



鲁西北地区夏玉米/大豆间作适宜模式分析

田艺心,高凤菊,曹鹏鹏

(德州市农业科学研究院 杂粮研究所,山东 德州 253015)

摘要:为探索鲁西北地区最适宜的夏玉米/大豆间作模式,选用豫单 9953 玉米和齐黄 34 大豆为材料进行大田试验,以玉米单作和大豆单作模式作为对照,设置夏玉米/大豆 6 种行比间作模式(2:4、2:6、2:8、3:4、3:6、3:8),分析比较不同间作模式对夏玉米、大豆生物学性状、产量及综合经济效益的影响。结果表明:间作下玉米秃尖长、穗行数、行粒数、单穗粒重均显著优于单作玉米,具有一定正间作效应;大豆株高、底荚高度、分枝数、节数、有效荚数、单株粒数均比单作大豆低,具有一定负间作效应。2:4、3:4、3:6、2:6、3:8 和 2:8 间作模式下土地当量比分别为 1.32、1.28、1.21、1.18、1.14 和 1.11,增产效益明显,均具有间作优势,尤其 2:4 间作模式增产优势最大,相比玉米单作增收值达到 4 879.28 元·hm⁻²。综合考虑不同间作模式的经济效益及小型机械操作,2:4 间作模式较适宜在鲁西北地区推广应用。

关键词:玉米;大豆;间作模式;产量;经济效益

Analysis on Suitable Model of Summer Maize/Soybean Intercropping in Northwest Shandong Province

TIAN Yi-xin, GAO Feng-ju, CAO Peng-peng

(Multigrain Research Institute, Dezhou Academy of Agricultural Sciences, Dezhou 253015, China)

Abstract: In order to explore the most suitable intercropping mode of summer maize/soybean in northwest Shandong, Yudan 9953 and Qihuang 34 were selected as materials for field experiment monoculture maize and monoculture soybean were treated as controls, six intercropping patterns such as the ratios of 2:4, 2:6, 2:8, 3:4, 3:6 and 3:8 for maize intercropping soybean were applied to study their effects on biological characters, yield and comprehensive economic benefit of summer maize and soybean. The results showed that the length of bald tip, the number of panicle rows, the number of grain rows and the weight of grain per panicle were significantly better than that of single maize under intercropping, which had positive intercropping effect. The plant height, pod height, branching, node number, effective pod number and seed number per plant of soybean were weaker than single soybean, which had negative intercropping effect. The land equivalent ratio were 1.32, 1.28, 1.21, 1.18, 1.14 and 1.11 in the 2:4, 3:4, 3:6, 2:6, 3:8 and 2:8 intercropping patterns respectively, and the yield-increasing benefit were obvious, especially in the 2:4 intercropping pattern, the yield-increasing value was 4 879.28 yuan·ha⁻¹ compared with the monoculture maize. Considering the economic benefit and small mechanical operation of different intercropping modes, the 2:4 intercropping mode is more suitable for spreading and application in the northwest of Shandong.

Keywords: Maize; Soybean; Intercropping mode; Production; Economic benefit

近年来,中国大豆生产供需失衡严重,国产大豆和进口大豆比例严重失调,大豆产业形势严峻^[1],急需通过多种途径振兴大豆产业,缓解大豆供需矛盾。玉米/大豆间作是中国农业生产中重要的种植方式^[2-3],该种植方式可有效实现玉米/大豆空间生态位和营养生态位的互补,最大限度发挥光、热、土、肥、水、气等自然资源的生产潜力,提高单位面积土地生产力,形成产量优势,增加经济效益,是缓解当前大豆供需矛盾的最有效途径之一。为此,2015 年《关于加快转变农业发展方式的意见(国办发[2015]59)》文件中明确指出“大力推广轮作和间作套作,重点在黄淮海及西南地区推广玉米-大豆间作套作”,并于 2019 年进一步实施大豆振

兴计划,计划到 2020 年,力争全国大豆种植面积达到 933.33 万 hm²^[4-5]。因此,探索玉米/大豆间作种植,对振兴中国大豆产业、推动种植业结构调整、实现农业可持续发展均具有重要的现实意义。

