



鲜食玉米播期与密度对大豆、鲜食玉米间作产量的影响

张莹莹, 牛永锋, 孙海潮, 董文恒, 李永江, 张盼, 史丽丽, 卢道文

(安阳市农业科学院/河南省优质大豆改良工程技术研究中心, 河南 安阳 455000)

摘要:为探索黄淮海区适宜的大豆、鲜食玉米间作模式,采用鲜食玉米播期与密度二因素裂区设计,研究了不同鲜食玉米群体对大豆、鲜食玉米间作体系作物的产量、农艺性状及作物间相对竞争力的影响。结果表明:鲜食玉米3个播期A1(6月30日)、A2(7月7日)、A3(7月14日)与3个种植密度B1(3.20万株·hm⁻²)、B2(3.80万株·hm⁻²)、B3(4.50万株·hm⁻²)共9个处理不影响间作的产量优势,土地当量比(LER)都大于1;从播期方面看,A1、A2和A3的LER均值分别为1.26、1.20和1.15,差异达到显著水平($P < 0.05$),A1与A2差异不显著;同一播期不同密度条件下,B2的LER最大,B3居中,B1最小。鲜食玉米播期与密度互作对大豆的产量、百粒重无显著性影响,对株高、茎粗、单株荚数、单株粒数产生了显著性影响;鲜食玉米产量和百粒重随着播期的延后逐渐变小,A3的百粒重仅为A1的69.1%,且同一播期内百粒重随着密度的增加逐渐变小。鲜食玉米播期推后抑制了大豆、鲜食玉米共生后期鲜食玉米资源竞争力的恢复,共生前期大豆占优势地位,共生后期鲜食玉米的资源竞争力逐渐变强。因此,就本研究而言,大豆、鲜食玉米间作体系中鲜食玉米应不晚于7月7日播种,种植密度3.80万株·hm⁻²有利于大豆、鲜食玉米间作体系总产量的提高。

关键词:大豆、鲜食玉米间作;鲜食玉米播期;密度;产量

Effects of Sowing Date and Density of Fresh Maize on Yield Under Soybean and Fresh Maize Intercropping

ZHANG Yingying, NIU Yongfeng, SUN Haichao, DONG Wenheng, LI Yongjiang, ZHANG Pan, SHI Lili, LU Daowen

(Anyang Academy of Agricultural Sciences/High Quality Soybean Improvement Engineering Technology Research Center of Henan Province, Anyang 455000, China)

Abstract: In order to explore the suitable planting mode of soybean and fresh maize intercropping system in Huang-huai-hai region, this experiment used the two-factor split plot design of sowing date and density of fresh maize to study the effects of different fresh maize populations on crop yield, agronomic traits and relative competitiveness of crops. The results showed that 9 treatments of 3 sowing dates A1 (June 30), A2 (July 7), A3 (July 14) and 3 densities B1 (32 000 plants·ha⁻¹), B2 (38 000 plants·ha⁻¹), B3 (45 000 plants·ha⁻¹) did not affect the yield advantage of intercropping, and the land equivalent ratio (LER) was all greater than 1. For main factor sowing date, the mean LER value of A1, A2 and A3 was 1.26, 1.20 and 1.15, respectively, with significant differences ($P < 0.05$), while the difference between A1 and A2 was not significant. Under different densities in the same sowing period, the LER of B2 (38 000 plants·ha⁻¹) was the largest, B3 (45 000 plants·ha⁻¹) was the middle, and B1 (32 000 plants·ha⁻¹) was the smallest. Sowing date and density of fresh maize had no significant effects on yield and 100-seed weight of soybean, but had significant effects on plant height, stem diameter, pods number per plant and seeds number per plant. The yield and 100-grain weight of fresh food maize decreased gradually with the delay of sowing date. The 100-grain weight of A3 was only 69.1% of that of A1, and the 100-grain weight of A3 decreased gradually with the increase of density in the same sowing period. The delayed sowing date of fresh maize inhibited the recovery of the resource competitiveness of fresh maize in the late stage of soybean and fresh maize symbiosis, and the resource competitiveness of fresh maize in the early stage of symbiosis became stronger gradually. Therefore, in terms of this study, when the fresh maize in the soybean and fresh maize intercropping system was sown no later than July 7, and the planting density was 38 000 plants·ha⁻¹, the crop yield in the soybean and fresh maize intercropping system reached the best combination.

Keywords: soybean and fresh maize intercropping; sowing time of fresh maize; density; yield

间作是指在一个生长季内同一块土地上同时种植2种或2种以上的作物^[1]。大豆、玉米间作是中国北方一种比较常见的种植模式,大豆、玉米间

作具有增产效应显著、养分利用率高、田间氮肥施用量低等特点^[2]。在20世纪90年代前,黄淮海区大豆及大豆、玉米间作种植有相当规模,近几年,由

收稿日期:2024-05-13

基金项目:河南省重大公益专项(201300111100);安阳市重点研发与推广专项(2022C01NY013)。

第一作者:张莹莹(1986—),女,硕士,助理研究员,主要从事遗传育种与种质资源创新研究。E-mail:zyyumi@163.com。

通讯作者:卢道文(1971—),男,研究员,主要从事玉米遗传育种与栽培研究。E-mail:aynkyy@163.com;

牛永锋(1976—),男,硕士,副研究员,主要从事大豆遗传育种与栽培研究。E-mail:nyf952@126.com。

于种粮的比较效益,本地区的大豆种植面积逐渐减小,大豆自给率短缺,严重依靠进口,严重影响到我国粮食安全,因此在黄淮海地区增加大豆种植面积,已上升到国家政策层面^[3]。另一方面,随着生活水平的不断提升,鲜食玉米受广大消费者的喜爱,市场需求日益凸显,经济效益良好,种植面积逐渐增加,且多采用单作种植^[4]。在土地面积减少的情况下,通过间作扩大大豆、鲜食玉米种植面积,提高作物产量具有广阔的市场前景。

当前,关于大豆、玉米间作模式的研究多集中在大田玉米和大豆的复合种植上,研究焦点主要为栽培配套技术如作物种植密度^[5]、行距配置^[6]、施肥^[7-8]和地上部资源如光、热资源的分配、利用竞争^[9-10]等方面;然而,由于间作物种播种时间不同而引起的共生期差异是影响间作优势发挥的重要因素,间作物种植密度直接影响着间作物种的种间关系。雍太文等^[5]研究表明在玉豆套作体系下,玉米早播(3月6日)与稀植(3.6万株·hm⁻²)能缩短共生期,降低大豆株高、增加茎粗、缩短结荚高度、增加分枝数,比晚播(4月15日)处理增产40.42%,比高密度(6万株·hm⁻²)处理增产35.79%,从而实现大豆增产。赵建华等^[11]用3种豆科作物与玉米间作,研究发现3种豆科作物与玉米共生期不同,大豆与豌豆约60 d,与蚕豆85 d,与大豆110 d,共生期差异必定引起豆科作物相对于玉米在资源竞争上的差异。姬忠明等^[12]对我国西南地区鲜食玉米、鲜食大豆带状间作研究发现群体产量随鲜食玉米密度先增加后减少。李志贤等^[13]通过对甜玉米、大豆间作的研究发现共生后期间作甜玉米光能利用率较单作增加28.44%。可见,作物适宜播期、密度的合理配置是间作体系竞争力优化、产量优势发挥的关键因素。

