



## 种植密度对小粒大豆光合生产能力的的影响

刘玉兰<sup>1</sup>, 陈殿元<sup>1</sup>, 元明浩<sup>1</sup>, 曲喜云<sup>2</sup>, 刘晓娟<sup>2</sup>, 张 议<sup>1</sup>, 何梦原<sup>1</sup>

(1. 吉林农业科技学院, 吉林 吉林 132101; 2. 吉林省长春市种子管理站, 吉林 长春 130033)

**摘 要:**以通农 15 为试验材料, 采用田间小区试验, 设置 18(S1)、20(S2)、22(S3)、24(S4) 和 26(S5) 万株·hm<sup>-2</sup> 5 个密度, 研究不同密度对小粒大豆光合生产能力的影响。结果表明: 小粒大豆株高和倒伏率随着密度的增加呈上升趋势; 单株根鲜重和根瘤菌数随着密度的增加呈先增加后降低趋势, S3 处理根系鲜重、根瘤菌数均最大; 在 V4~R4 期叶面积指数(LAI)随着密度的增加而增加, R6 期随着密度的增加而降低; 单株干物质积累、叶绿素含量(SPAD 值)、单株粒数、单株荚数、百粒重均随着密度的增加呈下降趋势; 净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $Tr$ )及气孔导度( $G_s$ )各指标在 V4~R6 期均随着密度的增大呈降低的趋势, R7 期呈增高趋势; S4 处理净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $Tr$ )与 S1、S2、S3 各处理指标值达极显著差异水平( $P < 0.01$ ), 气孔导度( $G_s$ )达显著差异水平( $P < 0.05$ ); 胞间 CO<sub>2</sub> 浓度( $C_i$ )随着密度的增加呈现增加趋势。本试验条件下, 小粒大豆以 22 万株·hm<sup>-2</sup> (S3) 产量最高, 为 2 908.99 kg·hm<sup>-2</sup>, 比 S1、S2、S4、S5 处理分别增加 7.5%、3.6%、9.9%、21.8%, 与 S2 处理差异显著( $P < 0.05$ ), 与 S1、S4、S5 各处理差异极显著( $P < 0.01$ )。

**关键词:** 种植密度; 小粒大豆; 光合生产能力; 产量

## Effects of Planting Density on Photosynthetic Capacity of *Glycine gracilis*

LIU Yu-lan<sup>1</sup>, CHEN Dian-yuan<sup>1</sup>, YUAN Ming-hao<sup>1</sup>, Qu Xi-yun<sup>2</sup>, LIU Xiao-juan<sup>2</sup>, ZHANG Yi<sup>1</sup>, HE Meng-yuan<sup>1</sup>

(1. Jilin Agricultural Science and Technology University, Jilin 132101, China; 2. Changchun Seed Control Station, Changchun 130033, China)

**Abstract:** This study investigated the effects of planting density on photosynthetic capacity of *Glycine gracilis*. A field experiment was conducted using a split-plot design under five planting densities (18 × 10<sup>4</sup> plants·ha<sup>-1</sup>, S1; 20 × 10<sup>4</sup> plants·ha<sup>-1</sup>, S2; 22 × 10<sup>4</sup> plants·ha<sup>-1</sup>, S3; 24 × 10<sup>4</sup> plants·ha<sup>-1</sup>, S4; 26 × 10<sup>4</sup> plants·ha<sup>-1</sup>, S5) with Tongnong 15 as material. The result showed that the plant height and lodging rate showed a gradually rising trend along with the density increasing. Fresh weight of root and the amount of root nodules per plant showed a firstly increasing and then decreasing trend with the density increasing, they reached the maximum with S3 treatment. Leaf area index (LAI) were improved along with the density increasing during the period from V4 to R4, while decreased with the density increasing at R6 period. Dry matter, SPAD, seeds number, effective pods per plant and 100-seed weight showed a gradually reduced trend with the increasing density. The net photosynthetic rate ( $P_n$ ), transpiration rate ( $Tr$ ) and stomatal conductance ( $G_s$ ) were decreased with the increasing density in the V4-R6 period, but they were improved with the density increasing in the R7 period. The differences in the net photosynthetic rate ( $P_n$ ) and transpiration rate ( $Tr$ ) between S4 and S1, S2, S3 treatments were extremely significant ( $P < 0.01$ ), the differences in the stomatal conductance ( $G_s$ ) was significant ( $P < 0.05$ ). Intercellular CO<sub>2</sub> concentration ( $C_i$ ) was increased with the density increasing. Treatment S3 had the highest yield of 2 908.99 kg·ha<sup>-1</sup>, which was 7.5%, 3.6%, 9.9% and 21.8% more than S1, S2, S4 and S5 treatments, respectively. The difference in the yield between S3 and S2 was significant ( $P < 0.05$ ), and the differences between S3 and S1, S4, S5 treatments were extremely significant ( $P < 0.01$ ). The results could provide scientific and reasonable theory basis for the production practice of the plant population of *Glycine gracilis*.

