



玉豆间作对大豆生长发育、产量、品质及群体经济产值的影响

林文磊, 吕美琴, 施迎迎, 李明松, 康蓉蓉, 曾红英

(福建省泉州市农业科学研究所, 福建 泉州 362212)

摘要:为筛选适宜在本地与玉米间作种植的大豆品种,促进玉豆间作技术的推广应用。本研究以3个福建省春大豆品种(泉豆7号、泉豆13号和泉豆17)及玉米品种金百甜15为材料,以2:2大豆、玉米行比进行间作种植,以大豆单作和玉米单作为对照,在大豆不同生育时期,测定大豆单作和玉豆间作的大豆株高、叶绿素含量、干物质质量,计算叶面积指数和茎占比,分析其变化规律与差异;大豆成熟后,分析大豆单作和玉豆间作的大豆农艺性状、产量及品质差异,计算不同处理下的产量、群体经济产值及土地当量比,分析不同间作组合间的差异,并对大豆农艺性状、产量及群体经济产值进行相关性分析,对玉豆间作模式进行适应性综合评价。结果表明:(1)大豆生育期间:株高在鼓粒期达到峰值,间作种植显著提高大豆株高($P < 0.05$),且均呈现泉豆7号 > 泉豆17 > 泉豆13号的趋势;叶绿素含量和叶面积指数均呈现先增大后减小的趋势,在鼓粒期达到峰值,间作种植显著提高叶绿素含量,降低叶面积指数和大豆各个干物质重,同一生育时期的干物质总量均呈现泉豆13号 > 泉豆17 > 泉豆7号的趋势;大豆茎占比呈现先增大后减小的趋势,在开花期达到峰值,且均呈现泉豆7号 > 泉豆17 > 泉豆13号的趋势。(2)大豆成熟后:间作种植显著提高大豆株高和底荚高度,其中泉豆7号提高最多,泉豆13号提高最少,泉豆17表现居中;间作种植后,大豆主茎节数显著减少,有效分枝数、单株有效荚数、单株粒数、单株粒重和百粒重均显著降低,其中泉豆13号减少最小,泉豆7号减少最多,泉豆17居中;间作种植显著改变了大豆籽粒蛋白质和脂肪含量,其中蛋白质含量显著降低,脂肪含量显著提高。(3)间作种植均显著降低玉米产量和大豆产量,但均显著提高了群体产量,3个玉豆间作系统的经济总产值从高到低依次为泉豆13号/金百甜15 > 泉豆17/金百甜15 > 泉豆7号/金百甜15,分别为30 371.15, 30 125.26和29 866.71元·hm⁻²,均显著高于玉米和大豆各自单作模式下的经济产值,对应的间作大豆产量分别为1 229.94, 1 182.37和1 137.83 kg·hm⁻²,3个间作系统群体间的经济总产值差异达显著水平,3个间作模式下大豆的产量差异也均达显著水平;3个间作系统的土地当量比均大于1,说明间作种植具有明显优势。(4)相关性分析结果表明,株高和底荚高度与大豆产量、群体总产值均呈显著负相关,大豆产量与群体总产值呈显著正相关。综上,间作种植显著提高大豆株高、底荚高度、叶绿素含量和脂肪含量,显著提高间作群体产量,选择矮秆、茎占比小的大豆品种更容易获得较高的大豆产量及群体经济产值。经比较分析,泉豆13号适宜在泉州与玉米间作种植,并且能获得相对较高的大豆产量及群体经济产值。

关键词:玉豆间作;生长动态;农艺性状;品质;产量;经济产值

Effects of Maize and Soybean Intercropping on Growth, Quality Characters and Yield of Different Soybean Varieties and Group Economic Value

LIN Wenlei, LYU Meiqin, SHI Yingying, LI Mingsong, KANG Rongrong, ZENG Hongying

(Quanzhou Institute of Agricultural Sciences, Quanzhou 362212, China)

Abstract: In order to provide theoretical basis for selecting soybean varieties suitable for intercropping with maize and promote the extension of maize-soybean intercropping technology. In this study, three spring soybean varieties (Quandou No. 7, Quandou No. 13, and Quandou 17) and maize variety Jinbaitian 15 in Fujian province were selected as materials, and the soybean-maize row ratio of 2:2 was used for intercropping. Maize monoculture and soybean monoculture were treated as controls. The plant height, chlorophyll content, dry matter weight, leaf area index and proportion of stem of soybean were monitored at different growth stages of soybean monoculture and maize/soybean intercropping to analysis its changes rules and differences. Agronomic traits, yield, quality differences of soybean were analysis at mature stage of soybean in soybean monoculture and maize/soybean intercropping. The different analysis were carried out with the yield, economic value and land equivalent ratio under different treatment. The correlation analysis were carried out with agronomic traits of soybean, yield of soybean and economic value in maize/soybean intercropping. We comprehensively evaluated the adaptability of three maize/soybean intercropping system. The results showed that: (1) Among the mature stage of soybean: the plant height reached the peak at the seed-filling stage, and maize/soybean intercropping pattern significantly increased the plant height, and Quandou No.7 increased the most, Quandou No.13 increased the least, and Quandou No.17 was in the middle. The chlorophyll

