

株行距配置对夏大豆光合特性及产量的影响

彭姜龙,张永强,唐江华,张娜,苏丽丽,李亚杰,徐文修

(新疆农业大学 农学院,乌鲁木齐 830052)

**摘要:**在  $5.5 \times 10^5$  株· $\text{hm}^{-2}$  种植密度下,共设计 5 种株行距配置,即行距  $\times$  株距分别为:30 cm  $\times$  6 cm (A)、(15 + 30) cm  $\times$  8 cm (B)、60 cm  $\times$  3 cm (C)、(15 + 15 + 60) cm  $\times$  6 cm (D)、40 cm  $\times$  4.5 cm (E),研究不同株行距配置对夏大豆光合特性和产量的影响,为北疆麦后复播大豆高产,筛选出合理的株行距配置提供理论依据。结果表明:等行距模式夏大豆的叶绿素含量 (SPAD 值)、叶面积指数 (LAI)、光合速率 ( $P_n$ ) 等指标均随着行距的增大株距的减小而减小,即表现为 A 处理 > E 处理 > C 处理,其中 A 处理 SPAD 值、LAI、 $P_n$  测定期平均值分别比 C 处理的高 8.89%、19.20%、2.72%;同株距条件下,D 处理的 SPAD 值、LAI、 $P_n$  测定期平均值分别比 A 处理高 2.72%、18.73%、7.09%。株距最宽的宽窄行 B 处理测定期 SPAD 值、LAI、 $P_n$  的平均值均比 D 处理的要高,而且各处理中 B 处理的产量最高为 1 628.94 kg· $\text{hm}^{-2}$ ,较 A、C、D、E 处理分别增加 43.62%、75.69%、25.03%、51.21%,且均达极显著差异水平 ( $P < 0.01$ )。说明适当缩行增株构建的株行距配置是提高夏大豆产量的重要措施之一。

**关键词:**株行距配置;夏大豆;光合特性;产量

中图分类号:S565.1      文献标识码:A      DOI:10.11861/j.issn.1000-9841.2015.05.0794

Effect of Plant-Row Spacing on Photosynthetic Characteristics and Yield of Summer Soybean

PENG Jiang-long, ZHANG Yong-qiang, TANG Jiang-hua, ZHANG Na, SU LI-li, LI Ya-jie, Xu Wen-xiu

(College of Agricultural, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 83005, China)

**Abstract:** The aim of this experiment was to find out the appropriate spacing configuration and provide a theoretical basis with high yield cultivation measures for summer soybean (Heihe 43) under the population of  $5.5 \times 10^5$  plants· $\text{ha}^{-1}$ . Five arrangements were established in summer soybean field as plant spacing  $\times$  row spacing: 30 cm  $\times$  6 cm (A), (15 + 30) cm  $\times$  8 cm (B), 60 cm  $\times$  3 cm (C), (15 + 15 + 60) cm  $\times$  6 cm (D) and 40 cm  $\times$  4.5 cm (E) to study the effect of photosynthetic characteristics and yield on summer soybean in northern Xinjiang. The results showed that with the increasing of plant spacing and decreasing of row spacing under equal spacing model, the chlorophyll content (SPAD), leaf area index (LAI) and photosynthetic rate ( $P_n$ ) decreased, which was A > E > C, and the cumulative average of A were 8.89%, 19.20% and 2.72% higher than C on SPAD, LAI and  $P_n$  respectively, but TD were 2.72%, 18.73%, 7.09% higher than A under the condition of same planting spacing on SPAD, LAI and  $P_n$  respectively. Yield of B (1 628.94 kg· $\text{hm}^{-2}$ ) with the maximum spacing was 43.62%, 75.69%, 25.03% and 51.21% higher than A, C, D and E, respectively. The difference in yield between treatments were very significant ( $P < 0.01$ ), which indicated that decreasing the plant spacing and increasing row planting appropriately was one of the important measures to improve the summer soybean yield.

**Keywords:** Plant-row spacing; Summer soybean; Photosynthetic characteristics; Yield

随着全球气候变暖,新疆大部分地区气候已表现出不同程度的暖湿化趋势<sup>[1-2]</sup>,尤其是 20 世纪 90 年代以来北疆热量资源明显增加<sup>[3-4]</sup>,秋季温度增高、初霜期推迟,使北疆麦后复种大豆成为了可能。近年北疆麦后复播大豆的面积已达到  $3.33 \times 10^4$   $\text{hm}^2$  左右,并且有不断扩大的趋势<sup>[5]</sup>,然而高产高效栽培技术的缺乏制约着北疆地区大豆的发展。近年已有学者就种植密度开展了研究<sup>[6-7]</sup>,并初步筛选出北疆复播大豆高产适宜的种植密度,但同一种

植密度条件下的田间配置模式未涉及。已有研究表明,田间配置的不同,所形成的群体结构也不同,良好的群体结构更有利于大豆群体的光能利用和群体内气体的交换<sup>[8-9]</sup>。周勋波等<sup>[10]</sup>在雨养农业条件下,研究了不同株行距配置对夏大豆群体结构及光截获的影响指出,植株相对均匀分布可改善群体结构和增强光截获,进而提高群体光能利用率和产量;李瑞平等<sup>[11]</sup>研究了不同栽培模式对大豆生长动态的影响,指出垄上 3 行窄沟密植可增加叶面积、光

收稿日期:2015-01-29  
基金项目:农业部公益性行业专项(201103001);自治区特派员项目;新疆农业大学产学研联合培养研究生项目(xjaucxy-yis-20131013)。  
第一作者简介:彭姜龙(1990-),男,硕士,主要从事作物多熟种植。E-mail:75261995@qq.com。  
通讯作者:徐文修(1962-),女,教授,博导,主要从事耕作制度与农业生态研究工作。E-mail:xjwxw@sina.com。