**Keywords:** Planting density; *Glycine gracilis*; Photosynthetic capacity; Yield

大豆生产是群体生产, 种植密度能调控大豆群体特征, 诸多研究<sup>[1-4]</sup>表明, 不同的群体密度对大豆生长性状、光合特性及产量等光合生产能力指标具有重要影响, 构造良好的群体结构有利于大豆群体对光能的利用和群体内气体交换, 最终提高籽粒产量。光合作用是决定作物产量的最重要因素, 合理密植能提高大豆光合特性及产量<sup>[5-7]</sup>。陈丽霞<sup>[8]</sup>研究表明, 密度对大豆株高、茎粗、主茎节数、分枝数、结荚高度等茎部性状影响显著。朱洪德等<sup>[9]</sup>对高

油大豆研究得出, 高油大豆的叶面积指数和光合势随着密度的升高呈上升趋势, 而叶绿素含量则随着密度的升高而降低。王滔<sup>[10]</sup>研究表明, 密度对叶面积指数影响显著, 密度不同叶面积指数变化很大。张永强等<sup>[11-12]</sup>研究指出, 大豆籽粒产量随着密度的增加呈现先增后降的趋势, 并以中等密度产量最高。大豆产量构成因素中单株有效荚数、单株粒数和百粒重均属于遗传性状, 受环境因素影响相对较大<sup>[13]</sup>。大豆对栽培密度具有一定的自我调节能力,

收稿日期: 2018-01-10

基金项目: 吉林农业科技学院作物遗传育种科技创新团队(119082018001)。

第一作者简介: 刘玉兰(1971-), 女, 硕士, 高级实验师, 主要从事作物栽培及良种繁育研究。E-mail: jlyl2006@163.com。

通讯作者: 陈殿元(1964-), 男, 硕士, 教授, 主要从事作物栽培与育种研究。E-mail: JLCdy@sina.com。

但不同类型的大豆品种对密度的适应能力存在差异<sup>[14-16]</sup>。前人对大豆种植密度的研究都是针对普通粒重的大豆,目前对小粒大豆种植密度的研究鲜有报道。

小粒大豆(*Glycine gracilis*)一般指百粒重为6~12 g的大豆<sup>[17]</sup>,是制作芽豆和纳豆的特用大豆品种,具有蛋白质含量高、粒径小、营养成分丰富等特点<sup>[18]</sup>。目前,吉林省小粒大豆生产中存在栽培技术不配套和产量不高不稳等诸多问题,影响了小粒大豆产量的提高及农民种植的积极性<sup>[19]</sup>。另外,小粒大豆属分枝型品种,茎秆较弱,必须正确调整个体与群体的关系;要注意发挥单株生产能力,防止倒伏而减产<sup>[20]</sup>。因此,小粒大豆要获得高产,必须构建一个比较合理的群体结构,以便充分发挥小粒大豆的生产潜力。本文通过设置5种植植密度,对小粒大豆生长发育、关键生育时期的光合特性及最终产量进行研究,以筛选出适宜吉林小粒大豆的种植密度,为该地区小粒大豆高产生提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料

供试品种为小粒豆品种通农15,由通化市农业科学院提供。

1.2 试验设计

试验于2017年在吉林农业科技学院农学院实习农场进行。设5个密度处理,分别为18(S1)、20(S2)、22(S3)、24(S4)、26(S5)万株·hm<sup>-2</sup>。采用随机区组设计,3次重复。5月3日人工单粒等株距点播,每处理播种4行区,行长5 m,行距0.65 m,小区面积13 m<sup>2</sup>。正常进行田间管理。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 植株生物量 分别于苗期(V4)、盛花期(R2)、结荚盛期(R4)、鼓粒盛期(R6),随机选取5株长势一致的大豆,测定其株高、有效根瘤数量和地上地下鲜重,之后80℃烘干至恒重,称其干重。

1.3.2 叶片叶绿素含量(SPAD值) 分别在大豆的苗期(V4)、盛花期(R2)、盛荚期(R4)、鼓粒期(R6)和初熟期(R7),用SPAD-502型(日本)手持便携式叶绿素仪,选择在晴好无风的上午9:00-11:00,每个小区选取3株有代表性植株,夹取主茎上的倒3叶中间小叶片,测其SPAD值。

1.3.3 叶面积指数(LAI) 分别于苗期(V4)、盛花期(R2)、结荚盛期(R4)、鼓粒盛期(R6),各小区选取具有代表性的植株3株,测其单株叶面积,然后折算成叶面积指数(LAI)。