收稿日期:2024-03-02

基金项目:福建省星火科技计划项目(2020S0030)。

第一作者:林文磊(1990—),男,硕士,助理研究员,主要从事大豆品种选育与推广应用。E-mail:lwlskydy@126.com。

通讯作者:吕美琴(1969—),女,正高级农艺师,主要从事大豆品种选育与推广应用。E-mail:446258881@qq.com。

content and leaf area index increased first and then decreased, and reached the peak at the seed-filling stage. Intercropping significantly increased the chlorophyll content, reduced the leaf area index and the dry matter weight of soybean. The soybean total dry matter weight of the same mature stage of soybean showed a trend of Quandou No. 13 > Quandou 17 > Quandou No. 7. The proportion of soybean stem increased first and decreased then, which reached the peak at the soybean flowing stage, and all showed a trend of Quandou No. 7 > Quandou 17 > Quandou No. 13. (2) After the soybean ripens: the plant height and bottom pod height of soybean significantly increased in maize/soybean intercropping pattern, and Quandou No. 7 increased the most, Quandou No. 13 increased the least, and Quandou 17 in the middle. The main stem nodes, effective branching number, pod number per plant, seed number per plant, seed weight per plant and 100-seed weight significantly decreased in maize/soybean intercropping pattern, and Quandou No. 13 decreased the least, Quandou No. 7 decreased the most, and Quandou 17 in the middle in maize/soybean intercropping pattern. Intercropping significantly changed the protein and fat content of soybean seeds, in which the protein content decreased significantly and the fat content increased significantly. (3) The yield of maize and soybean significantly decreased in maize/soybean intercropping pattern, and population yield of maize/soybean intercropping pattern increased significantly. The total economic output value of the three maize/soybean intercropping systems from high to low was Quandou No. 13 / Jinbaitian 15 > Quandou 17 / Jinbaitian 15 > Quandou No. 7 / Jinbaitian 15, which were 30 371.15, 30 125.26 and 29 866.71 yuan·ha⁻¹, which were significantly higher than the economic output value of maize monoculture and soybean monoculture under their respective. The yield of corresponding soybean were 1 229.94, 1 182.37 and 1 137.83 kg·ha⁻¹ respectively. The difference of total economic output value among the three intercropping systems was significant. The difference of the yield of soybean among the three intercropping systems was also significant. The land equivalent ratios of the three intercropping systems were all greater than 1, which indicated that the intercropping patterns had obvious advantages. The results of correlation analysis showed that plant height and bottom pod height were significantly negatively correlated with yield of soybean and total population output value, and the yield of soybean was significantly positively correlated with total population output value. In summary, intercropping planting significantly promoted the plant height, bottom pod height, chlorophyll content and fat content of soybean, and significantly promoted the yield of intercropping population. It was easier to obtain higher soybean yield and population economic output value by selecting soybean varieties with short stem and small stem proportion. Through comparative analysis, Quandou 13 is suitable for local intercropping with maize, and can obtain relatively high soybean yield and population economic output value.

Keywords: maize/soybean intercropping; growth dynamics; agronomic traits; quality; yield; economic output value

大豆[*Glycine max* (L.) Merr.]起源于我国,是重要的粮、油、饲兼用型作物,是人类获取植物蛋白和植物脂肪的主要来源,在国民经济中占有重要地位^[1-2]。近几年我国对大豆的需求量逐年增加,大豆进口量居高不下,大豆依旧是粮食作物中进口依赖度最高的作物,也是可能影响我国粮食安全和重要农作物供给的作物,因此,急需增加我国大豆的种植面积和总产量^[3-5]。大国的根基是农业,农业的根基是粮食,粮食的根基是土地,玉米与大豆的争地问题是我国农业生产中一直存在的突出矛盾之一,这限制了大豆产业的可持续发展。大豆与玉米带状复合种植可实现土地资源集约化利用,既能充分发挥高位作物玉米的边行优势,扩大低位作物大豆的受光空间,又能实现玉米带和大豆带年际间地内轮作,在同一块地实现大豆玉米和谐共生、一季双收,有效解决玉米、大豆争地问题,提高大豆的供给能力,实现高产与可持续发展的统一,是稳玉米、扩大豆的有效途径^[6]。对于适宜大豆玉米间作种植的大豆品种筛选的研究已有报道,王燕等^[7]以齐黄 34 为对照,从 10 份大豆品种中筛选出 4 份较为适合当地大豆玉米带状复合种植的品种。汤复跃等^[8]、曹鹏鹏等^[9]分别采用主成分分析和灰色关联度分析方法,筛选出适宜在当地与玉米进行带状复合种植的大豆品种。方萍等^[10]研究结果表明,在玉豆间作种植模式下,应选择植株较低,茎粗较大,有效分枝数、单株有效荚数较多的大豆品种。刘小荣

等^[11]研究结果表明,汾豆 93 与大丰 30 组合适合在山西省生态环境下推广应用。目前,针对适宜在福建省种植的大豆品种与玉米带状复合种植的研究还未见报道,针对玉豆间作对大豆生长动态及品质的影响也鲜见报道。本研究以大豆品种泉豆 7 号、泉豆 13 号、泉豆 17 和玉米品种金百甜 15 为研究对象,以大豆:玉米 = 2:2(行比)的模式进行间作种植,以玉米单作和大豆单作为对照,分别在大豆苗期、开花期、鼓粒期、成熟期测量两种种植模式下大豆的株高、叶绿素含量及干物质含量,计算叶面积指数及茎占比,分析其动态变化规律,大豆成熟后分析不同种植模式下的农艺性状、产量及品质差异,计算间作土地当量比及不同种植模式下的群体经济产值,并作相关性分析,旨在筛选出适合在泉州大豆、玉米间作模式下推广种植的大豆品种,为大豆-玉米间作生产技术的推广应用提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料

以泉州市农业科学研究所选育的 3 个大豆品种泉豆 7 号、泉豆 13 号、泉豆 17 和玉米品种(金百甜 15)作为试验材料,品种信息详见表 1。金百甜 15 购于青岛金妈妈农业科技有限公司。供试肥料为复合肥[$m(\text{N}):m(\text{P}_2\text{O}_5):m(\text{K}_2\text{O}) = 17:17:17$],购自福建省中挪化肥有限公司;尿素(总氮含量 $\geq 46.0\%$)购自福建省福农农资集团有限公司。

表 1 参试材料信息
Table 1 Information of tested materials

编号 No.	品种名称 Name of variety	审定编号 Approval number	特征特性 Characteristics	生育日数 Days of maturity/d
S1	泉豆 7 号	国审豆 2006027	高产,落叶	103
S2	泉豆 13 号	闽审豆 2015002	高产,落叶	108
S3	泉豆 17	国审豆 20210078	高产高蛋白,半落叶	99
M	金百甜 15	国审玉 20180326	甜玉米	80

1.2 试验地概况

试验在福建省泉州市晋江市紫帽镇泉州农业科学所试验基地(24°53'N,118°29'E)进行。供试土壤为红黄壤土,前茬作物为甘薯,地势平坦,无遮阴,土壤基础肥力:有机质 19.2 g·kg⁻¹、碱解氮76.6 mg·kg⁻¹、有效磷 9.8 mg·kg⁻¹、速效钾 195.9 mg·kg⁻¹、pH6.7。