合势;林浩等<sup>[12]</sup>探讨 5 种不同栽培模式在相同密度下,对大豆光合生理特性的影响指出,“110 cm 垄上 4 行”栽培模式叶片净光合速率( $P_n$ ),气孔导度( $G_s$ )都为各处理中最高,蒸腾速率( $T_r$ )也显著高于其余各处理;刘岩等<sup>[13]</sup>研究 30 cm 等行距、“20 + 40” cm 大小行、“20 + 40” cm 垄作 3 种植方式下大豆光合生理特性,指出净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、叶绿素含量指数及产量的具体表现为“20 + 40” cm 垄作 > 30 cm 等行距 > “20 + 40” cm 大小行。李生秀等<sup>[14]</sup>研究窄行密植对大豆群体冠层结构及光分布的影响,指出大豆在保持合理群体密度下,实行窄行密植,具有较好的冠层结构,可改善大豆植株群体的透光性和叶面积的空间分布,提高了群体光能利用率,从而提高大豆的群体生产能力,获得较高的产量。这些研究多是围绕在春大豆光合特性等方面,而对绿洲干旱区生育期较短的夏大豆的研究较少,尤其是在滴灌条件下从株行距配置的角度对夏大豆的光合特性和产量的研究更是鲜有报道。为此,在前人研究的基础上,进一步探讨北疆绿洲干旱地区不同株行距配置对夏大豆光合特性及产量的影响,筛选出适宜的最佳田间配置,为实现夏大豆高产、稳产提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于 2014 年 7 ~ 11 月在新疆伊犁哈萨克自治州伊宁县农业科技示范园进行。地理坐标为 E81°33', N43°56', 属温带大陆性半干旱气候,年平均日照时数 2 800 ~ 3 000 h, 年均降水量 257 mm, 全年无霜期 169 ~ 175 d。试验地 0 ~ 30 cm 土层的基本肥力:有机质 2.35 g·kg<sup>-1</sup>, 碱解氮 85.2 mg·kg<sup>-1</sup>, 速效磷 21.8 mg·kg<sup>-1</sup>, 速效钾 116 mg·kg<sup>-1</sup>。

### 1.2 试验设计

采用完全随机区组试验设计,共设计等行、宽窄行 5 种株行距配置处理,分别为:30 cm × 6 cm (A)、(15 + 30) cm × 8 cm (B)、60 cm × 3 cm (C)、(15 + 15 + 60) cm × 6 cm (D)、40 cm × 4.5 cm (E)。各小区面积为 30 m<sup>2</sup> (5 m × 6 m), 各小区间隔 0.6 m, 随机排列, 3 次重复。种植密度 5.5 × 10<sup>5</sup> 株·hm<sup>-2</sup>, 供试品种为黑河 43。冬小麦收获后结合整地施尿素 225 kg·hm<sup>-2</sup>, 磷酸二胺 150 kg·hm<sup>-2</sup>, 并于 7 月 15 日进行人工点播, 全生育期灌水均采用滴灌模式, 滴灌带 30 cm 等间隔铺设, 在开花期结合灌水滴施尿素 150 kg·hm<sup>-2</sup>, 全生育期共滴水 4 500 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>。其它田间管理措施同当地一致。

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 叶面积 自大豆出苗后 10 d 开始每隔 10 d 左右各小区取具代表性植株样 5 株, 取样后立即装入塑料袋带回实验室, 采用打孔称重法<sup>[15]</sup>测定叶面积, 根据叶面积指数 (LAI) = 单位土地上的总叶面积 / 单位土地面积, 折算出叶面积指数 LAI。

1.3.2 叶绿素相对含量 (SPAD 值) 自大豆出苗后 10 d 开始, 每隔 10 d 左右, 选择晴朗无云的天气, 在 11:00 ~ 13:00, 夹取主茎上的倒 3 叶中间小叶片, 利用叶绿素含量 SPAD-502 型叶绿素仪测其叶绿素含量值, 每 10 d 测定 1 次, 每个小区测定 3 株。测量时避开叶脉, 取叶片的底部、中部与顶部记录其平均值。

1.3.3 光合特性 在开花期、结荚期和鼓粒期选择晴朗无云的一天, 在 11:00 ~ 13:00 用美国进口 CRAS-2 型光合仪, 测定各处理主茎上倒 3 叶中间小叶片的光合速率 ( $P_n$ )、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度 ( $C_i$ )、气孔导度 ( $G_s$ ) 和蒸腾速率 ( $T_r$ )。

于花期某一天的 10:00 ~ 20:00 每 2 h 测定 1 次各小区主茎上倒 3 叶中间小叶片的光合速率 ( $P_n$ ) 考察光合日变化。

1.3.4 产量 成熟后实收小区产量, 每处理每重复各选取有代表性植株 10 株进行考种, 调查单株有效荚数、单株粒数、单株粒重和百粒重。

### 1.4 数据分析

采用 Excel 2010 进行数据初步处理, 产量差异性分析采用 DPS 7.05。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同株行距配置对夏大豆叶面积指数的影响

不同田间配置的夏大豆叶面积指数 (LAI) 总体上均表现出相似的变化趋势, 并均在鼓粒期达到峰值 (图 1)。比较各处理 LAI 发现, 在整个测定期内基本表现为 B > D > A > E > C, 且 B 和 C 处理的 LAI 平均值始终均处于最高和最低, 其中等行距模式处理之间的 LAI 平均值呈现出, 随着行距的增大株距的减小而减小的变化规律, 即表现为 A > E > C, 说明即使行距不断加大, 但株距过小, 个体间生长空间狭隘抑制植株的生长, 从而导致 LAI 减小; 比较宽窄行 B 和 D 处理的 LAI 可知, B 处理测定期间的平均值为 2.86, 比 D 处理的平均值 2.72 高 5.15%, 虽然 D 处理平均行距较宽, 宽行处通风透光好, 但株距较小, 植株个体间根系与叶片生长竞争激烈, 而株距较大的 B 处理使个体间有较大的生长空间, 减缓竞争改善叶片郁闭程度, 从而增大叶面积指数。对具有相同株距的 A 和 D 处理 LAI 进行比较可知,

