

# 玉米与大豆间作对干物质累积分配、产量相对竞争及土地当量比的影响

许波<sup>1</sup>,许海涛<sup>1</sup>,冯晓曦<sup>1</sup>,郭海斌<sup>1</sup>,张军刚<sup>1</sup>,王友华<sup>1</sup>,孔子明<sup>2</sup>

(1.驻马店市农业科学院,河南 驻马店 463000;2.驻马店市遂平县农业农村局,河南 遂平 463100)

**摘要:**为充分利用光热水肥土资源,间作是提高单位土地面积生产力、作物产量和经济效益的一种重要种植方式。设置了玉米与大豆间作行比 M4S6(4:6)、M2S4(2:4)、M4S4(4:4),玉米单作(MCK)与大豆单作(SCK)5种植模式,研究了玉米与大豆间作对干物质累积分配、产量相对竞争及土地当量比的影响。结果表明:不同生育时期间作处理玉米干物质累积均大于单作玉米,M4S6、M2S4大豆干物质累积高于单作大豆。间作处理营养干物质输出量均大于单作,玉米与大豆间作处理显著增加了营养干物质的输出量,呈现处理 M2S4>M4S6>M4S4>CK,玉米与大豆间作其输出率低于贡献率,间作玉米的输出率低于大豆,而贡献率显著高于大豆。玉米间作处理雌穗分配比重显著大于单作处理,处理 M4S6 显著提高雌穗干物质分配比重,结荚期间作处理大豆干物质向豆荚分配比重低于单作处理,成熟期豆荚干物质分配比重显著升高,处理 M4S6 豆荚干物质分配比重最大。处理 M2S4、M4S6、M4S4 玉米产量分别为单作玉米 MCK 的 70.81%、84.58%、66.33%,大豆产量分别为单作大豆 SCK 的 9.89%、17.97%、14.18%,处理 M4S4 产量相对竞争优势极强,处理 M4S6、M2S4 比 M4S4 竞争优势显著减弱,处理 M4S6、M2S4、M4S4 的产量土地当量比 LER 均大于 1,处理 M4S6 产量土地当量比最大,其次是 M2S4,处理 M4S6、M2S4 比 M4S4 产量土地当量比分别增加了 19.42%、12.62%。处理 M4S6、M2S4 经济效益比单作玉米 MCK 分别增加了 19.41%、15.75%,比单作大豆分别增加了 113.01%、106.47%。整体上,相较其它间作处理,M4S6 是最有益于挖掘玉米与大豆间作优势,提高土地生产力的间作模式。

**关键词:**玉米;大豆;间作;干物质累积分配;相对竞争力;土地当量比

中图分类号:S311 文献标识码:A 文章编号:0488-5368(2024)05-0027-10

## Effect of Maize and Soybean Intercropping on Dry Matter Accumulation, Yield Competition and Land Equivalent Ratio

XU Bo<sup>1</sup>, XU Haitao<sup>1</sup>, FENG Xiaoxi<sup>1</sup>, GUO Haibin<sup>1</sup>, ZHANG Jungang<sup>1</sup>,  
WANG Youhua<sup>1</sup>, KONG Ziming<sup>2</sup>

(1. Zhumadian Academy of Agricultural Sciences, Zhumadian, Henan 463000, China;

2. Suiping County Bureau of Agriculture and Rural Affairs, Suiping, Henan 463100, China)

**Abstract:** Intercropping is an important method for maximizing solar, thermal and land resources to enhance land productivity, crop yield and economic benefits. This study investigated five maize and soybean intercropping models (M4S6 (4:6), M2S4 (2:4), M4S4 (4:4), maize monocropping (MCK) and soybean monocropping (SCK)), to assess their effects on dry matter accumulation and distribution, yield competition, and land equivalent ratio (LER). The results showed that the intercropped maize ex-

收稿日期:2023-08-01 修回日期:2023-09-14

基金项目:河南省科技攻关项目(242102111168);河南省玉米产业技术体系驻马店综合试验站项目(HARS-22-02-Z6)。

第一作者简介:许波(1972-),男,研究员,主要从事玉米育种与栽培技术研究。

通信作者:许海涛。

hibited higher dry matter accumulation compared to monocropped maize across different growth stages, and the soybean dry matter accumulation was higher in M4S6 and M2S4 intercropping models than in monocropped soybeans. The nutrient dry matter remobilization of intercropping treatment was greater than that of monocropping. Maize and soybean intercropping significantly increased the nutrient dry matter remobilization, with treatment  $M2S4 > M4S6 > M4S4 > CK$ . However, the remobilization efficiency of maize and soybean intercropping treatment was lower than that of the conversion rate, the maize's remobilization efficiency was lower than that of soybean's, although its conversion rate was significantly higher. In intercropping treatments, a higher proportion of dry matter was distributed to maize ear compared to monoculture. Treatment M4S6 showed a particularly significant increase in ear dry matter distribution. Conversely, during pod-setting, the proportion of dry matter distribution to the pods of soybean was lower in intercropping than in monoculture, but significantly increased at maturity, especially in treatment M4S6, which exhibited the highest distribution proportion to pods. The yield of M2S4, M4S6 and M4S4 was 70.81%, 84.58% and 66.33% of monocropping maize (MCK), respectively. For soybean, the yield of M2S4, M4S6 and M4S4 was 9.89%, 17.97% and 14.18% of monocropping soybean (SCK), respectively. The yield relative competition of M4S4 was extremely competitive, while that of M4S6 and M2S4 was significantly lower compared to M4S4. The yield land equivalent ratio of M4S6, M2S4 and M4S4 was greater than 1, with M4S6 having the the highest LER, followed by M2S4. Compared with M4S4, M4S6, M2S4 increased the LER by 19.42% and 12.62%, respectively. The economic benefits increased by 19.41% and 15.75% compared with MCK, and by 113.01% and 106.47% compared to monocropping soybean. Overall, compared with other intercropping treatments, M4S6 is the most beneficial intercropping pattern for exploiting thing advantages of maize and soybean intercropping and improving land productivity.

