

半干旱区坐水播种条件下玉米高产栽培措施研究

冯良山^{1,2}, 孙占祥², 曹敏建¹, 侯志研², 惠成章², 刘 洋², 李金凤³

(1. 沈阳农业大学农学院, 辽宁 沈阳 110161; 2. 辽宁省农业科学院, 辽宁 沈阳 110161; 3. 沈阳市农业科学院, 辽宁 沈阳 110034)

摘 要: 采用五因素(1/2)二次回归旋转组合设计, 研究了坐水播种条件下, 坐水量、氮肥、磷肥、钾肥和密度对玉米产量的影响, 建立了产量模型。结果表明, 各因素对产量的作用大小顺序为氮肥>坐水量≈磷肥>钾肥>密度; 在各因素编码水平为最低时, 磷肥的起始增产速率最大, 其次为氮肥, 坐水量、钾肥和密度分列第三、四、五位; 随着因素水平的提高, 各因素的增产速率均下降, 下降的快慢顺序为磷肥>密度≈氮肥>坐水量>钾肥; 当坐水量为 46.25 t/hm²、氮肥(N)为 327.68 kg/hm²、磷肥(P₂O₅)为 149.10 kg/hm²、钾肥(K₂O)为 189.24 kg/hm²、密度为 71 172.00 株/hm², 产量可达 14 059.62 kg/hm²; 玉米产量大于 10 560 kg/hm² 的主要农艺措施为: 坐水量为 41~54 t/hm², 氮肥(N)用量为 276~348 kg/hm², 磷肥(P₂O₅)用量为 145~165 kg/hm², 钾肥(K₂O)用量为 166~217 kg/hm², 种植密度为 64 728~72 726 株/hm²。

关键词: 玉米; 坐水播种; 高产栽培; 半干旱区

中图分类号: S513.062 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)01-0073-05

我国北方大部分地区春作物播种期间降水量少, 土壤表面蒸发强度大, 耕层土壤含水量低, 不能满足作物种子发芽, 或即使种子发芽, 幼苗也难以正常生长, 形不成壮苗, 严重影响作物产量。为解决这一问题, 人为增墒的抗旱保苗坐水播种技术得到研究和应用^[1]。同时, 在我国北方半干旱区, 不仅存在着缺水的难题, 还普遍存在着缺磷、少氮的现象^[2]。因此, 如何通过“以水调肥”、“以肥控水”、“合理密植”等技术措施, 充分发挥各因素之间的耦合互作效应, 使有限的资源得到合理利用, 在作物稳产的基础上实现高产变得非常具有意义^[3~5]。有关坐水播种技术及其在不同作物上的应用效果, 目前多集中在对作物出苗情况、苗期生长状况和作物产量的影响, 以此研究最佳的坐水量^[6~10]。对于施肥与作物生育期内灌水之间的水肥耦合作用目前同样进行了大量的研究, 同时有关肥料与密度、水分与密度之间的互作关系也有研究报道, 并研究得出许多具有指导作用的科学数据^[11~18], 但是对于坐水量与施肥量之间, 以及坐水量、施肥量与种植密度之间的报道目前较少。本试验的研究, 采用坐水播种的技术措施, 在克服正常春播时期土壤墒情不足问题的同时, 注重合理施肥和合理密植, 初步提出了半干旱区玉米高产栽培措施, 以期能够为辽西及同类型地区农业生产提供技术支撑。

1 区域气候概况及研究方法

1.1 区域气候概况

辽西半干旱地区属温带季风大陆性气候区, 年平均气温 7~8℃, 10℃ 以上积温为 2 900~3 400℃, 无霜期为 135~165 d, 5~9 月份日照时数为 1 200~1 300 h, 全区土地面积约为 3 万 km², 耕地面积约为 68.97 万 hm², 土地和光热资源十分丰富。但年降水量仅为 300~500 mm, 且降水变率较大, 旱灾频繁。区域内年降水量的总分布趋势为从东部到西部逐渐递减, 东部的康平、法库年降水量为 450~500 mm, 中部的阜新周边地区为 350~500 mm, 而西部的朝阳地区仅为 300~400 mm, “十年九春旱”是其基本气候特征。