在测定期内 D 处理的平均值比 A 处理高 1.87%, 由于宽窄行的 D 处理宽行行距较宽, 受边际优势的影响, 边行通风透光相对较好, 根系生长空间充足可有效的吸收土壤养分, 减缓个体间养分竞争从而增

大 LAI。综合分析可得, 在等行距的种植模式下, 适当的缩行增株可提高夏大豆叶面积指数; 在同株距条件下, 采用合理的宽窄行种植模式也可提高夏大豆叶面积指数, 进而为提高光合作用奠定基础。

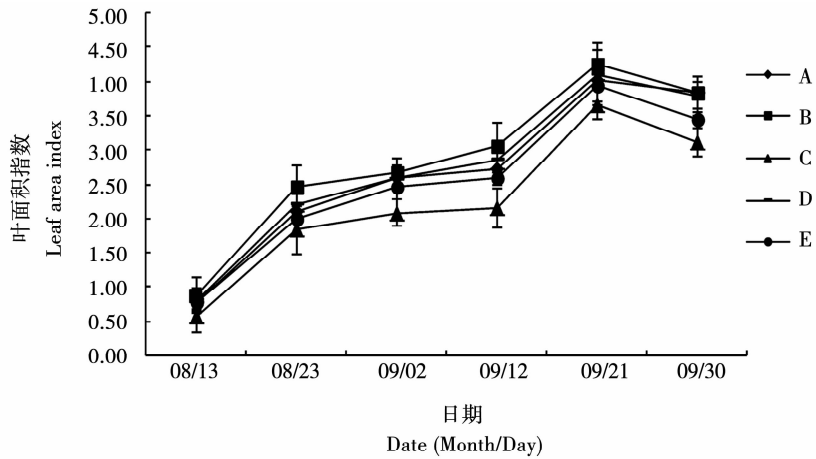


图1 不同田间配置对夏大豆叶面积指数的影响

Fig. 1 Effect of plant-row spacing on LAI in summer soybean

2.2 不同株行距配置对夏大豆叶绿素含量的影响

由图 2 可知, 不同处理夏大豆叶片的叶绿素含量 (SPAD 值) 变化趋势基本一致, 均呈单峰曲线且均在结荚期达到峰值。比较各处理 SPAD 值发现, 在整个测定期内均表现为: B > D > A > E > C, 且 B 处理 SPAD 平均值最大, 分别比 D、A、E 和 C 处理增加了 2.69%、5.49%、10.28%、14.87%。比较等行距处理之间 SPAD 测定期平均值可知 A > E > C, 这与其叶面积指数呈现出相同的变化规律, 说明株距小不仅使得植株个体间生长空间狭小, 植株叶片小、LAI 低, 而且植株的叶绿素含量也相对较低; 从宽窄行的 B 和 D 处理 SPAD 测定期平均值比较可知, B 比 D 处理高 2.69%, 虽然 D 的宽行通风透光

相对更好, 但由于其株距小, 从而加剧了植株个体之间地上及地下的竞争, 使得植株生长发育不及 B 处理, 表现为和株个体叶绿素的含量较低。进一步对具有相同株距的 A 和 D 处理的 SPAD 测定期平均值进行比较可知, D 比 A 处理高 2.72%。D 处理为宽窄行种植, 因此, 在相同株距条件下, 由于受边际优势的影响, 宽窄行 D 处理的通风透光增强, 可更好的积累叶绿素。进一步比较结荚期之后各处理的叶绿素含量下降速率可知, 株距在 4.5 cm 以下的 C 和 E 处理 > 株距为 6 cm 的 A 和 D 处理 > 株距为 8 cm 的 B 处理, 说明适当增大株距, 可以延缓功能叶片生长发育后期叶片的衰老, 减缓叶绿素含量的下降速率。

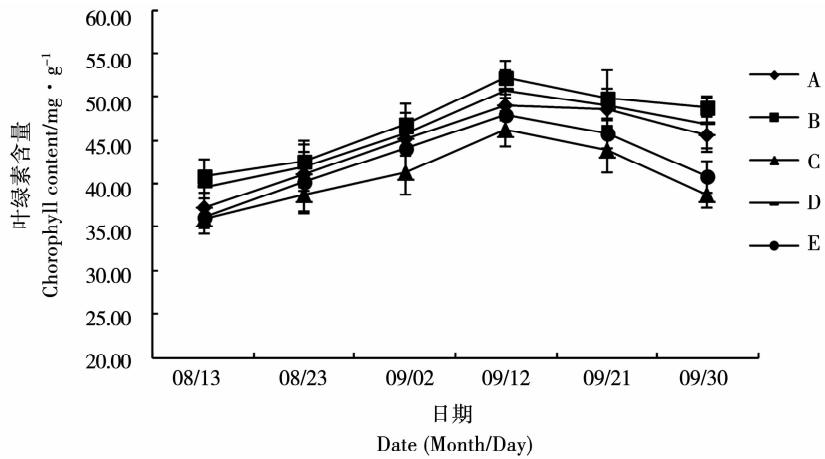


图2 不同田间配置对夏大豆叶绿素含量的影响

Fig. 2 Effect of plant-row spacing on SPAD in summer soybean

2.3 不同株行距配置对夏大豆光合特性的影响

2.3.1 净光合速率 大豆的光合能力与其产量密

切相关且是其籽粒形成的物质基础<sup>[16]</sup>, 在整个测定期间各处理光合速率 ( $P_n$ ) 的变化均呈现为先增后

降的变化趋势(图 3),并均在结荚初期达到了峰值。比较各处理  $P_n$  值发现,在测定期的平均值表现为:  $B > D > A > E > C$ ,其中 B 分别比 A、C、D、E 处理高出 8.07%、14.30%、3.90%、11.27%。各等行距处理测定期平均值的  $P_n$  表现为  $A > E > C$ ,这与等行距处理的叶面积指数和叶绿素含量呈现出相同的规律,说明即使行距不断增大,但株距减少会严重影响植株叶片的光合作用。比较两种宽窄行可知, B 处理  $P_n$  测定期平均值为  $21.82 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,比

