

谷子大豆间作模式对作物干物质积累分配及产量的影响

曹宇媛, 纪晓玲, 刘 琴, 贺东东, 王小林, 张 雄

(榆林学院 生命科学学院, 陕西 榆林 719000)

摘要:为探究适于陕北黄土丘陵沟壑区膜际栽培条件下谷子大豆种植的最佳间作方式,采用单因素随机区组设计,设置2行谷子2行大豆间作(I₂₂)、2行谷子4行大豆间作(I₂₄)、4行谷子2行大豆间作(I₄₂)、单作谷子(SG)和单作大豆(SD)共5个处理,分析不同间作模式下谷子和大豆干物质积累与分配特点、种间竞争能力及其对产量的影响。结果表明,3种间作处理均显著提高了谷子的干物质积累量,且I₂₄处理显著高于I₄₂处理,谷子干物质分配比率孕穗期为叶大于茎,成熟期穗大于叶、茎,3种间作处理穗分配比率均显著高于单作,且I₂₄和I₂₂处理显著高于I₄₂处理;3种间作处理均显著降低了大豆的干物质积累量,大豆干物质分配比率开花期为叶大于茎,成熟期荚果大于茎、叶,3种间作处理荚果分配比率均显著高于单作,各间作处理间无显著差异。I₂₄和I₄₂间作处理土地当量比分别为1.10、1.06,土地生产力提高6%~10%,具有间作优势;I₂₂间作处理土地当量比为1.00,无间作优势。间作处理下谷子较大豆表现出了更强的种间竞争能力(A_G>0)和产量营养竞争比率(CR_G>1),且I₂₄处理显著低于I₄₂和I₂₂处理。综上所述,2行谷子2行大豆间作为陕北黄土丘陵沟壑区的最佳谷子大豆间作方式。

关键词:谷子;大豆;间作;干物质积累;产量

中图分类号:S344.2

文献标识码:A

文章编号:1002-2481(2024)01-0061-07

Effects of Millet and Soybean Intercropping Patterns on Dry Matter Accumulation and Distribution, and Yield of Crops

CAO Yuyuan, JI Xiaoling, LIU Qin, HE Dongdong, WANG Xiaolin, ZHANG Xiong

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

Abstract: To explore the best intercropping method of millet and soybean under interfilm cultivation conditions in the loess hilly-gully region of northern Shaanxi, a single-factor randomized block experimental design was used to set up 5 treatments, including 2 rows of millet with 2 rows of soybean intercropping(I₂₂), 2 rows of millet with 4 rows of soybean intercropping(I₂₄), 4 rows of millet with 2 rows of soybean intercropping(I₄₂), millet in single cropping(SG), and soybean in single cropping(SD). Characteristics such as dry matter accumulation and distribution, interspecific competitiveness, and their effects on the yield of millet and soybean under different intercropping patterns were analyzed. The results showed as follows. The dry matter accumulation of millet was significantly increased by the three intercropping treatments, and it was significantly higher in the I₂₄ treatment than that in the I₄₂ treatment. At the booting stage, the dry matter allocation ratio to leaves was greater than that to stems. At the maturity stage, the dry matter allocation ratio to spikes was greater than that to leaves and stems. The dry matter allocation ratios of the three intercropping treatments were significantly higher than those of the single cropping, with I₂₄ and I₂₂ treatments being significantly higher than the I₄₂ treatment. The dry matter accumulation of soybean was significantly increased by the three intercropping treatments. At the flowering stage, the dry matter allocation ratio to leaves was greater than that to stems. At the maturity stage, the allocation ratio to pods was greater than that to the stems and leaves. Among the three intercropping treatments, the pod allocation ratios were significantly higher than those of the single cropping, with no significant differences observed among the intercropping treatments themselves. The land equivalent ratio for the I₂₄ and I₄₂ intercropping treatments was 1.10 and 1.06, respectively, increasing land productivity by 6%~10% and highlighting the benefits of intercropping. The I₂₂ intercropping treatment had a land equivalent ratio of 1.00, indicating no intercropping advantage. Under the intercropping treatments, millet demonstrated stronger interspecific competitiveness(A_G>0) and a higher yield nutrient competition ratio(CR_G>1) than soybean. The I₂₄ treatment had significantly lower interspecific competition than the I₄₂ and I₂₂ treatments. In conclusion, the 2 rows of millet with 2 rows of soybean intercropping was the most effective millet soybean intercropping method in the loess hilly-gully region of northern Shaanxi.

