

不同间作处理对鲜食玉米和鲜食大豆农艺性状、产量及土地生产力的影响

雷雲翔^{1,2}, 应晓成³, 彭先进¹, 陆思豪¹, 沈新平^{1,3}, 蒋敏¹

(1. 扬州大学农学院/江苏省作物遗传生理重点实验室/江苏省作物栽培生理重点实验室, 江苏 扬州 225009;

2. 郑州商学院, 郑州 450000; 3. 扬大(常熟)现代农业发展研究院有限公司, 江苏 苏州 215500)

摘要: 通过分析鲜食玉米与大豆间作的干物质积累、分配及种间竞争, 探讨其对产量和土地生产力的影响, 为玉米、大豆间作提供科学依据。采用完全随机区组设计, 对比黄金小玉米和苏豆21的单作与不同比例的间作(S3为2:3、S4为2:4、S5为3:3)效果。结果表明, 间作处理下, 玉米和大豆的地上干物质积累量分别增加了30.34%~46.81%和24.83%~48.10%, 并优化了干物质分配, 干物质主要分配给玉米穗和大豆荚果。3种间作处理的土地当量比(LER)均高于1, 表明提升了土地生产力。S3和S5间作处理显示, 玉米有较强的竞争力和更高的产量, S3处理表现最优, 显示出较高的土地生产力和间作效益。

关键词: 玉米; 土地当量比; 偏土地当量比; 产量营养竞争比率

中图分类号: S513.047

文献标识码: A

Effects of Different Intercropping Patterns on Agronomic Traits, Yield, and Land Productivity of Fresh Maize and Fresh Soybean

LEI Yun-xiang^{1,2}, YING Xiao-cheng³, PENG Xian-jin¹, LU Si-hao¹, SHEN Xin-ping^{1,3}, JIANG Min¹

(1. College of Agriculture, Yangzhou University, Jiangsu Provincial Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology/Jiangsu Provincial Key Laboratory of Crop Cultivation and Physiology, Yangzhou 225009;

2. Zhengzhou Business University, Zhengzhou 450000;

3. Yangda(Changshu) Modern Agricultural Development Research Institute Co., Ltd., Suzhou 215500, China)

Abstract: This study analyzed the dry matter accumulation, distribution and interspecific competition of fresh maize and fresh soybean intercropping, and explored its effects on yield and land productivity, so as to provide a scientific basis for maize-soybean intercropping. The monocropping of Golden Maize and Sudou 21 was compared with different proportions of intercropping(2:3 for S3, 2:4 for S4, and 3:3 for S5) in a completely randomized block design, with each treatment replicated three times. The results showed that the aboveground dry matter accumulation of maize and soybean increased by 30.34%–46.81% and 24.83%–48.10%, respectively, under the intercropping mode, and the dry matter distribution was optimized. Dry matter is mainly distributed to ears of maize and soybean pods. The land equivalent ratio(LER) of the three intercropping patterns was higher than 1, indicating that land productivity was improved. The S3 and S5 intercropping patterns showed that maize had strong competitiveness and higher yield, especially the S3 model had the best performance, showing higher land productivity and intercropping efficiency.

Key words: Maize; Land equivalent ratio; Partial land equivalent ratio; Yield nutrition competition ratio

录用日期: 2023-11-29

基金项目: 江苏现代农业产业技术体系建设专项资金[JATS(2021)126, JATS(2022)131]、江苏省高校自然科学基金项目(21KJA210001)

作者简介: 雷雲翔(1996-), 硕士, 主要研究方向为农业生态、农业管理。E-mail: mz120211333@stu.yzu.edu.cn

蒋敏为本文通信作者。E-mail: jiangmin@yzu.edu.cn

《全国种植业结构调整规划》提出, 适度发展鲜食玉米, 扩大鲜食玉米种植面积, 满足消费者消费升级的需求^[1]。同时, 作为一种重要的发展方式, 鲜食大豆在国际上得到了快速发展, 在国际上占有显著的优势, 鲜食大豆已经成为我国出口创汇商品之一^[2]。鲜食玉米与鲜食大豆同属夏季, 存在着严重

的土地争夺问题,在耕地面积增长极其有限的条件下,发展鲜食玉米、鲜食大豆条状种植具有广阔的前景,可以协调鲜食玉米和鲜食大豆的抢地矛盾,并提高土地产出率和土地资源的利用效率。

间作能够有效解决玉米、大豆争夺土地问题,提高农作物产量,优化土壤养分水分等资源利用效率,增加土壤的有机质含量,改良土壤质量,减少病虫害的发生和传播,降低农业对环境的负面影响,提高农田的生物多样性和生态稳定性。因此,玉米、大豆间作的研究具有重要的农业生产、资源利用和生态环境方面的意义,为实现可持续农业发展和粮食安全提供了重要的理论和实践基础。李志贤等^[3-4]通过对甜玉米和大豆的间作试验,发现甜玉米和大豆的营养利用率比单作玉米高,在生长后期,间作可以提高甜玉米的光能利用率。包斐等^[5]试验结果表明,在边际效应的影响下,鲜食玉米的产量比单作增产。间作处理下鲜食玉米的光能利用率比单作处理下鲜食玉米高,虽然产量比单作低,但无明显差别。夏国绵等^[6]认为,采用玉米行距大于40 cm、玉豆间距大于60 cm、玉、豆行数配比2:2的鲜食玉米、大豆间作方式,可以延缓玉米和大豆间的竞争。唐艺铃等^[7]研究认为,在鲜食大豆中,最好的种植比例为2:4,其产量优势最大。刘永安等^[8-10]试验结果表明,鲜食玉米、大豆间种1行玉米与2行大豆的种植方式,可以平衡鲜食大豆的边行劣势和鲜食玉米的边行优

