

品种与密度配置对高油大豆光合特性和产量的影响

王晓慧¹, 杨晓芳¹, 李 钊², 王光伟², 苑书恒³, 郑 艳³, 饶德民¹, 于德彬¹,
赵胤凯¹, 程 彤¹, 李咏梅^{1*}, 孟凡钢^{1*}

(1. 吉林省农业科学院(中国农业科技东北创新中心), 长春 130033; 2. 前郭尔罗斯蒙古族自治县深农农牧业发展有限公司, 吉林 松原 138000; 3. 中化现代农业(吉林)有限公司, 吉林 松原 138000)

摘要: 为研究东北地区新选育的不同高油大豆品种的适宜种植密度, 采用二因素裂区试验设计, 分别选用4种新育成的高油大豆品种和5个播种水平, 分析不同品种与密度配置对高油大豆光合特性及其产量的影响。结果表明, 吉育2907的适宜种植密度为30万株/hm², 吉育269的适宜种植密度为20万株/hm², 吉育2514和吉育3517的适宜种植密度为25万株/hm²。该种植密度下, 各高油品种生育后期的光合速率、蒸腾速率、干物质积累量、荚数、茎重、荚重、粒重、株粒数和产量均表现最好。

关键词: 高油大豆; 品种; 密度; 光合特性; 产量

中图分类号: S565.1; S311

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2026)02-0022-08

Effects of Variety and Plant Density on Photosynthetic Characteristics and Yield of High-Oil Soybeans

WANG Xiaohui¹, YANG Xiaofang¹, LI Zhao², WANG Guangwei², YUAN Shuheng³, ZHENG Yan³, RAO Demin¹,
YU Debin¹, ZHAO Yinkai¹, CHENG Tong¹, LI Yongmei^{1*}, MENG Fangang^{1*}

(1. Jilin Academy of Agricultural Sciences(Northeast Agricultural Research Center of China), Changchun 130033; 2. Qianguo Erluosi Mongolian Autonomous County Shennong Agriculture and Animal Husbandry Development Company, Songyuan 138000; 3. Sinochem Agriculture Holdings, Songyuan 138000, China)

Abstract: To study the suitable planting density of different newly bred high-oil soybean varieties in Northeast China, a two-factor split-plot experimental design was adopted. Four newly bred high-oil soybean varieties and five planting density levels were selected to investigate the effects of different varieties and density configurations on the photosynthetic characteristics and yield of high-oil soybeans. The results showed that the suitable planting density for Jiyu 2907 was 300,000 plants/ha, for Jiyu 269 was 200,000 plants/ha, and for Jiyu 2514 and Jiyu 3517 was 250,000 plants/ha. Under these planting densities, the photosynthetic rate, transpiration rate, dry matter accumulation amount, number of pods per plant, stem weight, pod weight, grain weight, number of grains per plant, and yield of each high-oil soybean variety exhibited the best performance at the late growth stage.

Key words: High-oil soybean; Variety; Density; Photosynthetic characteristic; Yield

大豆作为重要的粮油兼用作物, 富含蛋白质和油分, 不仅是优质植物蛋白的重要来源, 也是食用油的主要供给原料。随着人们生活水平的不断提高, 对高油大豆的需求日益凸显。因此, 扩大高油大豆的种植面积, 提升高油大豆的产量和品质, 对于保障国家食用油供给安全、促进大豆

产业的可持续发展具有重要的战略意义^[1]。品种和种植密度是影响大豆生长发育、光合特性及最终产量形成的两个重要因素。不同的品种具有不同的遗传特性, 这些特性决定了其在株型结构、光合能力等方面存在差异^[2-3]。种植密度影响大豆群体的通风透光条件、养分竞争状况及光合产物的分配。合理的品种与密度配置能够优化大豆群体结构, 改善光合环境, 增加干物质积累, 最终提升大豆产量^[4]。前人已经开展了诸多关于大豆品种、种植密度等因素对大豆生长和产量影响的研究^[5-7]。丁树启等^[8]研究发现, 大豆新品种在生育后期群体光合能力强, 籽粒灌浆充分, 显著提

收稿日期: 2025-06-09

基金项目: 农业生物育种国家科技重大专项(2023ZD0403205); 吉林省自然科学基金面上项目(20240101241JC)

作者简介: 王晓慧(1981-), 博士, 研究方向为作物高产栽培生理。

通信作者: 李咏梅, E-mail: zw.0431@163.com

孟凡钢, E-mail: Mengfg2013@163.com

高单位面积粒数和荚数,实现大豆产量显著提升。孙贺祥等^[9]研究表明,增密减肥与耐密型品种相结合,可以降低结荚高度,增加节间数和株高,提高大豆群体产量。许多研究认为,不同大豆品种的种植密度不同,适合的种植密度可以获得最佳的产量^[10-11]。然而,目前针对高油大豆品种适宜种植密度的研究还不多见。

