

黄土塬区膜际玉米大豆间作对玉米光合特性、产量及水分利用效率的影响

胡静一, 王佳芯, 魏 蹇, 纪晓玲, 张 雄, 王 涛, 武慧平, 张盼盼

(榆林学院 生命科学学院, 陕西 榆林 719000)

摘要:为了筛选出黄土塬区膜际玉米、大豆最佳间作模式,采用膜侧3~5 cm精准精量播种的膜际栽培技术,于2022—2023年在陕西省神木市农技推广中心试验站开展试验,设置玉米单作(CJCJ)、大豆单作(SJSJ)以及玉米大豆间作2C2S(玉米和大豆行比2:2)、2C4S(2:4)、4C2S(4:2)和4C4S(4:4)6个处理,研究膜际玉米大豆间作对玉米光合特性、产量及水分利用效率的影响。结果表明,2022、2023年,玉米抽穗期各间作处理的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率均高于CJCJ单作处理,其中,各处理间的气孔导度均存在显著差异。从2 a间玉米成熟期地上部干物质量来看,2C4S处理较其他处理增加3.27%~81.42%,该处理有利于间作玉米地上干物质量的积累。玉米大豆复合种植模式中,各处理的玉米产量以2C4S处理最高,2022、2023年群体产量分别达到8 157.04、13 506.62 kg/hm²,与CJCJ处理相比分别增加了37.08%、20.88%。2 a中,2C4S、4C2S处理的水分利用效率较CJCJ处理高出3.04%~12.19%。综上所述,各间作处理中玉米和大豆行比2:4带型的复合种植模式为最优配比,可增加种植系统中玉米作物的总产量,适宜在陕北地区推广应用。

关键词:玉米大豆间作;光合特性;产量;水分利用效率

中图分类号:S344.2

文献标识码:A

文章编号:1002-2481(2024)05-0001-08

Effects of Intermembranous Maize Soybean Intercropping on Photosynthetic Characteristics, Yield, and Water Use Efficiency of Maize in Loess Plateau Region

HU Jingyi, WANG Jiixin, WEI Qian, JI Xiaoling, ZHANG Xiong,

WANG Tao, WU Huiping, ZHANG Panpan

(College of Life Sciences, Yulin University, Yulin 719000, China)

Abstract: In order to screen for the optimal intercropping mode of maize soybean intercropping in the Loess Plateau area, in this study, an accurate and precise seeding technique with 3-5 cm film side was adopted. The experiment was conducted at the Agricultural Technology Extension Center Experimental Station in Shenmu city, Shaanxi province from 2022 to 2023, with six treatments including maize monoculture(CJCJ), soybean monoculture(SJSJ), maize soybean intercropping 2C2S(row ratio of maize and soybean was 2:2), 2C4S(2:4), 4C2S(4:2), and 4C4S(4:4), to study the effects of intermembranous maize soybean intercropping on the photosynthetic characteristics, yield, and water use efficiency of maize. The results showed that in 2022 and 2023, the net photosynthetic rate, stomatal conductance, and transpiration rate of the intercropping treatments at heading stage of maize were higher than those of CJCJ treatment, and there were significant differences in stomatal conductance among the treatments. From the perspective of the aboveground dry matter mass during the maturity period of maize in 2 years, the value of the 2C4S treatment increased by 3.27%~81.42% compared to each treatment, indicating that the treatment was beneficial for the accumulation of aboveground dry matter in intercropped maize. The maize yield of each treatment in the maize soybean intercropping mode was the highest in the 2C4S treatment, with population yield reaching 8 157.04 kg/ha and 13 506.62 kg/ha in 2 years, respectively, increased by 37.08% and 20.88% compared to the CJCJ treatment. The water use efficiency of 2C4S and 4C2S treatments was 3.04%~12.19% higher than that of CJCJ treatment in 2 years. In summary, the composite planting mode of maize soybean intercropping with a band pattern of 2:4 row ratio in each intercropping treatment was the optimal ratio, it increased the total yield of maize in the planting system and was suitable for promotion and application in northern Shaanxi.

收稿日期:2024-05-31

基金项目:陕西省科技厅重点研发计划(2024NC-YBXM-011);中央引导地方科技发展基金陕西省工程技术研究中心项目(2022ZY2-GCZX-05);榆林市科技局科技计划(CXY-2022-69, 2023-CXY-151);陕西省教育厅重点实验室项目(23JS068);陕西省2023年大学生创新创业训练计划(S202311395058, S202311395014);榆林学院研究生创新基金(2023YLYCX19)

作者简介:胡静一(2000-),女,陕西榆林人,在读硕士,研究方向:作物与耕作栽培。

通信作者:张盼盼(1985-),女,陕西榆林人,副教授,硕士生导师,主要从事农业节水技术研究工作。

Key words: maize soybean intercropping; photosynthetic characteristics; yield; water use efficiency

陕北黄土塬区以黄土为主,容易被侵蚀、搬运,水资源匮乏,尤其是在长期干旱和不合理利用土地(如过度种植等)情况下,部分地区存在不同程度的土壤干燥化现象。长期干旱会造成农作物大面积减产,进而威胁陕北地区粮食作物的稳产高产,合理的间作模式可以有效缓解这一趋势。间作可提高土壤的透气性和保水性,减少土壤侵蚀,充分利用土地资源,缓解干旱对作物的影响,进而增加作物产量。2023年玉米产量在我国谷物粮食产量中占比约44.25%,是我国第一大粮食作物,在西北地区是重要的粮食作物之一,在保障粮食安全方面具有重要战略地位^[1-2]。2022—2023年中央一号文件明确提出,“集中支持适宜区域、重点品种,在西北、西南地区推广玉米大豆带状复合种植”,“扎实推进大豆玉米带状复合种植^[3-4]”。玉米、大豆间作系统不仅可以使2种作物在光、热和空间资源的利用上取得互补,而且玉米较高的茎秆可为大豆生长提供必要的支撑和遮阴^[5-6]。研究发现,旱地玉米与豆科间作在覆膜形式下的产量较裸地玉米单作产量显著增加^[7-8]。在东北种植区,2行玉米4行大豆的间作模式提高了玉米的光合特性^[9];内蒙古呼和浩特种植区玉米大豆行比4:4间作模式明显提升了玉米的光合能力^[10]。不同间作行比不仅影响作物光合特性,同时影响着株高、茎粗、干物质质量等因素。张忠华等^[11]研究发现,与单作相比,大豆玉米间作可以增加玉米和大豆株高,但茎粗变细。李美霞等^[12]也对玉米大豆不同间作模式进行研究,结果表明,玉米大豆行比4:2和4:4间作处理的玉米产量显著高于其他间作和单作处理(玉米单作、玉米大豆行比2:2、2:3、2:4、4:3)。

