

大豆玉米复合种植模式中2种作物的互作关系

李耀宇¹, 李富忠¹, 张吴平¹, 邓子正², 屈腾腾¹, 赵其昕¹

(1. 山西农业大学 软件学院, 山西 太谷 030801; 2. 山西农业大学 资源环境学院, 山西 太谷 030801)

摘要: 定量化探索中国北方在平水年下, 不同大豆玉米复合种植模式的种间竞争与种间互惠关系, 以为旱作条件下选择合理的牧草种植模式提供理论依据。试验选用我国中南部春播区推荐的作物品种大豆铁丰31和玉米强盛199, 在旱作区域开展不同大豆玉米带状复合种植模式的大田栽培试验, 采用完全随机区组设计4种大豆玉米带状复合种植模式, 同时以大豆与玉米清种作为对照, 测定不同种植模式下的生物量、邻体效应指数(RII), 比较不同种植模式下大豆和玉米的互作关系。结果显示, 大豆RII为-0.28~0.13, 玉米RII为-0.28~0.12。在6行大豆3行玉米(S6M3)复合种植模式下, 大豆和玉米的生物量较清种对照分别增加了28.95%和27.79%, 且高于其他复合种植模式下作物生物量; 大豆和玉米的RII分别为0.13和0.12, 二者存在正相互作用。综上, 在与试验区年降雨量相差明显的旱作区域, 选择S6M3复合种植模式有望提高青贮饲料产量。

关键词: 大豆玉米复合种植; 生物量; 邻体效应指数; 旱作

中图分类号: S344.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-2481(2024)02-0016-05

Interaction between Two Crops in Soybean-Maize Intercropping Pattern

LI Yaoyu¹, LI Fuzhong¹, ZHANG Wuping¹, DENG Zizheng², QU Tengting¹, ZHAO Qixin¹

(1. College of Software, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China;

2. College of Resource and Environment, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

Abstract: Quantitative exploration of the interspecies competition and mutualistic relationships under different soybean-maize intercropping patterns in northern China during normal water years aims to provide a theoretical basis for selecting appropriate planting patterns under dry farming conditions. For this purpose, in this study, field experiments of different soybean-maize strip intercropping patterns were conducted in dry farming areas. The crop varieties recommended for the spring planting area in central and southern China, soybean Tiefeng 31 and maize Qiangsheng 199, were used in the experiments employing a completely randomized block design with four different soybean-maize strip intercropping patterns, while setting pure stands of soybean and maize as the controls. Biomass and relative interaction index(RII) were measured under different treatments to analyze and compare the interactions between soybean and maize under different planting patterns. The results showed that the RII of soybeans ranged from -0.28 to 0.13, and the RII of maize ranged from -0.28 to 0.12. Under the S6M3(6 rows of soybeans and 3 rows of maize) intercropping pattern, the biomass of soybeans and maize increased by 28.95% and 27.79% respectively compared to the pure stands, which was higher than the biomass of crops under other intercropping patterns; and the RII of soybeans and maize was 0.13 and 0.12, respectively, indicating positive interactions between soybeans and maize. In conclusion, choosing the S6M3 intercropping pattern in dry farming areas with annual rainfall similar to the experimental area was expected to increase the yield of silage fodder.

Key words: soybean-maize intercropping pattern; biomass; relative interaction index; dry farming

不同的复合种植模式会影响作物群体中的环境因子, 调节种间竞争关系, 改变作物对资源的利用效率^[1]。大豆玉米复合种植系统不仅能增加生物多样性, 还能利用不同种间互惠作用提升光、水、土壤养分等资源的利用率^[2], 实现不影响玉米产量的

同时增加大豆种植面积和产量的目标, 进一步保障国家粮食安全^[3]。山西土壤水资源贫乏, 季节性干旱缺水问题严重, 制约着粮食产量增加。截至2016年, 山西省大豆种植面积20万hm²左右, 玉米种植面积133.3万hm²左右, 占全省粮食作物播种面积的

收稿日期: 2023-03-14

基金项目: 山西省重点研发计划项目(202202140601021); 山西省基础研究计划项目(202103021224123); 国家重点研发计划项目(2021YFD1901101-5); 山西省科技重大专项计划“揭榜挂帅”项目(202101140601026)

