



播期对大豆开花期和鼓粒期叶片光合特性及产量的影响

高永刚^{1,2}, 高明³, 杨晓强^{1,2}, 刘丹^{1,2}, 张志国^{1,2}, 孙守军^{1,2}

(1. 黑龙江省气象科学研究所, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 中国气象局东北地区生态气象创新开放实验室, 黑龙江 哈尔滨 150030; 3. 黑龙江省气象局, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要:为研究播期对大豆光合特性及产量的影响,以中熟型大豆黑农48为试材,依托2017年哈尔滨农试站3个播期试验,分析大豆开花期和鼓粒期光合参数、气象和产量数据。结果表明:(1)不同播期大豆开花期和鼓粒期叶片的光合特性差异显著。净光合速率(P_n)、蒸腾速率(Tr)和水分利用效率(WUE)适播比早播、晚播有所增加, P_n 、 Tr 和 WUE 适播比早播、晚播分别提高14.86%和15.67%、1.06%和1.35%、14.37%和14.83%;叶片气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)和叶绿素含量($SPAD$)随着播期推迟变化不同,与适播相比,早播、晚播条件下 G_s 变化幅度分别为17.72%和-20.35%、 C_i 变化幅度分别为9.53%和3.72%,随着播期推迟 G_s 呈降低趋势,而 C_i 呈先降后增变化;而在鼓粒期随着播期推迟 $SPAD$ 降低。(2)光合参数间的相互影响、协同作用影响大豆的生长状况和产量的形成。 P_n 与 Tr 、 WUE 、光合有效辐射(PAR)存在极显著的正相关,与 C_i 存在极显著的负相关,逐日气温(T_a)与 Tr 、 G_s 与 C_i 分别存在显著、极显著正相关, T_a 、 G_s 分别通过影响蒸散和 C_i 起间接作用,在大豆生殖生长期,气温、光合有效辐射和土壤水分是影响 P_n 的主要气象因素。(3)适播有较高的 P_n 、 WUE 、干物质积累及向籽粒转化率,适时播期可充分利用光、温、水等气候资源,促进光合效率,大豆产量增加明显。

关键词:播期;大豆;开花期和鼓粒期;光合特性;产量;影响

Effects of Sowing Date on Photosynthetic Characteristics of Leaves in Flowering and Bulking Stage and Yield of Soybean

GAO Yong-gang^{1,2}, GAO Ming³, YANG Xiao-qiang^{1,2}, LIU Dan^{1,2}, ZHANG Zhi-guo^{1,2}, SUN Shou-jun^{1,2}

(1. Heilongjiang Provincial Institute of Meteorological Science, Harbin 150030, China; 2. Innovation and Opening Laboratory of Regional Eco-Meteorology in Northeast, China Meteorological Administration, Harbin 150030, China; 3. Heilongjiang Provincial Meteorological Bureau, Harbin 150001, China)

Abstract: In order to study the effects of sowing date on the photosynthetic characteristics and yield of soybean. Based on the 3 sowing treatment experiments of Harbin Agricultural Meteorological Test Station in 2017, the experimental material was the medium ripening soybean Heinong 48, the observation data of photosynthetic parameters, meteorological and yield were analyzed. The results showed that: (1) Photosynthetic characteristics of leaves in soybean flowering and bulking stage were significant different from different sowing dates. Net photosynthetic rate (P_n), transpiration rate (Tr) and water use efficiency (WUE) were increased in suitable sowing date compared with early and late sowing date, P_n , Tr and WUE of suitable sowing date were respectively increased by 14.86% and 15.67%, 1.06% and 1.35%, 14.37% and 14.83% compared with early and late sowing date. The variations of G_s , C_i and $SPAD$ of leaves were different with the delay of sowing date, G_s of suitable sowing date were varied by 17.72% and -20.35% compared with early and late sowing date, and C_i were varied by 9.53% and 3.72%, the G_s trends were declined with sowing dates delayed, the C_i trends were declined before increased with sowing dates delayed, however, $SPAD$ of bulking stage was decreased with the delay of sowing date. (2) The growth status and yield of soybean were affected by the interaction and synergy between photosynthetic parameters. P_n was extremely significant positive correlation with Tr , WUE , PAR , and a extremely significant negative correlation with C_i , there were respectively significant positive and extremely significant positive correlation in air temperature (T_a) and Tr , G_s and C_i , T_a and G_s played an indirect role by affecting evapotranspiration and C_i , respectively. In reproductive growth period of soybean, air temperature, photosynthetic active radiation and soil moisture were the mainly affecting meteorological factors for P_n . (3) There were higher P_n , WUE , dry matter accumulation and seed conversion rate for suitable sowing date, and timely sowing date can make full use of climatic resources such as solar radiation, temperature and water, photosynthetic efficiency was improved, production was increased significantly.

