



## 密度与播量配置对鲜食大豆光合特性和产量的影响

蓝新隆<sup>1</sup>, 萧 涵<sup>1</sup>, 林训昌<sup>2</sup>, 夏春英<sup>1</sup>, 刘爱华<sup>1</sup>, 胡润芳<sup>1</sup>, 林国强<sup>1</sup>, 张玉梅<sup>1</sup>

(1. 福建省农业科学院 作物研究所/福建省特色旱作物品种选育工程技术研究中心, 福建 福州 350013; 2. 连江县农业技术推广站, 福建 连江 350500)

**摘 要:**为探索福建省鲜食大豆种植适宜密度与播量,采用双因素裂区试验设计,分别设4个密度水平和4个播量水平,研究不同密度和播量配置对鲜食大豆光合特性和产量的影响。结果表明:随着播量的增加,净光合速率( $P_n$ )为上升趋势,胞间 $\text{CO}_2$ 浓度( $C_i$ )为下降趋势;蒸腾速率( $T_r$ )、叶绿素相对含量(SPAD值)及除种植18万和21万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理外的气孔导度( $G_s$ )、胞间 $\text{CO}_2$ 浓度与大气 $\text{CO}_2$ 浓度( $C_a$ )比( $C_i/C_a$ )呈先升后降趋势,蒸气压亏缺( $VPD$ )呈先降后升趋势。同一播量下,随着密度的增大, $T_r$ 和 $C_i$ 呈上升趋势。相同密度条件下随着播量增加,株高和底荚高度为上升趋势,而主茎节数表现为下降趋势,有效荚数呈逐渐下降趋势,除12万和15万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理外产量均呈先升后降趋势。18万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 和每穴2株组合鲜荚产量最佳,达11 290.32  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,比12万、15万和21万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 分别增产0.45%、5.71%和14.15%。综上所述,在福建省鲜食大豆种植以密度为18万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 和每穴2株的栽培模式最佳。

**关键词:** 鲜食大豆; 密度; 播量; 光合特性; 产量

## Effects of Density and Sowing Amount on Photosynthetic Characteristics and Yield of Vegetable Soybean

LAN Xinlong<sup>1</sup>, XIAO Han<sup>1</sup>, LIN Xunchang<sup>2</sup>, XIA Chunying<sup>1</sup>, LIU Aihua<sup>1</sup>, HU Runfang<sup>1</sup>, LIN Guoqiang<sup>1</sup>, ZHANG Yumei<sup>1</sup>

(1. Institute of Crop Sciences, Fujian Academy of Agricultural Sciences/Fujian Engineering Research Center for Characteristic Dry Crop Varieties Breeding, Fuzhou 350013, China; 2. Lianjiang Station for Popularizing Agricultural Technique, Lianjiang 350500, China)

**Abstract:** In order to study the optimal density and sowing amount for the vegetable soybean planting in Fujian province. A two-factor splitted blocks design was used to study the effects of different density and sowing amount on the photosynthetic characteristics and yield of vegetable soybean. Four density and four sowing amount levels were set up respectively. The results showed that with the increase of sowing amount, the net photosynthetic rate ( $P_n$ ) showed an upward trend, and the intercellular  $\text{CO}_2$  concentration ( $C_i$ ) showed a downward trend; the transpiration rate ( $T_r$ ), relative chlorophyll content (SPAD value), the stomatal conductance ( $G_s$ ) and the ratio of intercellular  $\text{CO}_2$  to atmospheric  $\text{CO}_2$  ( $C_i/C_a$ ) expect for the 180 000 and 210 000 plants  $\cdot\text{ha}^{-1}$  were first increased and then decreased, and the vapor pressure deficit ( $VPD$ ) was first decreased and then increased. Under the same sowing amount, as the density increases,  $T_r$  and  $C_i$  show an upward trend. Under the same density conditions, as the sowing amount increases. Plant height and pod height showed an upward trend, while the number of main stem nodes showed a downward trend. The number of effective pods showed a gradual downward trend. Except for the 120 000 and 150 000 plants  $\cdot\text{ha}^{-1}$ , the yield first increased and then declined. The yield of 180 000 plants  $\cdot\text{ha}^{-1}$  and two per hole of plants was the optimal, reaching 11 290.32  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , which was 0.45%, 5.71% and 14.15% higher than that of 120 000, 150 000 and 210 000 plants  $\cdot\text{ha}^{-1}$ , respectively. In summary, the planting pattern with a density of 180 000 plants  $\cdot\text{ha}^{-1}$  and sowing amount of two per hole of plants was the optimal for vegetable soybean planting in Fujian province.

**Keywords:** vegetable soybean; density; sowing amount; photosynthetic characteristics; yield

鲜食大豆的光合特性和产量受到群体结构的重要影响,适当密植对调节群体结构具有重要意义<sup>[1]</sup>。随着种植密度提高,植株间隙变窄,导致冠层内的透风和透光不良,底部叶片无法得到充分的光照,鲜食大豆无法得到足够的光合产物来维持其发育<sup>[2]</sup>。因此,合理的群体配置不仅能够改善植株冠层的光能分布,同时有利于充分利用不同类型的

光源与温度、湿度、 $\text{CO}_2$ ,与养分吸收相辅相成,使得田间微气候发生改变,从而促进豆荚发育和产量的提高<sup>[3]</sup>。

国内外研究学者对密度和播量对不同群体光合特性及产量影响的研究多数聚焦于大田作物。祁皓天<sup>[4]</sup>研究发现,小麦播种量的增加,叶片蒸腾速率、气孔导度和 $\text{CO}_2$ 浓度逐渐降低。相反,籽粒产

收稿日期:2024-05-16

基金项目:福建省科技厅星火项目(2023S0011);福建省财政专项(CXTD2021011-2)。

第一作者:蓝新隆(1974—),男,助理研究员,主要从事大豆遗传育种及栽培技术研究。E-mail:350446255@qq.com。

通讯作者:林国强(1965—),研究员,主要从事大豆遗传育种及栽培技术研究。E-mail:542057656@qq.com;

