

## 密度和施肥量对不同分枝类型大豆产量的影响

杨继学, 黄珊珊, 杨明亮, 王继安

(东北农业大学 大豆研究所 教育部大豆生物学重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150030)

**摘要:**采用三因素裂区试验设计,以东81735(寡分枝)、东03-2176(中等分枝)和东0331(多分枝)3个品种(系)为主区,4个种植密度(10、15、20和24万株·hm<sup>-2</sup>)为裂区,4种施肥量(300、500、700和900 kg·hm<sup>-2</sup>)为再裂区,研究了不同密度和施肥量对不同分枝类型大豆品种(系)产量的影响。结果表明,在不同肥密条件下,群体叶面积指数(LAI)呈单峰曲线变化,且最大值出现在盛荚期。3个品种的LAI峰值都出现在密度24万株·hm<sup>-2</sup>和施肥量900 kg·hm<sup>-2</sup>的组合中。中等分枝品种东03-2176在密度为20~30万株·hm<sup>-2</sup>,施肥量为700~900 kg·hm<sup>-2</sup>时获得较高产量;多分枝品种在密度为20万株·hm<sup>-2</sup>,施肥量为900 kg·hm<sup>-2</sup>时获得高产。

**关键词:**大豆产量;密度;施肥量;叶面积指数;高产潜力

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2012)03-0381-04

## Effect of Density and Fertilizer Amount on Yield of Different Branching Types of Soybeans

YANG Ji-xue, HUANG Shan-shan, YANG Ming-liang, WANG Ji-an

(Soybean Research Institute, Northeast Agricultural University, Key Laboratory of Soybean Biology in Chinese Education Ministry, Harbin 150030, Heilongjiang, China)

**Abstract:** The effect of planting density and fertilizer level on different branching soybeans were studied by the means of a split plot experiment. Three soybean lines (few-branched Dong-8175, mid-branched Dong-03-2176, multi-branched Dong-0331), four planting densities (1.0, 1.5, 2.0 and  $2.4 \times 10^5$  plant·ha<sup>-1</sup>) and four fertilizing amounts (300, 500, 700 and 900 kg·ha<sup>-1</sup>) were included in this study. The results showed that the maximum of leaf area index (LAI) of three lines appeared in the high density ( $2.4 \times 10^5$  plant·ha<sup>-1</sup>) and high fertilizer (900 kg·ha<sup>-1</sup>) combination in R4 stage. For mid-branched Dong-03-2176, the highest yield was obtained at the planting density of  $2.0 \times 10^5$  –  $3.0 \times 10^5$  plant·ha<sup>-1</sup> with fertilization of 700 – 900 kg·ha<sup>-1</sup>; for multi-branched Dong-0331, the highest yield was achieved at planting density of  $2.0 \times 10^5$  plants·ha<sup>-1</sup> and fertilization rate of 900 kg·ha<sup>-1</sup>.

**Key words:** Soybean yield; Density; Fertilizer amount; LAI; High yield potential

高产攻关一直是大豆科技工作者研究的重要课题<sup>[1]</sup>。密度和施肥管理是影响大豆产量的重要栽培措施。赵秀兰<sup>[2]</sup>认为,密植可以增加有效株数和叶面积指数,提高光能利用率,进而增加大豆群体产量。苗以农等<sup>[3]</sup>研究表明,有限和亚有限结荚习性品种,密度为19~23株·m<sup>-2</sup>,株高100 cm左右,主茎节20个,分枝3~7个,单株结荚48~56个,粒数105~122个,百粒重22~22.5 g时,单位面积产量可达4 500 kg·hm<sup>-2</sup>。孙贵荒<sup>[4]</sup>研究表明,合理密植的株数是16.6万株·hm<sup>-2</sup>。赵纶铎等<sup>[5]</sup>认为,N肥105~120 kg·hm<sup>-2</sup>;P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 45 kg·hm<sup>-2</sup>;K<sub>2</sub>O 8 kg·hm<sup>-2</sup>比较合理,产量可达4 023 kg·hm<sup>-2</sup>。何建国<sup>[6]</sup>对氮肥管理提出“提前施,分次施”的方法,即改开花期追肥为开花前追肥,改一次性追肥为分量分次追肥,可提高大豆产量。前人诸多研究

表明,优良的品种、合理的密度和适当的肥力对大豆产量起着决定性的作用。该试验着重研究种植密度和施肥量对不同分枝类型大豆产量的影响,旨在为大豆高产栽培提供理论依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验设计

