

玉米密度、行距和穴距对间作大豆光合速率的效应分析

林绍森,唐永金

(西南科技大学生命科学与工程学院,四川绵阳 621010)

摘要 应用三因素五水平回归正交旋转组合设计的方法,研究了玉米密度、行距和穴距对间作大豆光合速率的影响,并建立相应回归方程。结果表明:方程拟合程度较好,玉米密度、行距和穴距对间作大豆光合速率有显著的影响。玉米密度对间作大豆光合速率的效应呈现倒抛物线曲线,玉米行距和穴距对间作大豆光合速率的效应呈现抛物线曲线。玉米行距和穴距对间作大豆光合速率具有交互效应。在玉米生产密度下,适当增加玉米生产的行距和穴距,可以提高间作大豆的光合速率。

关键词 玉米密度;玉米行距;玉米穴距;间作大豆光合速率;影响

中图分类号 S565.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-9841(2007)02-0149-05

EFFECTS OF DENSITY, ROW SPACING AND HOLE SPACING OF MAIZE ON INTERCROPPED SOYBEAN'S PHOTOSYNTHETIC RATES

LIN Shao-sen, TANG Yong-jin

(School of Life Science and Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010)

Abstract The effect of density, row spacing and hole spacing of maize on soybean photosynthetic rates were researched using orthogonal and rotational combination designs with three factors and five levels, and regression equation were established. The results showed that the regression equations were available, and the effects of density, row spacing and hole spacing of maize on soybean photosynthetic rates were significant. The effect curve of density of maize on soybean photosynthetic rate was a reverse parabola. The effect curves of row spacing and hole spacing of maize on soybean photosynthetic rates were parabola. There was interaction of the effects between row spacing and hole spacing of maize on soybean photosynthetic rates. The soybean photosynthetic rates could be advanced if the row spacing and hole spacing of maize production were a little raised under the present maize production density.

Key words Density of maize; Row spacing of maize; Hole spacing of maize; Intercropped soybean photosynthetic rate; Effect

大豆与玉米间作是一种传统的种植方式,它们是矮秆作物、禾本科作物间作的典型代表。许多学者对大豆与玉米间作的种植技术^[1~4]、产量变

化^[5~8]、病虫害防治^[9]、根系形态^[10]、养分利用^[11]、养分积累^[12]等方面进行了深入细致的研究。也有学者研究了遮荫对大豆主要经济性状^[13]、大豆激素

收稿日期:2006-10-25

作者简介:林绍森(1977-),男,硕士研究生,研究方向植物生理生态。

通讯作者:唐永金教授, E-mail: tangyongjin@swust.edu.cn

和相关酶活性的影响^[14]。但是,关于间作玉米对大豆的光合特性影响的报道甚少,特别是在玉米植株不同的田间分布下,大豆光合生理的变化规律尚未见到研究报道。本试验通过调控玉米的密度、行距和穴距,重点研究间作体系下大豆的光合速率特性,并建立相应的数学模型,从光合生理上为大豆-玉米间作的提供栽培模型和理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

采用三因素五水平二次回归正交旋转组合
表1 试验因素与水平设计

Table.1 Experiment factors and designs of level

试验因子 Experiment actor	单位 Units	水平编码 Code of level						
		1.682	1	0	-1	-1.682	△	γ
玉米密度 X_1 Density of maize	株/667m ² Plant/667m ²	4000	3594.5	3000	2405.5	2000	594.5	1.682
玉米行距 X_2 Row spacing of maize	m	1.1	1.0189	0.9	0.7811	0.7	0.1189	1.682
玉米穴距 X_3 Hole spacing of maize	m	0.7	0.6189	0.5	0.3811	0.3	0.1189	1.682

试验设在我校试验农场(原绵阳市农科所棉花试验地),前季休闲。土壤肥沃,有机质含量 1.5%;全氮量 0.13%,速效氮 110 mg/kg;全磷量 0.09%,速效磷 32 mg/kg;全钾量 1.28%;有效钾75 mg/kg。试验前土地用旋耕机整细整平。