张玉梅(1980—),博士,副研究员,主要从事大豆遗传育种及栽培技术研究。E-mail:2407270791@qq.com。

量逐渐提高。李宁等<sup>[5]</sup>研究认为,小麦同一播量条件下,高密度处理叶面积指数最低,不利于产量的提高,中密度处理可以有效提高光合特性,促进库容提升并最终实现籽粒高产。马珂等<sup>[6]</sup>研究认为,播距减小条件下,增加播量有利于调节分蘖数并提高谷子株高、光合效率和结穗产量。畅灼卓等<sup>[7]</sup>通过播量和密度研究表明,采用 33.3 cm 行距,每穴 2~3 粒处理,谷子光合速率和单株产量相对较低,但群体产量较高。Zhao 等<sup>[8]</sup>研究表明,相同种植密度下,播种过密降低了花生叶片光合效率和抗倒伏能力;28.5 万株·hm<sup>-2</sup>密度处理能够有效改善群体光合能力并促进荚果产量提高。Ju 等<sup>[9]</sup>研究认为,种植密度过高不利于光合产物的积累,播种密度 180 kg·hm<sup>-2</sup>的配置助于提升燕麦旗叶特性从而提高产量。目前对鲜食大豆群体配置研究仅聚焦于种植播期和密度对产量的影响<sup>[10]</sup>。针对福建省鲜食大豆种植密度与播量对光合特性和产量的影响鲜有研究。

本研究拟根据不同种植密度和播量对鲜食大豆群体光合特性及产量的影响,分析不同群体配置的植株光合参数和叶绿素含量的变化与产量之间的关系,筛选适宜的群体配置,以期对福建鲜食大豆高产栽培提供理论依据及技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2020 年春季在连江连丹鑫农业综合开发有限公司鲜食大豆生产基地(26°35'N,119°48'E)进行。试验地土壤质地为壤土。0~20 cm 土壤耕作层 pH6.0,全氮 0.113%,全磷 0.076%,全钾 0.68%,有机质 20.3 g·kg<sup>-1</sup>,有效磷 111.4 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾 125 mg·kg<sup>-1</sup>。前茬作物为水稻。

1.2 材料

供试鲜食大豆品种为闽豆 7 号,由福建省农业科学院作物研究所提供。该品种属中熟品种,具有商品性好、品质优良、丰产性好、稳产性较高等优点<sup>[11]</sup>。

1.3 试验设计

本研究采用双因素裂区设计,主区为单位种植密度(A),设置 4 个水平即 12 万株·hm<sup>-2</sup>(A1)、15 万株·hm<sup>-2</sup>(A2)、18 万株·hm<sup>-2</sup>(A3)和 21 万株·hm<sup>-2</sup>(A4);副区为种植播量(B),设置 4 个水平即每穴 1 株(B1)、每穴 2 株(B2)、每穴 3 株(B3)和每穴 4 株(B4),共计 16 个处理,进行 3 次生物学重

复,随机排列。试验共计 48 个小区,每个小区面积 13.33 m<sup>2</sup>。小区畦宽 0.90 m,畦长 14.82 m,双行种植,行距 0.40 m,并在四周种植保护行。播种方式以及其他栽培管理措施按照当地大田生产水平和习惯进行。播种深浅一致,确保一次全苗,及时间苗和定苗。同一播期确保在相同时间段完成,田间管理与大田生产相同。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 光合指标 在鼓粒期选择晴朗无云天气,采用 LI-6400 光合测定仪(美国 LI-COR 公司)于上午 9:00~11:00 在每小区随机选取长势一致代表性植株 3 株,每片叶 3 次生物学重复。分别测定净光合速率(*P<sub>n</sub>*)、气孔导度(*G<sub>s</sub>*)、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度(*C<sub>i</sub>*)、胞间 CO<sub>2</sub> 与大气 CO<sub>2</sub> 浓度(*C<sub>a</sub>*)比(*C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub>*)、蒸腾速率(*T<sub>r</sub>*)、蒸气压亏缺(*VPD*)和叶温(*C<sub>t</sub>*)等指标;采用 TYS-A 叶绿素测定仪(浙江托普云农科技股份有限公司)测定叶绿素相对含量(SPAD 值)。

1.4.2 农艺性状及经济性状 在鼓粒至 80%,荚色翠绿时进行采青收获。鲜食大豆采收期每小区随机选取 10 株考种,考查相关农艺性状和经济性状,以小区为单位进行测产(含 10 株取样产量)。测定株高、主茎节数、有效分枝数、底荚高度、单株荚果重、百粒鲜重、出粒率、各型荚果数、标准荚长、标准荚宽、标准荚重和小区产量等指标。

