

土壤底墒与苗期灌溉量对玉米出苗和苗期生长发育的影响

侯玉虹¹, 尹光华^{1,2}, 刘作新², 刘恩才¹

(1. 沈阳农业大学, 辽宁 沈阳 110161; 2. 中国科学院沈阳应用生态研究所辽宁省节水农业重点实验室, 辽宁 沈阳 110016)

摘 要: 采用二次回归正交设计方法, 进行了土壤底墒和苗期灌溉量对玉米出苗和苗期生长发育影响的盆栽试验研究, 分别建立了苗期株高、总干重与土壤底墒、灌溉量关系回归模型。研究表明, 土壤底墒显著影响玉米出苗率, 玉米出苗率最高时的壤土和沙土底墒分别为 20.6% 和 13.6%; 土壤底墒和苗期灌溉量的交互作用对株高和单株干物质重量具有相互协同效应和替代效应; 玉米苗期株高和总干重最大时的壤土底墒均为 15.1%, 最佳灌溉量分别为 86.7 mm 和 91.7 mm; 玉米苗期株高和总干重最大时的沙土底墒分别为 12% 和 13%, 最佳灌溉量均为 76 mm。

关键词: 土壤底墒; 苗期灌溉量; 玉米出苗率; 生长发育

中图分类号: S513.071 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)04-0051-07

水分不足是辽西半干旱地区粮食产量稳定的主要限制因素。该区地下水和地表水资源俱缺, 大部分农田缺少灌溉条件。由于春旱严重, 作物春播出苗率低, 失去了高产的基础^[1,2]。目前关于水分与作物产量关系的研究较多, 作物形态和生理生化方面开展了大量研究工作^[3~9], 但对不同质地土壤水分含量对作物出苗和苗期生长的定量关系研究较少。本研究旨在探索玉米苗期水分条件与株高和总干重之间的关系, 为解决春旱出苗和作物苗期生长问题提供科学依据。这对合理利用农业水资源, 促进粮食稳定增产具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

阜新蒙古族自治县属于辽宁西部半干旱区。全县年平均气温 7.2℃, 作物生育期平均气温 20.2℃, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温日数为 169 d, 有效积温 3298.3℃, 无霜期 144 d, 年辐射量 579.8 kJ/cm², 生理辐射量 284.3 kJ/cm², 年日照时数 2 865.5 h, 生育期年日照时数 1 295.8 h, 日照百分率为 65%。年均降水量 423 mm, 年内分配不均, 其中夏季占 68.5%。春季干旱频繁且严重, 年均蒸发量为 1 847.6 mm, 干燥度 (K) 1.25。

1.2 试验设计

试验设土壤底墒 (x_1) 和灌溉量 (x_2) 两个因子,

每个因子各设 5 个水平 (其中灌溉分次进行), 采用二次回归正交设计方法^[8]。供试土壤质地为壤土和沙土, 每种土壤设 11 个处理, 3 次重复。壤土底墒下限和上限分别为田间持水量的 35% 和 75%, 沙土底墒下限和上限分别为田间持水量的 40% 和 85%。试验设计见表 1。

试验壤土和沙土采自辽宁省西部的阜新蒙古族自治县耕层土壤 (0~20 cm), 其田间持水量分别为 26.3% 和 18.7%。将所采土壤风干, 磨细后过 2 mm 筛装盆, 每盆土壤重量为 1 500 g。玉米播种盆直径为 15 cm, 高 18 cm。施肥量为二铵 (含 N 18%、P₂O₅ 46%) 0.6 g/kg 土, 尿素 (含 N 46%) 0.3 g/kg 土, 全部作基肥。供试玉米品种为丹玉 39, 每盆播 3 粒种子, 出苗后留壮苗 1 株。土壤底墒用称重法控制 (% 重量含水量); 灌溉是等量分次进行, 单位为 mm。试验于 2004 年 8 月 20 日~10 月 20 日在中国科学院沈阳应用生态研究所网室内进行。

