



龚牙会, 杨敏, 林萍, 高超, 杨立达, 朱文雪, 彭新月, 袁晓婷, 李雨泽, 杨文钰, 雍太文. 播期对不同海拔地区带状间作大豆茎叶生长和产量的影响[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(10): 187-198.

GONG Yahui, YANG Min, LIN Ping, GAO Chao, YANG Lida, ZHU Wenxue, PENG Xinyue, YUAN Xiaoting, LI Yuze, YANG Wenyu, YONG Taiwen. Effects of sowing date on the stem and leaf growth and yield of soybean strip intercropping at different altitudes[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(10): 187-198.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.10.16

播期对不同海拔地区带状间作大豆茎叶生长和产量的影响

龚牙会 杨敏 林萍 高超 杨立达 朱文雪 彭新月

袁晓婷 李雨泽 杨文钰 雍太文*

(四川农业大学 农学院/农业农村部西南作物生理生态与耕作重点实验室/

四川省作物带状复合种植工程技术研究中心, 成都 611130)

摘 要 为明确四川省凉山州不同海拔地区的大豆适宜品种和播期,采用裂区试验设计,在低海拔(1 600 m、LA),中海拔(2 000 m、MA)和高海拔(2 400 m、HA)地区,选用大豆‘齐黄 34’(‘QH 34’)和‘成豆 18’(‘CD 18’)为试验材料,于4月21日(早播、 S_1)和5月21日(晚播、 S_2)播种,调查大豆生育期,测定并分析3个海拔地区大豆透光率、茎秆与叶片干物质分配率及产量等指标。结果表明:播期与品种对带状间作大豆的生长发育、光环境、干物质分配、产量均有显著影响($P<0.05$)。与 S_2 相比,3个海拔地区的 S_1 播期下‘QH 34’和‘CD 18’生育期分别延长15(LA)、19(MA)、5(HA)和15(LA)、15(MA)、7 d(HA)($P<0.05$),冠层透光率和倒伏率均显著降低($P<0.05$),分枝数和叶面积指数则显著增加($P<0.05$);其中LA的分枝数增加34.21%和17.39%,‘CD 18’在成熟期茎秆的干物质分配率升高9.24%($P<0.05$)。 S_1 播期下各海拔‘QH 34’产量较 S_2 分别增加10.01%(LA)、25.37%(MA)、43.56%(HA)($P<0.05$),‘CD 18’的产量则相应增加23.23%(LA)、18.73%(MA)、62.27%(HA)($P<0.05$), S_1 播期下‘QH 34’和‘CD 18’在3个海拔地区的产量分别为2 611.26和2 740.18(LA)、2 627.87和2 947.02(MA)、1 115.22和1 405.96 kg/hm²(HA);其中以‘CD 18’在MA地区 S_1 产量最高。综上,在四川省凉山州海拔1 600~2 400 m地区,选用‘CD 18’适时早播(4月21日, S_1)有利于大豆玉米带状间作模式下大豆增产。

关键词 大豆-玉米带状间作; 海拔; 播期; 茎叶特性; 产量

中图分类号 S565.1

文章编号 1007-4333(2024)10-0187-12

文献标志码 A

Effects of sowing date on the stem and leaf growth and yield of soybean strip intercropping at different altitude areas

GONG Yahui, YANG Min, LIN Ping, GAO Chao, YANG Lida, ZHU Wenxue, PENG Xinyue, YUAN Xiaoting, LI Yuze, YANG Wenyu, YONG Taiwen*

(College of Agronomy/Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Farming System in Southwest of Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Sichuan Engineering Research Center for Crop Strip Intercropping System, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

Abstract In order to determine the appropriate soybean varieties and sowing dates at different altitudes in Liangshan Prefecture, Sichuan Province, a split-area experimental design was implemented. The experimental materials used were soybean varieties ‘Qihuang 34’ (‘QH 34’) and ‘Chengdou 18’ (‘CD

收稿日期: 2024-03-21

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFD1100200); 国家现代农业产业技术体系专项(CARS-04-PS21)

第一作者: 龚牙会(ORCID:0009-0006-8311-1364), 硕士研究生, E-mail: 1989595628@qq.com

通讯作者: 雍太文(ORCID:0000-0002-4650-0727), 教授, 主要从事作物高产栽培与营养生理生态研究, E-mail: scndytw@qq.com

18') sown at low altitude (1 600 m, LA), middle altitude (2 000 m, MA) and high altitude (2 400 m, HA). Soybean experimental varieties were planted on April 21th (early sowing, S₁) and May 21th (late sowing, S₂) at each altitude, respectively. The growth period of soybean was recorded, and the light transmittance, stem, leaf and dry matter distribution ratio and yield of soybean at three altitudes were measured and analyzed. The results showed that: The sowing dates and varieties had significant effects ($P < 0.05$) on the growth and development, light environment, dry matter allocation, and yield of soybean in strip intercropping. Compared with S₂, the growth period of 'QH 34' and 'CD 18' at three different altitudes of S₁ was extended by 15, 19, 5 d, and 15, 15, 7 d, respectively ($P < 0.05$). The canopy transmittance and lodging rate were significantly reduced ($P < 0.05$), while the number of branches and leaf area index increased significantly ($P < 0.05$). Among them, the number of branches increased by 34.21% and 17.39%, the dry matter distribution ratio of 'CD 18' at maturity pods was elevated by 9.24% ($P < 0.05$) in LA. The yield of 'QH 34' at each altitude in the S₁ sowing date increased by 10.01% (LA), 25.37% (MA), and 43.56% (HA) ($P < 0.05$) compared with the S₂ sowing date. Similarly, the yield of 'CD 18' increased by 23.23% (LA), 18.73% (MA), and 62.27% (HA) ($P < 0.05$) compared to S₂ sowing date. The yields of 'QH 34' and 'CD 18' in the three altitude areas under the S₁ sowing date were 2 611.26 and 2 740.18 (LA), 2 627.87 and 2 947.02 (MA), 1 115.22 and 1 405.96 kg/hm² (HA); Among them, 'CD 18' had the highest yield in MA under S₁ sowing date. In conclusion, in the area with an altitude of 1 600 - 2 400 m in Liangshan Prefecture of Sichuan Province, the selection of 'CD 18' for timely early sowing (April 21th, S₁) is beneficial to increasing soybean yield under the soybean-maize strip intercropping system.

Keywords soybean-maize strip intercropping; altitude; sowing date; stem and leaf characteristics; yield

大豆是我国重要的粮油作物,也是脂肪和蛋白质的主要来源,在国家粮食安全中占有重要地位^[1]。国家统计局数据显示,2022年我国大豆生产量和进口量分别为2 028万和9 053万 t,供需缺口巨大,为实现“中国饭碗应该主要装中国粮”这一目标应提高大豆产量。大豆玉米带状复合种植技术将高、低位作物搭配,高效利用土地和光热等资源,在栽培方式上选择适宜的大豆和玉米品种及播期可力争玉米基本不减产的同时多收一季大豆^[2]。四川省凉山州地域辽阔,受地形影响光热资源在时间和空间上分布不均导致境内自然灾害频发,不同时期主要有干旱、洪涝、霜冻等条件限制。因此,选择适宜的大豆品种和播种日期来适应当地独特的耕地条件对提高大豆产量至关重要。

大豆是典型的喜光温作物,产量的最终形成不仅与自身基因型有关,同时因环境条件而异^[3],充足的光照是形成大豆高产的重要环境条件^[4-6],生长季末期气温升高或降低都不利于作物生长发育,因此播期具有重要的调节意义^[7]。播期的改变会直接影响大豆生长发育过程中茎秆、叶片等形态的构建^[8-9],安磊等^[10]、程艳波等^[8]研究表明,随着播期推迟,大豆的株高和主茎节数增加,分枝数减少,结荚高度增加。适时播种是大豆增产的有效栽培措施,