1.2 供试材料

试验于 2006 年在辽宁省农业科学院阜新实验基地实施, 土壤为典型褐土, 耕层土壤理化性质如表 1。供试作物选用辽宁省农业科学院选育的国审玉米品种辽单 565 号, 该品种具有抗旱、高产、耐密植等特点, 较为适宜辽西地区种植。

1.3 试验设计

采用坐水量、氮肥、磷肥、钾肥、密度五因素(1/2)二次回归旋转组合设计, 共 36 个处理, 3 次重复。试验小区面积为 30 m², 即 6 垄(行距 0.5 m),

收稿日期: 2007-10-29

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划重点项目(2006BAD29B06); 农业部 948 项目(2006-G52A-Q01); 国家粮丰工程项目(2004BA520A11); 辽宁省科技攻关课题(2007212001)

作者简介: 冯良山(1980—), 男, 辽宁庄河人, 在读硕士, 主要从事旱地农业研究。E-mail: fenglsh@163.com。

通讯作者: 孙占祥, 曹敏建, E-mail: sunzhanxiang@sohu.com, caominjian@163.com。

长 10 m。因素水平编码见表 2。试验中 1/3 氮肥及全部的磷、钾肥作种肥播种时施入, 2/3 的氮肥作追肥于大喇叭口期施入。坐水与施肥均采用人工方法, 即在种床开出 6~7 cm 深的播种沟, 在播种沟内

按照试验设计方案均匀施水(坐水), 同时在播种沟中加施种肥, 将种子根据试验设计方案密度进行点播、覆土、镇压。5 月 4 日播种, 5 月 16 日对各小区缺苗地方按试验设计密度要求进行催芽补种。

表 1 供试土壤基本理化性质
Table 1 Basic physical and chemical properties of tested soil

pH	有机质 Organic matter (%)	全氮 Total N (g/kg)	全磷 Total P (g/kg)	全钾 Total K (g/kg)	速效氮 Available N (mg/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)	含水量 Water content (%)
6.70	2.06	1.05	0.75	31.4	78.0	31.8	196.0	9.32

表 2 因素水平编码
Table 2 Level code of factors

水平编码 Level code	因素 Factors				
	坐水量 Water amount (X ₁) (t/hm ²)	氮 N(X ₂) (kg/hm ²)	磷 P ₂ O ₅ (X ₃) (kg/hm ²)	钾 K ₂ O(X ₄) (kg/hm ²)	密度 Density(X ₅) (Plants/hm ²)
-2	0	60	0	0	42000
-1	15	140	60	60	54000
0	30	220	120	120	66000
1	45	300	180	180	78000
2	60	380	240	240	90000
间距(Δ)Class interval	15	80	60	60	12000

1.4 调查与数据分析方法

玉米收获后, 对试验小区玉米进行测产, 将各小区产量折合成公顷产量后, 采用 DPS 统计分析软件对各处理的产量结果进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 产量模型的建立及检验

将各小区产量折合成公顷产量后, 分别对各处理的产量结果进行统计分析, 得到玉米的产量(y)与坐水量(X₁)、氮肥(X₂)、磷肥(X₃)、钾肥(X₄)和密度(X₅)5 个因素在编码空间的多元回归模型方程(1)。

$$y = 12194.87 + 732.21387X_1 + 985.92629X_2 + 562.27512X_3 + 705.44546X_4 + 319.25904X_5 - 338.04714X_1^2 - 366.34826X_2^2 - 579.22514X_3^2 - 305.60564X_4^2 - 370.03064X_5^2 + 294.91506X_1X_2 + 77.01444X_1X_3 - 127.60631X_1X_4 + 202.91681X_1X_5 - 125.64381X_2X_3 - 259.21131X_2X_4 + 310.59331X_2X_5 - 332.08269X_3X_4 - 72.60456X_3X_5 - 53.37218X_4X_5 \quad (1)$$

