

播期和密度对洛豆 16095 生长发育、产量及品质的影响

晏云, 李林, 亢江飞, 方社法, 陈颖民, 孟琦翰, 郭建秋

(洛阳市农林科学院, 河南 洛阳 471023)

摘要: 为了探究洛豆 16095 在洛阳市及相近生态环境下的最佳播期和密度, 采用裂区试验设计, 主区为播期 B(B1:6 月 21 日、B2:7 月 1 日、B3:7 月 11 日), 副区为密度 M(M1:13.5 万株/hm²、M2:18 万株/hm²、M3:22.5 万株/hm²、M4:27 万株/hm²), 分析了播期和密度对大豆新品种洛豆 16095 生长发育、产量及品质的影响。结果表明, 在本试验条件下, 推迟播期主要通过缩短营养生长期而缩短生育进程, 种植密度对生育进程的影响不显著。播期对光合特性影响较大, 适期早播会显著提高盛花期和盛荚期的净光合速率和蒸腾速率, 增加盛荚期气孔导度, 减少盛荚期胞间 CO₂ 浓度; 与播期相比, 密度对光合特性影响较小, 降低密度会提高盛花期和盛荚期净光合速率、气孔导度和蒸腾速率, 减少盛花期和盛荚期胞间 CO₂ 浓度, 不同密度间光合参数均值差异不显著。适期早播会显著减少单株无效荚数, 显著增加百粒重; 降低密度会显著增加单株有效分枝、单株有效荚数、单株粒数、单株粒重。适期早播会显著提升粗脂肪含量、粗蛋白质含量和蛋脂总含量; 密度对品质影响较小, 降低密度会增加粗脂肪含量, 降低粗蛋白质含量和蛋脂总含量, 不同密度间粗脂肪含量、粗蛋白质含量、蛋脂总含量差异不显著。播期对产量的影响较大, 早播产量高于晚播, B1 播期产量最高, 显著高于 B2、B3 播期; 密度对产量的影响较小, B1 播期不同密度间产量差异不显著, M2、M3 和 M4 密度下产量均较高。综上, 在洛阳市及相近生态环境下, 洛豆 16095 最适宜播期为 6 月 21 日, 适宜密度为 18~27 万株/hm², 此时产量较高、品质较优。

关键词: 播期; 密度; 洛豆 16095; 产量; 品质

中图分类号: S311 文献标识码: A 文章编号: 0488-5368(2025)04-0062-08

Effects of Sowing Time and Density on Growth, Development, Yield, and Quality of Luodou 16095

YAN Yun, LI Lin, KANG Jiangfei, FANG Shefa, CHEN Yingmin, MENG Qihan, GUO Jianqiu

(Luoyang Academy of Agriculture and Forestry, Luoyang, Henan 471023, China)

Abstract: To determine the optimal sowing date and planting density for Luodou 16095 in Luoyang and similar ecological environments, a split-plot experimental design was employed. The main plot factor was the sowing date (B1: June 21, B2: July 1, B3: July 11), while the subplot factor was planting density (M1: 135,000 plants/ha, M2: 180,000 plants/ha, M3: 225,000 plants/ha, M4: 270,000 plants/ha). This study analyzed the effects of sowing date and planting density on the growth, development, yield, and quality of Luodou 16095. The results indicated that under the conditions of this experiment, delayed sowing primarily shortened the vegetative growth period, thereby reducing the overall growth duration, whereas planting density had no significant effect on the growth cycle. The sowing date had a significant influence on photosynthetic characteristics. Early sowing at an optimal time significantly increased net photosynthetic rate and transpiration rate during the full flowering and

收稿日期: 2024-07-22 修回日期: 2024-09-15

基金项目: 河南省农业良种联合攻关项目(2022010304); 黄淮海高油高产大豆新品种设计与培育(2023ZD04033)。

第一作者简介: 晏云(1993-), 男, 硕士, 研究实习生, 研究方向为大豆遗传育种与栽培。

通信作者: 郭建秋。

peak podding stages, enhanced stomatal conductance during the peak podding stage, and reduced intercellular CO₂ concentration at the same stage. In contrast, planting density had a comparatively minor effect on photosynthetic traits. Reducing planting density increased net photosynthetic rate, stomatal conductance, and transpiration rate during the full flowering and peak podding stages, while decreasing intercellular CO₂ concentration; however, the mean differences in photosynthetic parameters among different densities were not significant. In terms of plant morphology and yield components, early sowing significantly reduced the number of ineffective pods per plant while increasing the 100-seed weight. Lower planting densities significantly increased the number of effective branches, effective pods per plant, grains per plant, and grain weight per plant. Regarding quality, early sowing significantly enhanced crude fat content, crude protein content, and total protein-fat content. While planting density had a relatively smaller effect on quality, lower densities tended to increase crude fat content while reducing crude protein and total protein-fat content, though the differences between densities were not statistically significant. Sowing date had a pronounced effect on yield, with earlier sowing producing higher yields compared to later sowing. The highest yield was observed in the B1 (June 21) sowing treatment, which was significantly greater than that in B2 (July 1) and B3 (July 11). In contrast, planting density had a lesser effect on yield. Under the B1 sowing date, yield differences among the density treatments were not significant, and higher yields were generally observed at M2, M3, and M4 densities. In conclusion, for Luoyang and similar ecological environments, the most suitable sowing date for Luodou 16095 is June 21, with an optimal planting density of 180,000 to 270,000 plants/hm², as this combination results in higher yield and improved quality.