本文研究了品种与密度配置对高油大豆光合特性和产量的影响,以明确不同高油大豆品种的适宜种植密度,为高油大豆的高产优质栽培提供科学依据和技术支持,对于优化高油大豆栽培技术、提高高油大豆产量和品质具有重要的理论和实践意义。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2024年在吉林省农业科学院公主岭院区(43°52'N, 124°51'E)试验基地进行。该区属于温带大陆性季风气候,年平均气温5.6℃,年降水量450~650 mm,无霜期125~140 d,有效积温2 600~3 000℃·d,年日照时数2 500~2 700 h。试验地耕作层土壤基本理化性质:有机质、水溶性氮、有效磷和钾的含量分别为27.53 g/kg、123.41 mg/kg、31.25 mg/kg和152.23 mg/kg,土壤pH值为5.5,土壤类型为黑土。

1.2 试验设计

试验采用二因素裂区试验设计,主区为大豆品种,分别为吉育2907、吉育2514、吉育269和吉育3517(由吉林省农业科学院大豆研究所提供,均为近两年选育的高油高产大豆品种,脂肪含量均大于22%);副区为种植密度,分别为20(D1)、25(D2)、30(D3)、35(D4)、40万株/hm²(D5)共5个种植密度。小区长5 m,垄宽60 cm,每个处理种植5垄,小区宽3 m,3次重复,共60个小区。整地时施入大豆专用三元复合肥(N:P:K=15:15:15)300 kg/hm²。5月7日播种,3叶期按照试验设计进行间苗和定苗。生育期间人工除草4次,中耕2次,各小区田间管理操作保持一致。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 光合性状测定

分别在4叶期(V4)、盛花期(R2)、盛荚期(R4)、鼓粒期(R6)和成熟期(R7)晴朗无云或少云的上午9:00-11:00,使用Li-6800便携式光合测定系统测定(Li-Cor Inc., Lincoln, NE, USA)植株主茎顶部展开的倒3叶中间小叶的净光合速率(P_n)和蒸腾速率(T_s),每处理测定3个叶片。测定仪器为开放式

气路系统,叶室采用红蓝固定光源,内部光量子通量密度(PPFD)控制在1 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$,CO₂浓度控制在400 $\mu\text{mol}/\text{mol}$,每处理随机选取3株进行测定。

1.3.2 干物质积累测定

分别于V4、R2、R4、R6、R8期在各处理小区内选择具有代表性、生长一致的连续3株,将植株装入牛皮纸袋于烘箱105℃下杀青60 min,80℃恒温连续烘干至恒重,称重用于测定植株干物质积累量。

1.3.3 产量及构成因子测定

大豆成熟后期在每小区内选取两行进行收获,脱粒、称重后折算公顷产量。在每小区内选定3个样本点,每样本点选连续的5株,测定其株高、茎粗、底荚高、荚数、茎重、荚重、粒重、百粒重和株粒数。

1.3.4 品质测定

使用FOSS多功能近红外品质分析仪快速测定大豆籽粒的油分、蛋白及各种组分的含量,重复测定5次,取平均值。

1.4 数据分析

运用Microsoft Excel 2010进行数据的统计和处理;采用SPSS22.0软件进行数据处理方差分析;采用Duncan法进行差异显著性检验($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同密度高油大豆品种的产量及其构成因子

密度大小可以影响高油大豆品种产量,但各品种间差异较大。吉育2907的产量随着种植密度增加,呈现先增加后下降的趋势,D3处理的产量最高,分别比D1、D2、D4和D5高24.62%、6.20%、8.54%和20.19%。D1处理的吉育269产量最高,显著高于D4和D5处理,分别高16.59%和13.28%。随着种植密度增加,吉育2514的产量先升高再下降,D2处理时最高,分别比D1、D3、D4和D5高4.49%、5.62%、11.12%和16.78%。D2处理的吉育3517产量最高,分别比D1、D3、D4和D5处理高8.71%、2.43%、9.47%和10.07%(图1)。

大豆产量构成因子中,随着种植密度增加,4个高油品种各密度处理间的荚数、粒重和株粒数均有显著差异。D3处理时,吉育2907的荚数、粒重和株粒数最高;D2处理时,吉育2514和吉育3517的荚数、粒重和株粒数最高;D1处理时,吉育269的荚数、粒重和株粒数最高。各品种的百粒重均随种植密度增加而减少,吉育2907和吉育3517各密度处理的百粒重具有显著差异(表1)。

