



刘明,来永才,毕影东,等.肥密互作对大豆光合作用的调控研究[J].黑龙江农业科学,2020(9):14-19.

肥密互作对大豆光合作用的调控研究

刘明,来永才,毕影东,李炜,刘森,王玲,邱树峰,刘建新

(黑龙江省农业科学院 耕作栽培研究所,黑龙江 哈尔滨 150028)

摘要:为研究肥密因素对大豆光合特性的调控作用,本研究以中龙豆1号为研究对象,设置施氮量和密度各4个处理,研究肥密互作条件下大豆光合特性及叶绿素含量的响应。结果表明:R1~R5期,光合特性呈先升高后降低的单峰曲线变化规律,在R4期光合速率最高;叶绿素含量从R1~R5期呈现上升的趋势,R5期最高。各肥料处理间的光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)及叶绿素含量(SPAD值)均表现为F2>F1>F3>F0;胞间CO₂浓度(C_i)表现为F0>F4>F2>F3。各密度处理间的光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)和蒸腾速率(E)表现为D3>D2>D1>D4;胞间CO₂浓度(C_i)表现为D1>D4>D2>D3;叶绿素含量(SPAD值)均表现为D1>D2>D3>D4。肥密因素对光合特性起到了一定的调控作用,本研究中,在F2D3处理(施氮150 kg·hm⁻²,密度32万株·hm⁻²)下大豆冠层分布最合理,有利于光合作用的提高。

关键词:肥密互作;大豆;光合特性

大豆在国民经济和生活中占有重要地位,影响大豆生产规模的因素较多,其中单产较低是最为突出的因素之一^[1]。挖掘大豆高产潜力、缩小产量差成为我国大豆生产亟需解决的问题^[2]。大豆虽然为固氮作物,但根系固氮不能满足大豆整个生育时期对氮素的需求^[3]。施入氮素能增加大豆的光合作用、提高叶面积指数(LAI),有利于光合产物形成,从而增加大豆产量^[4-5]。李大勇等^[6]研究表明低氮下大豆光合特性低,而高氮条件下光合速率(P_n)受到抑制,大豆光合速率对施氮量的响应为先增后减的变化趋势,张娜等^[7]研究也表明当施氮量超过一定值,大豆光合特性指标开始下降。

大豆光合作用的强弱不仅受肥料的影响,同时也受密度的影响^[8]。于洪久^[9]认为大豆光合特性在一定范围内,随着密度的增加而增加,超过合理范围,光合特性受过高密度的影响而下降。张永强等^[10]研究表明大豆光合特性随着密度的增加均出现先增加后下降的趋势。张晓艳等^[11]研究表明光合特性及比叶重均随着密度的增加呈降低趋势。Fan等^[12]认为过高的密度使得大豆冠

层有效光辐射减少,叶片叶绿素含量和光合作用降低。可见,合理的冠层对提高大豆的产量具有重要的意义。

肥密因素对大豆产量影响的研究较多,但是肥密互作对大豆光合特性影响的研究较少,本研究以不同施氮量及不同密度下光合特性的变化趋势为研究内容,旨在研究高光效的最佳肥密组合,为黑龙江省大豆高光效栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试大豆品种为中龙豆1号。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 本试验于2019年在哈尔滨市道外区民主乡黑龙江省现代农业示范区进行。前茬为玉米,5月1日播种,采用裂区设计,主区为施氮量,副区为密度。施氮量设置4个水平:F0(0 kg·hm⁻²)、F1(90 kg·hm⁻²)、F2(150 kg·hm⁻²)、F3(210 kg·hm⁻²)。P和K施用量与常规生产田相同。施入的氮肥为尿素,磷肥为过磷酸钙,钾肥为硫酸钾。密度设置4个水平:D1(24万株·hm⁻²)、D2(30万株·hm⁻²)、D3(32万株·hm⁻²)、D4(42万株·hm⁻²)。每个小区10 m行长,10行区,3次重复。

1.2.2 测定项目及方法 光合速率采用ADC BioScientific LCpro-SD光合仪测定。使用前设置参数*C_i*(胞间CO₂浓度)为系统最大值400 μmol·mol⁻¹,设置温度20~30℃。于始花