膜际条播栽培能够聚集雨水,变无效降水为有效降水,适用于干旱少雨等地区^[13-15]。已有研究表明,陕北地区膜际栽培技术下黄芪产量显著高于双垄沟栽培和露地栽培,目前,关于玉米大豆间作多集中于露地栽培条件下间作模式对比,而关于膜际栽培技术条件下玉米大豆间作模式对玉米叶片光合特性及产量影响的相关研究报道较少。

本试验以膜际栽培为基础条件,研究玉米大豆不同间作模式对玉米叶片光合特性、干物质积累、产量及其构成因素、水分利用效率等指标的影响,旨在筛选出膜际栽培条件下适宜的玉米大豆间作模式,为优化陕北地区玉米大豆带状种植提供技术支撑和理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验于2022、2023年5—10月在陕西省神木市农技推广中心试验站进行。试验地位于陕西省神木市神县盘侯家川村,该地区属于温带大陆性季风气候,夏季炎热多雨,年平均气温在7.6℃左右,无霜期121~153 d,日照时数为2 100~2 430 h,年总辐射量为 $5.439 \times 10^9 \sim 6.067 \times 10^9$ J/m²,生长季 ≥ 10 ℃积温3 000~3 300℃。年内降水主要集中在7—9月,占总量的69%。2022年60%的降雨量主要集中于8—9月,当年作物生育期有效降雨量为414.5 mm。2023年降雨量最多在6月末,当年作物生育期有效降雨量为415.7 mm(图1)。供试土壤有机质含量为15.3 g/kg,全氮含量为0.56 g/kg,有效磷含量为10.95 mg/kg,速效钾含量为107 mg/kg。

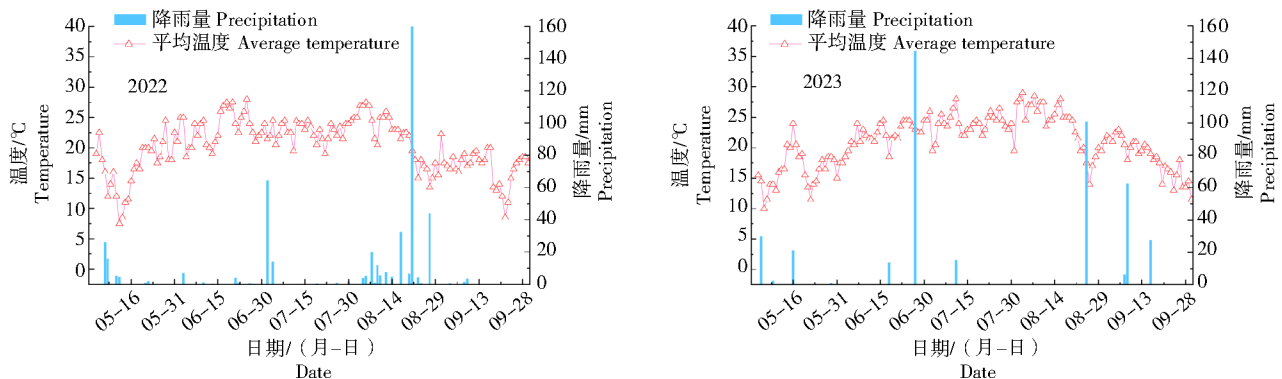


图1 试验地2 a作物生育期平均温度和降雨量
Fig.1 Average temperature and precipitation during the two-year crop growth period in the experimental site

1.2 试验材料

试验所用玉米品种为先玉335,从山东登海先

锋种业有限公司购买;大豆品种为大豆中黄30,从河南省豫煌种业有限公司购买。

1.3 试验设计

试验共设置6个处理,均为膜际栽培种植,分别为:玉米单作(CJ CJ)、大豆单作(SJ SJ)、玉米大豆间作行比2:2(2C2S)、2:4(2C4S)、4:2(4C2S)、

4:4(4C4S)(图2),各处理中玉米大豆种植密度保持一致,单作种植小区面积 $7.5\text{ m}\times 5.0\text{ m}=37.5\text{ m}^2$,间作种植每个小区3个带型,各小区带长均为5 m,每个处理3次重复。