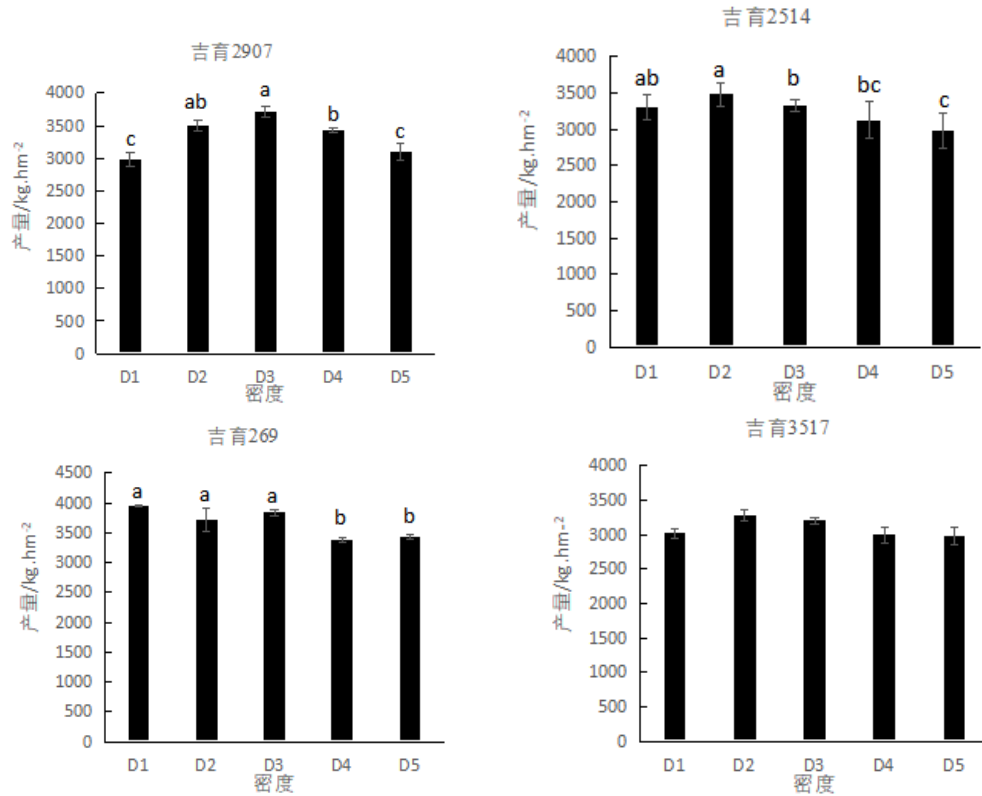


图1 不同密度高油品种的产量

Fig.1 Yield of high-oil varieties at different densities

2.2 不同密度高油品种的农艺性状

由表2可以看出,随着种植密度增加,大豆品种的株高、底荚高逐渐增高,茎粗略有降低。吉育2514各密度处理间的株高、茎粗达显著差异,其余品种的各密度处理间差异不显著。吉育269

和吉育2514的底荚高在D1处理时显著低于其他密度处理。4种高油品种各密度处理间的荚重具有显著差异。D3处理时,吉育2907的荚重最高;D2处理时,吉育2514和吉育3517的荚重最高;D1处理时,吉育269的荚重最高。

表1 不同密度高油大豆品种的产量构成因子

Table 1 Yield components of high-oil soybean varieties at different planting densities

品种	密度	荚数/个	粒重/g	百粒重/g	株粒数/个·株 ⁻¹
Variety	Density	Number of pods	Seed weight	100-seed weight	Number of plants
吉育2907	D1	47.27a	88.49b	20.20a	95.93ab
	D2	46.40a	103.66ab	20.12a	114.67ab
	D3	40.07ab	118.25a	19.43ab	121.73a
	D4	39.93ab	96.43b	18.99ab	100.87ab
	D5	33.53b	88.87b	18.09b	91.20b
吉育2514	D1	46.13a	104.50ab	21.74	101.27bc
	D2	43.93ab	118.20a	21.35	121.27a
	D3	40.67ab	109.56ab	21.25	105.67ab
	D4	37.13b	106.65ab	21.21	102.20bc
	D5	36.67b	93.85b	21.17	95.90c
吉育269	D1	48.33a	117.27a	20.38	123.20a
	D2	47.60ab	108.20ab	20.23	106.33b
	D3	43.27b	94.11ab	19.95	94.93c

续表 1

Table 1 Continued

品种 Variety	密度 Density	荚数/个 Number of pods	粒重/g Seed weight	百粒重/g 100-seed weight	株粒数/个·株 ⁻¹ Number of plants
吉育 3517	D4	36.93c	91.11ab	19.93	91.07c
	D5	35.13c	84.25b	19.15	86.70d
	D1	42.07a	94.03ab	22.31a	86.93ab
	D2	44.20a	100.84a	21.91a	92.20a
	D3	40.00a	98.43ab	21.50a	88.47ab
	D4	31.60b	82.86b	21.24a	85.40ab
	D5	29.27b	66.67c	19.88b	44.13b

注:不同小写字母表示不同密度处理在 0.05 概率水平差异显著,下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences at the 0.05 probability level among the different densities, the same below.