D 处理高 3.90%,D 处理的宽行通风透光好,理应光合速率较高,但株距小,植株个体间根系对养分竞争激烈,叶片互相覆盖程度高透光弱,导致 D 处理的  $P_n$  较小。但是比较同株距不同宽窄行种植的 A 和 D 处理  $P_n$  可知, D 处理的  $P_n$  为  $21.00 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,比 A 处理高 7.09%,主要是宽窄行种植由于受边际优势影响,边行植株竞争较小,根系生长空间充足,植株通风透光性能增强,进而提高了光合速率。

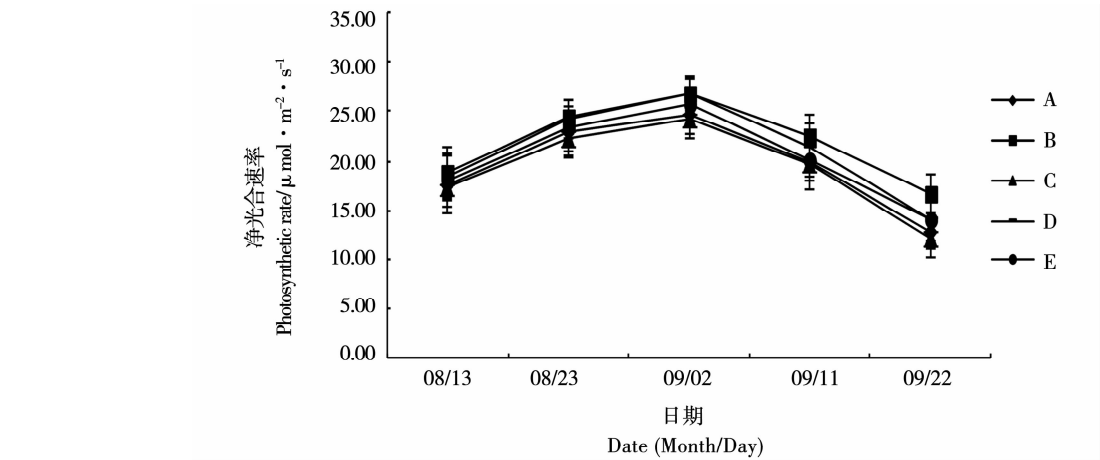


图 3 不同田间配置对夏大豆净光合速率的影响  
Fig. 3 Effect of plant-row spacing on net photosynthetic rate in summer soybean

2.3.2 蒸腾速率 由图 4 可知,不同处理夏大豆各处理蒸腾速率( $Tr$ )与净光合速率( $P_n$ )的变化趋势相似,也呈现先增后降的趋势,但  $Tr$  在开花期达到最大值,与  $P_n$  达到最大值的时期相比提前,这是由于开花期对水分需求量较多导致的。在测定期间各处理  $Tr$  基本均表现出  $B > D > A > E > C$  的规律,其中 B 处理的平均值最大为  $5.98 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,分别较 A、C、D 和 E 处理增大了 6.22%、12.62%、

2.05%、7.17%。等行距各处理测定期平均值表现为  $A > E > C$ ,说明株距小叶片覆盖程度高,通风透光弱,导致蒸腾作用降低。进一步分析相同株距的 A 和 D 处理测定期平均值可知, D 处理叶片  $Tr$  为  $5.86 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,比 A 处理增加了 4.09%,表明株距相同的前提下,宽窄行 D 处理受到边际优势的影响,增大植株生长空间,提高了夏大豆叶片的  $Tr$ 。

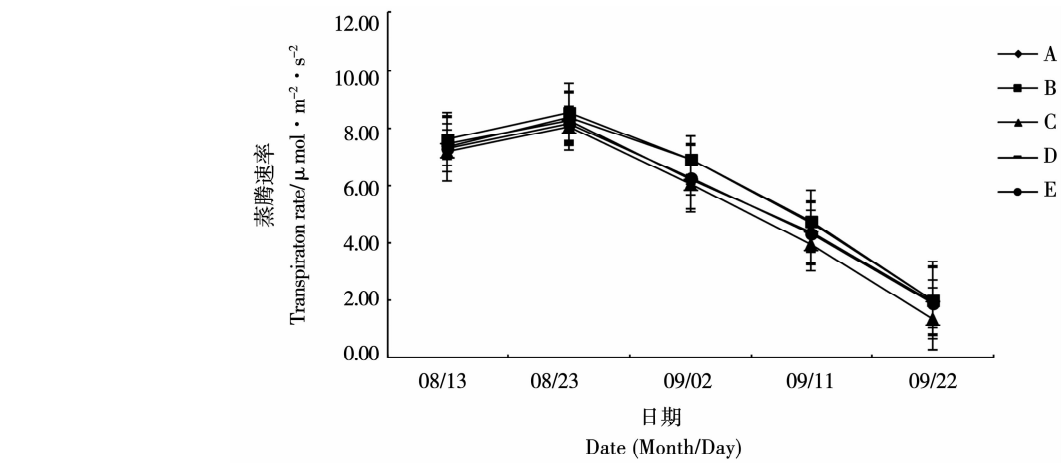


图 4 不同田间配置对夏大豆蒸腾速率的影响  
Fig. 4 Effect of plant-row spacing on transpiration rate in summer soybean