Keywords: Sowing date; Soybean; Flowering and bulking stage; Photosynthetic characteristics; Yield; Effects

大豆是典型的短日照植物。大豆的光合特性、农艺性状、产量及品质除受遗传因素控制外,还与生境条件、特别是气候条件关系密切,如不同的品种^[1-4]、肥力与密度^[5-9]、光温^[10-12]、水分^[13-15]等。大豆播种期不同,植株生育和籽粒形成所处的温、光、水条件各异,对大豆的生育过程会产生不同的影响。前人的研究多集中在播期对大豆的农艺性状、产量及品质等影响方面,研究表明,不同播期大豆的农艺性状、产量和品质间差异明显^[16-18]。适宜的播期,利于大豆充分利用光、温、水、气等气候资源,良好的农艺性状获得高产稳产,品质较高^[19-21];而早播或晚播将造成产量损失,品质下降^[22-23]。因此适宜的播期是大豆获得高产、优质的关键。在播期对大豆光合特性影响研究方面,杨继芝等^[24]在四川省进行了播期对套作(麦/玉/豆)大豆幼苗生长与叶片光合性能的影响研究,结果表明叶绿素 a/b 值处理间差异显著,气孔导度、蒸腾速率、胞间 CO₂ 浓度随播期的推迟有所增加,光合速率适播比早播、晚播分别提高了 1.20 和 0.18 倍。

大豆开花期和鼓粒期是决定大豆生态适应性和产量的关键时期,大豆籽粒产量与生殖生长的持续时间密切相关^[25],大豆粒重的绝大部分来源于开花后的光合产物^[26],而不同播期大豆开花期和鼓粒期叶片的各光合指标、叶绿素及水分利用效率的日变化规律及均值变化是反映不同播期大豆生殖生长期叶片光合能力和生态适应性的重要指标,可用于描述播期对大豆开花期和鼓粒期叶片光合特性的影响等。因而研究播期对大豆开花期和鼓粒期产量形成的关键时期叶片光合特性对大豆高产栽培具有重要的理论价值和实践意义。然而,播期对大豆开花期和鼓粒期叶片光合特性影响方面的研究成果却鲜见报道。因此,本研究选用黑龙江省审定的大豆中熟型主栽品种为试材,通过设置不同播期处理,研究其对大豆开花期和鼓粒期叶片光合特性、产量的影响,揭示其影响规律,以期对大豆高产栽培提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概括

试验于 2017 年在黑龙江省气象科学研究所哈尔滨农业气象试验站试验场进行,试验场位于松嫩平原腹地(45°36'N,126°49'E),土壤为多年耕作黑壤土,地力均匀。属寒温带大陆性季风气候区,冬季气候严寒干燥,夏季温热湿润,降水集中,雨热同

季,夏季平均降水量为 335.7 mm,占全年总降水量的 64.2%。试验材料为黑龙江省中熟型主栽大豆品种黑农 48。

1.2 试验设计

试验设 3 个播期处理,每 10 d 为 1 个播期,T1 为 5 月 2 日,T2 为 5 月 12 日,T3 为 5 月 22 日,3 个重复,共计 9 个小区,小区面积 60 m²,随机区组排列。T2 处理与当地大豆播种日期相近,作为对照。其中每个播期前 2 个重复小区为生物学观测区,第 3 个重复小区为产量观测区。播种方式为人工起垄穴播,播种密度为 446 500 株·hm⁻²,施肥量(磷酸二铵:复合肥 = 1:2)300 kg·hm⁻²,播种后无灌溉,自然降水,常规管理。大豆出苗后生育期间光、温、降水等气象条件与常年相似,无农业气象灾害发生,具有代表性。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 光合参数及水分利用效率 于开花期和鼓粒期采用 Li-6400XTR(美国)光合作用仪观测叶片净光合速率(*Pn*)、气孔导度(*Gs*)、胞间 CO₂ 浓度(*Ci*)和蒸腾速率(*Tr*);采用 SPAD(日本)叶绿素观测仪观测叶绿素含量。选择无云少风的晴朗天气采用自然光照进行测定光合参数,测定最上部 3 片叶(倒 1 叶、倒 2 叶、倒 3 叶)完全展开叶的中部叶片,避开叶脉,进行测量,测定时间为日出至日落,每 2 h 测定 1 次,每个样本重复 2 次,取均值。植物叶片水分利用效率(*WUE*)是衡量植物水分消耗与物质生产之间关系的重要综合指标,可通过公式 $WUE = Pn / Tr$ 求得,其中 *Pn* 和 *Tr* 分别为叶片的净光合速率和蒸腾速率。因此,利用观测的大豆叶片的 *Pn* 和 *Tr* 计算同期的 *WUE*。

1.3.2 气象要素 同期逐日气温(*Ta*)、光合有效辐射(*PAR*)等气象数据来源于试验观测场的农田小气候与实景观测系统(RR-9100A)和辐射平衡监测系统(RR-9300RA),每 10 min 自动观测 1 次。