收稿日期:2023-05-14

基金项目:国家自然科学基金项目(41967013);榆林市科技局产学研合作计划项目(CXY-2021-82,CXY-2022-70);陕西省农业农村厅科技创新驱动项目(2022NYT01)

作者简介:曹宇媛(1995-),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:纪晓玲(1969-),女,陕西榆林人,教授,硕士生导师,主要从事农业节水技术研究工作。

Key words: millet; soybean; intercropping; dry matter accumulation; yield

陕北黄土丘陵沟壑区以丘陵山地为主,耕地资源少,严重限制了农作物的稳定生产^[1]。间作可以保护耕地生态系统生物多样性^[2],进一步提高光照、水分、温度利用效率^[3],增加土地生产能力,增产增收效果明显^[4]。谷子是陕北地区的特色作物,种植面积常年保持在 8.6 万 hm^2 左右,但在种植中谷子连作会导致病虫害严重、土壤养分失衡,使谷子产量下降。通过调整种植结构提高谷子的产量具有一定的实际意义。禾本科与豆科作物间作是土壤贫瘠地区常见的间作模式^[5]。大豆因其固氮能力被广泛用于间作、轮作。研究谷子大豆间作模式对作物干物质积累分配、种间竞争力的影响,明确增产机制,对谷子的绿色可持续发展具有重要意义。相关研究表明,禾本科和豆科间作能够通过影响作物干物质积累及向籽粒分配而影响作物产量。王晓维等^[6]在玉米与大豆间作研究中发现,间作可以提高玉米干物质积累量。高阳等^[7]对玉米大豆间作的研究表明,间作降低了大豆单株干物质、各器官干物质积累量和干物质转换率。高砚亮等^[8]在玉米与花生间作研究中发现,间作显著降低了花生干物质积累量。任媛媛等^[9]对玉米大豆间作的研究表明,由于玉米和大豆对资源的需求在时间和空间上的分离与互补,间作实现了作物对光、温、水等各种资源的高效利用,从而直接影响作物产量和土地生产力^[10]。在对玉米与大豆^[11]、玉米与花生^[12]、谷子与大豆^[13]、糜子与绿豆^[14]等间作的研究表明,间作使禾本科作物的产量增加,豆科作物的产量降低,但土地生产力在一定程度上有所提高,表现出间作优势。作物因其生长环境的改变,繁殖器官的需求增加,使得营养器官的分配率降低,繁殖体部位分配率增加,这是作物竞争的体现,因此,竞争是影响作物生产的一个非常重要的因素^[15]。前人对于禾本

科作物与豆科作物间作研究主要集中在玉米大豆间作、高粱大豆间作、玉米花生间作等光合作用和产量方面,而对于谷子与大豆间作模式干物质积累分配和种间竞争方面的研究报道较少。

本研究设置了 3 种谷子与大豆间作模式,探究不同间作模式对作物干物质的积累与分配、种间竞争及产量和土地生产力的影响,为陕北黄土丘陵沟壑区的谷子大豆间作研究提供一定的帮助。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验于 2021 年在黄土高原西北部丘陵沟壑区的陕西省榆林市榆阳区太平沟村($38^{\circ}16'40''\text{N}$ 、 $109^{\circ}47'58''\text{E}$)进行,属于干旱半干旱农牧交错区,农业生产以传统方式为主。该地区年平均气温 8.3°C ,有效积温 $3\ 260^{\circ}\text{C}$ 。无霜期 146 d,年均降水量 446.8 mm,其中 60%~80% 集中在 7—9 月。年蒸发量 1 211 mm,年日照时数 2 644 h。降雨量年际间变化较大,分布严重不均。

1.2 试验材料

供试谷子品种为晋谷 21、大豆品种为汾豆 78,均为榆林黄土丘陵沟壑区广泛种植品种。

1.3 试验设计

试验采取随机区组试验设计,在膜际栽培条件下,共设置谷子单作(SG)、大豆单作(SD)、谷子大豆间作(I_{22} 、 I_{24} 、 I_{42})5 个处理,SG 为 12 行谷子,SD 为 12 行大豆, I_{22} 为 2 行谷子 2 行大豆、 I_{24} 为 2 行谷子 4 行大豆、 I_{42} 为 4 行谷子 2 行大豆,每个处理重复 4 次。小区面积为 $36\ \text{m}^2$ ($6\ \text{m}\times 6\ \text{m}$),谷子行距 50 cm,株距 11 cm;大豆行距 50 cm,株距 26 cm,南北行向种植(图 1)。

