

水肥交互作用对间作玉米、大豆产量的影响研究*

刘秀珍 张阅军 杜慧玲

(山西农业大学资源与环境学院 太谷 030801)

摘要 应用三因素五水平二次通用旋转组合法,试验研究不同水肥用量对大田间作玉米、大豆产量的影响结果表明,三因素对玉米产量的影响依次为水>N>P,对大豆产量的影响依次为水>P>N;水、肥互作效应中水的效应大于肥,且肥效随灌水量的增加而提高。

关键词 玉米 大豆 水肥互作 产量

Effects of moisture-fertilizer interaction on the yields of maize and soybean under the condition of inter-cropping. LIU Xiu-Zhen, ZHANG Yue-Jun, DU Hui-Ling(College of Resource and Environmental Sciences, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801), *CJEA*, 2004, 12(3):75~77

Abstract By using the design of three factors-five levels-quadratic general spinning, the effects of applying different amounts of N, P fertilizers and moisture on the yields of maize and soybean under the condition of inter-cropping were studied. The results show that the effect of three factors on maize yield is moisture>N>P, the effect of three factors on soybean yield is moisture>P>N, while in the efficiency of moisture-fertilizer interaction the moisture efficiency is more than that of fertilizer, and the fertilizer efficiency increases with the increasing of irrigation.

Key words Maize, Soybean, Moisture-fertilizer interaction, Yield

本试验研究了间作种植不同灌水量和施肥量对玉米、大豆产量的影响,为合理施肥提供科学依据。

1 试验材料与方法

试验于2001年在山西农业大学园艺站进行,试区5~9月份各月降水量分别为5.0mm、12.1mm、112.7mm、17.2mm和54.8mm。供试土壤为石灰性褐土,质地中壤,0~20cm耕层土壤有机质含量15.5g/kg,全N0.343g/kg,全P2.45g/kg,全K14.5g/kg,碱解氮58.4mg/kg,速效磷16.7mg/kg,速效钾152.1mg/kg,<0.01mm物理性粘粒41.28%,田间持水量30.34%。供试玉米品种为“农大108”,大豆品种为“晋豆24号”。试验采用三因素五水平二次通用旋转组合设计共设20个处理^[1],小区面积33m²,间作形式为2行玉米+2行大豆,每小区种植6行玉米,4行大豆,玉米和大豆行距均为50cm,株距分别为40cm和12cm。2/3尿素及全部过磷酸钙作底肥1次施入,1/3尿素施于拔节期玉米,播种前浇足底墒水,于4月28日播种,9月25日收获,分别于玉米、大豆苗期(6月1日),玉米拔节期、大豆初花期(7月5日)灌水2次,各小区灌水量按实测土壤含水量进行校正,灌水深度苗期为20cm,拔节期为30cm,采用水表控制,试验因子及处理水平见表1。

表1 试验因素及编码值

Tab.1 Test factors and their code level

因素 Factors	间距 Interval	编码水平 Code level				
		-1.682	-1	0	+1	+1.682
灌水量 X_1^* / %	18	35	47	65	83	95
尿素施用量 X_2^{**} / kg·hm ⁻²	164	0	112	276	440	552
过磷酸钙施用量 X_3^{***} / kg·hm ⁻²	80	0	55	135	215	270

* 为灌至相当于田间持水量的土壤含水量(%); ** 折纯N; *** 折纯P₂O₅。

2 结果与分析

水肥条件对玉米产量的影响。将试验小区玉米产量按60%折算(kg/hm²),运用二次通用旋转组合设计

* 山西省科技攻关项目(002016)部分研究内容

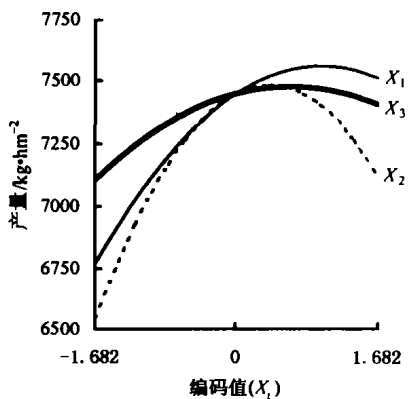
收稿日期:2003-02-03 改回日期:2003-03-08

进行回归模拟,求得玉米产量(Y)与灌水量(X_1)、N肥(X_2)和P肥(X_3)间的回归数学模型为:

$$Y = 7448.4 + 221.62X_1 + 172.68X_2 + 88.59X_3 + 72.93X_1X_2 + 93.75X_1X_3 + 62.51X_2X_3 - 109.12X_1^2 - 217.51X_2^2 - 67.9X_3^2 \quad (1)$$