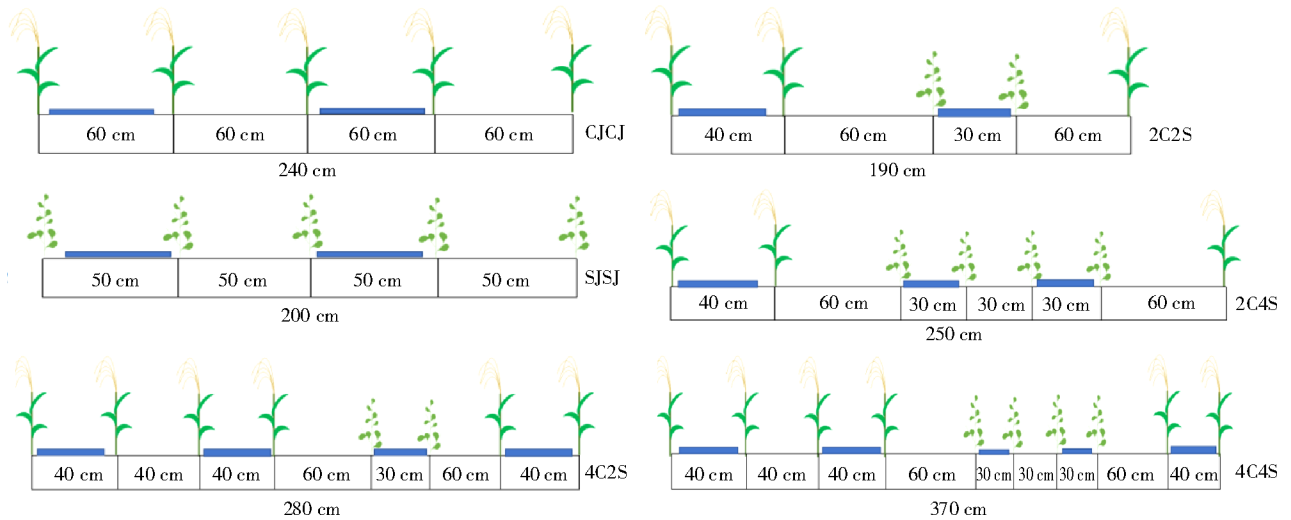


图2 玉米大豆不同间作模式种植分布
Fig.2 Planting map of different maize soybean intercropping modes

1.4 测定项目及方法

1.4.1 玉米叶片光合特性与叶绿素相对含量测定 在玉米拔节期与抽穗期,于晴天9:00—11:00采用LI-6400光合测定仪测定玉米拔节期最上部展开叶和抽穗期穗位叶的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间二氧化碳浓度等光合指标。于玉米拔节期与抽穗期,各处理选取长势一致的植株3株,首先将玉米叶片进行暗适应30 min,然后采用美国生产的多功能植物测量仪MultispeQ 2.0测定其叶绿素相对含量。其中,2行玉米带处理和4行玉米带处理均测定靠近大豆一侧的玉米叶片。

1.4.2 玉米株高和茎粗测定 在玉米各生育期对各小区中随机选取生长情况较为一致的玉米各3株,并依据《国家玉米大豆品种区域试验调查项目及标准》测定其株高、茎粗(由下到上1~2节间茎粗)。

1.4.3 玉米地上部干物质积累测定 在玉米成熟期,在每一小区取样4株,带回实验室后将玉米植株的茎、鞘、穗位叶、其他叶、穗等分离,置于电热恒温鼓风干燥箱,在 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下杀青30 min,然后在 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下烘干至恒质量,用电子天平称干质量。

1.4.4 玉米产量、产量构成因素及水分利用效率测定 于玉米成熟期后,每个处理内选取3个取样点,每个取样点单行连续取10株植株,进行考种,测定其穗粒数、百粒质量、籽粒含水量;玉米每取样点取3 m内的所有植株,进行脱粒,风干后称质量

即为收获样点实际产量,间作按照作物土地占比计算产量。间作系统中作物的群体产量为大豆产量与玉米产量之和。

用LDS-5G谷物水分测定仪对作物籽粒进行检测,得到玉米大豆籽粒含水量(%)数据,重复3次,玉米大豆籽粒含水率分别为14%、13.5%。将每个处理风干的籽粒中选取3份,每份100粒,分别称质量,取平均值记为该处理玉米百粒质量。采用烘干法,分别于玉米播种前和收获后两时期进行土壤取样,测定深度为0~100 cm,每20 cm取样一次,迅速装入铝盒,根据称质量法计算土壤含水量。

玉米和大豆产量、水分利用率、农田耗水量由公式计算得出。

$$\text{玉米产量} = \text{收获样点实际产量} / \text{收获样点实际面积} \times 10\ 000 \times \text{土地占用率} \times (1 - \text{含水量}) / (1 - 14\%) \quad (1)$$

$$\text{大豆产量} = \text{收获样点实际产量} / \text{收获样点实际面积} \times 10\ 000 \times \text{土地占用率} \times (1 - \text{含水量}) / (1 - 13.5\%) \quad (2)$$

$$\text{水分利用效率(WUE)}^{[16]} = \text{作物产量}(Y) / \text{农田耗水量}(ET)(\text{mm}) \quad (3)$$

$$\text{农田耗水量}(ET) = \text{含水量} \times \text{土壤容重} \times 10 \times (0 \sim 100\text{ cm 土层深度}) \quad (4)$$

式中,含水量为播前和收后土壤含水量的差与全生育期降雨量(大于10 mm的有效降水量)之和。

1.5 数据分析

使用 Excel 2023 和 Origin 2021pro 统计数据 and 图表制作,使用 SPSS 25.0 进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 膜际条件下不同间作模式对玉米光合特性及叶绿素相对含量的影响

从表 1 可以看出,在膜际条件下,2 a 玉米大豆种植中,间作模式光合指标整体高于单作光合指标。2022 年玉米拔节期,2C2S、4C2S 处理的净光合速率较 CJCJ 分别显著增加 22.86%、9.29% ($P < 0.05$);气孔导度表现为 2C2S、4C2S 处理较 CJCJ 显著增加 58.62%、55.17%;2C2S、2C4S、4C2S 和 4C4S 处理的胞间二氧化碳浓度均显著高于 CJCJ 处理 ($P < 0.05$);