目前关于大豆、鲜食玉米间作的研究多集中在我国南部沿海地区、西南地区,黄淮海地区缺乏相应的研究。黄淮海平原地区近几年大豆、鲜食玉米种植面积逐步扩大且该区适于机械化作业,为大豆、鲜食玉米间作提供了巨大的发展空间。本研究为探讨黄淮海地区合适的大豆、鲜食玉米间作模式,通过设置间作鲜食玉米不同播期和密度处理,研究播期、密度因素对大豆、鲜食玉米间作体系土地当量比、作物产量以及种间竞争能力等的影响,探寻

大豆、鲜食玉米间作体系下鲜食玉米适宜播期与种植密度,为今后黄淮海地区开展大豆、鲜食玉米间作提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本研究于2021年进行预试验,对播期和密度的设置以及间作体系产量进行了分析,然后于2022年6—10月在安阳市农业科学院柏庄试验基地(安阳柏庄,36°1'N,114°35'E)开展进一步试验。试验地海拔100 m,年平均气温14.1℃,年平均降雨量为627.9 mm,无霜期平均200 d,全年≥10℃的初日是4月2日,终日为11月1日,间隔214 d;土壤类型潮土,前茬作物小麦,0~20 cm土壤肥力参数为有机质19.4 g·kg⁻¹,碱解氮57.5 mg·kg⁻¹,速效磷14.0 mg·kg⁻¹,速效钾173.3 mg·kg⁻¹。

1.2 试验材料

大豆为耐荫、抗倒、底荚高度适中的中早熟高产宜机收品种安豆203,由安阳市农业科学院提供;鲜食玉米为株型紧凑、耐密植、抗倒品种彩甜糯1965,由山西大丰种业提供。

1.3 试验设计

试验包括3种植植方式,分别为大豆、鲜食玉米间作、鲜食玉米单作及大豆单作。间作鲜食玉米采用播期与密度两因素裂区设计,主区因素播期设3个水平(A1:6月30日;A2:7月7日;A3:7月14日),副区因素密度设3个水平(B1:3.20万株·hm⁻²;B2:3.80万株·hm⁻²;B3:4.50万株·hm⁻²)。采用随机区组设计,3次重复。大豆、鲜食玉米行比设置为4:2模式,一个生产单元4行大豆,2行鲜食玉米,一个生产单元宽度285 cm,每小区种植3个生产单元。小区面积8.55 m×5 m=42.75 m²。间作大豆于6月10日播种,行距35 cm,株距15.23 cm,种植密度为9.55万株·hm⁻²,大豆、鲜食玉米的距离为60 cm。间作鲜食玉米行距60 cm,3个种植密度条件下株距分别为22.23,18.53和15.88 cm(图1)。

以鲜食玉米单作和大豆单作为对照,鲜食玉米单作分别于6月30日、7月7日、7月14日播种,种植密度为5.25万株·hm⁻²,行距60 cm,株距31.76 cm,分别以MM-A1、MM-A2、MM-A3表示。单作大豆于6月10日播种,种植密度为18.75万株·hm⁻²,行距

35 cm,株距 15.23 cm,以 SS 表示。播种时人工点播,1 穴 2 粒,出苗后留苗 1 穴 1 株。

鲜食玉米根据适收期分别于 9 月 10 日、9 月 20 日、9 月 30 日收获,大豆统一于 10 月 5 日收获。

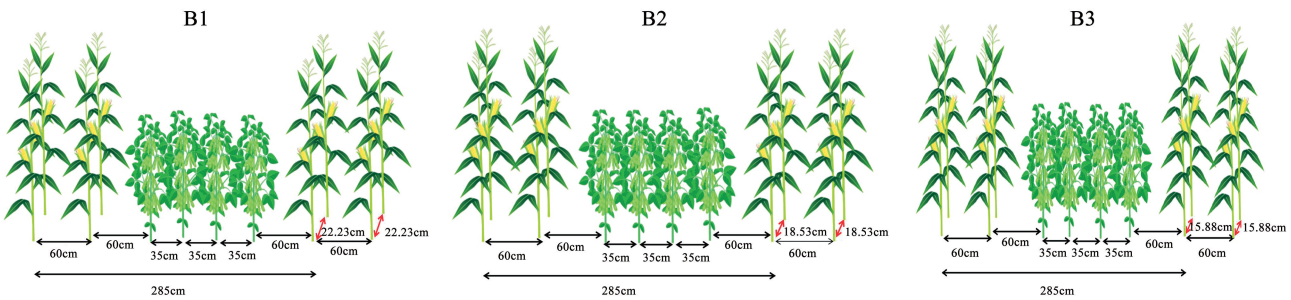


图 1 大豆、鲜食玉米间作模式密度设置示意图

Fig.1 Density setting schematic of intercropping pattern of soybean and fresh maize

1.4 生物量测定及测产

1.4.1 生物量 对小区边行生产单元内的作物生物量进行测定,共取样 6 次,取样时间分别为 8 月 10 日、8 月 20 日、8 月 30 日、9 月 10 日、9 月 20 日和 10 月 5 日。每生产单元分别选取生长一致的大豆、鲜食玉米 3 株,取地上部鲜样,先用烘箱 105 ℃ 杀青 1 h,然后 80 ℃ 烘干至恒重。

1.4.2 产量及其性状 鲜食玉米以小区中间的生产单元为计产带进行测产,然后折合成单位面积产量,取 15 株玉米测其株高、穗位、穗长、穗粗、秃尖长、穗粒数和百粒重;大豆统一于 10 月 5 日取 15 株测量其株高、茎粗、底荚高度、分枝数、单株荚数、单株粒数和百粒重。

1.5 指标分析

土地当量比(Land Equivalent Ratio, LER)用于衡量间作优势^[14]:

$$LER = \frac{Y_{is}}{Y_{ss}} + \frac{Y_{im}}{Y_{sm}}$$

式中:Y_{is}表示间作总面积上大豆的籽粒产量,Y_{im}表示间作总面积上鲜食玉米的产量(kg·hm⁻²);Y_{ss}和 Y_{sm}分别为单作大豆和单作鲜食玉米的产量。LER>1 说明间作产量处于优势,LER<1 说明间作产量处于劣势。