1.3 测定项目及观测方法

出苗率是反映播种期土壤底墒的主要指标, 株高和幼苗干物重是反映苗期植株生长发育状况的主要指标, 因此, 本研究将出苗率、株高和单株干物质重量作为研究指标。

出苗以叶片露出表土 2 cm 为准, 播种后 10 d 开始观测出苗率, 2 周后结束, 并将同一底墒水平的

收稿日期: 2005-07-12

基金项目: 国家粮食丰产科技工程“玉米旱作节水与保护性耕作技术研究”专题 (2004BA520A01-5); 国家 863 计划节水农业重大专项阜新示范区 (2002AA2Z4321)

作者简介: 侯玉虹 (1978-), 女, 内蒙古赤峰市人, 硕士研究生, 主要从事节水农业研究。

通讯作者: 刘作新, 博士, 研究员, 博士生导师。E-mail: liuzuoxin@iae.ac.cn。

出苗率平均后进行分析;称重法测定土壤底墒和土壤含水量动态变化;卷尺测定株高;用长宽系数法测量叶面积;晾干法测定单株干物质重量。

表 1 试验设计
Table 1 Experimental design

处理 Treatment	沙土 Sandy soil				壤土 Loam soil			
	编码 Coding	底墒 Soil moisture content in sowing(%)	编码 Coding	苗期灌溉量 Irrigation quota in seedling (mm)	编码 Coding	底墒 Soil moisture content in sowing(%)	编码 Coding	苗期灌溉量 Irrigation quota in seedling (mm)
1	—1	8.5	—1	8.5	—1	10.6	—1	8.5
2	—1	8.5	1	124.0	—1	10.6	1	124.0
3	1	15.5	—1	8.5	1	19.4	—1	8.5
4	1	15.5	1	124.0	1	19.4	1	124.0
5	—1.148	8	0	66.3	—1.148	10	0	66.3
6	1.148	16	0	66.3	1.148	20	0	66.3
7	0	12	—1.148	0	0	15	—1.148	0.0
8	0	12	1.148	132.5	0	15	1.148	132.5
9	0	12	0	66.3	0	15	0	66.3
10	0	12	0	66.3	0	15	0	66.3
11	0	12	0	66.3	0	15	0	66.3

2 结果与分析

2.1 壤土底墒与出苗率的关系

壤土底墒对玉米出苗率有显著影响(表 2)。由表 2 可以看出,玉米的出苗率随着壤土底墒的增加而提高。当壤土底墒为—1.148 水平时,出苗率为 0;壤土底墒为—1 水平时,出苗率只有 22.2%,出苗推迟 3~4 d,且幼苗弱小;壤土底墒为 0 水平时,接

近 65%;而当壤土底墒在+1 水平以上时,出苗率约为 80%左右,且幼苗健壮。根据表 2 数据,建立出苗率和壤土底墒水平二元二次方程: $y=66.193+36.403x-14.359x^2$ ($R^2=0.9877$),其中 y 为出苗率(%), x 为壤土底墒编码值。解方程得到 $x=+1.268$,对应底墒为 20.6%,占田间持水量的 78.3%时,出苗率最高达到 89.3%。

表 2 壤土不同底墒水平下的玉米出苗率

Table 2 Rate of emergence of corn under different soil moisture content in sowing on loam soil

底墒水平 Soil moisture level in sowing	处 理 Treatment	出苗率 Rate of emergence(%)						
		09—28	09—29	09—30	10—01	10—04	10—06	10—07
—1.148	5	0	0	0	0	0	0	0
—1	1、2	0	0	0	5.6	11.1	16.7	22.2
0	7、8、9、10、11	4.4	20.0	44.4	51.1	55.6	60.0	64.4
+1	3、4	16.7	38.9	61.1	72.2	72.2	88.9	88.9
+1.148	6	0	33.3	55.6	66.7	88.9	88.9	88.9