Key words: Sowing date; Planting density; Luodou 16095; Yield; Quality

大豆原产于中国^[1],种植历史悠久,是我国重要的油料经济作物,在中国农业经济生产和食品文化中占有重要地位。大豆属于短日照作物,对光温敏感,产量受品种类型^[2,3]、光照温度^[4~6]、肥力^[7~9]、水分^[10,11]等多种因素影响。播期和密度是影响大豆产量的重要农艺管理措施,不同播期和密度下,大豆所面临的生长环境有所差异,导致植株光合特性、农艺性状、产量以及品质发生变化^[12~18]。适宜的播期和密度能够使大豆充分利用光热资源,提升光合能力,发挥其高产优质的潜力^[19,20]。

为了充分发挥洛豆 16095 高产优质潜力,采用裂区试验设计,分析播期和密度对洛豆 16095 生长发育、品质及产量的影响,确定洛豆 16095 在洛阳市及相近生态环境下的最适宜播期和密度,为该品种的示范推广提供技术与理论支持。

1 材料和方法

1.1 材料

供试大豆材料为洛阳市农林科学院选育的洛豆 16095,2023 年通过河南省农作物品种审定委员会审定,审定编号:豫审豆 20230004。该品种具有高产、高油和抗病等特点。

1.2 试验地概况

试验于 2023 年在洛阳市农林科学院试验地进

行,土壤为中壤土,肥力中等。

1.3 试验设计

采用裂区试验设计,主区为播期 B(B1:6 月 21 日、B2:7 月 1 日、B3:7 月 11 日。间隔 10 d),副区为密度 M(M1:13.5 万株/hm²、M2:18 万株/hm²、M3:22.5 万株/hm²、M4:27 万株/hm²)。行距 40 cm,4 种密度对应的株距分别为:18.53 cm、13.90 cm、11.12 cm、9.26 cm。

共 12 个处理组合: B1M1、B1M2、B1M3、B1M4、B2M1、B2M2、B2M3、B2M4、B3M1、B3M2、B3M3、B3M4,3 次重复。小区长 2.8 m,宽 2.5 m,小区面积 7 m²,7 行区,走道宽 1 m。四周设置保护区。

1.4 调查指标与方法

1.4.1 生育时期调查 参照 Fehr 等大豆发育分期标准^[21],记录出苗期(VE)、初花期(R1)、盛花期(R2)、盛荚期(R4)、完熟期(R8),同时计算生育期(VE 至 R8)、营养生长期(VE 至 R1)和生殖生长期(R1 至 R8)。

1.4.2 叶片光合参数测定 在盛花期(R2)和盛荚期(R4)下午 14 点至 16 点,每个小区选择 3 株具有代表性的大豆植株进行测定,取平均值。使用 Li-6400XT 便携式光合仪,测定植株倒三叶中间小叶的净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、胞间 CO₂ 浓度(Ci)和蒸腾速率(Tr)。

1.4.3 农艺性状和产量指标测定 完熟期取每个小区中间行连续 10 株进行考种测定,取平均值。考查项目包括底荚高、主茎节数、单株有效分枝、单株总荚数、单株无效荚数、单株粒数、单株粒重、百粒重;全区收获脱粒,自然风干,称重、测水分,按照 13%含水量折合公顷产量。

1.4.4 品质指标测定 每个小区分别选取 100 粒成熟完好的大豆籽粒,利用波通 DA7250 型近红外分析仪测定相关品质指标。

1.5 数据分析

利用 Excel 软件对数据进行整理计算,利用 SPSS 17.0 软件(选择 LSD 最小显著性差异法)进行差异显著性分析、多重比较,差异显著性水平为 0.05。

2 结果与分析

表 1 不同播期和密度下洛豆 16095 的生育进程

处理	播种期 (月-日)	出苗期 (月-日)	初花期 (月-日)	盛花期 (月-日)	盛荚期 (月-日)	成熟期 (月-日)	营养生长期 /d	生殖生长期 /d	生育期 /d
B1M1	06-21	06-27	08-02	08-07	08-17	10-05	36	64	100
B1M2	06-21	06-27	08-02	08-07	08-17	10-05	36	64	100
B1M3	06-21	06-27	08-02	08-07	08-17	10-05	36	64	100
B1M4	06-21	06-27	08-02	08-07	08-17	10-05	36	64	100
B2M1	07-01	07-07	08-09	08-13	08-23	10-12	33	64	97
B2M2	07-01	07-07	08-09	08-13	08-23	10-12	33	64	97
B2M3	07-01	07-07	08-09	08-13	08-23	10-12	33	64	97
B2M4	07-01	07-07	08-09	08-13	08-23	10-12	33	64	97
B3M1	07-11	07-17	08-16	08-19	09-01	10-17	30	62	92
B3M2	07-11	07-17	08-16	08-19	09-01	10-17	30	62	92
B3M3	07-11	07-17	08-16	08-19	09-01	10-17	30	62	92
B3M4	07-11	07-17	08-16	08-19	09-01	10-17	30	62	92