种间竞争力(Aggressivity, A)^[15]指间作体系中一种作物相对于另一种作物对水分、养分等与产量形成有关资源的竞争力:

$$A_{sm} = \frac{Y_{ia}}{Y_{sa} \times Z_s} - \frac{Y_{ib}}{Y_{sb} \times Z_m}$$

式中:A_{sm}表示大豆相对于鲜食玉米的资源竞争

力;Y_{ia}表示间作大豆生物产量;Y_{sa}表示单作大豆生物产量;Y_{ib}为间作鲜食玉米生物产量;Y_{sb}为单作鲜食玉米生物产量;Z_s表示大豆在间作体系所占的面积比,Z_m表示鲜食玉米在间作体系所占的面积比,该试验 Z_s=0.58,Z_m=0.42。A_{sm}>0 表示大豆竞争力强于鲜食玉米;A_{sm}<0 表示大豆竞争力小于鲜食玉米。

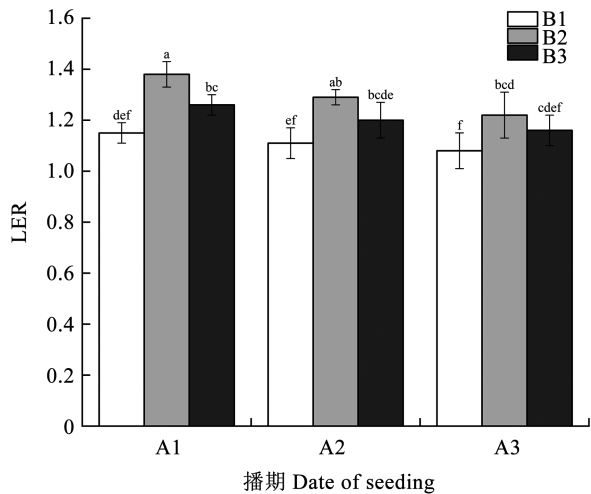
1.6 数据分析

用 Excel 2010 进行数据处理,利用 DPS 18.10 软件对试验数据进行方差分析,其中处理间差异显著性采用 Tukey 法进行检验(α=0.05),用 Origin 2021 作图。

2 结果与分析

2.1 鲜食玉米播期与密度对大豆、鲜食玉米间作体系土地当量比的影响

如图 2 所示,鲜食玉米 3 个播期与 3 个种植密度 9 个处理下间作体系的 LER 都大于 1,说明间作鲜食玉米播期与密度互作没有影响间作体系产量的优势。从播期方面看,A1、A2 和 A3 的 LER 均值分别为 1.26、1.20 和 1.15,A1 与 A2 差异不显著,与 A3 差异显著。同一播期不同密度的 LER 差异达到显著水平,B2(3.8 万株·hm⁻²)的 LER 最大(1.30),B3(4.50 万株·hm⁻²)的 LER 居中(1.21),B1(3.20 万株·hm⁻²)的 LER 最小(1.11)。9 个处理间的 LER 差异显著,分别为 A1B2(1.38)>A2B2(1.29)>A1B3(1.26)>A3B2(1.22)>A2B3(1.20)>A3B3(1.16)>A1B1(1.15)>A2B1(1.11)>A3B1(1.08)。



注:不同小写字母差异显著($P < 0.05$)。
Note: Different lowercase letters indicate significant difference($P < 0.05$).

图2 不同鲜食玉米播期与密度下大豆、鲜食玉米间作体系 LER 分析
Fig. 2 LER of soybean fresh maize intercropping system under different sowing dates and densities of fresh maize

2.2 鲜食玉米播期与密度对间作作物产量的影响

由表 1 的方差分析可以看出,播期与密度互作条件下鲜食玉米产量、间作总产量的差异均达到极

显著水平,说明播期与密度互作对鲜食玉米、间作总产量有显著影响。大豆产量在播期和密度互作下差异不显著。

表 1 鲜食玉米播期与密度对间作作物产量的方差分析表

Table 1 Analysis of variance of sowing date and density of fresh maize on yield of intercropping system

变异来源 Source of variance	大豆 Soybean	鲜食玉米 Fresh maize	总产量 Total yield
A	7.86	15.78 **	30.83 **
B	19.58 **	31.12 **	210.70 **
A × B	0.34	3.53 **	7.04 **

注:表中数据为 F 值; ** 表示在 0.01 水平差异显著。
Note: Data in the table are F values; ** mean significant difference at 0.01 level.

由表 2 看出鲜食玉米播期与密度对间作作物总产量的影响表现为:从播期看,鲜食玉米越晚播间作体系的总产量越低,A1 混合产量最高,平均为 $10\,104.1\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,A2 居中,A1 与 A2 差异不显著,A3 最低,平均为 $8\,437.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。从密度看,随着鲜食玉米种植密度的增加,间作体系的总产量先升高后降低,3 个处理间差异性显著。其中,B2 产量最高,为 $10\,248.7\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,B1 为 $8\,422.9\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,较 B2 的总产量下降 17.8%。A1B2 与 A2B2 差异不显著,这两个组合的总产量较高,分别为 $11\,538.0$ 和 $10\,225.6\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。A3B1 处理组合的总产量最低,与 A2B1 差异不显著,分别为 $7\,981.2$ 和 $8\,422.6\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

就间作体系中的大豆产量而言,鲜食玉米播期对大豆产量无显著性影响,密度对大豆产量有显著性影响。从密度看,B1 处理的大豆产量显著低于 B2 和 B3,而 B2 和 B3 处理间差异不显著。对 9 个处

理的大豆产量进行比较,A1B2、A1B3 和 A2B2 的产量较高,3 个组合处理差异不显著,分别为 $3\,053.7$ 、 $3\,027.6$ 和 $2\,923.2\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,分别占单作大豆产量的 78.0%、77.3% 和 74.7%。

在间作体系中,鲜食玉米的产量随着播期的延后逐渐降低,处理间存在显著性差异,A1 为 $7\,133.1\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,A3 为 $5\,668.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,A3 较 A1 低 20.5%。同一播期不同种植密度间,均以 B2 处理最高,其中 A1B2 和 A2B2 的产量分别位于第一和第二位,二者差异不显著,说明在 B2 种植密度条件下适当推后 7 d 播种鲜食玉米对产量影响不大,既保证了大豆的产量,又为鲜食玉米的持续供应提供了参考。鲜食玉米单作中,播期对其影响变化一致,随着播期延后而减少,A1 产量最高,为 $14\,140.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;A3 为 $12\,706.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,较 A1 下降 10.1%。

