



播期、密度及施肥量对牡豆 15 主要农艺性状和光合特性的影响

刘长远¹, 王磊^{1,2}, 齐玉鑫¹, 孙晓环¹, 孙国宏¹, 白艳凤¹, 李文¹, 王燕平¹

(1. 黑龙江省农业科学院 牡丹江分院/国家大豆改良中心牡丹江试验站/牡丹江大豆研发中心, 黑龙江 牡丹江 157041; 2. 南京农业大学 大豆研究所/农业农村部大豆生物学与遗传育种重点实验室/国家大豆改良中心/作物遗传与种质创新国家重点实验室, 江苏 南京 2100950)

摘要:为探讨高蛋白大豆品种牡豆 15 的高效栽培技术,本研究设播期、密度及施肥量 3 个因素,研究这 3 个因子对牡豆 15 的主要农艺性状和光合特性的影响。结果表明:在不同栽培因素条件下,牡豆 15 产量变化范围为 1 958.97 ~ 2 851.28 kg·hm⁻²,最大变化幅度为 45.55%;蛋白质含量均值变化范围为 42.19% ~ 45.06%,最大变化幅度为 6.80%;播期、种植密度和施肥量对气孔导度均有影响,其中播期和施肥量对净光合速率影响较小,种植密度对净光合速率影响较大且低种植密度的净光合速率较高,同时高种植密度有利于提升细胞间 CO₂ 浓度、蒸腾速率和叶绿素含量。最高产量栽培方案为 4 月 30 日播种,保苗 30 万株·hm⁻²,施肥量为 350 kg·hm⁻²,蛋白质含量最高的栽培方案为 5 月 7 日播种,保苗 30 万株·hm⁻²,施肥量 400 kg·hm⁻²。

关键词:大豆;牡豆 15;播期;种植密度;施肥量;农艺性状

Effects of Sowing Date, Density and Fertilizer Application Amount on Main Agronomic Traits and Photosynthetic Characters of Mudou 15

LIU Chang-yuan¹, WANG Lei^{1,2}, QI Yu-xin¹, SUN Xiao-huan¹, SUN Guo-hong¹, BAI Yan-feng¹, LI Wen¹, WANG Yan-ping¹

(1. Mudanjiang Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences/Mudanjiang Experiment Station of National Soybean Improvement Center/Mudanjiang soybean Research Center, Mudanjiang 157041, China; 2. Soybean Research Institute, Nanjing Agricultural University/Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Soybean, Ministry of Agriculture and National Center for Soybean Improvement/National Key Laboratory of Crop Genetic and Germplasm Enhancement, Nanjing 2100950, China)

Abstract: In order to explore the efficient cultivation technology of high protein soybean variety Mudou 15, three factors including sowing date, density and fertilizer application were set to study the effects of these three factors on the main agronomic and photosynthetic characteristics of Mudou 15. The results showed that under the conditions of different cultivation factors, the yield of Mudou 15 varied from 1 958.97 to 2 851.28 kg·ha⁻¹, with the maximum variation of 45.55%. The average variation range of protein content was 42.19% - 45.06%, and the maximum variation range was 6.80%. Sowing date, planting density and fertilizer application amount all had influence on net photosynthetic rate, among which sowing date and fertilizer application amount had little effect on net photosynthetic rate, planting density had more effect on photosynthesis, and the net photosynthetic rate at low planting density was higher. At the same time, high planting density could increase intercellular CO₂ concentration, transpiration rate and chlorophyll content. After screening, the cultivation plan with the highest yield was sown on April 30, with planting density of 300 thousand plants·ha⁻¹ and 350 kg·ha⁻¹ for fertilizer application. The cultivation plan with the highest protein content was sown on May 7, with planting density of 300 thousand plants·ha⁻¹ and 400 kg·ha⁻¹ for fertilizer application.

Keywords: soybean; Mudou 15; sowing date; planting density; fertilization amount; agronomic traits

大豆是植物蛋白和食用油的重要原料^[1],黑龙江省是中国最大的大豆生产区,受比较效应、生产和自然条件的限制以及国外大豆的冲击,自 2010 年起黑龙江省大豆面积逐年减少,但是中国大豆消费量仍呈增长趋势,近年来已经超过 1.1 亿 t。其中 85% 左右是进口大豆,国产大豆所占比例较小。大豆的品质和产量既受遗传控制,也受到耕种条件的影响。播期、种植密度、施肥量对大豆品质及产量潜力的发挥有直接影响,适宜耕种条件下大豆能够

充分利用光、水、热等气候资源,进而实现优质和高产^[2-3],已有较多的研究报道不同的播期、种植密度、施肥量对大豆籽粒品质及产量的影响^[4-5],但鲜有将多因素整合的研究。2019 年黑龙江省农业科学院牡丹江分院育种成的高产优质大豆新品种牡豆 15,在生产试验中平均产量 2 992.7 kg·hm⁻²,比对照品种绥农 26 增产 5.7%,两年区域试验中平均产量 2 709.2 kg·hm⁻²,比对照品种绥农 26 增产 5.6%,三年平均蛋白质含量 45.08%^[6]。本研究为

收稿日期:2022-09-26

基金项目:黑龙江省重点研发计划指导类项目(GZ20210081);黑龙江省自然科学基金(SS2021C002);黑龙江省农业科学院“农业科技创新跨越工程”(HNK2019CX01-7);黑龙江省“百千万”工程科技重大专项(2019ZX16B01-9);黑龙江省农业科学院牡丹江分院青年基金(2021002);黑龙江省农业科学院科技攻关项目(2021YYF006)。

第一作者:刘长远(1995—),男,硕士,助理研究员,主要从事大豆遗传育种研究。E-mail:792675239@qq.com。

通讯作者:王燕平(1981—),男,博士,副研究员,主要从事大豆遗传育种研究。E-mail:wyping1981@126.com。

挖掘牡豆 15 的产量和品质潜力,参考牡丹江地区的栽培技术,探究不同播期、种植密度、施肥量对牡豆 15 主要农艺性状及光合特性的影响,为高产高效栽培技术创新和集成提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验基地概况

试验于 2021—2022 年在黑龙江省农业科学院牡丹江分院温春试验基地 (129°31′ E,44°26′ N) 进行,土壤 pH6.28,20 cm 以上土层有机质含量为 29.90 g·kg⁻¹,全氮 2.60 g·kg⁻¹,全磷 0.71 g·kg⁻¹,全钾 22.2 g·kg⁻¹,满足大豆的基本种植条件,达到该地的平均种植水平。

氮肥:尿素(含纯 46% N);磷肥:磷酸二铵(含 46% P₂O₅,含 18% N);钾肥:氯化钾(含 62% K₂O),试验肥料由牡丹江市牡丰专用肥厂提供。

1.2 材料

高蛋白大豆品种牡豆 15,由黑龙江省农业学院

牡丹江分院 2019 年育成,生育日数 120 d 左右,需 ≥10 ℃ 活动积温 2 450 ℃ 左右。三年平均蛋白质含量 45.08%。生产试验平均产量 2 992.7 kg·hm⁻²,比对照品种绥农 26 增产 5.7%,两年区域试验中平均产量 2 709.2 kg·hm⁻²,比对照品种绥农 26 增产 5.6%^[6]。