2.2 播期和密度对洛豆 16095 叶片光合特性的影响

2.2.1 净光合速率 播期的变化对净光合速率影响较大。在盛花期、盛荚期,随着播期的推迟,平均净光合速率总体呈下降趋势。同一密度下,B1 播期平均净光合速率均最高,显著高于 B2、B3 播期,B2 和 B3 播期差异不显著。在盛荚期,同一密度下,B1 播期净光合速率均最高,显著高于 B2、B3 播期(表 2,表 3)。说明适期早播会显著提高盛花期、盛荚期洛豆 16095 的净光合速率。

在盛花期和盛荚期,随着密度的增加,平均净光合速率均呈逐渐下降的趋势,不同密度间平均净光合速率差异不显著(表 2,表 4)。说明降低密度会提高洛豆 16095 的净光合速率。

2.1 播期和密度对洛豆 16095 生育进程的影响

由表 1 可知,随着播期的后移,洛豆 16095 营养生长期、生殖生长期和生育期均呈缩短趋势。B3 播期营养生长期、生殖生长期和生育期均最短,分别为 30 d、62 d 和 92 d,比 B1 播期营养生长期少 6 d,生殖生长期少 2 d,生育期少 8 d,比 B2 播期营养生长期少 3 d,生殖生长期少 2 d,生育期少 5 d。经对比发现,推迟播期对营养生长期影响较大。种植密度的变化对洛豆 16095 的生育进程没有显著影响,相同播期、不同密度下洛豆 16095 的生育进程一致。综上所述,推迟播期主要通过缩短营养生长期,从而缩短洛豆 16095 生育进程;种植密度对生育进程的影响不显著。

2.2.2 气孔导度 在盛花期,随着播期的推迟,平均气孔导度呈先下降后上升的趋势,B3 播期平均气孔导度最大,显著高于 B2 播期,与 B1 播期平均气孔导度差异不显著。说明早播或者晚播会提升盛花期叶片气体交换能力。在盛荚期,不同播期间平均气孔导度基本一致,差异不显著(表 2,表 3)。

密度对气孔导度的影响较小。在盛花期和盛荚期,随着密度的增加,平均气孔导度均呈总体下降趋势,不同密度间差异未达到显著水平(表 2,表 4)。

2.2.3 胞间 CO₂ 浓度 在盛花期,随着播期的推迟,平均胞间 CO₂ 浓度呈先减少后增加的趋势,不同播期间平均胞间 CO₂ 浓度差异不显著(表 2,表 3)。在盛荚期,随着播期的推迟,平均胞间 CO₂ 浓

度呈先减少后增加的趋势,B3播期平均胞间CO₂浓度最高,显著高于B1、B2播期,B1和B2播期平均胞间CO₂浓度差异不显著(表2,表3)。说明适期早播可以显著降低盛荚期洛豆16095的胞间CO₂浓度。

在盛花期,随着密度的增加,平均胞间CO₂浓度呈先增加后减少的趋势,不同密度间平均胞间CO₂浓度差异不显著。在盛荚期,随着密度的增加,平均胞间CO₂浓度呈先增加后减少,再增加的趋势,不同密度间平均胞间CO₂浓度差异不显著(表2,表4)。

2.3.4 蒸腾速率 在盛花期,随着播期的推迟,平均蒸腾速率呈先减少后增加的趋势,B1播期平均蒸腾速率最高,显著高于B2、B3播期,B2和B3播期平均蒸腾速率差异不显著。在盛荚期,随着播期的推迟,平均蒸腾速率呈逐渐减少的趋势,B1播期平均蒸腾速率最高,显著高于B2、B3播期(表2,表3)。说明适期早播可以提升盛花期、盛荚期洛豆16095的蒸腾速率。