试验于2011年在东北农业大学香坊农场进行,该地块≥10℃年有效积温2 700~2 800℃,无霜期135 d左右。属温带大陆性气候,年降雨量450~550 mm。试验区前茬作物为大豆,土质为壤土,试验地0~20 cm土层有机质为29.80 g·kg<sup>-1</sup>,铵态氮4.42 mg·kg<sup>-1</sup>,硝态氮13.45 mg·kg<sup>-1</sup>,速效磷29.40 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾126.00 mg·kg<sup>-1</sup>,有机碳17.31 g·kg<sup>-1</sup>。

收稿日期:2012-12-12

基金项目:转基因生物新品种培育重大专项(2009ZX8009-089B)。

第一作者简介:杨继学(1987-),男,在读硕士,研究方向为大豆高产潜力。E-mail:yangxue1166@126.com。

通讯作者:王继安(1956-),男,研究员,博士生导师,研究方向为大豆遗传育种。E-mail:wangsoy@yahoo.com.cn。

试验采用3个品系,分别为东81735(寡分枝)、东03-2176(中等分枝)和东0331(多分枝)。采用裂-裂区设计,主区为3个大豆品种(系),分3个水平,即东81735、东03-2176和东0331,分别记作A1、A2、A3。裂区为播种密度,分4个水平,即10、15、20和24万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ ,分别记作B1、B2、B3、B4。再裂区为施肥量,采用高效复合肥( $\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}=15:23:10$ ,总养分 $\geq 48\%$ ),设300、500、700和900 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 4个肥力水平,分别记作C1、C2、C3、C4,开沟深施,覆土后播种。共48个处理,3次重复,共144个小区,小区采用4行区,行长5m,行距0.7m,小区面积14 $\text{m}^2$ 。5月4日播种,常规田间管理。

## 1.2 测定项目与方法

1.2.1 叶面积指数(LAI) 分别在苗期(V3)、始花期(R1)、盛花期(R2)、始荚期(R3)、盛荚期(R4)、始粒期(R5)、满粒期(R6)、始熟期(R7)取样。在各生育时期选取3株代表性植株上的20片叶片用直径为1cm打孔器打孔并测定鲜重,然后放在80℃下(烘箱FY-DR-3)烘干至恒重,测定叶片总干重和直径1cm叶片平均干重,叶面积及叶面积指数计算公式如下:

小区叶面积=(单株叶干重/打孔叶干重) $\times$ 打孔叶面积 $\times$ 小区株数

叶面积指数=小区叶面积/小区土地面积

1.2.2 产量及其构成因子 成熟期每小区选取中间2行,行头和行尾各去除50cm后进行实收测产,然后折合成公顷产量,同时每小区选取10株代表性植株在室内进行有效荚数、粒数、荚重、百粒重等指标的测定。

## 1.3 数据分析

采用DPS 7.0和Excel 2003进行数据分析。

# 2 结果与分析

## 2.1 不同处理对大豆叶面积指数(LAI)的影响

由图1可见,随生育期的推进,各处理的LAI均成单峰曲线变化。群体LAI在出苗后增长缓慢,从始花期开始迅速增加,至盛荚期达最大,之后随下部叶片的变黄脱落,LAI又急速下降。

不同品种间比较,整个生育期中LAI都表现为多分枝(A3)>中等分枝(A2)>寡分枝(A1);生育前期,多分枝品系的LAI远大于其它分枝类型的品种,但随着生育进程的推进,LAI的差距开始逐渐缩小。多分枝类型的东0331在密度小时分枝明显增多,密度大时充分发挥自我调节能力,品系优势明显,因此LAI在整个生育期都要大于其它2个品种。

不同密度处理下,3个品种的LAI均表现为随密度的增加而增加。低密度群体LAI在生育前期上升缓慢;中密度群体LAI到达峰值后仍能维持较长的时间,从而可以保持较大的光合叶面积,形成较多的光合产物,增加干物质积累;高密度群体的LAI均表现为生育前期上升快,峰值过后下降也相对较快,在结荚鼓粒期不能保持较高的LAI,干物质积累量减少,限制籽粒产量的形成。