1.3 试验设计

试验采用正交组合设计,3 个因素 3 个水平(表 1),共 27 个处理(表 2)。

播期(A):4 月 30 日—5 月 14 日,每隔 7 d 播种一次,以当地栽培时期 5 月 7 日为对照;栽培密度(B):20 万~30 万株·hm⁻²,密度梯度为 5 万株·hm⁻²,以当地常规栽培密度 B2(25 万株·hm⁻²);施肥量(C):350~450 kg·hm⁻²,以当地常规施肥水平 C2(400 kg·hm⁻²)为对照。

行长 5 m,行距 65 cm,3 行区,3 次重复,小区面积 9.75 m²。人工条播,待幼苗初期后定苗;氮肥、磷肥和钾肥全部作基肥。

表 1 试验因子水平
Table 1 Experimental factors and levels

因子 Factor	梯度 Gradient	水平 Level		
		1	2	3
(A)播期 Sowing date/(月-日)	7	4-30	5-07	5-14
(B)种植密度 Planting density/(万株·hm ⁻²)	5	20	25	30
(C)施肥水平 Fertilization level/(kg·hm ⁻²)	50	350	400	450

表 2 各处理因子水平组合
Table 2 Factor and level combinations of the treatments

处理 Treatment	(A) 播期 Sowing date	(B) 种植密度 Planting density	(C) 施肥水平 Fertilization level	处理 Treatment	(A) 播期 Sowing date	(B) 种植密度 Planting density	(C) 施肥水平 Fertilization level
T ₁	1	1	1	T ₁₅	2	2	3
T ₂	1	1	2	T ₁₆	2	3	1
T ₃	1	1	3	T ₁₇	2	3	2
T ₄	1	2	1	T ₁₈	2	3	3
T ₅	1	2	2	T ₁₉	3	1	1
T ₆	1	2	3	T ₂₀	3	1	2
T ₇	1	3	1	T ₂₁	3	1	3
T ₈	1	3	2	T ₂₂	3	2	1
T ₉	1	3	3	T ₂₃	3	2	2
T ₁₀	2	1	1	T ₂₄	3	2	3
T ₁₁	2	1	2	T ₂₅	3	3	1
T ₁₂	2	1	3	T ₂₆	3	3	2
T ₁₃	2	2	1	T ₂₇	3	3	3
T ₁₄	2	2	2				

1.4 测定项目及方法

1.4.1 产量 全区收获计产,计产面积 9.75 m²,进行实收实脱,称重,用水分仪测定含水率,重复 10 次并取平均值。实收产量(kg)=鲜重(kg)×(1-含水率)/(1-13.5%)。

1.4.2 重要育种性状 光合生理指标:于始花期(R1)、始荚期(R3)和鼓粒期(R5)^[7],选择晴朗天

气上午 9:00—11:00 饱和光强下,每小区中间 1 行相同位置的单株,用 Li-6400 光合测定仪测定倒三叶片。

叶绿素含量:使用 SPAD 叶绿素仪测量倒三叶。主要农艺性状:品种完熟期(R8)在小区内连续选择 10 株有代表性单株,考察株高、结荚高度、有效节数、主茎节数、倒伏等级、单株荚数、单株粒数、百

粒重等性状,调查标准参考邱丽娟等^[8]提出的标准。

蛋白质含量:采用泊通 DA7250 近红外谷物分析仪测量蛋白质含量。

1.5 数据分析

采用 WPS office 2022 进行数据统计和作图,采用 SPSS 19.0 进行差异显著性分析($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 播期、密度和施肥量对农艺性状的影响

2.1.1 株高 株高最高的处理是 T₁₆(A₂=5-07, B₃=30 万株·hm⁻², C₁=350 kg·hm⁻²),为 130.0 cm;最低是 T₄(A₁=4-30, B₂=25 万株·hm⁻², C₁=350 kg·hm⁻²),为 101.7 cm(表 3)。对比发现适当推迟播期,增加种植密度有益于提升株高。

2.1.2 结荚高度 结荚高度最高的处理是 T₁₅(A₂=5-07, B₂=25 万株·hm⁻², C₃=450 kg·hm⁻²),为

19.2 cm;最低的是 T₁₇(A₂=5-07, B₃=30 万株·hm⁻², C₂=400 kg·hm⁻²),为 9.4 cm(表 3)。对比发现适当提高种植密度、适量施肥有益于降低结荚高度。

2.1.3 有效节数 有效节数最多的处理是 T₂₂(A₃=5-14, B₂=25 万株·hm⁻², C₁=350 kg·hm⁻²),为 16.2 节;最少的是 T₇(A₁=4-30, B₃=30 万株·hm⁻², C₁=350 kg·hm⁻²),为 10.4 节(表 3)。对比发现推迟播期、适当的播种密度有益于增加有效节数。

2.1.4 主茎节数 主茎节数最高的处理是 T₃(A₁=4-30, B₁=20 万株·hm⁻², C₃=450 kg·hm⁻²),为 19 节;最低的是 T₄(A₁=4-30, B₂=25 万株·hm⁻², C₁=350 kg·hm⁻²),为 13.6 节(表 3)。对比发现降低种植密度、提高施肥量有利于增加主茎节数。

2.1.5 倒伏等级 如表 3 所示,最大倒伏等级是 5 级,均出现在 T₂₂~T₂₇ 处理,播种日期为 A₃(5-14)。在 4 月 30 日到 5 月 14 日内推迟播期会增加倒伏程度。

表 3 播期、密度和施肥量对牡豆 15 农艺性状的影响

Table 3 Effects of sowing date, density and fertilization on agronomic characters of Mudou 15