1.3.4 光合特性指标 分别于苗期(V4)、盛花期(R2)、结荚盛期(R4)、鼓粒盛期(R6)和初熟期

(R7),用Li-6400(Li-cor公司)便携式光合仪对小粒豆进行光合生理指标的测定。采用固定红蓝光源进行试验,光强为1 200 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>。各小区选取代表性大豆3株,在主茎的倒3复叶中间小叶片上测定净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、胞间CO<sub>2</sub>浓度(Ci)、蒸腾速率(Tr)等光合生理指标。

1.3.5 倒伏情况调查 成熟期调查每小区的植株倒伏数,计算倒伏率。大豆植株主茎与地面的夹角小于30°确定为倒伏。倒伏率(%)=小区倒伏株数/小区全部株数×100。

1.3.6 产量性状 成熟后,每小区分别取连续10株进行室内考种,调查各产量构成因素。

1.4 数据分析

应用Excel 2007及DPS 7.05进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 密度对小粒大豆植株生长性状的影响

由表1可知,小粒豆株高、根系鲜重、根瘤菌数在V4期受密度影响不大;随着生育进程的发展,R2~R6期的株高呈逐渐增加趋势,R2、R4生育时期高密度(S5)、中密度(S3)、低密度(S1)处理间株高差异达到极显著水平(P<0.01);R2~R6期根系鲜重和根瘤菌数量都表现为随着种植密度的增加先增加后降低,且S3处理根系鲜重最大,与其它处理间差异极显著(P<0.01),S3处理根瘤菌数最多,与S1处理差异显著(P<0.05),与S5处理差异极显著(P<0.01)。小粒大豆单株干物质积累随着种植密度的增加呈降低趋势,R4期开始各处理间降幅较前期增大,R4~R6期各处理间差异达到极显著水平(P<0.01),说明小粒大豆生育中、后期密度对干物质积累的影响较大,群体结构有变劣的趋势。

2.2 密度对小粒大豆主茎叶片叶绿素含量的影响

叶绿素是光合作用中最重要的色素之一,其含量直接影响光合作用强弱。由表2可知,各处理的叶绿素含量变化趋势一致。随着生育进程的推进,小粒大豆叶片叶绿素相对含量呈现先升高后降低的变化规律,其中叶绿素含量最高值出现在鼓粒盛期(R6),而从鼓粒盛期(R6)之后到初熟期(R7)叶绿素含量急剧下降,且各生育时期叶绿素含量均表现为随着密度的增加逐渐减小,但不同的生育时期处理间差异不同,分析比较不同处理的叶绿素含量变化可知,V4和R7期不同处理对叶绿素含量影响不大,而R2~R6期则表现出各处理间差异逐渐趋于明显。相关分析表明,小粒大豆V4~R7期叶绿素含量(SPAD值)均与密度呈极显著负相关。

表 1 密度对小粒大豆植株生物量积累的影响

Table 1 Effect of density on the plant growth of *Glycine gracilis*

指标 Indicator	处理 Treatment	生育时期 Growth stage			
		V4	R2	R4	R6
株高 Plant height/cm	S1	22.73 a	72.62 eC	82.08 eD	94.30 cC
	S2	22.49 a	75.28 dBC	85.22 dC	94.97 cC
	S3	23.03 a	78.50 cB	89.37 cB	96.44 cC
	S4	23.58 a	81.73 bA	92.84 bA	100.80 bB
	S5	24.39 a	83.58 aA	95.79 aA	105.50 aA
根系鲜重 Root fresh weight/g	S1	1.79 a	5.24 cBC	8.93 cC	13.82 cC
	S2	1.80 a	5.26 bcBC	10.02 bB	14.67 bB
	S3	1.78 a	5.44 aA	10.20 aA	15.27 aA
	S4	1.81 a	5.32 bB	8.84 cdCD	14.08 cC
	S5	1.79 a	5.19 cC	8.71 dD	12.82 dD
根瘤菌数 Rhizobium number	S1	24.80 a	35.30 bBC	45.60 cAB	54.30 bcAB
	S2	25.00 a	37.30 aAB	48.10 aA	58.40 aA
	S3	25.30 a	38.00 aA	49.50 aA	59.3 0aA
	S4	24.40 a	34.90 bcC	46.30 bcAB	56.80abA
	S5	24.10 a	33.30 cC	43.40 cB	51.00 cB
干物质积累 Dry matter accumulation/g	S1	4.14 aA	16.52 aA	92.41 aA	105.73 aA
	S2	3.79 bB	15.76 aA	80.53 bB	93.60 bB
	S3	3.76 bB	14.42 abAB	71.92 cC	84.39 cC
	S4	3.64 bcB	13.40 bcAB	65.61 dD	77.86 dD
	S5	3.49 cB	11.61 cB	57.16 eE	69.25 eE

同列数据后不同大小写字母分别表示 0.01 和 0.05 水平差异显著,下同。

Different capital and lowercase in the same columa indicate significant difference at 0.01 and 0.05 level, respectively. The same as below.