早熟大豆品种适当早播可增加干物质向荚的分配率,降低倒伏率,更利于大豆的产量构成^[11],产量变异性最小化,避免极端天气对大豆整个生育时期的影响^[12]。

当前,针对光热资源丰富、立体气候明显^[13]的四川省凉山州地区大豆-玉米带状复合种植系统下播期和品种协同对产量影响的研究鲜见报道。本研究在四川省凉山州3个海拔地区选择2个大豆品种和2个播期处理协同搭配,测定并分析不同生育时期大豆的透光率、茎秆、叶片、干物质分配率及产量等指标,旨在探究凉山州海拔1 600~2 400 m的地区大豆-玉米带状间作模式下大豆最适品种和最佳播期,以期为当地垂直分布的气候类型下实现大豆增产增效提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点及材料

在四川省凉山州美姑县(102°53'—103°21' E, 28°02'—28°54' N)开展试验。美姑县境内属低纬度高原性气候,年均气温11.4℃,年日照1 790.7 h,年均降水量814.6 mm,无霜期240 d。供试玉米品种选用云南滇玉种业有限公司提供的‘富华22号’,大豆品种选用四川省农科院提供的适宜春播的少

分枝型品种‘齐黄 34’(‘QH 34’)和多分枝型品种‘成豆 18’(‘CD 18’)

1.2 试验设计

试验采用裂区试验设计,主区为不同的海拔地区:低海拔的候古莫镇各补乃拖村(1 600 m、LA),中海拔的九口乡九口村(2 000 m、MA),高海拔的拉马镇子史村(2 400 m、HA);裂区为大豆品种:‘齐黄 34’(‘QH 34’)和‘成豆 18’(‘CD 18’);裂区为不同播期,4月21日(S_1)和5月21日(S_2);玉米穴距 28 cm,穴留双株;大豆株距 10 cm,穴留单株,玉米于4月中上旬播种,大豆按设计的播期播种,玉米:大豆按 2:4 带状间作种植,玉米带宽 40 cm,大豆带宽 100 cm,玉米带与大豆带间距 60 cm,生产单元宽 2.6 m,长 5.0 m,每小区 2 个生产单元,面积 26 m²,重复 3 次。大豆施肥量为纯 P₂O₅ 82.4 kg/hm²、K₂O 68.7 kg/hm²,在窄行大豆中部开沟施肥;间作玉米氮肥 240 kg/hm²,分 2 次施用,磷肥和钾肥 27 kg/hm²作为底肥一次性施用。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 大豆生育期记载

采用国际上比较通用的 Fehr 等^[14]方法记载各处理下大豆的生育期。

1.3.2 光合有效辐射的测定

于大豆盛花期(R_2)、鼓粒期(R_6)测定大豆光合有效辐射(PAR),选择晴天上午用美国 LI-COR 公司的 LI-1400 光量子仪测定大豆各层 PAR 并计算透光率。数据采集的空间范围:无遮光环境的光合有效辐射(I_0)、大豆内部各个部位光合有效辐射(I),透光率= $I/I_0 \times 100\%$ 。

1.3.3 生物量和形态指标测定

于大豆五叶期(V_5)、鼓粒期(R_6)用日本柯尼卡美能达(Konica Minolta)株式会社的 SPAD-502 叶绿素仪测定大豆倒三叶 SPAD,同时取大豆植株叶片,使用 Image Pro Plus 软件分析得出叶面积并计算叶面积指数(LAI)。在大豆的 R_6 时期调查倒伏情况。

叶面积指数=单株叶面积×单位面积总株数/单位土地面积

倒伏率=单位面积倒伏总数/单位面积总株数×100%。

大豆的鼓粒期(R_6)、成熟期(R_8)将植株茎、叶、荚分别装纸袋于 105℃下杀青 30 min,随后 80℃烘

干称重,得各器官干物质重,计算干物质分配率,计算公式如下:

$$\text{干物质分配率} = C/W \times 100\%$$

式中: C ,作物某一器官在一定时期内的干物质重量, g ; W ,作物所有器官在这段时间内的干物质重量, g 。

1.3.4 产量及产量构成测定

于大豆成熟期,在各测产带按边行、中行连续取 10 株,共 20 株大豆,考查大豆的农艺性状,计算产量、经济系数,计算公式如下:

大豆产量=有效株数×单株粒数×百粒重/100

经济系数=籽粒产量/地上部植株干物质重。

1.4 数据分析及作图

采用 Microsoft Excel 2016 进行数据整理,使用 Origin 2023 软件进行方差分析,以 LSD 多重比较法进行显著性检验($P < 0.05$),用 Graph pad Prism 9.5 作图。

2 结果与分析

2.1 播期对不同海拔地区大豆生育期的影响

由表 1 可知,海拔、品种及播期处理均对大豆的生育期有显著的影响($P < 0.05$),随着播期推迟,‘QH 34’和‘CD 18’的生育期逐渐缩短,随着海拔升高生育期逐渐延长。与 S_1 相比, S_2 的‘QH 34’和‘CD 18’生育期逐渐缩短,主要表现在出苗至始花阶段;在 LA、MA、HA 地区,‘QH 34’生育期分别缩短 15、19、5 d,‘CD 18’生育期分别缩短 15、15、7 d。相较于‘QH 34’,‘CD 18’在 LA、MA、HA 地区 S_1 的总生育期分别延长 6、4、12 d, S_2 的总生育期延长 6、8、10 d。

2.2 播期对不同海拔地区大豆透光率的影响

由图 1 可知,大豆植株冠层的透光率随着播期推迟而升高。与 S_1 相比,3 个地区 S_2 的‘QH 34’在盛花期(R_2)冠层透光率分别升高 11.70%(LA)、5.92%(MA)、4.78%(HA)($P < 0.05$),在鼓粒期(R_6)分别升高 1.26%(LA)、18.20%(MA)、12.19%(HA)($P < 0.05$);‘CD 18’在盛花期冠层透光率分别升高 4.56%(LA)、10.62%(MA)、7.16%(HA)($P < 0.05$),在鼓粒期分别升高 1.49%、5.32%、6.20%($P < 0.05$)。

由图 2 和图 3 可知,大豆植株中、下部的透光率在盛花期(R_2)随着播期推迟而降低,在鼓粒期(R_6)则随

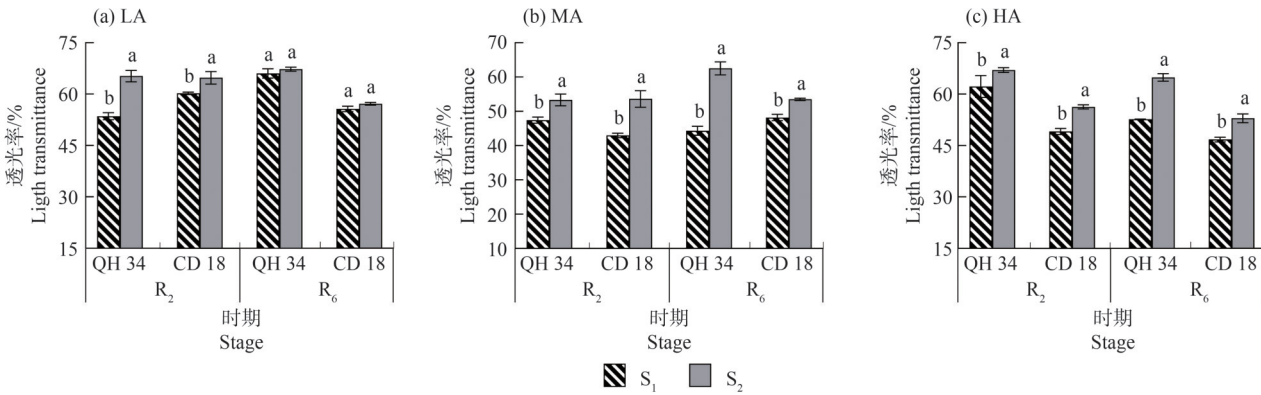
表1 不同播期处理的低、中、高海拔地区大豆生育期

Table 1 Growth period of soybean at low , middle and high altitudes at different sowing dates