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	结荚高度 Podding height/cm	有效节数 Effective nodes number	主茎节数 Main stem nodes number	倒伏等级 Lodging level
T ₁	119.7±4.50 c	15.2±2.47 b	11.8±0.64 c	16.6±0.47 b	1
T ₂	114.3±4.92 d	16.2±2.15 b	12.8±0.85 b	15.6±0.42 b	1
T ₃	124.0±5.35 b	18.4±2.51 a	13.1±0.84 b	19.0±0.82 a	3
T ₄	101.7±6.24 e	15.1±4.09 b	10.5±0.41 c	13.6±0.42 c	3
T ₅	102.0±2.94 e	15.7±3.42 b	12.9±1.00 b	14.6±0.42 b	1
T ₆	102.7±7.13 e	16.6±2.31 ab	12.1±0.84 b	15.6±0.42 b	1
T ₇	106.0±2.94 e	15.2±0.16 b	10.4±0.60 c	15.4±0.42 b	3
T ₈	112.3±2.05 d	16.2±2.16 b	13.5±0.41 b	17.9±0.16 a	3
T ₉	113.0±2.16 d	17.3±3.33 ab	12.3±0.51 b	15.4±0.42 b	3
T ₁₀	111.0±2.94 d	13.4±2.28 c	12.2±0.84 b	16.4±0.42 b	1
T ₁₁	119.7±4.50 c	12.7±4.08 c	14.8±0.34 a	18.3±0.47 a	1
T ₁₂	113.3±6.24 d	11.8±2.26 d	14.6±1.23 a	18.3±0.47 a	1
T ₁₃	121.7±5.31 b	18.0±1.35 a	11.4±0.42 c	18.7±0.47 a	1
T ₁₄	111.0±2.94 d	17.4±4.09 c	13.7±0.53 b	17.0±0.82 a	1
T ₁₅	123.3±6.24 b	19.2±0.97 a	13.8±0.31 b	18.4±0.42 a	4
T ₁₆	130.0±4.90 a	17.6±4.22 a	13.4±0.45 b	18.9±0.16 a	4
T ₁₇	122.3±5.25 b	9.4±2.14 e	14.2±0.32 a	18.4±1.23 a	4
T ₁₈	128.3±5.44 a	16.6±2.47 ab	13.9±0.67 ab	15.7±0.47 b	4
T ₁₉	123.7±3.30 b	14.5±2.11 c	12.7±0.54 b	18.4±0.42 a	4
T ₂₀	127.3±6.80 a	18.3±2.41 a	15.5±0.41 a	19.4±0.42 a	4
T ₂₁	129.7±4.50 a	16.4±2.41 ab	14.1±0.83 a	18.6±0.42 a	4
T ₂₂	126.0±3.74 b	15.2±4.09 b	16.2±0.62 a	17.2±0.31 a	5
T ₂₃	120.0±4.90 bc	11.6±2.22 d	14.1±0.84 a	18.4±0.42 a	5
T ₂₄	129.3±1.70 a	18.3±2.47 c	12.1±0.84 b	15.7±0.47 b	5
T ₂₅	104.3±3.30 e	12.8±4.09 c	11.8±0.55 c	15.6±0.42 b	5
T ₂₆	126.7±8.50 a	14.2±2.42 c	14.4±0.42 a	15.7±0.47 b	5
T ₂₇	128.7±3.40 a	12.7±4.08 c	13.7±0.47 b	18.0±0.47 a	5

注:同一列数字后的不同小写字母表示不同处理间的差异显著($P<0.05$),下同。
Note: Different lowercase after the numbers in the same column indicate significant differences among the treatments($P<0.05$), the same below.

2.2 播期、密度和施肥量对产量及其相关性状和蛋白质含量的影响

2.2.1 单株荚数和单株粒数 单株荚数、单株粒数最多的处理是 T₂ (A1 = 4 - 30, B1 = 20 万株·hm⁻², C2 = 400 kg·hm⁻²), 分别为 40.2 个、104.3 粒;最少的是 T₂₅ (A3 = 5 - 14, B3 = 30 万株·hm⁻², C1 = 350 kg·hm⁻²), 分别为 18.3 个、57.3 粒(表 4)。对比发现提前播种、降低种植密度、适当肥量有益于增加单株荚数、单株粒数。

2.2.2 百粒重 百粒重最大的处理是 T₂₇ (A3 = 5 - 14,

B3 = 30 万株·hm⁻², C3 = 450 kg·hm⁻²), 为 20.67 g;最小的是 T₃ (A1 = 4 - 30, B1 = 20 万株·hm⁻², C3 = 450 kg·hm⁻²), 为 17.6 g(表 4)。对比发现推迟播期、增加种植密度有利于增加百粒重。

2.2.3 产量 产量最高的处理是 T₇ (A1 = 4 - 30, B3 = 30 万株·hm⁻², C1 = 350 kg·hm⁻²), 为 2 851.28 kg·hm⁻²;产量最低的是 T₂₆ (A3 = 5 - 14, B3 = 30 万株·hm⁻², C2 = 400 kg·hm⁻²), 为 1 958.97 kg·hm⁻²(表 4)。对比发现提前播种配合高种植密度,适当减少施肥量有益于增加产量。

表 4 播期、密度和施肥量对牡豆 15 产量及其相关性状的影响
Table 4 Effects of sowing date, density and fertilization on the yield and related traits of Mudou 15

处理 Treatment	单株荚数 Pods number per plant	单株粒数 Seeds number per plant	百粒重 100-seed weight/g	产量 Yield/(kg·hm ⁻²)	蛋白质含量 Protein content/%
T ₁	35.0 ± 0.82 a	96.5 ± 0.82 b	18.63 ± 0.49 bc	2615.38 ± 308.72 a	44.12 ± 0.44 a
T ₂	40.2 ± 1.63 a	104.3 ± 1.63 b	18.37 ± 0.17 c	2728.21 ± 297.61 a	43.23 ± 1.96 a
T ₃	34.7 ± 2.62 a	92.2 ± 2.62 a	17.60 ± 0.33 f	2246.15 ± 139.88 a	43.85 ± 1.30 a
T ₄	24.0 ± 2.94 b	69.5 ± 2.94 cd	18.07 ± 0.25 e	2133.33 ± 429.55 a	44.02 ± 1.81 a
T ₅	30.3 ± 1.70 b	94.2 ± 1.70 b	18.30 ± 0.33 cd	2143.59 ± 209.19 a	43.09 ± 1.78 a
T ₆	31.0 ± 3.27 b	95.5 ± 3.27 a	17.93 ± 0.48 e	2543.59 ± 453.14 a	43.37 ± 1.11 a
T ₇	38.0 ± 2.16 a	95.6 ± 2.16 a	18.70 ± 0.85 b	2851.28 ± 441.14 a	42.80 ± 0.33 a
T ₈	28.3 ± 0.47 b	87.3 ± 0.47 b	18.80 ± 0.99 b	2482.05 ± 418.38 a	42.19 ± 1.89 b
T ₉	24.0 ± 0.40 b	74.5 ± 0.20 c	18.23 ± 0.29 d	2543.59 ± 478.22 a	43.03 ± 1.04 a
T ₁₀	38.3 ± 2.87 b	98.3 ± 2.87 b	19.13 ± 0.61 a	2841.03 ± 391.09 a	42.89 ± 1.85 a
T ₁₁	34.0 ± 1.63 a	95.8 ± 1.63 a	19.47 ± 0.34 a	2615.38 ± 304.60 a	43.71 ± 1.67 a
T ₁₂	34.0 ± 0.82 a	94.7 ± 0.82 b	18.33 ± 0.21 c	2635.90 ± 247.86 a	43.19 ± 0.70 a
T ₁₃	35.3 ± 1.25 b	96.5 ± 1.25 a	19.61 ± 0.21 a	2820.51 ± 303.91 a	43.70 ± 0.41 a
T ₁₄	27.3 ± 1.70 b	87.5 ± 1.70 b	19.03 ± 0.56 ab	2082.05 ± 147.21 a	43.95 ± 0.67 a
T ₁₅	31.7 ± 1.25 b	94.5 ± 1.25 b	19.10 ± 0.75 a	2205.13 ± 428.07 a	43.28 ± 0.78 a
T ₁₆	29.3 ± 1.25 b	93.2 ± 1.25 b	18.77 ± 0.33 b	2348.72 ± 489.95 a	44.85 ± 1.33 a
T ₁₇	22.0 ± 1.63 c	65.7 ± 1.63 d	19.83 ± 0.09 a	2492.31 ± 313.79 a	45.06 ± 0.67 a
T ₁₈	34.7 ± 0.47 a	98.5 ± 0.47 a	19.87 ± 0.48 a	2287.18 ± 52.30 a	44.09 ± 1.70 a
T ₁₉	35.0 ± 0.82 a	95.6 ± 0.82 b	20.00 ± 0.41 a	2112.82 ± 118.73 a	44.52 ± 1.04 a
T ₂₀	36.0 ± 0.82 a	95.4 ± 0.82 a	20.30 ± 0.71 a	2410.26 ± 190.23 a	44.10 ± 0.59 a
T ₂₁	40.0 ± 0.82 a	84.5 ± 0.82 a	19.90 ± 0.08 a	2225.64 ± 268.63 a	42.79 ± 1.37 b
T ₂₂	39.3 ± 1.25 a	95.4 ± 1.25 a	19.90 ± 0.16 a	2482.05 ± 76.75 a	44.43 ± 1.33 a
T ₂₃	35.0 ± 1.63 a	95.1 ± 1.63 a	19.97 ± 0.73 a	2666.67 ± 171.01 a	43.67 ± 1.19 a
T ₂₄	29.0 ± 0.82 b	87.6 ± 0.82 b	20.37 ± 0.74 a	2410.26 ± 178.24 a	43.26 ± 1.37 a
T ₂₅	18.3 ± 0.47 c	57.3 ± 0.47 d	20.93 ± 0.52 a	2184.62 ± 139.88 a	43.68 ± 1.19 a
T ₂₆	19.0 ± 0.82 c	60.5 ± 0.82 d	19.97 ± 1.13 a	1958.97 ± 142.86 b	43.48 ± 0.59 a
T ₂₇	20.3 ± 2.14 c	84.5 ± 1.14 b	20.67 ± 0.76 a	2041.03 ± 474.91 a	43.37 ± 1.48 a