收稿日期:2020-04-24

基金项目:黑龙江省基金面上项目(C2018059);黑龙江省农业科学院院级科研项目(2019CGJL008);黑龙江省农业科学院主要农作物提质增效栽培技术专项(HNK2019CX12)。

第一作者:刘明(1982-),男,博士,副研究员,从事作物栽培与耕作研究。E-mail:liuming666@126.com。

通信作者:来永才(1964-),男,博士,研究员,从事作物遗传育种与耕作栽培研究。E-mail:yame0451@163.com。

期(R1)、盛花期(R2)、结荚期(R4)、鼓粒期(R5)选择晴朗的天气,在 9:30-11:30 进行测定。测定部位为顶端三出复叶,每个处理测 5 株,每株测 3 次,测试数据进行平均处理。测定时,应选取叶片最宽部位,仪器叶室刚好夹满一半叶片或叶片有剩余,同时避开叶片中间叶脉部位。

叶绿素测定在 R1、R2、R4、R5 共 4 个时期,选择晴朗的天气在 10:00-11:30,使用 SPAD-502Plus 进行叶绿素测定。每个处理测定 10 株,每株测定顶端的三出复叶 3 次,测得的数值进行平均处理。

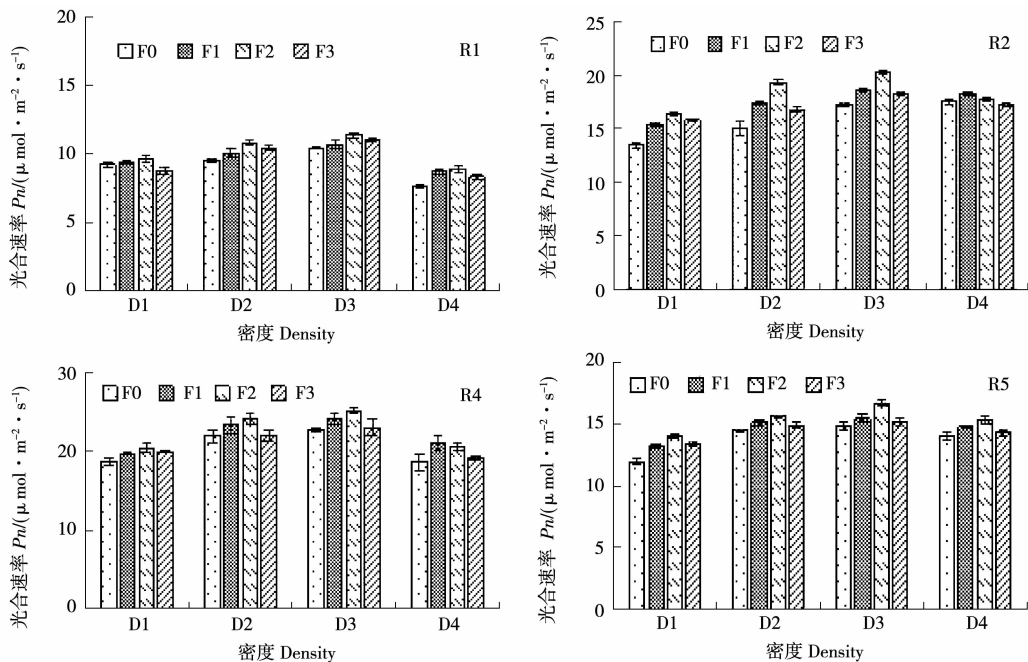


图1 不同施氮量和密度对大豆叶片光合速率的影响

Fig. 1 Effects of different nitrogen application rates and densities on photosynthetic rate of soybean leaves