海拔 Altitude	品种 Variety	播期处理 Sowing treatment	出苗 ED	始花 BD	始荚 FP	成熟 MD	出苗至始花期/d DEB	始花至始荚期/d DBK	全生育期/d DEM
LA	QH 34	S ₁	05-01	06-13	06-27	09-01	43	14	123
		S ₂	06-01	07-05	07-18	09-17	34	13	108
	CD 18	S ₁	05-01	06-21	07-05	09-07	51	14	129
		S ₂	06-01	07-12	07-26	09-23	41	14	114
MA	QH 34	S ₁	04-29	06-18	07-01	09-06	50	13	130
		S ₂	05-31	07-13	07-24	09-19	43	11	111
	CD 18	S ₁	04-29	06-23	07-07	09-10	55	14	134
		S ₂	05-31	07-16	08-01	09-27	46	16	119
HA	QH 34	S ₁	05-12	07-13	08-07	10-09	62	25	150
		S ₂	06-02	07-24	08-19	10-25	52	26	145
	CD 18	S ₁	05-12	07-25	08-15	10-21	74	21	162
		S ₂	06-02	08-07	08-27	11-04	66	20	155

注:QH 34,齐黄 34;CD 18,成豆 18。LA、MA、HA 分别为低(1 600 m)、中(2 000 m)、高(2 400 m)海拔地区。S₁播期;S₂和S₁分别为播期 04-21 和 05-21。下同。

Note: QH 34, Qihuang 34; CD 18, Chengdou 18. LA, MA and HA represent low (1 600 m), middle (2 000 m) and high (2 400 m) altitudes. S₁, sowing date; S₂ and S₁ are 04-21 and 05-21. The same below.



R₂,盛花期;R₆,鼓粒期。不同小写字母表示0.05水平下差异显著。下同。

R₂, full bloom; R₆, epanic phase. Different lowercase letters indicate significant differences at the 0.05 level. The same below.

图1 不同播期处理的低(a)、中(b)、高(c)海拔地区大豆植株冠层透光率

Fig. 1 Transmittance of soybean canopy at low (a), middle (b) and high (c) altitudes at different sowing dates

着播期推迟升高。与S₁相比,3个地区S₂盛花期‘QH 34’中部和下部的透光率分别降低29.30%(LA)、24.08%(MA)、18.37%(HA)和25.82%(LA)、25.09%(MA)、10.27%(HA)($P<0.05$);在盛花期‘CD 18’下部的透光率分别降低12.16%(LA)、

4.23%(MA)、2.86%(HA)。在鼓粒期,‘QH 34’和‘CD 18’的中、下部透光率则随播期推迟而升高。

2.3 播期对不同海拔地区大豆叶片的影响

2.3.1 叶面积指数(LAI)

由图4可知,不同海拔地区大豆叶面积指数均呈

现出随着播期推迟而降低的趋势。以鼓粒期(R_6)为例,与 S_2 相比, S_1 的‘QH 34’和‘CD 18’的LAI在3个地区分别升高16.17%和24.67%(LA)、2.10%和

17.09%(MA)、4.39%和15.03%(HA),其中‘CD 18’的LAI增幅显著($P<0.05$),达15.03%~24.67%,而‘QH 34’的LAI增加2.10%~16.17%。

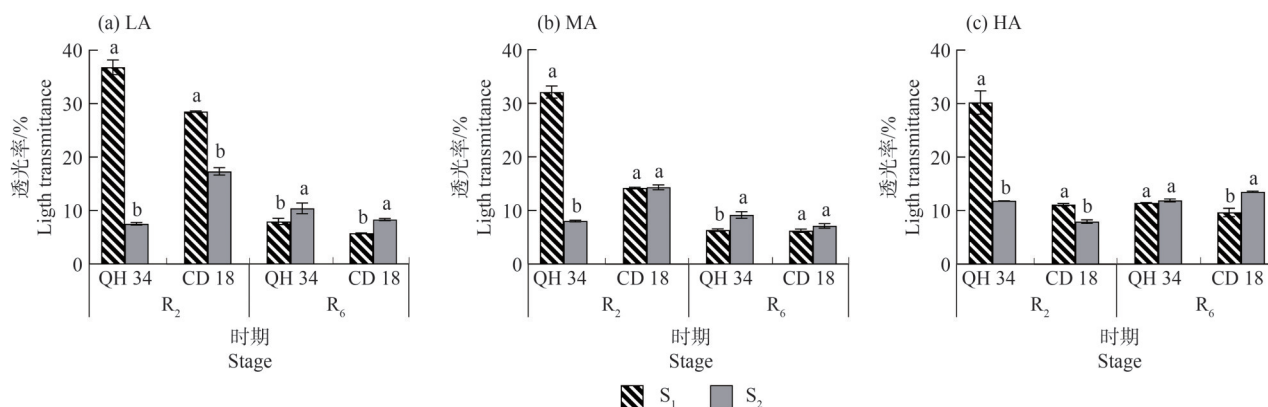


图 2 不同播期处理的低(a)、中(b)、高(c)海拔地区大豆植株中部透光率

Fig. 2 Transmittance of soybean central at low (a), middle (b) and high (c) altitudes at different sowing dates