2C2S、4C2S 及 2C4S 处理的蒸腾速率均高于 CJCJ 处理。2022 年玉米抽穗期,间作处理的光合各指标均显著高于 CJCJ 处理 ($P < 0.05$)。其中,4C2S 处理的净光合速率较 CJCJ 处理显著增加 29.63% ($P < 0.05$);2C4S 处理的气孔导度、胞间二氧化碳浓度较 CJCJ 处理分别显著增加 95.83%、93.40% ($P < 0.05$);4C2S 处理的蒸腾速率较 CJCJ 处理显著增加 62.73% ($P < 0.05$);抽穗期,2C2S 处理的叶绿素相对含量显著高于其他处理 ($P < 0.05$)。2023 年玉米拔节期 2C4S 处理的净光合速率较 CJCJ 显著增加 15.80% ($P < 0.05$);玉米拔节期和抽穗期时各间作处理的气孔导度、胞间二氧化碳浓度和蒸腾速率均高于 CJCJ 处理,增加范围为 2.15%~76.47%。

表 1 不同间作模式下玉米叶片光合参数的分析
Tab.1 Analysis of photosynthetic parameters of maize leaves under different intercropping modes

年份 Year	生育时期 Growth stage	处理 Treatment	Pn/ ($\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)	Gs/ ($\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)	Ci/ ($\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)	Tr/ ($\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)	叶绿素相对含量 Chlorophyll relative content
2022	拔节期 Jointing stage	CJCJ	40.25±0.16c	0.29±0.002b	120.12±0.75c	6.39±0.06b	61.48±2.08a
		2C2S	49.45±0.09a	0.46±0.01a	162.88±4.32a	7.73±0.10a	72.40±1.02a
		2C4S	36.79±0.61d	0.30±0.01b	148.12±0.45b	6.84±0.11b	55.02±11.54a
		4C2S	43.99±0.73b	0.45±0.04a	170.36±10.24a	7.71±0.36a	53.52±7.12a
		4C4S	38.53±0.17d	0.33±0.004b	146.56±1.73b	6.33±0.07b	50.98±12.87a
	抽穗期 Extraction stage	CJCJ	34.39±0.02c	0.24±0.00c	109.87±0.18d	6.60±0.001d	62.63±1.86b
		2C2S	42.26±0.84b	0.33±0.02b	126.07±10.33c	7.63±0.32c	69.45±2.33a
		2C4S	43.26±0.08b	0.47±0.001a	212.49±0.44a	8.86±0.01b	64.56±2.64ab
		4C2S	44.58±0.03a	0.46±0.00a	201.80±0.02a	10.74±0.001a	66.11±1.53ab
		4C4S	42.45±0.06b	0.35±0.00b	149.08±1.29b	9.41±0.07b	68.51±0.83ab
2023	拔节期 Jointing stage	CJCJ	19.23±0.79b	0.11±0.007b	235.20±0.76c	3.07±0.09c	65.64±3.13a
		2C2S	22.15±0.73a	0.14±0.007a	240.26±1.39bc	3.86±0.13a	68.95±1.59a
		2C4S	22.27±0.43a	0.14±0.003a	240.52±3.25bc	3.62±0.03ab	67.43±1.53a
		4C2S	21.76±0.10a	0.14±0.001a	242.92±0.60b	3.45±0.02b	70.60±1.75a
		4C4S	21.64±0.77a	0.14±0.009a	250.16±3.09a	3.75±0.15ab	63.69±3.39a
	抽穗期 Extraction stage	CJCJ	29.81±1.51b	0.14±0.01d	235.19±0.76c	3.07±0.09c	83.81±0.50a
		2C2S	34.55±0.04a	0.23±0.00a	240.26±1.39bc	3.86±0.13a	81.83±1.52a
		2C4S	31.50±0.12ab	0.16±0.001c	240.52±3.25bc	3.62±0.03ab	83.29±0.87a
		4C2S	31.35±1.84ab	0.18±0.006b	242.92±0.60b	3.45±0.02b	82.02±1.32a
		4C4S	29.92±0.02b	0.21±0.002a	250.16±3.09a	3.75±0.15ab	82.93±0.55a

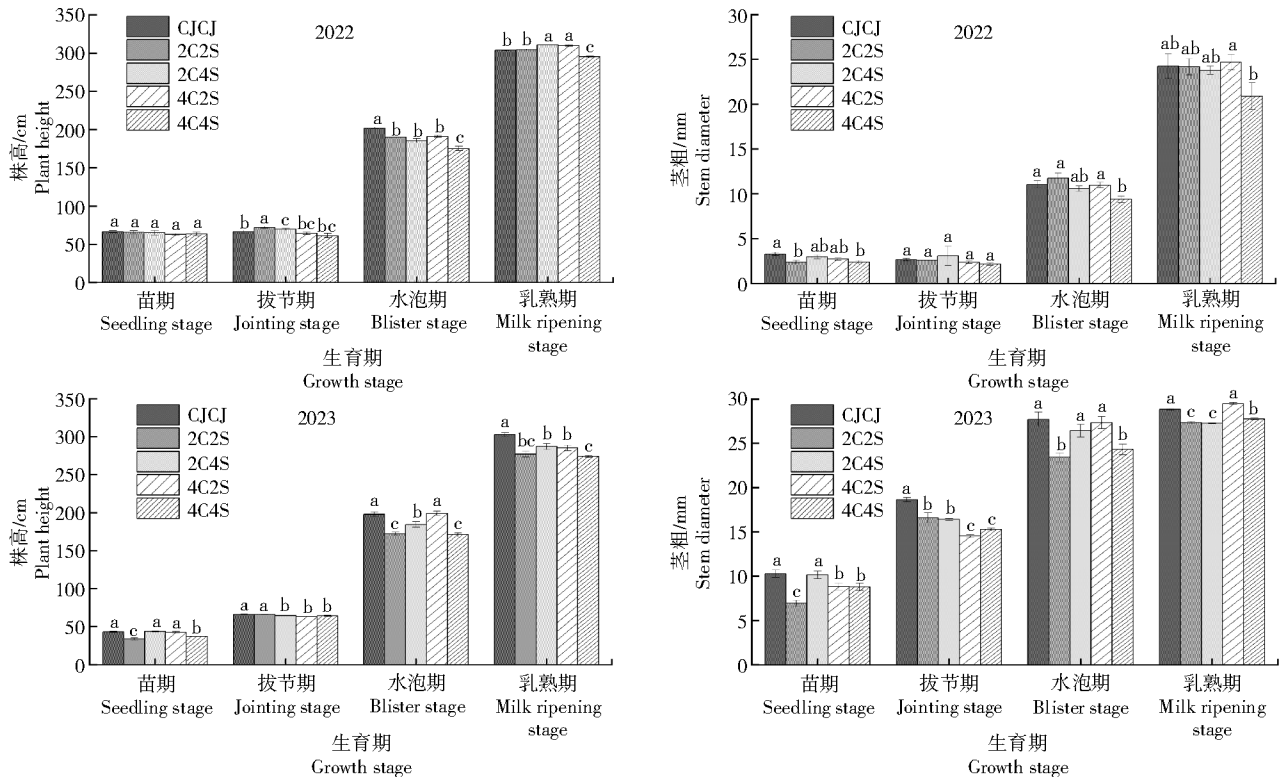
注:表中数据为平均值±标准误;同列数据后不同小写字母表示处理间差异达 0.05 显著水平。