表 2 密度对小粒大豆各生育时期叶绿素含量值的影响

Table 2 Effect of density on SPAD of *Glycine gracilis* at different growth stage

处理 Treatment	V4	R2	R4	R6	R7
S1	39.32 a	41.13 aA	44.64 aA	48.36 aA	32.06 a
S2	38.48 a	40.45 abA	43.7 abAB	47.43 aA	31.78 a
S3	38.39 a	40.03 bAB	42.83 bcBC	46.68 bAB	31.38 ab
S4	37.87 ab	39.91 bAB	41.96 cdCD	43.91 cBC	30.40 b
S5	36.91 b	38.81 cB	40.94 dD	43.68 cC	29.85 b
相关系数 Correlation coefficient	-0.9688 **	-0.9648 **	-0.9996 **	-0.9647 **	-0.9783 **

\* 和 \*\* 分别代表数值呈显著和极显著相关,下同。

\* and \*\* represent the values had significant and very significant correlation. The same as below.

2.3 密度对小粒大豆叶面积指数的影响

叶面积指数(LAI)是指群体的总绿色叶面积与该群体所占的土地面积的比值(绿色叶面积/土地面积),它是群体组成大小和植株繁茂程度的重要参数<sup>[8]</sup>。对小粒大豆叶面积指数调查结果(表3)可以看出,随着生育进程的推进,小粒大豆的叶面积指数变化呈现先升高后降低的变化规律,R4 期叶面积指数最大,且 V4、R2、R4 期的叶面积指数随着种植密度的增加逐渐增加,R6 期叶面积指数随着种植

密度的增加呈递减趋势。S4、S5 处理生育前期叶面积指数增加的快,后期降低的也快,S1、S2 处理生育前期叶面积指数增加的慢,后期降低的也慢。小粒大豆叶面积指数 R2、R4 期各处理间差异极显著( $P<0.01$ ),R6 期不同处理间的差距在缩小。相关分析表明,小粒大豆 V4、R2、R4 各生育时期叶面积指数(LAI)均与密度呈极显著正相关,R6 期叶面积指数(LAI)与密度呈极显著负相关。

表 3 密度对小粒大豆各生育期叶面积指数的影响  
Table 3 Effect of density on LAI of *Glycine gracilis* at different growth stage

处理 Treatment	V4	R2	R4	R6
S1	0. 82 cB	3. 76 eE	5. 05 eE	4. 89 aA
S2	0. 93 bcAB	3. 98 dD	5. 28 dD	4. 79 bAB
S3	1. 01 abAB	4. 18 cC	5. 58 cC	4. 73 bB
S4	1. 03 aA	4. 44 bB	6. 21 bB	4. 47 cC
S5	1. 08 aA	4. 87 aA	6. 54 aA	4. 23 dD
相关系数 Correlation coefficient	0. 9957 * *	0. 9861 * *	0. 9858 * *	-0. 9661 * *

2. 4 密度对小粒大豆叶片光合特性的影响

2. 4. 1 净光合速率 净光合速率(*Pn*)是反映植物光合能力的最为重要的指标。由表 4 可知,随着生育期的推进,小粒大豆叶片的净光合速率表现为 V4 ~ R2 期逐渐升高,R4 期略有下降,R6 期再次升高,R6 ~ R7 期迅速下降,各处理均在 R6 期净光合速率达到最高。进一步分析各生育时期测量值可知,V4 期各处理的净光合速率差别不大,R2 ~ R6 期净光合速

率均表现出随着密度的增加逐渐降低,S4 处理叶片净光合速率下降幅度较大,且不同生育时期不同处理间差异显著性表现相同,经方差分析表明,S4 与 S1、S2、S3 各处理达差异极显著水平( $P < 0. 01$ );R7 期呈现为随着密度增加逐渐升高。相关分析表明,小粒大豆 R2 ~ R6 期净光合速率均与密度呈极显著负相关,R7 期净光合速率与密度呈极显著正相关。

表 4 密度对小粒大豆叶片净光合速率的影响  
Table 4 Effect of different densities on photosynthesis rate of *Glycine gracilis* ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )

处理 Treatment	V4	R2	R4	R6	R7
S1	17. 84 a	26. 44 aA	25. 44 aA	31. 33 aA	11. 97 dC
S2	17. 84 a	25. 82 aAB	24. 82 aAB	30. 53 aAB	12. 39 cdBC
S3	17. 83 a	25. 06 bB	24. 06 bB	29. 55 bB	12. 73 bcB
S4	17. 80 a	23. 35 cC	22. 35 cC	27. 62 cC	13. 02 bAB
S5	17. 79 a	22. 98 dC	21. 98 dC	26. 99 dC	13. 60 aA
相关系数 Correlation coefficient	0. 0674	-0. 9796 * *	-0. 9796 * *	-0. 9863 * *	0. 9934 * *