2.2.4 蛋白质含量 牡豆 15 作为高蛋白品种,蛋白质含量最高的处理是 T₁₇ (A2 = 5 - 07, B3 = 30 万株·hm⁻², C2 = 400 kg·hm⁻²), 为 45.06%;最低的是 T₈ (A1 = 4 - 30, B3 = 30 万株·hm⁻², C2 = 400 kg·hm⁻²), 为 42.19%(表 4)。对比发现种植密度和施肥量相同时,播期为 5 月 7 日的蛋白含量较高。根据回归方程 $y = 44.77 + 0.29X + 0.24Z - 0.005E$ (y 为粗蛋白含量, X 为播期, Z 为种植密度, E 为施肥水平) 发

现,在本研究中蛋白质含量与播期和种植密度成正比关系,与施肥量成反比关系。
综上所述,在 4 月 30 日到 5 月 14 日内提前播种会提高单株荚数、单株粒数和产量,但会降低百粒重,且蛋白质含量最低的组合中播期较晚。种植密度为 25 万 ~ 30 万株·hm⁻² 时增加种植密度会增加百粒重和产量。

2.3 播期、密度和施肥量对光合特性的影响

2.3.1 净光合速率 由表5可知:始花期净光合速率最高的是 T_{19} ($A_3 = 5 - 14, B_1 = 20$ 万株·hm⁻², $C_1 = 350$ kg·hm⁻²), 为 $26.07 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 最低的是 T_9 ($A_1 = 4 - 30, B_3 = 30$ 万株·hm⁻², $C_3 = 450$ kg·hm⁻²), 为 $14.73 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。结荚期净光合速率最高的是 T_1 ($A_1 = 4 - 30, B_1 = 20$ 万株·hm⁻², $C_1 = 350$ kg·hm⁻²), 为 $28.17 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 最低的是 T_{23} ($A_3 = 5 - 14, B_2 = 25$ 万株·hm⁻², $C_2 = 400$ kg·hm⁻²), 为 $15.67 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 鼓粒期净光合速率最高的是 T_{15} ($A_2 = 5 - 01, B_2 = 25$ 万株·hm⁻², $C_3 = 450$ kg·hm⁻²), 为 $24.50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 最低的是 T_{23} ($A_3 = 5 - 14, B_2 = 25$ 万株·hm⁻², $C_2 = 400$ kg·hm⁻²), 为 $17.37 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。在始花期晚播处理的净光合速率较高, 在结荚期早播处理的净光和速率较高; 在始花期、结荚期的低种植密度处理和低施肥量处理的净光合速率较高; 而在鼓粒期时高肥量处理的净光合速率较高。

2.3.2 气孔导度 气孔导度影响植物的 CO₂ 交换程度, 由表5可知: 始花期的气孔导度最高的是 T_{27} ($A_3 = 5 - 14, B_3 = 30$ 万株·hm⁻², $C_3 = 450$ kg·hm⁻²), 为 $2.01 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 最低的是 T_9 ($A_1 = 4 - 30, B_3 = 30$ 万株·hm⁻², $C_3 = 450$ kg·hm⁻²), 为 $0.12 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 结荚期的气孔导度最高的是 T_9 ($A_1 = 4 - 30, B_3 = 30$ 万株·hm⁻², $C_3 = 450$ kg·hm⁻²), 为 $1.57 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 最低的是 T_{11} ($A_2 = 5 - 07, B_1 = 20$ 万株·hm⁻², $C_2 = 400$ kg·hm⁻²) 和 T_{13} ($A_2 = 5 - 07, B_2 = 25$ 万株·hm⁻², $C_1 = 350$ kg·hm⁻²), 为 $0.42 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 鼓粒期的气孔导度最高的是 T_{17} ($A_2 = 5 - 07, B_3 = 30$ 万株·hm⁻², $C_2 = 400$ kg·hm⁻²), 为 $0.97 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 最低的是 T_{23} ($A_3 = 5 - 14, B_2 = 25$ 万株·hm⁻², $C_2 = 400$ kg·hm⁻²) 和 T_6 ($A_1 = 4 - 30, B_2 = 25$ 万株·hm⁻², $C_3 = 450$ kg·hm⁻²), 为 $0.25 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。晚播处理气孔导度在始花期最大, 早播处理在结荚期较大, 中间播期处理在鼓粒期较大; 高种植密度处理在结荚期和鼓粒期较大; 高施肥量处理在结荚期较大。