在不同生育时期,各施氮量间的 P_n 表现为 F2 处理下的均值最大,处理间表现为 $F2 > F1 > F3 > F0$,在 R1 时期,F2 处理 P_n 较 F1、F3 和 F0 分别提高 4%、5% 和 10%;在 R2~R4 期,F2 处理 P_n 较 F1、F3 和 F0 分别高 2.3%、7.3% 和 10%;在 R5 期,F2 处理 P_n 较 F1、F3 和 F0 分别提高 5.2%、6.7% 和 11.5%。各密度处理间的 P_n 表现为 D3 处理下均值最大,处理间表现为 $D3 > D2 > D1 > D4$,在 R1 期,D3 处理 P_n 较 D2、D1 和 D4 高 6%、17% 和 29%;在 R2~R4 期,D3 处理 P_n 较 D2、D1 和 D4 高 3.8%、19.7% 和 20.5%;在 R5 期,D3 处理 P_n 较 D2、D1 和 D4 高 1.5%、3.4% 和 6.4%。在不同生育时期,各肥密

1.2.3 数据分析 采用 SPSS 25.0 及 Excel 2017 进行统计分析处理并制图。

2 结果与分析

2.1 肥密互作对光合特性的影响

由图 1 可知,R1~R5 期的叶片光合速率(P_n)表现为先增加后下降的变化趋势。各时期表现为 $R4 > R2 > R5 > R1$ 。施氮量和密度对大豆叶片 P_n 的影响显著($P < 0.05$)。大豆叶片 P_n 对施氮量和密度增加的响应均为先升高后下降。

组合处理均以 F2D3 叶片 P_n 最高。

2.2 肥密互作对胞间 CO_2 浓度的影响

由图 2 可知,R1~R5 期叶片胞间 CO_2 浓度(C_i)表现为先增加后下降的趋势,各时期表现为 $R4 > R5 > R2 > R1$ 。不同施氮量和密度对大豆叶片 C_i 影响显著($P < 0.05$)。大豆叶片 C_i 对施氮量和密度增加的响应均为先减少后增加。

在不同生育时期,各施氮量间的 C_i 表现为 F0 处理下的均值最大,处理间表现为 $F0 > F4 > F2 > F3$,在 R1 期,F0 处理 C_i 较 F4、F2 和 F3 提高 0.9%、5.2% 和 15.6%;在 R2~R4 期,F0 处理 C_i 较 F4、F2 和 F3 提高 4.1%、6.6% 和 16.8%;在 R5 期,F0 处理 C_i 较 F4、F2 和 F3 提

高 1.7%、8.4% 和 10.5%。各密度处理间的 C_i 表现为 D1 处理均值最大, 处理间表现为 $D1 > D4 > D2 > D3$, 在 R1 期, D1 处理 C_i 较 D4、D2 和 D3 提高 12.2%、14.0% 和 22.7%; 在 R2~R4

期, D1 处理 C_i 较 D4、D2 和 D3 提高 6.6%、8.3% 和 16.8%; 在 R5 期, D1 处理 C_i 较 D4、D2 和 D3 提高 3.2%、15.3% 和 27.3%。各肥密组合处理均以 F0D1 叶片 C_i 最高。