在盛花期和盛荚期,随着密度的增加,平均蒸腾速率均呈逐渐减少的趋势,不同密度间平均蒸腾速率差异不显著(表2,表4)。

表2 播期和密度对洛豆16095叶片光合特性的影响

处理	净光合速率 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)		气孔导度 ($\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)		胞间CO ₂ 浓度 ($\mu\text{mol}/\text{mol}$)		蒸腾速率 ($\text{mmol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)	
	盛花期	盛荚期	盛花期	盛荚期	盛花期	盛荚期	盛花期	盛荚期
B1M1	43.14±0.91a	19.95±0.57a	0.15±0.00bc	0.12±0.01ab	123.06±7.27e	94.52±10.04f	8.27±0.12a	3.46±0.13a
B1M2	41.00±1.56b	17.83±0.34b	0.15±0.01bc	0.13±0.00a	75.80±23.61f	130.17±0.58de	7.54±0.07b	3.45±0.04b
B1M3	40.99±0.98b	16.26±0.88c	0.11±0.00de	0.10±0.01cd	238.72±1.49b	98.32±28.99ef	6.54±0.11c	3.01±0.24c
B1M4	34.50±0.26c	12.31±0.05d	0.12±0.05bcde	0.09±0.01d	318.17±33.02a	148.28±16.03d	6.29±0.18c	2.67±0.14bcd
B2M1	18.18±1.56f	17.03±0.46bc	0.13±0.01bcd	0.12±0.00ab	118.93±16.85e	136.25±8.13d	4.30±0.20de	2.86±0.01bc
B2M2	15.65±0.39g	13.22±0.51d	0.12±0.01cde	0.07±0.01e	121.31±13.64e	86.95±10.14f	3.39±0.11g	2.75±0.37bcd
B2M3	14.35±0.61gh	10.43±0.25e	0.11±0.02cde	0.06±0.00ef	128.73±32.57de	82.05±14.07f	3.29±0.18g	2.49±0.04cd
B2M4	13.10±0.63h	8.24±0.09f	0.09±0.00e	0.05±0.00f	105.85±10.51ef	79.93±25.35f	2.54±0.05h	2.04±0.17e
B3M1	27.91±0.67d	11.98±1.5d	0.15±0.00b	0.11±0.00bcd	74.59±12.58f	193.17±22.5c	4.04±0.19ef	2.54±0.22cd
B3M2	20.63±0.45e	8.79±0.50f	0.16±0.00b	0.11±0.01bcd	160.33±1.26cd	234.17±2.75b	4.03±0.04ef	2.40±0.06de
B3M3	18.11±1.78f	7.48±0.32f	0.21±0.02a	0.11±0.00bc	237.28±8.31b	257.75±6.01ab	4.47±0.61d	2.42±0.02de
B3M4	17.87±1.58f	5.95±0.31g	0.14±0.02bcd	0.11±0.01bc	168.50±6.14c	277.00±5.77a	3.72±0.47fg	2.55±0.15cd

注:同列数据后不同小写字母代表差异达到显著水平。下同。

表3 不同播期下洛豆16095的4个密度光合参数均值多重比较

播期	净光合速率 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)		气孔导度 ($\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)		胞间CO ₂ 浓度 ($\mu\text{mol}/\text{mol}$)		蒸腾速率 ($\text{mmol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)	
	盛花期	盛荚期	盛花期	盛荚期	盛花期	盛荚期	盛花期	盛荚期
B1	39.66±3.68a	16.59±3.23a	0.13±0.02ab	0.11±0.02a	188.94±110.03a	117.82±25.84b	7.16±0.92a	3.15±0.38a
B2	15.32±2.17b	12.23±3.79ab	0.11±0.02b	0.08±0.03a	118.71±9.53a	96.30±25.80b	3.38±0.72b	2.54±0.36b
B3	18.90±4.69b	8.43±2.56b	0.17±0.03a	0.09±0.00a	176.58±66.68a	209.42±36.10a	4.05±0.31b	2.09±0.08b

表4 不同密度下洛豆16095的3个播期光合参数均值多重比较

密度	净光合速率 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)		气孔导度 ($\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)		胞间CO ₂ 浓度 ($\mu\text{mol}/\text{mol}$)		蒸腾速率 ($\text{mmol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)	
	盛花期	盛荚期	盛花期	盛荚期	盛花期	盛荚期	盛花期	盛荚期
M1	29.74±18.07a	16.32±8.80a	0.14±0.07a	0.12±0.06a	105.53±57.14a	141.31±81.41a	5.54±3.38a	2.95±1.53a
M2	25.43±16.49a	13.28±7.60a	0.14±0.07a	0.10±0.06a	119.15±68.86a	150.43±97.34a	4.99±3.09a	2.87±1.50a
M3	24.48±16.98a	11.39±6.76a	0.14±0.09a	0.09±0.05a	201.58±113.19a	146.04±107.78a	4.77±2.74a	2.64±1.35a
M4	21.82±14.26a	8.83±5.14a	0.12±0.06a	0.08±0.05a	197.51±132.99a	168.40±117.33a	4.18±2.61a	2.42±1.24a