2.3.3 细胞间 CO₂ 浓度 细胞间 CO₂ 浓度影响植物的光呼吸, 由表5可知: 始花期的细胞间 CO₂ 浓度最高的是 T_{27} ($A_3 = 5 - 14, B_3 = 30$ 万株·hm⁻², $C_3 = 450$ kg·hm⁻²), 为 $354.00 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$, 最低的是 T_1 ($A_1 = 4 - 30, B_1 = 25$ 万株·hm⁻², $C_1 = 350$ kg·hm⁻²), 为 $226.33 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$; 结荚期的细胞间 CO₂ 浓度最高的是 T_4 ($A_1 = 4 - 30, B_2 = 30$ 万株·hm⁻², $C_1 = 350$ kg·hm⁻²), 为 $365.67 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$, 最低的是 T_{26} ($A_3 = 5 - 14, B_3 = 30$ 万株·hm⁻², $C_2 = 400$ kg·hm⁻²), 为

$284.33 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$; 鼓粒期细胞间 CO₂ 浓度最高的是 T_9 ($A_1 = 4 - 30, B_3 = 30$ 万株·hm⁻², $C_3 = 450$ kg·hm⁻²), 为 $333.67 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$, 最低的是 T_{10} ($A_2 = 5 - 07, B_1 = 20$ 万株·hm⁻², $C_1 = 350$ kg·hm⁻²), 为 $244.77 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 。对比发现在晚播处理中始花期的细胞间 CO₂ 浓度最高, 早播处理的细胞间 CO₂ 浓度在结荚期、鼓粒期最高; 高种植密度处理的细胞间 CO₂ 浓度在始花期和鼓粒期最高, 中等种植密度处理的细胞间 CO₂ 浓度在结荚期最高; 高肥量处理的细胞间 CO₂ 浓度在始花期、鼓粒期最高, 低肥量处理的细胞间 CO₂ 浓度在结荚期最高。

2.3.4 蒸腾速率 蒸腾速率影响植物水分的消耗和产量的形成, 由表5可知: 始花期蒸腾速率最高的是 T_{27} ($A_3 = 5 - 14, B_3 = 30$ 万株·hm⁻², $C_3 = 450$ kg·hm⁻²), 为 $7.32 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 最低的是 T_9 ($A_1 = 4 - 30, B_3 = 30$ 万株·hm⁻², $C_3 = 450$ kg·hm⁻²), 为 $2.94 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 结荚期蒸腾速率最高的是 T_9 ($A_1 = 4 - 30, B_3 = 30$ 万株·hm⁻², $C_3 = 450$ kg·hm⁻²), 为 $6.98 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 最低的是 T_{11} ($A_2 = 5 - 07, B_1 = 20$ 万株·hm⁻², $C_2 = 400$ kg·hm⁻²), 为 $3.81 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 鼓粒期蒸腾速率最高的是 T_{21} ($A_3 = 5 - 14, B_1 = 20$ 万株·hm⁻², $C_3 = 450$ kg·hm⁻²), 为 $5.49 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 最低的是 T_{10} ($A_2 = 5 - 07, B_1 = 20$ 万株·hm⁻², $C_1 = 350$ kg·hm⁻²), 为 $2.69 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。对比蒸腾速率发现晚播处理在始花期、鼓粒期的蒸腾速率最高, 早播处理在结荚期的蒸腾速率最高; 高种植密度处理在结荚期和鼓粒期的蒸腾速率最高; 高肥量处理在结荚期和鼓粒期的蒸腾速率最高。

2.3.5 叶绿素含量 叶绿素的含量影响植物的光合作用, 由表5可知: 始花期叶绿素含量最高的是 T_9 ($A_1 = 4 - 30, B_3 = 30$ 万株·hm⁻², $C_3 = 450$ kg·hm⁻²), 为 $49.57 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 最低的是 T_1 ($A_1 = 4 - 30, B_1 = 20$ 万株·hm⁻², $C_1 = 350$ kg·hm⁻²), 为 $41.50 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$; 结荚期叶绿素含量最高的是 T_{10} ($A_2 = 5 - 07, B_1 = 20$ 万株·hm⁻², $C_1 = 350$ kg·hm⁻²), 为 $52.41 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 最低的是 T_{11} ($A_2 = 5 - 07, B_1 = 20$ 万株·hm⁻², $C_2 = 400$ kg·hm⁻²), 为 $41.03 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$; 鼓粒期叶绿素含量最高的是 T_{23} ($A_3 = 5 - 14, B_2 = 25$ 万株·hm⁻², $C_2 = 400$ kg·hm⁻²), 为 $52.23 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 最低的是 T_{20} ($A_3 = 5 - 14, B_1 = 20$ 万株·hm⁻², $C_2 = 400$ kg·hm⁻²), 为 $45.10 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。对比叶绿素含量早晚播期处理影响较小; 高种植密度处理在始花期和鼓粒期叶绿素含量较高; 高肥量处理在始花期叶绿素含量最高, 低肥量处理在结荚期叶绿素含量最高。

表 5 播期、密度和施肥量对大豆 15 光合特性的影响
Table 5 Effects of sowing date, density and fertilization amount on photosynthetic characteristics of Mudou 15