试验玉米品种“川单 15”,株高 260 cm 左右,株型平展;大豆品种为当地间作大面积使用的晚熟地方品种“九月黄”。

玉米为育苗移栽,以保证密度、行距和穴距。玉米移栽前,穴施 NPK 复合肥(含 N17%,P₂O₅17%,K₂O17%)25 kg/667m²,肥料计量到行,匀施深施于穴。玉米移栽成活后,直播大豆。具体时间是 3 月 14 日玉米盖膜育苗,3 月 31 日移栽至大田,4 月 8 日播种大豆。各小区管理水平相同。

1.2 测定方法

大豆光合速率测定时间为 7 月 4 日晴天午后 13:00~15:30。每处理测定第 3 行中间大豆 5 株,每株测定叶片为主茎第 3 复叶的中间小叶,以 5 株平均值进行分析。测定仪器为英国产 LGi 便携式光合仪。为了减少光照强度等随时间变化而引起光合速率变化的误差,7 月 5 日晴天午后 13:00~15:30,对 23 号小区(处理)的同一株大豆,进行 23 次测定作为对照,每次测定时间和 7 月 4 日 23 个小区测定

设计^[15,16]。三因素分别为玉米密度、玉米行距和玉米穴距。试验因素及水平编码见表 1。共计 23 个试验号(处理),重复数为 1,一个试验号(处理)为一个小区。各试验号的水平编码方法见参考文献^[15]。各试验号(小区)间留走道 1.2 m,每个小区(试验号)种植玉米 6 行,行长 6 m。玉米密度通过控制每穴株数来实现,最小每穴 1 株,最大每穴 4 株。每两行玉米中间播种大豆一行,每小区(处理)5 行,大豆穴距 30 cm,每穴播种 4 粒,定苗 2 株。

时间相同,以此确定时间矫正系数。以第一个对照数据为标准,矫正系数为 1,再用第一个对照数据分别除以另外 22 个对照数据,总共得到 23 个矫正系数。根据各处理间作大豆光合速率测定值,乘以相应测定时间的校正系数,得到各处理光合速率值。

2 结果与分析

2.1 玉米密度、行距和穴距对间作大豆光合速率影响的数学模型

根据矫正后的数据和二次回归正交旋转组合设计的相关计算公式^[16],建立间作大豆光合速率(Y)数学模型为:

$$Y=8.8848-0.9341X_1+0.7548X_2+0.7874X_3-0.3871X_1X_2+0.1748X_1X_3+0.9191X_2X_3+0.8937X_1^2-0.4161X_2^2X_2-0.3016X_2^2X_3$$
 (1)

为了检验回归方程的有效性,分别对方程进行失拟性测验和显著性测验。

方差分析表明:方程一次项中,玉米密度、行距和穴距的 F 值分别是 8.04、5.25 和 5.71,均达到显著水平($F_{0.05(1,13)}=4.67$);交互项没有一个显著;二次项中,密度的 F 值是 8.56,达到显著水平,其余不显著。

方程失拟性检验的 $F = 0.6984 < F_{0.05(5,8)} = 3.69$,失拟项不显著,说明回归方程拟合程度较好,无失拟因素存在。

方程显著性测验的 $F = 3.886 > F_{0.05(9,13)} = 2.71$,回归方程达到显著水平。说明试验数据与采用的二次数学模型基本是吻合的,方程与实际情况拟合较好,可以直接利用模型作进一步分析。

回归方程的复决定系数 $R^2 = 0.729$,说明玉米种植密度、行距、穴距的配合使用对间作大豆光合速率影响达 73%;复相关系数 $R = 0.853826 > R_{0.01(19)} = 0.665$,说明试验的三个因子与大豆光合速率关系的密切程度达到极显著水平。