2.3.3 气孔导度 气孔导度 ( $G_s$ ) 表示植物气孔开张的程度,较高的  $G_s$  能够促进气体交换,从而提高作物叶片的光合速率。由图 5 可知,测定期间内各处理气孔导度总体变化趋势均呈现为先增加后下降,并均在开花期达到峰值,这与蒸腾速率达到峰值的时期一致。在测定期间内等行距 A、C、E 处理  $G_s$  的平均值分别为:0.58、0.51、0.54  $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,

表现为随着株距的减少而减小,说明适当增大株距,可促进叶片气孔张开,有利于气体交换进而增强光合作用,进一步分析株距相同的 A、D 处理的平均值可知,宽窄行 D 处理为 0.61  $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,比等行距 A 处理高 5.17%,进一步说明在同等株距条件下,宽窄行种植可以使植株因边际优势的存在而有效增强叶片的气孔导度,促进光合作用。

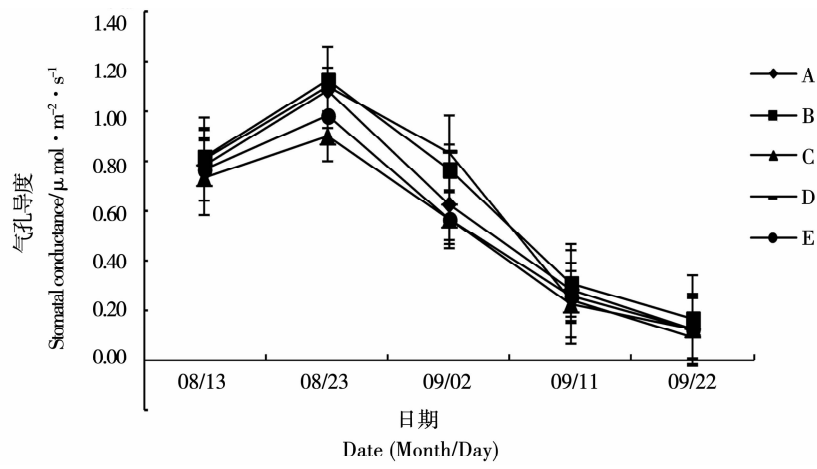


图 5 不同田间配置对夏大豆气孔导度的影响

Fig. 5 Effect of plant-row spacing on stomatal conductance in summer soybean

2.3.4 胞间  $\text{CO}_2$  浓度 胞间  $\text{CO}_2$  浓度 ( $C_i$ ) 反映了光合作用时  $\text{CO}_2$  的剩余情况,揭示叶片同化  $\text{CO}_2$  的能力。由图 6 可知,测定期内各处理夏大豆胞间  $\text{CO}_2$  浓度总体呈现为相似的变化趋势,并于结荚期达到峰值。测定期间内各处理  $C_i$  的平均值表现为:  $C > E > A > D > B$ ,恰与  $P_n$ 、 $Tr$ 、 $G_s$  的变化规律相反,

其中 C 处理平均值最大,为 285.14  $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ ,分别比 A、C、D 和 E 处理提高了 8.03%、13.51%、9.50%、1.00%,达显著差异水平 ( $P < 0.05$ )。等行距 A、C、E 处理在测定期内  $C_i$  的平均值分别为: 263.94, 285.14, 282.34  $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ ,同样表现为随着株距的减少而降低。

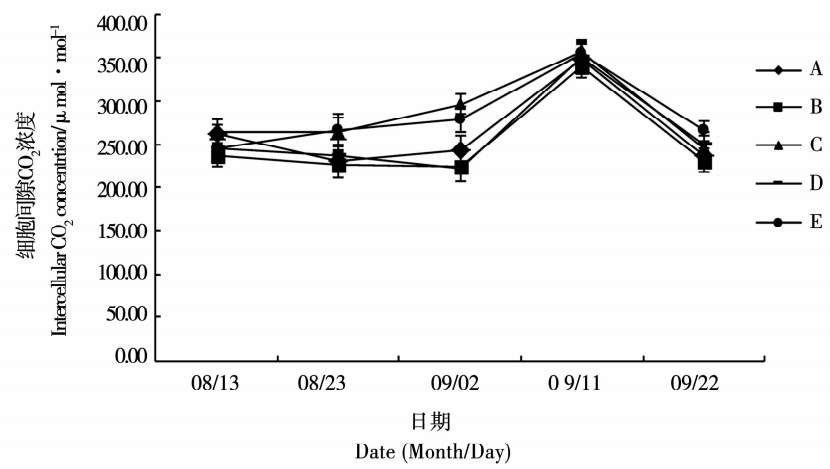


图 6 不同田间配置对夏大豆胞间  $\text{CO}_2$  浓度的影响

Fig. 6 Effect of plant-row spacing on intercellular  $\text{CO}_2$  concentration in summer soybean

2.4 不同株行距配置对夏大豆净光合速率日变化的影响

植物光合作用日变化是各种生理生态因子综合效应的最终反映,其结果可作为分析产量限制因子的重要依据<sup>[17]</sup>。由图 7 可知,测定期内各处理净光合速率 ( $P_n$ ) 的日变化总体呈现了“M”型的双峰

曲线,分别在 12:00 和 16:00 达到峰值,且 12:00 的  $P_n$  高于 16:00。比较各处理在测定期内的平均值排序依次为:  $B > A > E > D > C$ ,这与不同测定时期各处理  $P_n$  的平均值的排序一致,且 B 处理  $P_n$  日变化在各测定点基本处于最高,C 处理基本处于最低。在测定期内,等行距 A、C、E 处理  $P_n$  的平均值表现