2. 4. 2 蒸腾速率 蒸腾速率(*Tr*)是指植物在一定时间内单位叶面积蒸腾的水量,是植物体生长和发育的重要指标,它和植株的需水量密切相关。由表 5 可以看出,随着生育进程的推进,小粒大豆叶片蒸腾速率表现为先升高后降低,R4 期达到最大值,R6 ~ R7 期迅速下降,比净光合速率达到最大值的时期提前,可能是由于鼓粒期营养生长和生殖生长并存,植株干物质积累迅速增加,从而对水分需求量急剧增大导致的结果。进一步分析各生育时期测量值可知,随着密度的增加,V4 ~ R6 期蒸腾速率均呈现为降低趋势,R7 期呈现为升高趋势。S4 处理叶片蒸腾速率变化幅度较大,经方差分析表明,S4 与 S1、S2、S3 各处理达差异极显著水平( $P < 0. 01$ )。相关分析表明,小粒大豆 V4 ~ R6 期蒸腾速率均与密度呈极显著负相关,R7 期蒸腾速率与密度呈极显著正相关。

2. 4. 3 气孔导度 叶片气孔导度(*Gs*)影响植物光合作用中  $\text{CO}_2$  和水分的变化,反映了植物叶片气孔

张开大小的程度。由表 6 可知,随着生育期的推进,各处理气孔导度总体变化趋势均呈现为先增后降趋势,并均在鼓粒期达到峰值,这与蒸腾速率达到峰值的时期一致。进一步分析各生育时期测量值可知,V4 ~ R6 期内各处理气孔导度值均随着密度的增加呈降低的趋势,R7 期表现为随着密度增加逐渐升高。V4 ~ R6 不同生育时期不同处理差异显著性相同,S4 处理叶片气孔导度下降幅度较大。R7 期则增幅较大,经方差分析表明,S4 与 S1、S2、S3 各处理达差异极显著水平( $P < 0. 01$ )。相关分析表明,小粒大豆 V4 ~ R6 期气孔导度均与密度呈极显著负相关,R7 期气孔导度与密度呈极显著正相关。从以上分析可以看出,密度对小粒大豆的气孔导度影响显著,密度达到 S4 时,小粒大豆叶片气孔导度下降明显,抑制了光合作用。因此,实际生产中可通过合理控制种植密度,来有效增大气孔导度,促进光合作用,增加干物质的积累,为高产打下基础。

表 5 密度对小粒大豆叶片蒸腾速率的影响

Table 5 Effect of different densities on *Tr* of *Glycine gracilis* (mmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)

处理 Treatment	V4	R2	R4	R6	R7
S1	7.16 aA	7.83 aA	8.28 aA	6.02 aA	1.96 aA
S2	7.11 bAB	7.77 aA	8.13 bB	5.87 bB	2.01 bB
S3	7.06 cB	7.58 aA	8.09 cB	5.61 cC	2.05 cC
S4	6.99 dC	7.22 bB	8.03 dC	5.22 dD	2.11 dD
S5	6.94 eC	7.13 bB	7.92 eD	5.13 eE	2.15 eE
相关系数 Correlation coefficient	-0.9981 **	-0.9710 **	-0.9787 **	-0.9837	0.9983 **

表 6 密度对小粒大豆叶片气孔导度的影响

Table 6 Effect of different densities on *Gs* of *Glycine gracilis* (mmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)

处理 Treatment	V4	R2	R4	R6	R7
S1	0.57 aA	0.78 aA	0.84 aA	0.46 aA	0.08 dC
S2	0.55 abAB	0.76 abAB	0.82 abAB	0.44 abAB	0.10 cBC
S3	0.52 bBC	0.74 bBC	0.80 bBC	0.42 bBC	0.11 cB
S4	0.48 cCD	0.71 cCD	0.77 cCD	0.38 cCD	0.14 bA
S5	0.46 cD	0.69 cD	0.75 cD	0.36 cD	0.16 aA
相关系数 Correlation coefficient	-0.9935 **	-0.9972 **	-0.9972 **	-0.9798 **	0.9901 **

2.4.4 胞间二氧化碳浓度 胞间 CO<sub>2</sub>浓度(*Ci*)反映了光合作用时 CO<sub>2</sub>的剩余情况,揭示叶片同化 CO<sub>2</sub>的能力<sup>[21]</sup>。由表 7 可知,随着生育进程的推进,小粒大豆各处理叶片的胞间 CO<sub>2</sub>浓度均表现为先增加后降低,V4 期最低,R4 期达到最高,V4 ~ R2 期增加迅速,R4 ~ R7 期下降平缓。不同生育时期各处理胞间 CO<sub>2</sub>浓度均表现为随着密度的增加逐渐增