**Key words:** Maize; Soybean; Intercropping; Dry matter accumulation and distribution; Relative competition; Land equivalent ratio

现今紧缺的土地资源成为我国农业生产需要面对的迫切问题,增加有限土地的生产效率是确保国家粮食安全的关键,间作模式作为我国传统种植的精华,对农业可持续发展,提高间作体系的生产力仍可做出重要贡献<sup>[1,2]</sup>。间作(Intercropping)指在同块土地同一生长发育期间,行数根据一定配比,以多行多带或一行一带方式种植两种或多种生长期近似的不同作物<sup>[3]</sup>。作物间作的共生环境,可增加土地的利用效率,提高阳光截获量,降低光能损失,增强抗逆特性,作物间能够形成互补作用,充分利用边行优势产生边行效应,同时作物间存在一定的竞争关系,争夺水分、养分和光照<sup>[4]</sup>。单一作物连续多年种植易导致土壤退化、土壤养分偏耗以及病虫害多发,而间作可以维持田间生态系统的物种多样化、确保生态系统相对稳定、增加资源的利用率<sup>[5]</sup>。已有大量研究表明禾本科与豆科进行间作,特别是玉米与大豆间作产生显著优势,可以获得高产,提高土地的利用率<sup>[2,3]</sup>,基于玉米大豆养分需求各异、植株高矮差异较大以及大豆本身的固氮作用,普通被认为玉米与大豆间作系统效率更

高,土地生产力更具较强的优势<sup>[6]</sup>,但玉米位于高生态位边行优势显著,光截获与利用能力高,而大豆处于低位,其光能截获处于劣势,光合能力低<sup>[7]</sup>。玉米株高显著高于大豆,玉米遮荫改变了低位大豆的光环境,使大豆植株形态与生长产生变化<sup>[8]</sup>。玉米大豆间作系统作物生育期间存在空间、时间上的差异,改变了光照、气温、水分、养分等间作系统的空间分布与利用,提高了玉米籽粒产量,大豆产量有不同程度的降低<sup>[9]</sup>。前人<sup>[10]</sup>曾研究也发现,植物群体可以利用自我调节的补偿效应提升适应环境的能力,尤其植株形态变化可发挥调节群体功能的作用。王雅梅等<sup>[11]</sup>研究表明株高单作玉米显著高于间作,而单作大豆显著低于间作,与间作相比,单作玉米植株生长发育基本相同,相互间形成一定遮荫,降低了玉米冠层的光照强度,促进植株继续向上生长以接受更多光照,而间作大豆和间玉米作用则相反。方萍<sup>[12]</sup>指出玉米与大豆间作条件下花前大豆叶干物质积累量比花后多,高砚亮等<sup>[13]</sup>也发现玉米与大豆间作条件下玉米叶与茎干物质积累的速率呈现先急速增加后缓慢提高的趋势,并且

有益于玉米植株内干物质累积向果穗内分配。王秀领等<sup>[14]</sup>报道玉米与大豆间作可提高玉米光能利用效率,叶片叶绿素含量、净光合速率和叶面积指数比单作均有增加;间作体系降低了大豆光能利用效率,叶片叶面积指数、叶绿素含量与净光合速率均有不同程度的下降。

众多研究者<sup>[2,7,8]</sup>已对间作复合系统中玉米大豆农艺性状、养分利用、光合特性、产量性状等方面做了大量研究,并获得较大进展,并对间作作物性状的变化规律提出合理解释,但因研究区域环境气候和管理方法的差异同一水平条件下难以互相进行对比总结间作作物的变化特征,特别是在河南砂姜黑土生态区玉米与大豆怎样进行种植行匹配才可以改善其干物质累积分配、相对竞争力和土地当量比等方面缺乏相关研究,特别是土地当量产量最高行配比最佳条件下玉米与大豆协同互利机制鲜有报道,且有关间作玉米大豆性状的变化及边际效应规律尚未见报道。针对目前玉米与大豆间作存在的问题,本文在“黄淮海、西南、西北玉米大豆带状复合种植”生产发展趋势的大背景下,以玉米大

豆间作不同种植行配比为研究对象,深入研究河南砂姜黑土生态区玉米大豆间作干物质累积、分配和产量的变化规律,明确玉米与大豆间作边际效应的强度与范围,探寻玉米大豆间作合适行比,为组配玉米大豆高产高效的间作形式提供理论参考和技术依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

2022年试验在驻马店市驿城区(驿城区水屯, 114°17' E, 33°01' N)进行,该区位于河南南部,典型大陆型半湿润气候类型,四季分明,热资源丰富,雨量充沛,光照充足,种植前茬为小麦,土壤类型为砂姜黑土,试验区平坦,肥力较均匀。玉米生育期内气温、降雨量和日照时数见图1,气象数据来源于驻马店市气象局。2022年6月至9月有效积温为2 088.7℃,降雨量403.0 mm,日照时数834.2 h,6~9月平均气温27.1℃,比历年高2.0℃,降雨量比历年低208.6 mm,日照时数比历年高119.7 h。

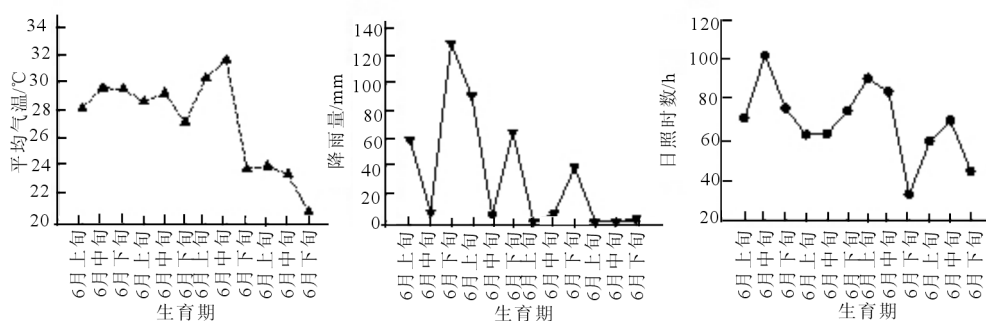


图1 玉米生长发育期间逐旬平均气温、降雨量、日照时数

### 1.2 试验材料

供试品种:玉米品种为中玉303(国审玉20200281),由中国农业科学院作物科学研究所选育,生育期104 d;大豆品种为郑豆365(豫审豆20210008),由河南省农业科学院经济作物研究所、河南生物育种中心有限公司选育,生育期106 d。

供试肥料:玉米肥料为中化牌复合肥(中化山东肥业有限公司生产),其中N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O含量分别是28%、10%、7%,养分总含量≥45%;大豆肥料为苏地牌复合肥(甘肃苏地肥业有限公司生产),其中N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O含量分别是17%、20%、8%,养分总含量≥45%。