表 2 不同密度高油大豆品种的农艺性状

Table 2 Agronomic traits of high-oil soybean varieties at different planting densities

品种 Variety	密度 Density	株高/cm Plant height	茎粗/mm Stem diameter	底荚高/cm Bottom pod height	茎重/g Stem weight	荚重/g Pod weight
吉育 2907	D1	95.13	8.84	14.25	65.43a	124.77b
	D2	96.24	8.48	14.29	55.2ab	145.53ab
	D3	96.64	8.36	15.03	57.93ab	165.93a
	D4	97.61	8.05	15.66	45.70b	137.20b
	D5	97.37	7.30	15.98	52.93ab	123.87b
吉育 2514	D1	85.29b	8.27a	12.92b	64.33a	152.70a
	D2	86.45b	8.21a	14.81ab	59.43ab	159.27a
	D3	90.17ab	7.91b	16.07a	57.67b	149.70b
	D4	90.8ab	7.69b	16.25a	58.87b	149.43b
	D5	95.86a	7.34b	16.28a	59.83b	129.30c
吉育 269	D1	96.24	7.71	12.36b	60.37a	162.90a
	D2	96.47	7.67	14.48a	51.13b	153.70ab
	D3	96.70	7.38	15.13a	54.27b	133.13b
	D4	97.14	7.32	15.52a	56.30b	132.87b
	D5	97.71	7.16	15.64a	55.13b	121.13c
吉育 3517	D1	109.33	7.89	16.91	68.83a	136.67ab
	D2	110.45	7.83	17.13	74.97a	147.90a
	D3	110.49	7.46	18.31	60.57ab	144.47a
	D4	114.83	7.35	18.33	62.00ab	122.73b
	D5	115.95	7.32	19.27	52.23b	96.57c

2.3 不同密度高油品种各生育时期的光合速率

由图 2 所示,各大豆品种光合速率的生育规律表现一致,均随生长期推进呈现先升高后下降的趋势,R4 期的光合速率值最大,R7 期的光合速率值最小。R2 期前,各品种不同密度间的光合速率差异不明显。R4 期后,吉育 2907 的光合速率在 D3 处理时的下降速度最慢,高值持续时间最长;

吉育 2514 的光合速率在 D2 处理时的下降速度最慢,高值持续时间最长,D5 处理时的光合速率下降最快,高值持续期最短;吉育 269 各密度处理的光合速率在 R6 期至 R7 期较其他品种下降速率减缓,R4 期后,D1 处理的光合速率下降速度最慢,D5 处理的光合速率下降速度最快,R4 期、R6 期和 R7 期分别比 D1 处理的光合速率低 6.08%、53.78%

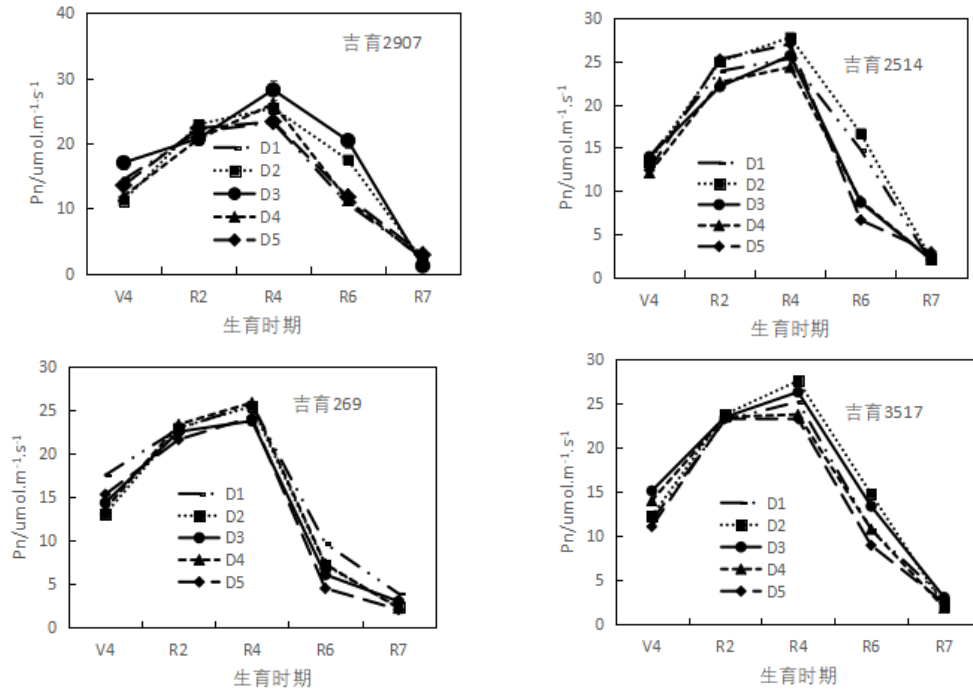


图2 不同密度高油品种不同生育时期的光合速率

Fig.2 Photosynthetic rate of high-oil soybean varieties at different growth stages under different planting densities

