

种植方式对夏大豆鼓粒期叶片光合能力 及籽粒灌浆特性的影响

陈传信¹,唐江华¹,陈佳君¹,王娜²,符小文¹,杜孝敬¹,徐文修¹

(1.新疆农业大学农学院,新疆 乌鲁木齐 830052;2.新疆伊宁县农业技术推广中心,新疆 伊犁 835100)

摘 要:选用黑河45号大豆为试验材料,在 5.5×10^5 株 $\cdot$ hm⁻²密度下,设置等行距:30 cm(A)、40 cm(B)、60 cm(C)和宽窄行:“15 cm+30 cm”(D)、“15 cm+15 cm+60 cm”(E)5种植植方式处理,研究不同种植方式下夏大豆鼓粒期叶片光合能力及籽粒灌浆特性。结果表明,宽窄行处理的蒸腾速率(Tr)、气孔导度(G_s)、净光合速率(P_n)、叶面积指数(LAI)、光合势(LAD)比等行距处理分别增加16.92%~72.22%,12.50%~69.23%,7.73%~34.80%,1.13%~33.88%,5.87%~47.70%。宽窄行处理的籽粒阶段积累量、灌浆速率、灌浆持续时间平均值也高于等行距处理平均值。宽窄行处理的产量均高于等行距处理,宽窄行处理的平均产量比等行距处理的平均值增产24.51%。因此,宽窄行是促进复播大豆产量提高的最佳种植方式之一。

关键词:种植方式;夏大豆;宽窄行种植;光合特性;灌浆特性

中图分类号:S341.1; S565.1 **文献标志码:**A

Effect of planting patterns on photosynthetic capacity and grain filling characteristics of summer soybean at seed-filling stage

CHEN Chuan-xin¹, TANG Jiang-hua¹, CHEN Jia-jun¹, WANG Na²,

FU Xiao-wen¹, DU Xiao-jing¹, XU Wen-xiu¹

(1. Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China; 2. Center of Spreading Agriculture Techniques of Yining County, Yili, Xinjiang 835100, China)

Abstract: Using summer soybean Heihe 45, a field experiment was conducted to study the effects of planting patterns on photosynthetic capacity and grain filling characteristics of summer soybean at seed-filling stage with plant population density of 5.5×10^5 plant $\cdot$ hm⁻² of equal row spacing treatment in five planting patterns: 30 cm (A), 40 cm (B), 60 cm (C) and wide-narrow row treatment of “15 cm+30 cm” (D) and “15 cm+15 cm+60 cm” (E). The results suggested that transpiration rate (Tr), stomatal conductance (G_s), net photosynthetic rate (P_n), leaf area index (LAI), leaf area duration (LAD) of wide-narrow row spacing treatments were higher than those of equal row spacing treatments increased by 16.92%~72.22%, 12.50%~69.23%, 7.73%~34.80%, 1.13%~33.88%, 5.87%~47.70%. The average of grain phase accumulation, seed filling rate and seed filling duration of wide-narrow row spacing treatments were also higher than that of equal row spacing treatments. The yield of wide-narrow row spacing treatments were higher than that of equal row spacing treatments, the average yield of wide-narrow row spacing treatments was 24.51% higher than that of equal row spacing treatments. Therefore, the planting pattern of wide-narrow row spacing is one of the best cultivation patterns to improve yield increased for summer soybean.

Keywords: planting pattern; summer soybean; wide-narrow row spacing; photosynthetic characteristics; grain filling characteristics