方程检验 $F(9, 15) = 15.87$, 达到极显著水平 ($F_{0.01} = 2.59$), 失拟不显著, $F(6, 15) = 1.65$ ($F_{0.05} = 2.79$), 所建立的模型可用于在设计范围内的预

测。尽管个别系数未达到 0.05 显著水平, 表明相应的项对指标影响较小, 但这些项系数的绝对值并不接近于 0, 又由于方程是非线性的, 并且不存在某个因素的一次项、二次项及与其相关的交互项均不显著的情况, 故不考虑剔除这些系数, 采用原方程进行预测^[19]。

2.2 因素重要性分析

采用庄恒扬提出的方法, 即 X_i 的回归平方和 (SS_i) = 一次项回归平方和 + 二次项回归平方和 + 所有与该因素有关的交互项的回归平方和的一半, 因素对目标项的影响大小取决 SS_i 的大小^[19, 20]。根据各因素的回归平方和计算结果, 各因素对玉米(辽单 565 号)产量的作用大小顺序为氮肥 > 坐水量 ≈ 磷肥 > 钾肥 > 密度。

2.3 因素效应分析

由于试验满足正交的要求, 模型中各项回归系数彼此独立, 各项效应可线性相加, 所以可以通过降维的方法, 考察各因素与产量的变化关系。我们分别固定 4 个因素于 0 水平, 从而可求得剩下的一因素与产量的一元降维的回归模型。

坐水量与产量: $y = 12194.87 + 732.21387X_1 - 338.04714X_1^2 \quad (2)$

氮肥与产量: $y = 12194.87 + 985.92629X_2 - 366.34826X_2^2 \quad (3)$

磷肥与产量: $y = 12194.87 + 562.27512X_3 - 579.22514X_3^2$ (4)

钾肥与产量: $y = 12194.87 + 705.44546X_4 - 305.60564X_4^2$ (5)

密度与产量: $y = 12194.87 + 319.25904X_5 - 370.0306X_5^2$ (6)

在试验设计的水平值范围内,各因子的产量效应如图 1 所示,坐水量、氮肥、磷肥、钾肥、密度各因素的产量效应曲线均为抛物线,表明各因素在一定范围内都有明显的增产效应。

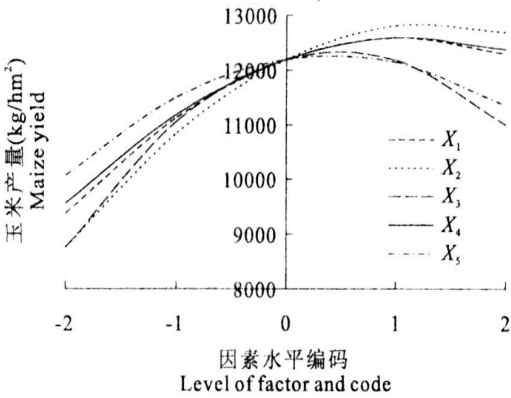


图 1 各因素产量效应

Fig.1 Effect of factors and levels to yield

2.4 因素边际效应

边际产量可反映各因素的最适投入量和单位水平投入量变化对产量增减速率的影响,各因素在不同水平下的边际产量可通过对回归子模型(2)、(3)、(4)、(5)、(6)求一阶偏导,则分别得到各因素的边际效应方程(7)、(8)、(9)、(10)、(11),将不同编码值代入得图 2,并令 $dy/dx = 0$ 来求得产量的最大值。
坐水量: $dy/dx = 732.21387 - 676.09428X_1$ (7)
氮肥: $dy/dx = 985.92629 - 732.69652X_2$ (8)
磷肥: $dy/dx = 562.27512 - 1158.45028X_3$ (9)
钾肥: $dy/dx = 705.44546 - 611.21128X_4$ (10)