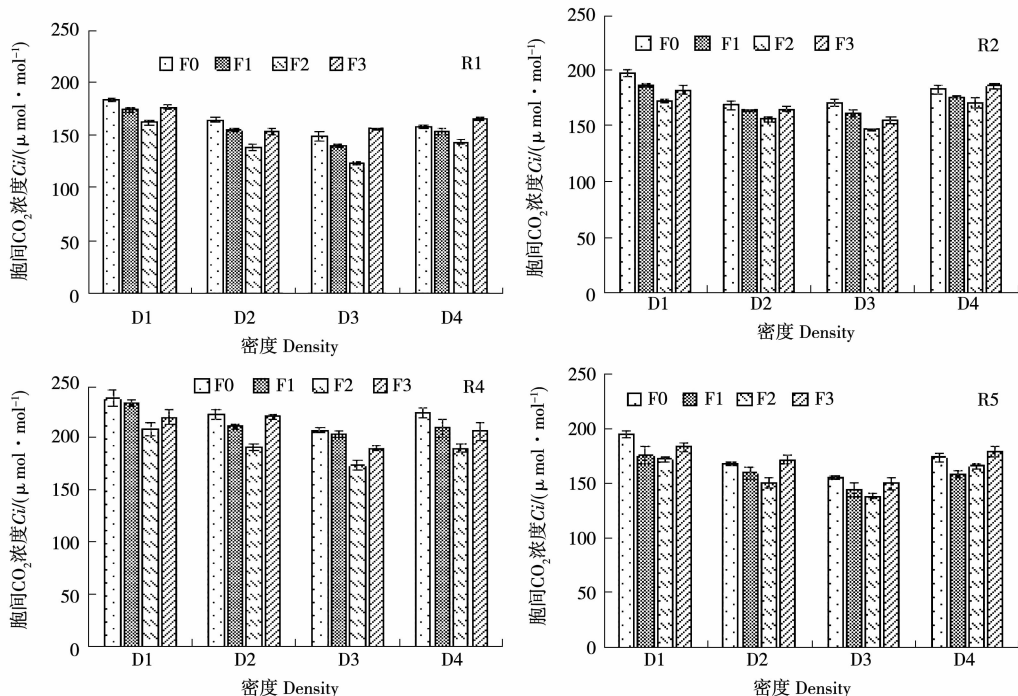


图2 不同施氮量和密度对大豆胞间 CO₂ 浓度的影响

Fig. 2 Effects of different nitrogen application and density on intercellular CO₂ concentration in soybean

2.3 肥密互作对蒸腾速率的影响

由图 3 可知, R1~R5 期叶片蒸腾速率 (T_r) 表现为先增加后下降的变化趋势。各时期表现为 $R4 > R5 > R2 > R1$ 。施氮量和密度对大豆叶片 T_r 产生显著影响 ($P < 0.05$)。大豆叶片 T_r 对施氮量和密度增加的响应均为先升高后下降。

在不同生育时期, 各施氮量间的 T_r 表现为 F2 处理下的均值最大, 处理间表现为 $F2 > F1 > F3 > F0$, 在 R1 期, F2 处理 T_r 较 F1、F3 和 F0 提高 3%、7.7% 和 9.8%; 在 R2~R4 期, F2 处理 T_r 较 F1、F3 和 F0 提高 3.5%、4.4% 和 8.5%; 在 R5 期, F2 处理 T_r 较 F1、F3 和 F0 提高 4.5%、14.3% 和 15.6%。各密度处理间的 T_r 表现为 D3 处理均值最大, 处理间表现为 $D3 > D2 > D1 > D4$, 在 R1 期, D3 处理 T_r 较 D2、D1 和 D4 提高 13.2%、19.7% 和 20.5%; 在 R2~R4 期, D3 处理 T_r 较 D2、D1 和 D4 提高 2.7%、7.7% 和 18.3%; 在 R5 期, D3 处理 T_r 较 D2、D1 和 D4 提高 3.5%、7.0% 和 15.6%。各肥密组合间处理均以 F2D3 叶片蒸腾速率最高。

2.4 肥密互作对气孔导度的影响

由图 4 可知, R1~R5 期叶片气孔导度 (G_s) 表现为先增加后下降的变化趋势。各时期表现为 $R4 > R2 > R5 > R1$ 。密度和施氮量对大豆叶片气孔导度产生显著影响 ($P < 0.05$)。大豆叶片 G_s 对密度和施氮量增加的响应均为先升高后下降。

在不同生育时期, 各施氮量间的叶片 G_s 表现为 F2 处理下的均值最大, 处理间表现为 $F2 > F1 > F3 > F0$, 在 R1 期, F2 处理 G_s 较 F1、F3 和 F0 提高 6.2%、10.1% 和 14.0%; 在 R2~R4 期, F2 处理 G_s 较 F1、F3 和 F0 提高 2.1%、3.2% 和 5.7%; 在 R5 期, F2 处理 G_s 较 F1、F3 和 F0 提高 1.5%、4.0% 和 6.0%。各密度处理间的叶片 G_s 表现为 D3 处理均值最大, 处理间表现为 $D3 > D2 > D1 > D4$, 在 R1 期, D3 处理 G_s 较 D2、D1 和 D4 提高 15.4%、16.8% 和 35.1%; R2~R4 期, D3 处理 G_s 较 D2、D1 和 D4 提高 1.0%、1.8% 和 4.2%; 在 R5 期, D3 处理 G_s 较 D2、D1 和 D4 提高 4.7%、5.1% 和 6.3%。各肥密组合间处理均以 F2D3 叶片气孔导度最高。