1.3.3 产量及产量构成因素 成熟期连续取 60 株测定单株荚数、空秕荚率、株结实粒数、株子粒重、百粒重、茎秆重和子粒与茎秆比。

1.4 数据分析

使用 Excel 2010 进行处理和制图,采用 DPS 7.5 软件进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同播期大豆叶片光合特性的日变化

2.1.1 净光合速率 如图 1 所示,播期对开花期和

鼓粒期大豆叶片净光合速率(P_n)日变化影响显著, P_n 的日变化曲线呈双峰型或单峰型分布,各播期 P_n 值、 P_n 峰值点大小和出现时间存在差异。在开花期,T1处理 P_n 的日变化曲线呈双峰型分布,观测两峰值点出现时间在7:00和13:00,谷值(光合“午睡”)出现在9:00;T2、T3处理 P_n 的日变化曲线呈单峰型分布,观测峰值点分别出现在9:00和11:00。T1、T3处理 P_n 日均值与T2处理(对照处理)相比, P_n 值变化幅度分别为-3.21%和2.38%,随着播期推迟 P_n 增加。在鼓粒期,T2处理 P_n 的日变化曲线

呈双峰型分布,两峰值点出现在9:00和13:00,谷值出现在11:00;T1、T3处理 P_n 的日变化曲线呈单峰型分布,观测峰值点在13:00。T1、T3处理 P_n 日均值与T2处理相比, P_n 值变化幅度分别为-26.50%和-33.72%,随着播期推迟 P_n 呈先增后降变化。在开花期和鼓粒期,T1、T3处理与T2处理相比 P_n 日均值变化幅度分别为-14.86%和-15.67%,随着播期推迟 P_n 呈先增后降变化,显现在生殖生长阶段T2处理干物质积累较高。

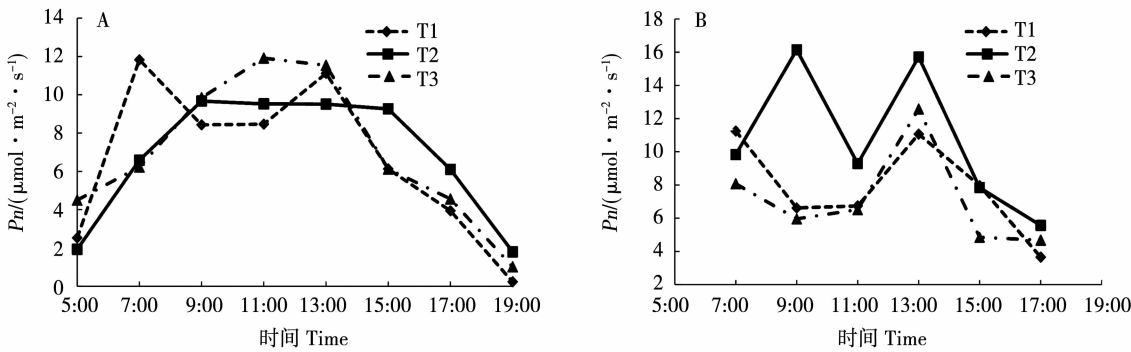


图1 不同播期大豆开花期(A)和鼓粒期(B)叶片 P_n 的动态变化
Fig. 1 P_n dynamic change of soybean leaf during flowering stage (A) and bulking stage (B) of different sowing dates

2.1.2 气孔导度 如图2所示,不同播期关键生育期大豆叶片气孔导度(G_s)的日变化趋势基本一致,总体呈L型变化。日出后 G_s 由高值快速降低,日落前 G_s 最低。不同生长时期 G_s 的变化时间和幅度差异显著。开花期,日间11:00-19:00 G_s 相对较高,鼓粒期日间9:00-15:00 G_s 相对较高。在开花期,7:00前 G_s 值快速降低,而鼓粒期,则是9:00前 G_s 值快速降低;开花期日间相对高值点出现在13:00和17:00;鼓粒期T2处理日间高值点出现11:00,

T1、T3处理出现在13:00。在开花期,T1、T3处理 G_s 日均值与T2处理相比, G_s 值变化幅度分别为43.63%和9.62%,随着播期推迟 G_s 呈先降后增变化;在鼓粒期,T1、T3处理 G_s 日均值与T2处理相比, G_s 值变化幅度分别为-8.24%和-50.31%,随着播期推迟 G_s 呈先增后降变化趋势。在开花期和鼓粒期,T1、T3处理与T2处理相比 G_s 日均值变化幅度分别为17.72%和-20.35%,随着播期推迟 G_s 降低。