间作模式在间作种植中起着重要的作用,对作物性状^[6]、产量^[7-8]及效益^[9]等均有重要影响。受光照、温度等气候条件的影响及玉米、大豆品种的不同,不同地区玉米/大豆适宜种植的间作模式存在一定差异。有研究表明,广东省红壤土地甜玉米-大豆间作行比为 2:4 时增产优势最大,是发挥玉米高产潜能、提高大豆产量和经济效益的合理模式^[10]。贵州高原地带间作中以玉米为主兼顾大豆条件下,结构形式以 1:2 较好,有利于产量和产值的

收稿日期:2020-02-19

基金项目:山东省农业良种工程(2019LZGC004);山东省农业重大应用技术创新项目(2017-粮经饲);中央财政农业生产发展基金资助项目(Z175070020002);山东省现代农业产业技术体系杂粮创新团队建设项目(SDAIT-5-01)。

第一作者简介:田艺心(1986-),女,博士,副研究员,主要从事大豆及杂粮杂豆栽培生理及育种研究。E-mail:tyxin213@sina.com。

提高^[11]。黄土塬区丘陵地带玉米大豆间作行比为2:4时,间作群体增产优势突出,是较适宜的间作模式^[12]。河南平原地带玉米/大豆1:3和2:3间作模式下,间作群体总籽粒产量比单作玉米约增加6.0%,比单作大豆约增加320%,增产优势明显^[13]。鲁西北地区地处黄淮海平原地带,是玉米和大豆主要供应产区,优质玉米和大豆品种资源丰富,但玉米/大豆间作缺乏有效的配套栽培措施,尤其间作模式的研究报道较少,推广应用缺乏可靠的试验依据。为此,本研究以玉米/大豆间作系统为研究对象,以产量和经济效益为研究指标,通过大田定位试验,分析比较玉米/大豆不同行比间作模式的系统产量及经济效益,以期筛选出高产高效益的间作模式,为制定最适合在鲁西北乃至山东省种植的玉米/大豆间作模式提供理论依据和推广基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试玉米品种豫单9953为豫1112和豫808杂交选育而成,由河南农业大学提供;供试大豆品种齐黄34为诱处四号和86573-16杂交选育而成,由山东省农业科学院作物研究所提供。

1.2 试验地概况

试验于2017-2018年在德州市陵城区鲁研试验基地进行。该区域位于黄河中下游平原,属于半湿润半干旱大陆性季风气候,四季分明,年日照时数2682~2898h,年太阳辐射总量 $503\times10^3\sim545\times10^3\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$,年均气温11~14℃,其中 $\geq0\text{℃}$ 积温4600~5100℃, $\geq10\text{℃}$ 积温4000~4700℃,年均降水量约550mm,无霜期约200d,适于玉米、大豆、小麦、棉花、蔬菜、牧草及薯类作物生长。该区域种植制度以冬小麦-夏玉米为主,约占耕地面积的80%。试验土壤为壤土,耕层有机质含量为 $12.11\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全氮 $0.77\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷 $10.28\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 $101.27\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,pH7.3。

1.3 试验设计

间作模式设为8种处理:①玉米大豆行比为2:4(即2行玉米间作4行大豆);②玉米大豆行比为2:6(即2行玉米间作6行大豆);③玉米大豆行比为2:8(即2行玉米间作8行大豆);④玉米大豆行比为3:4(即3行玉米间作4行大豆);⑤玉米大豆行比为3:6(即2行玉米间作6行大豆);⑥玉米大豆行比为3:8(即3行玉米间作8行大豆);⑦玉米单作种植(MM,maize monoculture);⑧大豆单作种植(SM,soybean monoculture)。单作处理以M表示(monoculture)。

所有处理中玉米株距均为15cm,大豆株距均为12cm,玉米和大豆行距及带间距均为50cm,每个处理3次重复。大豆和玉米于2017和2018年6月5日同时播种,田间管理措施均按高产试验田标准进行。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 生物学性状调查 成熟后各小区分别收取10株玉米和10株大豆进行常规考种。玉米考察穗位高、穗粗、穗长、秃尖长、穗行数、单穗重等农艺性状;大豆考察株高、底荚高度、分枝数、节数、有效荚数、无效荚数、单株粒数等主要农艺性状。