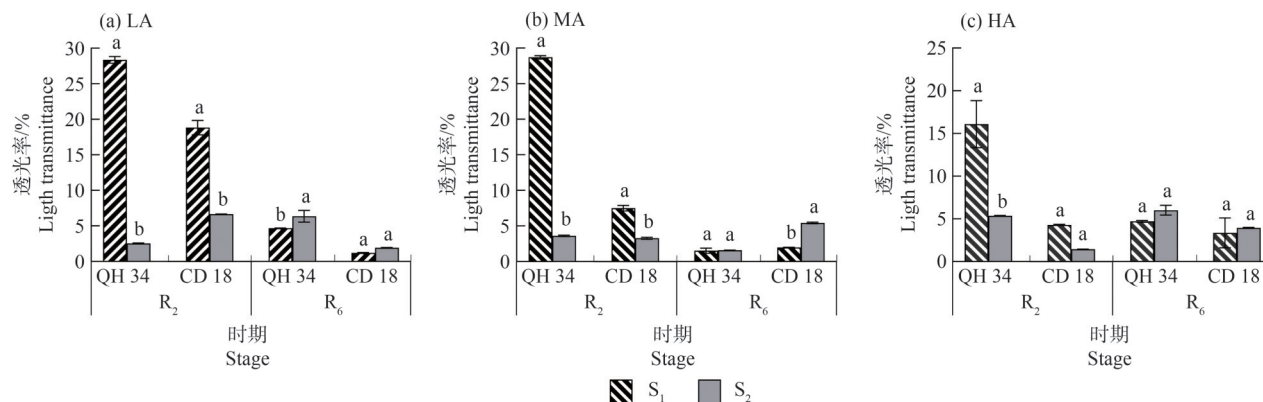
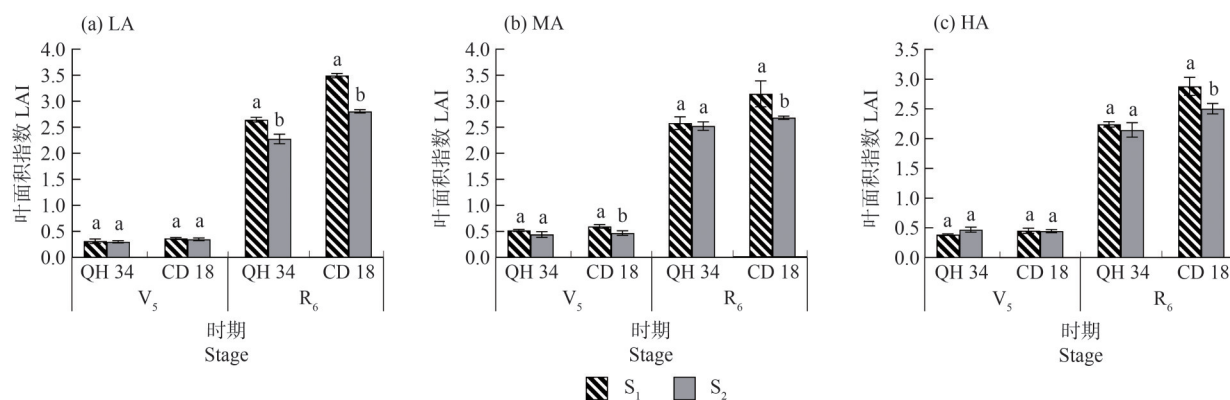


图 3 不同播期处理的低(a)、中(b)、高(c)海拔地区大豆植株下部透光率

Fig. 3 Transmittance of soybean bottom at low (a), middle (b) and high (c) altitudes at different sowing dates



V_5 , 五叶期. V_5 , pentepal stage.

图 4 不同播期处理的低(a)、中(b)、高(c)海拔地区大豆叶面积指数(LAI)

Fig. 4 Leaf area index of soybean at low (a), middle (b) and high (c) altitudes at different sowing dates

2.3.2 SPAD

由图5可知,不同海拔地区大豆叶片SPAD均表现为随播期推迟而降低。在五叶期(V_5),与 S_2 相比, S_1 的‘QH 34’在LA和MA地区SPAD分别升高17.55%和17.49%($P<0.05$),但‘CD 18’的SPAD在这2个海拔地区差异不显著。在鼓粒期(R_6),与

S_2 相比, S_1 的‘QH 34’和‘CD 18’的SPAD在3个地区分别升高3.62%和2.69%(LA)、9.40%和8.47%(MA)、6.20%和8.77%(HA)($P<0.05$), S_1 和 S_2 的SPAD在五叶期和鼓粒期的变化趋势一致,但在HA地区‘QH 34’的SPAD在五叶期略有不同,各地区 S_1 大豆叶片的SPAD均较高。

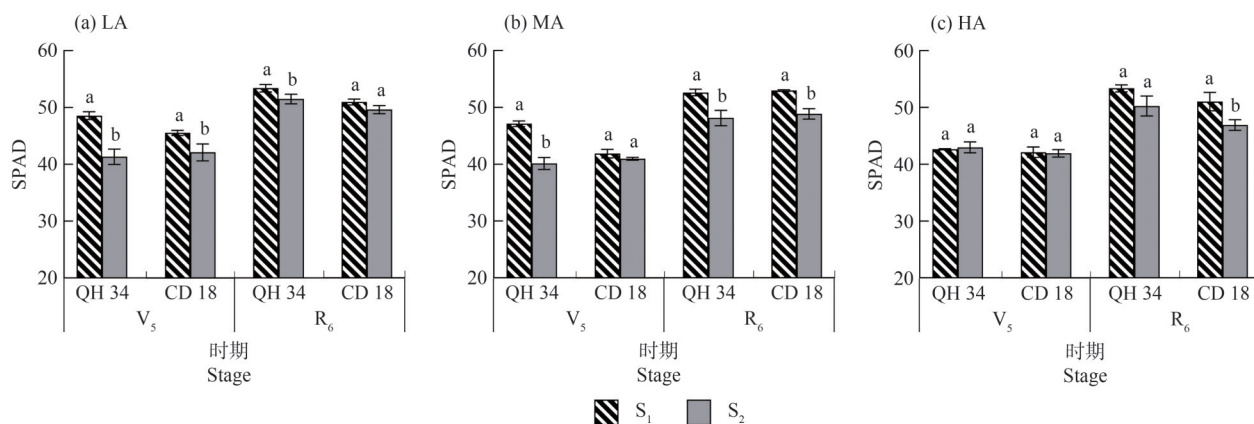


图5 不同播期处理的低(a)、中(b)、高(c)海拔地区大豆叶片SPAD

Fig. 5 SPAD of soybean leaves at low (a), middle (b) and high (c) altitudes at different sowing dates

2.4 播期对不同海拔地区大豆茎秆特性的影响

由表2可知,不同海拔地区大豆茎秆特性对播期的响应存在显著差异($P<0.05$)。随着播期的推迟大豆株高、主茎节数和节间长度均增加,茎秆变细、分枝数减少,第一结荚高度逐渐上移,倒伏率增加。与 S_1 相比,LA地区 S_2 的‘QH 34’和‘CD 18’株高分别增加34.35%和41.02%,主茎节数增加19.46%和18.21%,平均节间长度增加11.49%和19.35%,第一结荚高度增加51.30%和72.00%;但 S_1 的分枝数比 S_2 增加34.21%和17.39%($P<0.05$)。在MA地区,与 S_1 相比, S_2 的‘QH 34’和‘CD 18’的大豆株高分别增加11.83%和5.14%,主茎节数增加21.95%和6.50%,平均节间长度降低8.00%和1.33%,茎粗降低8.59%和4.28%,分枝数减少20.00%和28.26%($P<0.05$)。在HA地区,相较于 S_1 , S_2 的‘QH 34’和‘CD 18’株高分别增加46.66%和24.95%,茎节数增加9.22%和28.52%,第一结荚高度增加39.19%和10.02%,茎粗降低2.78%和4.41%,分枝数减少19.50%和8.48%($P<0.05$)。在3个地区,相较于 S_2 , S_1 的‘QH 34’倒伏率分别降低35.46%(LA)、7.18%(MA)、39.09%(HA),‘CD 18’倒伏率分别降低

36.47%(LA)、41.10%(MA)、36.54%(HA)。各海拔地区,‘QH 34’和‘CD 18’在 S_1 的倒伏率均显著低于 S_2 ($P<0.05$)。

2.5 播期对不同海拔地区大豆干物质分配率的影响

由图6可知,不同海拔地区的不同播期对2个大豆的干物质分配率均有显著影响($P<0.05$)。在LA地区, S_2 的鼓粒期(R_6)‘QH 34’荚的干物质分配率比 S_1 升高15.83%,茎和叶的干物质分配率分别减少7.78%和8.04%,但 S_1 的‘CD 18’在成熟期(R_8)荚的干物质分配率比 S_2 增加9.24%($P<0.05$)。在MA地区, S_2 的鼓粒期‘QH 34’和‘CD 18’茎的干物质分配率与 S_1 均无显著差异($P<0.05$),而在收获期,荚的干物质分配率分别减少1.70%和4.18%($P<0.05$)。在HA地区,鼓粒期和成熟期 S_2 的‘QH 34’和‘CD 18’荚的干物质分配率均低于 S_1 ,其中在成熟期分别减少3.24%和5.45%($P<0.05$)。在LA、MA地区,成熟期 S_1 和 S_2 的‘QH 34’荚干物质分配率分别比HA地区增加16.55%和23.53%、21.99%和23.53%,‘CD 18’的 S_1 和 S_2 成熟期荚的干物质分配率分别比HA地区增加15.77%和11.98%、13.74%和15.02%。