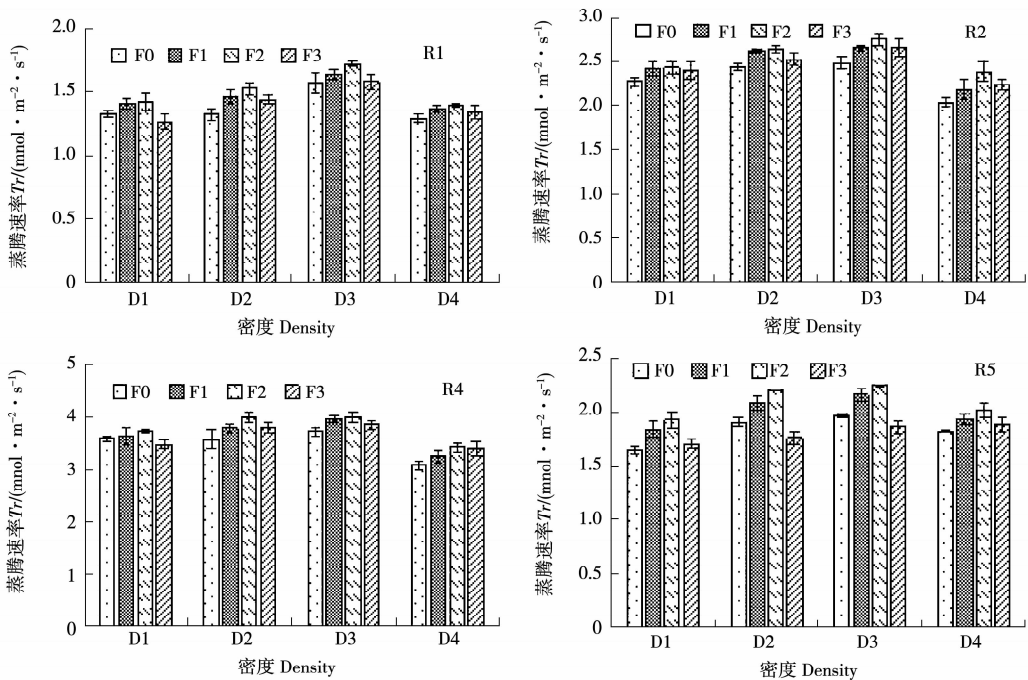


图 3 不同施氮量和密度对大豆叶片蒸腾速率的影响

Fig. 3 Effects of different nitrogen application rates and densities on transpiration rate of soybean leaves