处理 Treatment	净光合速率 $P_{\text{net}}/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$			气孔导度 $\text{Cond}/(\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$			细胞间 CO_2 浓度 $C_i/(\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1})$			蒸腾速率 $T_r/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$			叶绿素含量 Chlorophyll content/ $(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$		
	始花期	结荚期	R3	始花期	结荚期	R3	始花期	结荚期	R3	始花期	结荚期	R3	始花期	结荚期	R5
	R1	R5	R5	R1	R5	R5	R1	R5	R5	R1	R5	R5	R1	R3	R5
T ₁	19.37±0.82 d	28.17±0.17 a	21.87±2.82 a	0.24±0.02 g	1.02±0.18 bc	0.50±0.16 a	226.33±6.44 e	323.00±8.44 b	310.67±20.22 a	4.77±0.58 e	4.05±0.26 e	4.26±0.28 a	41.50±2.20 b	45.45±0.91 a	50.60±1.53 a
T ₂	18.60±1.51 d	23.83±0.74 a	21.17±2.04 a	0.39±0.13 f	1.16±0.04 b	0.40±0.09 b	272.00±20.67 d	350.67±2.96 a	284.00±12.67 a	5.57±0.56 c	5.07±0.07 b	3.59±0.38 b	47.63±1.96 a	46.95±0.60 a	51.17±1.82 a
T ₃	18.47±3.62 d	22.60±1.04 a	22.67±1.31 a	0.50±0.38 de	1.05±0.18 b	0.54±0.06 a	266.33±33.11 cd	338.67±2.30 a	311.33±6.89 a	5.26±0.72 a	5.47±0.20 a	4.13±0.22 a	48.10±2.87 a	47.71±0.51 a	50.30±1.73 a
T ₄	19.50±0.27 d	25.19±2.08 a	22.07±0.96 a	0.20±0.01 h	1.15±0.06 a	0.53±0.19 a	195.67±7.78 f	365.67±2.81 a	305.33±19.11 a	4.12±0.17 f	6.64±0.13 a	4.16±0.29 a	43.53±1.84 a	48.25±0.54 a	51.53±0.96 a
T ₅	18.70±1.13 d	22.80±0.31 a	22.30±0.70 a	0.20±0.04 h	0.90±0.14 b	0.46±0.04 b	199.33±22.22 f	345.00±15.78 a	302.33±9.11 a	4.18±0.53 f	5.63±0.65 a	3.86±0.15 a	43.83±1.56 a	48.28±0.76 a	51.23±3.56 a
T ₆	19.50±2.13 d	23.47±1.10 a	19.87±1.89 ab	0.18±0.05 h	1.24±0.10 b	0.25±0.02 b	187.67±19.11 f	343.00±13.11 a	264.33±15.78 b	3.80±0.63 g	6.37±0.69 a	2.92±0.18 c	44.67±0.84 a	48.51±1.47 a	48.17±2.78 a
T ₇	16.20±0.27 d	26.73±0.53 a	21.80±1.13 a	0.14±0.05 h	1.46±0.15 b	0.27±0.04 b	164.00±51.33 g	353.00±1.33 a	265.33±10.22 b	3.36±0.65 g	6.52±0.09 a	2.99±0.20 c	46.27±1.18 a	45.57±2.05 a	45.97±2.22 b
T ₈	19.37±1.16 d	25.53±0.16 a	22.47±2.24 a	0.19±0.04 g	1.04±0.09 b	0.45±0.05 b	198.67±13.56 e	337.00±4.89 a	312.67±20.44 a	4.04±0.46 d	5.72±0.19 a	3.74±0.16 ab	45.50±1.53 a	49.67±1.58 a	47.30±2.47 b
T ₉	14.73±0.44 d	23.67±0.81 a	22.80±1.53 a	0.12±0.10 h	1.57±0.19 b	0.67±0.11 a	161.00±6.00 f	350.67±7.04 a	333.67±4.89 a	2.94±0.06 h	6.98±0.35 a	4.46±0.25 a	49.57±0.96 a	46.51±2.95 a	48.83±2.64 a
T ₁₀	23.57±3.82 b	22.57±0.66 e	21.60±2.67 a	1.17±0.21 c	0.50±0.15 f	0.34±0.06 b	339.33±12.44 a	295.33±15.85 i	244.67±21.11 c	6.16±0.84 a	4.24±0.14 f	2.69±0.15 d	44.33±2.22 a	52.41±5.69 a	50.13±2.62 a
T ₁₁	23.53±0.44 bc	21.13±0.56 ab	21.13±2.02 a	1.21±0.27 c	0.42±0.02 e	0.36±0.09 b	331.67±6.22 b	299.00±4.67 g	271.33±15.11 b	5.86±0.34 ab	3.81±0.22 f	2.78±0.30 d	44.00±3.33 a	41.03±4.38 b	48.77±0.38 a
T ₁₂	21.70±1.60 c	22.30±0.71 a	22.27±2.16 a	1.12±0.23 c	0.64±0.03 c	0.64±0.04 a	339.67±7.56 a	324.33±3.70 a	309.00±6.67 a	6.01±0.34 a	4.36±0.26 e	3.86±0.06 a	42.70±1.27 b	49.78±0.37 a	46.27±1.31 b
T ₁₃	22.33±2.62 c	20.30±0.24 c	19.73±1.44 b	1.03±0.27 c	0.42±0.06 f	0.26±0.03 b	321.33±21.78 b	307.67±7.41 c	258.67±4.89 b	5.62±0.65 b	4.07±0.32 e	2.88±0.16 c	45.07±3.49 a	49.10±1.35 a	46.27±1.42 b
T ₁₄	20.50±3.07 d	24.23±0.75 a	23.13±2.29 a	0.69±0.09 d	0.65±0.11 c	0.67±0.18 a	327.00±14.00 b	320.00±4.67 b	307.33±6.44 a	5.34±0.12 b	4.42±0.41 e	3.54±0.24 b	44.17±1.71 a	46.41±0.37 a	50.43±2.71 a
T ₁₅	22.43±1.89 b	25.87±1.13 a	24.50±1.87 a	1.04±0.28 c	1.03±0.12 b	0.90±0.09 a	337.00±7.33 a	311.00±3.78 c	312.33±5.78 a	6.37±0.40 a	4.54±0.22 e	5.15±0.23 a	43.03±1.16 a	45.68±1.03 a	49.10±3.80 a
T ₁₆	24.87±0.44 ab	24.53±0.47 a	21.50±0.60 a	1.69±0.19 ab	0.63±0.08 d	0.70±0.06 a	340.00±2.67 a	314.00±9.33 bc	302.67±3.11 a	6.75±0.20 a	4.58±0.43 e	4.73±0.18 a	43.37±1.38 a	47.73±0.79 a	52.07±1.84 a
T ₁₇	21.50±2.47 c	22.87±0.95 b	23.00±1.53 a	1.11±0.23 c	0.54±0.05 d	0.97±0.10 a	452.33±13.44 a	301.00±4.67 e	303.67±11.78 a	6.58±0.51 a	4.43±0.06 e	5.28±0.21 a	44.10±2.27 a	49.31±1.33 a	51.93±1.42 a
T ₁₈	22.17±3.84 cd	20.87±0.97 c	21.37±1.36 a	1.18±0.04 c	0.48±0.12 f	0.87±0.09 a	344.67±9.11 a	326.33±11.70 a	305.33±3.56 a	6.94±0.21 a	4.74±0.16 d	5.37±0.24 a	44.43±1.84 a	46.65±5.19 a	46.30±1.67 b
T ₁₉	26.07±1.71 a	21.00±0.71 c	18.50±0.93 b	0.82±0.17 cd	0.65±0.17 d	0.51±0.09 a	320.33±11.56 c	300.67±19.04 g	290.67±15.11 a	5.36±0.35 bc	4.77±0.65 c	4.75±0.23 a	44.33±2.22 a	41.26±2.15 b	51.22±3.32 a
T ₂₀	22.07±1.04 c	20.33±0.74 cd	19.83±2.82 b	0.94±0.26 c	0.62±0.08 d	0.49±0.03 b	332.67±12.22 a	308.67±4.59 e	285.67±8.89 a	5.52±0.66 b	5.12±0.36 b	4.70±0.14 a	44.00±3.33 a	48.56±1.79 a	45.10±0.47 b
T ₂₁	23.43±0.38 b	18.63±0.44 e	22.40±1.67 a	1.36±0.21 b	0.78±0.12 c	0.82±0.11 a	329.33±11.78 b	317.67±6.37 b	312.00±7.33 a	6.22±0.16 a	5.36±0.36 a	5.49±0.30 a	42.70±1.27 b	44.98±2.71 a	48.20±1.20 a
T ₂₂	22.13±3.76 cd	17.23±0.73 e	18.63±1.44 b	1.03±0.14 c	0.37±0.03 f	0.43±0.13 b	337.33±7.11 a	280.00±5.33 j	286.00±10.00 a	5.79±0.18 a	4.30±0.34 e	4.19±0.24 a	45.07±3.49 a	50.40±0.71 a	49.33±3.38 a
T ₂₃	23.90±0.73 b	15.67±1.10 f	17.37±0.62 b	0.80±0.07 c	0.61±0.16 cd	0.25±0.02 b	322.00±4.67 b	315.33±17.19 c	251.33±6.89 bc	5.80±0.18 a	5.31±0.48 ab	3.66±0.14 c	44.17±1.71 a	49.11±0.96 a	52.23±1.96 a
T ₂₄	23.27±1.22 b	19.07±2.15 d	19.83±1.31 b	1.08±0.21 c	0.59±0.09 d	0.50±0.11 ab	331.00±5.33 ab	308.67±2.37 d	273.00±32.67 ab	6.23±0.55 a	5.37±0.27 a	4.98±0.23 a	43.03±1.16 a	47.19±3.05 a	51.93±0.49 a
T ₂₅	24.00±0.80 b	17.27±1.10 e	18.33±1.22 b	1.31±0.23 b	0.44±0.06 e	0.40±0.15 b	338.00±5.33 a	299.67±3.19 f	296.33±23.78 a	6.61±0.40 a	4.87±0.23 c	4.70±0.21 a	43.37±1.38 a	41.08±0.36 a	51.20±2.13 a
T ₂₆	23.93±0.49 b	17.53±1.07 e	20.03±1.49 a	1.20±0.24 bc	0.36±0.10 f	0.45±0.09 b	334.00±5.33 a	284.33±12.59 h	269.33±18.89 b	6.81±0.12 a	4.70±0.25 e	4.34±0.25 a	44.10±2.27 a	41.76±3.84 a	47.90±2.40 ab
T ₂₇	23.27±0.82 bc	17.23±1.73 e	19.50±2.20 b	2.01±0.22 a	0.43±0.15 d	0.36±0.09 b	354.00±3.33 a	316.67±11.48 b	264.33±23.78 b	7.32±0.40 a	5.32±0.25 b	3.88±0.26 a	44.43±1.84 a	49.44±0.41 a	50.53±2.22 a