种植方式是协调高密度条件下个体通风受光条件及营养状况并最终作用于产量的因素之一^[1]。籽粒干物质增加动态、灌浆速率、灌浆持续时间和最终粒重受到行距的影响^[2]。魏珊珊等^[3]认为,较于等行距处理,宽窄行种植改善冠层光照,提高叶片净光合速率和群体叶面积指数,增强了籽粒灌浆能力。钱茂翔等^[4]认为,宽窄行种植方式改善了薏苡群体结构,提高叶片光合能力和籽粒灌浆能力。张双利等^[5]认为,小麦在宽窄行种植模式下籽粒灌浆速率较高,利于光合同化物向籽粒中转化,库端养分利用转化较快。以往关于种植方式对灌浆特性的研究多集中在禾谷类作物,而关于种植方式对夏大豆灌浆特性的研究鲜有报道。大豆鼓粒期是决定其产量的关键时期^[6],在大豆植株的生长发育过程中,鼓粒期的籽粒干物质积累状况直接影响后期大豆产量的形成^[7]。近年,随着新疆气候朝着暖湿方向变化^[8]、热量资源增加^[9],伊犁河谷地区气温增加明显^[10-12],无霜期延长,麦后复种大豆呈扩大趋势^[13]。目前关于大豆的研究多集中在种植密度^[14]、耕作方式^[15,16]、水^[17]、氮^[18]、水氮耦合^[19]等方面,而有关种植方式^[20]的研究较少,尤其是关于种植方式对复播大豆籽粒灌浆特性的研究鲜有报道。为此,本试验通过对不同种植方式复播大豆鼓粒期叶片光合能力、籽粒灌浆特性及产量的研究,为北疆复播大豆高产栽培选择适宜的种植方式提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2016 年 7-11 月在新疆伊宁县农业科技示范园进行。该区位于伊犁河谷中部,属温带大陆性半干旱气候,冬春温暖湿润,夏秋干燥较热,昼夜温差明显,年平均日照时数 2800~3000 h,年均降水量 257 mm。全年无霜期 169~175 d。0~30 cm 土壤基础肥力:有机质 12.56 g·kg⁻¹,碱解氮 94.8 mg·kg⁻¹,速效磷 18.6 mg·kg⁻¹,速效钾 125 mg·kg⁻¹,pH 值 8.2。

1.2 试验设计

试验采取单因素随机区组试验设计。前茬作物为冬小麦,供试大豆品种为黑河 45 号。在同一密度条件下,设置行距×株距分别为:30 cm×6 cm(A)、40 cm×4.5 cm(B)、60 cm×3 cm(C)、(15+30)cm×8 cm(D)、(15+15+60)cm×6 cm(E)五个处理,其中处理 A、B、C 为等行距设置,处理 D、E 为宽窄行设置。于 2016 年 7 月 7 日,按密度 5.5×10⁵株·hm⁻²

进行人工播种。小区面积为 5 m×6 m,3 次重复。灌溉方式为滴灌,全生育期滴水 6 次,共滴水 4200 m³·hm⁻²,各处理均于开花期随水滴施尿素 150 kg·hm⁻²,其它田间管理措施同当地大田。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 光合特性的测定 各小区于鼓粒期选取代表性植株 4 株,用 TPS-2 光合仪于晴天 11:00-13:00 测定倒三叶的胞间 CO₂(*C_i*)、气孔导度(*G_s*)、净光合速率(*P_n*)、蒸腾速率(*T_r*)。同时于各处理小区选取 4 株植株,采用打孔称重法测定叶面积,并根据公式测定叶面积指数(LAI)及光合势(LAD)。

1.3.2 籽粒灌浆速率的测定 在花期选择长势一致的植株挂牌标记,从灌浆后 5 d 开始取样,每隔 4 d 取样 1 次,每次各处理选取 10 株,每株人工脱粒。各处理籽粒混匀,随机选出 100 粒,在 105℃ 杀青 0.5 h,80℃ 烘干至恒重,测定百粒重。

1.3.3 农艺性状及产量测定 大豆成熟后,每小区选取长势均匀一致的大豆连续 10 株进行室内考种,测定大豆株高、单株荚数、单株粒数和百粒重等指标。着粒密度=单株粒数/株高。小区实收计产。

1.3.4 数据分析及处理方法采用 Microsoft Excel 2010 处理数据,用 Origin 8.5 软件制图,用 DPS 7.05 和 SPSS 19.0 统计分析。