3个品种在不同施肥量处理下的LAI表现为:C4>C3>C2>C1。说明在一定范围内,叶面积与肥力呈正相关,相对多的肥量能满足大豆在不同生育时期对养分的需求。但密度过高时,高的施肥量会导致植株叶面积过大,叶片相互遮掩,加速了后期叶片的变黄脱落,使高密和高肥的LAI下降速度快。肥料施用量不足,叶面积整个生育期增长缓慢。因此,只有适当的肥量,才能使大豆群体具有良好的叶面积发展动态,利于光合产物积累和生育后期籽粒充实,减少花荚的脱落和秕粒的形成。

综合分析,各处理的最大LAI均出现在盛荚期(R4),并且3个品种的最大LAI都是高密和高肥处理,即A1B4C4(5.97),A2B4C4(6.36)和A3B4C4(6.27)。

## 2.2 不同处理大豆产量的综合分析

表1中F测验结果表明,各品系、密度和施肥量主处理之间差异均极显著;品种与密度以及密度与施肥量间的二因素交互作用也极显著,所以还需进一步做多重比较。

2.2.1 裂区主处理间平均产量的多重比较 如表2所示,东0331和东03-2176产量差异不显著,但二者产量均极显著高于东81735;不同密度处理间产量差异极显著,以B4的产量最高;不同施肥量处理间产量差异极显著,以高肥C4处理的产量最高。

2.2.2 处理间平均产量的多重比较 试验共有48个处理,品种与密度以及密度与施肥量之间的二因素交互作用也极显著,所以最优组合项未必是各因素的主效应检验的最优水平的简单组合。因此,裂-裂区试验全部处理的差异显著性以最小显著极差为尺度,对各组合平均数做多重比较。表3表明,产量最优的组合为B3C4A2、B4C3A2和B3C4A3,三者之间的小区产量差异不显著,但显著高于其它组合。其中B3C4A2产量最高,平均产量为3721.33 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。从表3可以看出,产量在3500 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 以上的共有12个组合,每个品系都有4个处理位列其中,说明试验品系的种质特性比较稳定。且高产处理都是由中密、高密和中肥、高肥搭配的组合,说明获得大豆高产必须要保证一定的密度和充足的肥力。

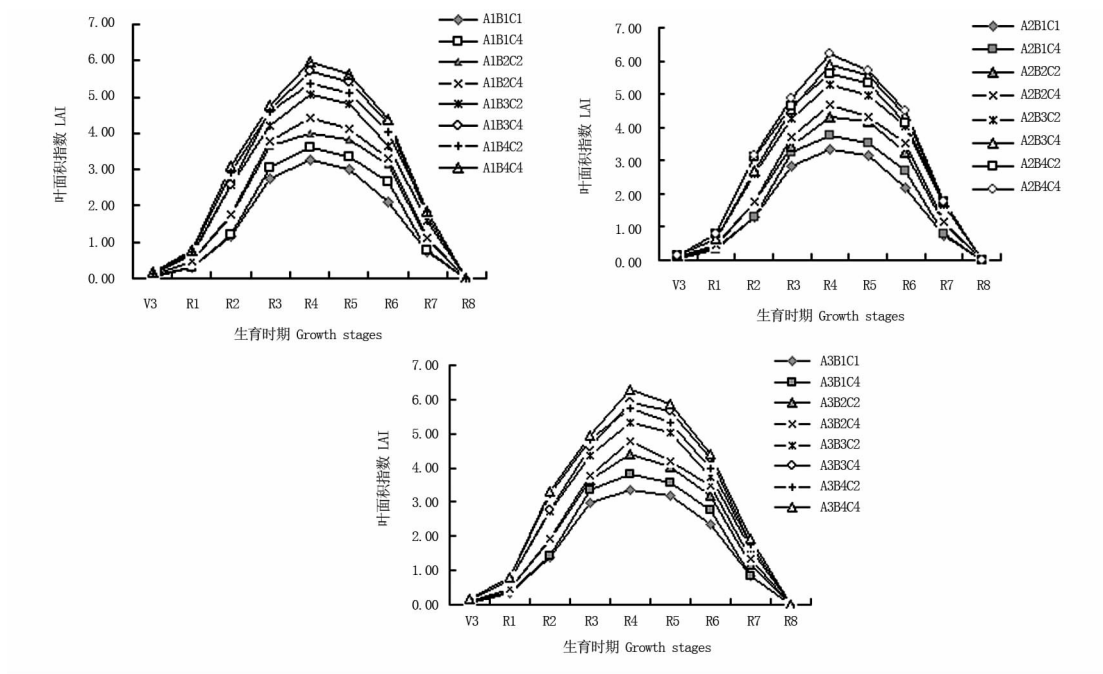


图 1 不同密度肥力条件下大豆叶面积指数动态变化  
Fig.1 LAI dynamics of soybean under different treatments