1.3 方法

试验采用两因素随机区组设计,因素一为大豆品种:S1(泉豆 7 号),S2(泉豆 13 号),S3(泉豆 17);因素二为种植模式:玉米、大豆间作(MS),玉米单作(MM),大豆单作(SS),以单作为对照。小区长度 6 m,小区宽度 2 m,小区面积 12 m²,每个小区 4 纵行,间作玉豆行比为 2:2。间作带:大豆穴距 10 cm,行距 50 cm,每个小区定苗 240 株;玉米穴距 15 cm,行距 50 cm,每穴移苗 1 株,每个小区移苗 80

株。单作带:大豆穴距 20 cm,行距 50 cm,每个小区定苗 240 株;玉米穴距 30 cm,行距 50 cm,每穴移苗 1 株,每个小区移苗 80 株。玉米带与大豆带行距 50 cm(图 1)。每个处理 4 次重复,第 4 个重复用于大豆不同生育时期取样,测量生长性状。

2023 年 3 月 12 日同期种植大豆和玉米,大豆采用直播方式,玉米采用育苗移栽方式。大豆种植密度为 20.0 万株·hm⁻²,每个品种成熟后分别收获;玉米于 3 月 27 日人工移栽,种植密度为 6.67 万株·hm⁻²,于 6 月 16 日收获,收获后即砍掉玉米植株。大豆单作和玉豆间作中的大豆带施用复合肥 225 kg·hm⁻²作为基肥,2 叶期追施复合肥 75 kg·hm⁻²;玉米单作和玉豆间作中的玉米带施用复合肥 300 kg·hm⁻²作为基肥,苗期追施尿素 150 kg·hm⁻²,大喇叭口期追施尿素 150 kg·hm⁻²。生育期内注意及时防治病虫害,其他田间管理同大田生产。

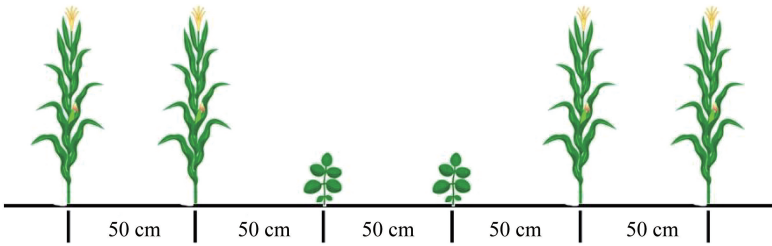


图 1 大豆、玉米间作种植示意图
Fig. 1 Schematic diagram of soybean and maize intercropping

1.4 测定项目及方法

1.4.1 株高和叶绿素 大豆苗期在每个处理的前 3 个小区各选取无缺株、生长正常、具有代表性的 3 株挂牌,分别于苗期、开花期、鼓粒期和成熟期选择晴朗天气,于上午 9:00 ~ 11:00 在田间用米尺测量大豆株高,用叶绿素测定仪 KONICA MINOLTA SPAD-502 Plus 测量植株倒数 3 片复叶的叶绿素含量,每张叶片各测量 3 次取其平均值。

1.4.2 各器官干物质量和叶面积 在测量株高的同时在最后的小区选取无缺株、生长正常、具有代表性、连续的 5 株连根挖起,用清水小心清洗干净根

上的泥土,滤干后分别剪下根、茎、叶和荚果(鼓粒期和成熟期)。用电子天平分别称量各器官的鲜重;按 1:2:1 数量比选取植株上、中、下 3 个部位无虫孔、无病斑的叶片,用拍照式叶面积测量仪 LD-YMJ-P1 测量叶片面积,再用电子天平称量已测叶片面积的叶片鲜重,以称重的叶片面积与重量之比和取样的 5 株植株的叶片总重换算小区总叶片面积,按以下公式计算叶面积指数(Leaf Area Index, LAI)^[12];将根、茎、叶、荚果分别用报纸打包并做好标记,置于 105 ℃烘箱杀青 30 min,80 ℃烘干至恒重,称取各器官的干物质重量,按以下公式计算茎占比。

$$LAI = \frac{\text{小区叶片面积}}{\text{小区面积}} = \frac{\text{单株叶面积} \times \text{小区株数}}{\text{小区面积}}$$

$$\text{茎占比}(\%) = \frac{\text{茎干重}}{\text{干物质总重}}$$

$$\text{干物质总量}(\text{g}) = \text{根干重} + \text{茎干重} + \text{叶干重} + \text{荚干重}$$

1.4.3 农艺性状 大豆成熟后,每个小区选取生长正常、无缺株、连续 10 株连根挖起,带回室内考种,考种项目有株高、底荚高度、主茎节数等 3 个株型性状,有效分枝数、单株有效荚数、单株粒数、单株粒重、百粒重等 5 个产量性状。

1.4.4 品质 种子脱粒后晒干,每个处理挑选外观完整、无病斑、无虫孔的籽粒,使用波通近红外分析仪 DA7250 测定蛋白质及脂肪含量(干基),每个处理测定 3 次取平均值。

1.4.5 产量、间作土地当量比和经济产值 于玉米和大豆成熟后,在各个处理区域内分别选取中间 5 m 行长的植株全部收获并进行测产,计算每个处理 3 次重复的平均值。分别计算单作玉米产量、单作大豆产量、间作玉米产量、间作大豆产量、间作玉米大豆总产量,并折算成每公顷产量。

按以下公式^[13]计算系统的土地当量比(LE_R):

$$LE_R = Y_{ms}/Y_{mm} + Y_{sm}/Y_{ss}$$

Y_{ms} 和 Y_{sm} 分别表示玉米和大豆在间作中的产量, Y_{mm} 和 Y_{ss} 分别表示玉米和大豆在单作中的产量。 $LE_R > 1$ 表明间作有优势; $LE_R < 1$ 表明间作劣势。

根据成稿当月国家统计局发布的“2023 年 10

月下旬流通领域重要生产资料市场价格变动情况”([https://www. stats. gov. cn/xxgk/sjfb/zxfb2020/202311/t20231103_1944117. html](https://www.stats.gov.cn/xxgk/sjfb/zxfb2020/202311/t20231103_1944117.html)),大豆本期价格为 4 857.5 元·t⁻¹ 左右,玉米市场均价在 2 608.0 元·t⁻¹ 左右,本研究玉米按价格 2.6 元·kg⁻¹,大豆按价格 4.9 元·kg⁻¹ 分别计算单作和间作的经济产值。

大豆单作公顷经济产值(元·hm⁻²) = 大豆单价(元·kg⁻¹) × 大豆单作公顷产量(kg·hm⁻²)