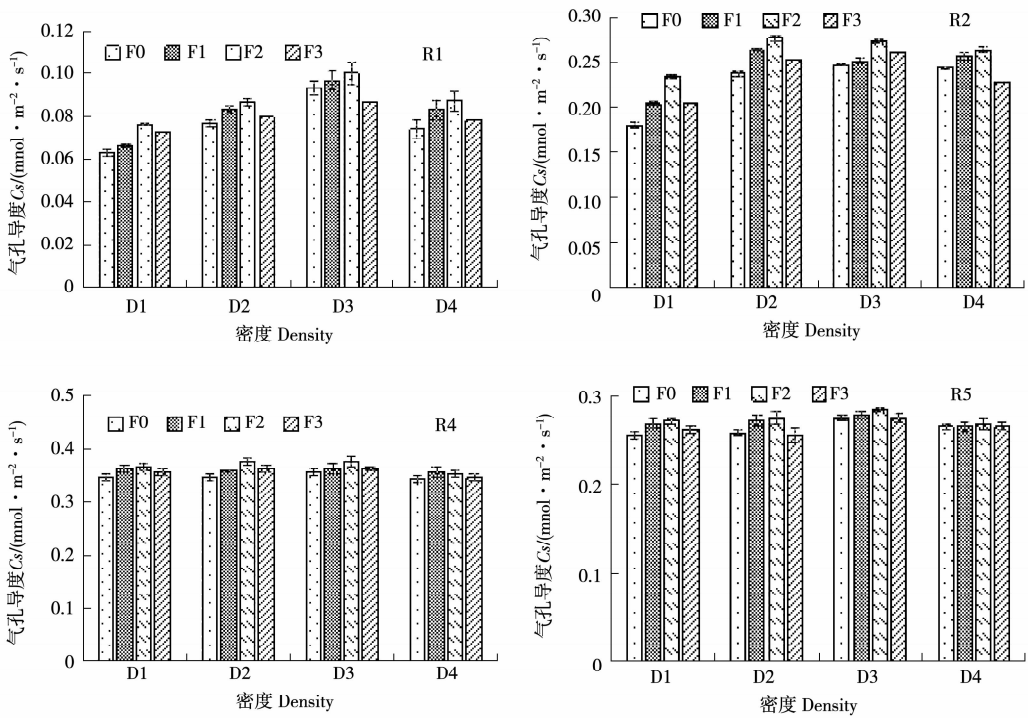


图 4 不同施氮量和密度对大豆叶片气孔导度的影响

Fig. 4 Effects of different nitrogen application rates and densities on stomatal conductance of soybean leaves

2.5 肥密互作对叶绿素的影响

由图 5 可知,在 R1~R5 期大豆叶绿素含

量(SPAD值)含量呈不断上升趋势。到 R5 期达到最大值(SPAD=51.6),各时期表现为 R5>

$R4 > R2 > R1$ 。不同施氮量和密度对大豆 SPAD 值产生显著影响($P < 0.05$)。大豆 SPAD 值对施

氮量增加的响应为先升高后下降, SPAD 值与密度表现为负相关。

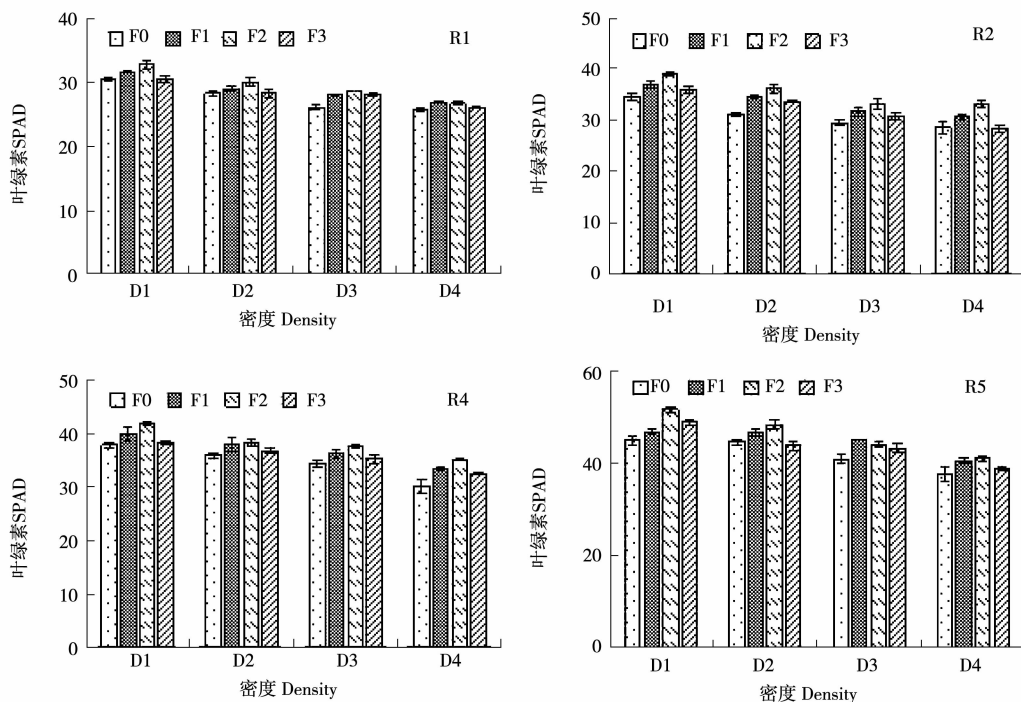


图5 不同施氮量和密度对大豆叶绿素的影响

Fig. 5 Effects of different nitrogen application rates and densities on chlorophyll of soybean