密度: $dy/dx = 319.25904 - 740.06128X_5$ (11)

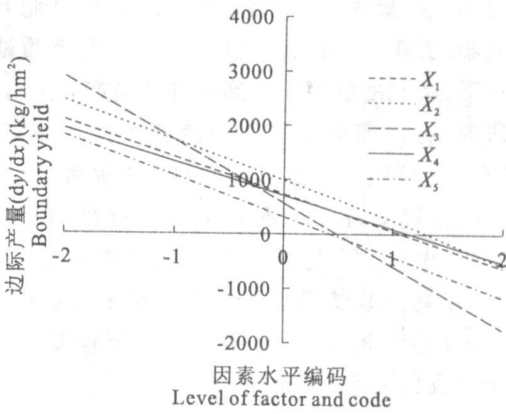


图 2 各因素边际产量效应

Fig.2 Effect of factors and levels to boundary yield

图 2 中曲线反应出各因素对产量的影响速率,在各因素编码水平为-2 时(即各因素水平为最低时),磷肥的起始增产速率最大,为 2 879. 18 kg/hm²,其次为氮肥(2 351. 32 kg/hm²),坐水量的增产速率排在第三位(2 084. 40 kg/hm²),排在第四、第五位的分别为钾肥(1 927. 87 kg/hm²)和密度(1 799. 38 kg/hm²)。随着因素水平的提高,各因素的增产速率均下降。下降的快慢顺序为: $X_3 > X_5 \approx X_2 > X_1 > X_4$ 。当 $X_1 = 1. 083$ (坐水量, 46. 25 t/hm²)、 $X_2 = 1. 346$ (N, 327. 68 kg/hm²)、 $X_3 = 0. 485$ (P₂O₅, 149. 10 kg/hm²)、 $X_4 = 1. 154$ (K₂O, 189. 24 kg/hm²)、 $X_5 = 0. 431$ (密度, 71 172. 00 株/hm²)时, 边际产量均为 0, 产量可达 14 059. 62 kg/hm²。

2.5 产量的模拟寻优

将编码因素的取值范围缩小(水平数仍为 5, 步长缩小), 对其进行寻优, 寻找出产量大于 10 560 kg/hm² 的高产栽培技术方案(表 3)。

表 3 玉米坐水播种高产农艺措施组合

Table 3 High-yielding measures of bed-irrigating sowing

坐水量 Water amount (t/hm ²)	氮 N (kg/hm ²)	磷 P ₂ O ₅ (kg/hm ²)	钾 K ₂ O (kg/hm ²)	密度 Density (plants/hm ²)
41~54	276~348	145~165	166~217	64728~72726

3 讨论

在北方半干旱区,一早二薄是造成产量低而不稳的主要原因。因此,在生产中,必须强调水、肥和

密度互作理论的重要性^[12],科学合理地确定适宜的坐水量、施肥量和种植密度。本试验条件下,各因素对产量影响最大的为氮肥,其次为坐水量和磷肥,再次为钾肥和密度,说明在半干旱区,氮是促进玉米增

产的主要因素,这与前人研究结果基本吻合^[11~13,21]。在各因素编码水平为最低时,磷肥的起始增产速率最大,其次为氮肥,坐水量、钾肥和密度分列第三、四、五位,说明在土肥缺乏和严重缺乏的条件下,磷肥的施用能达到较好的增产效果,这与前人研究结果(密度>氮肥>磷肥>钾肥)略有不同^[22~24],这可能一方面与选用的玉米品种特性(不同的种植密度对辽单 565 号玉米产量影响相对较小)有关,另一方面与试验土壤速效磷较低(31.8 mg/kg)有关。本试验土壤(典型褐土)的速效钾(196 mg/kg)含量较高,可能也在一定程度上影响了钾肥以及各因素之间的互作效应。