势。在适当的间作比例和合理的田间管理下,可以通过改变土壤干物质的积累分配和种间的互补竞争关系来提高农田生产力。前人对玉米、大豆间作研究已有一定的基础^[11-12],对不同品种间的间作也进行了较多的研究,重点是窄条带间作对不同品种间的竞争、产量和经济效益的影响^[13-15]。目前,研究主要是粒用玉米和粒用大豆的间套种。鲜食玉米和鲜食大豆的生育周期缩短,其生长发育和产量的变化规律也有所不同。从全球气候变化的角度来看,我国目前对新气候条件下的玉米和大豆间作处理的研究还很少,尤其是对其干物质积累分配、种间竞争、土地生产率的研究还较少。本文以两个品种间高度相差很大的鲜食玉米、鲜食大豆品种为试验对象,对不同种植比例下的干物质积累分配、种间竞争关系等因素的影响进行系统研究,提出适宜的鲜食玉米、鲜食大豆间作处理,为提高区域农田生产力和农业绿色可持续发展提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验地概况和供试材料

本试验于2021-2022年在江苏省常熟市农科所试验基地进行,试验地地势平坦,排灌方便,土质土壤肥力较好。试验地前茬为水稻。试验土地的土壤理化性质见表1(土壤深度为10~15 cm),气候条件如图1所示。

表1 供试土壤理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of the tested soil

pH值 pH value	有机质 (g/kg) Organic matter	全氮 (g/kg) Total nitrogen	碱解氮(mg/kg) Alkaline hydrolysis of nitrogen	速效磷(mg/kg) Available phosphorus	速效钾(mg/kg) Quick-acting potassium
7.35	25.49	1.49	94.68	7.85	84.63

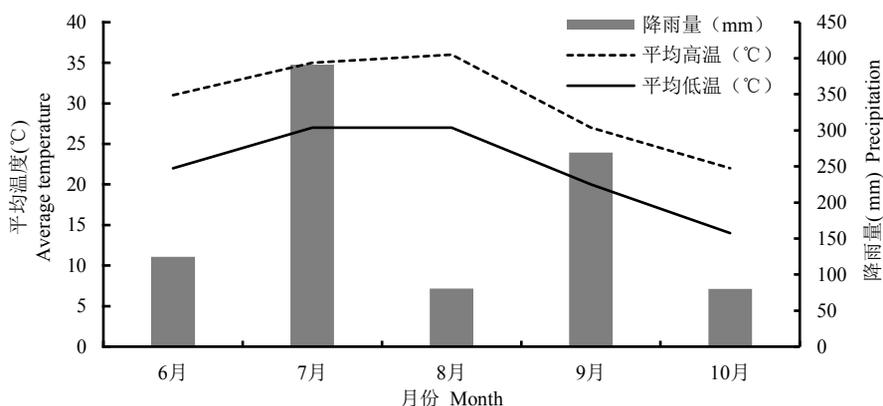


图1 2022年6-10月的气候变化

Fig.1 Climate change from June to October 2022

1.2 试验设计

试验共设置5个处理,每个处理3次重复,采用完全随机区组排列。小区规格为10 m×5 m。供试鲜食玉米品种为试验黄金小玉米,鲜食大豆品种为鲜食21。

玉米单作(S1),行距50 cm,株距35 cm;大豆单作(S2),行距50 cm,株距12 cm。玉米||大豆2:3间作(S3),玉米行距40 cm,株距16 cm;大豆行距30 cm,株距10 cm,条带间距60 cm。玉米||大豆2:4间作(S4),玉米行距40 cm,株距14 cm;大豆行距30 cm,株距12 cm,条带间距60 cm。玉米||大豆3:3间作(S5),玉米行距40 cm,株距18 cm;大豆行距30 cm,株距10 cm,条带间距60 cm。

播前底肥施用:有机肥22.5 t/hm²和进口复合肥375 kg/hm²(N-P₂O₅-K₂O),玉米分别于大喇叭口期和吐丝期各追施氮肥45 kg/hm²,农田管理与当地相同。

2022年7月10日灭茬旋耕,并撒施三元复合肥(N、P₂O₅、K₂O含量均为15%)500 kg/hm²作底肥;7月13日人工开沟播种,7月20日出苗;8月4日对玉米和大豆进行间苗、定苗。7月22日玉米追施三元复合肥(N含量30%,P₂O₅、K₂O含量均为5%)600 kg/hm²,大豆不追肥。除草采用人工除草,9月27日收获玉米,9月26日收获大豆。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 地上干物质积累量

在大豆的结荚期(2022年9月6日)、成熟期(2022年9月21日)和玉米的大喇叭口期(2022年8月15日)、成熟期(2022年9月14日)分别测定干物质积累量,每个小区取生长发育一致的3株玉米和3株大豆植株带回,置于105℃烘箱杀青1 h,85℃烘干至恒重,分别称量玉米和大豆地上部干物质。

1.3.2 产量测定

鲜食玉米于最佳采收期,小区实收折算实际产量,每个小区选取10个果穗,测定10个果穗带苞叶鲜穗重、去苞叶鲜穗重、穗长、穗粗、秃尖长、鲜子粒百粒重等穗部性状;鲜食大豆于最佳采收期,小区实收折算实际产量,每个小区选取10株大豆,测定20个大豆结荚的长度、重量、单株结荚数、鲜食百粒重。

1.3.3 相关指标及其计算方法

土地当量比(LER)是衡量作物间作土地生产力的一项重要指标,计算公式如下:

$$LER = LER_M + LER_S = \frac{Y_{M,I}}{Y_M} + \frac{Y_{S,I}}{Y_S}$$

式中,LER_M为间作模式中鲜食玉米的相对土地当量比(又称偏土地当量比),LER_S为间作处理中鲜

食大豆的相对土地当量比,Y_M和Y_S分别表示单作鲜食玉米和鲜食大豆的产量(kg/hm²),Y_{M,I}、Y_{S,I}分别表示间作鲜食玉米和鲜食大豆的产量(kg/hm²)。LER>1,表示存在间作优势;LER<1,表示间作劣势^[16]。