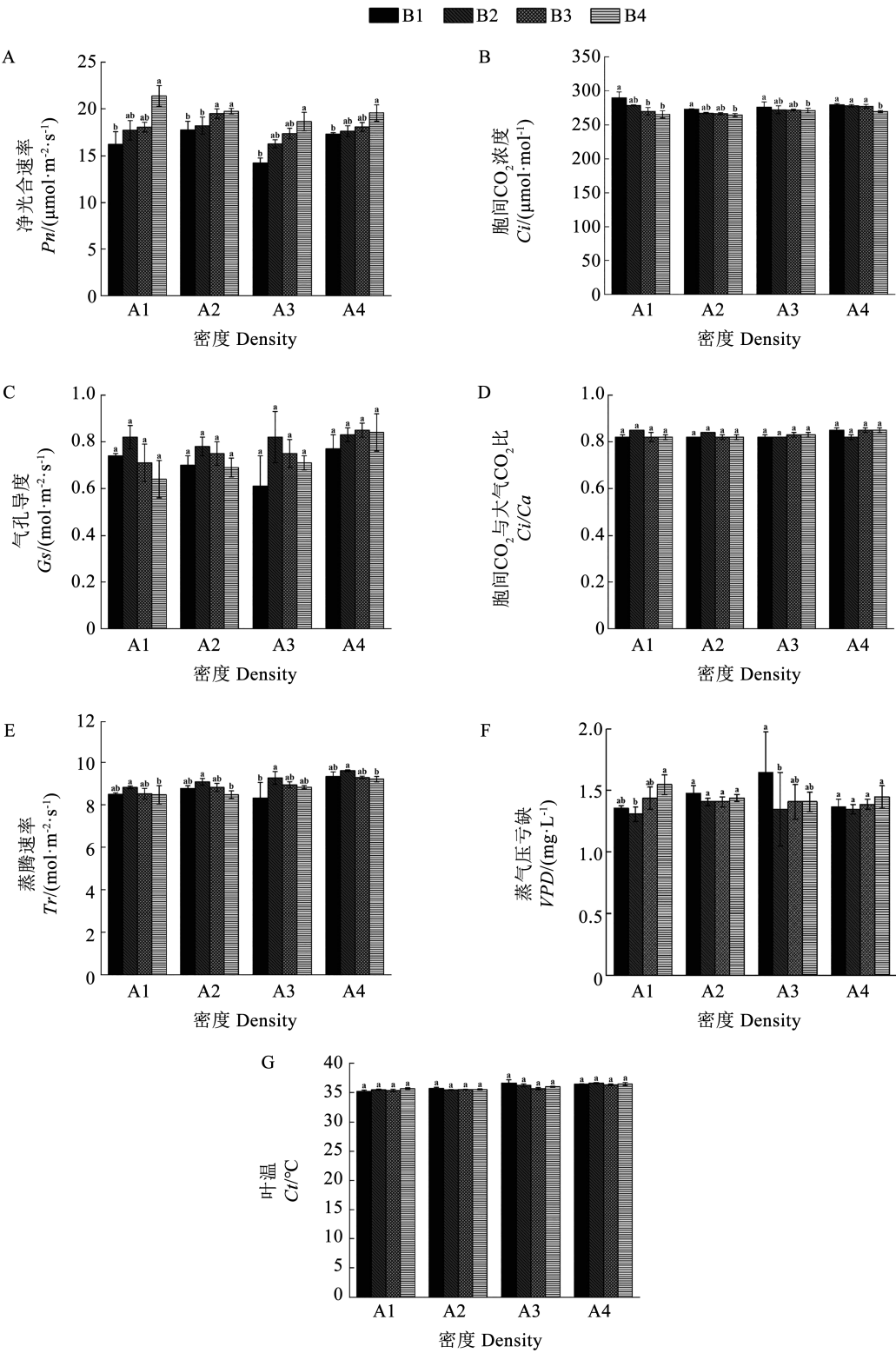
1.5 数据分析

采用 Excel 2016 进行数据录入,使用 IBM SPSS 27 软件进行数据处理统计分析,采用 Duncan 法进行差异显著性检验(*P*<0.05),采用 OriginPro 2022 软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 密度与播量配置对鲜食大豆光合特性的影响

2.1.1 光合速率 由图 1 所示,*P<sub>n</sub>*、*C<sub>i</sub>*、*T<sub>r</sub>* 在同一密度不同播量之间差异显著(*P*<0.05),随着播量的增加,*P<sub>n</sub>* 呈逐步上升趋势,具体表现为 B4>B3>B2>B1,增幅分别为 31.65%、11.33% 和 9.24%;*C<sub>i</sub>* 呈逐步下降趋势,具体表现为 B1>B2>B3>B4,降幅分别为 3.90%、6.95% 和 8.52%;*T<sub>r</sub>* 呈先升后降趋势。同一密度随着播量的增加,*G<sub>s</sub>* 呈先升后降趋势,*C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub>* 除 A3 和 A4 外也呈先升后降趋势。但 *G<sub>s</sub>* 和 *C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub>* 在不同播量之间差异不显著(*P*>0.05);*VPD* 呈先降后升趋势,在 A1 和 A3 处理差异显著(*P*<0.05);*C<sub>t</sub>* 升降趋势不明显,且处理差异不显著(*P*>0.05)。同一播量下,随着密度的增大,*T<sub>r</sub>* 和 *C<sub>i</sub>* 呈总体上升趋势。



注: A. 净光合速率; B. 胞间  $\text{CO}_2$  浓度; C. 气孔导度; D. 胞间  $\text{CO}_2$  与大气  $\text{CO}_2$  比; E. 蒸腾速率; F. 蒸气压亏缺; G. 叶温。同一密度条件下不同播量之间小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 下同。

Note: A.  $P_n$ ; B.  $C_i$ ; C.  $G_s$ ; D.  $C_i/C_a$ ; E.  $Tr$ ; F.  $VPD$ ; G.  $C_t$ . The lowercase under the same planting density condition and different sowing amount indicate significant difference ( $P < 0.05$ ), the same below.

图 1 不同密度与播量配置对鲜食大豆光合特性的影响

Fig. 1 Effects of different planting densities and sowing amounts on the photosynthetic characteristics of vegetable soybeans

2.1.2 叶绿素含量 如图2所示,同一密度下,叶绿素相对含量随着播量的增加呈先升后降趋势,有显著性差异( $P < 0.05$ ),除A1和A3外,具体表现为 $B3 > B2 > B1 > B4$ 。不同密度同一播量处理下,总体呈先升后降趋势。不同密度和播量处理之间SPAD值最高处理是A2B3,为57.0;SPAD值最低处理是A4B4,为50.2。

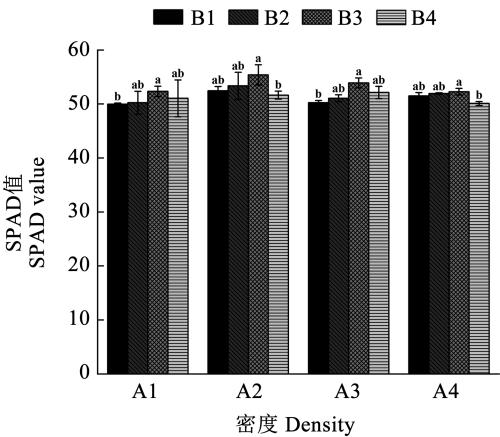


图2 不同密度与播量配置鲜食大豆SPAD值  
Fig.2 SPAD value of vegetable soybeans with different planting densities and sowing amounts