2.2 模型的解析

2.2.1 因子的主效应分析 显著性检验结果显示,一次项玉米行距 (X_2)、玉米穴距 (X_3)、玉米密度 (X_1) 均达到显著水平,说明在玉米大豆间作体系中,三个因素对大豆光合速率影响都非常重要。利用降维法进一步分析,即分别固定其中两个因子为零水平,就得到另一个因子与大豆光合速率的关系如下:

$Y_{x1} = 8.8848 - 0.9341X_1 + 0.8937X_1^2 \tag{2}$

$Y_{x2} = 8.8848 + 0.7548X_2 - 0.4161X_2^2 \tag{3}$

$Y_{x3} = 8.8848 + 0.7874X_3 - 0.3016X_3^2 \tag{4}$

根据方程(2)、(3)、(4)的计算结果作出图 1。从图 1 可以看出,玉米密度在最低水平,即 -1.682 (2000 株/ 667m^2) 水平时大豆光合速率达到最大值 $12.984\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,随着玉米密度增加,间作大豆的光合速率急剧降低,到玉米密度增加到 0 水平 ($3\text{ }000$ 株/ 667m^2) 以后,大豆光合速率下降缓慢或有所增加。玉米行距曲线在 -1.682 (0.7 m) ~ 1 (1.02 m) 水平之间,大豆光合速率随着玉米行距的增加而明显提高,在 1 水平达到最大, $9.2236\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。然后随着玉米行距的增加,大豆光合速率开始减弱。玉米穴距曲线和行距曲线变化情况相似,在 -1.682 到 1 水平,即穴距在 $0.30\sim 0.62\text{ m}$ 之间,大豆光合速率随着玉米穴距的增加而提高,但到玉米穴距达到 1.682 水平 (0.7 m) 时,大豆光合速率有所降低。

根据处理因素水平编码和实际取值的数学关系 $X_j = (Z_j - Z_0)/\Delta_j$ [15] 把它代入公式(2) - (4),就可以得到玉米实际密度、行距、穴距与大豆光合速率的估值模型:

$Y_1 = 36.3539 - 0.0167Z_1 + (0.8937/594.53^2)Z_1^2 \tag{5}$

$Y_2 = -20.6697 + 59.3282Z_2 - 29.4332Z_2^2 \tag{6}$

$Y_3 = 0.24044 + 27.9556Z_3 - 21.3336Z_3^2 \tag{7}$

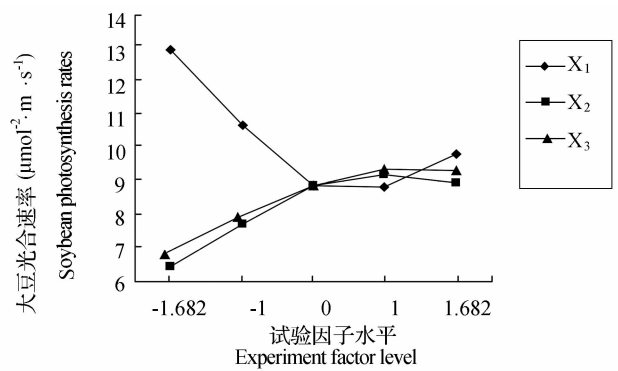


图 1 试验因子的主效应分析

Fig. 1 The main effects of experimental factors

在(5) - (7)式中, Z_1 、 Z_2 、 Z_3 直接表示玉米密度、行距和穴距, Y_1 、 Y_2 、 Y_3 表示大豆光合速率。根据函数极值的概念,(5)式有极小值,(6)、(7)式有极大值,对它们分别求导,并令 $dy_i/dz_i = 0$ ($i = 1, 2, 3$),可得到: $Z_1 = 3310.71$, $Z_2 = 1.0078$, $Z_3 = 0.6552$ 。也就是说,在本研究三因素的水平内,当其他两因素处于平均水平时,间作大豆光合速率最小时的玉米密度为 3310.7 株/ 667m^2 ;间作大豆光合速率最大时的玉米行距为 1.0078 m ,玉米穴距为 0.6552 m 。