种间相对竞争能力(A_{MS})计算公式如下^[17-18]:

$$A_{MS} = \frac{Y_{M,I}}{Y_M} - \frac{Y_{S,I}}{Y_S}$$

式中,种间相对竞争能力(A_{MS})表示在鲜食玉米大豆间作处理中鲜食玉米相对于鲜食大豆的竞争能力。A_{MS}>0,鲜食玉米竞争能力强于鲜食大豆;A_{MS}<0,鲜食玉米竞争能力比鲜食大豆弱。

产量营养竞争比率(CR_{MS})计算公式如下:

$$CR_{MS} = \frac{Y_{M,I}}{Y_M} \times \frac{Y_S}{Y_{S,I}}$$

式中,产量营养竞争比率(CR_{MS})为鲜食玉米大豆间作处理中鲜食玉米相对于鲜食大豆产量的营养竞争比率。CR_{MS}>1,鲜食玉米的产量营养竞争能力比鲜食大豆强;CR_{MS}<1,表明鲜食玉米比鲜食大豆的营养竞争能力弱。

干物质分配比率(DPR_i)计算公式如下:

$$DPR_i = \frac{D_i}{D} \times 100\%$$

式中,干物质分配比率(DPR_i)表示作物不同器官的干物质分配比率,D_i为作物i器官的干物质质量,D为作物地上部干物质总量,i为作物地上部茎、叶、穗或荚果等器官。

1.4 数据统计与分析

采用Excel对数据进行分析,并绘制图表;采用SPSS20软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 间作对作物产量的影响

不同处理对鲜食玉米农艺性状及产量的影响见表2。在穗长方面,S3、S5与S1处理具有显著差异(P<0.05),且穗长都得到了增长。在穗粗方面,各间作处理与单作处理均无显著性差异(P>0.05)。在穗重方面,表现为S3>S5>S1>S4,S3处理较S1处理相比,显著提高19.94%;S4处理较S1处理相比,则显著降低了19.06%。在轴粗方面,表现为S1>S5>S3>S4,各间作处理与单作处理均有显著性差异(P<0.05),其中,S4处理较S1处理显著降低46.25%。在百粒重方面,S3、S4与S1处理相比,分别显著提高了30.58%和34.86%。在鲜食产量方面,S3、S4和S5处理分别为单作玉米的71.76%、52.91%和73.97%,且都与单作处理存在显著性差异(P<0.05),说明在相同

土地面积上间作玉米的产量高于单作玉米,具有较强的产量优势。

不同处理对鲜食大豆农艺性状及产量的影响见表3。在间作处理下,结荚长度、单株荚数、结荚重、百粒重和产量与单作处理具有显著性差异。在结荚长度方面,各间作处理下的结荚长度变短,其中S3与S2处理存在显著性差异($P<0.05$);在结荚重方面, $S5>S4>S2>S3$,S5、S4与S2处理存在显著性差异($P<0.05$),且分别提高了35.63%和27.59%;在单株结荚

数方面,各间作处理较单作处理均有提升,其中S4处理较S2处理显著提升35.92%;在百粒重方面,各间作处理较单作处理均有下降,其中S3、S4与S2处理存在显著性差异($P<0.05$),且分别下降7.02%和12.80%;在鲜食产量方面,S3、S4和S5处理分别为单作大豆的60.49%、61.69%和41.15%,且都与单作处理存在显著性差异($P<0.05$)。S5处理下占比为41.15%,说明相同土地面积上间作大豆的产量低于单作大豆,在间作处理中表现出劣势。

表2 不同处理对鲜食玉米产量构成及产量的影响

Table 2 Effect of different treatments on yield components and yield of fresh-eating maize

处 理 Treatment	穗长(cm) Ear length	穗粗(cm) Ear diameter	穗重(g) Ear weight	轴粗(cm) Cob diameter	百粒重(g) 100-grain weight	产量(kg/hm ²) Yield
S1	10.53±0.92 bc	30.64±0.89 c	50.80±1.00 b	30.92±0.98 e	3.27±0.24 bc	7 147.94±607.72 a
S3	10.60±0.70 a	33.33±0.55 bc	60.93±1.06 c	19.64±0.54 cd	4.27±0.24 de	5 129.11±348.97 b
S4	10.23±0.37 bc	27.24±0.46 bc	41.12±1.28 a	16.62±0.45 a	4.41±0.24 e	3 781.81±194.49 b
S5	11.67±0.87 a	31.62±0.54 bc	52.32±0.61 b	20.73±0.66 d	2.78±0.16 ab	5 287.22±160.21 b

注:S1、S3、S4、S5分别表示玉米单作、玉米||大豆2:3模式、玉米||大豆2:4模式、玉米||大豆3:4模式。不同小写字母表示玉米在 $P<0.05$ 水平上差异显著。下表同。

Note: S1, S3, S4, and S5 respectively represent corn monoculture, corn || soybean 2:3 mode, corn || soybean 2:4 mode, and corn || soybean 3:4 mode. Different lowercase letters in the same column indicate significant differences in corn $P<0.05$ levels. The same below.