玉米单作公顷经济产值(元·hm⁻²) = 玉米单价(元·kg⁻¹) × 玉米单作公顷产量(kg·hm⁻²)

玉豆间作公顷经济产值(元·hm⁻²) = 大豆单价(元·kg⁻¹) × 大豆间作公顷产量(kg·hm⁻²) + 玉米单价(元·kg⁻¹) × 玉米间作公顷产量(kg·hm⁻²)

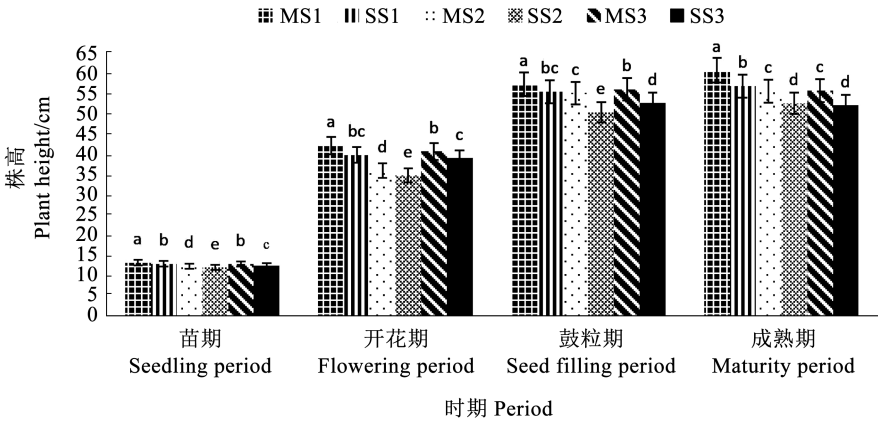
1.5 数据分析

使用 Excel 2013 进行数据整理,使用 DPS v7. 05 进行数据分析,采用 Duncan’s 新复极差法(SSR)检验间作和单作两种种植模式下各个指标的差异显著性,并作相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同种植模式对大豆生长动态的影响

2.1.1 株高 如图 2 所示,大豆株高均在鼓粒期达到最大值,不同种植模式下的表现相同。在大豆不同生育时期,间作模式下的大豆株高均显著高于净作模式。不同品种有所差异,整体比较看,S1 品种株高显著高于其他 2 个品种,S2 品种株高较矮,S3 品种居中。



注:MS. 玉米/大豆间作;SS. 大豆单作;不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$),下同。
Note: MS. Maize-soybean intercropping; SS. Soybean sole cropping; Different lowercase letters indicate significant difference between treatments($P < 0.05$), the same below.

图 2 不同种植模式对大豆株高的影响

Fig. 2 The effects of different planting patterns on plant height

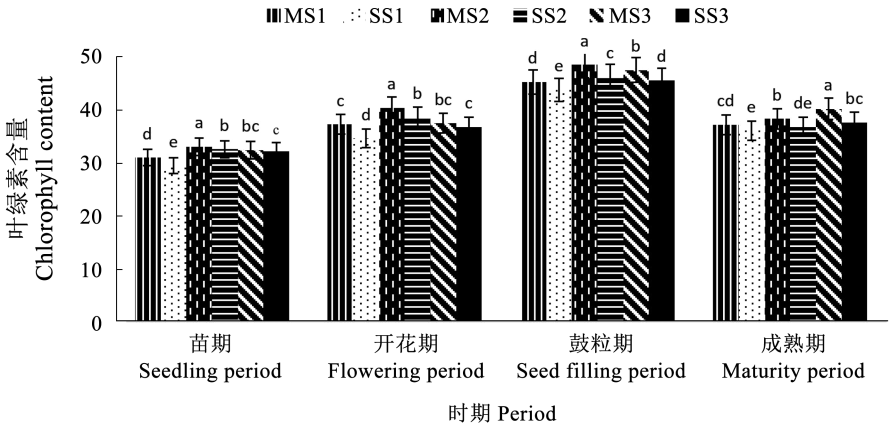
2.1.2 叶绿素含量 如图 3 所示,两种种植模式下,3 个大豆品种的叶绿素含量均在鼓粒期达到峰

值。苗花期至鼓粒期,同一生育时期,叶绿素含量呈现 $S2 > S3 > S1$ 的趋势,而成熟期则呈现 $S3 > S2$

>S1 的趋势,这与不同大豆品种的落叶习性有关;在大豆全生育期,间作种植模式均显著提高大豆的叶绿素含量。

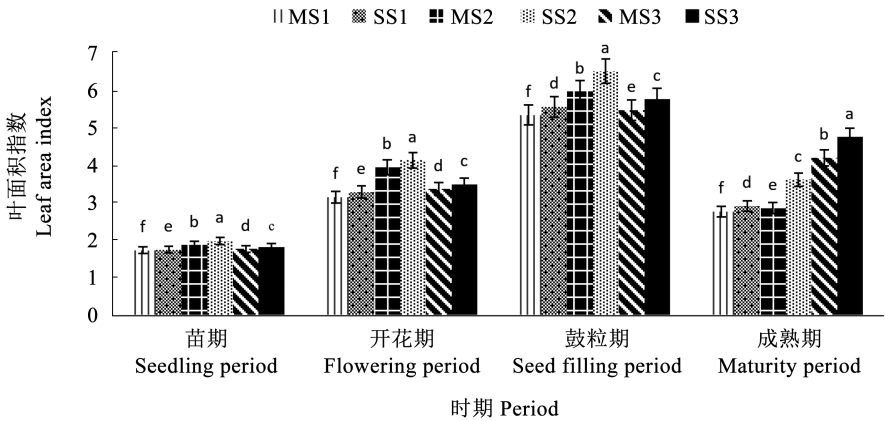
2.1.3 叶面积指数 如图4所示,两种种植模式

下,3个大豆品种的叶面积指数的变化规律与叶绿素含量的规律基本一致,均在鼓粒期达到峰值。在大豆全生育期,间作种植模式均显著降低大豆的叶面积指数。



注:MS. 玉米、大豆间作;SS. 大豆单作。
Note: MS. Maize-soybean intercropping; SS. Soybean monoculture.

图3 不同种植模式对大豆叶绿素含量的影响
Fig.3 The effects of different planting patterns on chlorophyll content



注:MS. 玉米、大豆间作;SS. 大豆单作。
Note: MS. Maize-soybean intercropping; SS. Soybean monoculture.