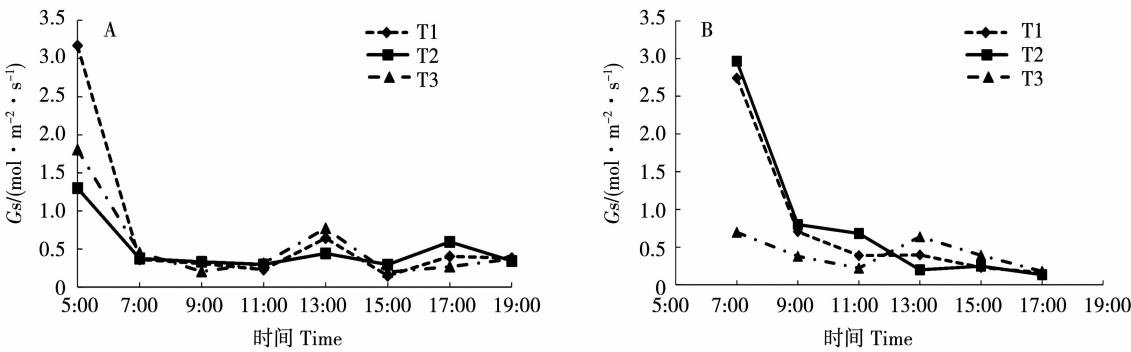


图2 不同播期大豆开花期(A)和鼓粒期(B)叶片 G_s 的动态变化
Fig. 2 G_s dynamic change of soybean leaf during flowering stage (A) and bulking stage (B) at different sowing dates

2.1.3 胞间CO₂浓度 不同播期关键生育期大豆叶片胞间CO₂浓度(*C_i*)的日变化趋势基本一致,总体呈U型变化(图3)。在开花期和鼓粒期,9:00前*C_i*值快速降低,而在15:00后*C_i*值快速升高,9:00-15:00*C_i*值处于较低值范围内。*C_i*值的U型变化与*P_n*的日变化(图1)具有较好的反位相关系。3个处理在开花期*C_i*差异略小,在鼓粒期差异显著;在开花期,T1、T3处理与T2处理相比*C_i*日均值

变化幅度分别为6.71%和-1.29%,随着播期推迟*C_i*降低;在鼓粒期,T1、T3处理与T2处理相比*C_i*日均值变化幅度分别为12.35%和8.73%,随着播期推迟*C_i*呈先降后增的变化。在开花期和鼓粒期,T1、T3处理与T2处理相比*C_i*日均值分别增加了9.53%和3.72%,随着播期推迟*C_i*呈先降后增的变化趋势。

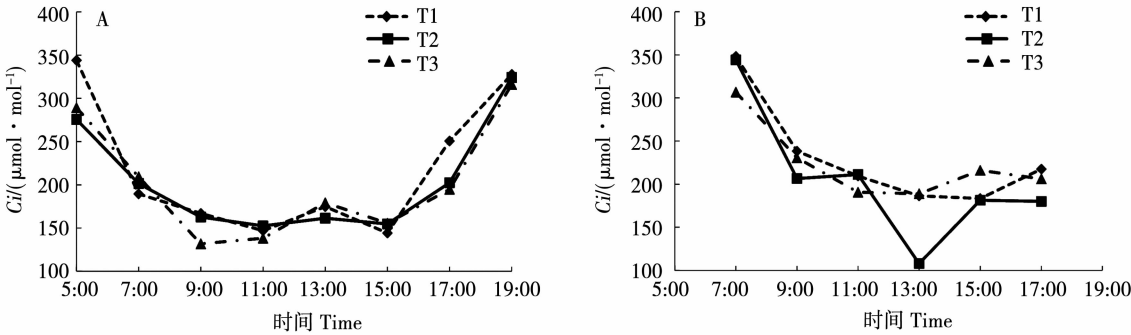


图3 不同播期大豆开花期(A)和鼓粒期(B)叶片*C_i*的动态变化
Fig. 3 *C_i* dynamic change of soybean leaf during flowering stage (A) and bulking stage (B) at different sowing dates

2.1.4 叶片蒸腾速率 不同播期大豆叶片蒸腾速率(*Tr*)的日变化曲线差异显著,呈单峰型和双峰型分布(图4)。在开花期,T1、T3处理*Tr*表现为单峰型分布,峰值点在13:00,T2处理*Tr*表现为双峰型分布,峰值点在13:00和17:00,谷值点在15:00;T1、T3处理与T2处理相比*Tr*日均值变化幅度分别为-5.22%和3.14%,随着播期推迟*Tr*增加。在鼓

粒期,3个处理*Tr*表现为单峰型分布,但峰值点不同,3个处理峰值点分别出现在11:00、9:00和13:00;T1、T3处理与T2处理相比*Tr*日均值变化幅度分别为3.11%和-5.83%,随着播期推迟*Tr*降低。在开花期和鼓粒期,T1、T3处理与T2处理相比*Tr*日均值变化幅度分别为-1.06%和-1.35%,随着播期推迟*Tr*呈先增后降的变化。