### 1.3 试验设计

采用随机区组试验排列,3次重复,玉米与大

豆间作种植行比设置为M4S6(4行玉米6行大豆)、M2S4(2行玉米4行大豆)、M4S4(4行玉米4行大豆);MCK(单作玉米)、SCK(单作大豆),其中M4S6、M2S4、M4S4玉米分别占种植面积的41.3%、36.7%、50%,大豆分别占种植面积的58.7%、63.3%、50%。于2022年6月7日,播前喷灌造足底墒,确保一播全苗,人工开沟点播,参照当地玉米大豆机械播种行距要求,玉米大豆行长均为10 m,玉米行距40 cm,株距12 cm,大豆行距40 cm,株距10 cm,玉米与大豆间隔70 cm。旋耕后按试验方案规划小区,肥料每小区按玉米大豆进行条施,玉米施复合肥900 kg/hm<sup>2</sup>,大豆施复合肥450 kg/hm<sup>2</sup>。参照当地生产实际,试验各小区3次重复,按照自西向东依序排列,确保每小区玉米

大豆光照条件接近生产,试验田同当地大田生产。

#### 1.4 项目记载与方法

干物质累积的测定:玉米于拔节期、大喇叭口期、散粉期、灌浆期、成熟期;参考范元芳等<sup>[15]</sup>划分大豆生育期的方法,相对于玉米取样期,大豆相对于四枝期、分枝期、盛花期、鼓粒期、成熟期,每小区选择长势基本一致、无病虫害、具有完整叶片的正常植株,选取有代表性的植株 3 株,从地面截取,按不同器官组织分样,放入烘箱内 105℃,30 min 杀青,再 80℃ 烘干至恒重,计算单株干物质累积量。

营养器官茎、叶干物质输出量与输出率以及籽粒贡献率测定:采用殷文等<sup>[16]</sup>方法进行如下计算。

玉米营养干物质输出量(g/株)=  
吐丝期营养干物质重-成熟期营养干物质重 (1)

玉米营养干物质输出率(%)=  
 $\frac{\text{干物质输出量}}{\text{吐丝期营养干物质}} \times 100\%$  (2)

玉米籽粒贡献率(%)=  
 $\frac{\text{干物质输出量}}{\text{籽粒干重}} \times 100\%$  (3)

大豆营养干物质输出量(g/株)=  
盛花期营养物质重-成熟期干物质重 (4)

大豆营养干物质输出率(%)=  
 $\frac{\text{干物质输出量}}{\text{盛花期营养干物质}} \times 100\%$  (5)

大豆籽粒贡献率(%)=  
 $\frac{\text{干物质输出量}}{\text{籽粒干重}} \times 100\%$  (6)

干物质分配的测定:玉米分别于吐丝期、灌浆期、成熟期,大豆分别于结荚期、鼓粒期、成熟期,选取有代表性的植株 3 株,从地面截取,玉米按照茎、叶片、苞叶、雌穗四部分,大豆按照茎、叶、豆荚三部分,分别放入烘箱内 105℃,30min 杀青,再 80℃ 烘干至恒重,测定各器官干物质累积量计算分配比率。

产量的测定:参照文献<sup>[5]</sup>方法计算单位面积间作产量。

$Y_i = Y_{im} \times \mu_m + Y_{is} \times \mu_s$  (7)

式中  $Y_i$  表示间作产量,  $Y_{im}$  表示间作玉米产量,  $Y_{is}$  表示间作大豆产量,  $\mu_m$ 、 $\mu_s$  分别表示玉米、大豆间作种植面积的百分比。

产量相对竞争力的测定:参照文献<sup>[17]</sup>计算产量相对竞争力。玉米对大豆产量相对竞争力

( $A_{ms}$ )。

$$A_{ms} = \frac{Y_{im}}{Y_{sm} \times \mu_m} - \frac{Y_{is}}{Y_{ss} \times \mu_s} \quad (8)$$

式中,  $Y_{im}$  表示间作玉米产量,  $Y_{is}$  表示间作大豆产量,  $Y_{sm}$  表示单作玉米产量,  $Y_{ss}$  表示单作大豆产量,  $\mu_m$ 、 $\mu_s$  分别表示玉米、大豆间作种植面积的百分比。  $A_{ms} > 0$  时,玉米产量相对竞争力大于大豆,  $A_{ms} < 0$  时,玉米产量相对竞争力小于大豆。

土地当量比的测定,参照文献<sup>[7]</sup>计算土地当量比(LER)。

$$LER = \frac{Y_{im}}{Y_{sm}} + \frac{Y_{is}}{Y_{ss}} \quad (9)$$

式中 LER 表示间作系统土地当量比,  $Y_{im}$ 、 $Y_{sm}$  分别表示间作、单作玉米产量,  $Y_{is}$ 、 $Y_{ss}$  分别表示间作、单作大豆产量,  $LER > 1$  表示间作系统具有间作优势,土地利用率提高,存在产量优势;  $LER < 1$  间作系统呈现间作劣势,土地利用率降低,间作系统不存在产量优势。

参照林平等<sup>[18]</sup>计算经济效益。

经济效益=总产值-总成本

总投入主要包含种子、化肥、农药物资成本,整地、播种、除草、浇水、喷药、收获、晾晒等人工成本。按照 2022 年玉米、大豆市场价格,玉米 2.8 元/kg、大豆 7 元/kg 计,人工费用 70 元/人/d 计,计算不同处理作物产量(玉米产量+大豆产量)、总产值(玉米产值+大豆产值)、总成本(物资成本+用工成本)。

#### 1.5 数据处理与作图

利用 Sigmaplot 14.0 进行作图, IBM SPSS Statistics 19 对试验数据进行方差分析和处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 玉米与大豆间作对干物质累积的影响

由图 2 可知,玉米与大豆干物质累积随生育进程呈逐渐升高的变化趋势,间作不同模式对玉米与大豆干物质累积产生决定性影响。玉米干物质累积拔节期,处理 M2S4 与 M4S6、M4S4、MCK 间差异显著,但 M4S6、M4S4、MCK 处理间未达显著水平,大喇叭口期至灌浆期间,不同处理间差异显著,干物质累积表现为处理 M4S6 > M2S4 > M4S4 > MCK,成熟期表现处理 M4S6 > M4S4 > M2S4 > MCK, M4S6、M4S4、M2S4 处理干物质累积比对照 MCK 分别增加了 45.01%、25.63%、34.32%,不同生育时期间作处理玉米干物质累积均大于对照,表明间作处理显著促进了玉米干物质的累积;大豆