Note: The data in the table were mean ± standard error, the different lowercase letters following the values in the same column meant significant difference at 0.05 level.

2.2 膜际条件下不同间作模式对玉米株高和茎粗的影响

从图 3 可以看出,玉米株高和茎粗均随着生育期的推进不断升高,间作模式对玉米株高、茎粗具有不同程度的影响。2022 年玉米拔节期,2C2S、2C4S 处理的株高较 CJCJ 处理分别显著增加

8.03%、4.60% ($P < 0.05$);各间作处理的茎粗与 CJCJ 处理间无显著差异。2023 年玉米乳熟期,4C2S 处理的茎粗较 CJCJ 处理显著增加 2.21% ($P < 0.05$);2023 年玉米各时期 CJCJ 处理的株高均高于其他各处理。



柱上不同小写字母表示同一年处理间在0.05水平差异显著。下图同
Different lowercase letters above the bars indicated significant difference among treatments at 0.05 level in the same year. The same as below

图3 不同间作模式下玉米株高和茎粗的分析
Fig.3 Analysis of maize plant height and stem diameter under different intercropping modes

2.3 膜际条件下不同间作模式对玉米地上部干物质量的影响

由图4可知,膜际种植条件下,玉米作物随着生育期的推进,地上部干物质量逐渐增加,2022年玉米成熟期地上部干物质量表现为2C4S处理最高,2C2S处理与4C2S处理次之,2a间2C4S处理较CJCJ处理分别显著增加11.95%、3.27% ($P <$

0.05)。2022年2C4S处理的茎、鞘干质量较CJCJ处理分别增加22.40%、20.26%。2023年2C4S处理的地上部干物质均高于其他各处理,其中,穗干质量显著高于2C2S、4C2S与4C4S处理 ($P <$ 0.05),与CJCJ处理没有显著差异。其中,2a间2C4S处理的穗干质量较CJCJ有所增加。由此可知间作2C4S处理对玉米地上部干物质量具有一定的影响。

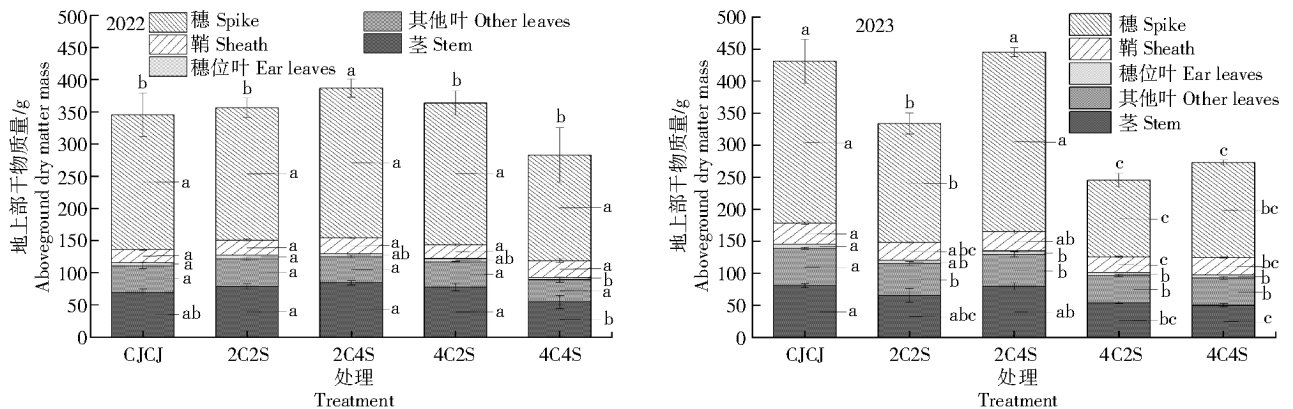


图4 不同间作模式下玉米地上部干物质量的分析
Fig.4 Analysis of aboveground dry matter mass of maize under different intercropping modes

2.4 膜际条件下不同间作模式对玉米产量及产量构成因素的影响

由表2可知,2022年间作模式下玉米的穗粒数

表现为2C2S、4C4S、2C4S处理较CJCJ处理分别显著增加45.49%、45.06%、29.79% ($P <$ 0.05); 2023年玉米穗粒数由大到小表现为4C2S > 2C4S >

2C2S>CJCJ>4C2S;2C4S、4C4S 处理的百粒质量 均显著高于 CJCJ 处理($P<0.05$)。

表 2 不同间作模式下玉米产量及其构成因素分析
Tab.2 Analysis of maize yield and its constituent factors under different intercropping modes