和90.10%。D2处理时,吉育3517的光合速率在R4期至R6期最高,R4期和R6期分别比D5处理高7.71%和16.59%。

2.4 不同密度高油品种各生育时期的蒸腾速率

不同大豆品种蒸腾速率的生育期规律也表现一致。随着生育时期的推进,呈现先升高后下降的趋势,R2期的蒸腾速率最高,R7期最低。各品

种不同密度处理间的蒸腾速率差异较小,吉育2907在D4处理时的V4期蒸腾速率值最大,D3处理时的R4和R6期蒸腾速率值最大,其他处理间差异不显著;吉育2514在D2处理时的R2至R6期蒸腾速率最高,D5处理时的蒸腾速率最低,R2、R4和R6期分别比D2处理低15.37%、3.52%和32.34%;D1处理时,吉育269在R2期蒸腾速率最

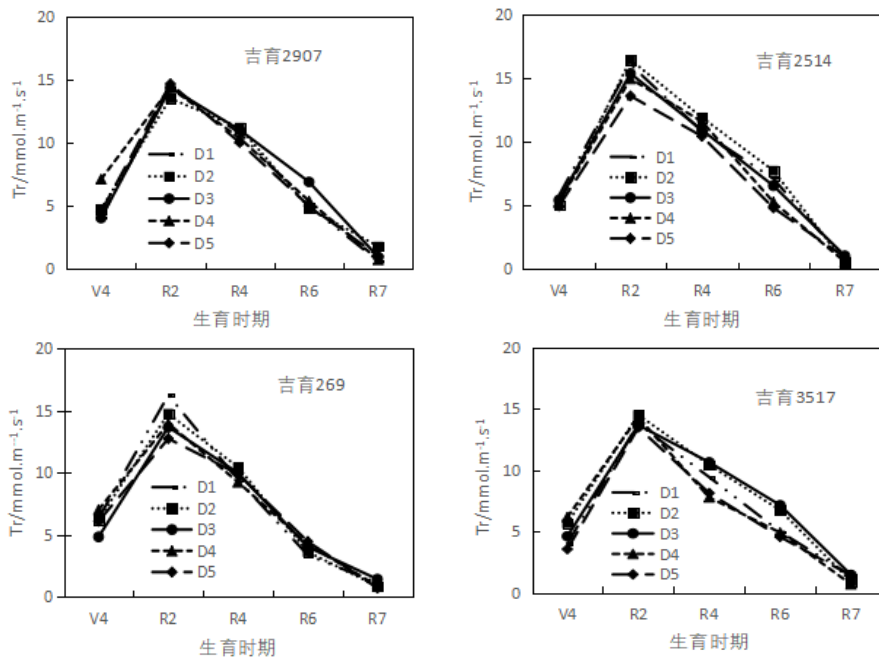


图3 不同密度高油品种不同生育时期的蒸腾速率

Fig. 3 Transpiration rate of high-oil soybean varieties at different growth stages under different planting densities

高,比D5处理高72.37%;D2、D3处理,吉育3517的蒸腾速率在R2期至R6期均较高,显著高于D5处理,D2处理的蒸腾速率在R2、R4和R6期分别比D5处理高7.65%、28.17%和47.59%,D3处理的蒸腾速率在R2、R4和R6期分别比D5处理高7.65%、28.17%和47.59%(图3)。

2.5 不同密度高油品种各生育时期的干物质积累

各高油品种地上部的植株公顷干物质积累的生育期规律表现均随着生育进程而增加。V2至R2期,地上植株的干物质积累量增长缓慢,R2至R6期,地上植株的干物质积累量开始加速,R6至R8期,地上植株的干物质积累量最大。不同密度

处理中,V4至R4期,各品种的干物质积累量无显著性差异,R4期至R8期,各高油品种的地上植株干物质积累量差异较大。吉育3517各密度处理的干物质差异最明显,D2处理的地上干物质积累量最高,D5处理的地上干物质积累量在生育后期最低。D3处理时,吉育2907的R8期地上部干物质积累量最高,分别比其他种植密度高12%、18%、22%和27%。D2处理时,吉育2514的地上干物质积累量最大;D1处理中,吉育269的地上植株干物质积累量在R8期最高,比其他密度处理高9%、18%、19%和27%(图4)。