为 A > E > C,表明在等行距的种植模式下,适当的增大株距、缩小行距对日净光合速率有促进作用;株距相同的宽窄行 D 处理为  $18.43\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  比等行距 A 处理高 5.07%,再一次说明宽窄行有利于植株边际优势的发挥,进而提高了光合速率。

2.5 不同株行距配置对产量及产量相关因素的影响

由表 2 可知,各处理单株荚数以 B 处理最多为 32.33 个,分别比 A、C、D、E 处理增加了 10.83%、18.64%、4.29%、18.77%,并与 A 和 C 处理显著性差异( $P < 0.05$ ),而与 D 和 E 处理无显著性差异;单株粒数亦以 B 处理最多为 74.33 粒,比单株粒数最少的 C 处理增加了 25.18%,达显著差异水平( $P < 0.05$ ),而与其他各处理差异不显著,说明株距相差较小对单株粒数影响不大,因而要增加单株粒数,株距要大幅加大;A、B、D 处理的百粒重无显著性差异,却与 C 和 E 处理间有显著性差异( $P < 0.05$ ),说明株距在 4.5 cm 以上对百粒重有影响;株距为 6 cm 的 A 处理与 D 处理的单株粒重有极显著性差异( $P < 0.01$ ),说明株距相同时实行合理宽窄行的种植

模式,可受边际优势的影响有效的提高单株粒重。各处理夏大豆产量之间基本达到极显著性差异( $P < 0.01$ ),按各处理产量的大小排序为:B > D > A > E > C,这与光合特性的排序一致。其中株距最大的宽窄行 B 处理的产量最高为  $1\ 628.94\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,分别比其它处理依次高 25.03%、43.62%、51.21%、75.68%,均达极显著差异水平( $P < 0.01$ )。等行距 A、C、E 处理的产量均达极显著差异水平( $P < 0.01$ ),且产量随着处理行距的增大、株距的减小而减小的变化规律,即处理间表现为 A > E > C。同株距的宽窄行的 D 处理比等行距的 A 处理产量高 14.86%,差异显著( $P < 0.05$ ),说明株距相同时适当调节行距,可使大豆充分利用生长的边际效应而提高产量。

综合分析可得,株距的大幅扩大可明显提高单株粒数、百粒重,而合理的调节行距可明显提高单株粒重。在等行距的种植模式下,产量随着处理行距的增大、株距的减小而减小;说明株距相同时适当调节行距,可充分利用边际效应提高产量。

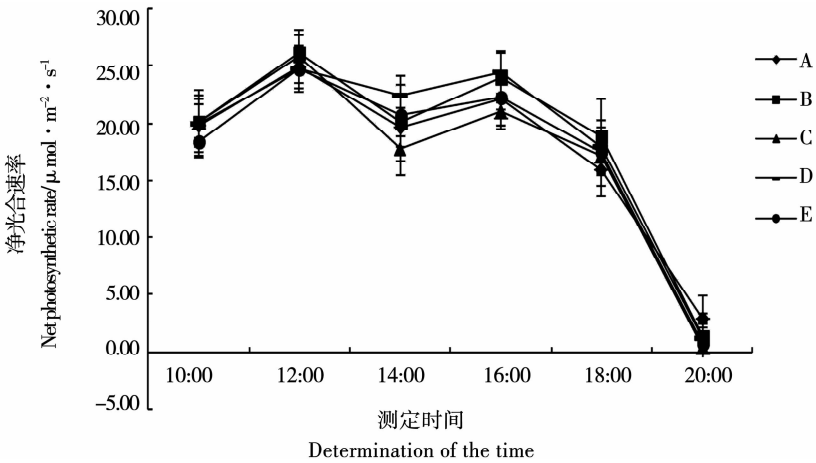


图 7 不同田间配置对夏大豆净光合速率日变化的影响

Fig. 7 Effect of plant-row spacing on diurnal variation of net photosynthetic rate in summer soybean

表 2 不同田间配置对产量及产量构成因素的影响

Table 2 Effect of plant-row spacing on yield and yield components in summer soybean

处理 Treatment	单株荚数 Pods per plant	单株粒数 Seeds per plant	百粒重 100-seed weight /g	单株粒重 Seeds weight per plant /g	产量 Yield / kg·hm <sup>-2</sup>
A	29.17 bA	71.33 abA	11.19 abAB	5.47 bcB	1134.22 bB
B	32.33 aA	74.33 aA	11.59 aA	7.11 aA	1628.94 aA
C	27.25 bA	59.38 bA	10.54 bB	5.78 bB	927.17 dD
D	31.00 abA	69.11 abA	11.45 aAB	6.80 aA	1302.82 bB
E	27.22 abA	65.75 abA	11.03 bAB	5.34 cB	1077.27 cC

不同大小写字母表示差异分别达到 1% 和 5% 显著水平。  
Different capital and lowercase letters mean significance at 1% and 5% levels, respectively.