表 2 不同鲜食玉米播期与密度下间作作物产量的多重比较

Table 2 Multiple comparison of yield of intercropping under different fresh maize sowing dates and densities			
单位:kg·hm ⁻²			
处理 Treatment	大豆 Soybean	鲜食玉米 Fresh maize	总产量 Total yield
A1B1	2831.9 ± 119.6 bc	6033.3 ± 588.7 de	8865.2 ± 549.4 de
A1B2	3053.7 ± 39.2 a	8484.3 ± 565.6 a	11538.0 ± 586.2 a
A1B3	3027.6 ± 81.5 ab	6881.7 ± 432.0 bc	9909.3 ± 435.4 bc
A2B1	2597.0 ± 98.5 d	5825.6 ± 410.7 de	8422.6 ± 315.1 ef
A2B2	2923.2 ± 59.8 ab	7302.4 ± 472.0 ab	10225.6 ± 431.3 ab
A2B3	2831.8 ± 193.1 bc	6406.4 ± 492.7 cd	9238.2 ± 299.9 cd
A3B1	2557.0 ± 39.4 d	5424.2 ± 333.7 e	7981.2 ± 301.8 f
A3B2	2903.2 ± 52.3 ab	6079.3 ± 362.0 cde	8982.5 ± 365.1 bc
A3B3	2846.8 ± 183.9 b	5500.4 ± 172.9 e	8347.2 ± 101.2 ef
A1	2971.1 ± 129.0 a	7133.1 ± 672.7 a	10104.2 ± 891.7 a
A2	2784.0 ± 184.1 a	6511.5 ± 647.5 ab	9295.5 ± 803.0 ab
A3	2769.0 ± 188.2 a	5668.0 ± 405.4 c	8437.0 ± 501.2 b
B1	2661.9 ± 151.4 b	5761.0 ± 478.1 b	8422.9 ± 442.6 c
B2	2960.0 ± 83.5 a	7288.7 ± 519.4 a	10248.7 ± 886.4 a
B3	2902.1 ± 168.4 a	6262.8 ± 595.8 b	9165.0 ± 467.4 b
SS	3915.0 ± 145.5	—	—
MM-A1	—	14140.5 ± 252.0	—
MM-A2	—	13440.0 ± 258.0	—
MM-A3	—	12706.5 ± 460.5	—

注:不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。
Note: Different lowercase letters indicate significant difference($P < 0.05$).

2.3 鲜食玉米播期与密度对间作大豆农艺性状及产量构成要素的影响

高、茎粗、单株荚数、单株粒数在播期和密度互作条件下差异极显著。百粒重在播期、密度、播期与密度互作条件下均差异不显著(表3)。

对比间作大豆的农艺性状及产量构成要素,株

表 3 鲜食玉米播期与密度对间作大豆农艺性状及产量构成要素的方差分析

Table 3 Variance analysis of sowing date and density of fresh maize on agronomic traits and yield components of intercropping soybean

变异来源 Source of variance	株高 Plant height	茎粗 Stem diamter	底荚高度 Bottom pod height	分枝数 Number of branch	单株荚数 Pods number per plant	单株粒数 Seeds number per plant	百粒重 100-seed weight
A	52.15 **	35.15 **	128.34 **	6.02	1.67	6.72 **	1.33
B	1.29	59.07 **	57.70 **	22.49 **	4.11 **	17.67 **	1.84
A × B	12.97 **	4.55 **	0.64	0.08	20.82 **	29.08 **	1.12

注:表中数据为 F 值; ** 表示在 0.01 水平差异显著。
Note: Data in the table are F values; ** mean significant difference at 0.01 level.

由表 4 可以看出,间作大豆的株高随鲜食玉米播期的推后逐渐减小,A1 均值为 79.9 cm,A3 为 68.5 cm,A3 比 A1 平均降低了 14.3%。同时 A1 和 A2 中 6 个组合的株高均比大豆单作时高,而 A3 的 3 个处理均比单作低;茎粗随播期逐渐增大,A1 均

值为 4.3 cm,A3 均值为 4.8 mm,A3 比 A1 平均提高了 11.6%,而随着密度的增加茎粗逐渐减小,3 个密度之间差异极显著,B1、B2 和 B3 分别为 4.8、4.5 和 4.3 mm,B3 比 B1 减少了 10.4%;始荚高度随着播期的推后逐渐降低,而同一播期内随密度增加而

增高;分枝数随着鲜食玉米的密度增大逐渐减少,播期之间差异不显著;单株荚数在播期处理下差异不显著,而在密度间差异显著,B2 密度下单株荚数最多,为 63.3 个,B3 密度下最少,为 60.4 个。单株粒数随播期逐渐增加,A1 为 109.4 粒,A2 为 113.6 粒,A3 为 119.5 粒,随着密度的变化单株粒数先增加后减少,B2 密度条件下单株粒数最多。A2B2 的单株粒数和单株荚数为各处理最高,分别为 125.5 粒和 70.6 个,A2B3 的单株粒数和单株荚数最少,较 A2B2 分别少 26.3 粒和 16.5 个。

表 4 不同鲜食玉米播期与密度下间作大豆农艺性状及产量构成要素的多重比较

Table 4 Multiple comparison of agronomic traits and yield components under different soybean sowing dates and densities of fresh maize

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diamter/mm	底荚高度 Bottom pod height/cm	分枝数 Number of branches	单株荚数 Pods number per plant	单株粒数 Seeds number per plant	百粒重 100-seed weight/g
A1B1	80.4 ±1.5 ab	4.4 ±0.1 cd	13.2 ±0.5 def	4.8 ±0.6 a	62.4 ±0.6 bc	99.3 ±6.1 d	26.1 ±1.4 a
A1B2	82.1 ±1.8 a	4.2 ±0.2 ef	17.7 ±1.0 a	4.0 ±0.4 abc	63.3 ±2.0 b	111.0 ±8.4 cd	26.2 ±2.1 a
A1B3	77.3 ±1.5 b	4.1 ±0.1 f	18.4 ±1.0 a	3.3 ±0.2 bcd	62.1 ±4.1 bc	119.0 ±2.5 abc	26.8 ±1.7 a
A2B1	79.6 ±0.5 ab	4.8 ±0.1 b	12.5 ±1.0 ef	4.5 ±0.2 ab	61.0 ±1.4 bcd	116.1 ±4.1 abc	26.9 ±0.5 a
A2B2	76.7 ±1.2 bc	4.5 ±0.2 c	16.3 ±0.4 abc	3.6 ±0.7 abcd	70.6 ±2.9 a	125.5 ±4.2 a	24.3 ±1.5 a
A2B3	79.5 ±1.3 ab	4.3 ±0.1 cde	16.9 ±0.5 ab	2.9 ±0.5 cd	54.1 ±2.3 e	99.2 ±3.6 d	27.2 ±1.6 a
A3B1	68.2 ±3.1 d	5.3 ±0.2 a	11.2 ±0.9 f	4.0 ±0.4 abc	58.3 ±3.4 bcde	112.8 ±3.1 bc	25.4 ±1.4 a
A3B2	68.2 ±2.5 d	4.8 ±0.1 b	14.1 ±1.2 cde	3.4 ±1.2 bcd	56.1 ±2.0 cde	122.1 ±5.0 ab	25.4 ±1.8 a
A3B3	69.1 ±1.7 d	4.5 ±0.1 c	15.1 ±0.7 bcd	2.4 ±0.1 d	65.0 ±3.2 ab	123.7 ±6.0 ab	25.7 ±0.4 a
SS	73.4 ±1.0 c	4.8 ±0.2 b	14.2 ±0.6 cde	3.7 ±0.3 abcd	54.4 ±1.3 de	109.0 ±3.6 cd	26.8 ±1.0 a
A1	79.9 ±2.5 a	4.3 ±0.2 c	16.4 ±2.6 a	4.0 ±0.8 a	62.6 ±2.4 a	109.4 ±10.1 b	26.4 ±1.6 a
A2	78.6 ±1.7 a	4.5 ±0.3 b	15.2 ±2.2 b	3.7 ±0.8 a	61.9 ±7.4 a	113.6 ±12.0 ab	26.1 ±1.8 a
A3	68.5 ±2.2 b	4.8 ±0.4 a	13.4 ±1.9 c	3.3 ±0.9 a	59.8 ±4.7 a	119.5 ±6.6 a	25.5 ±1.2 a
B1	76.1 ±6.1 a	4.8 ±0.4 a	12.3 ±1.1 b	4.4 ±0.5 a	60.6 ±2.6 b	109.4 ±8.7 c	26.1 ±1.4 a
B2	75.7 ±6.3 a	4.5 ±0.3 b	16.0 ±1.8 a	3.7 ±0.8 b	63.3 ±6.6 a	119.2 ±8.8 a	25.3 ±0.4 a
B3	75.3 ±4.9 a	4.3 ±0.2 c	16.8 ±1.6 a	2.9 ±0.5 c	60.4 ±5.7 b	113.9 ±11.9 b	26.6 ±0.4 a