2.2 密度与播量配置对鲜食大豆性状的影响

2.2.1 农艺性状 如表1所示,同一密度下随着播量的增加株高和底荚高度总体为上升趋势,具体表

现为 $B4 > B3 > B2 > B1$ ,其中,A4B4处理鲜食大豆株高和底荚高度最高,分别为40.00和9.00 cm;A1B1处理鲜食大豆株高和底荚高度最低,分别为31.23和5.33 cm。相反,主茎节数表现为逐渐下降趋势,具体表现为 $B1 > B2 > B3 > B4$ ,其中,A1B1处理鲜食大豆主茎节数最高,为9.13个;A2B4处理最低,为8.10个。主茎节数和底荚高度在A2密度时无显著差异( $P > 0.05$ )。同时,各处理之间有效分枝数、标准荚长和标准荚宽均无显著差异( $P > 0.05$ )。同一播量,不同密度处理下,株高和底荚高度总体为上升趋势,具体表现为 $A4 > A3 > A2 > A1$ 。而主茎节数总体呈下降趋势。

2.2.2 经济性状 由表2可知,同一密度条件下,不同播量间的单株荚果重、单粒荚数、双粒荚数、三粒荚数、秕粒荚数、有效荚数、标准荚数、标准荚重、每1 kg标准荚数和产量在同一密度下不同播量之间的差异达显著水平( $P < 0.05$ );随着播量的增加,有效荚数呈逐步下降趋势,具体表现为 $B1 > B2 > B3 > B4$ 。其中,A1B1处理鲜食大豆有效荚数最多,为31.60个;A4B4处理最低,为19.06个;随着播量的增加,A1和A2产量呈逐步下降趋势,具体表现为 $B1 > B2 > B3 > B4$ ,而A3和A4产量呈先升后降趋势。同一播量不同密度条件下,产量呈先升后降趋势。A3B2处理鲜荚产量最佳,达11 290.32 kg·hm<sup>-2</sup>,比A1B2处理、A2B2处理和A4B2处理分别增产0.45%、5.71%和14.15%。

表1 不同密度与播量配置下鲜食大豆的农艺性状  
Table 1 Agronomic traits of vegetable soybean under different planting densities and sowing amounts

密度 Planting density	播量 Sowing amount	株高 Plant height/ cm	主茎节数 Number of main stem nodes	有效分枝数 Number of effective branches	底荚高度 Bottom pod height/cm	标准荚长 Standard pod length/cm	标准荚宽 Standard pod width/cm
A1	B1	31.23 ± 4.99 b	9.13 ± 0.38 a	3.30 ± 0.35 a	5.33 ± 0.43 b	7.06 ± 0.13 a	1.51 ± 0.02 a
	B2	32.27 ± 2.34 ab	8.53 ± 0.29 ab	3.90 ± 0.44 a	5.67 ± 1.39 ab	7.20 ± 0.15 a	1.50 ± 0.02 a
	B3	33.60 ± 2.58 ab	8.50 ± 0.15 ab	3.33 ± 0.49 a	6.37 ± 0.41 a	6.98 ± 0.16 a	1.49 ± 0.04 a
	B4	34.47 ± 2.04 a	8.37 ± 0.13 b	3.30 ± 0.68 a	6.97 ± 0.58 a	6.89 ± 0.10 a	1.52 ± 0.06 a
A2	B1	31.10 ± 1.21 b	8.47 ± 0.09 a	3.50 ± 0.50 a	6.00 ± 0.61 a	7.00 ± 0.09 a	1.52 ± 0.01 a
	B2	32.80 ± 3.78 ab	8.40 ± 0.38 a	3.40 ± 0.60 a	6.46 ± 1.02 a	7.19 ± 0.16 a	1.50 ± 0.02 a
	B3	32.90 ± 3.21 ab	8.17 ± 0.33 a	2.73 ± 0.47 a	6.53 ± 1.10 a	7.16 ± 0.08 a	1.52 ± 0.00 a
	B4	36.70 ± 3.15 a	8.10 ± 0.17 a	3.30 ± 0.47 a	6.70 ± 0.17 a	6.95 ± 0.04 a	1.51 ± 0.05 a
A3	B1	36.80 ± 2.93 b	9.00 ± 0.21 a	4.50 ± 1.49 a	6.43 ± 0.19 b	7.06 ± 0.03 a	1.48 ± 0.02 a
	B2	38.50 ± 0.61 ab	8.93 ± 0.35 ab	3.50 ± 0.29 a	6.87 ± 0.46 b	7.16 ± 0.19 a	1.57 ± 0.04 a
	B3	38.63 ± 1.34 ab	8.87 ± 0.03 ab	3.00 ± 0.38 a	7.56 ± 0.35 ab	6.92 ± 0.12 a	1.54 ± 0.05 a
	B4	39.73 ± 1.92 a	8.43 ± 0.07 b	3.03 ± 0.61 a	8.80 ± 0.35 a	7.16 ± 0.34 a	1.49 ± 0.04 a
A4	B1	36.80 ± 2.70 b	9.07 ± 0.17 a	3.93 ± 0.54 a	6.73 ± 0.43 b	6.98 ± 0.08 a	1.49 ± 0.02 a
	B2	38.56 ± 2.21 ab	8.50 ± 0.12 ab	3.37 ± 0.43 a	7.13 ± 0.52 b	6.88 ± 0.14 a	1.49 ± 0.06 a
	B3	39.83 ± 3.77 a	8.43 ± 0.32 ab	3.07 ± 0.49 a	8.60 ± 0.53 a	6.89 ± 0.16 a	1.47 ± 0.01 a
	B4	40.00 ± 1.32 a	8.36 ± 0.09 b	3.07 ± 0.61 a	9.00 ± 0.68 a	6.84 ± 0.12 a	1.55 ± 0.04 a