年份 Year	处理 Treatment	穗粒数 Number of grains per spike	百粒质量/g 100 grain weight	籽粒含水量/% Grain moisture con- tent	玉米产量/(kg/hm ²) Maize yield	群体产量/(kg/hm ²) Population yield
2022	2C2S	667.33±4.67a	23.18±1.37ab	7.867±0.35a	7 594.26±150.35a	8 098.30±69.44a
	2C4S	595.33±3.33b	22.05±0.26b	8.33±0.167a	7 901.03±238.17a	8 157.04±81.113a
	4C2S	480.67±39.54c	22.25±0.17ab	7.93±0.62a	7 543.09±276.14a	8 070.27±276.14a
	4C4S	665.33±13.13a	22.81±1.42ab	7.80±0.10a	5 917.23±290.62b	5 950.55±37.89b
	CJCJ	458.67±17.29c	25.24±0.40a	7.77±0.12a	6 791.27±166.47ab	6 791.27±166.47ab
2023	SJSJ					1 653.87±32.63a
	2C2S	679.00±23ab	35.88±0.17ab	12.87±0.33a	9 079.29±264.83c	10 430.69±264.83c
	2C4S	690.25±33.93ab	36.96±0.44a	13.17±0.75a	11 529.06±107.49a	13 506.62±107.49a
	4C2S	762.00±38.94a	33.96±0.44b	13.80±0.97a	11 239.39±142.38a	12 161.65±142.38b
	4C4S	641.00±30.77b	36.63±1.27a	13.50±0.20a	10 043.22±211.09b	10 958.71±211.09c
	CJCJ	652.00±46.07ab	35.75±0.39ab	14.63±0.20a	11 172.67±59.39a	11 172.67±59.39a
	SJSJ					2 234.83±124.51a
变异来源 Variation source						
年份 Year		**	**	**	**	**
处理 Treatment		**	**	ns	**	**
年份×处理 Year×Treatment		**	**	ns	**	**

注:表中数据为平均值±标准误;同列数据后不同小写字母表示处理间差异达 0.05 显著水平。* 在 0.05 水平下差异显著;** 在 0.01 水平下差异极显著;ns 不显著。

Note: The data in the table were mean±standard error, the different lowercase letters following the values in the same column meant significant difference at 0.05 level. *. Significant difference at the 0.05 level; **. Extremely significant difference at the 0.01 level; ns. No significant difference.

从表 3 可以看出,2022 年 2C4S 处理耗水量较多,各间作处理的水分利用效率较 CJCJ 处理增加 0.60%~12.19%;2023 年 2C4S 与 4C2S 处理水分利用效率较高。玉米大豆复合种植模式中,2022 年玉米作物产量 2C4S 处理最高,2C2S 处理和 4C2S 处理次之;2C4S 处理群体产量最高,2C2S 处理次

之。2023 年,2C4S 处理和 4C2S 处理的产量高于其他间作处理;2023 年群体产量表现为 2C4S 处理最高,较 SJSJ 处理显著增加 3.93 倍($P<0.05$),较 CJCJ 处理增加 20.89%。由此可知,间作处理对水分利用效率有影响,从而影响产量因素。

表 3 不同玉米大豆间作模式下水分利用效率的分析
Tab.3 Analysis of water use efficiency in different maize soybean intercropping modes

年份 Year	处理 Treatment	播前土壤含水量/% Soil moisture content before sowing	收后土壤含水量/% Soil moisture content after harvest	降雨量/mm Precipitation	农田耗水量/mm ET	水分利用效率/ (kg/(hm ² ·mm)) WUE
2022	CJCJ	28.67	26.73±3.80ab	414.5	371.31±9.84b	18.30±0.40a
	2C2S	28.67	22.14±0.98b	414.5	385.98±2.32ab	19.67±0.40a
	2C4S	28.67	9.85±0.09c	414.5	419.00±1.43a	18.85±1.97a
	4C2S	28.67	22.28±2.36b	414.5	369.19±13.40b	20.53±1.41a
	4C4S	28.67	32.65±0.12a	414.5	323.93±23.83c	18.41±1.26a
2023	CJCJ	28.88	13.76±0.01b	415.7	430.07±11.40a	26.01±0.61a
	2C2S	28.88	9.86±0.11d	415.7	432.25±7.54a	21.02±0.76c
	2C4S	28.88	12.33±0.35c	415.7	425.61±9.94a	27.11±0.58a
	4C2S	28.88	15.31±0.13a	415.7	420.06±12.17a	26.80±0.87a
	4C4S	28.88	11.97±0.29c	415.7	426.45±9.39a	23.58±0.80b

3 结论与讨论

玉米大豆高矮错落排列,可使群体通风能力得

到提高,更有利于玉米中下层叶片对光能的捕获,增加群体受光面,提高光能利用率^[17]。武昌等^[18]研究发现,与单作玉米相比,带状间作改善了玉米冠

层中下部的透光率,显著提高玉米的叶面积和光能利用率,增加玉米干物质积累,使玉米叶片保持较高的净光合速率,促进产量的增加。前人2 a试验研究表明,高粱花生间作种植显著改善了高粱群体性状、光合作用及物质生产能力^[19]。带宽配置对糯高粱叶片SPAD值、净光合速率、气孔导度和蒸腾速率有极显著影响^[20]。间作玉米净光合速率、蒸腾速率和气孔导度均高于其他处理^[21],本试验与此研究结果相似,在膜际条件下,2 a玉米大豆间作中间作光合指标整体高于单作光合指标。在玉米拔节期、抽穗期,间作较各单作处理的光合特性指标均有不同程度的提升。其中,2 a间玉米光合特性存有差异,可能由于2 a降雨量集中分布在不同月份,从而影响2 a玉米叶片的光合作用。