2 结果与分析

2.1 种植方式对复播大豆鼓粒期叶片光合特性的影响

由表 1 可以看出,不同处理鼓粒期光合特征参数产生差异。等行距处理的蒸腾速率(*T_r*)、气孔导度(*G_s*)、净光合速率(*P_n*)、叶面积指数(LAI)、光合势(LAD)均表现为随行距增大株距的减少而减少,但胞间 CO₂(*C_i*)则表现出相反的趋势,说明缩小行距增大株距,增大了个体空间,植株分布均匀,减少植株间资源竞争,提高了植株的光合能力。比较宽窄行 D、E 处理可知,处理 D 的 *T_r*、*G_s*、*P_n*、LAI、LAD 均高于处理 E,这说明处理 D 的光合能力优于处理 E。进一步比较等行距和宽窄行处理的各项光合特征参数可知,等行距各处理的光合特征参数与宽窄行各处理的均呈显著差异,且宽窄行两个处理的 *T_r*、*G_s*、*P_n*、LAI、LAD 的平均值比等行距处理的平均值分别增加了 39.97%、36.36%、18.29%、16.22%、25.72%,这说明宽窄行较等行距种植方式更有利于植株光合能力的提高。

表 1 不同处理鼓粒期光合特征参数

Table 1 Photosynthetic characteristics of summer soybean at seed filling period under different treatments

处理 Treatment	胞间 CO ₂ 浓度 <i>C_i</i> /(μmol · mol ⁻¹)	蒸腾速率 <i>T_r</i> /(mmol · m ⁻² · s ⁻¹)	气孔导度 <i>G_s</i> /(mol · m ⁻² · s ⁻¹)	净光合速率 <i>P_n</i> /(μmol · m ⁻² · s ⁻¹)	<i>LAI</i>	<i>LAD</i> /(10 ⁴ m ² · d ⁻¹ · hm ⁻²)
A	217.58c	2.60b	0.16c	19.15b	5.29b	70.64c
B	239.25b	2.18c	0.15d	18.26b	4.73c	59.21d
C	263.00a	1.80d	0.13e	15.86c	4.28d	53.29e
D	190.50e	3.10a	0.22a	21.38a	5.73a	78.71a
E	204.50d	3.04a	0.18b	20.63a	5.35b	74.79b

注:同列不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。下同。
Note: The different letters in the column mean significant differences at 0.05 level, the same as below.

2.2 种植方式对复播大豆百粒重的影响

如图 1,不同种植方式复播大豆籽粒干重变化趋势相似,均表现出鼓粒后籽粒干重持续增长,灌浆前期(0~15d)速度缓慢,中期(15~25d)增长迅速,后期增长缓慢。不同种植方式处理间籽粒干物质积累量产生差异。宽窄行的 D 和 E 处理的籽粒干物质积累量均高于等行距处理,尤以宽窄行 D 处理的干物质积累量最高。等行距处理间前期差异不显著,中后期处理 A 略高于处理 B,且均显著高于处理 C。说明适当缩小行距增大株距,可增加中后期籽粒干物质积累量;而采用宽窄行种植更有利于籽粒灌浆速度的提高,促进粒重的增加。通过对不同处理复播大豆籽粒灌浆进程拟合 Logistic 方程可知(表 2),理论百粒重(K)值也表现出宽窄行处理高于等行距处理,植株分布均匀的种植方式可促进籽粒干物质的积累。

2.3 种植方式对大豆籽粒灌浆特征参数的影响

由表 3 可知,不同灌浆阶段籽粒干物质积累量不同,各处理均以速增期籽粒干物质积累量最大,且速增期灌浆速率最大,达到 0.70~0.80 g · grain⁻¹ · d⁻¹。