表 1 裂区试验方差分析表

Table 1 ANOVA of split block experiment

变异来源 Sources of variation	平方和 SS	自由度 DF	均方 MS	F 值 F value	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$	P
区组 Group	619.2	2	309.6				
处理 A Treatment A	9078.7	2	4539.4	24.68 **	6.94	18.00	0.0056
误差 a Error a	735.7	4	183.9				
主区 Primary area	10433.6	8					
处理 B Treatment B	30463680	3	10154560	115969.3 **	3.16	5.09	0.0001
误差 b Error b	1576.1	18	87.6				
裂区 Split plot	30481787	35					
处理 C Treatment C	3897568	3	1299189	13931.63 **	2.74	4.07	0.0001
A × B	6097.4	6	1016.2	11.61 **	2.66	4.01	0.0001
A × C	675.9	6	112.7	1.23	2.23	3.07	0.3122
B × C	404702	9	44966.9	482.19 **	2.02	2.67	0.0001
A × B × C	1830.8	18	101.7	1.09	1.75	2.21	0.397
误差 c Error c	6714.3	72	93.3				
再裂区 Split plot again	34793278	143					

表 2 裂区主处理间平均产量的多重比较 (SSR 法)

Table 2 Multiple comparison between the split plot and main Treatment average yield (SSR method)

品系 Line	平均产量 Yield/kg·hm <sup>-2</sup>	密度 Density	产量 Yield/kg·hm <sup>-2</sup>	施肥量 Fertilizer amount	产量 Yield/kg·hm <sup>-2</sup>
A2	3052.6458aA	B4	3497.9444aA	C4	3236.5556aA
A3	3048.9792aA	B3	3420.1389bB	C3	3155.2778bB
A1	3034.2708bB	B2	2913.0278cC	C2	2979.0000cC
		B1	2350.0833dD	C1	2810.3611dD

同列数值后不同大小写字母分别代表在 0.01 和 0.05 水平差异显著,下同。  
Values with a column followed by different capital and lowercase letters are significantly different at 0.01 and 0.05 probability level, respectively, the same below.

表3 处理间平均产量的多重比较分析  
Table 3 Multiple comparison analysis on  
average yield of different treatments (kg·hm<sup>-2</sup>)

处理 Treatment	平均产量 Average yield	处理 Treatment	平均产量 Average yield
B3C4A2	3721.33 a A	B3C1A3	3125.67 no MN
B4C3A2	3706.67 ab AB	B2C4A1	3118.00 o MN
B3C4A3	3706.33 ab AB	B3C1A1	3113.67 o N
B4C3A3	3703.67 b AB	B2C3A1	2992.67 p O
B3C4A1	3685.33 c BC	B2C3A2	2985.00 p O
B4C3A1	3674.67 c CD	B2C3A3	2983.67 p O
B4C4A2	3656.00 d DE	B2C2A1	2843.33 q P
B4C4A3	3654.67 de DE	B2C2A2	2832.67 q P
B4C4A1	3639.00 e E	B2C2A3	2832.00 q P
B3C3A2	3543.67 f F	B2C1A1	2710.00 r Q
B3C3A3	3522.00 g FG	B2C1A2	2704.33 r Q
B3C3A1	3513.00 g G	B2C1A3	2701.00 r Q
B4C2A2	3447.33 h H	B1C4A3	2478.33 s R
B4C2A3	3444.33 hi H	B1C4A2	2476.00 st R
B4C2A1	3429.67 i H	B1C4A1	2460.67 t R
B3C2A2	3344.33 j I	B1C3A2	2414.00 u S
B3C2A3	3328.00 j IJ	B1C3A3	2413.33 u S
B3C2A1	3311.00 k J	B1C3A1	2400.33 u S
B4C1A3	3220.33 l K	B1C2A3	2321.67 v T
B4C1A2	3211.33 l K	B1C2A2	2319.00 v T
B4C1A1	3177.00 m L	B1C2A1	2294.67 w U
B3C1A2	3138.00 n M	B1C1A3	2222.33 x V
B2C4A2	3127.33 no MN	B1C1A2	2215.33 x V
B2C4A3	3126.33 no MN	B1C1A1	2185.33 y W