表3 不同处理对鲜食大豆产量构成及产量的影响

Table 3 Effect of different treatments on yield components and yield of fresh soybean

处 理 Treatment	结荚长(cm) Long pods	结荚重(g) Pods heavy	单株结荚数 Number of pods per plant	百粒重(g) 100-grain weight	产量(kg/hm ²) Yield
S2	6.17±0.34 bc	1.74±0.21 ab	60.33±4.64 a	34.91±0.53 de	5 941.74±822.39 a
S3	5.00±0.22 a	1.53±0.07 a	61.67±2.87 a	32.46±0.80 c	3 593.95±409.51 b
S4	5.53±0.12 ab	2.22±0.07 cd	82.00±3.56 b	30.44±0.30 ab	3 665.35±225.89 b
S5	5.93±0.21 bc	2.36±0.08 d	63.33±1.25 a	34.41±0.80 d	2 504.20±402.11 b

2.2 间作对土地生产力的影响

鲜食玉米和鲜食大豆间作处理土地当量比结果表明(表4),S3、S5处理对鲜食玉米偏土地当量比(LER_M)影响较小,S4处理对 LER_M 影响较大,只占单作鲜食玉米的53%,且与S3、S5处理间存在显著性差异($P<0.05$);S3、S4和S5这3种间作处理下的大豆

偏土地当量比(LER_S)分别为 $0.60±0.07$ 、 $0.62±0.04$ 和 $0.42±0.07$,S5处理下的鲜食大豆间作优势不明显,且与S3、S4处理间存在显著性差异($P<0.05$)。从整个间作系统来看,系统土地当量比(LER)都得到了提升且都大于1,表现为 $S3>S5>S4$,说明间作处理提高了土地生产力,其中S3处理下的LER最大,为 $1.32±$

表4 鲜食玉米和大豆不同处理土地当量比

Table 4 Land equivalent ratios of different treatments of fresh maize and soybean

处 理 Treatment	LER_M	LER_S	LER
S3	0.72±0.05 a	0.60±0.07 a	1.32±0.05 a
S4	0.53±0.03 b	0.62±0.04 a	1.15±0.12 b
S5	0.74±0.02 a	0.42±0.07 b	1.16±0.09 b

0.05,且与S4、S5处理间存在显著性差异($P<0.05$),间作优势最为明显。

2.3 间作对作物干物质积累与分配的影响

2.3.1 玉米

间作处理对鲜食玉米干物质积累量影响显著($P<0.05$)。大喇叭口期不同种植模式玉米干物质积累量表现为 $S5>S1>S3>S4$, S5 处理比 S1 处理增加 8.79%;成熟期玉米干物质积累量表现为 $S3>S4>S5>S1$,间作处理分别比单作处理增加 46.81%、30.54% 和 30.34%(表 5)。玉米大喇叭口期干物质分配特点是“茎少、叶多”,茎分配比率为 42.60%~49.88%,叶分配比率为 50.12%~57.40%。大喇叭口期茎叶的分配比率间作处理与单作处理差异不显著($P>0.05$)。成熟期玉米干物质分配特点为“穗>茎>叶”,

穗分配比率为 46.63%~64.65%,茎分配比率为 30.00%~39.69%,叶分配比率为 10.83%~16.41%。3种间作处理玉米各器官干物质分配比率与单作处理之间差异显著($P<0.05$)。穗分配比率表现为 $S3>S5>S4>S1$, S3、S5、S4 间作处理分别比 S1 单作处理增加 17.20%($P<0.05$)、14.93%($P<0.05$)、6.61%($P<0.05$);茎分配比率表现为 $S1>S4>S3>S5$, S4、S3、S5 间作处理分别比 S1 单作处理减少 0.58%($P>0.05$)、32.04%($P<0.05$)、32.3%($P<0.05$);叶分配比率表现为 $S5>S3>S1>S4$,其中 S4 间作处理比 S1 单作处理显著减少 26.32%。由此可见,间作减少了灌浆期玉米干物质向茎、叶的分配,增加了向穗分配,有利于玉米单株产量提高。

表5 单作及间作鲜食玉米单株干物质积累与分配比率

Table 5 Ratio of dry matter accumulation and distribution per plant of monocropping and intercropping fresh-eating maize

处 理 Treatment	单株干物质积累(g) Dry matter accumulation per plant		干物质分配比率(%) Dry matter distribution ratio				
	大喇叭口期 Big trumpet period	成熟期 Maturity	大喇叭口期 Big trumpet period		成熟期 Maturity		
			茎 Stem	叶 Leaf	茎 Stem	叶 Leaf	穗 Spike
S1	12.17±0.37 c	30.55±0.89 a	47.25±1.23 a	52.75±2.13 a	39.69±3.21 b	13.68±2.56 b	46.63±2.12 b
S3	9.47±0.48 b	44.85±0.23 c	42.60±4.37 a	57.40±2.68 a	30.06±3.23 a	15.29±2.85 a	54.65±2.05 c
S4	7.40±0.17 a	39.88±1.13 b	50.88±1.92 a	49.12±2.63 a	39.46±4.32 b	10.83±2.44 c	49.71±2.36 a
S5	13.24±0.64 c	39.82±0.23 b	48.41±5.68 a	51.59±6.13 a	30.00±0.29 a	16.41±0.36 a	53.59±0.20 c

2.3.2 大豆

鲜食大豆干物质积累量结果表明(表 6),结荚期 3个间作处理大豆干物质积累量均有所下降,表现为 $S2>S3>S5>S4$, S3、S5、S4 间作处理分别比 S2 单作

处理降低 11.52%、17.94%、61.59%,但只有 S4 间作处理模式与单作处理 S2 差异显著($P<0.05$);成熟期大豆地上干物质积累量表现为 $S5>S3>S4>S2$,间作处理分别比单作处理增加 48.10%、38.53% 和

表6 单作及间作鲜食大豆单株干物质积累与分配比率

Table 6 Dry matter accumulation and distribution ratio of single and intercropping fresh soybean