2.2 沙土底墒与出苗率的关系

沙土底墒对玉米出苗率影响结果见表 3。表 3 表明,沙土底墒为—1 水平以下时,出苗率小于 50%,出苗时间推迟 1~3 d,且幼苗弱小;当底墒在 0 水平以上时,出苗率超过 80%,且幼苗健壮。但是并非底墒越大,出苗率越高,如底墒为+1 水平和+1.148 水平下的出苗率小于底墒为 0 水平的出苗

率。根据表 3 数据,建立出苗率和沙土底墒水平的二元二次方程: $y=90.619+20.952x-22.972x^2$ ($R^2=0.9749$),其中 y 为出苗率(%), x 为沙土底墒编码值。解方程得到 $x=+0.456$,对应底墒为 13.6%,占田间持水量的 72.7%时,出苗率最高达到 95.4%。

表 3 沙土不同底墒条件下玉米的出苗率

Table 3 Rate of emergence of corn under different soil moisture content in sowing on sandy soil

底墒水平 Soil moisture level in sowing	处 理 Treatment	出苗率 Rate of emergence(%)					
		09—28	09—29	09—30	10—01	10—03	10—05
—1.148	5	0	11.1	33.3	33.3	33.3	33.3
—1	1、2	0	22.2	27.8	38.9	50.0	50.0
0	7、8、9、10、11	0	20.0	48.9	77.8	84.4	91.1
+1	3、4	11.1	61.1	72.2	77.8	83.3	83.3
+1.148	6	11.1	22.2	66.7	66.7	88.9	88.9

2.3 株高与土壤底墒和苗期灌溉量的关系

2.3.1 壤土底墒和苗期灌溉量对株高的影响 利用壤土各处理苗期所测玉米株高值,以二次回归正交设计回归数学模型进行回归模拟,得到株高与壤土底墒和苗期灌溉量二因子的数学回归模型

$$y = 16.637 + 4.524x_1 + 1.512x_2 + 1.303x_1x_2 - 2.818x_1^2 - 3.764x_2^2 \quad (1)$$

模型中, y 为株高(cm), x_1 、 x_2 分别代表底墒和苗期灌溉量的编码值。对模型(1) 进行失拟性检验: $F_1 = 2.7 < F_{0.05(4,2)} = 19.2$, 差异不显著,即失拟性不显著,说明模型的拟合良好,能够反映株高与壤土底墒和灌溉量的关系。

由于壤土模型(1) 中应用的是无量纲线性编码代换,偏回归系数已标准化。因此,直接用模型中偏回归系数绝对值大小判断因子的重要程度,系数正负号表示因子的作用方向。一次项 x_1 、 x_2 的系数均为正值,说明底墒和苗期灌溉量对株高都有增高效应,大小顺序是:底墒 $>$ 苗期灌溉量;交互项系数 x_1x_2 为正值,说明底墒与苗期灌溉量配合有协同效应,对株高的增高具有相互促进作用。二次项系数 x_1^2 、 x_2^2 均为负值,说明底墒和苗期灌溉量对株高的影响呈二次抛物线趋势变化。