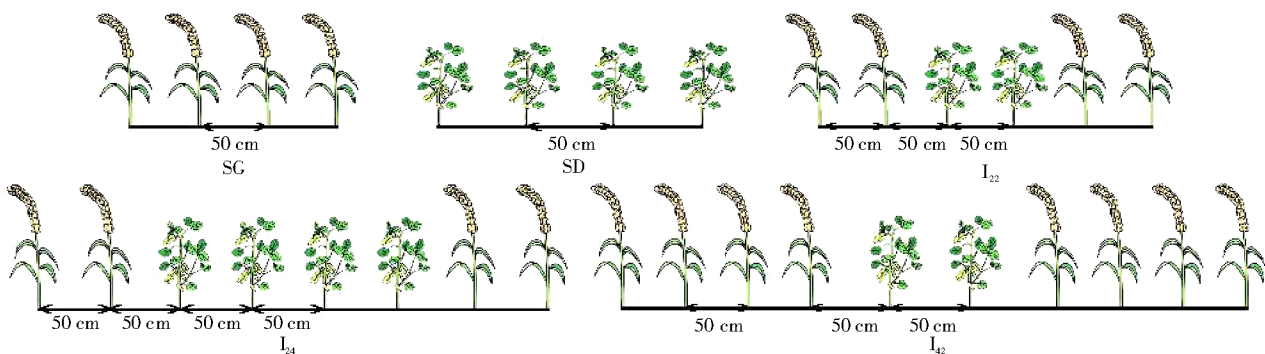


图 1 田间种植模式
Fig.1 Planting pattern in the field

试验采用均一化处理,单作与间作作物种植方式及行株距相同,谷子和大豆同时播种同时收获,于5月15日播种,10月11日收获。氮(N)、磷(P₂O₅)和钾(K₂O)的施肥量均为100 kg/hm²,于播种前一次施入,后期未进行追肥处理。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 地上干物质测定 在谷子和大豆生育期各处理均随机选取谷子和大豆各9株,将其根、茎、叶、穗(豆荚)带到实验室进行分离,置于烘箱105℃下杀青20 min后,再在80℃下烘至恒质量后测定干物质质量。

1.4.2 产量测定 在谷子、大豆成熟后,单作处理每小区随机选取10株植株,间作处理每小区随机选取谷子大豆各10株进行产量考种,随后收获整个小区作物脱粒后统计作物产量。

1.4.3 相关指标及其计算方法 土地当量比(LER)用公式计算所得^[16],种间相对竞争能力(A_G)按公式计算所得^[17],产量营养竞争比率(CR_G)用公式计算所得^[18]。

$$LER = LER_G + LER_D = \frac{Y_{IG}}{Y_{SG}} + \frac{Y_{ID}}{Y_{SD}} \quad (1)$$

式中,LER_G、LER_D分别表示间作处理中谷子、大豆的相对土地当量比;Y_{SG}和Y_{SD}分别为单作条件下谷子、大豆的均一化产量(kg/hm²),Y_{IG}和Y_{ID}分别为间作条件下谷子、大豆的均一化产量(kg/hm²)。LER大于1说明间作具有优势,LER小于1说明间作劣势。

$$A_G = \frac{Y_{IG}}{Y_{SG}} - \frac{Y_{ID}}{Y_{SD}} \quad (2)$$

式中,A_G表示谷子相对于大豆的竞争能力。A_G大于0说明谷子比大豆竞争能力强;A_G小于0说明谷子比大豆竞争能力弱。

$$CR_G = (Y_{IG}/Y_{SG}) / (Y_{ID}/Y_{SD}) \quad (3)$$

式中,CR_G表示谷子相对于大豆的产量营养竞争比率。CR_G大于1说明谷子的产量营养竞争能力强于大豆;CR_G小于1说明谷子的产量营养竞争能力弱于大豆。

1.5 数据处理

使用Microsoft Excel 2010整理数据,SPSS 23.0软件对数据进行差异显著性检验(LSD, P<0.05)以及单因素方差分析(ANOVA),使用Origin 2019软件绘图。

2 结果与分析

2.1 谷子大豆间作对作物干物质积累与分配的影响

2.1.1 谷子大豆间作对谷子干物质积累与分配的影响 由表1可知,在孕穗期,间作谷子的单株干物质积累量均高于单作,大小表现为I₂₄>I₂₂>I₄₂>SG,间作处理单株干物质积累量较单作分别增加了31.21%、61.03%、21.36%,I₂₄与单作SG差异显著(P<0.05)。在成熟期,间作谷子的单株干物质积累量较单作分别增加了31.28%、42.62%、23.61%,各间作处理与单作SG均差异显著。说明谷子大豆间作可显著提高谷子孕穗期和成熟期干物质积累量。

表1 单作及间作谷子单株干物质积累与分配比率

Tab.1 Dry matter accumulation and allocation ratio of millet in single cropping and millet-soybean intercropping systems

种植模式 Planting pattern	单株干物质积累/(g/株) Dry matter accumulation per plant		干物质分配比率/% Dry matter allocation ratio				
	孕穗期 Booting stage	成熟期 Maturity stage	孕穗期 Booting stage		成熟期 Maturity stage		
			茎 Stem	叶 Leaf	茎 Stem	叶 Leaf	穗 Ear
SG	7.21±0.50b	46.81±1.91c	22.81±2.52a	77.19±2.52a	29.17±0.83a	33.48±0.49a	37.35±1.18c
I ₂₂	9.46±0.32ab	61.45±2.93ab	25.60±1.27a	74.40±1.27a	24.51±1.17b	27.32±0.63b	48.17±1.24a
I ₂₄	11.61±0.94a	66.76±3.46a	25.99±2.60a	74.01±2.60a	23.91±1.30b	28.36±1.44b	47.74±1.08a
I ₄₂	8.75±0.83b	57.86±2.30b	23.43±1.35a	76.57±1.35a	27.00±0.80ab	29.50±0.95b	43.50±1.36b

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5%显著水平。下同。

Note: The data in the table was the means of replicates ± standard error; different lowercase letters in the same column indicated the significant difference at the 0.05 level. The same as below.