图4 不同种植模式对大豆叶面积指数的影响
Fig.4 The effects of different planting patterns on leaf area index

2.1.4 干物质量 由表2可知,在两种种植模式下,随着大豆生育进程的推进,根干重和叶干重均呈现先增大后减小的趋势,在鼓粒期达到峰值;茎干重在鼓粒期之前增长较快,而鼓粒期之后增长减缓;荚果干重和干物质总量均在成熟期达到最大值;茎占比呈先增大后减小的趋势,在开花期达到峰值。在全生育期,3个大豆品种的干物质重均呈现单作高于间作的趋势。同一种种植模式下,同一生

育时期的干物质总量均呈现 S2 > S3 > S1 的趋势。3个大豆品种的茎占比在苗期均呈间作低于单作的趋势,分别减少了1.63%、1.22%和0.41%;开花期至成熟期,间作下的净占比均呈间作高于单作,开花期分别增加了3.30%、2.04%和2.24%,鼓粒期分别增加了3.81%、1.45%和1.69%,成熟期分别增加了4.63%、1.20%和3.62%,且同种植模式下茎占比均呈现 S1 > S3 > S2 的趋势。

表 2 不同时期每个处理的大豆干物质质量
Table 2 Dry matter mass of soybean at different periods

单位:g

时期 Period	干物质重 Dry matter weight	MS1	SS1	MS2	SS2	MS3	SS3
苗期 Seedling period	根重 Root weight	1.05	1.11	1.12	1.19	1.13	1.16
	茎重 Stem weight	1.16	1.25	1.22	1.37	1.20	1.29
	叶重 Leaf weight	2.47	2.60	3.05	3.42	2.63	2.86
	总重 Total weight	4.68	4.96	5.39	5.98	4.96	5.31
	茎占比 Stem proportion	0.2479	0.2520	0.2263	0.2291	0.2419	0.2429
开花期 Flowering period	根重 Root weight	3.39	3.98	5.65	6.01	4.25	4.85
	茎重 Stem weight	9.56	10.96	12.69	13.13	10.85	11.50
	叶重 Leaf weight	8.65	10.64	14.12	15.13	12.15	13.18
	总重 Total weight	21.60	25.58	32.46	34.27	27.25	29.53
	茎占比 Stem proportion	0.4426	0.4285	0.3909	0.3831	0.3982	0.3894
鼓粒期 Seed filling period	根重 Root weight	10.44	12.56	16.93	19.26	13.52	15.62
	茎重 Stem weight	18.43	20.76	24.17	26.11	20.64	22.11
	叶重 Leaf weight	16.66	19.78	32.29	35.11	22.62	26.80
	荚重 Pod weight	3.07	3.73	3.14	3.39	6.70	4.62
	总重 Total weight	48.60	56.83	76.53	83.87	63.48	69.15
	茎占比 Stem proportion	0.3792	0.3653	0.3158	0.3113	0.3251	0.3197
成熟期 Maturity period	根重 Root weight	9.75	10.27	13.99	15.09	10.81	12.65
	茎重 Stem weight	24.18	26.22	29.07	30.46	25.95	28.27
	叶重 Leaf weight	14.03	15.11	17.99	19.81	20.11	23.71
	荚重 Pod weight	49.71	59.21	85.33	89.86	72.34	81.22
	总重 Total weight	97.67	110.81	146.38	155.52	129.21	145.85
	茎占比 Stem proportion	0.2476	0.2366	0.1986	0.1962	0.2008	0.1938

2.2 不同种植模式对大豆农艺性状的影响

2.2.1 株型性状 由表 3 可知,间作种植模式下 3 个大豆品种的株高和底荚高度均显著高于单作,株高分别提高了 5.90%、7.65% 和 5.61%,底荚高度分别提高了 14.00%、25.40% 和 15.71%;在两种

种植模式下,株高和底荚高度均呈 S1 > S3 > S2 的趋势。3 个大豆品种的主茎节数在间作种植模式下显著低于单作,分别降低了 0.90%、1.71% 和 3.60%。由此可知,间作种植会显著提高大豆株高和底荚高度,显著减少大豆主茎节数。

表 3 不同处理对大豆株型性状的影响
Table 3 The effects of different treatments on soybean plant shape

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	底荚高度 Bottom pod height/cm	主茎节数 Main stem nodes number
MS1	61.0 ± 1.3 a	11.4 ± 0.1 a	11.0 ± 0.3 cd
SS1	57.6 ± 0.4 b	10.0 ± 0.2 b	11.1 ± 0.1 bc
MS2	56.3 ± 0.3 c	7.9 ± 0.1 c	11.5 ± 0.2 ab
SS2	52.3 ± 0.5 e	6.3 ± 0.1 e	11.7 ± 0.1 a
MS3	56.5 ± 0.3 bc	8.1 ± 0.1 c	10.7 ± 0.1 d
SS3	53.5 ± 0.4 d	7.0 ± 0.1 d	11.1 ± 0.1 cd

2.2.2 产量性状 由表 4 可知,S1 的有效分枝数在两种种植模式下差异不显著,单作均显著提高 S2 和 S3 的有效分枝数,分别提高了 6.52% 和

16.22%;在同一种种植模式下,3 个大豆品种间的有效分枝数均存在显著差异;3 个大豆品种在间作模式下的单株有效荚数、单株粒重和百粒重均显著低

于单作,单株有效荚数分别降低了 13.90%、15.33%和 7.12%,单株粒重分别降低了 29.47%、25.89%和 25.47%,百粒重分别降低了 13.48%、15.87%和 12.85%;在同一种种植模式下,3 个大豆品种间的单株有效荚数和单株粒重均存在显著差异,而间作模式下 3 个大豆品种间的百粒重差异不显著,单作模式下 S1 和 S3 的百粒重均显著低于 S2,但 S1 与 S3 之间的百粒重差异不显著;在间

作模式下 S1 和 S2 的单株粒数均显著低于单作,分别降低了 6.62%和 5.70%,而 S3 的单株粒数在两种种植模式下差异不显著;由此可见,间作对 5 个产量性状的影响从大到小依次为单株粒重 > 百粒重 > 单株有效荚数 > 有效分枝数 > 单株粒数,间作会降低大豆的单株产量。在同一种种植模式下,3 个大豆品种的产量性状均呈现 S2 > S3 > S1 的趋势。

表 4 不同处理对大豆产量性状的影响
Table 4 The effects of different treatments on soybean yield characters