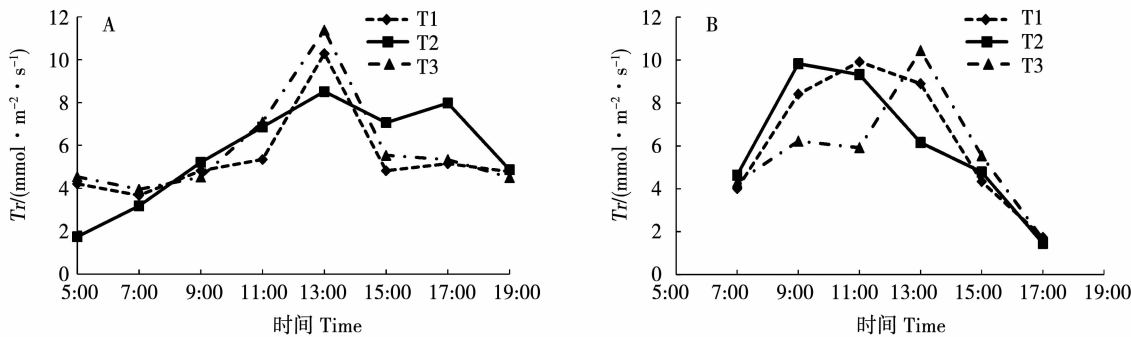


图4 不同播期大豆开花期(A)和鼓粒期(B)叶片*Tr*的动态变化
Fig. 4 *Tr* dynamic change of soybean leaf during flowering stage (A) and bulking stage (B) at different sowing dates

2.1.5 叶绿素含量与水分利用效率 细胞叶绿体是植物进行光合作用的场所,叶片中叶绿素含量对植物光合作用有重要影响。由图5可见,叶片叶绿素含量相对值(*SPAD*)在开花期和鼓粒期存在差异。

在开花期,T1、T3处理*SPAD*较高,较T2处理分别高8.86%和12.72%,随着播期推迟*SPAD*呈先降后增的变化;在鼓粒期,T1处理*SPAD*显著偏高,T1、T3处理与T2处理相比变化幅度分别为

18.84%和-2.01%,随着播期推迟 SPAD 降低。在开花期和鼓粒期,T1、T3 处理与 T2 处理相比 SPAD 变化幅度分别为 13.85%和 5.36%,随着播期推迟 SPAD 呈先降后增的变化。

各播期大豆水分利用效率(WUE)在鼓粒期差异显著,在开花期无明显差异。在鼓粒期,T2 处理

WUE 偏高显著,T1、T3 处理与 T2 处理相比 WUE 变化幅度分别为 -28.74%和 -29.65%,随着播期推迟 WUE 呈先增后降的变化。在开花期和鼓粒期,T1、T3 处理与 T2 处理相比 WUE 变化幅度分别为 -14.37%和 -14.83%,随着播期推迟 WUE 呈先增后降的变化趋势。

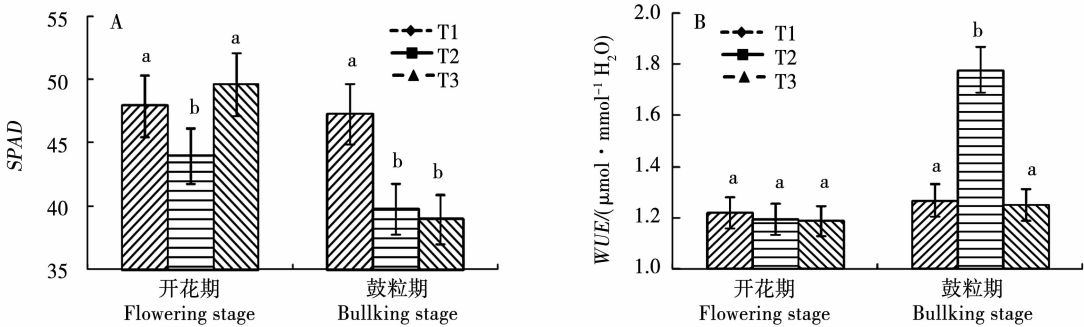


图5 不同播期大豆开花期和鼓粒期叶片 SPAD (A) 与 WUE (B) 的动态变化

Fig. 5 SPAD (A) and WUE (B) dynamic change of soybean leaf during flowering stage and bullking stage at different sowing dates

2.2 不同播期大豆叶片光合参数与气温、辐射环境的相关分析

通过对 3 个处理播期大豆叶片开花期和鼓粒期光合参数、气温(Ta)、光合有效辐射(PAR)间的相关分析如表 1 所示, Pn 与 Tr 、 WUE 、 PAR 存在极显著的正相关,与 Ci 存在极显著的负相关。 Pn 与 Ta 、 Gs 无显著相关关系,但 Ta 与 Tr 、 Gs 与 Ci 存在显著和极显著正相关, Ta 、 Gs 分别通过影响 Tr 和 Ci 起间接作用,说明在大豆生殖生长阶段,气温、太阳辐射和土壤水分是影响 Pn 的主要气象因素。