谷子孕穗期干物质的分配规律为茎少叶多,各处理茎的分配比率为22.81%~25.99%,叶的分配比率为74.01%~77.19%,各处理的茎、叶分配比率均无显著差异,说明间作对谷子孕穗期干物质分配影响较小。谷子成熟期干物质分配的规律是茎

最少、叶次之、穗最多,各处理茎的分配比率为23.91%~29.17%,叶的分配比率为27.32%~33.48%,穗的分配比率为37.35%~48.17%;各间作处理谷子茎、叶、穗分配比率与单作均存在显著差异(P<0.05),茎分配比率大小表现为SG>I₄₂>

$I_{22} > I_{24}$, 间作处理分别比单作减少了 15.98%、18.03%、7.44%; 叶分配比率大小表现为 $SG > I_{42} > I_{24} > I_{22}$, 间作处理分别比单作减少了 18.34%、15.29%、11.89%; 穗分配比率大小表现为 $I_{22} > I_{24} > I_{42} > SG$, 间作处理分别比单作增加了 28.97%、27.82%、16.47%; 由此可知, 谷子大豆间作可减少谷子成熟期干物质向茎、叶的分配, 增加向穗的分配, 有利于谷子单株产量的提高。

2.1.2 谷子大豆间作对大豆干物质积累与分配的

影响 从表 2 可以看出, 在开花期, 不同间作处理大豆的单株干物质积累量均低于单作, 表现为 $SD > I_{24} > I_{22} > I_{42}$, 间作处理分别较单作减少了 26.06%、49.89%、53.63%, 单作 SD 与各间作处理均差异显著, 且 I_{24} 与 I_{42} 差异显著 ($P < 0.05$)。在成熟期, I_{22} 、 I_{24} 、 I_{42} 间作处理大豆的单株干物质积累量分别较单作减少了 30.84%、24.91%、32.41%, 单作 SD 与各间作处理均差异显著 ($P < 0.05$)。说明谷子大豆间作影响大豆的生长发育。

表 2 单作及间作大豆单株干物质积累与分配比率
Tab.2 Dry matter accumulation and allocation ratio of soybean in single cropping and millet-soybean intercropping systems

种植模式 Planting pattern	单株干物质积累/(g/株) Dry matter accumulation per plant		干物质分配比率/% Dry matter allocation ratio					
	开花期 Flowering stage	成熟期 Maturity stage	开花期 Flowering stage		成熟期 Maturity stage			
			茎 Stem	叶 Leaf	茎 Stem	叶 Leaf	荚果 Pod	
SD	31.93±2.78a	113.15±10.12a	46.44±1.12a	53.56±1.12a	19.42±0.68b	2.11±0.56a	78.47±1.12a	
I_{22}	16.00±1.76bc	78.26±9.12b	46.37±4.48a	53.63±4.48a	25.78±1.66a	2.64±1.24a	71.58±2.62b	
I_{24}	22.61±1.84b	84.96±7.69b	47.86±1.21a	52.14±1.21a	24.82±1.11a	2.40±1.18a	72.78±1.70b	
I_{42}	13.78±0.26c	76.48±8.45b	45.39±0.77a	54.61±0.77a	26.94±0.90a	2.77±1.43a	70.29±4.26b	

大豆开花期干物质分配规律为茎少叶多, 各处理茎的分配比率为 45.39%~47.86%, 叶的分配比率为 52.14%~54.61%, 各处理的茎、叶分配比率均无显著差异, 说明间作对大豆开花期干物质分配影响较小。大豆成熟期干物质分配的规律是荚果最多、茎次之、叶最少, 各处理茎的分配比率为 19.42%~26.94%, 叶的分配比率为 2.11%~2.77%, 穗的分配比率为 70.29%~78.47%。各间作处理大豆茎、荚果分配比率与单作均存在显著差异 ($P < 0.05$), 叶分配比率与单作差异不显著。茎分配比率大小表现为 $I_{42} > I_{22} > I_{24} > SD$, 间作处理分别比单作增加了 38.72%、32.75%、27.81%; 荚果分配比率大小表现为 $SD > I_{24} > I_{22} > I_{42}$, 间作处理分别比单作减少了 7.25%、8.78%、10.42%; 由此可知, 谷子大豆间作会减少大豆成熟期干物质向荚果的转移, 影响间作大豆产量的形成。

2.2 谷子大豆间作对作物产量的影响

从表 3 可以看出, 谷子大豆不同间作处理对谷子产量影响均显著 ($P < 0.05$)。各处理谷子产量大小表现为 $SG > I_{42} > I_{22} > I_{24}$, 单作谷子产量为 2 517.95 kg/hm², 显著高于 I_{22} 处理和 I_{24} 处理。单作谷子均一化种植密度为 18 株/m², I_{22} 、 I_{24} 和 I_{42} 间作处理谷子均一化种植密度分别为 9、6、12 株/m², 谷子占地比例分别为 50%、33.3% 和 66.7%。 I_{22} 、 I_{24}