本试验在苗期进行了催芽补种,一方面为了保证试验设计方案的准确性,另一方面为了与当地目前的田间管理方式相适应,使试验更能与当地目前实际生产水平相结合。

4 结 论

1) 在本试验的研究结果中,各因素对产量的作用大小顺序为:氮肥>坐水量≈磷肥>钾肥>密度;在各因素编码水平为最低时,磷肥的起始增产速率最大,其次为氮肥,坐水量、钾肥和密度分列第三、四、五位;随着因素水平的提高,各因素的增产速率均下降,下降的快慢顺序为:磷肥>密度≈氮肥>坐水量>钾肥。

2) 在本试验条件下,当坐水量为 46.25 t/hm^2 、氮肥(N)为 327.68 kg/hm^2 、磷肥(P_2O_5)为 149.10 kg/hm^2 、钾肥(K_2O)为 189.24 kg/hm^2 、密度为 $71\ 172.00 \text{ 株/hm}^2$,产量可达 $14\ 059.62 \text{ kg/hm}^2$ 。根据所建模型进行模拟寻优,获得玉米产量大于 $10\ 560 \text{ kg/hm}^2$ 的主要农艺措施为:坐水量为 $41 \sim 54 \text{ t/hm}^2$,氮肥(N)用量为 $276 \sim 348 \text{ kg/hm}^2$,磷肥(P_2O_5)用量为 $145 \sim 165 \text{ kg/hm}^2$,钾肥(K_2O)用量为 $166 \sim 217 \text{ kg/hm}^2$,种植密度为 $64\ 728 \sim 72\ 726 \text{ 株/hm}^2$ 。

参 考 文 献:

- [1] 尹光华,陈温福,刘作新,等.中国北方半干旱区机械化坐水种技术研究[J].农业现代化研究,2007,28(2):238—240.
- [2] 孙占祥.辽西风沙半干旱区农业持续综合发展技术体系研究[J].干旱地区农业研究,1997,15(3):72—77.
- [3] 徐振剑,华路,蔡典雄,等.农田水肥关系研究现状[J].首都师范大学学报(自然科学版),2007,28(1):83—88.
- [4] Amon L. Physiological principles of dry and crop production[C]// Gupa US. Physiological Aspects of Dry and Land Farming. New York: Universal Press, 1975:3—124.
- [5] 尹光华,陈温福,刘作新,等.风沙半干旱区春玉米水肥耦合产量效应研究初报[J].玉米科学,2007,15(1):103—106.
- [6] 裴泽莲,丛福滋,王洪平,等.机械化播种不同坐水量对玉米出苗率的影响[J].沈阳农业大学学报,2005,36(4):508—510.
- [7] 王 斌,魏永霞,张忠学,等.坐水种对东北半干旱地区玉米前期生长发育的影响[J].农业系统科学与综合研究,2004,20(4):275—276,280.
- [8] 郭维东,夏桂敏,王晓刚,等.坐水播种时土壤临界含水率的确定[J].灌溉排水学报,2003,22(4):12—13.
- [9] 雷延庆.旱地春小麦抗旱坐水播种试验初探[J].青海农林科技,2001,(3):36—37.
- [10] 徐 航,裴 攸,王鹏文,等.吉林省半干旱地区坐水播种的调查及研究[J].吉林农业科学,1991,(3):27—29.
- [11] 孙占祥,孙文涛.水肥互作对玉米生长发育及产量的影响[J].沈阳农业大学学报,2005,36(3):275—278.
- [12] 孙文涛,孙占祥,王聪翔,等.滴灌施肥条件下玉米水肥耦合效应的研究[J].中国农业科学,2006,39(3):563—568.
- [13] Sharma B D, Kar S, Cheema S S. Yield, water use and nitrogen uptake for different water and N levels in winter wheat[J]. Fertilizer Research, 1990, 22:119—127.
- [14] Pang X P, Letey J, Wu L. Irrigation quantity and uniformity and nitrogen application effects on crop yield and nitrogen leaching[J]. Soil Science Society of American Journal, 1997, 61: 257—261.
- [15] 王宝忠,潘家荣,郑兴耘,等.高产夏玉米的种植密度和肥料效应研究[J].核农学报,1998,12(6):353—358.
- [16] 郭文善,王蔚华,方明奎,等.密度与肥料运筹对小麦籽粒胚乳细胞发育的调节效应[J].麦类作物,1998,18(5):46—49.
- [17] 赵广才,刘利华,杨玉双,等.高产小麦不同密度及肥料运筹的综合效应[J].北京农业科学,1997,15(2):10—12.
- [18] 刘以信,苏 红,王军等.密度、肥料和化控对棉花生育及产量的影响[J].江苏农业科学,1999,(2):29—32.
- [19] 陈志斌,唐劲驰,郝宪彬,等.玉米新品种优化栽培措施研究[J].沈阳农业大学学报,2001,32(2):17—21.
- [20] 庄恒扬,成敬生.作物规范化栽培试验分析几个问题商榷[J].农业系统科学与综合研究,1990,(4):42—46.
- [21] 吕殿青,张文孝.渭北东北旱塬氮磷水三因素交互作用研究[J].西北农业科学,1994,3(3):27—32.
- [22] 马 俊,杨 艳,吴 蒿,等.套作玉米产量与栽培密度及氮磷钾肥施用量的关系[J].中国农学通报,2005,21(4):152—155.
- [23] 董立国,马步朝,李生宝,等.黄土塬区玉米密度及氮磷钾用量优化模式的研究[J].玉米科学,2006,14(增):97—99.
- [24] 董立国,李生宝,蔡进军,等.玉米氮磷钾肥用量数学模型及优化模式的研究[J].土壤通报,2007,38(1):194—196.