1.4.2 产量测定 对各处理分别收取玉米和大豆完整带进行测产,脱粒后自然晒干,称量小区籽粒产量然后折合成单位面积产量。

1.4.3 经济效益计算 土地当量比=(玉米间作时的产量/玉米单作时的产量)+(大豆间作时的产量/大豆单作时的产量);玉米经济效益($\text{元}\cdot\text{hm}^{-2}$)=玉米产量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) \times 玉米市场价格($\text{元}\cdot\text{kg}^{-1}$);大豆经济效益($\text{元}\cdot\text{hm}^{-2}$)=大豆产量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) \times 大豆市场价格($\text{元}\cdot\text{kg}^{-1}$);总经济效益($\text{元}\cdot\text{hm}^{-2}$)=玉米经济效益($\text{元}\cdot\text{hm}^{-2}$)+大豆经济效益($\text{元}\cdot\text{hm}^{-2}$)。其中,玉米市场价格以近两年来玉米价格均值1.8元 $\cdot\text{kg}^{-1}$ 计算,大豆市场价格以近两年来大豆价格均值4.0元 $\cdot\text{kg}^{-1}$ 计算。

1.5 数据分析

利用Excel 2007进行数据整理及初步统计分析,利用SPSS 19.0进行处理间方差分析及差异性比较分析。

2 结果与分析

2.1 不同间作模式对玉米生物学性状的影响

从表1可看出,玉米和大豆不同间作模式下,玉米生物学性状发生变化。2行玉米间作大豆模式之间(2:4、2:6和2:8),3行玉米间作大豆模式之间(3:4、3:6和3:8)穗长均无显著差异,但2行玉米间作模式穗长均显著高于3行玉米间作模式和玉米单作,3行玉米间作模式穗长与单作无显著差异。间作模式下玉米穗粗与单作无显著差异。间作模式之间秃尖长无显著差异,均显著低于单作处理。2:4、2:6、2:8、3:6和3:8穗行数之间无显著差异,均显著高于3:4模式和单作。2:4、2:6和2:8行粒数和单穗粒重高于3:6和3:8模式,显著高于3:4模式和单作。总体上间作玉米生物学性状表现要好于玉米单作,这与玉米大豆间作模式下玉米处于高秆优势作物有关。

表 1 间作模式对玉米豫单 9953 生物学性状影响
Table 1 Effects of intercropping on the biological characters of Yudan 9953

间作模式 Intercropping pattern	穗长 Ear length /cm	穗粗 Ear coarse /cm	秃尖长 Bald tip length /cm	穗行数 Ear rows	行粒数 Line grain number	单穗粒重 Grain weight per panicle/g
2:4	16.68 a	4.71 a	1.59 b	18.13 a	30.22 a	163.23 a
2:6	16.69 a	4.78 a	1.53 b	18.15 a	30.67 a	162.17 a
2:8	16.78 a	4.71 a	1.52 b	18.13 a	30.32 a	160.01 a
3:4	14.01 b	4.68 a	1.53 b	17.45 b	28.11 b	138.52 b
3:6	14.26 b	4.62 a	1.59 b	18.04 a	29.55 ab	150.03 ab
3:8	14.41 b	4.76 a	1.54 b	18.13 a	29.33 ab	154.22 ab
MM	12.68 b	4.63 a	1.76 a	17.33 b	25.22 c	122.69 c

同列数据后不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。
Different lowercase in the same column representes significant difference($P < 0.05$). The same below.