和 I_{42} 谷子产量分别为单作谷子的 68.79%、45.34% 和 84.55%。说明在相同土地面积上间作谷子产量均高于单作。

表 3 谷子大豆间作对作物产量的影响
Tab.3 Effect of millet-soybean intercropping on crop yield

种植模式 Planting pattern	均一化产量/(kg/hm ²) Uniform yield	
	谷子 Millet	大豆 Soybean
单作 Single cropping	2 517.95±249.21a	2 560.26±329.31a
I_{22}	1 732.04±205.49b	789.77±136.05c
I_{24}	1 141.66±39.93c	1 657.52±245.09b
I_{42}	2 128.86±129.56ab	548.53±70.30c

与谷子单作相似, 谷子大豆不同间作处理对大豆产量也有显著影响 ($P < 0.05$)。各处理大豆产量大小表现为 $SD > I_{24} > I_{22} > I_{42}$, 大豆单作处理的产量为 2 560.26 kg/hm², 显著高于各间作处理。单作大豆均一化种植密度为 3.5 株/m², I_{22} 、 I_{24} 和 I_{42} 间作处理大豆均一化种植密度分别是 1.75、2.33、1.17 株/m², 占地比例分别为 50%、66.7% 和 33.3%。 I_{22} 、 I_{24} 和 I_{42} 间作处理大豆均一化产量分别为单作大豆的 30.85%、64.74% 和 21.42%。说明在相同的土地面积上间作大豆的产量均低于单作, 表现出产量劣势。

2.3 谷子大豆间作对土地生产力的影响

从表 4 可以看出, 不同间作处理对谷子和大豆

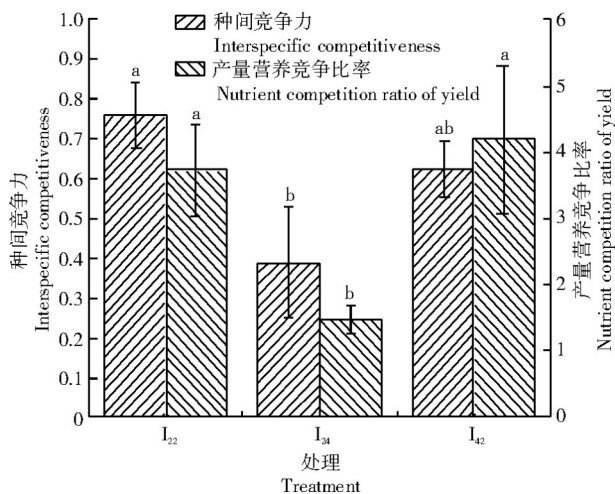
的偏土地当量比的影响均显著($P < 0.05$), I_{24} 与 I_{22} 、 I_{42} 谷子和大豆的偏土地当量比差异显著。3种间作模式虽然对整个间作系统的土地当量比影响不显著($P > 0.05$), 但 I_{24} 和 I_{42} 这2种间作方式的土地当量比均大于1。说明 I_{24} 和 I_{42} 这2种间作处理可以提高土地生产力, 间作优势明显, 其中 I_{24} 处理表现最好。

表4 谷子和大豆不同间作模式土地当量比
Tab.4 Land equivalent ratios in different millet-soybean intercropping patterns

种植模式 Planting pattern	LER _G	LER _D	LER
I_{22}	0.69±0.08a	0.31±0.05b	1.00±0.05a
I_{24}	0.45±0.02b	0.65±0.10a	1.10±0.09a
I_{42}	0.85±0.06a	0.21±0.03b	1.06±0.03a

2.4 作物竞争力

由图2可知, 3种间作模式谷子相对于大豆的种间竞争力(A_G)均大于0, 大小表现为 $I_{22} > I_{42} > I_{24}$, I_{22} 与 I_{24} 差异显著($P < 0.05$)。 I_{24} 与 I_{42} 间作处理谷子相对于大豆的产量营养竞争比率(CR_G)均大于1, I_{22} 与 I_{24} 差异显著($P < 0.05$)。表明在3种间作处理中谷子的竞争能力强于大豆($A_G > 0, CR_G > 1$)。



图中同一指标下不同小写字母表示处理间差异在0.05显著水平
Different lowercase letters under the same index in the figure indicated the differences between treatments at the 0.05 significant level

图2 谷子大豆不同间作模式种间竞争力和产量营养竞争比率

Fig.2 Interspecific competitiveness and yield nutrient competition ration among different millet-soybean intercropping patterns

3 结论与讨论

干物质积累与分配是作物产量的重要影响因素^[14]。作物的干物质积累90%~95%是直接或者

间接来自光合作用^[19]。间作可以使高秆作物获得更多光照^[20], 有利于光合作用, 增加干物质积累量^[8]。本研究表明, 间作显著提高了谷子孕穗期和成熟期的干物质积累, I_{24} 处理为最大值, 显著高于 I_{42} 和单作。在干物质分配方面, 间作谷子向穗的分配率均显著高于单作, 且 I_{24} 和 I_{22} 显著高于 I_{42} 。李智^[21]在谷子大豆间作研究中发现, 间作谷子能截获更多光能, 具有更好的光合能力, 从而提高谷子的干物质积累量, 与本研究结果一致。大豆受谷子荫蔽影响, 光合作用能力减弱, 向荚果分配和积累的干物质减少^[18]。本研究表明, 间作显著降低了大豆干物质积累, 但间作处理之间无显著差异, 在干物质分配方面, 间作大豆向荚果的分配率均显著低于单作, 且各间作处理之间无显著差异。王雪蓉等^[22]研究发现, 间作可以促进谷子产量的增加, 但不利于大豆产量形成, 与本研究结果一致。