### 3 结论与讨论

大豆高产是由品种特性和栽培措施共同作用的结果,合理的密度和施肥量可以保证品种高产特性的充分发挥,提高大豆叶面积指数和光能利用率,有助于产量的提高<sup>[7-8]</sup>。该研究中,大豆群体 LAI 的变化呈单峰曲线变化,从出苗至始花期, LAI 随分枝和复叶的陆续生出而增大,盛荚期达最大,之后随下部叶片衰老脱落, LAI 又急速下降。东 0331(多分枝) LAI 在整个生育期都要大于其它 2 个品种。3 个品种在不同密度和施肥量处理下, LAI 随密度和施肥量的增加而增加。

不同密度和施肥处理下,不同分枝类型大豆产量随着密度和肥力的增加而增加,但是当密度和肥力过高时产量不会再增加。因为密度过大肥量过剩会导致大豆植株徒长,营养生长过于茂盛,叶面积过大而相互遮掩,植株下部受光少,光合效率下降影响产量形成。密度较低时,植株个体生长良好,单株叶面积大,荚数多且单株产量高,但单位面积株数少,群体光能利用率低,光能浪费严重,产量

低。不同分枝类型中,多分枝品种分枝性强,密度低时可依靠分枝优势获得高的叶面积、光能利用率和产量;密度高时主茎生长占优势,自我调节性强。

经过多重比较分析,获得最优组合为 B3C4A2、B4C3A2、B3C4A3,且小区间产量差异不显著,但显著高于其它组合。能够达到高产的处理都是由中密、高密和中肥、高肥处理组合而成,说明大豆高产栽培必须在利用优良品种的基础上保证适宜的密度和充足的肥力。

### 参考文献

- [1] 刘金印,张恒善,王大秋,等.大豆种植密度和群体结构指标的研究[J].大豆科学,1987,6(1):1-9. (Liu J Y, Zhang S H, Wang D Q, et al. Study on soybean plant density and its index of population structure[J]. Soybean Science, 1987, 6(1):1-9.)
- [2] 赵秀兰.大豆密植小气候效应及高产机理分析[J].广西气象,2001,22(2):44-47. (Zhao X L. Analysis of microclimate effect for soybean close planting and its high yield mechanism[J]. Journal of Guangxi Meteorology, 2001, 22(2):44-47.)
- [3] 苗以农,朱长甫,石连旋,等.从大豆产量形成生理特点探索特异株型的创新[J].大豆科学,1999,18(4):343-346. (Miao Y N, Zhu C F, Shi L X, et al. Exploring the ideal plant type for high yielding via physiological characteristics in yield formation in soybean[J]. Soybean Science, 1999, 18(4):343-346.)
- [4] 孙贵荒,刘晓丽,董丽杰,等.高产大豆干物质积累与产量关系的研究[J].大豆科学,2002,21(3):199-202. (Sun G H, Liu X L, Dong L J, et al. Studies on the relationship between yield and dry matter accumulation in high yield potential soybean[J]. Soybean Science, 2002, 21(3):199-202.)
- [5] 赵纶铎,汪惠芳.氮、磷、钾对新垦红壤大豆植株生长及产量的影响[J].浙江农业科学,1998(2):70-71. (Zhao L X, Wang H F. Effect of N, P and K on soybean plant growth and yield in new reclaimed red soil[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 1998(2):70-71.)
- [6] 何建国,严华,贾金川,等.不同氮肥管理对大豆生长及产量的关系[J].大豆通报,1999(1):11. (He J G, Yan H, Jia J C, et al. Influence of nitrogen management on soybean growth and yield[J]. Soybean Bulletin, 1999(1):11.)
- [7] 张瑞忠,田岚,郑家兰.大豆叶面积指数与丰产性能关系的初步研究[J].东北农学院学报,1962(3):1-8. (Zhang R Z, Tian L, Zheng J L. Pilot study of relationship between soybean leaf index and high yield ability[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 1962(3):1-8.)
- [8] 王志新,郭泰,吴秀红,等.密度和施肥水平对高产高油大豆合丰 55 油分含量和产量的影响[J].大豆科学,2011,30(4):602-605. (Wang Z X, Guo T, Wu X H, et al. Influence of sowing density and fertilizer levels on the quality and yield of soybean cultivar Hefeng 55 with high-yield and high-oil[J]. Soybean Science, 2011, 30(4):602-605.)