加。方差分析表明,V4 ~ R6 期内 S4 与 S1、S2、S3 各处理达差异极显著水平( $P < 0.01$ ),说明此生育时期内密度达到 S4 时密度对小粒大豆叶片胞间二氧化碳影响显著,生产中可通过调节密度来平衡群体胞间 CO<sub>2</sub>浓度,从而达到提高光合作用的目的。相关分析表明,小粒大豆 V4 ~ R7 期胞间 CO<sub>2</sub>浓度均与密度呈极显著正相关。

表 7 密度对小粒大豆叶片胞间 CO<sub>2</sub>浓度的影响

Table 7 Effect of different densities on *Ci* of *Glycine gracilis* (μmol·mol<sup>-1</sup>)

处理 Treatment	V4	R2	R4	R6	R7
S1	176 eD	237 dD	255 eC	240 dC	238 dD
S2	180 dD	240 dD	259 dC	243 dBC	240 cdCD
S3	186 cC	246 cC	266 cB	247 cB	242 bcBC
S4	198 bB	253 bB	270 bB	252 bA	244 bAB
S5	211 aA	258 aA	275 aA	256 aA	247 aA
相关系数 Correlation coefficient	0.9737 **	0.9930 **	0.9964 **	0.9967 **	0.9959 **

2.5 密度对小粒大豆产量及其构成因素的影响

大豆产量构成因素主要有单株有效荚数、单株粒数、百粒重。由表 8 可知,小粒大豆的单株有效荚数、单株粒数、百粒重各性状值均表现为随密度增加而减少,且各性状受密度影响的程度不同,倒伏率随密度的增加而加大,产量随着密度的增加表现

为先增后减。分析密度与产量构成因素之间的关系可知,密度与单株荚数、单株粒数、百粒重均呈极显著负相关关系,与倒伏率呈极显著正相关关系。

模拟密度和产量之间的关系方程可得, $y = -23.517x^2 + 983.976x - 7417.390$ , $R^2 = 0.936$ ,S3 处理(22 万株·hm<sup>-2</sup>)产量最高,为2 908.99 kg·hm<sup>-2</sup>,

与 S2 处理差异显著,与 S1、S4、S5 各处理差异极显著,比 S1、S2、S4、S5 处理分别增加 7.5%、3.6%、9.9%、21.8%,由此看出,种植密度对小粒大豆产量影响显著。

表 8 种植密度对小粒大豆产量及其构成的影响

Table 8 Effect of density on yield and composition of *Glycine gracilis*

处理 Treatment	实收株数 Harvest number /(10 <sup>4</sup> plants·hm <sup>-2</sup> )	单株粒数 Seeds per plant	单株有效荚数 Effective pods per plant	百粒重 100-seed weight /g	倒伏率 Lodging rate/%	产量 Yield / (kg·hm <sup>-2</sup> )
S1	17.55	167.0 aA	70.3 aA	9.18 aA	13.41 eE	2689.64 cB
S2	19.46	159.6 bAB	68.4 aAB	9.09 aA	19.02 dD	2805.50 bA
S3	21.34	151.8 cB	65.0 bB	8.98 abAB	28.17 cC	2908.99 aA
S4	23.21	128.2 dC	54.2 cC	8.81 bcAB	37.55 bB	2621.21 cB
S5	24.91	105.8 eD	45.3 dD	8.63 cB	48.47 aA	2274.24 dD
相关系数 Correlation coefficient		-0.9668 **	-0.9577 **	-0.9891 **	0.9943 **	

3 结论与讨论

3.1 种植密度对小粒大豆生长发育的影响

密度影响大豆植株性状、生物量积累及群体生育。针对小粒大豆的研究表明,小粒大豆株高、根系鲜重、根瘤菌数在 V4 期受密度影响不明显。随着生育进程的推进,小粒大豆株高随密度的增加呈上升趋势;单株根系鲜重和根瘤菌数量均表现为随密度的增加先增加后降低趋势,且 S3 处理根系鲜重最大,与其它处理间差异极显著 ( $P < 0.01$ ),S3 处理根瘤菌数最多。随着种植密度的增加,小粒大豆单株干物质积累、叶绿素含量均随密度的增加而降低,叶绿素含量的变化趋势与程伟燕等<sup>[1]</sup>、朱洪德等<sup>[9]</sup>的研究结果一致。在 V4 ~ R4 期,LAI 随着种植密度的增加呈逐渐增加趋势,R6 期则呈递减趋势。从密度对小粒大豆生长发育的影响来看,密度对小粒大豆苗期各生长性状影响不大,随着生育进程的推进,各性状受密度影响程度逐渐明显,干物质积累在生育中、后期受密度影响较大,可能是由于群体结构有变劣的趋势,光合生产能力降低,导致个体生长量减少;中密度(S3)处理有利于根系的生长发育和根瘤菌数量的增加,说明 S3 处理群体结构合理,利于小粒大豆地下部生长;密度对叶面积指数的影响不同生育时期表现不同,有待进一步研究。