干物质累积四枝期、分枝期不同间作模式处理间差异不显著,可能由于前期玉米植株较低,对大豆的遮荫影响不显著所致,但间作处理大豆干物质累积均大于对照,盛花期始处理间有显著差异,盛花期干物质累积处理 M4S6、SCK 间无显著差异,但与 M2S4、M4S4 处理间差异显著,鼓粒期不同处理间差异达显著水平,而成熟期处理 M4S6、M2S4 间差

异未达显著水平,但与 M4S4、SCK 处理间差异显著,鼓粒期至成熟期干物质累积处理 M4S6 > M2S4 > SCK > M4S4,成熟期处理 M4S6、M2S4 干物质累积比对照 SCK 分别增加了 6.92%、6.22%,而处理 M4S4 比对照 SCK 降低了 10.37%,表明处理 M4S4 间作模式对盛花期后大豆干物质累积有显著的抑制作用。

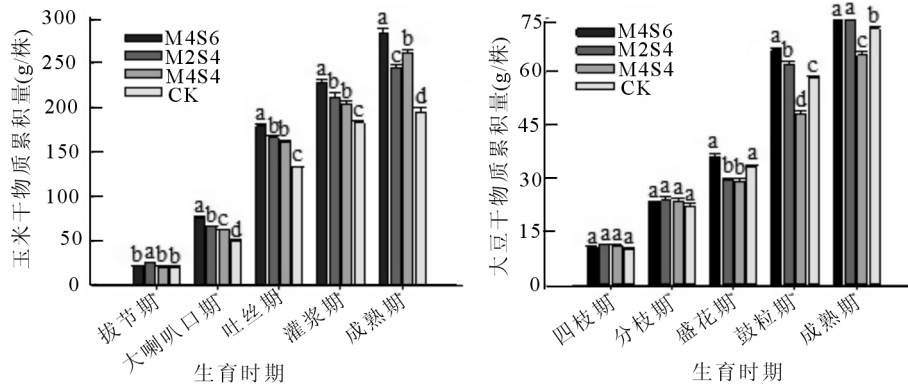


图 2 玉米与大豆间作对干物质累积的影响

注:同一生育时期不同小写字母表示差异达 5%显著水平。

## 2.2 玉米与大豆间作对营养干物质输出的影响

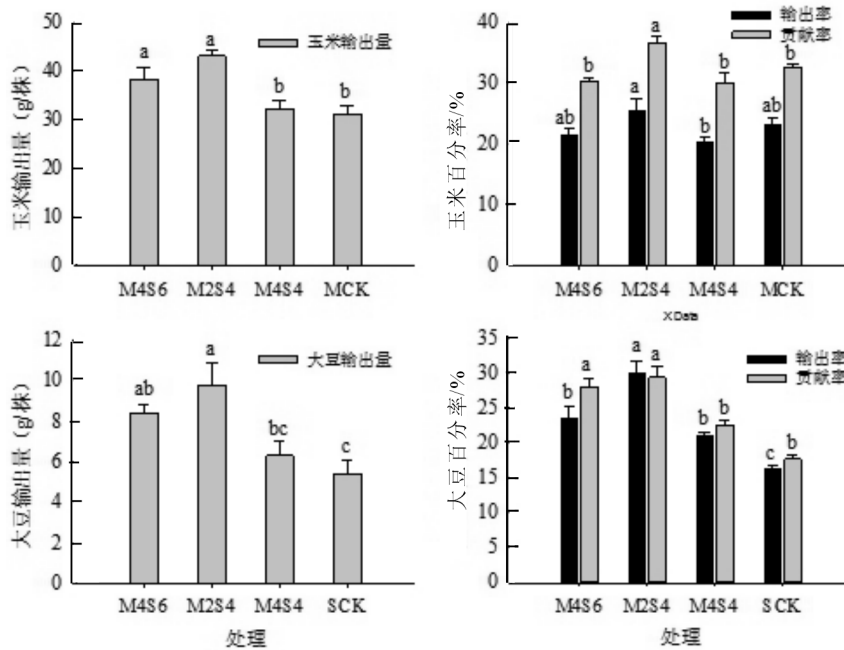


图 3 玉米与大豆间作对干物质输出的影响

注:不同处理间不同小写字母表示差异达 5%显著水平,下同。

由图 3 可知,玉米与大豆间作处理营养干物质输出量均大于单作,间作处理显著增加了营养干物质的输出量,均呈现处理 M2S4 > M4S6 > M4S4 > CK。玉米营养干物质输出量处理 M2S4、M4S6、M4S4 比对照 CK 分别增加了 23.40%、38.46%、

3.85%,玉米营养干物质输出量 M2S4、M4S6 处理间差异未达显著水平,但显著高于处理 M4S4、CK, M4S4、CK 处理间无显著差异,大豆营养干物质输出量 M2S4 处理最大,与 M4S4、CK 处理间有显著差异,但与处理 M4S6 间差异未达显著水平。

大豆营养物质输出量显著小于玉米,间作处理也显著提高了大豆营养干物质的输出量,M2S4 营养干物质输出量最高,其次是 M4S6,对照 CK 最低,大豆营养干物质输出量处理 M2S4、M4S6、M4S4 比对照 CK 分别提高了 55.56%、81.48%、16.67%,处理 M2S4、M4S6 与 CK 间差异显著,处理 M4S4 与 CK 间未达显著水平。整体上,玉米与大豆间作其输出率低于贡献率,间作玉米的输出率低于大豆,而贡献率显著高于大豆,玉米的输出率和贡献率变化一致,呈现出处理 M2S4 > CK > M4S6 > M4S4,输出率处理 M2S4 最高,与 M4S4 间差异显著,处理 M2S4、M4S6、M4S4 与对照 CK 间差异不显著,处理 M2S4 输出率比对照 CK 高 2.4%,处理 M4S6、M4S4 与对照 CK 分别低了 1.7%、2.9%,玉米贡献率处理 M2S4 与 M4S6、M4S4、CK 间差异显著,但 M4S6、M4S4、CK 间差异未达显著水平,处理 M2S4 贡献率比对照 CK 高 3.9%,处理 M4S6、M4S4 与对照 CK 分别低了 2.4%和 2.6%。大豆输出率和贡献率均呈现出处理 M2S4 > M4S6 > M4S4 > CK,处理 M2S4 与 M4S4、CK 间差异显著,处理 M2S4、M4S6 和 M4S4 比对照 CK 输出率分别增加了 7.2%、13.8%和 4.6%,贡献率分别增加了 10.4%、11.7%和 4.9%。表明处理 M2S4 间作条件下玉米、大豆营养干物质输出量最大,对籽粒贡献率最高。