模型(1)底墒和苗期灌溉量对玉米株高的效应见图 1。

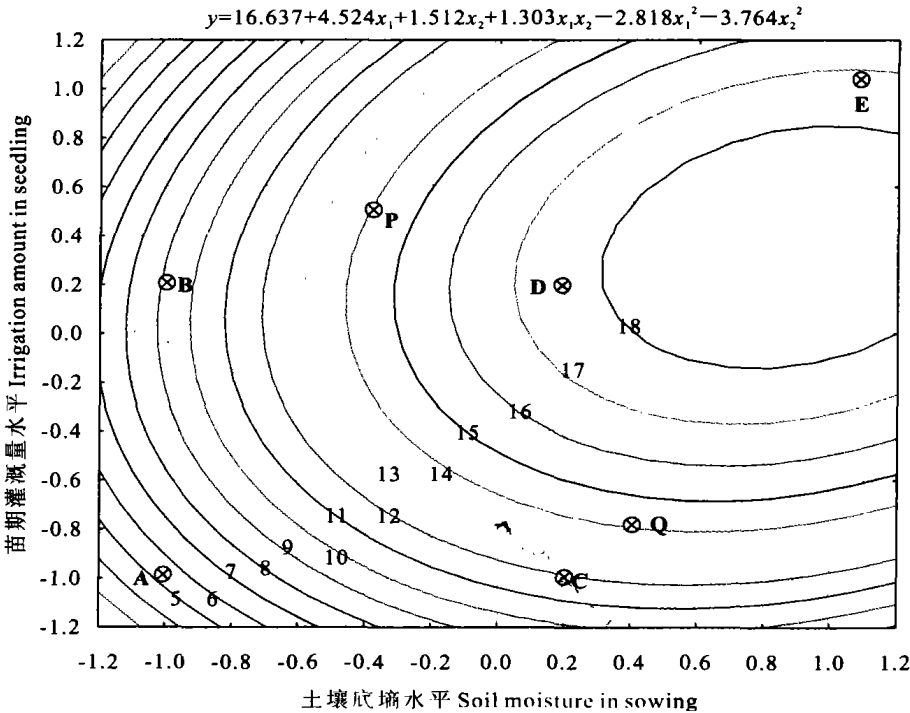


图 1 壤土底墒和苗期灌溉量交互作用的株高(cm)效应

Fig. 1 Plant height effect of interaction between soil moisture in sowing and irrigation quota in seedling

从图 1 看出,不同底墒和灌溉量对玉米株高有显著影响,而且二者具有交互作用协同效应。当土壤底墒和苗期灌溉量较低时,株高较低,如点 A ($x_1 = x_2 = -1.0$ 时, $y = 5.3$)。当底墒固定时,株高随灌

溉量的增大而增加,如由点 A 变化到点 B ($x_1 = -1.0, x_2 = +0.2$ 时, $y = 9.2$)。同样,当灌溉量固定时,株高随底墒的提高而增加,如由点 A 变化到点 B ($x_2 = -1.0, x_1 = +0.2$ 时, $y = 11.9$)。而且株高

随着两因子同时增加而增大的速率明显大于由底墒或苗期灌溉量单因子增大而引起株高增高的速率,如由点 A 变化到点 D($x_1 = +0.2, x_2 = +0.2$ 时, $y = 17.6$)。但是,并非两因子增加越大,株高增高越大,而相反,高底墒和高灌溉量配合会引起株高的降低,如由点 A 变化到点 D($x_1 = +1.1, x_2 = +1.1$ 时, $y = 16.9$)。可见,高底墒或低底墒,以及苗期大灌溉量或小灌溉量配合均不利于植株的生长。为了达到最大植株高度,需要确定最佳的土壤底墒和苗期灌溉量。

利用株高模型(1) 分别对 x_1 和 x_2 求一阶偏导数,得一阶偏导数方程组:

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial x_1} = 5.636x_1 - 1.303x_2 - 4.524 = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} = 1.303x_1 - 7.528x_2 + 1.512 = 0 \end{cases}$$

解方程组得: $x_1 = +0.885, x_2 = +0.354$,对应的最佳底墒为 15.1%、灌溉量为 86.7 mm,此时玉米在壤土中生长的株高最高。

由图 1 还可以看出,底墒与灌溉量的交互作用对株高增加有相互替代作用。当土壤底墒较低时,较大的苗期灌溉量可以得到较高的株高,如点 P($x_1 = -0.2, x_2 = +0.73$ 时, $y = 14.0$);苗期灌溉量小时,如果土壤底墒较高,同样能够获得较高的株高,如点 Q($x_2 = -0.8, x_1 = +0.4, y = 5.3$)。因为底墒和苗期灌溉量其中一个因子的不足可以由另一个因子的增加得到一定的补偿,这在生产中具有重要意义。