注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference($P<0.05$).

2.4 鲜食玉米播期与密度对鲜食玉米农艺性状及产量构成要素的影响

由表 5 可以看出,间作鲜食玉米的穗长、穗粗、

秃尖长、百粒重在播期与密度互作下表现出极显著差异。株高、穗位高、穗粒数在播期、密度互作下差异不显著(表 5)。

表 5 间作鲜食玉米农艺性状及产量构成要素的方差分析表

Table 5 Variance analysis of agronomic traits and yield components of intercropping fresh maize

变异来源 Source of variance	株高 Plant height	穗位 Ear height	穗长 Ear length	穗粗 Spike width	秃尖长 Bare top length	穗粒数 Grains number per spike	百粒重 100-grain weight
A	13.11 **	920.39 **	27.70 **	67.75 **	335.61 **	96.23 **	968.46 **
B	52.41 **	31.19 **	10.35 **	13.77 **	19.91 **	6.21 **	20.19 **
A × B	1.34	2.27	6.04 **	7.24 **	10.69 **	2.79	1.72 **

注:表中数据为 F 值; ** 表示在 0.01 水平差异显著。

Note: Data in the table are F values; ** mean significant difference at 0.01 level.

如表 6 所示,在间作体系中播期改变对鲜食玉米的株高、穗位、穗长、穗粗、秃尖长、穗粒数和百粒重产生了极显著的影响。株高、穗位、穗长、穗粗和百粒重随着播期的推后逐渐变小,而秃尖逐渐变长。A3 的穗粗比 A1 小 0.4 cm,且 A3 的百粒重仅为 A1 的 69.1%。秃尖的表现为 A1 < A2 < A3,分别为 0.9、1.4 和 3.0 cm,A3 的秃尖长是 A1 的 3.3 倍。说明大豆、鲜食玉米间作体系中鲜食播期的推后对其自身影响较大。穗粒数表现 A2 > A1 > A3,差异显著,A2B2 的穗粒数最多,为 602.8 粒,A3B1 仅为

521.6 粒。密度的改变也对鲜食玉米的株高、穗位、穗长、穗粗、秃尖长、穗粒数和百粒重存在极显著的影响。株高和穗位随密度的变大逐渐变大。穗长和穗粗都在 B2 密度处理下最大,B1 和 B2 的百粒重差异不显著,分别为 31.7 和 31.1 g。秃尖长 B2 < B3 = B1,分别为 1.5、1.9 和 1.9 cm,说明 B2 密度有利于间作体系中鲜食玉米的生长。

单作玉米的株高、穗位、穗长、穗粗、穗粒数和百粒重随着播期延后逐渐变小,而秃尖逐渐变长,MM-A1 < MM-A2 < MM-A3,分别为 0.0、0.8 和 2.3 cm。

表 6 鲜食玉米农艺性状及产量构成要素的多重比较

Table 6 Multiple comparison of agronomic characters and yield components of fresh maize