### 2.3 玉米与大豆间作对干物质分配的影响

由图 4 可知,玉米与大豆不同间作条件下,玉米、大豆干物质在不同器官的分配随其生育中心的变化而产生相应变化,玉米茎、叶、苞叶干物质分配呈现出逐渐降低的变化趋势,雌穗干物质分配呈现出逐渐升高的变化趋势,而大豆茎、叶干物质分配随生育进程基本也呈现出逐渐降低的变化趋势,豆

荚则呈现出逐渐升高的变化趋势。玉米干物质累积吐丝期集中于茎、叶,茎、叶干物质分配比重大,雌穗分配比重较小,处理 M4S6、M2S4、M4S4、CK 雌穗干物质分配比分别为 15.06%、7.70%、10.84%和 11.06%,进入灌浆期干物质累积渐渐向雌穗转运,干物质分配比重雌穗 > 茎 > 叶 > 苞叶,处理 M4S6、M2S4、M4S4 和 CK 雌穗干物质分配比分别为 47.38%、48.12%、54.02%和 46.75%,间作处理雌穗分配比重均大于单作处理,成熟期玉米以生殖发育为主,干物质累积主要分配给雌穗,雌穗干物质分配比重上升,间作显著影响玉米雌穗干物质分配比重,处理 M4S6、M2S4、M4S4 和 CK 雌穗干物质分配比分别为 61.18%、56.33%、61.49%和 44.75%,间作处理雌穗分配比重显著大于单作处理,表明间作处理可显著提高雌穗干物质的分配比重,而降低茎、叶干物质的分配比重。大豆结荚期干物质分配特征为茎多、叶多、豆荚少,间作处理大豆干物质向豆荚分配比重低于单作处理,处理 M4S6、M2S4、M4S4 豆荚干物质分配比重比对照 CK 分别降低了 3.76%、4.47%、6.98%,鼓粒期干物质累积向豆荚逐渐转运,豆荚干物质分配比重逐渐提高,干物质分配比重豆荚 > 叶 > 茎,处理 M4S6、M2S4、M4S4 和 CK 豆荚干物质分配比重分别为 42.72%、28.65%、25.24%和 31.76%,间作处理有益于干物质向叶分配,不利于向茎转运,致使大豆贪长,成熟期豆荚干物质分配比重显著升高,处理 M4S6、M2S4、M4S4 和 CK 豆荚干物质分配比重分别为 77.42%、62.32%、58.35%和 66.09%,处理 M4S6 豆荚干物质分配比重最大,M4S4 最低,表明处理 M4S6 间作方式可显著提高干物质向豆荚的分配比重。

图 4 玉米与大豆间作对干物质分配的影响

### 2.4 玉米与大豆间作对产量及其相对竞争力的影响

由图 5 可知,玉米与大豆不同间作条件下玉米在产量贡献中占支配地位,在产量中所占比重显著高于大豆,间作处理产量均低于单作玉米产量而显著高于单作大豆产量,产量呈现出 MCK > M2S4 > M4S6 > M4S4 > SCK,处理 MCK、M2S4、M4S6、M4S4、SCK 间产量差异显著,间作处理中 M2S4 产量最高,其次是处理 M4S6,处理 M2S4、M4S6、M4S4 产量分别为处理单作玉米 MCK 产量的 70.81%、84.58%、66.33%。处理 M2S4、

M4S6、M4S4 间作产量中大豆产量分别占 9.89%、17.97%、14.18%,处理 M2S4、M4S6、M4S4 间作产量分别比单作大豆 MCK 分别增加了 182.19%、136.25%、121.26%。由图 6 可知,玉米与大豆不同间作条件下玉米对大豆的产量相对竞争力存在显著差异,处理 M4S4 相对竞争优势呈现极强趋势,处理 M4S6、M2S4 比 M4S4 相对竞争优势显著减弱,处理 M4S6、M2S4 比 M4S4 相对竞争力分别下降了 36.67%、43.33%,处理 M4S6、M2S4 间差异未达显著水平,整体上玉米产量相对竞争处于优势,而大豆相对竞争处于劣势。