表 2 不同播期处理的低、中、高海拔地区大豆茎秆特性
Table 2 Stem characteristics of soybean at low, middle and high altitudes at different sowing dates

海拔 Altitude	品种 Variety	播期 Sowing date	株高/cm Plant height	茎粗/mm Stem diameter	茎节数 Stem node	分枝数 Branching number	平均节间长度/cm Average internode length	第一结荚高度/cm Height of the first pod	倒伏率/% Lodging rate
LA	QH 34	S ₁	52.89±1.00 c	8.79±0.36 b	12.28±1.44 c	3.06±0.51 a	4.35±0.55 b	8.48±1.34 b	5.69±0.11 b
		S ₂	71.06±1.26 b	8.43±0.03 b	14.67±0.44 b	2.28±0.19 b	4.85±0.07 b	12.83±1.94 a	41.15±4.70 a
	CD 18	S ₁	71.11±1.11 b	9.69±0.08 a	14.33±0.44 bc	3.78±0.19 a	4.96±0.09 b	8.93±0.89 b	6.04±0.24 b
		S ₂	100.28±1.07 a	9.70±0.10 a	16.94±0.34 a	3.22±0.09 a	5.92±0.06 a	15.36±1.15 a	42.51±2.70 a
MA	QH 34	S ₁	61.80±1.40 d	9.01±0.07 b	10.89±0.19 c	2.22±0.09 c	5.68±0.19 ab	7.46±0.21 c	9.34±0.49 c
		S ₂	69.11±0.69 c	8.23±0.03 c	13.28±0.54 b	1.78±0.35 c	5.21±0.17 b	11.93±0.81 b	16.52±1.46 b
	CD 18	S ₁	92.73±1.03 b	9.48±0.08 a	15.39±0.42 a	4.72±0.54 a	6.03±0.19 a	15.94±0.53 a	8.88±0.47 c
		S ₂	97.50±0.76 a	9.09±0.08 b	16.39±0.54 a	3.39±0.10 b	5.95±0.18 a	14.80±1.15 a	49.98±3.96 a
HA	QH 34	S ₁	48.11±1.36 d	8.31±0.01 c	11.39±0.75 b	2.00±0.44 b	4.23±0.29 b	9.39±1.00 c	6.72±0.37 c
		S ₂	70.56±0.51 c	8.08±0.03 d	12.44±0.68 b	1.61±0.38 b	5.68±0.33 a	13.07±0.95 b	45.81±1.71 a
	CD 18	S ₁	75.72±0.95 b	9.52±0.05 a	12.06±0.34 b	3.89±0.10 a	6.28±0.20 a	14.46±1.18 ab	11.51±1.77 b
		S ₂	94.61±1.26 a	9.10±0.14 b	15.50±0.29 a	3.56±0.34 a	6.11±0.11 a	15.91±0.83 a	48.05±1.46 a
F	海拔(A)		191.14**	30.01**	23.79**	3.42*	28.01**	8.62**	30.53**
	品种(V)		5 516.17**	508.51**	160.57**	224.50**	119.11**	106.22**	93.16**
	播期(S)		2 230.44**	72.83**	108.74**	35.75**	20.51**	79.65**	2 052.03**
	A×V		23.90**	11.45**	8.58**	13.04**	6.18**	11.44**	44.99**
	A×S		234.57**	7.88**	1.33	2.04	15.76**	9.74**	35.31**
	V×S		5.28*	4.78*	0.97	0.92	2.54	7.16*	56.10**
	A×V×S		43.55**	5.15*	7.04**	2.62	18.27**	9.60**	64.87**

注：*、**分别表示在 0.05、0.01 水平下差异显著。下同。
Note: * and ** indicate significant differences at the levels of 0.05 and 0.01, respectively. The same below.

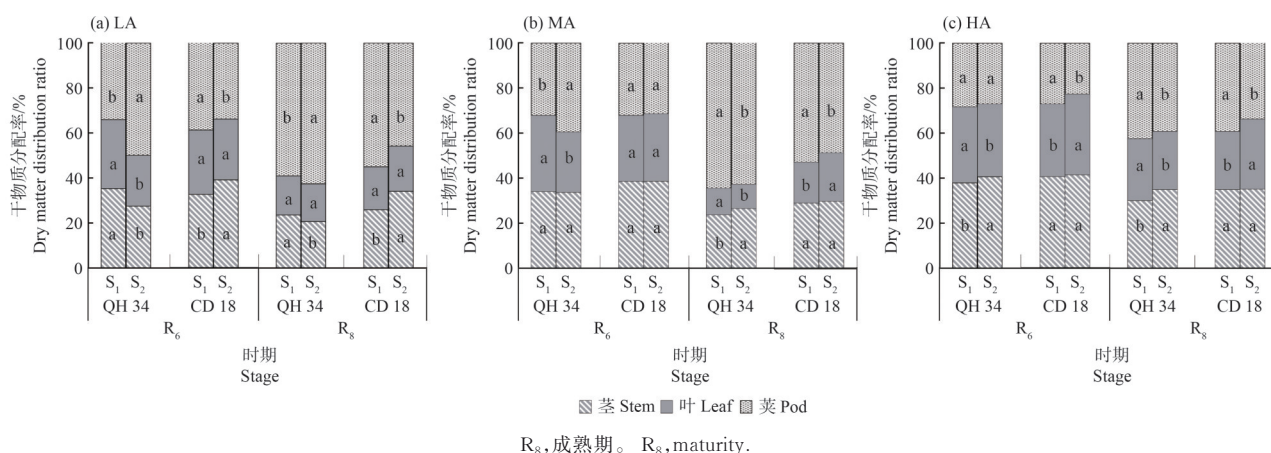


图6 不同播期处理的低(a)、中(b)、高(c)海拔地区大豆干物质分配率

Fig. 6 Dry matter distribution ratio of soybean at low (a), middle (b) and high (c) altitudes at different sowing dates

2.6 播期对不同海拔地区大豆产量的影响

由表3可知, S_1 的‘QH 34’在各海拔区产量分别比 S_2 增加10.01%(LA)、25.37%(MA)、43.56%(HA), ‘CD 18’的产量分别比 S_2 增加23.23%(LA)、18.73%(MA)、62.27%(HA) ($P < 0.05$)。各海拔地区 S_1 的‘QH 34’的百粒重分别比 S_2 增加4.28%(LA)、3.73%(MA)、23.43%(HA), ‘CD 18’百粒重分别比 S_2 增加9.78%(MA)、8.64%(HA)。 S_1 的‘QH 34’的有效株数相比 S_2 , 在HA地区减少5.73%, 在MA地区增加28.92%, ‘CD 18’有效株数在MA和HA地区分别增加48.60%和3.37%。 S_1 的‘QH 34’单株粒数相比 S_2 在HA地区增加26.04%, ‘CD 18’的单株粒数在LA和HA地区分别增加22.94%和44.75%, 在MA地区减少27.21%。相较 S_2 , S_1 的‘QH 34’在各海拔地区的经济系数分别增加19.13%(LA)、10.59%(MA)、71.01%(HA), ‘CD 18’的经济系数分别增加21.50%(LA)、53.47%(HA), 以‘QH 34’在LA地区 S_1 播期下经济系数最高, 为0.55。在LA和HA地区, 早播能够提高‘QH 34’和‘CD 18’的有效株数、单株粒数和百粒重, 而在MA地区, 限制产量的主要因素为有效株数; 此外, 播期对经济系数有显著的影响 ($P < 0.05$)。