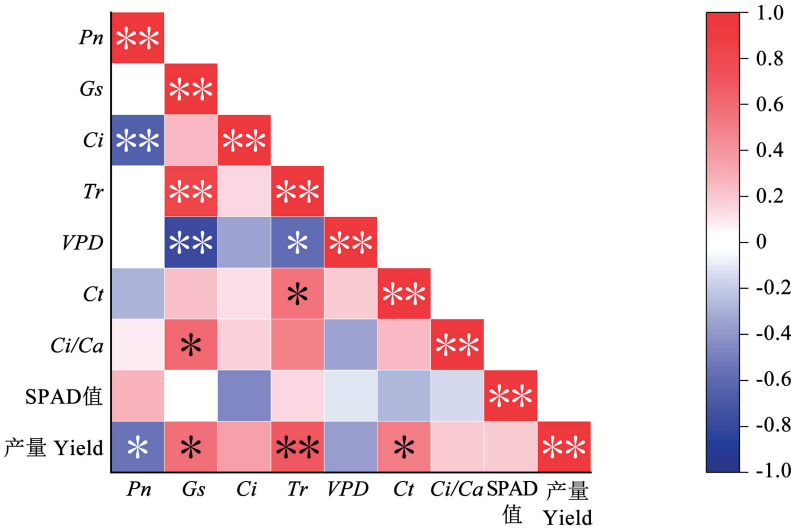
表 2 不同密度与播量配置下鲜食大豆的经济性状  
Table 2 Economic traits of vegetable soybean under different planting densities and sowing amounts

密度 Planting density	播量 Sowing amount	单株荚果重 Pods weight per plant/g	百粒鲜重 100-seeds fresh weight/g	出粒率 Yield seed rate/%	单粒荚数 Single seed pod number	双粒荚数 Double seeds pod number	三粒荚数 Three seeds pod number	四粒荚数 Four seeds pod number	秕粒荚数 Unripe seed pod number	有效荚数 Number of effective pods	标准荚数 Number of standard pods	标准荚重 Weight of standard pods/g	每 1 kg 标准荚数 Number of standard pods per 1 kg	产量 Yield/ (kg·hm <sup>-2</sup> )
A1	B1	108.50 ± 11.65 a	95.02 ± 1.76 a	51.17 ± 0.36 a	6.57 ± 0.73 ab	15.26 ± 0.56 a	7.27 ± 1.09 a	0.03 ± 0.33 a	2.96 ± 0.69 b	31.60 ± 2.40 a	22.56 ± 1.63 a	93.93 ± 16.67 a	251.67 ± 31.25 b	10140.03 ± 800.77 a
	B2	105.70 ± 0.62 ab	98.78 ± 4.99 a	49.50 ± 0.32 a	7.70 ± 0.81 a	13.80 ± 2.41 ab	6.17 ± 0.90 ab	0.67 ± 0.67 a	3.20 ± 0.96 ab	29.95 ± 2.21 ab	20.03 ± 3.02 ab	69.80 ± 9.58 b	287.33 ± 26.39 a	9994.95 ± 293.16 a
	B3	82.07 ± 4.72 b	97.87 ± 3.23 a	50.18 ± 1.43 a	5.47 ± 0.13 b	13.86 ± 0.99 ab	5.13 ± 0.55 b	0.00 ± 0.00 a	4.90 ± 0.85 a	25.87 ± 1.52 ab	19.00 ± 1.39 ab	76.23 ± 5.09 ab	249.33 ± 7.97 b	9267.32 ± 545.98 ab
	B4	83.44 ± 6.09 b	96.18 ± 2.12 a	50.16 ± 0.72 a	5.97 ± 1.34 b	11.70 ± 0.12 b	4.90 ± 0.15 b	0.00 ± 0.00 a	5.00 ± 1.82 a	22.56 ± 1.16 b	16.60 ± 0.21 b	69.89 ± 3.43 b	238.67 ± 12.98 b	8549.64 ± 415.99 b
A2	B1	109.11 ± 1.31 a	97.05 ± 0.55 a	50.38 ± 0.36 a	7.10 ± 0.96 ab	14.76 ± 1.04 a	7.20 ± 0.67 a	0.00 ± 0.00 a	5.36 ± 0.72 a	29.06 ± 1.25 a	21.96 ± 0.43 a	87.93 ± 9.67 a	255.00 ± 24.76 b	10670.17 ± 212.95 a
	B2	96.32 ± 3.78 ab	96.95 ± 0.87 a	49.17 ± 0.49 a	7.76 ± 0.74 a	14.20 ± 0.67 a	5.03 ± 0.35 ab	0.00 ± 0.00 a	3.70 ± 0.87 ab	27.06 ± 1.50 a	19.23 ± 0.81 ab	80.67 ± 2.89 ab	241.67 ± 11.02 b	10600.15 ± 212.23 a
	B3	72.66 ± 5.90 c	100.03 ± 4.76 a	50.01 ± 1.37 a	4.53 ± 1.59 b	12.43 ± 0.76 b	4.03 ± 0.91 b	0.00 ± 0.00 a	2.40 ± 0.76 b	25.00 ± 1.72 b	16.46 ± 1.68 b	67.26 ± 6.00 b	276.00 ± 24.68 a	10322.58 ± 189.34 a
	B4	84.70 ± 3.30 bc	94.92 ± 2.13 a	50.43 ± 0.70 a	6.50 ± 0.97 ab	13.40 ± 1.47 ab	4.57 ± 0.79 b	0.03 ± 0.03 a	4.83 ± 1.74 a	24.47 ± 1.71 ab	18.00 ± 1.94 ab	66.31 ± 5.19 b	270.00 ± 8.08 ab	9389.85 ± 228.54 b
A3	B1	88.73 ± 18.27 a	93.27 ± 3.81 a	49.14 ± 1.11 a	6.57 ± 1.00 a	12.17 ± 2.81 ab	5.03 ± 1.51 a	0.03 ± 0.03 a	5.00 ± 2.65 a	26.80 ± 4.29 a	19.87 ± 2.61 a	74.66 ± 22.35 a	242.33 ± 22.34 b	10467.62 ± 428.80 b
	B2	81.68 ± 3.95 ab	106.19 ± 12.24 a	50.24 ± 1.06 a	4.77 ± 0.20 b	13.07 ± 0.81 a	4.93 ± 0.28 a	0.00 ± 0.00 a	4.20 ± 0.79 a	22.47 ± 1.25 ab	18.00 ± 1.04 a	69.86 ± 0.58 ab	257.67 ± 15.45 ab	11290.32 ± 370.13 a
	B3	76.89 ± 0.90 b	92.11 ± 2.14 a	50.15 ± 1.20 a	6.77 ± 0.62 a	11.40 ± 0.15 b	4.57 ± 0.15 a	0.00 ± 0.00 a	2.83 ± 0.43 b	21.19 ± 0.73 ab	15.97 ± 0.24 b	65.00 ± 5.59 b	248.33 ± 16.91 b	11030.26 ± 206.69 a
	B4	77.62 ± 5.01 b	94.18 ± 1.16 a	50.67 ± 0.12 a	5.57 ± 0.47 ab	12.47 ± 0.58 a	4.03 ± 1.00 a	0.00 ± 0.00 a	3.33 ± 0.68 ab	20.06 ± 1.36 b	16.50 ± 1.52 ab	64.32 ± 9.44 b	260.33 ± 12.68 a	10535.13 ± 301.39 b
A4	B1	95.49 ± 3.19 a	97.94 ± 1.20 a	50.12 ± 1.13 a	7.50 ± 1.55 ab	14.80 ± 1.55 a	5.00 ± 0.85 a	0.00 ± 0.00 a	5.97 ± 2.19 a	27.30 ± 2.03 a	19.80 ± 0.70 a	80.85 ± 7.49 a	247.33 ± 13.20 ab	10492.62 ± 697.34 b
	B2	92.22 ± 7.75 ab	93.64 ± 1.43 a	49.91 ± 1.27 a	8.16 ± 0.43 a	12.30 ± 0.36 ab	5.10 ± 0.35 a	0.03 ± 0.03 a	3.00 ± 0.30 b	25.63 ± 0.76 a	17.46 ± 0.75 b	77.32 ± 8.03 ab	229.00 ± 16.26 b	11270.32 ± 325.20 a
	B3	68.95 ± 1.87 c	93.60 ± 2.67 a	49.97 ± 0.75 a	5.53 ± 0.92 b	10.63 ± 0.23 b	3.43 ± 0.44 b	0.00 ± 0.00 a	5.47 ± 0.65 a	23.60 ± 1.10 ab	14.06 ± 0.50 bc	56.55 ± 4.99 b	282.33 ± 42.88 a	10917.73 ± 142.36 a
	B4	79.33 ± 3.23 bc	93.21 ± 2.32 a	49.08 ± 0.95 a	7.16 ± 1.30 ab	11.40 ± 0.35 b	4.50 ± 0.15 ab	0.00 ± 0.00 a	3.47 ± 0.74 b	19.06 ± 1.76 b	15.90 ± 0.50 c	64.23 ± 6.12 ab	250.33 ± 18.19 ab	10395.10 ± 83.80 b