对回归模型(1)进行方差分析, $F_{\text{失拟}} = 0.313 [F_{\text{失拟}0.05}(5, 5) = 5.05]$, $F_{\text{拟合}} = 8.172^{**} [F_{\text{拟合}0.05}(9, 10) = 3.02, F_{\text{拟合}0.01} = 4.94]$, 复相关系数 $R = 0.9394$, 表明未控制因素对试验结果影响较小, 试验所建模型达极显著水平, 能反映玉米产量与灌水量以及 N、P 肥施用量间的关系。回归模型偏回归系数表明, 灌水量与 N、P 肥施用量均对玉米具有明显增产作用, 其影响显著性依次为灌水量 > N 肥 > P 肥, 表明水是影响玉米产量的主要因子, 是发挥肥效的关键。

采用降维法对模型(1)中任意 2 因子取 0 水平编码值可得另 1 因素对玉米产量的偏回归方程为:



$$\begin{cases} Y = 7448.4 + 221.62X_1 - 109.12X_1^2 \\ Y = 7448.4 + 172.68X_2 - 217.51X_2^2 \\ Y = 7448.4 + 88.59X_3 - 67.9X_3^2 \end{cases} \quad (2)$$

按模型(2)作图 1, 由图 1 可知玉米产量在 $-1.682 \leq X_i \leq 1.682$ 时随 N、P 肥施用量的增加而呈抛物线增加, 即 N、P 肥施入量达最高产量对应值时, 超量 N、P 肥投入将增加玉米生产成本并导致其减产; 随灌水量的增加, 0 编码前玉米产量基本呈直线增加, 而 0 编码后玉米产量渐进增加, 达到 1 编码后玉米产量基本不再增加, 表明干旱年份水是限制玉米产量的主要因子, 玉米苗期和拔节期是灌水的关健期, 灌水量达玉米生长要求后, 过多的水分只能造成水分蒸发, 而不能提高玉米产量。对模型(2)求导得出

图 1 试验因子对玉米产量的影响

Fig. 1 The effect of experimental factors on maize yield

玉米边际产量模型为:

$$\begin{cases} dY/dX_1 = 221.62 - 218.24X_1 \\ dY/dX_2 = 172.68 - 435.02X_2 \\ dY/dX_3 = 88.59 - 135.8X_3 \end{cases} \quad (3)$$

令 $dY/dX_i = 0$, 求得玉米最高产量 Y 对应 3 因子的编码值 $X_1 = 1.015$ (相当于田间持水量的 83.27%), $X_2 = 0.3969$ (相当于施 N $341.09\text{kg}/\text{hm}^2$), $X_3 = 0.6523$ (相当于施 P_2O_5 $187.18\text{kg}/\text{hm}^2$), 表明大豆玉米间作较单作作物需水量高, 且玉米利用大豆根瘤的固 N 作用, 可减少 N 肥施用量, 但大豆吸 P 能力强, 应增加 P 肥施用量。

水、肥互作效应对玉米产量的影响。由回归模型(1)可知, X_1X_2 、 X_1X_3 和 X_2X_3 交互项系数均为正值, 表明水与 N 肥、水与 P 肥、N 肥与 P 肥间为正的交互作用, 具有相互促进作用。产量回归模型(1)中固定 P 肥为 0 编码水平, 对回归模型降维分析可得水与 N 肥 2 因素间的交互作用回归模型:

$$Y = 7448.4 + 221.62X_1 + 172.68X_2 + 72.93X_1X_2 - 109.12X_1^2 - 217.51X_2^2 \quad (4)$$