玉米大豆间作提高了作物的株高和茎粗^[22-23]。5 a数据相关性分析表明,间作模式下的甜玉米鲜穗产量与株高相关性更强^[24],本试验结果与其一致,2022年玉米拔节期与乳熟期时2C4S处理的株高较CJCJ处理分别显著增加。间作作物与带型配置对胡麻干物质积累量、各器官的干物质分配量千粒质量及籽粒产量的互作效应均达显著或极显著水平^[25]。刘江红^[26]在2021—2022年玉米大豆间作试验中发现,玉米大豆行比6:6、6:3、3:6、3:3处理的玉米单株干物质积累量均高于玉米单作。本试验结果表明,在膜际种植条件下,2022年与2023年玉米成熟期时地上部干物质质量表现为2C4S处理最高,2 a间2C4S处理较CJCJ增加3.27%~11.95%,由此可知,间作2C4S处理对玉米地上部干物质质量有明显的影响。其中,除2C4S处理的间作处理外,其他间作处理2 a间地上部干物质质量存在差异,可能是由于土壤肥力发生较大变化或者一些自然因素的波动,影响作物生长及干物质的积累。

前人研究发现,间作与单作作物相比,粮食总产量、经济收入显著增高。玉米与蚕豆品种间作的总产量比单作玉米提高13%^[27]。FENG等^[28]对玉米大豆不同行比进行了为期2 a的田间试验,结果表明,1行玉米2行大豆的间作模式下的2 a平均产量显著高于其他间作处理。PELECH等^[29]通过玉米和豆类间作试验,证明了间作比单一栽培具有产量和资源利用优势。BEKELE等^[30]研究发现,玉米紫云英间作具有较高的土壤含水率和产量。禾本、豆科间作具有提高作物的水分利用效率,优化土壤水分分布,促进作物生长等优点^[31]。本研究表明,2022年与2023年2C4S处理下的玉米产量高于其余处理,分别较CJCJ处理增加14.05%、3.09%,这

与林文磊等^[32]研究指出的泉州地区玉米大豆带状种植以行比2:2的间作模式下群体产量最高不同,可能是与地区环境条件、膜际栽培技术有关。

本试验研究发现,在膜际栽培条件下,2 a间玉米大豆间作2C4S处理能够提高玉米改善叶片光合特性,从而促进地上部干物质积累,最终提高玉米作物产量、玉米大豆间作体系的群体产量及水分利用效率。综上,膜际栽培技术条件下2行玉米4行大豆带状种植是最适宜在陕北黄土塬区推广的玉米大豆间作模式。

参考文献:

- [1] WANG Y Z, ZHANG Y P, YANG Z Y, et al. Intercropping improves maize yield and nitrogen uptake by regulating nitrogen transformation and functional microbial abundance in rhizosphere soil[J]. *Journal of Environmental Management*, 2024, 358:120886.
- [2] 吴思,周迎鑫,罗薇,等. 不同栽培模式对夏玉米产量和抗倒性的影响[J]. *河南农业科学*, 2023, 52(4):42-50.
WU S, ZHOU Y X, LUO W et al. Effects of cultivation patterns on yield and lodging resistance of summer maize[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2023, 52(4):42-50.
- [3] KINTL A, HUŇADY I, VÍTĚZ T, et al. Effect of legumes intercropped with maize on biomass yield and subsequent biogas production[J]. *Agronomy*, 2023, 13(11):2775.
- [4] LI Y H, WANG L, ZHAO B, et al. Crop productivity, economic advantage, and photosynthetic characteristics in a corn-peanut intercropping system[J]. *Agronomy*, 2023, 13(2):509.
- [5] ANYONI O G, SUSAN T, JOSEPH E, et al. Effects of intercropping on maize and soybean yield performance, land equivalent ratio, and maize leaf area in conservation agriculture[J]. *Journal of Agricultural Science*, 2023, 16(1):37.
- [6] LIANG Z J. Thoughts on the application of corn-soybean intercropping technology[J]. *Agricultural Technology Management*, 2024, 6(1):102.
- [7] 高应平,郑炳辉,梁天柱,等. 不同覆膜形式对旱地玉米—拉巴豆间作栽培饲料产量及青贮品质的影响[J]. *中国饲料*, 2023(4):78-83.
GAO Y P, ZHENG B H, LIANG T Z, et al. Effects of different mulching forms of dryland maize-laba bean intercropping on yield, nutrition and fermentation indexes[J]. *China Feed*, 2023(4):78-83.
- [8] 李伟绮,孙建好,赵建华. 覆膜对玉米间作豌豆干物质积累与分配的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2016(5):118-123.
LI W Q, SUN J H, ZHAO J H. Effects of mulching on dry matter accumulation and distribution in maize-pea intercrop[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2016(5):118-123.
- [9] 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.
- [10] 袁嘉磊. 玉米大豆不同间作模式群体生理基础及适宜性研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2021.
YUAN J L. Study on population physiological basis and suit-