Ta 、 PAR 与 Ci 、 Gs 呈极显著和显著负相关,与 Tr 呈显著和极显著负相关, Gs 与 Ci 存在极显著的正相关,说明日间在适宜温光条件下,大豆叶片气孔导度适度增高,叶片可利用大量的胞间 CO_2 进行光合作用, Ci 降低,并促进了蒸腾作用;当叶片蒸腾过快时,可能会适度降低叶片 Gs ,抑制叶片水分散失过快。因此,在光、温、水等气象条件下,大豆叶片光合参数间通过相互影响、协同作用,影响大豆的生长状况和产量的形成。

表 1 大豆光合参数与 Ta 、 PAR 的相关系数

Table 1 Correlation coefficient between photosynthetic parameters and Ta , PAR for soybean

	Pn	Gs	Ci	Tr	WUE	Ta	PAR
Pn	1						
Gs	-0.01	1					
Ci	-0.51**	0.68**	1				
Tr	0.53**	-0.07	-0.28	1			
WUE	0.68**	-0.01	-0.27	-0.44**	1		
Ta	0.12	-0.66**	-0.82**	0.35*	-0.18	1	
PAR	0.55**	-0.39*	-0.68**	0.52**	0.16	0.39*	1

** 表示 $P < 0.01$ 水平的极显著性统计检验; * 表示 $P < 0.05$ 水平的显著性统计检验。

** means extremely significant statistical test at 0.01 level; * means significant statistical test at 0.05 level.

2.3 不同播期对大豆产量构成要素及产量的影响

从大豆开花和鼓粒期来看,不同处理播期大豆叶片的 Pn 、 Tr 、 WUE 等存在差异,T2 处理 Pn 较其它处理增加幅度分别为 14.86%、15.67%,而同期的 Tr 、 WUE 也相应提高,具有较好的干物质积累和转化分配基础,形成了不同播期大豆的株荚数、空秕荚率、单株籽粒数、单株籽粒重、百粒重、茎秆重、籽粒与茎秆比、理论产量等产量构成要素差异(表 2),相比较而言,T2 处理产量最高,依次为 T1 和 T3 处

理。T1、T2 和 T3 处理的理论产量分别为 665.21, 673.92 和 642.15 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$,即 6 652.10,6 739.20 和 6 421.50 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;T1、T3 处理与 T2 处理相比减产幅度分别为 -1.29% 和 -4.71%。在 3 个处理中,T2 处理播期相对最适宜,因此,适时播期可充分利用光、温、水等气候资源,大豆关键生育期叶片的 Pn 和干物质向籽粒转化率均相对较高,大豆产量增加明显。

表 2 不同播期处理的大豆产量构成要素及理论产量

项目 Item	T1	T2	T3
株荚数 Pods number per plant	44.20 a	42.30 a	36.30 b
空秕荚率 Empty abortive rate of pod/%	1.60 a	1.20 b	1.80 a
单株结实粒数 Seeds number per plant	16.20 a	14.90 a	11.30 b
单株子粒重 Seeds weighth per plant/g	72.00 ab	74.00 a	65.00 b
百粒重 100-seed weight/g	20.67 ab	21.94 a	18.51 b
茎秆重 Stem weight/($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	434.18 ab	479.76 a	411.28 b
子粒与茎秆比 Ratio of seeds to stem	1.20 a	1.30 a	1.00 b
理论产量 Theoretical yield /($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	665.21 a	673.92 a	642.15 a

不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。
Different lowercase indicate significant difference ($P<0.05$).

3 讨 论

由于不同播期大豆开花期和鼓粒期叶片光合指标值、峰值点大小和出现时间等日变化存在差异,为定量描述播期的日变化差异及影响规律,本研究采用各播期开花期和鼓粒期光合指标值的日均值的变化为评估指标,用于描述播期对大豆开花期和鼓粒期光合特性及产量的影响规律,其对大豆高产栽培具有重要的理论价值和实践意义。

本研究表明,不同播期大豆开花期和鼓粒期的叶片光合指标、叶绿素和水分利用效率等的日变化和日均值变化均存在差异,净光合速率日均值适播比早播、晚播分别提高 14.86% 和 15.67%,蒸腾速率日均值适播比早播、晚播分别增加 1.06% 和 1.35%,适播大豆叶片水分利用效率亦显著偏高,因而适播促进了大豆开花期和鼓粒期叶片的光合效率,必定有利于增加粒重,进而增加大豆的产量。大豆光合指标、气温、光合有效辐射间的相关分析表明,大豆生殖生长阶段,气温、光合有效辐射和土壤水分是影响光合特性及产量的主要气象因素,而

气象因素的影响主要是通过光合参数间的相互影响、协同作用实现的。

然而本研究在开花和鼓粒期光合特性分析中,气孔导度日均值适播较早播、晚播变化幅度分别为 17.72% 和 -20.35%,随着播期推迟 G_s 日均值降低; C_i 日均值适播比早播、晚播分别减少了 9.53% 和 3.72%,随着播期推迟 C_i 日均值呈先降后增的变化。 G_s 和 C_i 日均值随播期的变化与杨继芝等^[24]对大豆幼苗期的分析结果存在差异,主要是地域、生境、气候、品种和生育时段等条件的差异所致。