3 结论与讨论

株行距配置方式通过影响群体叶面积指数、干物质积累、光合作用等动态变化进而影响最终产量的形成。试验结果表明:在测定期内,等行距种植模式下,株距最大的 A 处理比株距最小的 C 处理的叶面积指数、叶绿素含量、光合速率和产量的测定期平均值分别提高了 19.20%、8.89%、2.72%、22.33%。说明在等行距种植模式下,适当的增大株距缩小行距可改善夏大豆通风透光,减小个体间竞争,使根系有效的吸收土壤养分,进而对叶面积指数、叶绿素含量、光合速率等有促进作用;从宽窄行的 B 和 D 处理的比较中发现,B 处理的叶面积指数、叶绿素含量、光合速率及产量的测定期平均值分别比 D 处理高 5.15%、2.69%、3.90%、25.03%。这可能是因为 D 处理宽行较宽,虽然能更好地缓解宽行个体间的根系、叶片的竞争关系,但仍弥补不了由于窄行相对较多,株距较小导致的窄行植株的激烈竞争,从而影响光合作用,这也进一步说明株距比行距更能影响植株的生长发育和光合特性,由此增大株距可改善夏大豆的群体结构,有利于光合作用及产量形成。这与刘忠堂等<sup>[18]</sup>研究结果基本一致,说明无论春大豆还是夏大豆,株距减小会导致个体间竞争加剧,营养物质分配失调,使群体 LAI 下降、光分布不合理从而影响了夏大豆群体的光合能力。而这一研究结果与韩秉进<sup>[19]</sup>认为春大豆的株行距愈接近,则产量愈高的研究结果不完全一致。这可能是由于大豆的品种、生态区域、田间配置与当地气候、土地资源不同所导致的。从株距相同的 A 和 D 处理的研究发现,宽窄行的 D 处理的净光合速率、叶面积指数及叶绿素含量及产量的测定期平均值分别比等行距的 A 处理高 7.09%、1.87%、2.72%、14.86%。这可能是由于宽窄行受到边行优势效应,导致边行通风透光好,个体间根系、叶片竞争减缓,增大光合特性指标和单株粒重进而提高产量。这与梁熠等<sup>[20]</sup>认为调整大豆种植的行间距,采用宽窄行种植方式,可增加其 LAI,提高光合速率和鼓粒速度,增加百粒重,提高产量的研究结果基本一致。

可见在本试验范围内,通过缩小行距、增加株距可提高叶面积指数和叶绿素含量,促使蒸腾速率、气孔导度和胞间 CO<sub>2</sub> 浓度向有利于提高光合速率方向变化,进而提高产量。其中株距最大的 B 处

理产量最高,为 1 628.94 kg·hm<sup>-2</sup>,比株距最小的 C 处理的产量提高了 75.69%。因此,在播种夏大豆时应缩小行距、扩大株距,适当的加以宽窄行种植,以缓和个体竞争关系增大光合作用。此外,在籽粒形成过程时重视水肥管理栽培措施,尽可能适时早播,采用地膜栽培,最终实现夏大豆高产,从而推动北疆地区夏大豆产业发展。

参考文献

[1] 贺晋云,张明军,王鹏,等. 新疆气候变化研究进展[J]. 干旱区研究,2011,28(3):499-508. (He J Y, Zhang M J, Wang P, et al. New progress of the study on climate change in Xinjiang [J]. Arid Zone Research, 2011,28(3):499-508. )

[2] 甘艳露,李宏,马勇刚,等. 近 50 年新疆北疆地区气候变化趋势分析研究[J]. 云南地理环境研究,2012,24(6):80-86. (Gan Y L, Li H, Ma Y G, et al. Trend analysis of climate change in North Xinjiang during the last 50 years[J]. Yunnan Geographic Environment Research, 2012, 24(6):80-86. )

[3] 普宗朝,张山清,王胜兰,等. 近 48a 新疆干湿气候时空变化特征[J]. 中国沙漠,2011,31(6):1563-1572. (Pu Z C, Zhang S Q, Wang S L, et al. The spatial-temporal variation characteristic of dry-wet climate in recent 48 years in Xinjiang province [J]. China Journal of Desert Research, 2011,31(6):1566-1571. )

[4] 徐娇媚,徐文修,李大平. 近 51a 伊犁河谷热量资源时空变化[J]. 干旱区研究,2014,31(3):472-480. (Xu J M, Xu W X, Li D P. Spatiotemporal variation of heat resources in the Ili River Basin in recent 51 years[J]. Arid Zone Reserch,2014,31(3):472-480. )

[5] 战勇,罗赓彤,刘胜利,等. 北疆大豆复种现状及高效栽培技术研究[J]. 新疆农业科学,2006,43(5):426-428. (Zhan Y, Luo G T, Liu S L, et al. Status and high efficiency culture techniques of summer soybean in North Xinjiang[J]. Xinjiang Agricultural Sciences,2005,43(5):426-428. )

[6] 张永强,张娜,唐江华,等. 密度对北疆复播大豆生长动态及产量的影响研究[J]. 新疆农业大学学报,2014,37(1):7-11. (Zhang Y Q, Zhang N, Tang J H, et al. Effects of planting density on yield and growth tendency of summer saybean in North Xia-jiang[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2014,37(1):7-11. )

[7] 张永强,张娜,唐江华,等. 密度对北疆复播大豆荚粒时空分布及产量形成的影响[J]. 大豆科学,2014,33(2):179-183. (Zhang Y Q, Zhang N, Tang J H, et al. Effects of planting density on yield formation and tempo-spatial distribution of pod and seed of summer soybean in North Xinjiang[J]. Soybean Science,2014, 33(2):179-183. )

[8] 王志新,郭泰,齐宁,等. 大豆杂种优势高优势组合筛选及稳定性分析[J]. 中国农学通报,2001,17(2):27-29. (Wang Z X, Guo T, Qi N, et al. Selection of high-superiority cross combination for soybean heterosis and its stability analysis[J]. Agriculture Notified of China,2001,17(2):27-29. )

relay strip intercropping systems in relation to light quantity and red:far-red ratio[J]. *Field Crop Research*, 2014, 155: 245-253.

[13] 莫新,朱国金,程伟东. 气象条件对广西春大豆生长发育及产量的影响[J]. *大豆科学*, 1991, 10(3): 234-239. (Mo X, Zhu G J, Cheng W D, et al. Effect of meteorological factors on growth development and yield of spring soybean[J]. *Soybean Sciences*, 1991, 10(3): 234-239. )

[14] 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[J]. *中国油料作物学报*, 2002, 4(24): 30-32. (Zhao S J, Zhang M C, Yang C Y, et al. Effect of culture factors on growth and yield of soybean I. Effect of sowing date, density, space in row and plant space on yield[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2002, 4(24): 30-32. )

[15] Chen G H, Wiattak P. Soybean development and yield are influenced by planting date and environment conditions in the south-eastern coastal plain, United States[J]. *Agronomy Journal*, 2010, 102: 1731-1737.