2.2 不同间作模式对大豆生物学性状的影响

由表 2 可知,间作大豆在不同间作模式下生物学性状同样发生变化。其中 3:4 模式株高最高,显著高于 2:6、2:8、3:8 模式和单作处理。3:4 底荚高度高于 2:4 模式,显著高于 2:6、3:6、3:8 模式,极显著高于 2:8 和单作处理。大豆分枝数在 2:4、2:6、2:8、3:8 和单作之间无显著差异,均显著高于 3:4 和 3:6 处理。3:4 模式节数高于 2:4 和 2:6 处理,显著

高于 2:8、3:6、3:8 和单作处理。有效荚数和无效荚数受间作模式影响较小,各模式之间,与单作之间均无显著差异。2:8、3:8 单作单株粒高于 2:6 和 3:6 模式,显著高于 2:4 和 3:4 模式。总体来说,大豆在间作模式中,受高秆作物玉米的影响,是弱势作物,其生物学性状相比单作处理要弱一些,其影响程度受间作模式影响较大。

表 2 间作模式对大豆齐黄 34 生物学性状的影响
Table 2 Effects of intercropping patterns on biological characters of Qihuang 34

间作模式 Intercropping pattern	株高 Plant height /cm	底荚高度 Bottom pod high/cm	分枝数 Branch number	节数 Node number	有效荚数 Effective pod number	无效荚数 Invalid pod number	单株粒数 Seed number per plant
2:4	83.32 ab	17.45 ab	1.6 a	16.90 ab	37.15 a	3.0 a	96.27 b
2:6	80.05 b	16.45 b	1.6 a	16.45 ab	37.43 a	3.3 a	97.45 ab
2:8	80.95 b	15.05 c	1.7 a	15.82 b	36.63 a	3.2 a	98.35 a
3:4	85.61 a	18.35 a	1.4 b	17.53 a	35.65 a	2.8 a	95.25 b
3:6	82.53 ab	16.65 b	1.4 b	15.65 b	36.97 a	3.2 a	97.05 ab
3:8	81.34 b	16.37 b	1.6 a	15.69 b	37.28 a	3.2 a	99.29 a
SM	80.55 b	15.75 c	1.9 a	15.73 b	37.15 a	3.2 a	98.43 a

2.3 不同间作模式对玉米、大豆产量的影响

从图 1 可以看出,玉米产量表现为 $MM > 3:4 > 2:4 > 3:6 > 2:6 > 3:8 > 2:8$;大豆产量表现为 $SM > 2:8 > 2:6 > 2:4 > 3:8 > 3:6 > 3:4$ 。且同一玉米间作行数(2:4、2:6、2:8 模式或 3:4、3:6、3:8 模式)情况下,随着间作大豆行数的增加,玉米单位面积种植密度逐渐减小,玉米产量逐渐显著降低,表现为 $2:4 > 2:6 > 2:8, 3:4 > 3:6 > 3:8$ 。同一大豆间作行数下,3 行玉米间作模式玉米产量均高于 2 行玉米间作产量,即玉米产量表现为 $3:4 > 2:4, 3:6 > 2:6, 3:8 >$

2:8。间作大豆产量表现与玉米相反,在同一玉米间作行数下,随着大豆行数的增加,大豆产量逐渐增加,表现为 $2:4 < 2:6 < 2:8, 3:4 < 3:6 < 3:8$ 。同一大豆间作行数下,与 2 行玉米间作模式下的大豆产量均显著高于与 3 行玉米间作模式下产量,即大豆产量表现为 $3:4 < 2:4, 3:6 < 2:6, 3:8 < 2:8$ 。2:4、3:4、3:6、2:6、3:8、2:8 间作模式下土地当量比分别为 1.32、1.28、1.21、1.18、1.14、1.11,土地当量比均大于 1,表明玉米大豆间作具有增产效益。