2.3.2 沙土底墒和苗期灌溉量对株高的影响 利用沙土玉米株高值,以二次回归正交设计回归数学模型进行回归模拟,得到株高与沙土底墒和苗期灌溉量二因子的数学回归模型:

$$y = 18.903 + 1.839x_1 + 0.622x_2 + 1.097x_1x_2 - 2.788x_1^2 - 2.857x_2^2 \tag{2}$$

对模型(2) 进行失拟性检验: $F_1 = 12.447 < F_{0.05(4,2)} = 19.2$,差异不显著,即失拟性不显著,说明模型拟合良好,能够反映株高与沙土底墒和灌溉量的关系。

由模型(2) 可以知,底墒和苗期灌溉量二因子对沙土玉米株高的作用与对壤土玉米株高的作用规律相似,也是底墒对株高的影响大,而苗期灌溉量的作用相对较小,而且二者配合对株高的影响存在正交互作用。

求沙土玉米株高达最高时的底墒与最优灌溉量,令方程一阶导数为零,得方程组:

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial x_1} = 5.576x_1 - 1.097x_2 - 1.839 = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} = 1.097x_1 - 5.714x_2 + 0.622 = 0 \end{cases}$$

解方程组得: $x_1 = +0.365, x_2 = +0.179$,对应底墒为 13.3%、灌溉量为 76.6 mm,此时沙土玉米的株高最高。

2.4 总干重与土壤底墒和苗期灌溉量的关系

2.4.1 壤土底墒和苗期灌溉量对植株总干重的影响 利用壤土苗期玉米干物质量,进行二次回归正交模拟,得到玉米植株总干重与底墒和苗期灌溉量二因子的数学回归模型:

$$y = 1.146 + 0.197x_1 + 0.14x_2 + 0.081x_1x_2 - 0.133x_1^2 - 0.24x_2^2 \tag{3}$$

模型中, y 为总干重(g/株), x_1, x_2 分别代表底墒和苗期灌溉量的编码值。对模型进行失拟性和显著性检测, $F_1 = 8.07 < F_{0.05(4,2)} = 19.2$,差异不显著,说明模型能够很好地反映壤土底墒和灌溉量与玉米总干重的关系。

由于模型(3) 中偏回归系数绝对值大小可知,一次项 x_1, x_2 的系数均为正值,说明底墒和苗期灌溉量对总干重都有增加效应,大小顺序是:底墒 > 苗期灌溉量;交互项系数 x_1x_2 为正值,说明底墒与苗期灌溉量配合有协同效应,对总干重的增大具有相互促进作用。二次项系数 x_1^2, x_2^2 均为负值,说明底墒和苗期灌溉量对总干重的增加呈二次抛物线趋势变化。

对壤土总干重模型(3) 进行降维处理:令模型中 x_1 或 x_2 任一因子为 0 水平,得到两个一元二次子模型:

$$y = 1.146 + 0.140x_2 - 0.240x_2^2 \tag{3.1}$$

$$y = 1.146 + 0.197x_1 - 0.133x_1^2 \tag{3.2}$$

利用模型(3.1) 和(3.2) 分别作图 2 和图 3。由图 2 看出,当灌溉量固定时($x_2 = 0$ 水平),总干重随底墒的提高而增大,当底墒提高到 $x_2 = +0.74$ 水平时,总干重达最大。随着底墒的进一步提高,总干重又降低。同样,由图 3 看出,当壤土底墒固定($x_1 = 0$ 水平) 时,总干重随着灌溉量的增加而增大,当灌溉量增大到 $x_2 = +0.29$ 水平时,总干重达最大。随着灌溉量的进一步增加,总干重又降低。表明底墒过低或过高,或者苗期灌溉量过大或过小都不利于干物质积累,只有在最佳壤土底墒和苗期灌溉量时,对于物质积累最有利。