[16] Egli D B, Cornelius P L. A regional analysis of the response of soybean yield to palnting date[J]. *Agronomy Journal*, 2009, 101(2): 330-335.

[17] Robinson A P. Analysis of high yielding, early-planted soybean in Indiana[J]. *Agronomy Journal*, 2000, 101(1): 131-139.

[18] 王一,杨文钰,张霞,等. 不同生育期遮阴对大豆形态性状和产量的影响[J]. *作物学报*, 2013, 39(10): 1871-1879. (Wang Y, Yang W Y, Zhang X. Effects of shading at different growth stages on different traits and yield of soyban[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2013, 39(10): 1871-1879. )

[19] 宋启建,盖钧镒,马育华. 大豆蛋白质和油分含量生态特点研究[J]. *大豆科学*, 1990, 9(2): 121-128. (Song Q J, Gai J Y, Ma Y H. Research on ecological characters of soybean protein and fat content[J]. *Soybean Science*, 1990, 9(2): 121-128. )

[20] 吴俊彦. 播期对黑河主栽大豆生育进程和产量及品质的影响[M]. 中国农业科学院, 2013. (Wu J Y. Effect of sowing date on the growth, yield and quality of main soybean varieties in Heihe[M]. *Chinese Academy of Agricultural Sciences Dissertation*, 2013. )

[21] 丁振麟. 气候条件对大豆化学品质的影响[J]. *作物学报*, 1965, 4(4): 313-320. (Ding Z L. Climate conditions effect on chemical quality of soybean[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1965, 4(4): 313-320. )

(上接第 800 页)

[9] 王文斌,曹永强,闫春娟,等. 密度和植株配置对大豆主要农艺及生理性状的影响[J]. *大豆科学*, 2014, 33(4): 502-506. (Wang W B, Cao Y Q, Yan C J, et al. Effects of plant density and distribution pattern on main agronomic and physiological characters in soybean[J]. *Soybean Science*, 2014, 33(4): 502-506. )

[10] 周勋波,杨国敏,孙淑娟,等. 不同株行距配置对夏大豆群体结构及光截获的影响[J]. *生态学报*, 2010, 30(3): 691-697. (Zhou X B, Yang G M, Sun S J, et al. Effect of different plant-row spacing on population structure and PAR interception in summer soybean[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(3): 691-697. )

[11] 李瑞平,李志刚,王贵平,等. 不同栽培模式对大豆生长动态及干物质积累分配的影响[J]. *大豆科学*, 2008, 27(6): 979-982. (Li R P, Li Z G, Wang G P, et al. Effect of different cultivation patterns on growth tendency, dry matter accumulation and distribution of soybean[J]. *Soybean Science*, 2008, 27(6): 979-982. )

[12] 林浩,刘丽君,吴俊江,等. 不同栽培模式对大豆同化物积累和光合生理特性与产量形成的影响[J]. *大豆科学*, 2009, 28(3): 456-460. (Lin H, Liu L J, Wu J J, et al. Effects of different cultivation patterns on assimilate accumulation, photosynthetic characteristics and yield formation in soybean[J]. *Soybean Science*, 2009, 28(3): 456-460. )

[13] 刘岩,周勋波,陈雨海,等. 底墒和种植方式对夏大豆光合特性及产量的影响[J]. *生态学报*, 2011, 31(12): 3478-3487. (Liu Y, Zhou X B, Chen Y H, et al. Effects of presowing soil moisture and planting patterns on photosynthetic characteristics and yield of summer soybean[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(12): 3478-3487. )

[14] 李生秀,魏建军,刘建国,等. 窄行密植对大豆群体冠层结构及光分布的影响[J]. *新疆农业科学*, 2005, 42(6): 412-414. (Li S X, Wei J J, Liu J G, et al. Effects of planting with narrow line and proper density on canopy structure light penetration of soybean[J]. *Xinjiang Agricultural Science*, 2005, 42(6): 412-414. )

[15] 柏军华,王克如,初振东,等. 叶面积测定方法的比较研究[J]. *石河子大学学报(自然科学版)*, 2005, 23(2): 216-218. (Bei J H, Wang K R, Chu Z D, et al. Comparitive study on the measure methods of the leaf area[J]. *Journal of Shihezi University (Natural Science)*, 2005, 42(6): 412-414. )

[16] 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. )

[17] 刘玉华,贾志宽,史纪安,等. 旱作条件下不同苜蓿品种光合作用的日变化[J]. *生态学报*, 2006, 26(5): 1468-1477. (Liu Y H, Jia Z K, Shi J A, et al. Daily dynamics of photosynthesis in alfalfa varieties under dry farming conditions[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(5): 1468-1477. )

[18] 刘忠堂. 大豆窄行密植高产栽培技术的研究[J]. *大豆科学*, 2002, 21(2): 117-122. (Liu Z T. Study on technology for high yield of solid-seeded soybean[J]. *Soybean Science*, 2002, 21(2): 117-122. )

[19] 韩秉进,陈渊,孟凯,等. 作物有效土壤营养面积研究[J]. *土壤学报*, 2003, 40(5): 711-716. (Han B J, Chen Y, Meng K, et al. Study on crop's effective nutrient soil areas[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(5): 711-716. )

[20] 梁熠,齐华,王敬亚. 行距配置对春玉米群体冠层环境与光合特性的影响[J]. *西北农业学报*, 2014, 23(8): 66-72. (Liang Y, Qi H, Wang J Y, et al. Effects of growth and yield of maize under wide and narrow row cultivation[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2014, 23(8): 66-72. )