在不同生育时期,各施氮量间的 SPAD 值表现为 F2 处理下的均值最大,处理间表现为 $F2 > F1 > F3 > F0$,在 R1 期, F2 处理 SPAD 值较 F1、F3 和 F0 提高 2.11%、5.86% 和 7.81%;在 R2~R4 期, F2 处理 SPAD 值较 F1、F3 和 F0 提高 4.36%、7.01% 和 10.79%;在 R5 期, F2 处理 SPAD 值较 F1、F3 和 F0 提高 2.05%、6.81% 和 5.63%。各密度处理间的 SPAD 值表现为 D1 处理均值最大,处理间表现为 $D1 > D2 > D3 > D4$,在 R1 期, D1 处理光合速率较 D2、D3 和 D4 提高 10.84%、13.89% 和 18.09%;在 R2~R4 期, D1 处理光合速率较 D2、D3 和 D4 提高 6.63%、11.62% 和 17.44%;在 R5 期, D1 处理光合速率较 D2、D3 和 D4 提高 5.01%、8.96% 和 13.11%。组合间处理以 F2D1 的 SPAD 值最高。

3 结论与讨论

有研究表明大豆光合速率(P_n)与大豆产量呈现正相关关系,大豆光合速率(P_n)在其生育期变化为双峰曲线^[13-14],而郑殿君等^[15]研究认为大豆一生其光合速率(P_n)呈单峰状,与本研究的结

果相同, R1~R5 期大豆光合速率(P_n)、胞间 CO_2 度(C_i)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(Tr)均表现为先增加后下降的单峰曲线变化趋势。在 R1~R5 期大豆叶绿素(SPAD 值)含量呈不断上升趋势。到 R5 期达到最大值($SPAD = 51.6$)。

氮素是光合物质生产的关键因子,叶片 75% 的氮存在于叶绿素中^[16],本研究表明,大豆适量施用氮素可以提高叶绿素含量,当含量超过一定限度时叶绿素含量降低。各密度处理间低密度条件下叶绿素(SPAD 值)含量最高,随着单位面积植株个体的增加,叶绿素含量呈逐渐降低趋势。作物冠层通过对各层次光能的有效截获来提高群体的光能利用率^[17],而种植密度是调控植物冠层结构最直接的栽培措施之一^[11],改变种植密度可有效调节叶面积指数空间分布,提高叶片对光能的吸收和利用效率^[10], Board^[18] 研究表明,随着种植密度的提高,大豆叶片光合速率呈先增加后降低趋势。本研究表明,光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(Tr)随密度的增加呈现先增加后下降的变化趋势。光合指标在 R4 期达到最大值, R5 期下降。胞间 CO_2 浓度(C_i)随施氮量和密

度的增加呈先减少后增加的变化趋势。本试验结果表明在 F2D3 处理(施氮 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 密度 $32 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$)下大豆冠层分布最合理,有利于光合作用的提高。

参考文献:

- [1] 赵伟,甄天悦,张子山,等. 增施磷肥提高弱光环境中夏大豆叶片光合能力及产量[J]. 作物学报, 2020, 46(2): 249.
- [2] 尹阳阳, 徐彩龙, 宋雯雯, 等. 密植是挖掘大豆产量潜力的重要栽培途径[J]. 土壤与作物, 2019, 8(4): 361-367.
- [3] 董守坤, 龚振平, 祖伟. 氮素营养水平对大豆氮素积累及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(1): 65-70.
- [4] Taylor R S, Weaver D B, Wood C W, et al. Nitrogen application increases yield and early dry matter accumulation in late-planted soybean [J]. Crop Science, 2005, 45 (3): 854-858.
- [5] 闫春娟, 宋书宏, 孙旭刚, 等. 基因型肥料互作下大豆群体的时空分布特征[J]. 大豆科学, 2014, 33(3): 340-346.
- [6] 李大勇, 徐克章, 董雅致, 等. 氮水平对不同大豆品种生理特性及产量的影响[J]. 大豆科学, 2013, 32(3): 365-370.
- [7] 张娜, 张永强, 徐文修, 等. 施氮量对北疆滴灌复播大豆光合生理及产量的影响[J]. 土壤通报, 2016, 47(3): 645-650.
- [8] 夏冬冬, 何章, 刘冰, 等. 吉林省不同时期育成大豆品种叶片衰老过程中光合相关参数的研究[J]. 大豆科学, 2017, 36(4): 569-574.
- [9] 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.