2.2.2 单因子的边际效应分析 边际效应是指玉米密度、行距、穴距处理因子每增加一单位,对间作大豆光合速率所增加的量。由公式(1)分别求出 Y 对 X_1 、 X_2 、 X_3 的偏导数,再降维,得出本试验中各因子的边际效应模型 [15]:

$\frac{\partial Y}{\partial X_1} = -0.9341 + 1.7874X_1 \tag{8}$

$\frac{\partial Y}{\partial X_2} = 0.7548 - 0.8322X_2 \tag{9}$

$\frac{\partial Y}{\partial X_3} = 0.78736 - 0.6032X_3 \tag{10}$

把各因子各个水平编码分别代入相应的模型,即可得到在特定条件下各因素不同水平的边际效应,见表 2。

从表 2 可见,玉米各处理因子在不同水平下对间作大豆光合速率的影响程度是不同的。玉米密度对间作大豆光合速率的边际效应是随着密度的增加而增加;玉米行距或穴距对间作大豆光合速率的边际效应是随着行距或穴距的增加而降低。

表 2 各因子不同水平对间作大豆光合速率影响的边际效应分析

Table 2 The marginal effect of every factor with every level on soybean photosynthetic rates
($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

因子 Factors	-1.682	-1	0	1	1.682
玉米密度 X_1 Density of maize	-3.9405213	-2.721515	-0.934117	0.8532819	2.0722878
玉米行距 X_2 Row spacing of maize	2.1546110	1.5870466	0.7548406	-0.077365	-0.64493
玉米穴距 X_3 Hole spacing of maize	1.8019302	1.3905517	0.787357	0.184163	-0.227215

2.2.3 两因子的综合效应分析 在本试验中,玉米行距(X_1)和穴距(X_3)对间作大豆光合速率的单因素效应和边际效应具有相似的变化规律,因而仅就它们的交互效应进行分析。利用已建立的三因素数学模型,把 X_1 固定在零水平,便可获得 X_2 和 X_3 对大

表 3 玉米行距和穴距的交互效应分析

Table 3 The interactions of effects between row spacing and hole spacing of maize on soybean photosynthetic rates
($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

X_2		编 码 值 Code of level					CV(%)
		-1.682	-1	0	1	1.682	
X_3	-1.682	6.57493	6.91236	6.70725	5.66992	4.48515	16.56181
	-1	6.72509	7.44305	7.79588	7.31651	6.51226	7.38413
编码值	0	6.43799	7.71389	8.88484	9.22357	8.97727	14.15362
Code of level	1	5.54769	7.38154	9.37060	10.52744	10.83909	25.62629
	1.682	4.59454	6.80891	9.35592	11.07071	11.76288	34.34277
	CV(%)	15.02565	5.24317	13.69019	25.71840	35.43282	

3 小结与讨论

光照条件影响大豆光合生理等许多方面^[14,17,18]。玉米和大豆间作,影响大豆的光照,使玉米和大豆间既存在光互补又有光竞争。在大豆和玉米间作栽培中,玉米密度、行距和穴距的变化使玉米植株与大豆植株的距离不同,导致大豆所接受的遮荫或受光条件不同,从而使间作大豆的光合速率受到不同程度的影响。

3.1 玉米密度、行距和穴距对间作大豆光合速率都有显著的影响。玉米密度从 2000 株/667m²增加到 3310 株/667m²,间作大豆的光合速率急剧下降,但随着玉米密度继续增加,大豆光合速率又略有增加。说明随着玉米密度增加,对间作大豆的遮荫加重,导致间作大豆光合速率明显下降。但玉米密度增加到