目前播期对大豆产量影响研究中,一种观点认为,随着播期的推迟大豆产量降低,实际生产中应力争早播^[18,20];另一种观点认为,适期播种有利于形成高光效群体和提高产量^[21-23]。本研究分析结果与后一种观点一致,分析认为,适时播期可充分利用光、温、水等气候资源,大豆生殖生长关键期叶片的净光合速率和干物质向籽粒转化率均相对较高,促进大豆产量提高。

4 结 论

不同播期大豆开花期和鼓粒期的光合特性差异显著。不同播期大豆叶片 P_n 、 Tr 日变化曲线呈双峰型或单峰型分布; G_s 日变化曲线呈 L 型变化; C_i 的日变化曲线呈 U 型变化。 P_n 、 Tr 和 WUE 适播比早播、晚播有所增加, 适播情况下 P_n 、 Tr 和 WUE 比早播、晚播分别提高 14. 86% 和 15. 67%、1. 06% 和 1. 35%、14. 37% 和 14. 83%; G_s 、 C_i 和 $SPAD$ 随着播期推迟变化不同, 与适播相比, 早播、晚播条件下 G_s 变化幅度分别为 17. 72% 和 -20. 35%、 C_i 变化幅度分别为 9. 53% 和 3. 72%, 随着播期推迟 G_s 呈降低趋势, 而 C_i 呈先降后增变化; 而在鼓粒期随着播期推迟 $SPAD$ 降低。

在光、温、水等环境条件下, 光合参数间的相互影响、协同作用影响大豆的生长状况和产量的形成。观测分析表明, P_n 与 Tr 、 WUE 、 PAR 存在极显著的正相关关系, 与 C_i 存在极显著的负相关关系, T_a 与 Tr 存在显著正相关关系, G_s 与 C_i 存在极显著正相关关系, T_a 、 G_s 分别通过影响 Tr 和 C_i 起间接作用, 说明在大豆生殖生长期, 气温、光合有效辐射和土壤水分是影响 P_n 的主要因素。

不同播期大豆产量构成要素及产量存在差异。由于适播有较高的净光合速率、水分利用效率、干物质积累及向籽粒转化率, 适播与早播、晚播相比产量分别增加 1. 29% 和 4. 71%, 因此, 适时播期可充分利用光、温、水等气候资源, 促进大豆光合效率, 大豆产量增加明显。

参考文献

[1] 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. (Song Y X, Yang W Y, Li Z X, et al. The effects of shading on photosynthetic and fluorescent characteristics of soybean seedlings under maize-soybean relay cropping [J]. Chinese Journal of Oil Crops Siences, 2009, 31(4):474-479.)

[2] 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. (Zheng D J, Zhang Z A, Jiang L Y, et al. Comparison of net photosynthetic rate in leaves of soybean at different yield levels [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2010, 41(9):1-5.)

[3] 张瑞朋,杨德忠,傅连舜,等. 不同来源大豆品种光合速率日变化及其影响因子的研究[J]. 大豆科学, 2007, 26(4):490-495. (Zhang R P, Yang D Z, Fu L S, et al. Research of photosynthesis diurnal variation and its affection factors for different

source soybeans[J]. Soybean Science, 2007, 26(4):490-495.)

[4] 郑宝香,满为群,杜维广,等. 高光效大豆光合速率与主要光合生理指标及农艺性状的关系[J]. 大豆科学, 2008, 27(3):397-401. (Zheng B X, Man W Q, Du W G, et al. Relationship between photosynthetic rate, main photosynthetic characteristics and agronomic characters for high photosynthetic efficiency soybean [J]. Soybean Science, 2008, 27(3):397-401.)

[5] 肖万欣,谢甫绋,张惠君,等. 不同肥力和密度处理对超高产大豆品种的光合特性和产量的影响[J]. 中国油料作物学报, 2009, 31(2):190-195. (Xiao W X, Xie P T, Zhang H J, et al. Effects of fertilizer and planting density on photosynthetic characteristics and yield of super-high-yielding soybean cultivar[J]. Chinese Journal of Oil Crops ciences, 2009, 31(2):190-195.)

[6] 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. (Shen X H, Jiang C, Zhang J T, et al. Correlation between spectrum reflectance and chlorophyll content of soybean leaves under different nitrogen level [J]. Soybean Science, 2012, 31(1):73-80.)

[7] 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. (Gu Q R, Xue X Y, Guo P X, et al. Effects of different nitrogen forms on leaves photosynthesis characteristics and yields of soybean [J]. Soybean Science, 2010, 29(5):900-905.)

[8] 李文龙,李喜焕,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. (Li W L, Li X H, Chang W S, et al. Effects of sowing date, planting densities and fertilizer levels on agronomic traits of Baodou 3 [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinic, 2014,23(2):107-113.)