3 讨论

适时播种技术是大豆高产的基本保障, 广泛应用于农业生产实践以达到增产的目的^[15]。良好的植株形态是保证大豆获得高产的基础, 播期推迟会导致与高位作物间作的大豆营养生长期受到荫蔽

影响, 使得大豆表现出植株增高、茎秆变细、分枝数减少^[16]。株高是影响植株倒伏的关键性状指标^[17], 植株高度由节间伸长决定^[18], 植株过高主茎变细容易出现匍匐生长易发生倒伏^[9]。本研究发现, 海拔升高到一定程度会制约大豆的生长发育, 造成生育期延长, 茎叶功能发展受限, 导致大豆开花结荚数和单株粒数降低。相比于晚播(S_2), 早播(S_1)的‘QH 34’和‘CD 18’茎粗增加、分枝数增多、第一结荚高度降低, 播期推迟后, 大豆的平均节间长度伸长、茎节数增多, 倒伏率升高; 这与高超等^[15]、安磊等^[10]研究结果基本一致, 与程艳波等^[8]的结果存在差异, 其主要原因可能是地域、种植模式、气候、品种和生育时段等条件的差异所致。

大豆是对光温比较敏感的作物, 叶片是光合作用的主要场所, 对植株形态塑造、干物质的分配及产量形成发挥关键作用^[19-21]。物质积累主要来源于光合产物^[22], 适期播种可提高大豆单株干物质积累总量及各器官干物质的积累量^[23], 通过延长大豆开花后光周期效应和增加光合有效辐射(PAR)资源的捕获从而增加单株粒数和产量^[24], 开花后的光周期及植物的光周期敏感性通过单独或交互作用影响大豆生长发育与PAR的捕获, 间接影响了地上部干物质积累^[25]。已有研究表明, 播期推迟, 会导致地上部干物质降低^[26], 成熟期籽粒占地上部总干物质的比率下降^[27], 生育日数逐渐缩短^[28], 叶面积指数下降^[29], 透光率随着叶面积指数的增加而减小^[30]。本研究还发现, 相较于早播(S_1), 晚播(S_2)成熟期‘QH 34’在低海拔地区荚的干物质分配率增加, 但在中、高海拔地区‘QH 34’和‘CD 18’荚的干

表 3 不同播期处理的低、中、高海拔地区大豆产量构成因素变化
Table 3 Changes in soybean yield components at low, middle and high altitudes at different sowing dates

海拔 Altitude	品种 Variety	播期 Sowing date	有效株数/(株/hm ²) Effective number of plants	单株粒数 Number of grains per plan	百粒重/g Hundred grain weight	产量/(kg/hm ²) Yield	经济系数 Economic coefficient
LA	QH 34	S ₁	93 589. 67±555. 41 b	86. 83±1. 64 c	32. 13±0. 37 a	2 611. 26±87. 82 a	0. 55±0. 01 a
		S ₂	92 949. 00±1 110. 24 b	82. 90±1. 92 c	30. 81±0. 75 a	2 373. 59±63. 05 b	0. 46±0. 03 b
	CD 18	S ₁	97 666. 67±577. 35 a	119. 50±2. 81 a	23. 48±0. 84 b	2 740. 18±107. 41 a	0. 41±0. 01 c
		S ₂	96 474. 33±1 468. 93 a	97. 20±0. 72 b	23. 71±0. 55 b	2 223. 56±47. 83 b	0. 34±0. 01 d
MA	QH 34	S ₁	118 589. 67±1 468. 50 b	75. 10±2. 72 c	29. 51±1. 07 a	2 627. 87±117. 01 b	0. 40±0. 02 a
		S ₂	91 987. 33±555. 41 c	80. 13±3. 25 c	28. 45±0. 80 a	2 096. 14±55. 88 c	0. 36±0. 01 b
	CD 18	S ₁	127 641. 00±1 177. 56 a	93. 90±0. 40 b	24. 59±0. 33 b	2 947. 02±43. 59 a	0. 33±0. 00 b
		S ₂	85 897. 00±1 110. 24 d	129. 00±2. 03 a	22. 40±0. 54 c	2 482. 10±95. 67 b	0. 34±0. 01 b
HA	QH 34	S ₁	108 653. 67±3 466. 46 ab	40. 37±2. 61 b	25. 97±0. 50 a	1 115. 22±37. 52 b	0. 30±0. 01 a
		S ₂	115 256. 33±3 852. 90 a	32. 03±1. 67 c	21. 04±0. 07 bc	776. 83±43. 04 c	0. 18±0. 01 c
	CD 18	S ₁	108 013. 00±4 440. 98 ab	58. 87±2. 08 a	22. 12±1. 00 b	1 405. 96±81. 16 a	0. 32±0. 00 a
		S ₂	104 487. 33±1 468. 50 b	40. 67±2. 56 b	20. 36±0. 59 c	866. 42±83. 26 c	0. 21±0. 02 b
F	海拔(A)		133. 36**	2 312. 85**	189. 76**	1 483. 00**	523. 47**
	品种(V)		0. 04	1 049. 31**	536. 12**	48. 44**	104. 11**
	播期(S)		233. 48**	8. 33**	66. 66**	295. 52**	221. 28**
	A×V		15. 28**	64. 34**	52. 08**	16. 98**	90. 50**
	A×S		247. 58**	231. 01**	13. 17**	1. 88	41. 40**
	V×S		34. 57*	0. 18	7. 06*	7. 30*	7. 44*
	A×V×S		8. 55**	104. 75**	7. 78**	4. 22*	1. 45

物质分配率均显著降低($P<0.05$),可能是由品种自身和前期受到干旱天气等原因造成的^[31]。

有效株数、单株粒数、百粒重等产量构成因素决定了大豆产量^[32],适期播种可增加干物质向收获器官的分配比率,提高单株荚数、单株粒数和百粒重^[33]。由于晚播叶面积指数、单位面积荚数、单位面积种子数均减少,株高、第一结荚高度增加,植株的倒伏程度会增加^[34],导致晚播大豆产量降低^[35]。本研究发现,3个海拔地区早播茎秆粗壮抗倒伏、分枝数多、群体LAI高,降低了带状间作大豆的徒长风险,地上部干物质分配率向收获器官的投入增加,是提高收获指数和增产的生物学原因^[36]。在中海拔地区,大豆的有效株数和百粒重是限制产量的主要因素,早播是保证出苗整齐的关键因素之一。因为早播有充足的发育时间,可避免低温、干旱、洪涝等极端天气对整个生育时期大豆生长的影响,为大豆生长提供所需的光温条件,保证有效株数和单株粒数从而提升产量,是获得高产的基础。

在凉山州高海拔地区大豆-玉米间作生产中,不同播期对大豆的产量影响较大,早播效果最佳,主要原因可能是生育期延长、茎叶功能较好和倒伏率降低,从而实现了大豆增产。后续试验可增加播期处理与不同海拔地区试点,以便进一步确定高海拔地区带状间作大豆产量的潜力。