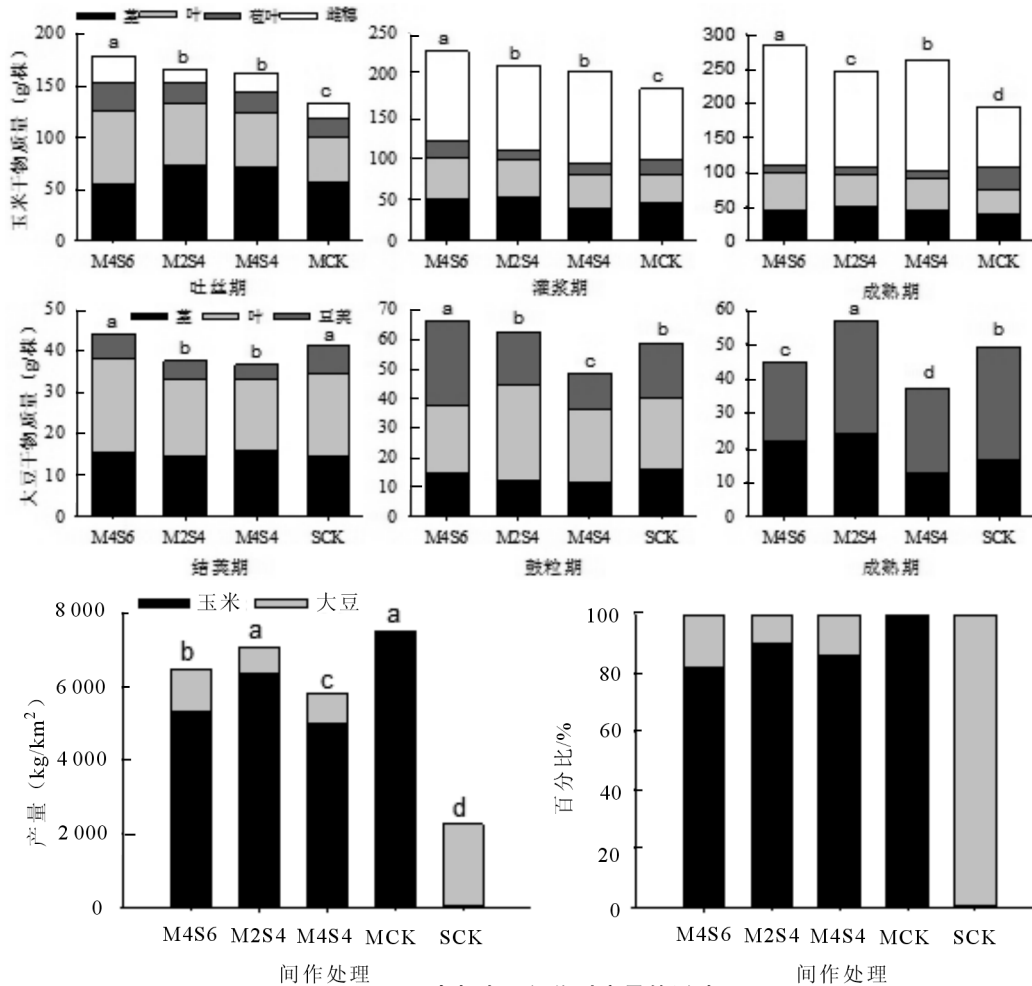


图5 玉米与大豆间作对产量的影响

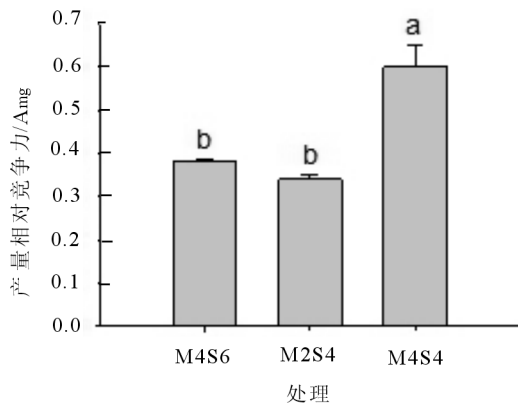


图6 玉米与大豆间作对产量相对竞争力  $A_{ms}$  的影响

### 2.5 玉米与大豆间作对产量土地当量比 LER 的影响

由图7可知,玉米与大豆间作处理 M4S6、M2S4、M4S4 的产量土地当量比 LER 均大于 1,具有显著的生产间作优势,土地生产力显著提升,处理 M4S6 产量土地当量比 LER 最大,其次是 M2S4,处理 M4S6、M2S4 间差异不显著,但均与 M4S4 间差异达显著水平,处理 M4S6、M2S4 产量土地当量比 LER 比 M4S4 分别增加了 19.42%、

12.62%。

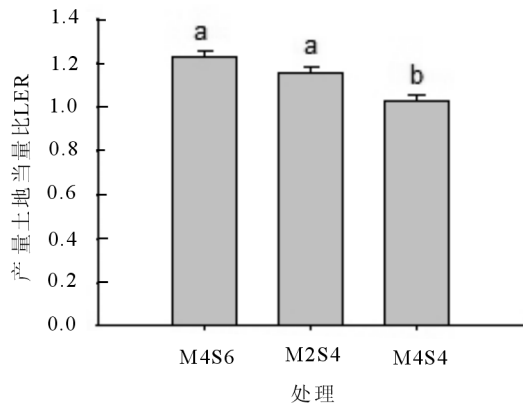


图7 玉米与大豆间作对产量土地当量比 LER 的影响

### 2.6 玉米与大豆间作对经济效益的影响

由表1、表2可知,玉米与大豆不同间作条件下,单作大豆总投入成本最低,单作玉米玉米总投入成本最高,处理 M4S6 经济效益最高,比 M2S4 高出 413 元/hm<sup>2</sup>,差异未达显著水平,处理 M4S6、M2S4 经济效益与 M4S4、MCK、SCK 差异显著,且 M4S4、MCK、SCK 处理差异也达显著水

平,处理 M4S4 经济效益最低。处理 M4S6、M2S4 经济效益比单作玉米 MCK 分别增加了 19.41%、15.75%,比单作大豆分别增加了 113.01%、106.

47%。表明玉米与大豆合理间作方式可显著增加单位面积经济效益,处理 M4S6 经济效益最高,M2S4 经济效益次之。

表 1 玉米与大豆间作对经济效益的影响

处理	产量(kg/hm <sup>2</sup> )		收入(元/hm <sup>2</sup> )		投入成本(元/hm <sup>2</sup> )			经济效益 (元/hm <sup>2</sup> )	
	玉米	大豆	玉米	大豆	总收入	物资成本	用工成本		总投入成本
M4S6	5 331	1 168	14 928	8 176	23 104	3 884	5 760	9 644	13 460a
M2S4	6 368	699	17 831	4 893	22 724	3 917	5 760	9 677	13 047a
M4S4	4 993	825	13 981	5 775	19 756	3 884	5 760	9 644	10 112c
MCK	7 529	0	21 081	0	21 081	4 049	5 760	9 809	11 272b
SCK	0	2 257	0	15 799	15 799	3 720	5 760	9 480	6 319d

表 2 玉米与大豆不同间作条件下物资和用工投入成本

(元/hm<sup>2</sup>)

处理	种子	肥料	农药	耕地	播种	除草	喷药	浇水	收获	晾晒
M4S6	1 286	2 148	450	1 500	450	200	1 350	1 000	1 050	210
M2S4	1 231	2 236	450	1 500	450	200	1 350	1 000	1 050	210
M4S4	1 286	2 148	450	1 500	450	200	1 350	1 000	1 050	210
MCK	1 012	2 587	450	1 500	450	200	1 350	1 000	1 050	210
SCK	1 560	1 710	450	1 500	450	200	1 350	1 000	1 050	210

### 3 结论与讨论

#### 3.1 玉米与大豆间作对干物质累积的影响

干物质累积可评价作物的生长发育特性,是形成产量的重要物质基础<sup>[19]</sup>,作物间作条件下其生育环境相对单作发生显著变化,干物质累积较单作也产生显著区别<sup>[11]</sup>。谢永利等<sup>[20]</sup>研究了玉米与大豆在间作方式中竞争和互补效应,显示玉米的遮荫效应导致大豆光合作用降低,生长发育中后期大豆干物质累积显著下降,高砚亮等<sup>[13]</sup>研究表明玉米/大豆间作条件下玉米茎、叶干物质累积速率呈先急剧后缓慢的变化趋势。本研究发现不同生育时期间作处理玉米干物质累积均大于对照,间作处理显著促进了玉米干物质的累积;大豆干物质累积四枝期、分枝期不同间作模式处理间差异不显著,盛花期始处理间有显著差异,鼓粒期不同处理间差异达显著水平,鼓粒期至成熟期干物质累积处理 M4S6>M2S4>SCK>M4S4,M4S4 间作模式对盛花期后大豆干物质累积有显著的抑制作用,这与张晓娜等<sup>[21]</sup>有关玉米与大豆间作研究中玉米处于优势竞争地位,间作干物质累积量大于单作,而间作大豆则呈现大于或小于单作大豆的结果基本一致。在玉米生产实践中玉米大豆适宜的田间种植配比,能够降低植株个体间的竞争,降低光照减损,促进干物质的生产能力。