3.2 种植密度对小粒大豆光合特性指标的影响

本试验结果表明,小粒大豆净光合速率、蒸腾速率及气孔导度各指标在 V4 ~ R6 期均随着密度的增大呈降低的趋势,R7 期呈增高趋势;S4 处理净光合速率、蒸腾速率均与 S1、S2、S3 各处理指标值达差异极显著水平 ( $P < 0.01$ ),气孔导度达差异显著水平 ( $P < 0.05$ );胞间 CO<sub>2</sub> 浓度随着密度的增加呈现增加趋势。

从密度对小粒大豆光合特性的影响来看,密度对小粒大豆的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度及胞间 CO<sub>2</sub> 浓度影响显著,密度达到 S4 时,各指标变幅较大,且都是朝着不利的方面变化,说明密度达到 S4 时不利于小粒大豆进行光合作用。

3.3 种植密度对小粒大豆产量及产量构成的影响

密度通过影响作物生长性状、生物量积累、叶绿素含量、叶面积指数和光合特性等光合生产能力的动态变化,进而影响到最终产量(光合生产能力指标)的形成,也就是说产量受综合因素的影响,只有协调好个体与群体的关系,使二者处于最佳状态,才能获得高产。本试验条件下,小粒大豆的单株有效荚数、单株粒数、百粒重各产量构成因素值均表现为随密度增加而减少,密度与单株荚数、单株粒数、百粒重均呈极显著负相关关系;倒伏率随密度的增加而加大,密度与倒伏率呈极显著正相关关系;产量随着密度的增加表现为先增后减,以中密度 S3(22 万株·hm<sup>-2</sup>)处理产量最高,为 2 908.99 kg·hm<sup>-2</sup>,与张永强等<sup>[11-12]</sup>研究结果一致,S3 与 S2 处理差异显著,与 S1、S4、S5 各处理差异极显著。

密度对小粒大豆产量及产量构成因素影响显著,产量随着密度的增加表现为先增后减,中密度(S3)处理最高。密度越大单株结荚数越少,单株粒数降低,百粒重减小,倒伏率增加,百粒重随着密度的增加而降低,可能是由于大豆倒伏程度随密度增加而加重,植株倒伏影响了光合作用的正常进行,从而抑制了大豆籽粒干物质积累进而造成了百粒重降低。

综上所述,种植密度对小粒大豆生长性状、光合特性及产量等光合生产能力影响显著。密度过高或过低都不利于个体与群体关系的协调,会导致小粒大豆产量的降低,适宜的种植密度是小粒大豆获得高产的必要条件,本试验条件下小粒大豆通农

15 以 22 万株·hm<sup>-2</sup>为最佳种植密度,产量最高。

参考文献

[1] 程伟燕,李志刚,李瑞平. 密度对大豆光合特性和产量的影响[J]. 作物杂志,2010(4):65-72. (Cheng W Y, Li Z G, Li R P. Effect of densities on photosynthetic characteristic and yield in soybean[J]. Crops,2010(4):65-72. )

[2] 于洪久. 种植密度对大豆光合生理及产量的影响[J]. 大豆科学,2009,28(6):1115-1118. (Yu H J. Effects of plant density on photosynthetic characteristics and yield of soybean[J]. Soybean Science, 2009,28(6):1115-1118. )

[3] 郑伟,谢甫绀,郭泰,等. 密度对不同类型大豆叶部性状的影响[J]. 中国油料作物学报, 2014,36(1):66-70. (Zheng W, Xie F T, Guo T, et al. Effect of density for different types of leaf traits on soybean[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2014,36(1):66-70. )

[4] 张伟,张惠君,王海英,等. 株行距和种植密度对高油大豆农艺性状及产量的影响[J]. 大豆科学,2006,25(3):283-287. (Zhang W, Zhang H J, Wang H Y, et al. Effects of spacings and planting densities on agronomic traits and yield in high-oil soybeans[J]. Soybean Science,2006,25(3):283-287. )

[5] Morrison M J, Voldgen H D, Cobber E R. Physiological changes from 58 years of genetics improvement of short-season soybean cultivars in Canada[J]. Agronomy Journal,1999,91(4):685-689.