处理 Treatment	株高 Plant height/ cm	穗位 Ear height/ cm	穗长 Ear length/ cm	穗粗 Spike width/ cm	秃尖长 Bare top length/cm	穗粒数 Grains number per spike	百粒重 100-grain weight/g
A1B1	213.0 ± 4.6 abc	79.8 ± 0.8 b	21.9 ± 0.5 a	4.5 ± 0.0 a	0.9 ± 0.1 de	556.0 ± 13.6 bed	36.8 ± 0.7 a
A1B2	218.0 ± 11.1 ab	81.4 ± 2.1 ab	21.5 ± 0.7 a	4.5 ± 0.0 a	0.8 ± 0.0 e	569.6 ± 2.5 abc	36.5 ± 0.4 a
A1B3	223.4 ± 4.7 a	84.7 ± 0.6 a	21.3 ± 0.6 a	4.3 ± 0.1 abc	0.9 ± 0.1 de	545.0 ± 9.0 bed	35.4 ± 0.3 a
A2B1	198.0 ± 2.1 d	70.4 ± 1.5 cde	19.0 ± 0.7 de	4.3 ± 0.1 abc	1.3 ± 0.1 cd	575.0 ± 9.1 ab	32.1 ± 0.7 bc
A2B2	204.0 ± 5.3 cd	71.8 ± 1.2 cd	20.7 ± 0.8 a	4.4 ± 0.1 ab	1.3 ± 0.1 cd	602.8 ± 7.2 a	32.0 ± 0.8 bc
A2B3	214.6 ± 1.5 abc	73.8 ± 0.6 c	19.5 ± 0.3 cd	4.2 ± 0.1 bed	1.7 ± 0.1 c	560.3 ± 25.2 bc	30.7 ± 0.4 c
A3B1	195.3 ± 1.5 d	67.8 ± 1.5 e	17.5 ± 0.3 e	4.0 ± 0.1 d	3.5 ± 0.4 a	521.6 ± 7.6 d	26.1 ± 0.3 d
A3B2	198.3 ± 1.5 d	69.8 ± 1.5 de	19.3 ± 0.8 de	4.1 ± 0.1 cd	2.5 ± 0.3 b	534.2 ± 4.6 cd	25.0 ± 0.4 de
A3B3	208.0 ± 2.0 bcd	73.0 ± 1.0 cd	18.9 ± 0.5 de	4.1 ± 0.0 cd	3.2 ± 0.1 a	540.2 ± 14.1 bed	24.0 ± 0.6 e
MM-A1	220.0 ± 7.2 ab	73.4 ± 0.6 c	21.5 ± 0.2 a	4.3 ± 0.2 abc	0.0 ± 0.0 f	578.4 ± 9.9 ab	37.1 ± 0.6 a
MM-A2	215.6 ± 3.8 abc	71.2 ± 0.6 cd	20.1 ± 1.0 a	4.3 ± 0.1 abc	0.8 ± 0.2 e	575.9 ± 20.1 ab	32.8 ± 0.3 b
MM-A3	214.6 ± 5.5 abc	69.7 ± 0.8 de	19.8 ± 0.8 bed	4.2 ± 0.0 bed	2.3 ± 0.2 b	560.3 ± 7.1 bc	31.2 ± 1.0 bc
A1	218.1 ± 7.9 a	82.0 ± 2.4 a	21.6 ± 0.6 a	4.4 ± 0.1 a	0.9 ± 0.4 c	556.9 ± 13.5 b	36.2 ± 0.7 a
A2	205.6 ± 7.8 ab	71.8 ± 1.8 b	19.7 ± 0.9 b	4.3 ± 0.1 b	1.4 ± 0.2 b	579.3 ± 23.3 a	31.6 ± 0.9 b
A3	200.5 ± 5.9 b	70.1 ± 2.6 c	18.6 ± 1.0 c	4.0 ± 0.1 c	3.0 ± 0.5 a	532.0 ± 11.7 c	25.0 ± 1.0 c
B1	202.1 ± 7.9 c	72.6 ± 5.7 b	19.4 ± 2.0 b	4.3 ± 0.3 a	1.9 ± 2.6 a	568.9 ± 9.9 a	31.7 ± 4.7 a
B2	206.8 ± 11.7 b	74.2 ± 5.6 a	20.5 ± 1.2 a	4.3 ± 0.2 a	1.5 ± 6.6 b	550.9 ± 20.1 b	31.1 ± 5.0 a
B3	215.4 ± 11.8 a	77.1 ± 5.7 c	19.9 ± 1.1 ab	4.2 ± 0.1 b	1.9 ± 5.7 a	548.5 ± 7.1 b	30.1 ± 5.0 b

注:不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

2.5 对作物相对竞争力的影响

大豆、鲜食玉米共生期间,大豆相对鲜食玉米的竞争力在前期呈现波动性变化,但 A_{sm} 大于 0,而共生后期的 A_{sm} 逐渐下降且最终小于 0。对比发现,A1B1、A1B2 和 A1B3 的 A_{sm} 在 8 月 30 日取样后开始下降,说明大豆相对鲜食玉米的竞争力开始变弱,

鲜食玉米的资源竞争力逐渐变强;A2B1、A2B2、A2B3、A3B1、A3B2 和 A3B3 处理在 9 月 10 日之前的 A_{sm} 依旧表现大豆占据主导地位,9 月 20 日采样后开始急剧下降。10 月 5 日采样结束,A1 ~ A3 播期的 A_{sm} 值分别为 0.20、0.06 和 0.05;B1 ~ B3 密度的 A_{sm} 值分别为 0.07、0.08 和 0.06(图 3)。

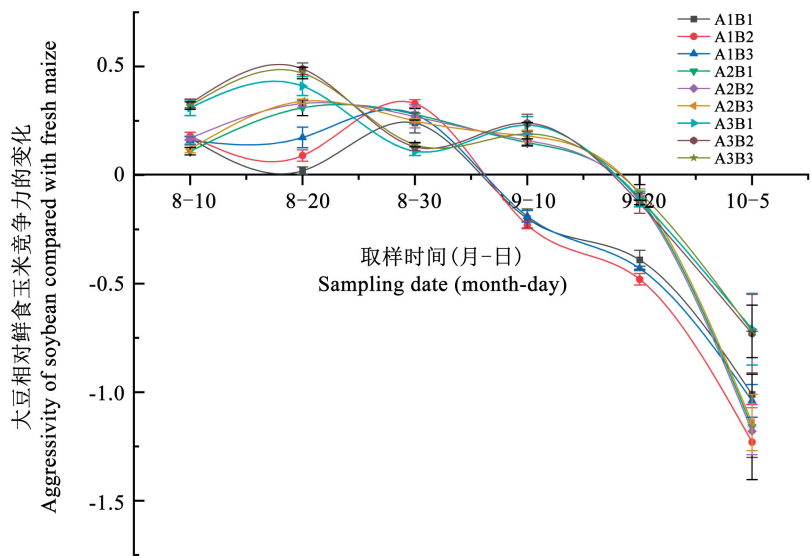


图3 间作体系中大豆相对鲜食玉米竞争力的变化

Fig. 3 Changes in the aggressivity of soybean compared with fresh maize in intercropping system

3 讨论

播期是影响作物产量的主要因素之一^[16],间作体系中播期的改变会显著影响间作作物的产量。Ifenkwe 等^[17]研究发现,玉米、马铃薯间作,玉米播期推迟,玉米产量显著减小。雍太文等^[5]结果显示,玉米不同播期与密度对玉米产量有显著性影响,对大豆产量有极显著影响。在本研究中,鲜食玉米的播种时间分别比大豆晚 20,27 和 34 d,随着间作鲜食玉米播期的延后,其混合产量逐渐减小。其中,鲜食玉米播种越晚产量越低,但大豆产量无显著性变化,与赵建华等^[14]的研究结果相一致。究其原因可能是:一方面,晚播鲜食玉米在资源竞争上受大豆的抑制,产量受到影响;另一方面,晚播鲜食玉米受积温、光照等气候的影响,其产量及产量相关性状受到一定程度的影响。大豆产量在不同播期变化不大,可能是因为晚播玉米对大豆植株的光遮蔽时间短,对光合作用影响不大,有利于大豆产量的稳定。

密度是影响作物产量的另外一个重要因素^[18-19]。前人研究表明,密度对玉米、大豆产量影响显著^[20]。为确定 2022 年的试验设置,本研究于 2021 年进行了预备试验,单作鲜食玉米的密度为 5.25 万株·hm⁻²,间作鲜食玉米的密度为 2.52 万、3.20 万、3.80 万、4.50 万和 5.05 万株·hm⁻²。单作鲜食玉米密度与黄淮海地区推广种植密度一致,单、间作密度设置不一致。其原因是鲜食玉米以收穗为主,比较注重商品性和外观品质,5.25 万株·hm⁻²