2.3 播期和密度对洛豆 16095 农艺性状的影响

随着播期的后移,平均底荚高呈逐渐上升的趋势。不同播期间平均底荚高差异未达到显著水平。随着密度的增加,平均底荚高呈现逐渐上升的趋势,4 个密度间平均底荚高差异不显著(表 5,表 7)。随着播期的后移,平均主茎节数呈先增加后减少的趋势,不同播期间平均主茎节数差异未到达显著水平(表 5,表 6)。随着密度的增加,平均主茎节数呈先减少后增加的趋势,不同密度间平均主茎节数差异不显著(表 5,表 7)。随着播期的后移,平均单株有效分枝呈先减少后增加的趋势,不同播期间差异不显著(表 5,表 6)。随着密度的增加,平均单株有效分枝呈现逐渐减少的趋势,M1 密度平均单株有效分枝最多,显著多于 M2、M3、M4 密度(表 5,表 7)。随着播期的后移,平均单株有效荚数呈逐渐减少的趋势,但是不同播期间平均单株有效荚数差异不显著(表 5,表 6)。随着密度的增加,单株有效荚数呈逐渐减少的趋势,M1 密度下平均单株有效荚数最多,显著多于 M2、M3、M4 密度(表 5,表 7) 随着播期的后移,单株无效荚数呈逐渐增加的趋势,B3 播期下平均单株无效荚数最多,显著多于 B1、B2 播期(表 5,表 6)。随着密度的增加,单株无效荚数呈逐渐减少的趋势,但是不同密度间平均单株无效荚数差异不显著(表 5,表 7)。随着播期的后移,平均单株粒数呈逐渐减少的趋势,不同播期间平均单株粒数差异未达到显著水平(表 5,表 6)。随着密度的增加,单株粒数呈逐渐减少的趋势,M1 密度下平均单株粒数最多,显著多于 M2、M3、M4 密度(表 5,表 7)。随着播期的后移,平均单株粒重呈逐渐降低的趋势,不同播期间平均单株粒重差异不显著(表 5,表 6)。随着密度的增加,平均单株粒重呈逐渐降低的趋势,M1 密度下平均单株粒重最高,显著高于 M4 密度(表 5,表 7)。随着播期的后移,平均百粒重呈逐渐下降的趋势,B1 播期下平均百粒重最高,显著高于 B2、B3 播期(表 5,表 6)。随着密度的增加,平均百粒重呈先减少后增加,再减少的趋势,不同密度

间平均百粒重差异不显著(表 5,表 7)。

2.4 播期和密度对洛豆 16095 产量的影响

2.4.1 播期对洛豆 16095 产量的影响 由表 6 可知,播期的变化对产量影响较大,3 个播期下平均产量变化范围为 4 294.09~5 332.30 kg/hm²。随着播期的后移,产量呈逐渐下降的趋势,B1 播期平均产量最高,达到 5 332.30 kg/hm²,显著高于 B2、B3 播期。

2.4.2 密度对洛豆 16095 产量的影响 由表 7 可知,密度对产量的影响较小,4 个密度下平均产量变化范围为 4 602.65~4 940.50 kg/hm²。随着密度的增加,产量呈先增加先减少,再增加的趋势,不同密度间平均产量差异不显著。

2.4.3 播期和密度对洛豆 16095 产量的影响 由表 5 可知,不同播期密度处理组合下洛豆 16095 产量变化范围为 4 030.06~5 564.02 kg/hm²。B3M3(播期 7 月 11 日,密度 22.5 万株/hm²)处理产量最低,显著低于 B1M1、B1M2、B1M3、B1M4、B2M1、B2M4 处理,B1M4(播期 6 月 21 日,密度 27 万株/hm²)处理产量最高,显著高于 B2M2、B2M3、B3M1、B3M2、B3M3、B3M4 处理。经对比发现,播期对产量的影响比密度对产量的影响大。百粒重与产量呈极显著正相关,单株无效荚数与产量呈显著负相关,随着播期推迟,百粒重减少,单株无效荚增加,从而导致同一密度下,B1 播期产量均最高,B3 播期产量均最低。在 B1 播期下,随着密度的增加,产量呈先增加后减少,再增加的趋势,M2、M3 和 M4 密度下产量均较高,不同密度间产量差异不显著。在 B3 播期下,随着密度的增加,产量呈先增加后减少,再增加的趋势,M2 密度产量最高,不同密度间产量差异不显著。综上所述,在本试验条件下,适期早播、增加种植密度有益于洛豆 16095 产量的提高;在较晚播期下,应适当降低种植密度,从而减少产量的下降幅度;洛豆 16095 属于耐密植高产品种,最适宜播期为 6 月 21 日,适宜种植密度为 18~27 万株/hm²。

表 5 不同播期与种植密度组合下洛豆 16095 的农艺性状和产量

处理	底荚高度 /cm	主茎节数	单株有 效分枝	单株有 效荚数	单株无效 荚数	单株粒数	单株粒重 /g	百粒重 /g	产量 (kg/hm ²)
B1M1	15.35±	18.60±	2.95±	72.55±	2.95±	178.80±	36.40±	24.80±	5 108.48±
	0.21b	1.41a	0.35a	12.94a	0.21a	44.97a	5.09a	0.85a	449.34abcd
B1M2	17.15±	17.15±	1.65±	53.75±	1.70±	121.55±	28.00±	24.70±	5 492.82±
	2.33ab	0.35a	0.49abcd	0.64bc	0.85a	1.48bc	1.13bc	0.57a	716.75ab