4 结 论

在四川省凉山州1 600~2 400 m的海拔地区,大豆-玉米带状间作适时早播(4月21日, S_1)的大豆产量较高,尤其在中海拔地区(2 000 m)种植‘CD 18’产量最高,为2 947.02 kg/hm²。相比晚播(S_2),早播各海拔地区产量增幅较大,在2 400 m海拔‘QH 34’和‘CD 18’产量分别增加43.56%和62.27%;早播大豆全生育期延长、植株茎秆粗壮、分枝数增多、平均节间长度减小、底荚高度减小、倒伏率降低,叶面积指数、SPAD均较高,荚的干物质分配率增加,最终单株粒数、百粒重和产量增加。

参考文献 References

- [1] 翟涛,吴玲. 开放视角下中国大豆产业发展态势与振兴策略研究[J]. 大豆科学, 2020, 39(3): 472-478
Zhai T, Wu L. Study on development situation and revitalization strategy of soybean industry in China from an open perspective [J]. *Soybean Science*, 2020, 39(3): 472-478 (in Chinese)

- [2] 雍太文,杨文钰. 玉米大豆带状复合种植技术的优势、成效及发展建议[J]. 中国农民合作社, 2022(3): 20-22
Yong T W, Yang W Y. Advantages, effects and development suggestions of strip compound planting technology of corn and soybean [J]. *China Farmers' Cooperatives*, 2022(3): 20-22 (in Chinese)
- [3] 高超,陈平,杜青,付智丹,罗凯,林萍,李易玲,刘姗姗,雍太文,杨文钰. 播期、密度对带状间作大豆茎叶生长及产量形成的影响[J]. 作物学报, 2023, 49(11): 3090-3099
Gao C, Chen P, Du Q, Fu Z D, Luo K, Lin P, Li Y L, Liu S S, Yong T W, Yang W Y. Effects of sowing date and density on stem, leaf growth, and yield formation in strip intercropping soybean [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2023, 49(11): 3090-3099 (in Chinese)
- [4] 韩天富,王金陵,范彬彬,姚文秋,杨庆凯. 开花后光照长度对大豆农艺性状的影响[J]. 应用生态学报, 1996, 7(2): 169-173
Han T F, Wang J L, Fan B B, Yao W Q, Yang Q K. Effect of day-length on agronomic traits of soybean after flowering [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1996, 7(2): 169-173 (in Chinese)
- [5] 王一,杨文钰,张霞,雍太文,刘卫国,苏本营. 不同生育时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, Yong T W, Liu W G, Su B Y. Effects of shading at different growth stages on different traits and yield of soybean [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2013, 39(10): 1871-1879 (in Chinese)
- [6] 黄其椿,李初英,吴建明,赵艳红,杨守臻,赵洪涛,陈怀珠,孙祖东. 不同遮光处理对菜用大豆产量的影响[J]. 大豆科学, 2012, 31(1): 81-84, 91
Huang Q C, Li C Y, Wu J M, Zhao Y H, Yang S Z, Zhao H T, Chen H Z, Sun Z D. Influence of shading stress on yield and yield traits of vegetable soybean [J]. *Soybean Science*, 2012, 31(1): 81-84, 91 (in Chinese)
- [7] Islam M R, Garcia S C. Effects of sowing date and nitrogen fertilizer on forage yield, nitrogen- and water-use efficiency and nutritive value of an annual triple-crop complementary forage rotation [J]. *Grass and Forage Science*, 2012, 67(1): 96-110
- [8] 程艳波,江炳志,蔡史欣,年海,曹亚琴,李文坚,蔡银玲. 不同播期对华南夏大豆品种产量和品质的影响[J]. 大豆科学, 2010, 29(1): 37-40, 45
Cheng Y B, Jiang B Z, Cai S X, Nian H, Cao Y Q, Li W J, Cai Y L. Effects of sowing date on yield and quality of summer-sown soybean in South China [J]. *Soybean Science*, 2010, 29(1): 37-40, 45 (in Chinese)
- [9] 陈圣伦. 玉/豆套作模式的群体配置技术及其对大豆的效应研究[D]. 雅安:四川农业大学, 2008
Chen S L. Research on techniques of plant population configuration under maize/soybean relay-cropping system and their effects on soybean [D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2008 (in Chinese)
- [10] 安磊. 播期和密度对宁夏灌溉大豆的产量及品质影响研究[D]. 银川:宁夏大学, 2014
An L. Effects of density and sowing date on yield and quality of soybean in Ningxia irrigation area [D]. Yinchuan: Ningxia University, 2014 (in Chinese)
- [11] 杨燕竹. 不同播期对接对玉米-大豆间作体系下作物干物质积累及产量的影响[D]. 雅安:四川农业大学, 2016
Yang Y Z. Effects of different sowing time on dry matter accumulation and yield of maize-soybean intercropping [D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2016 (in Chinese)
- [12] Oligini K F, Adami P F, Bahry C A, Batista V V, Sartor L R, Balbinot A A J. Sowing date and soybean maturity group effects on soybean-corn succession [J]. *Revista Em Agronegócio e Meio Ambiente*, 2023, 16(2): 1-13
- [13] 孙婷婷. 四川省凉山州安宁河现代农业硅谷建设的思考与建议[J]. 中国农村科技, 2023(7): 51-54
Sun T T. Thoughts and suggestions on the construction of Anning River