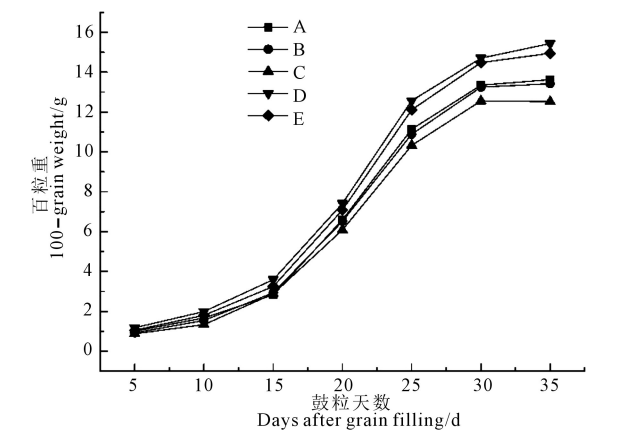


图 1 不同种植方式复播大豆百粒重的动态变化

Fig.1 The dynamic change of 100-grain weight of summer soybean under different planting patterns

表 2 不同处理复播大豆籽粒灌浆的 Logistic 方程参数估计值

Table 2 Parameters of Logistic equation of seed filling process under different treatments

处理 Treatment	$Y = k / (1 + a^{e^{-bt}})$			决定系数 <i>R</i> ²
	<i>k</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	
A	14.39	128.24	0.24	0.9934
B	14.23	121.46	0.24	0.9949
C	13.31	130.67	0.24	0.9942
D	16.34	87.89	0.22	0.9943
E	15.81	113.61	0.23	0.9945

不同处理条件下阶段特征参数不同。等行距条件下,随着行距缩小株距增大,复播大豆各阶段籽粒干重、阶段灌浆速率、最大灌浆速率、平均灌浆速率均有所增加,最大灌浆速率的出现时间有所延后。宽窄行处理的籽粒阶段积累量、阶段灌浆速率、最大灌浆速率、平均灌浆速率均高于等行距处理;宽窄行阶段灌浆时间除渐增期略低于等行距外,速增期和缓增期的灌浆持续时间均高于等行距。说明在本试验条件下,缩小行距加之宽窄行种植更有利于提高速增期籽粒干重,对籽粒灌浆进程的贡献最大。

2.4 大豆与籽粒灌浆参数的关系

由表 4 可以看出,复播大豆粒重与 *T*₂、*T*₃、*T*、*R*₁、*R*₂、*R*₃、*R*_m 和 *R*_{mean} 呈极显著正相关,与 *T*₁ 呈极显著负相关,与 *T*_m 无显著相关性。*T*₂、*T*₃、*T*、*R*₁、*R*₂、*R*₃、*R*_m、*R*_{mean} 与 *T*₁ 极显著负相关关系,而与 *T*_m 呈极显著正相关。由此可见,复播大豆的平均灌浆速率、最大灌浆速率、灌浆持续期,尤其灌浆中后期的持续时间及阶段灌浆速率的大小对复播大豆的粒重形成具有显著的影响作用。因此,相对缩短复播大豆灌浆期 *T*₁ 的持续时间、延长 *T*₂、*T*₃ 的持续时间、提高灌浆速率,对最终粒重的形成作用重大。

表 3 不同处理对复播大豆籽粒灌浆阶段特征参数的影响

Table 3 Effects of different treatments on filling parameters in each phase of summer soybean												
处理 Treatment	渐增期			速增期			缓增期			$T_{\max}$ /d	$R_{\max}$ /(g · grain ⁻¹ · d ⁻¹)	R_{mean} /(g · grain ⁻¹ · d ⁻¹)
	T_1	W_1	R_1	T_2	W_2	R_2	T_3	W_3	R_3			
	/d	/g	/(g · grain ⁻¹ · d ⁻¹)	/d	/g	/(g · grain ⁻¹ · d ⁻¹)	/d	/g	/(g · grain ⁻¹ · d ⁻¹)			
A	14.83	3.04	0.21	11.04	8.31	0.75	13.75	3.04	0.22	20.35	0.86	0.36
B	14.77	3.01	0.20	11.17	8.21	0.74	13.90	3.01	0.22	20.35	0.84	0.36
C	14.78	2.81	0.19	10.94	7.68	0.70	13.62	2.81	0.21	20.24	0.80	0.34
D	14.34	3.45	0.24	11.95	9.43	0.79	14.88	3.45	0.23	20.32	0.90	0.40
E	14.76	3.34	0.23	11.38	9.12	0.80	14.17	3.34	0.24	20.45	0.91	0.39