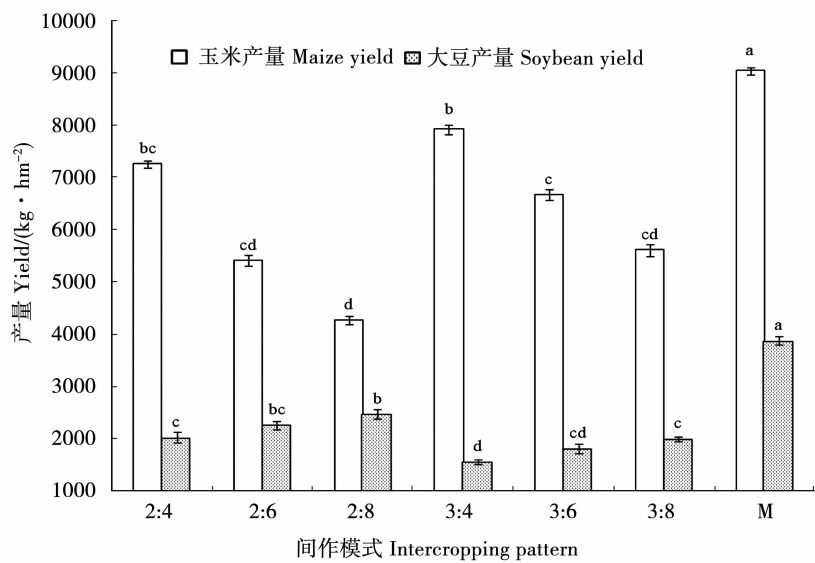


图 1 不同间作模式下玉米和大豆的产量

Fig. 1 Yield of maize and soybean under different intercropping patterns

2.4 不同间作模式对玉米及大豆经济效益的影响

以山东省 2017 – 2018 年玉米和大豆均价(分别为 4.0 和 1.8 元 · kg⁻¹) 计算不同间作模式下玉米和大豆经济效益,结果如图 2 所示:间作玉米和大豆对经济效益和产量的影响表现一致规律。玉米经济效益表现为 2:4 > 2:6 > 2:8、3:4 > 3:6 > 3:8, 且 3:4 > 2:4、3:6 > 2:6、3:8 > 2:8。大豆经济效益表现为 2:4 < 2:6 < 2:8、3:4 < 3:6 < 3:8, 且 3:4 < 2:4、3:6 < 2:6、

3:8 < 2:8。玉米和大豆总经济效益以 2:4 模式表现最高,依次为 2:4、3:4、3:6、2:6、3:8、2:8, 均比 MM 增收,增收值分别为 4 879. 28, 4 227. 72, 2 978. 8, 2 510. 39, 1 827. 48 和 1 281. 06 元 · kg⁻¹。通过对总经济效益显著分析可知,2:4 与 3:4 模式下总经济效益之间无显著差异,且均高于 2:6 和 3:6 总经济效益,显著高于 2:8 和 3:8 总经济效益,玉米大豆间作模式下总经济效益均显著高于玉米单作经济效益。

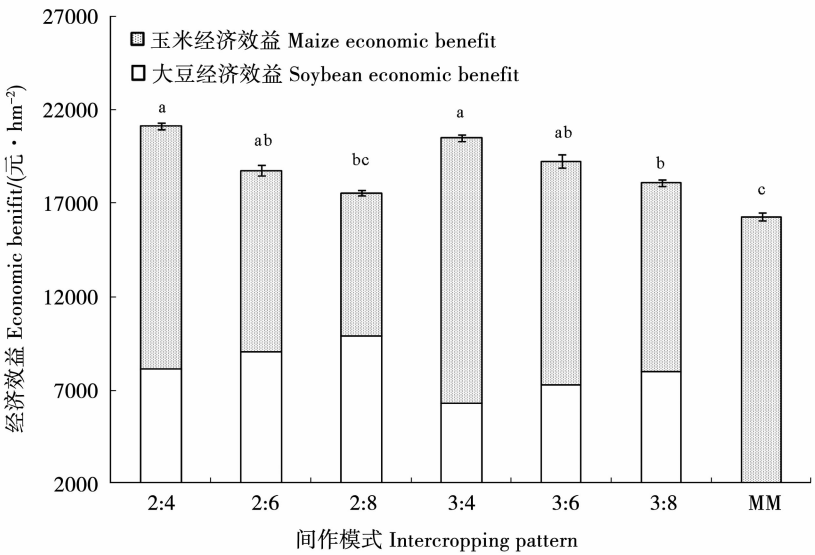


图 2 不同间作模式下玉米和大豆的经济效益

Fig. 2 Economic benefits of maize and soybean under different intercropping patterns