为了分析壤土底墒和灌溉量的交互作用对总干重的影响,利用模型(3) 作底墒和灌溉量对玉米的等

干重线图(图 4)。由图 4 看出,底墒与苗期灌溉量对干重增大的交互作用有协同效应,即当底墒和苗期灌溉量较低时,总干重随着两因子的增加而增大,

其增大的速率明显大于单因子的作用,达到最高值以后,总干重随着两因子的同时增加而降低,降低的速率明显大于单因子增加引起总干重的降低。

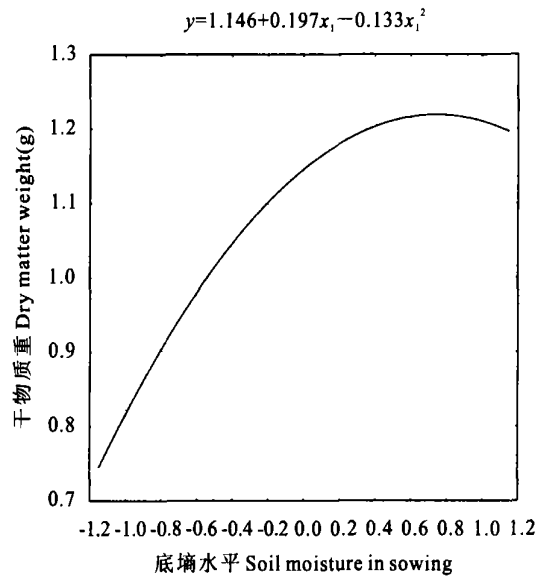


图 2 干物重随壤土底墒的变化

Fig.2 Change trend of dry matter weight with soil moisture in sowing

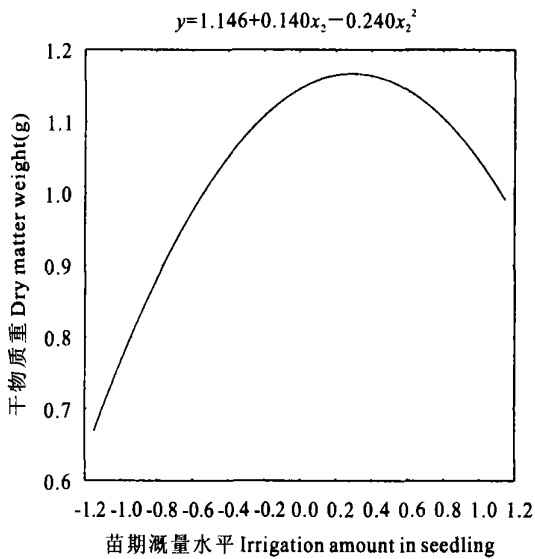


图 3 干物重随苗期灌溉量的变化

Fig.3 Change trend of dry matter weight with irrigation quota in seedling

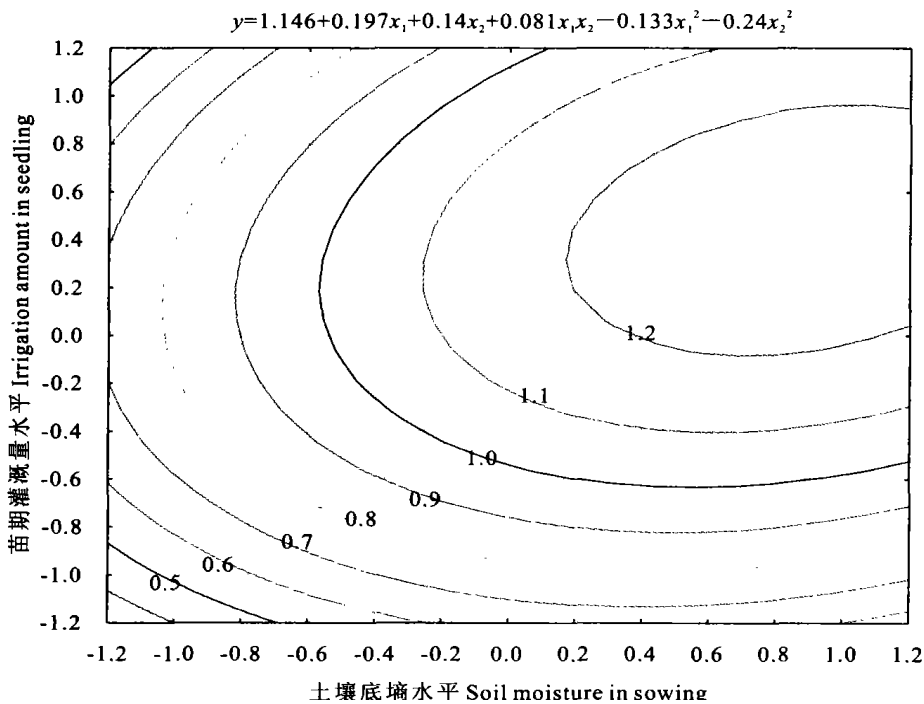


图 4 壤土底墒和灌溉量交互作用的干物重(g)效应

Fig.4 Dry-matter-weight effect of interaction between soil moisture in sowing and irrigation quota in seedling

为了获得最大干物重,确定最佳的土壤底墒和苗期灌溉量,利用模型(3)分别对 x_1 和 x_2 求一阶偏导数,得一阶偏导数方程组:

$$\begin{aligned}0.266x_1+0.081x_2+0.197&=0\\0.081x_1-0.480x_2+0.140&=0\end{aligned}$$