处理 Treatment	有效分枝数 Branching number	单株有效荚数 Pods number per plant	单株粒数 Seeds number per plant	单株粒重 Seeds weight per plant/g	百粒重 100-seed weight/g
MS1	3.1 ±0.1 e	25.4 ±0.4 e	49.4 ±1.0 e	6.7 ±0.7 d	15.4 ±0.2 c
SS1	3.2 ±0.0 e	29.5 ±0.8 d	52.9 ±0.1 d	9.5 ±0.5 b	17.8 ±0.2 b
MS2	4.6 ±0.1 b	35.9 ±0.7 b	62.9 ±0.4 b	8.3 ±0.3 c	15.9 ±0.1 c
SS2	4.9 ±0.1 a	42.4 ±0.4 a	66.7 ±0.3 a	11.2 ±0.2 a	18.9 ±0.4 a
MS3	3.7 ±0.1 d	32.6 ±0.4 c	59.4 ±0.4 c	7.9 ±0.7 c	15.6 ±0.6 c
SS3	4.3 ±0.1 c	35.1 ±0.1 b	59.8 ±1.2 c	10.6 ±0.2 a	17.9 ±0.2 b

2.3 不同种植模式对大豆品质的影响

由表 5 可知,间作模式下 3 个大豆品种的蛋白质含量显著降低,分别降低了 0.14%、0.96%和 0.46%,同种种植模式下,3 个大豆品种间的蛋白质含量差异均达显著水平;间作模式下 3 个大豆品种的脂肪含量显著提高,分别提高了 1.39%、1.41%和 0.74%,同种种植模式下 3 个大豆品种间的脂肪含量也均差异显著。可见,间作种植使大豆籽粒蛋白质含量降低,而对于籽粒脂肪含量却有促进作用。

表 5 不同处理对大豆品质性状的影响
Table 5 The effects of different treatments on soybean quality characters

处理 Treatment	蛋白质含量 Protein content/%	脂肪含量 Fat content/%
MS1	42.61 ±0.02 f	17.55 ±0.04 e
SS1	42.67 ±0.07 e	17.31 ±0.04 f
MS2	44.18 ±0.03 d	18.74 ±0.01 c
SS2	44.60 ±0.04 c	18.48 ±0.07 d
MS3	45.35 ±0.07 b	19.15 ±0.06 a
SS3	45.56 ±0.02 a	19.01 ±0.07 b

2.4 不同种植模式对作物产量及经济产值的影响

由表 6 可知,与玉米单作(MM)相比,在间作种植模式下的玉米产量显著降低,间作系统下的玉米

产量从高到低依次为 MS2 > MS3 > MS1,分别降低了 0.51%、0.56%和 0.72%,但不同间作系统间的玉米产量差异不显著。与大豆单作(SS)相比,间作种植模式显著降低大豆产量,间作系统的大豆产量从高到低依次为 MS2 > MS3 > MS1,分别降低了 45.60%、44.91%和 46.90%。间作系统总产量从高到低依次为 MS2 > MS3 > MS1,MS2 与 MS3 间作系统间无显著差异;与玉米单作相比,群体产量分别提高了 12.56%、12.00%和 11.37%,达显著性水平;与大豆单作相比,群体产量分别提升了 372.79%、373.34%和 408.24%,达显著性水平。间作系统的经济总产值从高到低依次为 MS2 > MS3 > MS1,分别为 30 371.15 和 30 125.25 和 29 866.72 元·hm⁻²,彼此间差异达显著水平,均显著高于各自单作种植模式下的经济总产值。MS1 间作系统的经济总产值比大豆单作增收 19 762.19 元·hm⁻²(增收 195.58%),比玉米单作增收 5 398.31 元·hm⁻²(增收 22.06%);MS2 间作系统的经济总产值比大豆单作增收 19 392.28元·hm⁻²(增收 176.63%),比玉米单作增收 5 902.74 元·hm⁻²(增收 24.12%);MS3 间作系统的经济总产值比大豆单作增收 19 213.65 元·hm⁻²(增收 176.08%),比玉米单作增收 5 656.85 元·hm⁻²(增收 23.12%);3 个间作系统的土地当量比均大于 1,说明间作种植模式具有明显优势。

表 6 不同种植模式下的作物产量表现
Table 6 Crop yield under different cropping patterns

处理 Treatment	玉米产量 Yield of maize/ (kg·hm ⁻²)	大豆产量 Yield of soybean/ (kg·hm ⁻²)	总产量 Total yield/(kg·hm ⁻²)	经济产值 Economic output value/ (元·hm ⁻²)	间作土地当量比 LER
MS1	9342.83 ± 13.07 b	1137.83 ± 18.79 d	10480.66 ± 8.32 b	29866.72 ± 61.96 c	1.54 a
SS1	—	2062.15 ± 18.96 b	2062.15 ± 18.96 e	10104.52 ± 92.91 f	
MS2	9363.24 ± 13.20 b	1229.94 ± 22.22 c	10593.18 ± 28.41 a	30371.15 ± 121.69 a	1.54 a
SS2	—	2240.59 ± 34.05 a	2240.59 ± 34.05 d	10978.86 ± 166.82 e	
MS3	9358.33 ± 46.67 b	1182.37 ± 10.36 cd	10540.70 ± 55.86 a	30125.25 ± 167.14 b	1.53 a
SS3	—	2226.86 ± 35.30 a	2226.86 ± 35.30 d	10911.61 ± 172.96 e	
MM	9410.93 ± 5.84 a	—	9410.93 ± 5.84 c	24468.41 ± 15.18 d	

2.5 间作种植模式下的 大豆农艺性状与产量及群体总产值的相关性分析

通过对间作种植模式下大豆各农艺性状与大豆产量及群体总产值的相关性分析可知:株高和底荚高度与大豆产量均呈显著负相关,相关系数分别为-0.816 4 和-0.817 8,与群体总产值也呈

显著负相关,相关系数分别为-0.778 1 和-0.801 4;大豆产量与群体总产值呈显著正相关,相关系数为0.964 0(表 7)。由此可知,在间作种植模式下,应该选择矮秆、底荚高度较小的大豆品种才能获得更高的大豆产量和群体总产值,从而提高经济产值。