- ability of maize and soybean intercropping patterns[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2021.
- [11] 张忠华,尹士芳,谢宾.大豆玉米间作对作物生长特性及产量效益的影响[J].中国农技推广,2024,40(3):44-47.
ZHANG Z H, YIN S F, XIE B. Effects of soybean and corn intercropping on crop growth characteristics and yield benefit[J]. China Agricultural Technology Extension, 2024, 40(3): 44-47.
- [12] 李美霞,陈骋,汪健,等.不同带状复合种植模式对大豆玉米农艺性状及产量的影响[J/OL].甘肃农业大学学报,1-13.[2024-07-16].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/62.1055>.
LI M X, CHEN C, WANG J, et al. Effects of different strip composite cropping patterns on agronomic traits and yield of soybean and maize[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 1-13. [2024-07-16]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/62.1055>.
- [13] 纪晓玲,毛端,唐明辉,等.不同覆膜栽培方式对黄芪产量的影响研究[J].榆林学院学报,2024,34(2):41-45.
JI X L, MAO D, TANG M H, et al. Effect of different mulching cultivation methods on the yield of *Astragalus chinensis*[J]. Journal of Yulin University, 2024, 34(2): 41-45.
- [14] 杜守宇,田恩平,温敏,等.春小麦垄盖膜际条播栽培研究[J].宁夏农林科技,1999,40(3):2-7.
DU S Y, TIAN E P, WEN M, et al. Study on the cultivation of spring wheat by ridge-covered plastic film stripping[J]. Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology, 1999, 40(3): 2-7.
- [15] 刘德才,刘金艳.全膜双垄沟播玉米优质绿色环保种植技术[J].农业开发与装备,2023(1):221-222.
LIU D C, LIU J Y. High-quality and environment-friendly planting techniques of full-film double-ridge furrow sowing corn[J]. Agricultural Development & Equipments, 2023(1): 221-222.
- [16] 梁晓红,曹雄,张瑞栋,等.高粱和大豆间作对土壤水分分布及水分利用效率的影响[J].河南农业科学,2021,50(7):30-38.
LIANG X H, CAO X, ZHANG R D, et al. Effects of *Sorghum-soybean* intercropping on soil moisture distribution and water use efficiency[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2021, 50(7): 30-38.
- [17] 罗华,王杰,宋勇,等.玉米—大豆间套作模式研究现状及其展望[J].作物研究,2020,34(5):502-506.
LUO H, WANG J, SONG Y, et al. Research status and prospect of maize and soybean intercropping model[J]. Crop Research, 2020, 34(5): 502-506.
- [18] 武晶,陈梦,汪直华,等.带状间作不同带间距对玉米光能利用的影响[J].中国农业科学,2023,56(23):4648-4659.
WU J, CHEN M, WANG Z H, et al. Effect of different strip distances on light energy utilization in strip intercropping maize[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2023, 56(23): 4648-4659.
- [19] 刘思彤,张东娟,许锦,等.间作对高粱光合特征及物质生产的影响[J].山西农业大学学报(自然科学版),2023,43(6):52-61.
LIU S T, ZHANG D J, XU J, et al. Effects of intercropping on the photosynthetic characteristics and biomass production of sorghum[J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition), 2023, 43(6): 52-61.
- [20] 彭方丽,汪灿,周棱波,等.糯高粱间作大豆不同带宽配置对糯高粱光合特性、干物质和养分积累及产量的影响[J].南方农业学报,2023,54(7):1966-1976.
PENG F L, WANG C, ZHOU L B, et al. Effects of different width configurations on photosynthetic characteristics, dry matter and nutrients accumulation, and yield of waxy sorghum in waxy sorghum-soybean intercropping system[J]. Journal of Southern Agriculture, 2023, 54(7): 1966-1976.
- [21] 黄宇宁,薛仁凤,丰明,等.间作处理对玉米与绿豆农艺性状、光合特性及产量的影响[J].农业科技通讯,2022(11):117-121.
HUANG Y N, XUE R F, FENG M, et al. Effects of intercropping on agronomic traits, photosynthetic characteristics and yield of maize and mung bean[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2022(11): 117-121.
- [22] 赵小光,赵兴忠,刘颢萌,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.
- [23] ÖNER F, AYKUTLU H M. The effect of on some agronomic traits of corn (*Zea mays* L. *indendata*) and soybean (*Glycine max* L. *merr*) intercropping methods[J]. Uluslararası Tarım Ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi, 2017, 3: 100-107.
- [24] 肖世豪,潘语卓,俞霞,等.5年间作和施氮对甜玉米和大豆产量、农艺性状的影响[J].核农学报,2023,37(4):822-832.
XIAO S H, PAN Y Z, YU X, et al. Effect of intercropping and nitrogen rate on sweet corn and soybean yield and agronomic characteristics during 5-year field experiments[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2023, 37(4): 822-832.
- [25] 张雪,王一帆,高玉红,等.不同间作模式对旱地胡麻干物质积累及产量的影响[J].甘肃农业大学学报,2023,58(5):87-94,105.
ZHANG X, WANG Y F, GAO Y H, et al. Effects of different intercropping patterns on dry matter accumulation and grain yield of oilseed flax in dryland[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2023, 58(5): 87-94, 105.
- [26] 刘江红.玉米大豆间作模式对作物干物质积累和产量的影响[J].基层农技推广,2023,11(8):13-16.
LIU J H. Effects of maize-soybean intercropping pattern on crop dry matter accumulation and yield[J]. Grassroots Agricultural Technology Extension, 2023, 11(8): 13-16.
- [27] GIDEY T, BERHE H D, BIRHANE E, et al. Intercropping maize with faba bean improves yield, income, and soil fertility in semiarid environment.[J]. Scientifica, 2024, 2552695-2552695.
- [28] FENG L, YANG W T, TANG H Y, et al. Bandwidth row ratio configuration affect interspecific effects and land productivity in maize-soybean intercropping system[J]. Agronomy, 2022, 12(12): 3095.
- [29] PELECH E A, ALEXANDER B C S, BERNACCHI C J. Photosynthesis, yield, energy balance, and water-use of intercropped maize and soybean[J]. Plant Direct, 2021, 5(12): e365.
- [30] BEKELE B, ADEME D, GEMI Y, et al. Evaluation of intercropping legume covers with maize on soil moisture improvement in misrak azerinet berbere woreda, SNNPR, Ethiopia[J]. Water Conservation Science and Engineering, 2021, 6(3): 145-151.
- [31] 高梦钊,王鑫鑫,陈任强,等.禾本—豆科间作水分高效利用研究进展[J].节水灌溉,2024(6):77-86.
GAO M F, WANG X X, CHEN R Q. Research progress of water efficient use in graminus-legume intercropping[J]. Water Saving Irrigation, 2024(6): 77-86.
- [32] 林文磊,吕美琴,施迎迎,等.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[J].大豆科学,2024,43(3):342-351.
LIN W L, LÜ M Q, SHI Y Y, et al. Effects of maize and soybean intercropping on growth, quality characters and yield of different soybean varieties and group economic value[J]. Soybean Science, 2024, 43(3): 342-351.