间作对谷子和大豆的产量影响不同, 本研究中间作谷子产量相对于单作谷子产量的比例均高于谷子的占地比例, 间作大豆产量相对于单作大豆产量的比例均低于大豆的占地比例, 说明间作使谷子的产量增加, 大豆的产量减少。张亦涛等^[23]间作玉米和大豆, 焦念元等^[24]间作花生和玉米研究发现, 间作能提高高秆作物产量, 降低矮秆作物产量^[25], 这与本研究结果一致。本研究3种间作处理中 I_{24} 处理表现最好, 相同面积谷子产量较单作谷子增产约33.2%, 大豆产量较单作大豆减产约2.9%, 谷子增产效果最大, 大豆减产效果最弱。李智等^[13]间作谷子大豆研究发现, 在谷子大豆比例为2:4时, 谷子增产9%, 产量最高, 这与本研究结果一致。宫香伟等^[26]研究指出, 糜子和绿豆各间作处理土地当量比均大于1, 说明间作具有明显产量优势。赵建华等^[27]研究指出, 玉米和豆科作物间作的土地生产力提高了13%~30%。本研究结果表明, I_{24} 和 I_{42} 间作处理土地当量比LER分别为1.10和1.06, 均大于1, 具有间作优势; I_{22} 间作模式土地当量比为1.00, 无间作优势。这与任媛媛^[28]在玉米大豆间作研究中的土地当量比结果(1.00~1.29)接近。3种间作处理中 I_{24} 处理土地生产力提高10%, 表现最好。

种间竞争影响着作物向茎、叶、籽粒的分配, 以及对资源的利用, 是作物生产非常重要的影响因素。本研究谷子大豆间作模式中, 谷子表现出更强的种间竞争能力。谷子相对大豆的种间竞争力为0.39~0.76($A_G > 0$)、产量营养竞争比率为1.46~4.20($CR_G > 1$), 表明谷子种间竞争能力和产量营养

竞争能力均强于大豆,说明在谷子大豆间作存在种间竞争关系,且谷子为优势作物,而大豆则为劣势作物^[29]。原因可能是谷子为高秆作物,可以利用更多的光能资源^[30],同时谷子根系比大豆根系更发达,可以利用更多的水分资源^[31]。蔡倩等^[18]研究玉米和大豆间作表明,玉米为优势作物,大豆为劣势作物,这与本研究结果相似。本研究中, I_{24} 的 A_G 和 CR_G 均低于 I_{22} 和 I_{42} , LER 高于 I_{22} 和 I_{42} ,说明在有限的资源条件下,较强的竞争能力是以牺牲产量为代价的,作物的竞争能力与生产能力之间形成了一种负相关关系^[32]。

本研究表明,相比单作,3种间作处理在产量上都具有明显的优势,间作通过影响作物的产量分配和种间竞争关系来影响产量,通过增加竞争优势作物谷子的干物质积累,提高穗分配比率,而降低竞争劣势作物大豆的干物质积累,减少荚果分配比率,从而提高整体土地生产能力。3种间作处理相比, I_{24} 间作处理的增产效应最高。因此,陕北黄土丘陵沟壑区在谷子大豆间作种植中,可以优先选择2行谷子4行大豆的间作模式。

参考文献:

- [1] 张明君,杜娟,张强,等. 陕北地区谷子大豆间作种植模式研究与效益分析[J]. 陕西农业科学, 2021, 67(12): 25-31.
ZHANG M J, DU J, ZHANG Q, et al. Study on intercropping pattern of millet and soybean and benefit analysis in northern Shaanxi[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2021, 67(12): 25-31.
- [2] 董艳,董坤,杨智仙,等. 间作减轻蚕豆枯萎病的微生物和生理机制[J]. 应用生态学报, 2016, 27(6): 1984-1992.
DONG Y, DONG K, YANG Z X, et al. Microbial and physiological mechanisms for alleviating *Fusarium* wilt of faba bean in intercropping system[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(6): 1984-1992.
- [3] 张悦,邸万通,王晶晶,等. 北方农牧交错带间套作资源利用的研究进展[J]. 生态学杂志, 2017, 36(9): 2623-2632.
ZHANG Y, DI W T, WANG J J, et al. Progress and perspectives of resource use in intercropping system in agro-pastoral ecotone[J]. Chinese Journal of Ecology, 2017, 36(9): 2623-2632.
- [4] 张晓娜,陈平,庞婷,等. 玉米/豆科间作种植模式对作物干物质积累、分配及产量的影响[J]. 四川农业大学学报, 2017, 35(4): 484-490.
ZHANG X N, CHEN P, PANG T, et al. The effects of dry matter accumulation, distribution and yield in the maize/soybean and maize/peanut intercropping system[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2017, 35(4): 484-490.
- [5] LI B, LI Y Y, WU H M, et al. Root exudates drive interspecific facilitation by enhancing nodulation and N_2 fixation[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2016, 113(23): 6496-6501.
- [6] 王晓维,杨文亭,缪建群,等. 玉米-大豆间作和施氮对玉米产量及农艺性状的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(18): 5275-5282.
WANG X W, YANG W T, MIAO J Q, et al. Effects of maize-soybean intercropping and nitrogen fertilizer on yield and agronomic traits of maize[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(18): 5275-5282.
- [7] 高阳,段爱旺,刘祖贵,等. 间作种植模式对玉米和大豆干物质积累与产量组成的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(2): 214-221.
GAO Y, DUAN A W, LIU Z G, et al. Effect of intercropping patterns on dry matter accumulation and yield components of maize and soybean[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(2): 214-221.
- [8] 高视亮,孙占祥,白伟,等. 玉米//花生间作系统作物产量及根系空间分布特征的影响[J]. 玉米科学, 2016, 24(6): 79-87.
GAO Z L, SUN Z X, BAI W, et al. Spatial distribution characteristics of root system and the yield in maize-peanut intercropping system[J]. Journal of Maize Sciences, 2016, 24(6): 79-87.
- [9] 任媛媛,张莉,郁耀闯,等. 大豆种植密度对玉米/大豆间作系统产量形成的竞争效应分析[J]. 作物学报, 2021, 47(10): 1978-1987.
REN Y Y, ZHANG L, YU Y C, et al. Competitive effect of soybean density on yield formation in maize/soybean intercropping systems[J]. Acta Agronomica Sinica, 2021, 47(10): 1978-1987.
- [10] 程玉柱,李龙,周琴,等. 玉米/大豆不同配置下的玉米生长和产量形成研究[J]. 南京农业大学学报, 2016, 39(1): 34-39.
CHENG Y Z, LI L, ZHOU Q, et al. Growth and yield formation of maize under different maize/soybean intercropping patterns[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2016, 39(1): 34-39.
- [11] 蔡倩,孙占祥,王文斌,等. 辽西半干旱区玉米大豆间作对作物产量及水分利用的影响[J]. 中国农业气象, 2022, 43(7): 551-562.
CAI Q, SUN Z X, WANG W B, et al. Yield and water use of maize/soybean intercropping systems in semi-arid western Liaoning[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2022, 43(7): 551-562.
- [12] 刘洋,董智,董俊,等. 辽西半干旱区不同玉米间作花生模式对作物产量和水分利用效率的影响[J]. 辽宁农业科学, 2022(1): 8-12.
LIU Y, DONG Z, DONG J, et al. Effects of different maize and peanut intercropping patterns on crop yield and water use efficiency in the semi-arid area of western Liaoning[J]. Liaoning Agricultural Sciences, 2022(1): 8-12.
- [13] 李智,王宏富,王钰云,等. 谷子大豆间作对作物光合特性及产量的影响[J]. 中国农业科技导报, 2020, 22(6): 168-175.
LI Z, WANG H F, WANG Y Y, et al. Impact of millet and soybean intercropping on their photosynthetic characteristics and yield[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2020, 22(6): 168-175.
- [14] 宫香伟,党科,李境,等. 糜子绿豆间作模式下糜子光合物质生产及水分利用效率[J]. 中国农业科学, 2019, 52(22): 4139-4153.
GONG X W, DANG K, LI J, et al. Effects of different intercropping patterns on photosynthesis production characteristics and water use efficiency of proso millet[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(22): 4139-4153.
- [15] 王小林,张岁岐. 黄土塬区不同玉米品种间作的竞争力表现