- modern agricultural silicon valley in Anning River, Liangshan prefecture, Sichuan province[J]. *China Rural Science & Technology*, 2023(7):51-54 (in Chinese)
- [14] Fehr W R, Caviness C E. Stages of soybean development[R]. Special Report 80, Cooperative Extension Service, Agriculture and Home Economics Experiment Station. Ames: Iowa State University, 1977
- [15] 高超. 播期和密度对夏播带状间作大豆株型、干物质积累和产量的影响[D]. 雅安:四川农业大学, 2023
- Gao C. Effect of sowing period and density on soybean plant architecture, dry matter accumulation and yield in summer-sown strip intercropping [D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2023 (in Chinese)
- [16] 梁建秋, 于晓波, 吴海英, 冯军, 刘国林, 张明荣. 密度及烯效唑喷施对套作大豆南夏豆 25 抗倒性及产量的影响[J]. 大豆科学, 2017, 36(1):33-40
- Liang J Q, Yu X B, Wu H Y, Feng J, Liu G L, Zhang M R. Impact of density and uniconazole on stem lodging resistance and yield of interplanting soybean cultivar Nanxiadou 25 [J]. *Soybean Science*, 2017, 36(1):33-40 (in Chinese)
- [17] 高超, 陈平, 杜青, 罗凯, 付智丹, 林萍, 李易玲, 刘姗姗, 雍太文, 杨文钰. 播密协同对带状间作大豆茎秆特性和产量的影响[J/OL]. 中国油料作物学报, [2024-03-20]. <https://doi.org/10.19802/j.issn.1007-9084.2023123>
- Gao C, Chen P, Du Q, Luo K, Fu Z D, Lin P, Li Y L, Liu S S, Yong T W, Yang W Y. Effect of sowing date and density synergy on stalk characteristics and yield of soybean in strip-intercrop [J/OL]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, [2024-03-20]. <https://doi.org/10.19802/j.issn.1007-9084.2023123> (in Chinese)
- [18] Qiu L H, Chen R F, Luo H M, Fan Y G, Huang X, Liu J X, Xiong F Q, Zhou H W, Gan C K, Wu J M, Li Y R. Effects of exogenous GA3 and DPC treatments on levels of endogenous hormone and expression of key gibberellin biosynthesis pathway genes during stem elongation in sugarcane[J]. *Sugar Tech*, 2019, 21(6):936-948
- [19] Schneider S, Ziegler C, Melzer A. Growth towards light as an adaptation to high light conditions in *Chara* branches [J]. *New Phytologist*, 2006, 172(1):83-91
- [20] Ali M B, Hahn E J, Paek K Y. Effects of light intensities on antioxidant enzymes and malondialdehyde content during short-term acclimatization on micropropagated Phalaenopsis plantlet [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2005, 54(2):109-120
- [21] Firmansyah, Argosubekti N. A review of heat stress signaling in plants [J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, 484(1):12-41
- [22] 马尚宇, 王艳艳, 刘雅男, 姚科郡, 黄正来, 张文静, 樊永惠, 马元山. 播期、播量和施氮量对小麦干物质积累、转运和分配及产量的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(3):375-385
- Ma S Y, Wang Y Y, Liu Y N, Yao K J, Huang Z L, Zhang W J, Fan Y H, Ma Y S. Effect of sowing date, planting density, and nitrogen application on dry matter accumulation, transfer, distribution, and yield of wheat [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2020, 28(3):375-385 (in Chinese)
- [23] 田艺心, 高凤菊, 曹鹏鹏, 高祺. 播期对黄淮海夏大豆新品种圣豆 18 干物质积累、分配及产量的影响[J]. 山东农业科学, 2021, 53(8):43-47, 53
- Tian Y X, Gao F J, Cao P P, Gao Q. Effects of sowing date on dry matter accumulation, distribution and yield of a new summer soybean variety Shengdou 18 in the Huanghe-Huaihe-Haihe Region [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2021, 53(8):43-47, 53 (in Chinese)
- [24] Kantolic A G, Peralta G E, Slafer G A. Seed number responses to extended photoperiod and shading during reproductive stages in indeterminate soybean [J]. *European Journal of Agronomy*, 2013, 51: 91-100
- [25] Liu X, Rahman T, Song C, Su B Y, Yang F, Yong T W, Wu Y S, Zhang C Y, Yang W Y. Changes in light environment, morphology, growth and yield of soybean in maize-soybean intercropping systems[J]. *Field Crops Research*, 2017, 200:38-46
- [26] Sieling K, Böttcher U, Kage H. Sowing date and N application effects on tap root and above-ground dry matter of winter oilseed rape in autumn [J]. *European Journal of Agronomy*, 2017, 83:40-46
- [27] 杜亚敏. 播期对滴灌春大豆干物质积累、产量和品质的影响[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学, 2018
- Du Y M. Effects of sowing time on dry matter accumulation and yield and quality of drip-irrigated spring soybean [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2018 (in Chinese)
- [28] 董丽杰, 王文斌, 吴纪安, 王昌陵, 孙旭刚, 曹永强, 宋书宏, 于小光, 陈祥金. 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, Wang C L, Sun X G, Cao Y Q, Song S H, Yu X G, Chen X J. Effects of sowing dates on growth and yield of soybean Heihe 38 [J]. *Soybean Science*, 2008, 27(3):461-464 (in Chinese)
- [29] 郭小英, 郭秀卿, 韩娜娜, 崔福柱. 不同播种期对大豆生长发育的影响[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(19):4210-4213
- Guo X Y, Guo X Q, Han N N, Cui F Z. Impact of different seeding dates on growth and development of soybean [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2012, 51(19):4210-4213 (in Chinese)
- [30] 李国强, 汤亮, 张文宇, 曹卫星, 朱艳. 施氮量对不同株型小麦品种叶型垂直分布特征的影响[J]. 作物学报, 2011, 37(1):127-137
- Li G Q, Tang L, Zhang W Y, Cao W X, Zhu Y. Effect of nitrogen rate on vertical distribution characteristics of leaf-type in wheat with different plant types [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37(1):127-137 (in Chinese)
- [31] 赵恩龙. 不同水分处理对大豆物质积累及土壤水分变化的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2014
- Zhao E L. The effect of water treatment on matter accumulation and soil moisture of soybean [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2014 (in Chinese)
- [32] Liu X B, Jin J, Wang G H, Herbert S J. Soybean yield physiology and development of high-yielding practices in Northeast China [J]. *Field Crops Research*, 2008, 105(3):157-171
- [33] 闫博文, 胥雅馨, 马鹏, 郜全同, 王聪, 章建新, 薛丽华, 孙诗仁. 播期对新疆北疆膜下滴灌春大豆产量及水分利用效率的影响[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(10):50-65
- Yan B W, Xu Y X, Ma P, Gao Q T, Wang C, Zhang J X, Xue L H, Sun S R. Effect of sowing date on the yield and water use efficiency of spring soybean under drip irrigation with film cover in northern Xinjiang [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(10):50-65 (in Chinese)
- [34] 刘长远, 王磊, 齐玉鑫, 孙晓环, 孙国宏, 白艳凤, 李文, 王燕平. 播期、密度及施肥量对牡丹 15 主要农艺性状和光合特性的影响[J]. 大豆科学, 2023, 42(2):212-219
- Liu C Y, Wang L, Qi Y X, Sun X H, Sun G H, Bai Y F, Li W, Wang Y P. Effects of sowing date, density and fertilizer application amount on main agronomic traits and photosynthetic characters of Mudou 15 [J]. *Soybean Science*, 2023, 42(2):212-219 (in Chinese)
- [35] Umburanas R C, Yokoyama A H, Balena L, Dourado-Neto D, Teixeira W F, Zito R K, Reichardt K, Kawakami J. Soybean yield in different sowing dates and seeding rates in a subtropical environment [J]. *International Journal of Plant Production*, 2019, 13(2):117-128
- [36] 李丽, 陈国鹏, 蒲甜, 马艳玮, 罗万宇, 任永福, 杨文钰, 王小春. 适宜套作玉

米品种的物质积累与分配特性[J]. 核农学报, 2020, 34(3): 592-600

Li L, Chen G P, Pu T, Ma Y W, Luo W Y, Ren Y F, Yang W Y, Wang

X C. Study on characteristics of dry matter accumulation and distribution

in maize suitable for intercropping system [J]. *Journal of Nuclear*

Agricultural Sciences, 2020, 34(3): 592-600 (in Chinese)

责任编辑: 吕晓梅



第一作者简介: 龚牙会, 四川农业大学农学院作物栽培学与耕作学专业硕士研究生。参与国家重点研发计划(2022YFD1100200)、国家现代农业产业技术体系专项(CARS-04-PS21)等项目。



通讯作者简介: 雍太文, 四川农业大学农学院教授, 博士生导师, 四川省学术与技术带头人, 中国作物学会大豆专业委员会理事、四川省作物学会豆类专业委员会主任, 国家大豆产业技术体系岗位科学家, 农业农村部大豆专家指导组成员。主要从事大豆栽培生理和营养生理生态等教研工作。先后主持(研)国家自然科学基金、国家重点研发计划、四川省科技计划等项目(课题)30余项, 创建了玉米-大豆带状复合种植氮素高效利用理论, 与团队创新形成了玉米-大豆带状复合种植技术, 3次被写入中央一号文件, 连续十三年被列为国家和四川省农业主推技术。在 *The Plant Journal*, *Soil Biology and Biochemistry*, *Agriculture, Ecosystems & Environment* 等国内外核心刊物发表论文 150 余篇, 以副主编身份参编教材及技术专著 8 部, 主持和参与国家发明及实用新型专利授权 16 项, 主持和参与制定行业与地方标准 5 项, 荣获四川省科技进步奖一、二等奖、甘肃省科技进步一等奖、神农中华农业科技一等奖等省部级科技奖励共 8 项, 获评四川省最美科技工作者、四川省建设更高水平天府粮仓先进个人、四川农业大学优秀教师标兵称号。