2.3 光合特性与产量的相关性分析

为进一步表明密度与播量对光合特性与鲜食大豆产量的影响,进行 Pearson 相关性分析。通过图 3 表明,*Ci* 与 *Pn* 呈极显著负相关;*Gs* 与 *Ci/Ca* 呈

显著正相关,与 *Tr* 呈极显著正相关,但与 *VPD* 呈极显著负相关;*Tr* 与 *Ct* 呈显著正相关,与 *VPD* 呈显著负相关;产量与 *Gs* 和 *Ct* 呈显著正相关,与 *Tr* 呈极显著正相关,但与 *Pn* 呈显著负相关。



注: \* 和 \*\* 分别表示在  $P < 0.05$  和  $P < 0.01$  水平差异显著。  
Note: \* and \*\* indicate significant differences at the  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$  level, respectively.

图 3 光合特性与产量的相关性分析

Fig.3 The correlation of photosynthetic characteristics and yield

3 讨论

合理的群体配置能够协调植株单体与群体的有机统一,构建良好的群体结构从而提高光合效率,促进植株良好发育和产量提高具有重要作用<sup>[12]</sup>。其中,光合效率与鲜食大豆产量密切相关,是构成荚粒形成的物质基础<sup>[13]</sup>。本研究结果表明,随着播量的增加,*Pn* 逐渐升高,而 *Ci* 逐渐降低,马珂等<sup>[6]</sup>发现增加播量有利于提高谷子叶片的净光合速率,但使叶片胞间  $\text{CO}_2$  浓度的下降,这与本研究的结果一致;不同密度同一播量下,叶片 *Ci* 随着密度的增加呈上升趋势,可能是因为较低密度下,同穴较多鲜食大豆叶片植株相互遮挡,造成植株呼吸作用增强,随着密度的提高,群体内  $\text{CO}_2$  浓度激增。植株较高的气孔导度有利于叶片的光合速率提高,赵建云<sup>[14]</sup>研究发现,随着播量的增加,小麦叶片的气孔导度呈先升高后降低的趋势;李梦涛<sup>[15]</sup>研究表明,旱地小麦的气孔导度随着播量的增加而呈先升后降趋势。在本研究中,鲜食大豆的 *Gs* 在同一密度随着播量的增加呈先升后降趋势,与上述研究结论一致。蒸气压亏缺是影响气孔导度和蒸腾速率的原因之一,同一密度下,随着播量的增加 *VPD* 呈先降后升趋势,与 *Gs* 和 *Tr* 的趋势呈反比,这与 Shrestha 等<sup>[16]</sup>研究结论一致。植株通过增加蒸腾速率来应

对蒸气压亏缺的上升,而种植过密造成蒸腾失水速率到达临界点后下降。同一播量不同密度条件下,*Tr* 呈总体上升趋势,这与李瑞东等<sup>[17]</sup>研究结果相似,这可能与密度设置及豆类品种不同有关。叶片 SPAD 值是反应植物光合效率的重要因素之一,本研究结果表明,随着密度和播量的增加,叶片 SPAD 值呈先升后降趋势,这与湛长贵等<sup>[18]</sup>的研究结论一致。适当的密植可促进植株的生理活性,从而提高叶绿素含量,但种植过密会加速叶片的衰老,从而导致叶绿素含量的下降速率<sup>[19]</sup>。