- [J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(11): 1403-1410.
WANG X L, ZHANG S Q. Competitiveness of intercropped maize cultivars in the Loess Plateau, China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(11): 1403-1410.
- [16] MAO L L, ZHANG L Z, LI W Q, et al. Yield advantage and water saving in maize/pea intercrop[J]. Field Crops Research, 2012, 138: 11-20.
- [17] 张艳, 郭书亚, 尚赏, 等. 甘薯/玉米不同间作方式对土壤养分、酶活性及作物产量的影响[J]. 山西农业科学, 2020, 48(8): 1234-1238.
ZHANG Y, GUO S Y, SHANG S, et al. Effects of different intercropping methods of sweet potato/corn on soil nutrients, enzyme activity and crop yield[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2020, 48(8): 1234-1238.
- [18] 蔡倩, 孙占祥, 郑家明, 等. 辽西半干旱区玉米大豆间作模式对作物干物质积累分配、产量及土地生产力的影响[J]. 中国农业科学, 2021, 54(5): 909-920.
CAI Q, SUN Z X, ZHENG J M, et al. Dry matter accumulation, allocation, yield and productivity of maize-soybean intercropping systems in the semi-arid region of western Liaoning Province[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2021, 54(5): 909-920.
- [19] 李智, 王宏富, 王钰云, 等. 谷子大豆间作对谷子生物性状及产量的影响[J]. 山西农业科学, 2020, 48(2): 193-197.
LI Z, WANG H F, WANG Y Y, et al. Effect of millet and soybean intercropping on biological characters and yield of millet[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2020, 48(2): 193-197.
- [20] 林松明, 孟维伟, 南镇武, 等. 玉米间作花生冠层微环境变化及其与荚果产量的相关性研究[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(1): 31-41.
LIN S M, MENG W W, NAN Z W, et al. Canopy microenvironment change of peanut intercropped with maize and its correlation with pod yield[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2020, 28(1): 31-41.
- [21] 李智. 谷子大豆间作对作物农艺性状、光合特性及产量的影响[D]. 太原: 山西农业大学, 2020.
LI Z. Effects of intercropping millet and soybean on agronomic traits, photosynthetic characteristics and yield of crops[D]. Taiyuan: Shanxi Agricultural University, 2020.
- [22] 王雪蓉, 张润芝, 李淑敏, 等. 不同供氮水平下玉米/大豆间作体系干物质积累和氮素吸收动态模拟[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(9): 1354-1363.
WANG X R, ZHANG R Z, LI S M, et al. Simulation of dry matter accumulation and nitrogen absorption in a maize/soybean intercropping system supplied with different nitrogen levels[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2019, 27(9): 1354-1363.
- [23] 张亦涛, 任天志, 刘宏斌, 等. 玉米追氮对玉米//大豆间作体系产量和土壤硝态氮的影响及其后茬效应[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(1): 104-110.
ZHANG Y T, REN T Z, LIU H B, et al. Effect of topdressing nitrogen of intercropped maize strip on intercropped crop yields and soil nitrate nitrogen as well as its residual effect[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2016, 22(1): 104-110.
- [24] 焦念元, 李亚辉, 杨潇, 等. 玉米/花生间作行比和施磷对玉米光合特性的影响[J]. 应用生态学报, 2016, 27(9): 2959-2967.
JIAO N Y, LI Y H, YANG X, et al. Effects of maize/peanut intercropping row ratio and phosphate fertilizer on photosynthetic characteristics of maize[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(9): 2959-2967.
- [25] 王颂宇, 梁晓红, 付婷婷, 等. 高粱与花生和大豆间作对其生物量及产量的影响[J]. 山西农业科学, 2021, 49(9): 1071-1075.
WANG S Y, LIANG X H, FU T T, et al. Effects of intercropping sorghum with peanut and soybean on biomass and yield[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2021, 49(9): 1071-1075.
- [26] 宫香伟, 李境, 马洪驰, 等. 黄土高原旱作区糜子-绿豆带状种植农田小气候特征与产量效应[J]. 应用生态学报, 2018, 29(10): 3256-3266.
GONG X W, LI J, MA H C, et al. Field microclimate and yield for proso millet intercropping with mung bean in the dryland of Loess Plateau, Northwest China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(10): 3256-3266.
- [27] 赵建华, 孙建好, 陈亮之, 等. 玉/豆间作产量优势中补偿效应和选择效应的角色[J]. 作物学报, 2022, 48(10): 2588-2596.
ZHAO J H, SUN J H, CHEN L Z, et al. Role of complementarity and select effect for yield advantage of maize/legumes intercropping systems[J]. Acta Agronomica Sinica, 2022, 48(10): 2588-2596.
- [28] 任媛媛, 王志梁, 王小林, 等. 黄土塬区玉米大豆不同间作方式对产量和经济收益的影响及其机制[J]. 生态学报, 2015, 35(12): 4168-4177.
REN Y Y, WANG Z L, WANG X L, et al. The effect and mechanism of intercropping pattern on yield and economic benefit on the Loess Plateau[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(12): 4168-4177.
- [29] 赵乾旭, 史静, 夏运生, 等. AMF与隔根对紫色土上玉米|大豆种间氮竞争的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(14): 2696-2705.
ZHAO Q X, SHI J, XIA Y S, et al. Effect of AMF inoculation on N uptake of interspecific competition between maize and soybean growing on the purple soil[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(14): 2696-2705.
- [30] 王钰云, 王宏富, 李智, 等. 谷子花生间作对谷子光合特性及产量的影响[J]. 中国农业科技导报, 2020, 22(5): 153-165.
WANG Y Y, WANG H F, LI Z, et al. Influences of millet-peanut intercropping on photosynthetic characteristics and yield of millet[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2020, 22(5): 153-165.
- [31] 高砚亮, 孙占祥, 白伟, 等. 玉米花生间作效应研究进展[J]. 辽宁农业科学, 2016(1): 41-46, 2.
GAO Y L, SUN Z X, BAI W, et al. Research progress on intercropping effect of corn and peanut[J]. Liaoning Agricultural Sciences, 2016(1): 41-46, 2.
- [32] 巩擎柱. 水分胁迫与种植模式对小麦根源信号、竞争能力及产量的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006.
GONG Q Z. Effects of water stress and planting patterns on root signal, competitiveness and yield of wheat[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2006.