处 理 Treatment	单株干物质积累(g) Dry matter accumulation per plant		干物质分配比率(%) Dry matter distribution ratio					
	结荚期 Pod-bearing stage	成熟期 Maturity	结荚期 Pod-bearing stage			成熟期 Maturity		
			茎 Stem	叶 Leaf	荚果 Pod fruit	茎 Stem	叶 Leaf	荚果 Pod fruit
S2	35.51±3.22 c	29.48±2.93 a	52.72±0.42 a	34.36±0.47 a	12.92±1.42 a	46.00±0.82 a	13.60±0.55 b	40.40±0.32 a
S3	31.42±3.10 c	40.84±1.92 b	48.28±0.73 a	34.59±0.85 a	17.13±2.08 bc	30.01±2.60 b	16.31±1.60 b	53.68±2.60 bc
S4	13.64±0.90 a	36.80±3.06 a	52.31±2.44 a	33.12±1.44 a	14.57±2.17 ac	39.10±1.85 b	18.79±1.25 a	42.11±1.65 a
S5	29.14±0.70 c	43.66±3.81 b	56.03±5.02 a	28.88±5.12 c	15.09±2.03 ac	31.88±0.23 bc	16.86±0.13 b	51.26±0.03 b

24.83%。大豆结荚期地上干物质分配特点为“茎>叶>荚果”,茎分配比率为48.28%~56.03%,叶分配比率为28.88%~34.59%,荚果分配比率为12.92%~17.13%。结荚期茎分配比率各处理间表现为S5>S2>S4>S3,叶分配比率各处理间表现为S3>S2>S4>S5,荚果分配比率各处理间表现为S3>S5>S4>S2,其中,S3、S5、S4间作处理下荚果的分配比率较单作处理S2分别增加32.59% ($P<0.05$)、16.80% ($P>0.05$)、12.77% ($P>0.05$),说明间作处理可以提高大豆干物质向荚果的转移。大豆成熟期地上干物质分配特点为“荚果>茎>叶”,荚果分配比率为40.40%~53.68%,茎分配比率为30.01%~46.00%,叶分配比率为13.60%~18.79%。成熟期茎分配比率各处理间表现为S5>S2>S4>S3,叶分配比率各处理间表现为S3>S2>S4>S5,荚果分配比率各处理间表现为S3>S5>S4>S2,其中,S3、S5、S4间作处理下荚果的分配比率较单作处理S2分别增加32.87% ($P<0.05$)、26.88% ($P<0.05$)、4.23% ($P>0.05$),茎分配比率各处理

间表现为S2>S4>S5>S3,其中,S4、S5、S3间作处理下茎的分配比率较单作处理S2分别降低15.00% ($P<0.05$)、30.70% ($P<0.05$)、34.76% ($P<0.05$),叶分配比率各处理间表现为S4>S5>S3>S2。从结果对比来看,间作处理下荚果的分配比率较单作处理得到明显提升,茎叶的分配比率则明显降低。

2.4 作物种间竞争能力

间作模式鲜食玉米、鲜食大豆种间竞争能力分析结果表明(图2),S3、S5间作处理下玉米相对大豆的种间竞争能力(A_{MS})和产量营养竞争比率(CR_{MS})与S4间作处理差异显著($P<0.05$)。 A_{MS} 和 CR_{MS} 均表现为S5>S3>S4,分别为0.32、0.11、-0.09和1.80、1.19、0.86,S3和S5处理的 $A_{MS}>0$ 、 $CR_{MS}>1$,表明在玉米、大豆间作处理中玉米的竞争能力强于大豆,即玉米为优势作物而大豆为劣势作物。S4处理下的 $A_{MS}<0$ 、 $CR_{MS}<1$,表明在玉米、大豆间作处理中玉米的竞争能力弱于大豆,即大豆为优势作物而玉米为劣势作物。

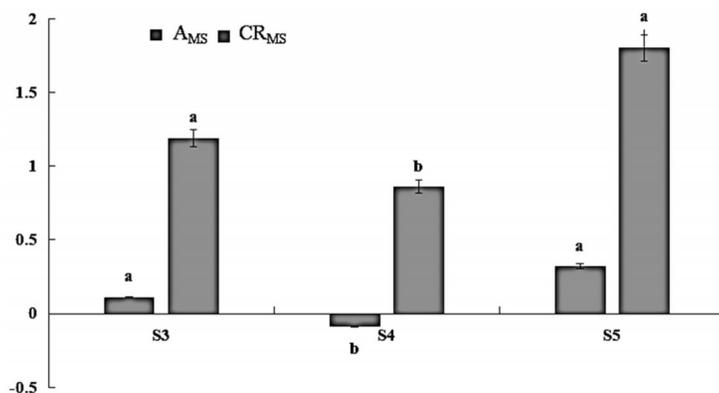


图2 玉米大豆间作两种作物的种间竞争能力(A_{MS})及产量营养竞争比率(CR_{MS})的比较

Fig.2 Comparison of interspecific competitiveness(A_{MS}) and yield nutrient competition ratio(CR_{MS}) between maize and soybean intercropping two crops

3 结论与讨论

3.1 作物农艺性状、产量及土地生产力

鲜食玉米和鲜食大豆间作在不同的生长条件下,其农艺性状具有一定的可塑性。卢秉生等^[19]结果表明,玉米和大豆的种植体系对土壤的生态影响较好,但对大豆的农艺性状影响较小。本研究表明,不同间作处理较单作处理相比,鲜食玉米的穗长、穗粗、穗重等农艺性状均会发生不同程度的变化,其中S3、S4间作处理与S1单作处理相比,鲜食玉米的轴粗出现显著降低,且分别降低36.48%、46.25%;百粒重显著提高,且分别提高30.58%、34.86%。鲜食大豆的结荚长度虽然变短,但结荚重、单株结荚数和百