密度和播量是影响作物群体的重要因素,其多样性和均匀性对作物的光合利用、生长发育和干物质积累有机统一,二者缺一不可<sup>[20-21]</sup>。本研究结果发现,随着密度和播量的提高,株高和底荚高度总体为上升趋势,而主茎节数总体呈下降趋势。表明随着密度和播量的提高,有利于鲜食大豆的光能利用率提高,促进了植株的形态建成。但种植过密,底层的光能利用率较冠层更低,造成节数变少。植株密度过大,造成植株之间水分和营养的争夺,使得生物个体某一性状提升,反之造成其他性状相应下降,形成相互制约的状态<sup>[22]</sup>。合理的种植密度是构成菜豆高产优质的重要举措<sup>[23]</sup>。鲜食大豆产量取决于荚数、荚重和荚粒质量,三者之间的有机统一,有利于获得高产<sup>[24]</sup>。前人研究认为,随着密度

的增加,大豆荚数和产量呈先升后降趋势<sup>[25-27]</sup>。本研究发现密度和播量的提高,有效荚数总体呈下降趋势,产量总体呈先升后降趋势,其结果与上述研究相似。表明种植过稀疏,造成田间光能利用率的损失,种植过密抑制了植株个体生产能力,合理密植有利于豆荚产量的提高。

4 结论

本研究密度为18万株·hm<sup>-2</sup>,播量为每穴2株的处理,收获鲜食大豆的产量达11 290.32 kg·hm<sup>-2</sup>;其次为密度为21万株·hm<sup>-2</sup>,播量为每穴2株的处理,产量达11 270.32 kg·hm<sup>-2</sup>。密度为21万株·hm<sup>-2</sup>且播量为每穴2株的处理虽光合特性和单株产量不是最高,但合理密植弥补了光合速率降低导致的单株产量降低,故群体产量提升。此外,尽可能适时早播,在豆荚形成时注重水分管理等栽培措施,选择适宜的采收期能确保鲜食大豆的品质。综上所述,18万株·hm<sup>-2</sup>,播量每穴2株更有利于鲜食大豆生产潜力的发挥,助力鲜食大豆群体产量的提高。

参考文献

[1] 姬忠明, 罗万字, 王小春. 带宽、玉米密度对鲜食玉米鲜食大豆带状间作群体物质积累及产量的影响[J]. 四川农业大学学报, 2023, 41(5): 791-800. (JI Z M, LUO W Y, WANG X C. Effects of bandwidth and maize density on matter accumulation and yield of fresh corn and soybean strip intercropping population [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2023, 41(5): 791-800. )

[2] 方临志. 光质对菜用大豆生长发育及产量品质的影响[D]. 广州: 华南农业大学, 2019. (FANG L Z. Effect of light quality on growth, yield and quality of vegetable soybean [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2019. )

[3] 严宇剑. 鲜食玉米-菜用大豆高产优质间作模式研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2020. (YAN Y J. Study on intercropping mode of fresh corn and vegetable soybean with high yield and good quality [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2020. )

[4] 祁皓天. 播种方式和播量对冬小麦生育特性、产量及品质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2020. (QI H T. Effects of sowing methods and sowing amount on growth characteristics, yield and quality of winter wheat [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2020. )

[5] 李宁, 段留生, 李建民, 等. 播期与密度组合对不同穗型小麦品种花后旗叶光合特性、籽粒库容能力及产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2010, 30(2): 296-302. (LI N, DUAN L S, LI J M, et al. Effect of sowing date and planting density on flag leaf photosynthesis, storage capacity after anthesis and yield in different spike type cultivars [J]. Journal of Triticeae Crops, 2010, 30(2): 296-302. )

[6] 马珂, 冯雷, 赵夏童, 等. 播距和播量对张杂谷10号生长特性及产量的影响[J]. 作物杂志, 2022(4): 172-178. (MA K,

FENG L, ZHAO X T, et al. Effects of sowing distance and sowing amount on the growth characteristics and yield of zhangzagu 10 [J]. Crops, 2022(4): 172-178. )

[7] 畅灼卓, 王雅情, 冯雷, 等. 谷子精量播种机播种参数对晋谷21号生长特性与产量的影响[J]. 农业工程学报, 2020, 36(12): 22-29. (CHANG Z Z, WANG Y Q, FENG L, et al. Effects of sowing parameters of millet precision seeder on growth characteristics and yield of Jingu 21 [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(12): 22-29. )

[8] ZHAO J, LAI H, BI C, et al. Effects of paclobutrazol application on plant architecture, lodging resistance, photosynthetic characteristics, and peanut yield at different single-seed precise sowing densities[J]. The Crop Journal, 2023, 11(1): 301-310.

[9] JU Z, LIU K, ZHAO G, et al. Nitrogen fertilizer and sowing density affect flag leaf photosynthetic characteristics, grain yield, and yield components of oat in a semiarid region of Northwest China[J]. Agronomy, 2022, 12(9): 2108.

[10] 李正泉, 张古文, 刘娜, 等. 播种期和种植密度对菜用大豆浙农秋丰2号产量及主要农艺性状的影响[J]. 浙江农业科学, 2022, 63(8): 1748-1751. (LI Z Q, ZHANG G W, LIU N, et al. Effects of sowing date and planting density on yield and main agronomic characters of vegetable soybean Zhenong Qiufeng No. 2 [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2022, 63(8): 1748-1751. )

[11] 张玉梅, 蓝新隆, 陈伟, 等. 高产优质鲜食大豆新品种闽豆7号的选育与应用[J]. 福建农业学报, 2020, 35(5): 489-494. (ZHANG Y M, LAN X L, CHEN W, et al. Breeding and cultivation of a new high-yield, high-quality Mindou 7 soybean for fresh bean consumption [J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2020, 35(5): 489-494. )

[12] 于晓波, 梁建秋, 何泽民, 等. 株行距配置对大豆农艺性状和产量的影响[J]. 大豆科学, 2021, 40(4): 482-489. (YU X B, LIANG J Q, HE Z M, et al. Effects of different spacing configurations on soybean agronomic traits and yield [J]. Soybean Science, 2021, 40(4): 482-489. )

[13] 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): 61-66. (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): 61-66. )

[14] 赵建云. 播量对西农511小麦生长、产量及品质效应[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2021. (ZHAO J Y. Effect of sowing rate on growth, yield and quality of Xinong 511 wheat [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2021. )

[15] 李梦涛. 播量对探墒沟播旱地小麦生长特性及产量、品质形成的影响[D]. 太谷: 山西农业大学, 2020. (LI M T. Effect of sowing amount on growth characteristics, yield and quality formation of dryland wheat sown in furrow with soil moisture exploration [D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2020. )

[16] SHRESTHA R K, LEI P, SHI D, et al. Response of maize (*Zea mays* L.) towards vapor pressure deficit [J]. Environmental and Experimental Botany, 2021, 181: 104293.