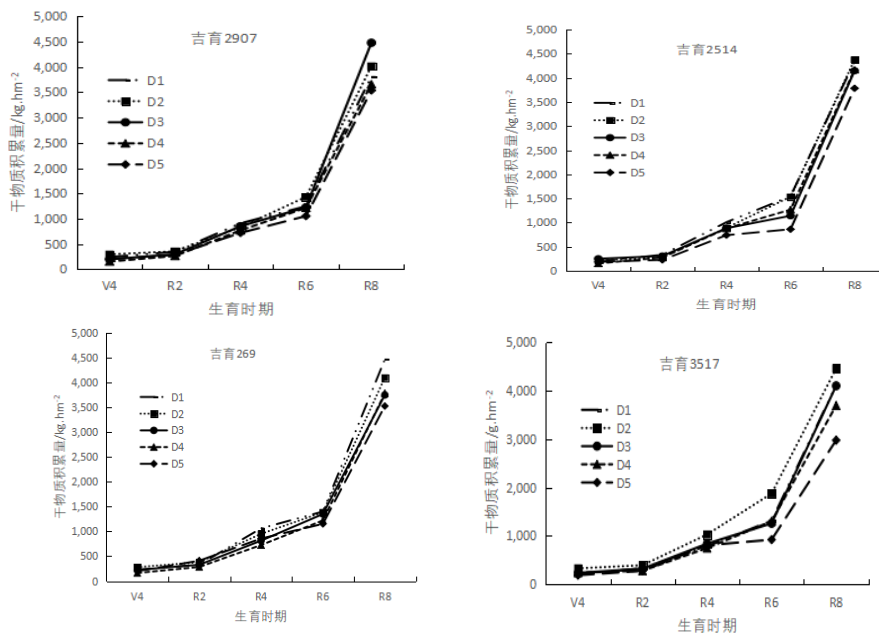


图4 不同密度高油品种不同生育时期的干物质积累量

Fig.4 Dry matter accumulation of high-oil varieties at different growth stages under different planting densities

2.6 不同密度高油大豆品种的品质

不同种植密度处理下,各高油品种的品质对密度处理的响应不同。D1处理时,吉育2907的脂质含量显著低于其他处理,分别比D2至D5低0.54%、0.84%、1.09%和1.51%,D2处理至D5处理的脂质含量无显著性差异。吉育2514的异亮氨酸含量、苏氨酸含量和棕榈酸含量均随着种植密

度的增加而降低,D5处理的含量显著低于D1处理,分别降低2.40%、3.21%和3.59%;色氨酸含量随着种植密度的增加而增多,D5处理的含量显著高于D1处理。各种种植密度处理对吉育269的品质无显著影响。吉育3517的半胱氨酸含量随着种植密度的增加而减小,D1处理的半胱氨酸含量显著高于D5处理(表3)。

表3 不同密度高油大豆品种的品质分析

Table 3 Quality analysis of high-oil soybean varieties under different planting densities

品种	密度	蛋白	脂质	半胱氨酸	异亮氨酸	苏氨酸	色氨酸	棕榈酸	油酸
Variety	Density	Protein	Lipid	Cysteine	Isoleucine	Threonine	Tryptophan	Palmitic acid	Oleic acid
吉育2907	D1	38.60	23.88b	0.51	1.65	1.55	0.32	10.97	29.27
	D2	39.10	24.14a	0.50	1.65	1.55	0.31	10.99	30.64
	D3	39.15	24.24a	0.51	1.66	1.55	0.30	11.30	31.72

续表 3

Table 3 Continued

品种	密度	蛋白	脂质	半胱氨酸	异亮氨酸	苏氨酸	色氨酸	棕榈酸	油酸
Variety	Density	Protein	Lipid	Cysteine	Isoleucine	Threonine	Tryptophan	Palmitic acid	Oleic acid
吉育 2514	D4	39.36	24.08a	0.51	1.69	1.59	0.32	10.83	28.58
	D5	39.51	24.01a	0.50	1.66	1.56	0.31	11.08	31.83
	D1	36.92	24.71	0.53	1.67a	1.56a	0.31b	11.69a	25.19
	D2	36.92	24.80	0.55	1.66ab	1.53ab	0.33ab	11.33ab	25.87
	D3	37.41	24.47	0.54	1.66ab	1.55ab	0.33ab	11.36ab	25.82
吉育 269	D4	37.52	24.08	0.54	1.66ab	1.55ab	0.33ab	11.42ab	25.77
	D5	37.77	23.91	0.54	1.63b	1.51b	0.34a	11.27b	24.43
	D1	38.48	24.32	0.51	1.66	1.55	0.32	11.10	31.47
	D2	38.33	24.29	0.52	1.64	1.53	0.31	11.00	29.33
	D3	38.21	24.44	0.52	1.65	1.55	0.32	10.84	30.95
吉育 3517	D4	38.74	24.33	0.53	1.66	1.55	0.32	10.48	29.70
	D5	38.94	24.20	0.51	1.63	1.53	0.30	11.12	33.11
	D1	39.82	23.25	0.55a	1.70	1.58	0.33	11.75	25.09
	D2	39.99	22.73	0.54ab	1.72	1.61	0.33	11.52	23.45
	D3	40.16	23.21	0.54ab	1.73	1.61	0.32	11.65	24.65
	D4	39.97	23.01	0.53ab	1.74	1.63	0.33	11.46	23.43
	D5	39.43	23.14	0.52b	1.69	1.58	0.34	11.39	22.67