#### 3.2 玉米与大豆间作对营养干物质输出的影响

曾有学者研究表明<sup>[3]</sup>叶茎等营养器官组织能

够向籽粒内转运其光合物质,营养器官组织累积干物质达最大值后,把自身光合作用生产的营养物质在不同生育阶段运转至籽粒内,叶茎光合物质的输出成为作物籽粒所需营养物质供给的主要来源。有文献报道<sup>[22,23]</sup>大豆叶茎营养器官的干物质输出约占籽粒重 36.8%,而玉米叶茎营养器官的干物质输出约占籽粒重 12.4%。本研究表明玉米与大豆间作处理营养干物质输出量均大于单作,间作处理显著增加了营养干物质的输出量,均呈现处理 M2S4>M4S6>M4S4>CK,大豆营养物质输出量显著小于玉米,间作处理也显著提高了大豆营养干物质的输出量,整体上,玉米与大豆间作其输出率低于贡献率,间作玉米的输出率低于大豆,而贡献率显著高于大豆,玉米的输出率和贡献率变化一致,呈现出处理 M2S4>CK>M4S6>M4S4,大豆输出率和贡献率均呈现出处理 M2S4>M4S6>M4S4>CK,这与赵德强等<sup>[5]</sup>结论相同,但与汪宏伟等<sup>[3]</sup>输出率和贡献率结果不尽一致,可能由于玉米大豆间作条件下光照条件<sup>[11]</sup>、籽粒发育<sup>[24]</sup>、土壤养分供给<sup>[2]</sup>、干物质输出路径<sup>[25]</sup>等因素的变化,致使玉米大豆茎叶营养干物质输出率与贡献率呈现多变特征。

#### 3.3 玉米与大豆间作对干物质分配的影响

籽粒建成显著受干物质积累量多少的影响,而营养器官累积干物质的过程中对作物籽粒内的分配直接决定了籽粒产量的建成,作物干物质积累量



及向籽粒内的分配与产量高低显著相关<sup>[19]</sup>。张晓娜等<sup>[21]</sup>研究认为玉米与大豆间作可增加干物质在玉米籽粒内的分配,而使大豆籽粒内干物质分配下降,但也有研究<sup>[26]</sup>表明间作能够促进干物质向大豆籽粒内分配。本研究显示玉米干物质累积吐丝期集中于茎、叶,茎、叶干物质分配比重大,雌穗分配比重较小,进入灌浆期干物质累积渐渐向雌穗转运,干物质分配比重雌穗>茎>叶>苞叶,成熟期玉米以生殖发育为主,干物质累积主要分配给雌穗,雌穗干物质分配比重上升,大豆结荚期干物质分配特征为茎多、叶多、豆荚少,间作处理大豆干物质向豆荚分配比重低于单作处理,鼓粒期干物质累积向豆荚逐渐转运,豆荚干物质分配比重逐渐提高,干物质分配比重豆荚>叶>茎,间作方式可显著提高成熟期干物质向豆荚的分配比重,这与前人<sup>[19]</sup>结果基本吻合,李东利<sup>[27]</sup>也获得类似结论。

### 3.4 玉米与大豆间作对产量及其相对竞争力的影响

间作条件下玉米与大豆高度形成相间分布,导致田间作物平面受光情况产生相应改变,为玉米大豆顺利进行光合作用创造了有利环境,为产量提高和改变产量的组成创建了有益条件<sup>[3]</sup>。间作种植相较于单作具有更强优势和适应性,通过共生期内间作作物在空间与时间适宜配合,可有效提高单位面积作物的产量<sup>[11]</sup>。本研究认为玉米与大豆不同间作条件下玉米在产量贡献中占支配地位,在产量中所占比重显著高于大豆,间作处理产量均低于单作玉米产量而显著高于单作大豆产量,产量呈现出MCK>M2S4>M4S6>M4S4>SCK,间作处理中M2S4产量最高,处理M4S4相对竞争优势呈现极强趋势,处理M4S6、M2S4比M4S4相对竞争优势显著减弱,整体上玉米产量相对竞争处于优势,而大豆相对竞争处于劣势,与前人<sup>[5, 28]</sup>结论一致。

### 3.5 玉米与大豆间作对产量土地当量比(LER)的影响

土地当量比(LER)是评价土地利用效率高低的指标,LER大于1表明间作系统具有一定的间作优势,土地利用效率增加,LER小于1呈现间作劣势,间作使土地利用效率下降<sup>[5]</sup>。本研究表明玉米与大豆间作处理M4S6、M2S4、M4S4的产量土地当量比LER均大于1,具有显著的生产间作优势,土地生产力显著提升,处理M4S6产量土地当量比LER最大,产量优势更强,其次是M2S4,处理M4S6、M2S4产量土地当量比(LER)比M4S4分别增加了19.42%、12.62%,有益于提升土地的生产能力,赵德强等<sup>[5]</sup>也印证了这一结

论,杨锦博<sup>[28]</sup>曾经报道,玉米大豆间土地当量比在1.10~1.21之间,也表明间作具有显著的产量优势,玉米作为竞争较强优势的作物,株高优势提高了玉米光截获量,作为竞争劣势的大豆作物由于根系具有的固氮特性仍可改善作物的供氮水平,可显著提高土地的生产能力,与本研究结果相符。

### 3.6 玉米与大豆间作对经济效益的影响

本研究发现间作系统的复合经济效益显著高于单作经济效益,单作大豆总投入成本最低,单作玉米总投入成本最高,处理M4S6经济效益最高,其次是M2S4,处理M4S4经济效益最低。处理M4S6和M2S4经济效益比单作玉米MCK分别增加了19.41%和15.75%,比单作大豆分别增加了113.01%、106.47%,玉米与大豆合理间作方式可显著增加单位面积经济效益,这与曹曼君<sup>[7]</sup>有关玉米一大豆间作处理复合经济效益大于单作的结果一致。在玉米实际生产中,大量学者基于玉米与大豆间作行比1:3、2:2、2:3、2:4多为间作窄行研究<sup>[11]</sup>,这些间作模式不适应常规大规模农业机械作业,而本研究4:6、2:4更适合机械化种植,降低成本,提高间作作物的经济效益。