3 讨论

相比玉米和大豆单作,玉米大豆间作改变了玉米和大豆的空间生长环境,进而改变了光热、水分、养分等资源的吸收利用,对玉米和大豆农艺性状产生影响。卢秉生等^[14]研究发现,在玉米 – 大豆间作

系统中,玉米系统内环境有所改善,农艺性状变优,而大豆农艺性状指标下降。杨春杰等^[15]、周颖等^[16]研究也均发现,在玉米 – 大豆间作模式中,大豆植株较单作主茎伸长、变细,大豆单株有效荚数、有效粒数降低。本研究发现间作下玉米秃尖长、穗行数、行粒数、单穗粒重均显著优于单作玉米;大豆

株高、底荚高度、分枝数、节数、有效荚数、单株粒数均比单作大豆表现要弱。究其原因主要是玉米是高位作物,处于光竞争优势,对光能分层、立体高效利用,间作体系内玉米具有较强的正边际效应,而大豆处于低位作物,长期处于光照劣势,受负边际效应影响较大。李淑敏等^[17]、朱元刚等^[18]的田间试验结果同样表明,相对单作,玉米大豆间作促进了玉米的生长,而间作大豆的生长有所降低。因此,玉米大豆间作体系中,应选择株型紧凑、株型较矮的玉米品种,大豆应选用抗倒伏和耐荫型性好的品种。另外,本研究发现,2 行玉米间作模式下玉米穗长、行粒数及单穗粒重均显著优于 3 行玉米间作模式;8 行大豆间作模式下大豆单株粒数显著高于 6 行和 4 行大豆间作模式,表明间作模式对作物生长具有明显影响。

苏艳红等^[19-21]研究表明,间作体系中玉米和大豆产量要低于相应的单作系统,本研究也得出一致结果,这主要与间作情况下玉米和大豆单位面积种植密度降低有关。本研究中,同一玉米间作行数下,玉米产量表现为 2:4 > 2:6 > 2:8,3:4 > 3:6 > 3:8,大豆产量表现为 2:4 < 2:6 < 2:8,3:4 < 3:6 < 3:8;同一大豆间作行数下,玉米产量表现为 3:4 > 2:4,3:6 > 2:6,3:8 > 2:8,大豆产量表现为 3:4 < 2:4,3:6 < 2:6、3:8 < 2:8,这一方面与玉米和大豆单位面积种植密度有关,另一方面受间作模式农艺性状综合影响也较大。刘天学等^[22]提出,在玉米间套作系统中,两种作物同时增产的结果并不常见,往往一种增产,另一种减产;只有当土地当量比 > 1 时,间作系统才被认为具有增产效应。本研究中 2:4、3:4、3:6、2:6、3:8、2:8 间作模式下土地当量比为 1.11 ~ 1.32,表明玉米大豆间作系统中,虽然间作玉米、大豆产量较单作下降,但以籽粒产量计算的 land equivalent ratio > 1,故玉米大豆间作具有增产效益。

间作模式所形成的经济效益是评价间作模式优劣的重要指标。本研究结果表明玉米和大豆间作各自产量及经济效益较单作相比虽有所降低,但间作总体经济效益优势明显,其中玉米和大豆总经济效益以 2:4 模式表现最高,其它依次为 3:4、3:6、2:6、3:8 和 2:8,均比玉米单作增收,增收值为 4 879.28 ~ 1 281.06 元·kg⁻¹。因此,玉米大豆间作既能保证该地区主栽作物玉米产量及经济效益,又能增加大豆产量及经济效益,具有积极的产量和经济效益协调效应。

此外,发展适应机械化生产要求的玉米大豆间作模式,是农业现代化发展的迫切需要。本研究中 2:4 间作模式在鲁西北德州地区已经过机械化试

点^[3, 23],玉米大豆带状间作施肥播种机(2BMZJ-5 型)、4YZP-2C 型自走式玉米收获机、GY4DZ-2 型自走式大豆联合收割机等小型机械均可用于该模式机械化播种及收获,以满足农业机械化及集约化发展的需求。