3 讨论与结论

种植密度是决定作物产量的重要因子,增加种植密度是提高作物群体产量的关键因素^[11-12]。大豆单位面积产量受群体密度和单株产量共同制约,不同的群体密度对大豆个体的生长、发育和产量影响较大,密度过高会限制个体的生长发育,造成单株产量下降,密度过低虽能提高单株生产力,但群体产量受群体数量限制,因此,只有适宜密度才能获得高产,但是不同类型大豆品种对种植密度的影响存在差异^[13-14]。本研究发现,不同高油大豆品种的最适种植密度有所区别,其中,吉育 2907 的适宜种植密度为 30 万株/hm²,吉育 269 的适宜种植密度为 20 万株/hm²,吉育 2514 和吉育 3517 的适宜种植密度为 25 万株/hm²。梁建秋等对 4 种夏大豆品种的研究也表明,随着种植密度增加,各品种产量变化趋势及最高产量的适宜密度有所区别,和本研究结果一致。关于产量构成因子的变化,前人研究表明,随着种植密度增加,大豆的有效荚数、单株粒数和单株粒重降低^[15]。本研究表明,不同品种的最适种植密度差异较大,在达到最适种植密度前,大豆的单株荚数、粒数和粒重无明显下降,适宜密度后再增加种植密度,单株荚数、粒数和粒重显著降低。

光合作用是作物产量形成的重要基础,影响植株全株新陈代谢和物质合成,研究表明,作物干物质积累的 90%~95% 来自光合作用,与作物产量密切相关。因此在种植密度提升过程中测定大豆叶片光合特性指标对于阐明产量与密度的关系具有重要意义。前人研究表明,增加种植密度,受植株间遮荫和资源竞争的影响,作物单株光合能力受限。本研究发现,营养生长期,由于叶片的相互遮挡较小,不同种植密度大豆的单株光合速率无明显差异,盛花期后,最适种植密度大豆的单株光合速率下降缓慢,种植密度越大,单株光合速率下降越快。已有研究表明,作物的光合作用与干物质积累之间存在着密切的关系,光合作用效率和强度直接影响干物质的积累量^[16]。本研究发现,盛花期前,由于植株苗较小,大豆的群体干物质积累量增长缓慢,盛花期后,大豆植株的群体干物质积累量开始迅速增加,最终为最适种植密度下的大豆群体干物质积累量最大。田艺心等^[17]研究也表明,大豆单株的干物质积累量随密度增加而减小,群体的干物质积累量随密度增大先增加后减少,与本文研究结果一致。

参考文献:

- [1] 王金生,马力,蒲国锋,等.高油高产大豆精量化播种施肥

- 配套模型的构建[J].大豆科学,2024,43(5):608-615.
- WANG J S, MA L, PU G F, et al. Construction of quantitative sowing and fertilization model for high oil and high yield soybean[J]. Soybean Science, 2024, 43(5): 608-615. (in Chinese)
- [2] 崔向华,周璐,徐桂真,等.不同环境下芝麻品质性状的遗传变异分析[J].中国农学通报,2023,39(24):43-49.
- CUI X H, ZHOU R, XU G Z, et al. Sesame quality traits in different environments: genetic variation study[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2023, 39(24): 43-49. (in Chinese)
- [3] 张甜甜,吴鹏,杜文晴,等.大豆品种叶片光合特性及碳代谢酶活性演变研究[J].中国油料作物学报,2025,47(4):993-1001.
- ZHANG T T, WU P, DU W Q, et al. Evolution of photosynthetic characteristics and carbon metabolic enzyme activities in leaves of soybean varieties[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2025, 47(4): 993-1001. (in Chinese)
- [4] 刘研,于德彬,王弼琨,等.不同化控剂对耐密大豆品种光合生理及产量性状的影响[J].吉林农业大学学报,2025,47(5):902-911.
- LIU Y, YU D B, WANG B K, et al. Effects of different chemical regulators on photosynthetic physiology and yield traits of density-tolerant soybean varieties[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2025, 47(5): 902-911. (in Chinese)
- [5] 魏然,李阳,张武,等.平作条件下不同种植密度对不同株型大豆品种农艺性状及产量的影响[J].大豆科技,2024(4):7-13.
- WEI R, LI Y, ZHANG W, et al. Effects of different planting densities on agronomic traits and yield of soybean varieties with different plant types under flat cropping conditions[J]. Soybean Science & Technology, 2024(4): 7-13. (in Chinese)
- [6] 马伟然,强斌斌,刘绍锋,等.种植密度与施肥量互作对不同品种大豆生长和产量的影响[J].江苏农业科学,2024,52(8):38-47.
- MA W R, QIANG B B, LIU S F, et al. Effects of interaction between planting density and fertilizer rate on growth and yield of different soybean varieties[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2024, 52(8): 38-47. (in Chinese)
- [7] 孙贺祥,张子娇,何德鑫,等.耐密型大豆品种农艺和产量性状对增密减肥的响应[J].沈阳农业大学学报,2023,54(6):641-650.
- SUN H X, ZHANG Z J, HE D X, et al. Response of agronomic and yield traits to increasing density and nitrogen reduction of density-tolerant soybean varieties[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2023, 54(6): 641-650. (in Chinese)
- [8] 丁树启,程彤,王弼琨,等.密植对不同年代大豆品种群体光合生产和产量形成的影响[J].作物学报,2025,51(1):161-173.
- DING S Q, CHENG T, WANG B K, et al. Effects of planting density on photosynthetic production and yield formation of soybean varieties from different eras[J]. Acta Agronomica Sinica, 2025,51(1): 161-173. (in Chinese)
- [9] 周丽萍,孙婷婷,陈志华,等.膜宽和密度对夏大豆农艺性状、荚粒空间分布及产量的影响[J].四川农业大学学报,2025,43(3):581-587.
- ZHOU L P, SUN T T, CHEN Z H, et al. Effects of film width and density on agronomic traits, pods-grain spatial distribution and yield in summer soybean[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2025, 43(3): 581-587. (in Chinese)
- [10] 蓝新隆,萧涵,林训昌,等.密度与播量配置对鲜食大豆光合特性和产量的影响[J].大豆科学,2024,43(6):735-742.
- LAN X L, XIAO H, LIN X C, et al. Effects of density and sowing amount on photosynthetic characteristics and yield of vegetable soybean[J]. Soybean Science, 2024, 43(6): 735-742. (in Chinese)
- [11] 李敏,罗德强,江学海,等.控水增密模式对杂交水稻减氮后产量形成的调控效应[J].作物学报,2020,46(9):1430-1447.
- LI M, LUO D Q, JIANG X H, et al. Regulations of controlled irrigations and increased densities on yield formation of hybrid indica rice under nitrogen-reduction conditions[J]. Acta Agronomica Sinica, 2020, 46(9): 1430-1447. (in Chinese)
- [12] 郑飞娜,初金鹏,张秀,等.播种方式与种植密度互作对大穗型小麦品种产量和氮素利用率的调控效应[J].作物学报,2020,46(3):423-431.
- ZHENG F N, CHU J P, ZHANG X, et al. Interactive effects of sowing pattern and planting density on grain yield and nitrogen use efficiency in large spike wheat cultivar[J]. Acta Agronomica Sinica, 2020, 46(3): 423-431. (in Chinese)
- [13] 杜长玉,胡兴国,何忠仁,等.不同密度对大豆产量和生理指标影响的研究[J].内蒙古农业科技,2006(2):35-36.
- DU C Y, HU X G, HE Z R, et al. Study on the effects of different densities on yield and physiological indexes of soybean[J]. Inner Mongolia Agricultural Science and Technology, 2006(2): 35-36. (in Chinese)
- [14] 李瑞东,尹阳阳,宋雯雯,等.增密对不同分枝类型大豆品种同化物积累和产量的影响[J].作物学报,2022,48(4):942-951.
- LI R D, YIN Y Y, SONG W W, et al. Effects of close planting densities on assimilate accumulation and yield of soybean with different plant branching types[J]. Acta Agronomica Sinica, 2022, 48(4): 942-951. (in Chinese)
- [15] 梁建秋,安建刚,王嘉,等.不同种植密度对四川大豆农艺性状及产量的影响[J].大豆科学,2021,40(5):653-661.
- LIANG J Q, AN J G, WANG J, et al. Effects of different planting densities on agronomic traits and yield of soybean in Sichuan [J]. Soybean Science, 2021,40(5): 653-661. (in Chinese)
- [16] 陈朝辉,魏廷邦.水肥耦合对玉米光合作用、干物质积累量和产量的影响[J].中国农学通报,2025,41(4):1-9.
- CHEN C H, WEI T B. Effects of coupling of irrigation and nitrogen fertilization on photosynthesis, dry matter accumulation and yield of maize[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2025, 41(4): 1-9. (in Chinese)
- [17] 田艺心,高凤菊,曹鹏鹏,等.高蛋白大豆不同密度处理的叶面积指数、干物质积累分配及其与产量的关系[J].山东农业科学,2018,50(8):58-62.
- TIAN Y X, GAO F J, CAO P P, et al. Relationships of LAI and dry matter accumulation and distribution with yield in high-protein soybean[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2018, 50(8): 58-62. (in Chinese)

(责任编辑:朴红梅)