越大，不仅叶面积减小，叶面积到达最大的时间也将滞后，最大叶面积持续时间则缩短，光合产物减少。

(二)拔节以前，株高与水分处理水平近似直线关系；拔节以后，株高以占田间持水量75%的土壤湿度为界形成两个等级。从各时段增长速度可以看出，其差异主要是前期累积所致，也就是说，株高受土壤湿度影响前期较后期大，株高随时间变化可以拟合为生长曲线方程。

(三)根径受土壤湿度影响不大，几乎近似一常数；体积根密度随土壤湿度线性变化，可用直线方程表示；各水分处理根系随深度分布无明显差异，没有表现出根系随土壤湿度降低而下扎的现象，这与分层灌水有关。

(四)水分—产量关系用无量纲土壤湿度与相对产量的关系来描述意义更为明确。相对生物产量、相对经济产量随无量纲土壤湿度和耗水量增加而增加，拟合为直线方程和抛物线方程效果一致。水分效率则随耗水量增加而降低，其关系可用双曲线方程表示。