- [10] 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(3): 571-578.
- [11] 张晓艳, 杜吉到, 郑殿峰. 密度对大豆群体冠层结构及光合特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29 (4): 75-80.
- [12] Fan Y F, Chen J X, Cheng Y J, et al. Effect of shading and light recovery on the growth, leaf structure, and photosynthetic performance of soybean in a maize-soybean relay-strip intercropping system [J]. Plos One, 2018, 13(5): e0198159.
- [13] 邹冬生, 郑丕尧. 大豆植株光合性能与干物质及荚粒形成关系的研究[J]. 大豆科学, 1991(3): 217-225.
- [14] 王昱, 范杰英, 王玮, 等. 不同密度对大豆生理特性的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2012(8): 38-40.
- [15] 郑殿君, 张治安, 姜丽艳, 等. 不同产量水平大豆叶片气体交换特性的比较[J]. 安徽农业科学, 2011, 39 (1): 111-113.
- [16] 郑淑霞, 上官周平. 不同功能型植物光合特性及其与叶氮含量、比叶重的关系[J]. 生态学报, 2007, 27(1): 171-181.
- [17] 娄璐岩, 杨素欣, 于慧, 等. 大豆光能高效利用的分子调控机制研究进展[J]. 土壤与作物, 2017, 6 (2): 119-126.
- [18] Board J. Light interception efficiency and light quality affect yield compensation of soybean at low plant populations[J]. Crop Science, 2000, 40(5): 1285-1294.

Study on Regulation of Fertilizer and Density Interaction on Soybean Photosynthesis

LIU Ming, LAI Yong-cai, BI Ying-dong, LI Wei, LIU Miao, WANG Ling, DI Shu-feng, LIU Jian-xin

(Cultivation and Crop Tillage Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150028, China)

Abstract: In order to research the regulation of fertilizer density factors on the photosynthetic characteristics of soybean, this study took Zhonglongdou No. 1 as the research object, and set up 4 treatments of nitrogen application amount and density, respectively, to study the response mechanism of photosynthetic characteristics and chlorophyll content of soybean under the condition of fertilizer density interaction. The results showed that at R1-R5 stages, the photosynthetic characteristics showed the change rule of unimodal curve which first increased and then decreased, and the photosynthetic rate was the highest at R4 stage. The content of chlorophyll increased from R1-R5, and R5 was the highest. The photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s), transpiration rate (T_r) and chlorophyll content (SPAD value) of each fertilizer treatment room were $F_2 > F_1 > F_3 > F_0$. The intercellular CO_2 concentration (C_i) was $F_0 > F_4 > F_2 > F_3$. Photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s) and transpiration rate (T_r) in each density treatment were expressed as $D_3 > D_2 > D_1 > D_4$, intercellular CO_2 concentration (C_i) as $D_1 > D_4 > D_2 > D_3$, and chlorophyll content (SPAD value) as $D_1 > D_2 > D_3 > D_4$. Fertilizer density plays a certain role in the regulation of photosynthetic characteristics. Under the treatment of F2D3 (nitrogen fertilizer was $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ and density was $320\,000 \text{ plants} \cdot \text{hm}^{-2}$), soybean canopy distribution was the most reasonable, which was conducive to the improvement of photosynthesis.

Keywords: fertilizer and density interaction; soybean; photosynthesis