粒重多数都出现了提高^[20]。玉米与大豆的间作对作物的产量有显著影响,不同品种的玉米、大豆则有不同程度的差异。本研究中,S3、S4和S5间作处理下鲜食玉米和鲜食大豆产量与单作处理之间差异显著($P<0.05$)。间作玉米产量相当于单作玉米产量的52.91%~73.97%,间作大豆产量相当于单作大豆产量的41.15%~61.69%,S5间作处理下鲜食大豆产量仅为单作处理的41.15%,说明间作使玉米产量提高,大豆产量降低。土地当量比^[21]是评价耕地生产率的一个重要指标。多数研究都认为,间作可以增加耕地的生产率,但是不同的生态类型地区、不同作物、不同带宽的间作对土地生产率的影响也不同。高砚亮等^[22]研究表明,2M:4P、4M:4P的土地当量比

为1.10~1.24,显示出显著的间作优势。苟芳等^[23]对葵花、马铃薯、苜蓿、马铃薯、苜蓿、苜蓿、豆科等进行了分析,结果显示,以经济产出为基础的土地当量比为1.05~1.12,使耕地生产率增加5%~12%。本研究结果表明,S3、S4、S5间作处理下的土地当量比分别为1.32、1.15和1.16,土地生产力提高32%、15%和16%,存在间作优势。本研究结果也表明,随着间作带宽的增加,大豆产量劣势减小,大豆和玉米两种作物之间表现出竞争和互补并存的弱竞争效应。结果表明,合理的间作带宽对玉米和大豆的间作具有很大的作用,这主要是因为窄条带种植方式下,相对于高秆作物的玉米来说,玉米对低秆作物的遮荫不利,在水分和营养上的竞争上,大豆处于明显的劣势^[24]。在宽频带条件下,高秆玉米对低秆大豆的遮荫效果和水分、营养的竞争会降低,采用侧向截光量优势可以弥补由于荫蔽、水分、营养等因素造成的不利影响^[25-26]。

3.2 作物干物质积累与分配

干物质的积累和分布可以反映作物的生长和发育,间作则是对土壤干物质的积累和分布特性的调节作用。本研究表明,间作对成熟期鲜食玉米和鲜食大豆干物质积累量影响显著。鲜食玉米间作与单作相比增加了30.34%~46.48%,鲜食大豆的间作与单作相比增加了24.83%~48.10%;3种间作处理均使鲜食玉米和大豆成熟期干物质向穗、荚果的分配比率明显增加。干物质积累和器官分配比例的变化表明,间作有利于提高鲜食玉米的产量,但对豆荚分配比的提高没有玉米高。其原因可能在于玉米在光照、水分和养分方面的竞争力高于大豆^[27]。从根性的特点来看,玉米的根要比大豆好,根的表面积和根长度也要好。所以,在间作方式下,玉米根系会吸收更多的水分和营养物质,降低大豆对水分和营养的吸收,进而影响到玉米和大豆茎、叶对子粒形成的作用。

3.3 作物种间竞争关系

鲜食玉米和鲜食大豆间作,玉米具有较好的种间竞争优势。本研究表明,S3、S5间作处理下,鲜食玉米相对于鲜食大豆的竞争能力为0.11~0.32($A_{MS} > 0$)、产量营养竞争比率为1.19~1.80($CR_{MS} > 1$),表明鲜食玉米竞争能力和产量营养竞争能力均强于鲜食大豆,说明在鲜食玉米、鲜食大豆间作存在禾本科与豆科作物的种间竞争,且鲜食玉米为优势作物,鲜食大豆为劣势作物^[28]。主要是由于高秆和矮秆作物的间作,使鲜食玉米田的光照截面积增大^[29],地下养分和水分利用效率得到了改善;鲜食大豆与鲜食玉米

的生理特性存在差异,在土壤水分、营养吸收、光效利用等方面表现出明显的劣势^[30-32],影响了其生长发育,也影响了豆荚的营养积累。

鲜食玉米和鲜食大豆间作方式对作物的干物质积累、器官分配和土壤产量有显著的影响。2行玉米3行大豆(S3)、2行玉米4行大豆(S4)、3行玉米3行大豆(S5)的土壤生产率均有明显的提高,其中,2行玉米3行大豆(S3)间作处理土地当量比达到了1.32。3种不同种植方式下,鲜食玉米的干物质积累显著增加,向穗分布比例增大,鲜食大豆干物质积累虽不多,但对荚果的分配比例却有一定的改善。间作下鲜食玉米在竞争和养分上都比单作玉米更有优势。通过比较分析不同间作方式的干物量分配特征、种间竞争关系及土地生产力水平,可以得出S3、S5型间作是一种高效的耕作方式。

参考文献:

- [1] 史亚兴,张保民. 鲜食玉米的发展与前景—探索我国甜玉米的北方市场[J]. 蔬菜,2016(12):161-167.
SHI Y X, ZHANG B M. The development and prospect of fresh corn: An exploration of the northern market of sweet corn in China[J]. Vegetables, 2016(12): 161-167. (in Chinese)
- [2] 罗瑞萍,赵金刚,连金番,等. 宁夏引黄灌区鲜食大豆农艺及产量性状分析[J]. 作物杂志,2016(2):68-72.
LUO R P, ZHAO J G, LIAN J F, et al. Agronomic and yield traits analysis of fresh soybean in Ningxia yellow irrigation area[J]. Crops, 2016(2): 68-72. (in Chinese)
- [3] 李志贤,王建武,杨文亨,等. 广东省甜玉米/大豆间作模式的效益分析[J]. 中国生态农业学报,2010,18(3):627-631.
LI Z X, WANG J W, YANG W T, et al. Benefit analysis of sweet corn/soybean intercropping mode in Guangdong Province[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(3): 627-631. (in Chinese)
- [4] 刘培,邵宇婷,王志国,等. 减氮对华南地区甜玉米/大豆间作系统产量稳定性的影响[J]. 中国生态农业学报,2019(9):1332-1343.
LIU P, SHAO Z T, WANG Z G, et al. Effects of nitrogen reduction on yield stability of sweet maize//soybean intercropping system in South China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2019(9): 1332-1343. (in Chinese)
- [5] 包斐,王桂跃,卢德生,等. 高密度下不同间作模式对玉米浙甜糯615产量的影响[J]. 浙江农业科学,2014,1(11):1687-1688.
BAO F, WANG G Y, LU D S, et al. Effects of different intercropping patterns on yield of Zhejiang sweet glutinous 615 in maize under high density[J]. Zhejiang Agricultural Sciences, 2014, 1(11): 1687-1688. (in Chinese)
- [6] 夏国绵,丁峰,何勇刚,等. 间作方式对甜玉米、菜用大豆经济性状及效益的影响[J]. 浙江农业科学,2017,58(3):388-390.
XIA G M, DING F, HE Y G, et al. Effects of intercropping on economic traits and benefits of sweet corn and vegetable soybean[J]. Zhejiang Agricultural Sciences, 2017, 58(3): 388-390. (in Chinese)
- [7] 唐艺铃,管奥涓,周贤玉,等. 减量施氮与间作大豆对华南地区甜

- 玉米连作农田 N₂O 排放的影响[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(12): 1529–1535.
- TANG Y L, GUAN A M, ZHOU X Y, et al. Effects of reduced nitrogen application and intercropping soybean on N₂O emissions from continuous cropping of sweet maize in South China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2015, 23(12): 1529–1535. (in Chinese)
- [8] 刘永安, 潘彬荣, 岳高红, 等. 温州不同甜玉米毛豆间作模式的农艺性状、产量与间作优势初探[J]. 浙江农业科学, 2016, 57(1): 13–16.
- LIU Y A, PAN B R, YUE G H, et al. Agronomic traits, yield and intercropping advantages of different sweet maize edamame intercropping patterns in Wenzhou[J]. Zhejiang Agricultural Sciences, 2016, 57(1): 13–16. (in Chinese)
- [9] 刘洋, 孙占祥, 白伟, 等. 玉米大豆间作对辽西地区作物生长和产量的影响[J]. 大豆科学, 2011, 30(2): 225–228.
- LIU Y, SUN Z X, BAI W, et al. Effects of maize-soybean intercropping on crop growth and yield in western Liaoning[J]. Soybean Science, 2011, 30(2): 225–228. (in Chinese)
- [10] LIU S, YANG J Y, ZHANG X Y, et al. Modelling crop yield, soil water content and soil temperature for a soybean-maize rotation under conventional and conservation tillage systems in Northeast China[J]. Agricultural Water Management, 2013, 123(10): 32–44.
- [11] 高砚亮, 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 Y L, SUN Z X, BAI W, et al. Effects of crop yield and root spatial distribution characteristics of maize || peanut intercropping system[J]. Journal of Maize Sciences, 2016, 24(6): 79–87. (in Chinese)
- [12] 赵建华, 孙建好, 陈亮之, 等. 玉米行距对大豆/玉米间作物生长及种间竞争力的影响[J]. 大豆科学, 2019, 38(2): 229–235.
- ZHAO J H, SUN J H, CHEN L Z, et al. Effects of maize row spacing on soybean/maize intercropping crop growth and interspecific competitiveness[J]. Soybean Science, 2019, 38(2): 229–235. (in Chinese)
- [13] 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. Effects of maize/legume intercropping mode on crop dry matter accumulation, distribution and yield[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2017, 35(4): 484–490. (in Chinese)
- [14] 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, 2019, 27(9): 1354–1363.
- WANG X R, ZHANG R Z, LI S M, et al. Dynamic simulation of dry matter accumulation and nitrogen uptake in maize/soybean intercropping system at different nitrogen supply levels[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2019, 27(9): 1354–1363. (in Chinese)
- [15] 任旭灵, 滕园园, 王一帆, 等. 玉米间作豌豆种间竞争互补对少耕密植的响应[J]. 中国生态农业学报, 2019, 27(6): 860–869.
- REN X L, TENG Y Y, WANG Y F, et al. Response of interseed competition and complementarity of maize intercropping peas to less tillage and dense planting[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2019, 27(6): 860–869. (in Chinese)
- [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] YANG W, LI Z, WANG J, et al. Crop yield, nitrogen acquisition and sugarcane quality as affected by interspecific competition and nitrogen application[J]. Field Crops Research, 2013, 146(3): 44–50.
- [18] 雍太文, 刘小明, 宋春, 等. 种植方式对玉米大豆套作体系中作物产量、养分吸收和种间竞争的影响[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(6): 659–667.
- YONG T W, LIU X M, SONG C, et al. Effects of planting methods on crop yield, nutrient uptake and interspecific competition in maize and soybean cropping system[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2015, 23(6): 659–667. (in Chinese)
- [19] 卢秉生, 李妍妍, 丰光. 玉米大豆间作系统产量与经济效益的分析[J]. 辽宁农业职业技术学院学报, 2006, 8(4): 4–6.
- LU B S, LI Y Y, FENG G. Analysis of yield and economic benefits of maize and soybean intercropping system[J]. Journal of Liaoning Agricultural Vocational and Technical College, 2006, 8(4): 4–6. (in Chinese)
- [20] 杨春杰, 谭春燕, 陈佳琴, 等. 间作玉米对大豆鼓粒期产量与农艺性状及干物质积累的影响[J]. 贵州农业科学, 2015, 43(11): 38–42.
- YANG C J, TAN C Y, CHEN J Q, et al. Effects of intercropping maize on yield, agronomic traits and dry matter accumulation of soybean during seed filling period[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2015, 43(11): 38–42. (in Chinese)
- [21] 高砚亮, 孙占祥, 郑家明, 等. 玉米花生间作效应研究进展[J]. 辽宁农业科学, 2016(1): 41–46.
- GAO Y L, SUN Z X, ZHENG J M, et al. Research progress on intercropping effect of maize peanut[J]. Liaoning Agricultural Sciences, 2016(1): 41–46. (in Chinese)
- [22] 高砚亮, 孙占祥, 白伟, 等. 辽西半干旱区玉米与花生间作对土地生产力和水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(19): 3702–3713.
- GAO Y L, SUN Z X, BAI W, et al. Effects of maize and peanut intercropping on land productivity and water use efficiency in semi-arid area of western Liaoning[J]. China Agriculture Science, 2017, 50(19): 3702–3713. (in Chinese)
- [23] 苟芳, 张立祯, 董宛麟, 等. 农牧交错带不同间作模式的土地生产力[J]. 农业工程学报, 2013, 29(6): 129–141.
- GOU F, ZHANG L Z, DONG W L, et al. Land productivity of different intercropping patterns in agro-pastoral zones[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(6): 129–141. (in Chinese)
- [24] 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, 2020, 28(1): 31–41.
- LIN S M, MENG W W, NAN Z W, et al. Changes in the microenvironment of peanut canopy in maize intercropping and its correlation with pod fruit yield[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2020, 28(1): 31–41. (in Chinese)