的间作密度影响了穗的结实性、外观等,同时加大了荫蔽效应,降低光能利用率,影响大豆的产量,所以采用稍低种植密度。行距为 60 cm 时,对应的株距为 27.79,22.23,18.53,15.88 和 13.90 cm,调查发现 2.52 万株·hm⁻²的鲜穗结实性好,但由于稀植,产量一般,5.05 万株·hm⁻²的鲜穗商品性差,秃尖较长,因此,将 2.52 万和 5.05 万株·hm⁻²这两个密度淘汰掉。2022 年的试验设置为 3.20 万、3.80 万和 4.50 万株·hm⁻²,行距为 60 cm,株距为 22.23,18.53 和 15.88 cm,本研究试验采用人工播种,生产上大豆可以使用大豆玉米带状复合播种机进行播种,鲜食玉米可以使用小型玉米播种机分期播种,收获时鲜食玉米使用小型玉米收割机分批次收获上市,大豆一次性收获。本研究对 3 个种植密度进行比较发现,间作体系的大豆和鲜食玉米在鲜食玉米种植密度为 3.80 万株·hm⁻²时总产量最高,密度过低不利于鲜食玉米产量的提高,密度过高,加重了鲜食玉米对大豆的遮荫效果。

不同的播种时间和种植密度可以调节间作体系对光、热、水、气等气候资源的利用与竞争的冲突,玉米适宜播期的选择与合理密度的调节,有助于改善间作大豆群体结构,增加其产量^[21-22]。Ijoyah 等^[23]前期研究表明,玉米晚播对玉米穗长、穗粗和百粒重均有明显的影响。雍太文等^[5]进行玉米比大豆提前 4 个播期、3 个密度套作大豆研究发现,玉米早播与稀植降低大豆株高、增加茎粗、缩短结荚高度、增加分枝数。本试验中,在大豆已经播种的情况下玉米播期延后,鲜食玉米播期、密度

的改变对大豆的株高、茎粗、单株荚数、单株粒数产生了显著性影响,对大豆百粒重的作用不明显。而晚播鲜食玉米百粒重比与大豆同期播种的处理显著降低,这可能是由于晚播玉米在生育初期受大豆生长的抑制,导致其产量和产量因子均低于前期。

间作体系中既有种间竞争,又有种内竞争,但因其分布较散,种间竞争比种内竞争要小,有利于提高间作体系的混合产量^[24]。然而,间作物播期过早或推迟,种植密度过大或过小都会使作物之间的竞争能力发生变化,播期和密度的合理配置可使“时空效应”与“光效应”达到最佳^[25-26]。前期研究发现,鲜食玉米播期和种植密度等因素导致大豆、鲜食玉米共生期发生了不同程度的变化,进而导致其在共生期内的竞争能力存在显著差异。在共生前期,大豆的竞争能力表现出波动性的变化趋势,但一直高于0,说明共生前期(8月前)大豆占优势地位,与雍太文等^[27]的研究结果相一致;共生后期(9月至收获),大豆相对鲜食玉米的竞争能力急速下降,大豆处于弱势地位。

4 结论

相较于普通粒用玉米,鲜食玉米的生育期短,在与大豆间作中可适当延后播期以便鲜食玉米分期成熟上市,同时使大豆增产。本研究设置鲜食玉米3个播期 A1(大豆播后 20 d)、A2(大豆播后 27 d)、A3(大豆播后 34 d)与3个密度 B1(3.20 万株·hm⁻²)、B2(3.80 万株·hm⁻²)、B3(4.50 万株·hm⁻²)两因素裂区设计,研究播期、密度对大豆、鲜食玉米间作体系土地当量比、作物产量以及间作大豆和鲜食玉米种间竞争能力等影响。

结果表明,9个处理的 LER 均大于1,表明鲜食玉米播期适当延后、密度适度增加不影响间作的优势发挥。另外,鲜食玉米播期和密度互作对大豆产量无显著性影响,对间作体系总产量、鲜食玉米的产量产生了显著性影响,鲜食玉米越晚播,间作体系的总产量、鲜食玉米的产量越低,A1和A2的产量高于A3,B2的产量明显高于B3和B1。其中,A1B2和A2B2产量位于第一、第二位,说明在B2种植密度条件下推后7d播种鲜食玉米对产量影响不大,既保证了大豆的产量,又为鲜食玉米的持续供应提供了参考。间作体系鲜食玉米产量的降低,一方面是因为共生前期大豆占优势,相对竞争力大于0,而播期延后又抑制了共生后期鲜食玉米资源竞争力的恢复;另一方面是因为鲜食玉米比大豆晚播20~34d,受后期积温、光照等气候因素和种间竞争的

限制,穗长、穗粗、秃尖、百粒重等产量要素受到影响,产量下降。本试验所用大豆品种安豆203一般在苗后30d进入开花期,为获得理想的群体产量和产值,鲜食玉米宜在大豆开花期前完成播种。

从大豆和鲜食玉米共生关系协调发展和两种作物增产增收的角度考虑,在豫北地区大豆、鲜食玉米间作体系中,鲜食玉米适当晚播(7月7日前)和适度密植(3.80 万株·hm⁻²)有利于大豆、鲜食玉米间作体系总产量的提高。

参考文献

[1] 任媛媛,张莉,郁耀国,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.)

[2] 赵建华,孙建好,樊廷录,等.玉米行距对大豆/玉米间作产量及种间竞争力的影响[J].干旱地区农业研究,2015,33(3):159-163,183. (ZHAO J H, SUN J H, FAN T L, et al. Effect of row spacing of maize on yield and interspecific competition of crops in soybean/maize intercropping system [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2015, 33(3): 159-163, 183.)

[3] 田国强,何秀荣.国产大豆“量增价跌”现象的反思[J].大豆科技,2018(3):8-12. (TIAN G Q, HE X R. Analysis on the phenomenon of price down with production up in domestic soybean [J]. Soybean Science & Technology, 2018(3): 8-12.)

[4] 栾春荣,苏彩霞,马小凤,等.“马铃薯/鲜食糯玉米—菜用大豆—冬菜”模式高效栽培技术[J].江苏农业科学,2014,42(2):112-114. (LUAN C R, SU C X, MA X F, et al. Efficient cultivation techniques of “potato/fresh waxy corn-vegetable soybean-winter vegetable” model [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2014, 42(2): 112-114.)

[5] 雍太文,杨文钰,向达兵,等.玉/豆套作模式下玉米播期与密度对大豆农艺性状及产量的影响[J].大豆科学,2009,28(3):439-444. (YONG T W, YANG W Y, XIANG D B, et al. Effect of maize sowing time and density on the agronomic characters and yield of soybean in relay-planting system of maize and soybean [J]. Soybean Science, 2009, 28(3): 439-444.)

[6] 杨峰,娄莹,廖敦平,等.玉米-大豆带状套作行距配置对作物生物量、根系形态及产量的影响[J].作物学报,2015,41(04):642-650. (YANG F, LOU Y, LIAO D P, et al. Effects of row spacing on crop biomass, root morphology and yield in maize-soybean relay strip intercropping system [J]. Acta Agronomica Sinica, 2015, 41(4): 642-650.)