[6] 杜维广,张桂茹,满为群,等. 大豆光合作用与产量关系的研究[J]. 大豆科学,1999,18(2):154-159. (Du W G, Zhang G R, Man W Q, et al. Study on relationship between soybean photosynthesis and yield[J]. Soybean Science, 1999,18(2):154-159. )

[7] 朱保葛,柏惠侠,张艳,等. 大豆叶片净光合速率、转化酶活性与粒产量的关系[J]. 大豆科学,2000,19(4):346-350. (Zhu B G, Bai H X, Zhang Y, et al. Relationship between net photosynthetic rate, invertase activity of leaf and seed weight per plant of soybean strains[J]. Soybean Science, 2000,19(4):346-350. )

[8] 陈丽霞. 密度对黑龙江西部旱区大豆生长发育及产量鉴定效果的影响[D]. 大庆:黑龙江八一农垦大学,2009. (Chen L X. Effect of density on growth and development and yield trial of soybean in hei long jiang west arid area[D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University,2009. )

[9] 朱洪德,冯丽娟,于洪久,等. 栽培措施对高油大豆光合生理及产量的影响[J]. 大豆科学,2008,27(6):966-972. (Zhu H D, Feng L J, Yu H J, et al. Effect of cultivate on practice on photosynthetic and yield of high-oil soybean[J]. Soybean Science, 2008,27(6):966-972. )

[10] 王滔. 大豆叶—荚关系与产量的研究初报[J]. 大豆科学,1983,2(1):67-74. (Wang T. Preliminary study on leaves-pods relation and yield of soybean[J]. Soybean Science, 1983,2(1):67-74. )

[11] 张永强,张娜,王娜,等. 种植密度对夏大豆光合特性及产量构成的影响[J]. 核农学报,2015,29(7):1386-1391. (Zhang Y Q, Zhang N, Wang N, et al. Effects of plant population on photosynthetic characteristics and yield components of summer soybean[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2015,29(7):

1386-1391. )

[12] 张永强,张娜,王娜,等. 种植密度对北疆复播大豆光合特性及产量的影响[J]. 西北植物学报,2015,35(3):571-578. (Zhang Y Q, Zhang N, Wang N, et al. Effects of planting density on photosynthetic characteristics and yield of summer soybean in Northern Xinjiang[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2015,35(3):571-578. )

[13] 杜青,陈平,付志丹,等. 不同结瘤品种与根系分隔对大豆光合特性、生物量及产量的影响[J]. 大豆科学,2016,35(3):428-435. (Du Q, Cheng P, Fu Z D, et al. Effects of different nodulation varieties and root barriers on photosynthetic characteristics, biomass and yield of soybean[J]. Soybean Science, 2016,35(3):428-435. )

[14] 阎秀峰,许守民,苗以农. 大豆光合生理生态研究(第13报):大豆叶片光合速率和水分利用效率[J]. 大豆科学,1990,9(3):221-227. (Yan X F, Xu S M, Miao Y N. Photosynthetic physiological ecology research (13th report): Soybean leaf photosynthetic rate and water use efficiency[J]. Soybean Science,1990,9(3):221-227. )

[15] 章建新,翟云龙,薛丽华. 密度对高产春大豆生长动态及干物质积累分配的影响[J]. 大豆科学,2006,25(1):1-5. (Zhang J X, Zhai Y L, Xue L H. Effect of planting density on growth tendency, dry matter accumulation and distribution in high yield spring soybean[J]. Soybean Science, 2006,25(1):1-5. )

[16] 谢甫绀,王贺,张惠君,等. 不同密肥处理对超高产大豆辽豆14的影响[J]. 大豆科学,2008,2(1):61-66. (Xie F T, Wang H, Zhang H J, et al. Effects of different fertilizer levels and planting density on super high-yield soybean Liaodou 14[J]. Soybean Science, 2008,2(1):61-66. )

[17] 吉林省农科院. 中国大豆育种与栽培[M]. 北京:农业出版社,1987:173-180. (Jilin Academy of Agricultural Sciences. Soybean breeding and cultivation in China[M]. Beijing: Agricultural Press,1987:173-180. )

[18] 郑淑波,赵洪银,刘晓冬,等. 不同小粒大豆品种豆芽特性比较[J]. 吉林农业科学,2013,38(5):81-85. (Zheng S B, Zhao H K, Liu X D, et al. Comparison on the sprout characteristics of different small seed soybean varieties[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences,2013,38(5):81-85. )

[19] 王洋,杨光宇,马晓萍,等. 突出区域优势发展小粒大豆生产[J]. 吉林农业科学,2004,29(3):51-52. (Wang Y, Yang G Y, Ma X P, et al. Protruding regional advantage developing small grain soybean production[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2004,29(3):51-52. )

[20] 杨光宇,郑惠玉,韩春风. 吉林省小粒黄豆的品种特性及栽培技术[J]. 作物杂志,1992(3):32-33. (Yang G Y, Zheng H Y, Han C F. Variety characteristics and cultivation techniques of small grain soybean in Jilin province[J]. Crops, 1992(3):32-33. )

[21] 彭姜龙,张永强,唐江华,等. 株行距配置对夏大豆光合特性及产量的影响[J]. 大豆科学,2015,34(5):794-800. (Peng J L, Zhang Y Q, Tang J H, et al. Effect of plant-row spacing on photosynthetic characteristics and yield of summer soybean[J]. Soybean Science, 2015,34(5):794-800. )