表 7 玉豆间作模式下大豆各农艺性状、产量及群体总产值的相关性分析

Table 7 Correlation analysis of agronomic traits, yield of soybean and total group value in intercropping system									
性状 Traits	株高 Plant height	底荚高度 Bottom pod height	主茎节数 Main stem nodes number	有效分枝数 Branching number	单株有效荚数 Pods number per plant	单株粒数 Seeds number per plant	单株粒重 Seeds weight per plant	百粒重 100-seed weight	大豆产量 Soybean yield
底荚高度 Pod height	0.9471 **								
主茎节数 Main stem nodes number	-0.0975	-0.1477							
有效分枝数 Branching number	-0.1173	-0.1853	0.8063 *						
单株有效荚数 Pods number per plant	0.2253	0.1544	0.8000 *	0.9329 *					
单株粒数 Seeds number per plant	0.2716	0.2141	0.7409 *	0.9174 *	0.9936 *				
单株粒重 Seeds weight per plant	0.1833	0.2011	0.7790 **	0.7527 *	0.8613 *	0.8488 *			
百粒重 100-seed weight	-0.5107	-0.4442	-0.0919	-0.2268	-0.3717	-0.4206	-0.3350		
大豆产量 Soybean yield	-0.8164 *	-0.8178 *	0.5888	0.6060	0.3128	0.2628	0.2795	0.2449	
群体总产值 Group economic value	-0.7781 *	-0.8014 *	0.5343	0.5624	0.2766	0.2254	0.2360	0.2603	0.9640 *

注: * 表示在 $P < 0.05$ 水平上显著相关; ** 表示在 $P < 0.01$ 水平极显著相关。
Note: * means significant relation at 0.05 level; ** means extremely significant relation at 0.01 level.

3 讨论

本研究中,各处理的大豆株高、叶绿素含量和叶面积指数在整个生育期内均呈先增后降的趋势,鼓粒期达到峰值。间作种植模式下,高位作物玉米对低位作物大豆形成遮阴效果,特别是大豆开花期之后,玉米迅速长高,遮阴效应更加明显,植物的向光性生长特性促使大豆植株向上生长以获取更多的阳光直射,因而间作下的大豆株高高于单作,这与曹曼君等^[13]的研究结果一致。同一种种植模式下,同一生育时期的大豆株高均呈现 $S1 > S3 > S2$ 的趋势。间作模式下的 大豆叶绿素含量高于单作,而间作的叶面积指数则低于单作,这与刘小荣等^[11]的研究结果一致,开花期之后,两种植植模式下的叶绿素含量和叶面积指数差异更大,均达到显著水平。

随着大豆生育进程的推进,根干重和叶干重均呈现先增大后减小的趋势,在鼓粒期达到峰值;荚果干重和干物质总量均在成熟期达到峰值。在全生育期,大豆各个干物质重表现为单作高于间作,这与崔亮等^[14]的研究结果一致。这是因为在间作种植模式下大豆种植密度大,植株间养分和光照竞争大,在有限的地下部空间和养分供应条件下,植株生长受到抑制。茎占比在苗期呈现间作低于单作的趋势,而开花期之后均呈现间作高于单作的趋势。同一种种植模式下,同一生育时期的干物质总量均呈现 $S2 > S3 > S1$ 的趋势,净占比则呈现 $S1 > S3 > S2$ 。间作模式下茎占比越大,说明茎部分配到的干物质越多,相反,大豆荚果分配到的干物质则越少,就越不利于大豆高产,因此,应该选中茎占比小的大豆品种进行间作种植。

在本研究中,间作种植模式下大豆株高、底荚高度显著提高,大豆主茎节数、有效分枝数、单株有效荚数、单株粒数、单株粒重和百粒重显著降低,这与梁建秋等^[15-16]的研究结果一致。由此可见,间作下大豆单株产量降低,这可能是因为,在间作种植模式下,一方面大豆种植密度大,大豆植株间养分竞争大,植株间的遮阴效应也大,另一方面玉米与大豆争夺养分,大豆养分供应减少,大豆鼓粒期高位作物玉米对低位作物大豆有遮阴效果,造成大豆光照不足,光合作用受到抑制,鼓粒不充分,产量下降。在两种种植模式下株高和底荚高度均呈 $S1 > S3 > S2$ 的趋势,5 个产量性状均呈现 $S2 > S3 > S1$ 的趋势。

大豆籽粒蛋白质含量与脂肪含量受基因型和栽培环境的共同影响,在本研究中,间作种植模式

下蛋白质含量显著降低,大豆籽粒的脂肪含量显著提高。两种种植模式下 3 个大豆品种间的蛋白质含量和脂肪含量差异均达显著水平。

间作种植模式均显著降低玉米产量和大豆产量,均显著提高了群体产量,这与徐延辉等^[17]的研究结果一致。3 个玉豆间作系统的玉米产量、大豆产量、系统总产量及经济总产值从高到低顺序均为 $MS2 > MS3 > MS1$,且经济总产值均显著高于玉米单作和大豆单作种植模式,说明间作种植模式具有明显优势。

通过对间作种植模式下大豆各农艺性状与大豆产量及群体总产值的相关性分析可知,株高和底荚高度与大豆产量、群体总产值均呈显著负相关,大豆产量与群体总产值呈显著正相关,在生产上应选择矮秆、高产型的大豆品种与玉米进行间作种植。

4 结论

综上所述,在大豆生育期间,间作种植株高和叶绿素含量提高、叶面积指数和各干物质质量降低;大豆成熟后,间作种植使株高、底荚高度和脂肪含量提高,主茎节数、有效分枝数、单株有效荚数、单株粒数、单株粒重、百粒重和蛋白质含量降低。与大豆和玉米各自单作相比,间作种植下大豆和玉米的产量均降低,但群体经济总产值均大于各自单作下的经济产值。本研究的 3 个参试大豆品种中,泉豆 13 号大豆品种落叶性好,株高和底荚高度小,玉米间作种植模式下的单株粒数、单株粒重、百粒重是 3 个参试大豆品种中最大的,且群体经济总产值最大,显著高于泉豆 17 和泉豆 7 号的群体经济总产值,同时泉豆 13 号茎占比是 3 个参试品种中最小的,因此是适宜在本地与玉米间作种植的大豆品种。

参考文献

[1] 孙明明,王萍,吕世翔,等. 大豆间套作种植技术研究进展[J]. 大豆科学, 2017, 36(5): 818-823. (SUN M M, WANG P, LYU S X, et al. Advances in planting techniques for soybean intercropping[J]. Soybean Science, 2017, 36(5): 818-823.)
[2] 封亮,王淑彬,杨文享,等. 红壤旱地玉米大豆间作模式对大豆农艺性状和产量的影响[J]. 大豆科学, 2020, 39(6): 882-890. (FENG L, WANG S B, YANG W T, et al. Effects of maize soybean intercropping patterns on soybean agronomic characters and yield in upland red soil[J]. Soybean Science, 2020, 39(6): 882-890.)
[3] 刘燕,陈彬,于庆旭,等. 大豆玉米带状复合种植机械化技术与装备研究进展[J]. 中国农机化学报, 2023, 44(1): 39-47. (LIU Y, CHEN B, YU Q X, et al. Research progress of mechanization technology and equipment of soybean and corn strip

compound planting [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2023, 44(1): 39-47.)