续表5 不同播期与种植密度组合下洛豆16095的农艺性状和产量

处理	底荚高度 /cm	主茎节数	单株有效分枝	单株有效荚数	单株无效荚数	单株粒数	单株粒重 /g	百粒重 /g	产量 (kg/hm ²)
B1M3	18.35±	17.45±	1.35±	45.50±	1.45±	104.25±	21.35±	24.95±	5 163.89±
	2.05ab	0.49a	0.92bcd	15.13cd	0.64a	39.95bcd	8.70bcd	0.07a	576.50abc
B1M4	18.91±	16.02±	0.76±	38.63±	1.43±	85.60±	16.20±	24.45±	5 564.02±
	4.37ab	2.65a	0.45d	0.68cd	0.17a	2.42cd	3.96cd	0.78a	318.78a
B2M1	14.65±	18.75±	2.80±	62.20±	2.45±	141.80±	29.30±	23.45±	4 661.92±
	4.17b	0.21a	0.85a	4.10ab	0.07a	2.55ab	2.97ab	1.06ab	190.66abcd
B2M2	18.48±	17.51±	1.31±	41.29±	2.54±	96.20±	18.85±	22.65±	4 588.45±
	1.52ab	1.97a	0.27cd	3.55cd	1.08a	13.01cd	0.92cd	0.07bc	157.44bcde
B2M3	14.32±	19.46±	1.28±	43.94±	1.40±	100.42±	22.05±	24.63±	4 614.01±
	1.39b	0.49a	0.54cd	4.01cd	0.85a	7.10bcd	2.33bcd	0.60a	611.95bcde
B2M4	22.95±	16.80±	0.80±	32.45±	1.15±	70.05±	13.70±	21.35±	4 981.69±
	1.48a	2.12a	0.00d	0.64d	0.21a	0.35d	1.84d	1.06c	282.17abcd
B3M1	20.15±	17.20±	3.05±	49.40±	3.60±	118.75±	23.45±	21.55±	4 245.57±
	2.90ab	1.70a	1.20a	3.11bc	2.26a	10.68bc	1.63bc	0.07c	297.11de
B3M2	17.25±	16.65±	2.65±	41.90±	3.95±	95.95±	18.65±	22.10±	4 624.93±
	3.46ab	1.20a	0.07abc	0.42cd	0.07a	5.02cd	0.35cd	0.99bc	471.48bcde
B3M3	22.75±	15.45±	1.80±	41.75±	2.95±	98.95±	19.35±	21.25±	4 030.06±
	0.78a	1.06a	0.42abcd	6.86cd	1.06a	6.72bcd	1.34cd	0.07c	425.11e
B3M4	22.00±	18.05±	1.80±	32.15±	2.40±	79.20±	15.15±	21.10±	4 275.79±
	1.27a	0.07a	0.28abcd	1.91d	1.70a	4.81cd	1.20cd	0.57c	552.51cde
与产量的 相关系数	-0.33	-0.02	-0.38	0.22	-0.58*	0.15	0.21	0.74**	/

注: *、** 分别表示农艺性状与产量相关性达到显著、极显著水平。

表6 不同播期下洛豆16095的4个密度农艺性状指标、产量均值多重比较

播期	底荚高度 /cm	主茎节数	单株有效分枝	单株有效荚数	单株无效荚数	单株粒数	单株粒重 /g	百粒重 /g	产量 (kg/hm ²)
B1	17.44±	17.31±	1.68±	52.61±	1.88±	122.55±	25.49±	24.73±	5 332.30±
	1.57a	1.06a	0.93a	14.66a	0.72b	40.27a	8.73a	0.21a	229.43a
B2	17.60±	18.13±	1.55±	44.97±	1.89±	102.12±	20.98±	23.02±	4 711.52±
	4.04a	1.20a	0.87a	12.49a	0.71b	29.67a	6.53a	1.38b	182.67b
B3	20.54±	16.84±	2.33±	41.30±	3.23±	98.21±	19.15±	21.50±	4 294.09±
	2.45a	1.09a	0.63a	7.07a	0.69a	16.22a	3.40a	0.44c	246.21c

表7 不同密度下洛豆16095的3个播期农艺性状指标、产量均值多重比较

播期	底荚高度 /cm	主茎节数	单株有效分枝	单株有效荚数	单株无效荚数	单株粒数	单株粒重 /g	百粒重 /g	产量 (kg/hm ²)
M1	16.72±	18.18±	2.93±	61.38±	3.00±	146.45±	29.72±	23.27±	4 671.99±
	2.99a	0.85a	0.13a	11.60a	0.58a	30.29a	6.49a	1.63a	431.54a
M2	17.63±	17.10±	1.87±	45.65±	2.73±	104.57±	21.83±	23.15±	4 902.07±
	0.74a	0.43a	0.70b	7.02b	1.14a	14.71b	5.34ab	1.37a	511.93a
M3	18.47±	17.45±	1.48±	43.73±	1.93±	101.21±	20.92±	23.61±	4 602.65±
	4.22a	2.01a	0.28b	1.88b	0.88a	2.74b	1.40ab	2.05a	567.00a
M4	21.29±	16.96±	1.12±	34.41±	1.66±	78.28±	15.02±	22.30±	4 940.50±
	2.11a	1.02a	0.59b	3.66b	0.66a	7.82b	1.26b	1.87a	645.10a

2.6 播期和密度对洛豆 16095 品质的影响

表 8, 表 9 和表 10 表明, 随着播期的推迟, 平均粗脂肪含量呈逐渐下降的趋势, B1 播期含量最高, 显著高于 B3 播期, 高出 0.41%。密度的变化对粗脂肪含量影响不大, 随着密度的增加, 平均粗脂肪含量呈逐渐下降趋势, 不同密度间平均粗脂肪含量差异不显著。