注: T_1 : 灌浆渐增期; T_2 : 灌浆速增期; T_3 : 灌浆缓增期; $W_1, W_2, W_3, R_1, R_2, R_3$ 分别代表 T_1, T_2, T_3 的籽粒增重和灌浆速率; $T_{\max}$: 最大灌浆速率出现时间; $R_{\max}$: 最大灌浆速率; R_{mean} : 平均灌浆速率。
Note: T_1 : seed-filling pyramid period; T_2 : seed-filling fast increase period; T_3 : seed-filling slowly increase period; $W_1, W_2, W_3, R_1, R_2, R_3$: mean weight increase of seed and seed-filling rate at T_1, T_2, T_3 ; $T_{\max}$: days reaching the maximum seed-filling rate; $R_{\max}$: maximum seed-filling rate; R_{mean} : seed-filling rate.

表 4 复播大豆灌浆参数与粒重的关系

Table 4 Correlation coefficients between seed filling parameters and grain weight of summer soybean											
参数 Parameter	T_1	T_2	T_3	T	T_{m}	R_1	R_2	R_3	R_{m}	R_{mean}	
T_1	1.00										
T_2	-0.94 **	1.00									
T_3	-0.94 **	1.00 **	1.00								
T	-0.89 **	0.99 **	0.99 **	1.00							
T_{m}	0.63 **	-0.33	-0.33	-0.21	1.00						
R_1	-0.89 **	0.88 **	0.88 **	0.86 **	-0.45 *	1.00					
R_2	-0.67 **	0.66 **	0.66 **	0.64 **	-0.33	0.92 **	1.00				
R_3	-0.63 **	0.63 **	0.63 **	0.61 **	-0.31	0.90 **	0.98 **	1.00			
R_{m}	-0.64 **	0.64 **	0.65 **	0.63 **	-0.31	0.91 **	0.98 **	0.99 **	1.00		
R_{mean}	-0.82 **	0.63 **	0.83 **	0.81 **	-0.38	0.98 **	0.96 **	0.95 **	0.96 **	1.00	
粒重 Grain weight	-0.84 **	0.87 **	0.87 **	0.85 **	-0.36	0.99 **	0.94 **	0.92 **	0.94 **	0.99 **	

注: *, ** 表示在 0.05 和 0.01 水平显著。
Note: *, ** mean significant at the 0.05 and 0.01 probability levels.

2.5 种植方式对大豆产量的影响

由表 5 可知, 等行距处理的株高表现为随行距缩小株距增大而增高的变化趋势。宽窄行处理平均株高 63.19 cm, 比等行距处理平均株高高出 10.74%; 不同种植方式对复播大豆产量的影响表现为宽窄行处理均高于等行距处理, 且差异显著, 宽窄行处理的平均产量比等行距处理平均产量高出 24.51%。进一步比较产量构成因素可知, 宽窄行处

理的单株荚数、单株粒数和单株粒重均高于等行距处理, 尤以宽窄行处理的单株粒重显著高于等行距处理, 高出 1.15~2.55 g。进一步说明宽窄行处理的产量高于等行距处理, 这主要来自于单株荚、粒和粒重的增加。着粒密度以宽窄行 D 最大为 1.04 粒/cm, 但各处理间差异不明显, 可能是因为株高增加比例和单株粒数的增加比例不一致所导致的。

表 5 大豆农艺性状、产量及产量构成因素

Table 5 The agronomic traits, yield and yield components of soybean						
处理 Treatment	株高/cm Plant height	着粒密度/(粒 · cm ⁻¹) Seeding density	单株荚数/个 Pods numbers	单株粒数/粒 Kernel number	单株粒重/g Seed weight	产量 /(kg · hm ⁻²)
A	59.75b	1.02a	24.30b	61.20b	8.26b	2973.03b
B	56.08c	1.00a	21.40c	55.80c	7.59c	2733.55c
C	55.35c	1.01a	19.57d	55.70c	7.09d	2554.00d
D	63.95a	1.04a	27.14a	66.50a	9.64a	3469.54a
E	62.43ab	1.02a	25.00b	63.40ab	9.41a	3387.27a