[17] 李瑞东, 徐彩龙, 尹阳阳, 等. 增密对少分枝大豆品种光合特性和产量形成的影响[J]. 大豆科学, 2021, 40(5): 633-642.

(LI R D, XU C L, YIN Y Y, et al. Effects of close planting on photosynthetic characteristics and yield of less branched soybean varieties[J]. Soybean Science, 2021, 40(5): 633-642.

[18] 湛长贵, 孙婷, 王冀川, 等. 播期和密度对滴灌冬小麦光合特性及产量的影响[J]. 新疆农业科学, 2021, 58(11): 1971-1980. (ZHAN C G, SUN T, WANG Y C, et al. Effects of sowing date and density on photosynthetic characteristics and yield of winter wheat under drip irrigation [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2021, 58(11): 1971-1980.)

[19] 魏廷邦, 柴强, 王伟民, 等. 水氮耦合及种植密度对绿洲灌区玉米光合作用和干物质积累特征的调控效应[J]. 中国农业科学, 2019, 52(3): 428-444. (WEI T B, CHAI Q, WANG W M, et al. Effects of coupling of irrigation and nitrogen application as well as planting density on photosynthesis and dry matter accumulation characteristics of maize in oasis irrigated areas[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(3): 428-444.)

[20] 王全九, 王康, 苏李君, 等. 灌溉施氮和种植密度对棉花叶面积指数与产量的影响[J]. 农业机械学报, 2021, 52(12): 300-312. (WANG Q J, WANG K, SU L J, et al. Effect of irrigation amount, nitrogen application rate and planting density on cotton leaf area index and yield[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(12): 300-312.)

[21] 岳明强, 刘青松, 徐玉鹏, 等. 播量与行距配置对苜蓿生产性能的影响[J]. 草业科学, 2023, 40(10): 2659-2669. (YUE M Q, LIU Q S, XU Y P, et al. Effects of seeding rate and row spacing configuration on alfalfa production performance [J]. Pratacultural Science, 2023, 40(10): 2659-2669.)

[22] 郑春风, 刘春增, 张济世, 等. 播量与行距对箭筈豌豆农艺结实性状及产量的影响[J/OL]. 中国土壤与肥料, 2023, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5498.S.20231212.1104.002.html>. (ZHENG C F, LIU C Z, ZHANG J S, et al. Effects of different sowing rates and row spacings on agronomic traits, seed setting traits and yield of *Vicia sativa*[J/OL]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2023, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5498.S.20231212.1104.002.html>.)

[23] KARAVIDAS I, NTATSI G, VOUGELEKA V, et al. Agronomic practices to increase the yield and quality of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.): A systematic review[J]. Agronomy, 2022, 12(2): 271.

[24] NAIR R M, BODDEPALLI V N, YAN M R, et al. Global status of vegetable soybean[J]. Plants, 2023, 12(3): 609.

[25] 高超, 陈平, 杜青, 等. 播期、密度对带状间作大豆茎叶生长及产量形成的影响[J]. 作物学报, 2023, 49(11): 3090-3099. (GAO C, CHEN P, DU Q, et al. Effects of sowing date and density on stem, leaf growth, and yield formation in strip intercropping soybean [J]. Acta Agronomica Sinica, 2023, 49(11): 3090-3099.)

[26] 吴树, 冉新月, 黄兴军, 等. 株行配置对南疆复播大豆生长和产量的影响[J]. 大豆科学, 2023, 42(2): 194-203. (WU S, RAN X Y, HUANG X J, et al. Effects of plant and row configuration on growing and yield of multiple planting soybean in southern Xinjiang [J]. Soybean Science, 2023, 42(2): 194-203.)

[27] 何大智, 王涛, 卢平, 等. 种植密度对安豆8号主要农艺性状、经济性状及产量的影响[J]. 大豆科技, 2023(1): 21-25. (HE D Z, WANG T, LU P, et al. Effects of planting density on the main agronomic, economic characters and yield of Andou 8 [J]. Soybean Science & Technology, 2023(1): 21-25.)

欢迎订阅 2025 年《大豆科学》

《大豆科学》是由黑龙江省农业科学院主管主办、国内外公开发行的 大豆专业学术期刊。自 1982 年创刊以来,始终秉承宣传我国大豆科研成果及研究进展,加强国际间的学术交流,推动大豆学术研究和生产发展的办刊宗旨,在学术上严格把关,在出版上精益求精。《大豆科学》被 CA 化学文摘(美)、JST 日本科学技术振兴机构数据库等多家国际知名数据库收录,连续入选北京大学《中文核心期刊要目总览》、中国科学引文数据库(CSCD)、中国科技核心期刊、中国农林核心期刊、《科技期刊世界影响力指数(WJCI)报告》等国内主要期刊数据库。期刊开设遗传育种、分子生物学、耕作栽培、生理生化、土壤肥料、植物保护、分析加工、综述等多个栏目,对大豆科研领域的学术研究成果、技术创新、交流合作等方面内容进行全面报道。

《大豆科学》为双月刊,16 开本,国内外公开发行。国内每期定价:40.00 元,全年 240.00 元,邮发代号:14-95。国外每期定价:40.00 美元(含邮资),全年 240.00 美元,国外邮发代号:Q5587。全国各地邮局均可订阅。

地 址: 哈尔滨市松北区创新三路 800 号  
邮 编: 150023  
电 话: 0451-51522862  
网 址: <http://ddkx.haasep.cn>  
E-mail: soybeanscience@vip.163.com