Study on maize optimal cultivation measures under bed-irrigating sowing condition in semiarid area

FENG Liang-shan^{1,2}, SUN Zhan-xiang², CAO Min-jian¹, HOU Zhi-yan²,
HUI Cheng-zhang², LIU Yang², LI Jin-feng³

(1. College of Agronomy, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110161, China;
2. Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang, Liaoning 110161, China;
3. Shenyang Academy of Agricultural Sciences, Shenyang, Liaoning 110034, China)

Abstract: The effects of water amount, nitrogenous fertilizer, phosphate fertilizer, potassium fertilizer and density in maize bed-irrigating sowing were studied through the design of 5-factor(1/2) orthogonal regression rotational combination. The weighing on effect of yield in different factors was nitrogenous fertilizer>water amount≈phosphate fertilizer>potassium fertilizer>density. When all factors at low-level, the yield-increasing rate at beginning was phosphate fertilizer>nitrogenous fertilizer>water amount>potassium fertilizer>density. Along with the level of factors heightened, the yield-increasing rate was inching down, the velocity sequence was phosphate fertilizer>density≈nitrogenous fertilizer>water amount>potassium fertilizer. When the water amount was 46.25 t/hm², the nitrogenous fertilizer(N) was 327.68 kg/hm², the phosphate fertilizer(P₂O₅) was 149.10 kg/hm², the potassium fertilizer (K₂O) was 189.24 kg/hm², the density was 71 172.00 plants/hm², the tiptop yield was 14 059.62 kg/hm². The optimal cultivation measures for yield above 10 560 kg/hm² were as follows: the water amount of 41~54 t/hm², the nitrogenous fertilizer (N) of 276~348 kg/hm², the phosphate fertilizer (P₂O₅) of 145~165 kg/hm², the potassium fertilizer (K₂O) of 166~217 kg/hm², the density of 64 728~72 726 plants/hm².

Key words: maize; bed-irrigating sowing; high-yielding cultivation; semiarid area