3 讨论

3.1 不同栽培因子对牡豆 15 主要农艺性状的影响

播期、种植密度和施肥量的对植物生长有一定影响,本质上是让植株处于不同的环境条件^[9-11]。本研究中种植密度在 25 万~30 万株·hm⁻²内提高种植密度使株高和结荚高度增加;施肥量在 350 ~ 450 kg·hm⁻²内提高施肥量使主茎节数增加。本研究认为播期提前会影响提高单株荚数、单株粒数和产量,但会降低百粒重,这与许竹激等^[12]的研究结果一致,可能与播期提前使生育期延长,使得养分充足,相反播期推迟会使倒伏程度增加,在田艺心等^[13]的研究中也得到相同的结果。白露等^[14]认为播期推迟会提高蛋白质含量,本研究中播期对蛋白质影响相对较小,虽然缩短营养生长阶段而快速进入生殖生长使得养分得到累积,但是营养期过短会使得营养的利用率降低,适宜的播期才能挖掘植物潜力。提高种植密度会提高株高、结荚高度^[15-16],并且随着密度增大,生存空间减小,使得植物为争夺光照而增加高度,同时适宜竞争的密度条件也增加了百粒重、产量、蛋白质含量^[17],但本研究中最高种植密度设定为 30 万株·hm⁻²,发现最低的蛋白质含量处理的种植密度与最高蛋白质含量处理种植密度相同,可能由于牡豆 15 较耐密植,本研究的密植处理对其影响较小,在产量方面也出现相同现象。前人研究中提高施肥量会降低有效节数、增加主茎节数^[18-19],与本研究结果一致,但在本研究中过高的施肥量对于牡豆 15 的帮助较小,而在产量最高的组合种,施肥量最低的梯度为 350 kg·hm⁻²。

3.2 不同栽培因子对牡豆 15 光合特性的影响

大豆的光合能力直接影响产量的高低,在生殖生长中具有较强的光合能力往往产量也较高。在本试验中播期和施肥量对光合指标影响较小,这两个因子虽处于不同水平下,但牡豆 15 处于相同的时期,光合能力较为稳定;而种植密度对光合指标影响较大且低种植密度光合速率较高^[20],可能由于低的种植密度使透光性变好而加快了净光合速率。高种植密度有利于提升细胞间 CO₂浓度、蒸腾速率,因此本研究中各处理的叶绿素含量在高种植密度时较高。气孔导度受多方面的调控,本研究中播期、种植密度和施肥量对气孔导度均有影响,这与王志龙等^[21]的试验结果一致。

4 结论

本研究得出最高产量的组合方案为 T₇(A1:4 - 30,B3:30 万株·hm⁻²,C2:350 kg·hm⁻²),蛋白质含量最高的组合方案为 T₁₇(A1:5 - 07,B3:

30 万株·hm⁻²,C3:400 kg·hm⁻²)。对于高蛋白新品种牡豆 15 可适当提升种植密度至 30 万株·hm⁻²,4 月 30 日早播,施加 350 kg·hm⁻²肥量,有益于提升产量;推迟播期至 5 月 7 日,30 万株·hm⁻²种植密度,400 kg·hm⁻²施肥量有利于提高蛋白质含量。

参考文献

[1] 杜维广,郝乃斌,满为群. 大豆高光效育种[M]. 北京:中国农业出版社,2007. (DU W G, HAO N B, MAN W Q. Soybean breeding with high light efficiency [M]. Beijing: China Agricultural Publishing Press, 2007)

[2] 赵双进,张孟臣,杨春燕,等. 栽培因子对大豆生长发育及群体产量的影响 I. 播期、密度、行株距(配置方式)对产量的影响[J]. 中国油料作物学报, 2002(4): 29-32. (ZHAO S J, ZHANG M C, YANG C Y, et al. Effects of cultivation factors on soybean growth and development and population yield I. Effects of sowing date, density, row spacing (configuration mode) on yield [J]. Chinese Journal of Oil Crops, 2002(4): 29-32.)

[3] 连金番,赵志刚,罗瑞萍,等. 不同种植密度耦合根瘤菌对大豆农艺性状及产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(16): 109-111. (LIAN J F, ZHAO Z G, LUO R P, et al. Effects of different planting densities coupled with rhizobia on agronomic characters and yield of soybean [J]. Jiangsu Agricultural Science, 2019, 47(16): 109-111.)

[4] 任小俊,吕新云,马俊奎. 种植密度与施肥水平对山西早熟夏大豆产量与主要农艺性状的影响[J]. 大豆科学, 2019, 38(6): 921-927. (REN X J, LYU X Y, MA J K. Effects of planting density and fertilization level on yield and main agronomic characters of early maturing summer soybean in Shanxi [J]. Soybean Science, 2019, 38(6): 921-927.)