4 结 论

不同间作模式对玉米、大豆农艺性状、籽粒产量和经济效益等影响不同,与单作相比,玉米和大豆间作能够更好地利用资源,具有间作优势。本研究条件下,玉米大豆 2:4 间作模式相比其它间作模式具有较高的籽粒产量和经济效益,其增产、增效显著,发展潜力很大。因此,在实际生产中为提高单位土地面积的籽粒产量和经济效益,同时适应机械化作业需求,可将玉米/大豆 2:4 间作模式作为鲁西北地区推广应用的种植方式。

参考文献

[1] 曹永强,王昌陵,王文斌,等. 国内外大豆产业、科技现状浅析与我国大豆产业发展思考[J]. 辽宁农业科学, 2019(6): 44-48. (Cao Y Q, Wang C L, Wang W B, et al. A brief analysis on the status of soybean industry, science and technology at home and abroad and the development of soybean industry in China[J]. Liaoning Agricultural Sciences, 2019(6): 44-48.)

[2] 王玉辉. 玉米大豆间作种植技术的应用[J]. 种子科技, 2018(4): 50-51. (Wang Y H. Application of maize and soybean intercropping technology[J]. Seed Science and Technology, 2018(4): 50-51.)

[3] 高凤菊,田艺心,曹鹏鹏. 玉米-大豆间作种植技术推广的现状与建议-以德州地区为例[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(2): 27-29. (Gao F J, Tian Y X, Cao P P. The present situation and suggestion of intercropping technique of maize and soybean - A case study of Dezhou area[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2020, 48(2): 27-29.)

[4] 黄泽群. 基于供给侧结构性改革的我国农产品供需及收益现状分析[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(9): 183-189. (Huang Z Q. Research on the trend of agricultural production in China based on supply sidereform[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2018, 39(9): 183-189.)

[5] 蔡中雨. 浅谈我国大豆产业现状与存在问题[J]. 现代农业, 2019(5): 107-108. (Cai Z Y. Status and existing problems of soybean industry in China[J]. Modern Agriculture, 2019(5): 107-108.)

[6] 刘明,卜伟召,杨文钰,等. 山东间作大豆产量与主要农艺性状关联分析[J]. 中国油料作物学报, 2018, 40(3): 344-351. (Liu M, Bo W Z, Yang W Y, et al. Correlation analysis of yield and agronomic traits of soybean for intercropping in Shandong[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2018, 40(3): 344-351.)

[7] 李立坤,左传宝,于福兰,等. 肥料减施下玉米-大豆间作对作物产量和昆虫群落组成及多样性的影响[J]. 植物保护学报,

2019,46(5):980-988. (Li L K, Zuo C B, Yu F L, et al. Effects of monoculture and intercropping of maize and soybean with reduced use of fertilizer on crop yields, insect community composition and diversity[J]. Journal of Plant Protection, 2019, 46(5):980-988.)

[8] 汤复跃,陈文杰,韦清源,等. 不同行比配置和玉米株型对玉米大豆间种产量及效益影响[J]. 大豆科学,2019,38(5):726-732. (Tang F Y, Chen W J, Wei Q Y, et al. Effects of row ratio and maize plant type on yield and benefit of maize soybean intercropping[J]. Soybean Science, 2019, 38(5):726-732.)

[9] 田艺心,曹鹏鹏,高凤菊,等. 减氮施肥对间作玉米-大豆生长性状及经济效益的影响[J]. 山东农业科学,2019,51(11):109-113. (Tian Y X, Cao P P, Gao F J. Effects of nitrogen reduction on growth traits and economic benefits of intercropped maize and soybean[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2019, 51(11):109-113.)

[10] 唐艺玲,杜清,赖建宁,等. 广东省甜玉米-大豆不同比例间作模式的系统产量分析[J]. 广东农业科学,2013,12(21):19-23. (Tang Y L, Du Q, Lai J N, et al. Analysis on yield and economic efficiency in different patterns of sweet corn-soybean intercropping systems in Guangdong province [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2013, 12(21):19-23.)