随着播期的推迟, 平均粗蛋白质含量呈下降趋势, B1 播期含量最高, 显著高于 B3 播期, 高出

2.05%。随着密度的增加, 平均粗蛋白质含量呈增加趋势, 不同密度间平均粗蛋白质含量差异不显著。

随着播期的推迟, 平均蛋脂总含量呈逐渐下降的趋势, B1 播期含量最高, 显著高于 B3 播期, 高出 2.46%。随着密度的增加, 平均蛋脂总含量呈先增加后减少的趋势, 不同密度间平均蛋脂总含量差异不显著。

表 8 播期和密度对洛豆 16095 品质的影响

处理	粗脂肪含量 /%	粗蛋白质含量 /%	蛋脂总含量 /%
B1M1	22.02±0.41ab	41.17±0.48ab	63.19±0.89a
B1M2	22.18±0.70a	40.90±0.78abcd	63.08±1.48ab
B1M3	22.08±0.58ab	41.30±0.63a	63.39±1.21a
B1M4	21.63±0.24ab	41.82±0.33a	63.45±0.57a
B2M1	22.03±0.26ab	39.83±0.24cdef	61.87±0.51cde
B2M2	21.91±0.23ab	39.86±0.29cdef	61.77±0.52cde
B2M3	21.66±0.36ab	41.01±0.58abc	62.66±0.94abc
B2M4	21.95±0.16ab	40.04±0.53bcde	61.99±0.68bcd
B3M1	21.60±0.68ab	38.73±0.84f	60.33±1.52f
B3M2	21.56±0.26ab	39.57±0.34ef	61.13±0.60def
B3M3	21.71±0.11ab	39.04±0.53ef	60.75±0.64ef
B3M4	21.42±0.18b	39.66±1.16def	61.08±1.34def

表 9 不同播期下洛豆 16095 的 4 个密度品质指标均值多重比较

播期	粗脂肪含量 /%	粗蛋白质含量 /%	蛋脂总含量 /%
B1	21.98±0.24a	41.30±0.39a	63.28±0.17a
B2	21.89±0.16a	40.19±0.55b	62.07±0.40b
B3	21.57±0.12b	39.25±0.44c	60.82±0.37c

表 10 不同密度下洛豆 16095 的 3 个播期品质指标均值多重比较

密度	粗脂肪含量 /%	粗蛋白质含量 /%	蛋脂总含量 /%
M1	21.88±0.25a	39.91±1.22a	61.79±1.43a
M2	21.88±0.31a	40.11±0.70a	61.99±0.99a
M3	21.82±0.23a	40.45±1.23a	62.27±1.36a
M4	21.66±0.27a	40.51±1.15a	62.17±1.20a

3 结论与讨论

播期和密度的变化会对大豆生长发育产生影响, 这可能是由于不同播期密度下大豆所处的光

温、水分等环境条件差异导致的。大豆播期与生育期密切相关^[22]。在不同播期下, 大豆所受到的光温效应不同, 导致大豆生育进程出现差异^[23]。晚播对大豆营养生殖阶段影响要比对生殖生长阶段的影响大^[24]。在本研究中, 推迟播期主要通过缩短营养生长期, 从而缩短生育进程, 种植密度对生育进程的影响不显著, 这与李超等^[18]、黄兴军等^[19]、何大智等^[25]研究结果一致。前人研究表明, 提升叶片的光合同化能力是提高作物产量的关键^[27,28]。净光合速率是反映植物光合效率的重要指标。在本研究中, 播期对光合特性影响较大, 适期早播会显著提升大豆叶片的净光合速率; 与播期相比, 密度对光合特性影响较小, 在同一播期下, 降低种植密度会提高净光合速率, 可能是由于低密度环境下具有较好的透光性, 加快了叶片的净光合速率, 这与黄兴军等^[19]、刘长远等^[20]研究结果一致。适期早播会显著减少单株无效荚数, 显著增加百粒重, 其与崔晓培等^[17]、黄兴军等^[19]研究结果一致。降低密度会显著增加单株有效分枝、单株有效荚数、单株粒数、单株粒重, 这与王拓和等^[29]研究结果一致。

大豆的品质性状受遗传、气候条件、栽培措施、地理环境等因素影响^[18]。关于播期对大豆品质的影响,目前观点不统一,变化因品种而异。在本研究中,随着播期的延迟,粗蛋白质、粗脂肪和蛋脂总含量均呈下降趋势,这与刘玉兰等^[30]研究结果一致,与龚如团等^[31]、江琳等^[32]研究结果不同,这可能是由于品种遗传基因差异、环境差异导致的。目前,关于密度对大豆脂肪和粗蛋白质含量的影响,研究结果存在差异。在本试验条件下,密度对大豆品质影响较小,随着密度的增加,粗脂肪含量呈逐渐下降趋势,粗蛋白质含量呈逐渐上升的趋势,这与张晓艳等^[33]研究结果一致,与付春旭等^[34]研究结果相反,这可能是品种遗传基因差异导致的。