豆光合速率的效应子模型:
$$Y = 8.8848 + 0.7549X_2 + 0.7874X_3 + 0.818109X_2X_3 - 0.4161X_2^2X_2 - 0.3016X^2X_3 \quad (11)$$

根据(11)式,可以计算出玉米行距和穴距对间作大豆光合速率影响的交互效应值。从表 3 可见,玉米行距和穴距都在 1 ~ 1.682 水平时,即行距 1.02 ~ 1.10 m,穴距 0.62 ~ 0.70 m 时,间作大豆的光合速率较高,在 10 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上。玉米行距最小(0.7 m)与穴距最大(0.7 m),或穴距最小(0.3 m)与行距最大(1.1 m)时,间作大豆的光合速率较低,在 5 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下。

在表 3 中,不同编码值变异系数(CV)的大小反映了它对间作大豆光合速率影响的大小。一般而言,在玉米行距较大或穴距较大时,对间作大豆光合速率的影响也比较大。在玉米行距或穴距处于中下水平(-1 水平)对大豆光合速率的影响较小。

一定程度以后,密度对间作大豆光合速率的不利影响就不那么明显了。本实验还测定了大豆植株顶部光照强度,也建立了回归方程。分析表明,当玉米密度从 2000 株/667m²增加到 3000 株/667m²时,大豆植株顶部光照强度从 24.1klx 急剧下降到 13.5klx,这和大豆光合速率的变化规律相符。当玉米密度继续增加,从 13.5klx 降至 12.8klx,光照强度减弱变慢。

玉米行距和穴距小的时候,大豆光合速率较低,随着行距和穴距的加大,大豆光合速率迅速提高,当玉米行距和穴距分别为 1.01 m,0.66 m 时大豆光合速率最高。说明增加玉米行距和穴距,可以减少玉米对大豆遮光,有利于间作大豆的光合作用。对光照强度模型的分析表明,光照强度随玉米行距和穴距的增加而呈增加趋势。但当玉米行距和穴距继续增大,大豆光合速率反而下降。其原因可能是,大豆光合速率不仅受光照强度影响,它还受温度、CO₂ 浓度等因素的综合影

响,在一定温度条件下,CO₂浓度对大豆光合速率影响非常显著,呈正相关^[19,20]。用LCi便携式光合仪测定了大豆叶表面温度和CO₂浓度,处理间叶表面温度变化不大,CO₂浓度变化较大。用CO₂浓度数据建立回归方程表明,玉米行距和穴距在0~1.682水平间,大豆叶面的CO₂浓度随玉米行距和穴距的增加而减少,特别是玉米穴距在0~1.682水平间,大豆叶面的CO₂浓度从407 vpm下降到359 vpm。因此,玉米行距和穴距过大,可使大豆植株顶部光照强度有一定程度增加,但也使大豆叶面CO₂浓度明显降低,从而使大豆光合速率有所下降。就提高大豆光合速率而言,在四川绵阳,仅考虑单因子的影响,间作大豆的玉米行距在1 m左右,穴距在0.60~0.65 m比较适宜。

3.2 在玉米密度保持一般水平(3 000株/667m²)时,玉米行距和穴距对间作大豆光合速率的影响存在交互效应。玉米行距和穴距都在1~1.682水平时,即行距1.02~1.10 m,穴距0.62~0.70 m时,间作大豆的光合速率较高。因此,如果考虑玉米行距与穴距的互作效应,在玉米密度为3000株/667m²的条件下,为了提高间作大豆的光合效率,玉米行距应该在1.02~1.10 m,穴距应该在0.62~0.70 m比生产上现有玉米行距(1 m左右)和穴距(0.5~0.6 m)略大一些。

3.3 本试验采用三因素五水平二次回归正交旋转设计,对所建回归模型的失拟性和显著性测验表明,模型拟合程度较好,玉米密度、行距和穴距对间作大豆光合速率的影响应该引起大豆-玉米间作栽培的重视。在水平选择上,把一般生产水平作为零水平,其结果对生产有一定指导意义。