[5] 程光华,李传俊,姜桂敏,等. 主要营养元素配施对大豆产量的影响[J]. 吉林农业大学学报, 1999, 21(3): 68-70. (CHENG G H, LI C J, JIANG G M, et al. Effects of combined application of main nutrient elements on soybean yield [J]. Journal of Jilin Agricultural University, 1999, 21(3): 68-70.)

[6] 王燕平,李文,宗春美,等. 高产高蛋白大豆新品种牡豆 15 选育与栽培要点[J]. 大豆科技, 2020(1): 60-62. (WANG Y P, LI W, ZONG C M, et al. Key points of breeding and cultivation of a new soybean variety Mudou 15 with high yield and high protein [J]. Soybean Science and Technology, 2020(1): 60-62.)

[7] FEHR W R, CAVINESS C E. Stages of soybean development special report 80, cooperative extension service, agriculture and home economic experiment station [M]. Iowa: Iowa State University, 1977: 1-11.

[8] 邱丽娟,常汝镇. 大豆种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社, 2006. (QIU L J, CHANG R Z. Soybean germplasm specifications description and data standards [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006.)

[9] 甘银波,涂学文,田任久. 大豆的最佳氮肥施用时期研究[J]. 大豆科学, 1998, 17(4): 287-291. (GAN Y B, TU X W, TIAN R J. Study on the best nitrogen application period of soybean [J]. Soybean Science, 1998, 17(4): 287-291.)

[10] 毕远林. 大豆干物质积累与氮、磷、钾吸收与分配的研究[J]. 大豆科学, 1999, 18(4): 331-335. (BI Y L. Study on dry matter

accumulation and absorption and distribution of nitrogen, phosphorus and potassium in soybean [J]. Soybean Science, 1999,18 (4): 331-335.)

[11] 金欣欣,宋亚辉,王瑾,等. 播期对花生农艺性状、产量和品质的影响[J]. 中国油料作物学报,2021,43(5): 898-905. (JIN X X, SONG Y H, WANG J, et al. Effects of sowing date on agronomic characters, yield and quality of peanut [J]. Chinese Journal of Oil Crops, 2021,43 (5): 898-905.)

[12] 许竹激,邵晓伟,汪寿根,等. 播期对鲜食春大豆衢春豆 1 号农艺性状和可溶性糖含量的影响[J]. 大豆科学,2021,40(4): 490-496. (XU Z W, SHAO X W, WANG S G, et al. Effects of sowing date on agronomic characters and soluble sugar content of fresh spring soybean Quchundou 1 [J]. Soybean Science, 2021, 40(4): 490-496.)

[13] 田艺心,高凤菊,曹鹏鹏,等. 播期对高蛋白大豆新品种(系)农艺性状、品质及产量的影响[J]. 核农学报,2021,35(8): 1900-1907. (TIAN Y X, GAO F J, CAO P P, et al. Effects of sowing date on agronomic characters, quality and yield of new high protein soybean varieties (lines) [J]. Journal of Nuclear Agriculture, 2021,35 (8): 1900-1907.)

[14] 白露,李乐,连延浩,等. 播期对不同基因型小麦生育期、产量和品质性状的影响[J]. 生态学杂志,2021,40(10): 3135-3146. (BAI L, LI L, LIAN Y H, et al. Effects of sowing date on growth period, yield and quality traits of different genotypes of wheat [J]. Journal of Ecology, 2021, 40(10): 3135-3146.)

[15] 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 Zhenongqiufeng 2 [J]. Zhejiang Agricultural Science,2022,63(8): 1748-1751.)

[16] 杨世鹏,向仕华,胡苓,等. 种植密度对大豆品种贡秋豆 5 号产量及农艺性状的影响[J]. 大豆科技,2021(6): 21-25. (YANG S P, XIANG S H, HU L, et al. Effect of planting density on yield and agronomic characters of soybean variety Gongqiudou 5 [J]. Soybean Science and Technology, 2021(6): 21-25.)

[17] 向羽,张晓辉,郑旭川,等. 种植密度和留叶数对烤烟农艺和经济性状的影响[J]. 安徽农业科学,2022,50(10): 32-35. (XIANG Y, ZHANG X H, ZHENG X C, et al. Effects of planting density and leaf number on agronomic and economic properties of fluecured tobacco [J]. Anhui Agricultural Science, 2022,50 (10): 32-35.)

[18] 吕鑫,平俊爱,杜志宏,等. 不同施肥量和种植密度对高丹草‘晋草 4 号’农艺性状和光合指数的影响[J]. 农学报,2019, 9(9): 55-60. (LYU X, PING J A, DU Z H, et al. Effects of different fertilization and planting density on agronomic characters and photosynthetic index of Gaodan grass ‘Jincao 4’ [J]. Journal of Agronomy, 2019,9(9): 55-60.)

[19] 彭振英,田海莹,丁红,等. 施肥量对 9 个花生品种农艺性状的影响[J]. 山东农业科学,2019,51(9): 167-171. (PENG Z Y, TIAN H Y, DING H, et al. Effect of fertilization on agronomic characters of 9 peanut varieties [J]. Shandong Agricultural Science, 2019,51 (9): 167-171.)

[20] 张恒语. 密度与施肥量对玉米沈农 T100 农艺性状及产量的影响[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2021. (ZHANG H Y. Effects of density and fertilizer application on agronomic characters and yield of Shennong T100 maize [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2021.)

[21] 王志龙,于亚雄,乔祥梅,等. 密度和氮肥对‘云大麦 12 号’产量、农艺性状及光合特性的影响[J]. 分子植物育种,2021,19 (20): 6884-6890. (WANG Z L, YU Y X, QIAO X M, et al. Effects of density and nitrogen fertilizer on yield, agronomic characters and photosynthetic characteristics of ‘Yundamai 12’ [J]. Molecular Plant Breeding, 2021,19 (20): 6884-6890.)

《大豆科学》正式加入 OSID 开放科学计划

《大豆科学》于 2019 年 8 月 1 日起正式加入 OSID(Open Science Identity)开放科学标识计划。将通过在文章上添加开放科学二维标识码(OSID 码),为读者和作者提供一个与业界同行和专家学术交流的平台,同时提供一系列增值服务,提升论文的科研诚信。

读者可以通过微信扫描论文的 OSID 码,在手机上听论文作者的语音介绍,可以看到论文的重点彩图和实验视频,也可直接与作者进行一对一的交流、关注作者的研究动向等。这些功能有助于读者深入了解该研究的实际状况与实现过程。

作者可以通过专属的 OSID 码对所著论文添加语音,介绍写作背景、动机、趣事以及研究灵感。添加无法在传统印刷出版展示的附加说明,以便更好地展现研究成果,拓展论文的传播方式。同时,通过 OSID 平台每位作者都能拥有所著论文的学术圈和问答,与读者进行交流互动。此外,作者还可以在学术圈发布感兴趣的话题、最新的研究观点、问题征集、学术推荐等,扩大作者自身的影响力,增强与读者的联系。