前人研究表明,早播的产量高于晚播的产量^[14,17,35]。本研究结果也证实了这一点,随着播期的推迟,产量呈逐渐下降的趋势,B1 播期平均产量最高,显著高于 B2、B3 播期,这可能是晚播错过最佳生长时间,植株光合同化能力和物质营养分配受到影响,导致产量下降;在早播条件下,植株获得更充足的生长发育时间,生殖生长期光合同化能力较强,干物质积累较为充足,产量得到提升。虽然 B3 播期产量降低,但实际播期已到 7 月中旬,这样晚播的情况下,也取得了不错的产量,对于因农业灾害(如洪涝)导致错过最佳播期的情况下,是一个不错的品种选择。在本研究中,密度对产量的影响小于播期对产量的影响,这与张素梅等^[35]、王文斌等^[36]、赵璇等^[37]研究结果一致。在 B1 播期下,M2、M3 和 M4 密度下产量均较高,不同密度间产量差异不显著。综上,在洛阳市及相近生态环境下,洛豆 16095 最适宜播期为 6 月 21 日,适宜种植密度为 18~27 万株/hm²,此时产量较高、品质较优。

参 考 文 献:

- [1] Hymowitz T, Newell C A. Taxonomy of the genus Glycine, domestication and uses of soybeans[J]. Economic Botany, 1981, 35(3): 272-288.
- [2] 宋艳霞, 杨文钰, 李卓玺, 等. 不同大豆品种幼苗叶片光合及叶绿素荧光特性对套作遮荫的响应[J]. 中国油料作物学报, 2009, 31(4): 474-479.
- [3] 郑殿君, 张治安, 姜丽艳, 等. 不同产量水平大豆叶片净光合速率的比较[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(9): 1-5.
- [4] 汪越胜, 马宏惠. 中国大豆地理生态型生育前期光温综合反应[J]. 安徽师范大学学报(自然科学版), 2000, 23(1): 40-46.
- [5] 杨志攀, 张晓娟, 蔡淑平, 等. 大豆“短青春”品种的光(温)反应研究 I. 播季反应[J]. 中国油料作物学报, 2000, 22(3): 35-38.
- [6] 袁明, 宁海龙, 王守义, 等. 光温效应对大豆品种黑河 45 生育进程及产量的影响[J]. 大豆科学, 2013, 32(3): 328-332.
- [7] 申晓慧, 姜成, 张敬涛, 等. 不同氮肥水平下大豆叶片光谱反射率与叶绿素含量的相关性研究[J]. 大豆科学, 2012, 31(1): 73-80.
- [8] 谷秋荣, 薛晓娅, 郭鹏旭, 等. 不同氮肥类型对大豆叶片光合特性及产量的影响[J]. 大豆科学, 2010, 29(5): 900-905.
- [9] 李文龙, 李喜煥, 常文锁, 等. 不同播期、密度和施肥量对保豆 3 号农艺性状影响[J]. 西北农业学报, 2014, 23(2): 107-113.
- [10] 郭数进, 杨凯敏, 霍瑾, 等. 干旱胁迫对大豆鼓粒期叶片光合能力和根系生长的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(5): 1 419-1 425.
- [11] 张恒月, 郭屹立, 王磊, 等. 干旱和复水对大豆叶片光合生理特性及产量的影响[J]. 河南大学学报(自然科学版), 2009, 39(2): 183-188.
- [12] 鹿文成, 刘英华, 闫洪睿, 等. 播期对大豆生长发育和产量构成因子的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2001(3): 17-19.
- [13] 王志新. 播期对不同生育期高油大豆油分和产量的影响[J]. 大豆科学, 2007, 26(6): 965-968.
- [14] 孙国伟, 付连舜, 张凤路, 等. 播期及密度对不同大豆品种农艺性状及产量的影响[J]. 大豆科学, 2016, 35(3): 423-427.
- [15] 陈文杰, 梁江, 汤复跃, 等. 不同播期对广西春大豆品种农艺性状、产量及品质的影响[J]. 大豆科学, 2015, 34(6): 993-999.
- [16] 王乐政, 华方静, 曹鹏鹏, 等. 不同播期夏大豆的产量、光合特性和气象因子效应研究[J]. 中国油料作物学报, 2019, 41(5): 750-757.
- [17] 崔晓培, 郑金煥, 胡冬梅. 播期与密度对大豆生长发育影响的研究进展[J]. 黑龙江农业科学, 2021(9): 123-128.
- [18] 李超, 任海红, 谢梦真, 等. 播期与密度对大豆影响的研究进展[J]. 中国种业, 2022(3): 30-34.
- [19] 黄兴军, 冉新月, 吴树, 等. 播期和密度对南疆春大豆光合特性及产量的影响[J]. 大豆科学, 2022, 41(5): 546-556.
- [20] 刘长远, 王磊, 齐玉鑫, 等. 播期、密度及施肥量对大豆 15 主要农艺性状和光合特性的影响[J]. 大豆科学, 2023, 42(2): 212-219.
- [21] FEHR W R, Caviness C E. Stage of soybean development [M]. Iowa: Iowa State University, 1977: 1-11.