3 讨论与结论

适宜的种植方式是提高作物光合特性的重要措施^[21]。本研究中不同种植方式复播大豆鼓粒期光合特性不同, 等行距处理表现出适当缩小株距可促进植株光合能力的提高; 宽窄行处理的光合特征值优于等行距处理, 尤以宽窄行处理 D 的光合能力最高, 这与刘铁东^[22] 和卫丽^[23] 等宽窄行种植

促进玉米叶片光合特性的提高结果基本一致。
光合能力的提高为籽粒干物质的积累奠定了基础。鼓粒期籽粒干物质积累直接影响大豆的最终产量^[24], 粒重大小取决于灌浆速率和灌浆持续时间^[25]。本试验中, 等行距处理随行距缩小株距增大, 灌浆能力增强, 籽粒干物质增加, 这与张露雁^[2] 等缩小行距改善了小麦的籽粒灌浆特性的结果一致。宽窄行处理的籽粒干物质积累量明显高于等

行距处理,其中宽窄行处理的最大理论百粒重平均值较等行距处理的平均值增加 15.01%,宽窄行处理的阶段灌浆速率、灌浆持续时间优于等行距处理,这与魏珊珊^[3]等宽窄行种植增强了籽粒灌浆能力的研究结果一致。生产上应通过调整种植方式,使群体通风透光良好,从而延长植株叶片的功能期,保证籽粒鼓粒充分。平均灌浆速率、最大灌浆速率、灌浆持续期显著影响复播大豆粒重的形成。

籽粒干物质的积累是形成产量的关键因素。种植方式不同的情况下,各处理产量产生差异。等行距条件下 A 处理产量最高较 B 处理、C 处理分别增加 8.76%和 16.41%,说明缩小行距增大株距可以提高复播大豆产量,这可能是因为缩小行距增大株距使植株在鼓粒期保持较高的光合能力,进而提高籽粒灌浆特性,从而促进产量的增加,这与周勋波^[26]等雨养农业条件下夏大豆随行距变小产量增加的结果一致,但与韩秉进^[27]等春大豆的株、行距越接近,产量越高的研究结果不同。这可能是由于种植方式、生态条件、品种特性的差异所导致。宽窄行处理的产量明显高于等行距处理,以宽窄行处理 D 的产量最高,比等行距处理平均值增加 26.00%,这与武志海^[28]、刘铁东^[29]和梁熠^[30]等人采用宽窄行种植方式,提高产量结果一致。宽窄行处理的平均单株荚数、平均单株粒数和平均单株粒重比等行距处理的平均值分别增加 19.83%、12.83%、24.56%,这说明宽窄行处理产量的增加主要来自于单株荚粒数的提高。

本研究表明,不同种植方式下复播大豆鼓粒期光合能力及灌浆特征产生差异,影响到产量的形成。宽窄行处理提高了鼓粒期光合能力,改善了灌浆特性,促进了籽粒干物质的积累,进而提高了产量。因此,在本试验中,宽窄行种植方式是复播大豆高产栽培的有效措施。

参 考 文 献:

[1] 杨利华,张丽华,张全国,等.种植样式对高密度夏玉米产量和株高整齐度的影响[J].玉米科学,2006,14(6):122-124.

[2] 张露雁,盛坤,孟娟,等.行距配置对紧凑型冬小麦品种灌浆特性的影响[J].河南农业科学,2014,43(10):15-18.

[3] 魏珊珊,王祥宇,董树亭.株行距配置对高产夏玉米冠层结构及籽粒灌浆特性的影响[J].应用生态学报,2014,25(2):441-450.

[4] 钱茂翔,李艾莲.行距配置和种植密度对薏苡光合生理、籽粒灌浆及产量的影响[J].中国农学通报,2016,32(13):97-102.