由回归模型(4)作出 P 为 0 编码水平时, 水与 N 肥 2 因素交互作用等产线图见图 2。由图 2 可知低灌水量时 N 肥效应较小, 且低 N 时水效应也较小, N 肥效应随灌水量的增加而增加, 2 因素交互作用中水效应 > N 肥效应。由模型(4)可得玉米最高产量达 $7623.1\text{kg}/\text{hm}^2$ 时对应水编码值为 1.168 (相当于田间持水量的 85.79%), N 编码值为 0.593 (相当于施 N $373.25\text{kg}/\text{hm}^2$)。玉米达最高产量后过量施用 N 肥会导致减产, 且灌水量越少减产幅度越大, 表明过量施用 N 肥会加重水分胁迫, 适宜水分条件有利于发挥 N 肥效应, 同样适宜 N 肥用量有利于提高水分利用率, 水、N 间有相互促进作用。产量回归模型(1)中固定 N 肥为 0 编码水平, 水、P 2 因素交互作用回归模型为:

$$Y = 7448.4 + 221.62X_1 + 88.59X_3 + 93.75X_1X_3 - 109.12X_1^2 - 67.9X_3^2 \quad (5)$$

由回归模型(5)作出 N 为 0 编码水平时, 水与 P 肥 2 因素交互作用等产线图见图 3。由图 3 可知增产作用水 > P, P 肥效应受水效应影响较大, 低灌水量时 P 肥基本无效。当 P 编码值为 $-1.682 \sim 0$ 时 P 肥效应随灌水量的增加而增加, 表明灌水有利于提高 P 肥利用率, 试验表明植物对 P 的吸收与土壤含水量成直线相关。本试验条件下当 N 肥施用量为 0 编码水平、玉米达最高产量 $7719.6\text{kg}/\text{hm}^2$ 时, 水编码值为 1.777 (相当于田间持水

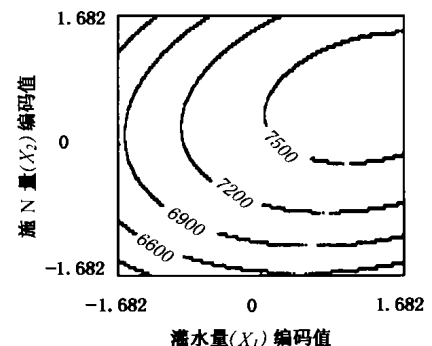


图 2 水、N 交互作用等产线图

Fig. 2 Yield isopleth of water-nitrogen interaction

量的 96.63%), P 编码值为 1.879(相当于施 P_2O_5 285.32kg/hm²), 高水高 P 条件下玉米产量较高, 表明干旱年份水肥充足是玉米获得高产的保证。产量回归模型(1)中固定水为 0 编码水平, N、P 2 因素交互作用回归模型为:

$$Y = 7448.4 + 172.68X_2 + 88.59X_3 + 62.51X_2X_3 - 217.51X_2^2 - 67.9X_3^2 \quad (6)$$

由回归模型(6)作出水为 0 编码水平时, N、P 肥 2 因素交互作用等产线图见图 4。由图 4 可知增产作用总趋势为 N 肥效应大, P 肥效应小, 且低 N 下 P 肥基本无效, 当 N 编码值 > -1 时 P 肥才显效, P 肥效应随 N 肥施用量的增加而增加, 表明 N 编码值 < -1 时土壤中的 P 已

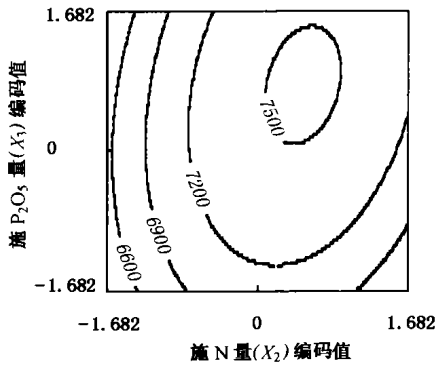


图 4 N、P 交互作用等产线图

Fig.4 Yield isopleth of nitrogen-phosphorus interaction

能满足玉米产量需求; 当 N 编码值为 0.525(相当于施 N 362.1 kg/hm²)、P 编码值为 0.894(相当于施 P_2O_5 206.52kg/hm²) 时玉米达最高产量 7533.41kg/hm², 超过此用量增施任何 1 种肥料均造成玉米减产, 表明农业生产中合理的 N、P 肥配比极其重要。

水肥条件对大豆产量的影响。将试验小区大豆产量按 40% 折算(kg/hm²), 用计算机进行统计分析可得大豆产量(Y)与灌水量(X_1)、N 肥(X_2)和 P 肥(X_3)间的回归数学模型为:

$$Y = 1203.04 + 102.9X_1 + 71.7X_2 + 100.42X_3 + 69.88X_1X_2 - 68.55X_1X_3 + 50.22X_2X_3 - 23.21X_1^2 - 70.59X_2^2 - 24.07X_3^2 \quad (7)$$