[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. (Yu H J. Effects of plant density on photosynthetic characteristics and yield of soybean [J]. Soybean Science, 2009, 28(6):1115-1118.)

[10] 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. (Wang Y S, Ma H H. Response to photo-temperature conditions of days to flowering of soybean ecotypes from China[J]. Journal of Anhui Normal University (Natural Science), 2000, 23(1):40-46.)

[11] 杨志攀,张晓娟,蔡淑平,等. 大豆“短青春期”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. (Yang Z P, Zhang X J, Cai S P, et al. Response of short juvenility varieties to photoperiods I. Response to sowing dates [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2000, 22(3):35-38.)

[12] 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. (Yan M, Ning H L, Wang S Y, et al. Effect of light and temperature on reproductive processes and yield of soybean Heihe 45 [J]. Soybean Science, 2013, 32(3):328-332.)

[13] 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):1419-1425. (Guo S J, Yang K M, Huo J, et al. Influence of drought on leaf photosynthetic capacity and root growth of soybeans at grain filling stage [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(5):1419-1425.)

[14] 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. (Zhang H Y, Guo Y L, Wang L, et al. Effect of drought and re-watering on leaf photosynthetic physiology characteristics and yield of soybean [J]. Journal of Henan University (Natural Science), 2009, 39(2):183-188.)

[15] 王春艳,庞艳梅,李茂松,等. 干旱胁迫对大豆气孔特征和光合参数的影响[J]. 中国农业科技导报, 2013, 15(1):109-115. (Wang C Y, Pang Y M, Li M S, et al. Effects of drought stress on soybean stomatal characteristics and photosynthetic parameter [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2013, 15(1):109-115.)

[16] 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. (Lu W C, Liu Y H, Yan H R, et al. Preliminary study on the effect of planting date on soybean growth and yield components[J]. Heilongjiang Agricultural Science, 2001(3):17-19.)

[17] 李树臣,陈学珍,谢皓,等. 不同播期对夏播大豆产量及农艺性状的影响[J]. 北京农学院学报, 2003, 18(4):266-269. (Li S C, Chen X Z, Xie H, et al. Effect of sowing time on the yield and agronomic characters of summer soybeans[J]. Journal of Beijing Agricultural College, 2003, 18(4):266-269.)

[18] 王志新. 播期对不同生育期高油大豆油分 and 产量的影响[J]. 大豆科学, 2007, 26(6):965-968. (Wang Z X. Influence of sowing date on the oil and yield of different maturity high-oil soybean [J]. Soybean Science, 2007, 26(6):965-968.)

[19] 董丽杰,王文斌,吴纪安,等. 不同播期对黑河 38 大豆生长动态及产量的影响[J]. 大豆科学, 2008, 27(3):461-464. (Dong L J, Wang W B, Wu J A, et al. Effects of sowing dates on growth and yield of soybean Heihe 38 [J]. Soybean Science, 2008, 27(3):461-464.)

[20] 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. (Chen W J, Liang H, Tang F Y, et al. Effects of different planting time on agronomic characters, yield and seed quality of two spring soybean varieties[J]. Soybean Science, 2015, 34(6):993-999.)

[21] 赵银月,魏生广,代希茜,等. 播期对云南夏播大豆产量及农艺性状的影响[J]. 西南农业学报, 2015, 28(5):1926-1931. (Zhao Y Y, Wei S G, Dai X Q, et al. Effect of sowing date on yield and agronomic traits of summer soybean in Yunnan [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2015, 28(5):1926-1931.)

[22] 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. (Sun G W, Fu L S, Zhang F L, et al. Effects of sowing date and plant density on agronomic traits and yield for different soybeans [J]. Soybean Science, 2016, 35(3):423-427.)

[23] 张志国,高峰,高永刚,等. 播期对大豆生长状况及产量的影响[J]. 中国农学通报, 2017,33(7):22-26. (Zhang Z G, Gao F, Gao Y G, et al. Effect of sowing date on soybean growth and yield [J]. Soybean Science, 2017, 33(7):22-26.)

[24] 杨继芝,文涛,王竹,等. 播期对套作大豆幼苗生长与叶片光合性能的影响[J]. 作物杂志, 2008(5):54-58. (Yang J Z, Wen T, Wang Z, et al. Effect of sowing date on photosynthetic characteristics of leaves and growth of soybean seedling under cultivation pattern of wheat/corn/soybean [J]. Crops, 2008(5):54-58.)

[25] 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. (Wang L Z, Hua F J, Cao P P, et al. Effect of sowing date and climatic factor on yield and photosynthetic characteristics summer soybean [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2019, 41(5):750-757.)

[26] 傅金民,张庚灵,史春余,等. 大豆开花后叶片衰老规律的研究[J]. 西北植物学报, 2000,20(5):796-801. (Fu J M, Zhang G L, Shi C Y, et al. Senescence law of leaf after soybean flowering [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2000, 20(5):796-801.)