求得: $x_1 = +0.874$ 、 $x_2 = +0.439$, 即底墒为 15.1%、灌溉量为 91.7 mm 时,总干重最大。

2.4.2 沙土底墒和苗期灌溉量对植株总干重的影响 利用沙土玉米总干重值进行回归模拟,得到总干重与沙土底墒和苗期灌溉量二因子的数学回归模

型:沙土水分与总干重数学模型:

$$y=1.156+0.81x_1+0.03x_2+0.022x_1x_2-0.208x_1^2-0.23x_2^2 \quad (4)$$

经过对模型(4)进行失拟性检验得到: $F_1=4.78 < F_{0.05(4,2)}=19.2$,模型的失拟性不显著,说明模型能够反映沙土底墒和灌溉量与玉米总干重的客观情况。

通过对模型(4)的分析可知,底墒和苗期灌溉量二因子对沙土玉米株高的作用与对壤土玉米株高的作用规律相似,不再详细叙述。利用求导法求得当 $x_1=-0.063$ 、 $x_2=+0.174$ 水平,对应底墒为12.2%,灌溉量为76.3 mm时,玉米的总干重最大。

3 结 论

1) 土壤底墒显著地影响着玉米出苗率,当土壤底墒低时,玉米的出苗率也低,甚至于不能出苗。但是,并非底墒越高出苗率也越高,玉米出苗率最大时壤土和沙土的底墒分别为20.6%和13.6%,出苗率达到89.3%和95.4%。

2) 土壤底墒和苗期灌溉量两因子,不论是壤土还是沙土,均为底墒对株高和总干物重的影响大,而苗期灌溉量的作用相对居于次要地位。说明在辽西半干旱区,播种期土壤底墒不仅影响玉米出苗率,而且对苗期生长发育起着非常重要的作用。因而在玉米生产中,在春旱严重时,进行播前沟灌造墒或采用坐水播种等主动抗旱措施,创造健壮幼苗生长的水分环境十分必要。

3) 土壤底墒和苗期灌溉量对玉米苗期的生长发育在一定程度上具有相互替代作用,说明为了保证幼苗的良好生长发育,当土壤底墒较低时,出苗后需要较大的灌溉量。如果苗期灌溉量较小时,则需要较高的土壤底墒。