[5] 张双利,王晨阳,胡吉帮,等.行距配置对高产冬小麦籽粒灌浆特性及淀粉和蛋白质积累的影响[J].麦类作物学报,2010,30(4):704-709.

[6] 何桂红,吕国华,吴奇峰.新疆绿洲高产大豆籽粒干物质积累与产量的关系研究[J].陕西农业科学,2005(1):11-14.

[7] 董钻.大豆产量生理[M].北京:中国农业出版社,2000:190.

[8] 张山清,普宗朝,伏晓慧,等.气候变化对新疆自然植被净第一性生产力的影响[J].干旱区研究,2010,27(6):905-914.

[9] 普宗朝,张山清,李景林,等.近 50 年新疆冬季热量资源时空变化[J].干旱地区农业研究,2014,32(2):40-46.

[10] 李聪,曹占洲,丁林,等.新疆伊犁河谷地区 50a 来气候变化特征分析[J].山西农业科学,2012,40(5):508-514.

[11] 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.

[12] 田彦君,张山清,徐文修,等.北疆农业热量资源时空变化及其对熟制的影响研究[J].干旱地区农业研究,2016,34(5):227-233,239.

[13] 唐江华,苏丽丽,张永强,等.不同耕作方式对北疆夏大豆荚粒空间分布及产量的影响[J].干旱地区农业研究,2015,33(6):113-116,166.

[14] 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,2015,35(3):571-578.

[15] 唐江华,苏丽丽,罗家祥,等.不同耕作方式对夏大豆干物质积累及转运特性的影响[J].核农学报,2015,29(10):2026-2032.

[16] 苏丽丽,唐江华,李亚杰,等.不同耕作方式对夏大豆干物质生产及土壤水分的影响[J].干旱地区农业研究,2016,34(4):197-204+250.

[17] 张永强,张娜,李亚杰,等.滴灌量对北疆复播大豆耗水特性及干物质积累、转运的影响[J].水土保持研究,2016,23(2):111-116.

[18] 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.

[19] 李亚杰,徐文修,张娜,等.水氮耦合对滴灌复播大豆干物质积累氮素吸收及产量的影响[J].干旱地区农业研究,2016,34(5):79-84,90.

[20] 彭姜龙,张永强,唐江华,等.株行距配置对夏大豆光合特性及产量的影响[J].大豆科学,2015,34(5):794-800+807.

[21] 房全孝,陈雨海,李全起,等.土壤水分对冬小麦生长后期光能利用及水分利用效率的影响[J].作物学报,2006,32(6):861-866.

[22] 刘铁东,宋凤斌.宽窄行种植方式对玉米光截获和辐射利用效率的影响[J].华北农学报,2011,26(6):118-123.

[23] 卫丽,熊友才,马超,等.不同群体结构夏玉米灌浆期光合特征和产量变化[J].生态学报,2011,31(9):2524-2531.

[24] 张琦,潘忠.不同种植方式的大豆籽粒干物质积累动态及产量分析[J].农业科技通讯,2015(9):122-125.

[25] 李国红,杨恒山,张玉芹,等.不同栽培模式下春玉米籽粒灌浆特性的研究[J].干旱地区农业研究,2013,31(3):1-6,73.

[26] 周勋波,孙淑娟,陈雨海.株行距配置对夏大豆光利用特性、干物质积累和产量的影响[J].中国油料作物学报,2008,30(3):322-326.

[27] 韩秉进.改善空间因子对大豆生长及产量的影响[J].作物学报,2006,32(7):1097-1100.

[28] 武志海,张治安,陈展宇,等.大垄双行种植玉米群体冠层结构及光合特性的解析[J].玉米科学,2005,13(4):62-65.

[29] 刘铁东,宋凤斌.灌浆期玉米冠层微环境对宽窄行种植模式的反应[J].干旱地区农业研究,2012,30(3):37-40+45.

[30] 梁熠,齐华,王敬亚,等.宽窄行栽培对玉米生长发育及产量的影响[J].玉米科学,2009,17(4):97-100.