[7] 曾瑾汐,文熙宸, MUHAMMAD Ali Raza, 等.氮磷配施对玉米-大豆套作模式下种间作用、玉米产量及干物质积累与转运的影响[J].草业学报,2017,26(7):166-176. (ZENG J X, WEN X C, MUHAMMAD A R, et al. Effects of combined applications of nitrogen and phosphorus on interspecies interaction, yield, and dry matter accumulation and translocation in maize in a maize-soybean relay intercropping system [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2017, 26(7): 166-176.)

[8] 雍太文,刘小明,刘文钰,等.减量施氮对玉米-大豆套作体

系中作物产量及养分吸收利用的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(2): 474-482. (YONG T W, LIU X M, LIU W Y, et al. Effects of reduced N application rate on yield and nutrient uptake and utilization in maize-soybean relay strip intercropping system[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(2): 474-482.)

[9] 杨峰, 娄莹, 刘沁林, 等. 玉米行距配置对套作大豆生物量、根系伤流及养分的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(20): 4056-4064. (YANG F, LOU Y, LIU Q L, et al. Effect of maize row spacing on biomass, root bleeding sap and nutrient of soybean in relay strip intercropping systems [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(20): 4056-4064.)

[10] 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. Growth and interspecific competition of crops as affected by maize row spacing in soybean/maize intercropping system [J]. Soybean Science, 2019, 38(2): 229-235.)

[11] 赵建华, 孙建好, 陈亮之. 三种豆科作物与玉米间作对玉米生产力和种间竞争的影响[J]. 草业学报, 2020, 29(1): 86-94. (ZHAO J H, SUN J H, CHEN L Z. Productivity and interspecific competition of maize intercropped with faba bean, soybean or pea[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2020, 29(1): 86-94.)

[12] 姬忠明, 罗万字, 王小春. 带宽、玉米密度对鲜食玉米鲜食大豆带状间作群体物质积累及产量的影响[J]. 四川农业大学学报, 2023, 41(5): 792-800. (JI Z M, LUO W Y, WANG X C. Effects of bandwidth and maize density on matter accumulation and yield of fresh maize and soybean strip intercropping population [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2023, 41(5): 792-800.)

[13] 李志贤, 王建武, 杨文亭, 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 of sweet corn/soybean intercropping in Guangdong Province[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(3): 627-631.)

[14] 赵建华, 孙建好, 李伟绮. 玉米播期对大豆/玉米间作产量及种间竞争力的影响[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(11): 1634-1642. (ZHAO J H, SUN J H, LI W Q. Effect of maize sowing date on yield and interspecific competition in soybean/maize intercropping system [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2018, 26(11): 1634-1642.)

[15] 陈国栋, 万素梅, 冯福学, 等. 带型对小麦间作玉米产量和种间竞争力的影响[J]. 西北农业学报, 2017, 26(7): 990-997. (CHEN G D, WAN S M, FENG F X, et al. Effects of rows arrangement on yield and interspecific competition of intercropped wheat and maize [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2017, 26(7): 990-997.)

[16] 董飞, 闫秋艳, 李峰, 等. 播期和种植密度对旱地玉米生长发育及产量的影响[J]. 玉米科学, 2020, 28(2): 115-121. (DONG F, YAN Q Y, LI F, et al. Effects of sowing date and planting density on growth and yield of dry-land maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2020, 28(2): 115-121.)

[17] IFENKWE O P, ODURUKWE S O. Potato/maize intercropping in the Jos Plateau of Nigeria[J]. Field Crops Research, 1990, 25(2): 73-82.

[18] 高进, 蔡立旺, 施洋, 等. 江苏沿海地区播期与密度对早熟棉产量和品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(22): 62-66. (GAO J, CAI L W, SHI Y, et al. Effects of sowing date and density on yield and quality of early-maturing cotton in Jiangsu coastal areas[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2020, 48(22): 62-66.)

[19] 舒泽兵, 罗万字, 蒲甜, 等. 基于高产与高效条件下鲜食玉米鲜食大豆带状间作田间配置技术优化[J]. 作物学报, 2023, 49(4): 1140-1150. (SHU Z B, LUO W Y, PU T, et al. Optimization of field configuration technology of strip intercropping of fresh corn and fresh soybean based on high yield and high efficiency [J]. Acta Agronomica Sinica, 2023, 49(4): 1140-1150.)

[20] 瓮巧云, 黄新军, 许翰林, 等. 玉米/大豆间作模式对青贮玉米产量、品质及土壤营养、根际微生物的影响[J]. 核农学报, 2021, 35: 462-470. (WENG Q W, HUANG X J, XU H L, et al. Effects of corn soybean intercropping model on yield, quality, soil nutrition and rhizosphere microorganisms of silage corn[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2021, 35: 462-470.)

[21] 朱元刚, 高凤菊, 曹鹏鹏, 等. 种植密度对玉米-大豆间作群体产量和经济产值的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(6): 1751-1758. (ZHU Y G, GAO F J, CAO P P, et al. Effect of plant density on population yield and economic output value in maize-soybean intercropping [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(6): 1751-1758.)

[22] 陈圣伦. 玉/豆套作模式的群体配置技术及其对大豆的效应研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2008. (CHEN S L. Study on population allocation technology of jade/soybean intercropping model and its effect on soybean [D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2008.)

[23] IJOYAH M O, DZER D M. Yield performance of okra (*Abelmoschus esculentus* L. moench) and maize (*Zea mays* L.) as affected by time of planting maize in makurdi, Nigeria[J]. ISRN Agronomy, 2012, 20(6): 310-313.

[24] 吴开贤, 安瞳昕, 范志伟, 等. 玉米与马铃薯的间作优势和种间关系对氮投入的响应[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(4): 1006-1012. (WU K X, AN T X, FAN Z W, et al. Effects of nitrogen input on yields advantage and interaction of the maize and potato intercropping [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2012, 18(4): 1006-1012.)

[25] 杨燕竹, 杜青, 陈平, 等. 玉米大豆播期衔接对间作大豆干物质积累及产量的影响[J]. 华北农学报, 2017, 32(3): 96-102. (YANG Y Z, DU Q, CHEN P, et al. Effect of maize and soybean sowing date cohesion on soybean dry matter accumulation and yield in intercropping[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2017, 32(3): 96-102.)

[26] 林绍森, 唐永金. 玉米密度、行距和穴距对间作大豆光合速率的效应分析[J]. 大豆科学, 2007, 26(2): 149-153. (LIN S S, TANG Y J. Effects of density, row spacing and hole spacing of maize on intercropped soybean's photosynthetic rates[J]. Soybean Science, 2007, 26(2): 149-153.)

[27] 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. Effect of planting patterns on crop yield, nutrients uptake and interspecific competition in maize-soybean relay strip intercropping system [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2015, 23(6): 659-667.)