4) 土壤底墒和苗期灌溉量对玉米苗期的生长发育在一定程度上具有相互促进作用,说明较高的土壤底墒和适当的苗期灌溉量配合,更有利于幼苗的生长。但是低土壤底墒和小灌溉量配合,或高土壤底墒和大灌溉量配合均不利于苗期的生长发育。

5) 株高最高的壤土底墒、灌溉量分别为15.1%和86.7 mm,而沙土分别为13.3%和76.6 mm;苗期总干重最大的壤土底墒、灌溉量分别为15.1%和91.7 mm,而沙土分别为12.2%和76.3 mm。

参 考 文 献:

- [1] 刘作新,庄季屏. 辽西地区农田水分状况的研究 I. 旱地作物的水分平衡估算及其调控[J]. 应用生态学报, 1992, 3(1): 20—27.
- [2] 刘作新. 冬灌的储水抗旱效应[A]. 梅旭荣, 蔡典雄, 逢焕成, 等. 节水高效农业理论与技术[C]. 北京: 中国农业科技出版社, 2004. 254—258.
- [3] 汤章成. 植物对水分胁迫的反应和适应性[J]. 植物生理学通讯, 1983, 3: 24—29.
- [4] 山 仑. 植物水分亏缺和半干旱地区农业生产中的植物水分问题[J]. 植物生理生化进展, 1983, (2): 108—119.
- [5] 张福瑛, 朱耀宣. 旱地小麦生产第一要素[J]. 干旱地区农业研究, 1992, 10(1): 38—42.
- [6] NeSmith D S, Ritchie J T. Effects of soil water-deficits during tassel emergence on development and yield component of maize (Zea mays)[J]. Field Crops Research, 1992, 28(3): 251—256.
- [7] Zhang H P, Oweis T. Water- yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region[J]. Agricultural Water Management, 1999, 38: 195—211.
- [8] Ziaei A N, Sepaskhah A R. Model for simulation of winter wheat yield under dryland and irrigated conditions[J]. Agricultural Water Management, 2003, 58(1): 1—17.
- [9] Zhang Y Q, Eloise K, Yu Q, et al. Effect of soil water deficit on evapotranspiration, crop yield, and water use efficiency in the North China Plain[J]. Agricultural Water Management, 2004, 64(2): 107—122.
- [10] 袁志发, 周静芋. 试验设计与分析[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.

Effect of soil moisture content in sowing and irrigation quota on maize emergence and growth in seedling period

HOU Yu-hong¹, YIN Guang-hua^{1,2}, LIU Zuo-Xin², LIU En-cai¹

(1. Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China; 2. Liaoning Key

Laboratory of Water Saving Agriculture, Institute of Applied Ecology, CAS, Shenyang 110016, China)

Abstract: To seek for the effects of soil moisture content in sowing and irrigation quota on maize emergence and growth in seedling period, a series of pot experiments was conducted with the orthogonal regression design. The regression equations were established to describe the relationships between both plant height and total dry matter weight of maize and both soil moisture content in sowing and irrigation quota. The results showed that the emergence rates of maize were markedly affected by soil moisture content in sowing. The highest emergence rate of maize was achieved when the soil moisture contents in sowing were 20.6% on loam soil and 13.6% on sandy soil. The interaction between soil moisture in sowing and irrigation quota presented the acceleration and substitution effects in plant height and total dry matter weight. On loam soil, the soil moisture content in sowing for the highest plant height and dry matter weight was all 15.1%, and the optimal irrigation quota for those were 86.7 mm and 91.7 mm respectively; On sandy soil, the soil moisture content in sowing for the highest plant height and dry matter weight was all 12.0% and 13.0% respectively, and the optimal irrigation quota for those were all 76 mm.

Keywords: soil moisture in sowing; irrigation quota; emergence rate of maize; growth and development