对回归模型(7)进行方差分析, $F_{拟合} = 11.21^{**}$, 复相关系数

$R = 0.9541$, 表明回归模型与实测值拟合较好, 达极显著水平, 能反映大豆产量与灌水量及 N、P 肥施用量间的关系。回归模型的偏回归系数表明, 灌水量与 N、P 肥施用量对大豆均具有明显增产作用, 其影响显著性依次为灌水量 > P 肥 > N 肥, 表明水是影响大豆产量的主要因子, 其原因是水提高了 P 肥利用率, 增强了大豆固 N 能力。在互作效应中灌水量与 N 肥施用量、N 肥与 P 肥施用量间为正效应, 表明灌水与 N 肥施用、N 肥与 P 肥施用对大豆生长发育有互促进作用。

玉米、大豆高产优化水肥方案。本试验条件下玉米获得最高产量 $Y = 7917.3\text{kg/hm}^2$ 的组合方案 $X_1 = 1.682$, $X_2 = 1$, $X_3 = 1.682$; 大豆获得最高产量 $Y = 1476.63\text{kg/hm}^2$ 的组合方案 $X_1 = 1.682$, $X_2 = 1.682$, $X_3 = 1.682$ 。但对大田生产而言,

Y_{max} 并不一定代表生产上的最优, 为取得水肥措施在生产上的可靠性, 采用产量频率分析法进一步分析, 在 $-1.682 \leq X_i \leq 1.682$ 区间经微机运算求得 125 套组合方案, 其中玉米产量 > 7300kg/hm² 组合方案 25 套, 大豆产量 > 1300kg/hm² 组合方案 21 套。由表 2 可知玉米、大豆最佳产量优化水肥方案灌水量为田间持水量的 78.5%~87.69%, 施 N 肥量为 431.37~445.54kg/hm², 施 P_2O_5 肥量为 175.75~225.17kg/hm²。

3 小 结

间作灌水量与 N、P 肥施用量 3 因素中玉米增产效应为水 > N 肥 > P 肥, 大豆为水 > P 肥 > N 肥。水与 N 肥、水与 P 肥、N 肥与 P 肥交互作用中玉米和大豆增产效应为水 > 肥, 施肥效应随灌水量的增加而提高, 干旱年份玉米和大豆苗期、玉米拔节期、大豆初花期是需水关键期, 特别是玉米拔节期和大豆初花期水分充足增施 N、P 肥则玉米、大豆增产较大。本试验条件下获得玉米产量 > 7300kg/hm²、大豆产量 > 1300kg/hm² 的土壤含水量约占田间持水量的 78.5%~87.69%, 施 N 431.37~445.54kg/hm², 施 P_2O_5 175.75~225.17kg/hm²。

参 考 文 献

1 萧 兵, 钟俊维. 农业多因素试验设计与统计分析. 长沙: 湖南农业科技出版社, 1985. 332~360

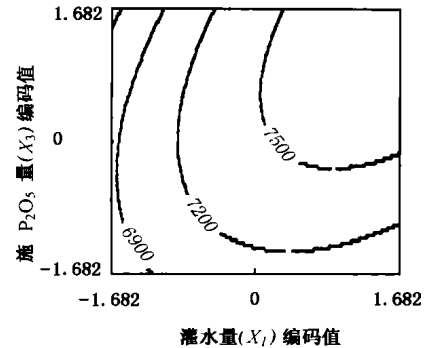


图 3 水、P 交互作用等产线图

Fig.3 Yield isopleth of water-phosphorus interaction

表 2 玉米、大豆高产优化水肥方案*

Tab.2 Fine water-fertilizer scheme of maize and soybean high-yield

项 目 Items	编码值 Code		
	X_1	X_2	X_3
玉米产量 > 7300kg/hm ²	0.7502~1.2608	0.4936~1.0338	0.5094~1.1271
大豆产量 > 1300kg/hm ²	0.6993~1.3787	0.9474~1.3816	0.2542~1.1528
交 集 范 围	0.7502~1.2608	0.9474~1.0338	0.5094~1.1271

* 最优配比方方案 X_1 为 78.5%~87.69%, X_2 为 431.37~445.54kg/hm², X_3 为 175.75~225.17kg/hm²。