[4] 张玉, 谷莉莉, 曹丽, 等. 大豆玉米带状复合种植田除草剂的种类及其应用[J]. 中国植保导刊, 2022, 42(7): 71-75. (ZHANG Y, GU L L, CAO L, et al. Herbicides and their application for corn-soybean strip compound planting[J]. China Plant Protection, 2022, 42(7): 71-75.)

[5] 曹永强, 王昌陵, 王文斌, 等. 国内外大豆产业、科技现状浅析与我国大豆产业发展思考[J]. 辽宁农业科学, 2019(6): 44-48. (CAO Y Q, WANG C L, WANG W B, et al. Analysis of domestic and foreign soybean industry and science and technology and thinking on the development of soybean industry in China[J]. Liaoning Agricultural Sciences, 2019(6): 44-48.)

[6] 王昕彤, 奚小波, 陈猛, 等. 大豆玉米带状复合种植技术与装备发展现状[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(11): 36-45. (WANG X T, XI X B, CHEN M, et al. Development status of soybean and corn strip composite planting technology and equipment[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2023, 51(11): 36-45.)

[7] 王燕, 张娟, 张玉允, 等. 大豆玉米带状复合种植模式条件下大豆品种筛选试验[J]. 中国种业, 2023(6): 77-80. (WANG Y, ZHANG J, ZHANG Y Y, et al. Screening test of soybean varieties under soybean-maize strip intercropping model[J]. China Seed Industry, 2023(6): 77-80.)

[8] 汤复跃, 梁江, 郭小红, 等. 广西适宜与鲜食玉米带状复种的鲜食大豆品种评价[J]. 大豆科学, 2022, 41(1): 58-64. (TANG F Y, LIANG J, GUO X J, et al. Evaluation of vegetable soybean varieties suitable for intercropping with fresh corn in Guangxi[J]. Soybean Science, 2022, 41(1): 58-64.)

[9] 曹鹏鹏, 田艺心, 高凤菊. 鲁西北地区间作大豆/玉米品种组合综合性状的灰色关联度分析[J]. 大豆科学, 2020, 39(3): 414-421. (CAO P P, TIAN Y X, GAO F J. Grey correlation analysis of integrated traits of intercropping soybean/maize varieties in northwest of Shandong[J]. Soybean Science, 2020, 39(3): 414-421.)

[10] 方萍, 刘卫国, 邹俊林, 等. 间作对鲜食大豆生长发育及产量形成的影响[J]. 大豆科学, 2015, 34(4): 601-605. (FANG P, LIU W G, ZOU J L, et al. Influence of intercropping on growth, development and yield formation of vegetable soybean[J]. Soybean Science, 2015, 34(4): 601-605.)

[11] 刘小荣, 马俊奎, 刘学义. 大豆玉米“扩行增密”带状复种技术在山西应用初探[J]. 大豆科学, 2017, 36(5): 720-726. (LIU X R, MA J K, LIU X Y. Application of ‘entend row and higher density’ strip compound planting system of soybean-maize in Shanxi Province[J]. Soybean Science, 2017, 36(5): 720-726.)

[12] 林文磊, 吕美琴, 林威鹏, 等. 种植密度对泉豆 13 号生长动态、农艺性状及产量的影响[J]. 福建农业科技, 2022, 53(3): 50-56. (LIN W L, LYU M Q, LIN W P, et al. Effects of the planting density on growth dynamics, agronomic characters and yield of Quandou No. 13[J]. Fujian Agricultural Science, 2022, 53(3): 50-56.)

[13] 曹曼君, 王婧瑜, 崔悦, 等. 不同玉米大豆间作行比对大豆光合特性及产量的影响[J]. 大豆科学, 2023, 42(1): 48-54. (CAO M J, WANG J Y, CUI Y, et al. Effects of different maize and soybean intercropping ratios on photosynthetic characteristics and yield of soybean [J]. Soybean Science, 2023, 42(1): 48-54.)

[14] 崔亮, 苏本营, 杨峰, 等. 不同玉米-大豆带状套作组合条件下光合有效辐射强度分布特征对大豆光合特性和产量的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(8): 1489-1501. (CUI L, SU B Y, YANG F, et al. Effects of photo-synthetically active radiation on photosynthetic characteristics and yield of soybean in different maize/soybean relay strip intercropping systems [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(8): 1489-1501.)

[15] 梁建秋, 于晓波, 何泽民, 等. 不同熟期类型大豆品种在玉豆间作模式下农艺性状和产量的比较研究[J]. 中国油料作物学报, 2021, 43(6): 1077-1086. (LIANG J Q, YU X B, HE Z M, et al. Comparative study on the agronomic traits and yield of soybean varieties with different maturity in maize-soybean intercropping system[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2021, 43(6): 1077-1086.)

[16] 赵小光, 赵兴忠, 刘颖萌, 等. 玉米大豆间作对大豆农艺、品质和产量性状的影响[J]. 农学学报, 2023, 13(8): 18-24. (ZHAO X G, ZHAO X Z, LIU H M, et al. Effects of maize and soybean intercropping on agronomic, quality and yield traits of soybean[J]. Journal of Agriculture, 2023, 13(8): 18-24.)

[17] 徐延辉, 王畅, 郑殿峰, 等. 带状复合种植对玉米和大豆光合特性及籽粒产量的影响[J]. 大豆科学, 2017, 36(4): 540-546. (XU Y H, WANG C, ZHENG D F, et al. Effects of the strip compound planting system on photosynthetic characteristics and grain yield of maize and soybean [J]. Soybean Science, 2017, 36(4): 540-546.)