### 参 考 文 献:

- [1] 王小春. 玉/豆和玉/薯模式下玉米养分吸收利用特性及氮肥调控机理研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2013.
- [2] 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.
- [3] 汪宏伟, 杜勇芝. 间作种植模式对玉米和大豆干物质积累与产量影响分析[J]. 种子科技, 2022, 40(7): 25-27.
- [4] 牟尧. 氮素供应水平对大豆/玉米间作植株可塑性和土壤理化性质的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2020.
- [5] 赵德强, 李彤, 侯玉婷, 等. 玉米大豆间作模式下干物质积累和产量的边际效应及其系统效益[J]. 中国农业科学, 2020, 53(10): 1971-1985.
- [6] 周贤玉, 唐艺玲, 王志国, 等. 减量施肥与间作模式对甜玉米AMF侵染和大豆结瘤及作物氮磷吸收的影响[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(8): 1139-1146.
- [7] 曹曼君. 不同间作比例对玉米大豆光合特性及产量的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2022.
- [8] 于晓波, 梁建秋, 何泽民, 等. 撒播量对大豆茎秆特性和产量的影响[J]. 草业学报, 2020, 29(9): 117-124.

- [9] 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.
- [10] 马泽南. 不同施氮量对玉米/大豆间作植株可塑性和产量构成因素的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2021.
- [11] 王雅梅. 玉米-大豆不同宽幅间作对大豆光合特性和水分利用效率的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2020.
- [12] 方萍. 玉-豆间作对菜用大豆干物质积累、产量及品质的影响[D]. 成都: 四川农业大学, 2016.
- [13] 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.
- [14] 王秀领, 闫旭东, 徐玉鹏, 等. 玉米-大豆间作复合体系光合特性研究[J]. 河北农业科学, 2012, 16(4): 33-35.
- [15] 范元芳, 刘沁林, 王锐, 等. 玉米-大豆带状间作对大豆生长、光合荧光特性及产量的影响[J]. 核农学报, 2017, 31(5): 972-978.
- [16] 殷文, 冯福学, 赵财, 等. 小麦秸秆还田方式对轮作玉米干物质累积分配及产量的影响[J]. 作物学报, 2016, 42(5): 751-757.
- [17] LI L, SUN J H, ZHANG F S, *et al.* Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping: I. Yield advantage and interspecific interactions on nutrients [J]. *Field Crops Research*, 2001, 71(2): 123-137.
- [18] 林平, 庞成民, 海涛, 等. 黄淮地区玉米与大豆不同间作模式的产量和效益比较[J]. 河北农业科学, 2020, 24(4): 14-18.
- [19] 袁嘉磊. 玉米大豆不同间作模式群体生理基础及适宜性研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2021.
- [20] 谢永利, 陈颖. 不同间作方式对玉米产量的影响[J]. 山地农业生物学报, 2004, 23(5): 381-385.
- [21] 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.
- [22] 唐江华, 苏丽丽, 罗家祥, 等. 不同耕作方式对夏大豆干物质积累及转运特性的影响[J]. 核农学报, 2015, 29(10): 2 026-2 032.
- [23] 隋鹏祥, 有德宝, 安俊朋, 等. 秸秆还田方式与施氮量对春玉米产量及干物质和氮素积累、转运的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(2): 316-324.
- [24] PLAUT Z, BUTOW B J, BLUMENTHAL C S, *et al.* Transport of dry matter into developing wheat kernels and its contribution to grain yield under post-anthesis water deficit and elevated temperature [J]. *Field Crops Research*, 2004, 86(23): 185-198.
- [25] YANG S H, QIU J X, XU Z S, *et al.* Effects of intercropping patterns on dry matter accumulation and transportation of maize (*Zea mays* L.) and soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] [J]. *Agricultural Science & Technology*, 2013, 14(11): 1 545-1 549.
- [26] 崔亮, 杨文钰, 黄妮, 等. 玉米-大豆带状套作下玉米株型对大豆干物质积累和产量形成的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(8): 2 414-2 420.
- [27] 李东利. 玉米/大豆间作体系氮素吸收及根际土壤养分和微生物特征的研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2022.
- [28] 杨锦博. 玉米大豆间作节氮模式对作物生长和农田温室气体排放的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2022.

#### (上接第 10 页)

- [7] 马杰. 郑州市绿道植物多样性研究[D]. 新乡: 河南科技学院, 2016.
- [8] 弋朋瑞, 闫丽君, 闫双喜. 郑州市区观花与观果植物的调查及观赏特性研究[J]. 河南农业大学学报, 2017, 51(5): 705-710.
- [9] 黄元贞, 刘海平, 马良, 等. 基于层次分析法评价 12 种虾脊兰属植物的观赏性和生长适应性[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2018, 47(6): 667-672.
- [10] 董钠, 李成儒, 陈蕾, 等. 酢浆草属植物观赏性评价体系的建立与应用[J]. 热带作物学报, 2020, 41(9): 1 770-1 778.
- [11] 陈勇, 罗树凯, 郑丹菁, 等. 羊蹄甲属植物引种适应性、观赏性综合评价[J]. 中国城市林业, 2021, 19(1): 42-47.
- [12] 杨彦伶, 李振芳, 马林江, 等. 利用层次-灰色关联法综合评价矮灌型紫薇优良单株[J]. 湖北农业科学, 2021, 60(11): 76-80.
- [13] 翁春雨, 李大飞, 李栋梁, 等. 紫薇种质资源在海南的适应性评价[J]. 中国热带农业, 2020(3): 52-59.
- [14] 顾帆, 郑绍宇, 沈鸿明, 等. 基于灰色关联度分析评价紫薇品种花部观赏性状[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(24): 93-100.
- [15] 黄瑞芳, 施士争, 王红玲, 等. 9 个紫薇品种在沭阳的引种栽培试验[J]. 江苏林业科技, 2017, 44(6): 23-26.
- [16] 王金凤, 柳新红, 陈卓梅. 紫薇属植物育种研究进展[J]. 园艺学报, 2013, 40(9): 1 795-1 804.