在本研究的因子处理上,根据设计,先确定玉米密度,即株/667m²;然后确定玉米行距,根据每行的面积,计算每行的玉米株数;最后确定玉米穴距,计算每行的穴数,根据每行玉米的株数和穴数计算每穴玉米的株数。当每穴玉米株数有小数时,采取部分穴多一株或少一株的办法,保证每行的玉米株数。这种处理办法总体上保证了玉米的设计密度、行距和穴距。但每穴玉米株数不完全一致(少数或个别穴多一株或少一株),对穴距的遮光效应可能会有一定影响。因此,在玉米株数为整数的前提下,如何按照正交旋转设计,既要把玉米生产密度、行距和穴距作为零水平,保证总体设计密度、行距和穴距,又

要保证同一处理每穴玉米的株数相同,在大豆-玉米间作中值得进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 沈学年,刘巽浩等.多熟种植[M].北京:农业出版社,1983:179~194.
- [2] 梁泉,尹元萍,杨通新.玉米大豆间作试验初步研究[J].耕作与栽培,2004,(5):16~38.
- [3] Byth DE. Correlated truncation selection for yield in soybeans [J]. Crop Science,1969,(9):699~702.
- [4] Mohta NK. Intercropping maize and sorghum with soybean [J]. Journal of Agricultural Science,1980,(1):117~122.
- [5] 谢永利,陈颖.不同间作方式对玉米产量的影响[J].山地农业生物学报,2004,(5):381~385.
- [6] 冷志杰,贝丽霞,徐中儒,等.不同熟期大豆、玉米间作的产量产值数学模型的建立[J].吉林农业大学学报,1998,(1):16~19.
- [7] 吴善堂.玉米、大豆不同组合形式对产量与地力的影响[J].耕作与栽培,1986,(6):10~14.
- [8] 崔远萍,陈颖,赵利晖,等.钼肥对玉米大豆间作体系的增产效应[J].山地农业生物报,2004,(4):293~299.
- [9] 王玉正,孙跃海.大豆玉米间作和同穴混播对大豆病虫害发生的综合效应研究[J].植物保护,1998,(1):13~15.
- [10] 宋日,牟瑛,王玉兰,等.玉米、大豆间作对两种作物根系形态特征的影响[J].东北师大学报自然科学版,2004,34(3):83~84.
- [11] Tilman D. Resource competition and community structure [M]. Princeton: Princeton University Press, 1982: 231~258.
- [12] 李少明,赵平,范茂攀,等.玉米大豆间作条件下氮素养分吸收利用研究[J].云南农业大学学报,2004,(5):572~574.
- [13] 陈怀珠,孙祖东,杨守臻,等.荫蔽对大豆主要性状的影响及大豆耐荫性鉴定方法研究初报[J].中国油料作物学报,2003,(4):78~81.
- [14] 张秋英,刘晓冰,金剑,等. R₅期遮荫对大豆植株体内源激素和酶活性的影响[J].大豆科学,2000,(4):362~365.
- [15] 荣廷昭主编.农业试验与统计分析[M].成都:四川科技出版社,1993:249~270.
- [16] 盖钧镒.实验统计方法[M].北京:中国农业出版社,2000:43~46.
- [17] 沈黎明,孙君明,丁安林.不同光照条件下大豆体内异黄酮的含量与分布[J].中国油料作物学报,1999,(2):36~39.
- [18] 胡国华,宁海龙,王寒东,等.光照强度对大豆产量及品质的影响. I 全生育期光照强度变化对大豆脂肪和蛋白质含量的影响[J].中国油料作物学报,2004,(2):86~88.
- [19] 郑国生,吴乃元.CO₂浓度升高对大豆冠层光合速率影响的数值模拟研究[J].生物数学学报,2001,16(4):430~438.
- [20] 潘瑞炽.植物生理学[M].北京:高等教育出版社,2001:90~95.