- [J]. 安徽农业科学, 2003, 31(2): 188-190.
- LI L J, QI S S, SUN L S, et al. Research progress on soil sulfur fertility and crop sulfur nutrition[J]. Anhui Agricultural Science, 2003, 31(2): 188-190. (in Chinese)
- [6] 郑诗樟, 刘志良. 硫肥对土壤质量和生物有效性的研究进展[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2015, 46(5): 688-693.
- ZHENG S Z, LIU Z L. Research progress of sulfur fertilizer on soil quality and bioavailability[J]. Journal of Shandong Agricultural University(Natural Science Edition), 2015, 46(5): 688-693. (in Chinese)
- [7] 崔帅, 刘烁然, 王寅, 等. 吉林省旱地土壤有效硫含量及其与土壤有机质和全氮的关系[J]. 中国农业科学, 2022, 55(12): 2372-2383.
- CUI S, LIU S R, WANG Y, et al. Relationship between available sulfur content and soil organic matter and total nitrogen in dryland soil in Jilin Province[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2022, 55(12): 2372-2383. (in Chinese)
- [8] 刘烁然. 施硫提高玉米产量、品质及养分利用效率的生理机制[D]. 长春: 吉林农业大学, 2021.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [10] 王丽, 吴忠东, 沈新磊. 土壤硫肥研究进展[J]. 河南农业, 2019(13): 20.
- WANG L, WU Z D, SHEN X L. Research progress of soil sulfur fertilizer[J]. Henan Agriculture, 2019(13): 20. (in Chinese)
- [11] SUGIYAMA A, YAMAZAKI Y, YAMASHITA K. Developmental and nutritional regulation of isoflavone secretion from soybean roots[J]. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 2016, 80(1): 89-94.
- [12] GUL S, WHALEN J K, THOMAS B W, et al. Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: Mechanisms and future directions[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2015, 206: 46-59.
- (责任编辑: 姜媛媛)

(上接第 86 页)

- [25] 董宛麟, 张立祯, 于洋, 等. 向日葵和马铃薯间作模式的生产力及水分利用[J]. 农业工程学报, 2012, 28(18): 127-133.
- DONG W L, ZHANG L Z, YU Y, et al. Productivity and water use of sunflower and potato intercropping[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(18): 127-133. (in Chinese)
- [26] ZHANG D S, DU G J, SUN Z X, et al. Agroforestry enables high efficiency of light capture, photosynthesis and dry matter production in a semi-arid climate[J]. European Journal of Agronomy, 2018, 94: 1-11.
- [27] 王自奎, 吴普特, 赵西宁, 等. 作物间套作群体光能截获和利用机理研究进展[J]. 自然资源学报, 2015, 30(6): 1057-1066.
- WANG Z K, WU P T, ZHAO X N, et al. Research progress on the mechanism of light energy interception and utilization in intercropping population[J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(6): 1057-1066. (in Chinese)
- [28] 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. AMF and septum || on purple soil effects of interspecific nitrogen competition in soybean[J]. China Agriculture Science, 2017, 50(14): 2696-2705. (in Chinese)
- [29] WANG Q, ZHANG D S, ZHANG L Z, et al. Spatial configuration drives complementary capture of light of the understory cotton in young jujube plantations[J]. Field Crops Research, 2017, 213: 21-28.
- [30] 柴强, 杨彩红, 黄高宝. 交替灌溉对西北绿洲区小麦间作玉米水分利用的影响[J]. 作物学报, 2011, 37(9): 1623-1630.
- CHAI Q, YANG C H, HUANG G B. Effects of alternating irrigation on water use of wheat intercropping maize in Northwest Oasis Area[J]. Acta Agronomica Sinica, 2011, 37(9): 1623-1630. (in Chinese)
- [31] 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 ratio and phosphorus application on photosynthetic characteristics of maize[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(9): 2959-2967. (in Chinese)
- [32] 张绪成, 王红丽, 于显枫, 等. 半干旱区全膜覆盖垄沟间作种植马铃薯和豆科作物的水热及产量效应[J]. 中国农业科学, 2016, 49(3): 468-481.
- ZHANG X C, WANG H L, YU X F, et al. Hydrothermal and yield effects of full-membrane covered ridge and furrow intercropping for potato and legume crops in semi-arid region[J]. China Agriculture Science, 2016, 49(3): 468-481. (in Chinese)
- (责任编辑: 栾天宇)