[11] 朱星陶,谭春燕,陈佳琴,等. 玉米-大豆间作行距对大豆生长及品质的影响[J]. 贵州农业科学,2016,44(6):22-25. (Zhu X T, Tan C Y, Chen J Q, et al. Effects on intercropping row spacing between maize and soybean on growth and quality of soybean[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2016, 44(6):22-25.)

[12] 王志梁,任媛媛,张岁岐. 黄土高原不同玉米-大豆间作模式对玉米生长发育的影响[J]. 水土保持通报,2014,34(6):321-326. (Wang Z L, Ren Y Y, Zhang S Q. Effect of maize-soybean intercropping modes on maize growth on loess plateau[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2014, 34(6):321-326.)

[13] 高阳,段爱旺,刘祖贵,等. 单作和间作对玉米和大豆群体辐射利用率及产量的影响[J]中国生态农业学报,2009,17(1):7-12. (Gao Y, Duan A W, Liu Z G, et al. Effect of monoculture and intercropping on radiation use efficiency and yield of maize and soybean[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2009, 17(1):7-12.)

[14] 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 on yield and economic benefit of maize and soybean intercropping system[J]. Journal of Liaoning Agricultural College,2006,8(4):4-6.)

[15] 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 corn and soybean interplanting on yield, agronomic traits and dry matter accumulation of soybean during seed filling period [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2015, 43(11):38-42.)

[16] 周颖,陈平,杜青,等. 不同间套作模式对大豆农艺性状及系统经济效益的影响[J]. 四川农业大学学报,2018,36(6):745-751. (Zhou Y, Chen P, Du Q, et al. The effects of agronomic traits of soybean and system economic benefits in the different intercropping patterns [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2018, 36(6):745-751.)

[17] 李淑敏,乔海涛,吕娇. 大豆-玉米间作下干物质累积动态变化与产量分析[J]. 天津农业科学,2011,17(4):38-41. (Li S M, Qiao H T, Lyu J. Dynamic changes of dry matter accumulation and yield analysis under the intercropping of soybean and maize [J]. Tianjin Agricultural Sciences, 17(4):38-41.)

[18] 朱元刚,高凤菊. 不同间作模式对鲁西北地区玉米-大豆群体光合物质生产特征的影响[J]. 核农学报, 2016,30(8):1646-1655. (Zhu Y G, Gao F J. Effects of different maize and soybean intercropping patterns on population characteristics of photosynthetic and matterproduction in northwest Shandong region[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2016, 30(8):1646-1655.)

[19] 苏艳红,黄国勤,刘秀英,等. 红壤旱地玉米大豆间作系统的增产增收效应及其机理研究[J]. 江西农业大学学报,2005,27(2):210-213. (Su Y H, Huang G Q, Liu X Y, et al. Studies on the mechanism of increasing yield and income of the intercropping system with maize and soybean in upland of red soil [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2005, 27(2):210-213.)

[20] 高阳,段爱旺. 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]. 中国农业学通报,2009,25(2):214-221. (Gao Y, Duan A W. Effects of intercropping patterns on dry matter accumulation and yield composition of maize and soybean [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(2):214-221.)

[21] 张仕新. 玉米与大豆间作方式产量与效益分析[J]. 农技服务, 2010,27(5):565. (Zhang S X. Yield and benefit analysis of maize and soybean intercropping [J]. Agricultural Extension Service, 2010, 27(5):565.)

[22] 刘天学,王振河,董朋飞,等. 玉米间作系统的生理生态效应研究进展[J]. 玉米科学,2007,15(5):114-116,124. (Liu T X, Wang Z H, Dong P F, et al. Advances in studies on physiological and ecological effects of maize intercropping systems [J]. Corn Science, 2007, 15(5):114-116,124.)

[23] 贺洪军,高凤菊,田艺心. 玉米-大豆高效复合种植模式调研报告[J]. 黑龙江农业科学,2018(6):112-114. (He H J, Gao F J, Tian Y X. Investigation report on high efficiency compound planting mode of maize and soybean[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences,2018(6):112-114.)