作者简介: 李耀宇(1998-), 女, 山西浑源人, 在读硕士, 研究方向: 智慧农业。

通信作者: 李富忠(1969-), 男, 山西浑源人, 教授, 博士生导师, 主要从事智慧农业领域的技术研发与应用工作。

40%以上^[4]。基于近60 a的年降雨中,山西旱作区域枯水年和平水年的占比累计超过90%^[5]。而在作物生长过程中,需要获取光、水分以及各种微量元素等,在资源总量一定的情况下,作物会提升适应性去竞争资源^[6]。那么如何保证在大豆玉米复合种植系统中,2种作物成互惠关系成为旱作农业亟需解决的问题。

在旱作农业面临的挑战下,作物复合种植模式引起了国内外学者的广泛关注^[7-9]。杨文钰等^[8]针对传统玉米-大豆间套复合种植中遇到的高低位作物不能协调高产与绿色稳产和难以机械化的问题,通过传承与创新,形成了一套新的玉米-大豆带状复合种植技术,在保证玉米产量与净作玉米相当的同时还能多收一季豆,显著提高了作物产量和土地利用效率,并实现了种植过程的全程机械化。楚启鹏等^[10]对种植密度与植物物种间相互作用的关系进行了研究,发现作物种植密度的增加不仅会显著改变植物的最大生长速率和生长周期,而且会显著增加净互相作用效应(竞争)强度。赵建华等^[11]研究了大豆/玉米间作体系中不同玉米行距对产量和竞争力的影响,发现45 cm为最佳玉米行距,平衡了产量优势和种间竞争。HUANG等^[12]对小麦-西瓜-玉米带状种植模式中的种间相互作用进行了研究,发现作物产量显著受地上部分竞争的影响,而非根系间的互作。SADEGHPOUR等^[13]研究了干旱环境对牧草产量的影响,发现了谷物与豆科植物的间作不仅可以有效增加牧草的产量,而且可以显著提高农业系统中的蛋白质产量。牟兰等^[14]在香格里拉高寒区研究了燕麦与光叶紫花苕间作模式对产量及品质

的影响,发现10:5播种量比为最佳种植模式,可显著提高产量、改善青贮品质,降低病虫害和杂草。张晓艳等^[15]研究了不同熟期大豆与青贮玉米复合种植对饲草产量及蛋白含量的影响,发现复合种植可提高蛋白产量,优化饲料品质。这些研究表明合理的间作模式可以有效的提高农业生态系统的生产力。然而,山西土壤水资源贫乏,大豆玉米复合种植模式下作物很容易受到水分胁迫,对种间互作关系和生物量的研究较少。因此,量化探索中国北方在平水年下,不同大豆玉米复合种植模式的种间竞争与种间互惠关系,得出旱作条件下合理的牧草种植模式,对山西省发展有机旱作农业具有重要意义。本研究选择我国中南部春播区推荐的作物品种大豆铁丰31和玉米强盛199为材料,开展4种不同的大豆玉米带状复合种植模式,同时设置大豆与玉米清种作为对照,量化探究北方平水年不同大豆玉米复合种植模式中种间竞争与种间互惠关系,为山西省大豆玉米间作种植模式的选择提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

本试验于2022年5—10月在晋中国家农业高新区(37°25'N, 112°36'E)进行。该区地处晋中盆地东北部,属于暖温带大陆性气候,平均降水量约450 mm,平均气温约10℃,平均无霜期160~190 d,日照充足,水分蒸发量大。2022年试验区降雨年型属于平水年型^[14]。大豆和玉米全生育周期降雨量为329.27 mm。土壤为褐土,土壤基础肥力特征参见表1。

表1 试验地的基础肥力特征
Tab.1 The basic fertility characteristics of soil in experimental field

深度/cm Depth	碱解氮/(mg/kg) Alkaline hydrolysable nitrogen	全氮/(g/kg) Total nitrogen	全磷/(g/kg) Total phosphorous	有机质/(g/kg) Organic matter
0~20	43.30	1.02	1.13	15.65
20~40	22.10	0.61	0.83	8.19

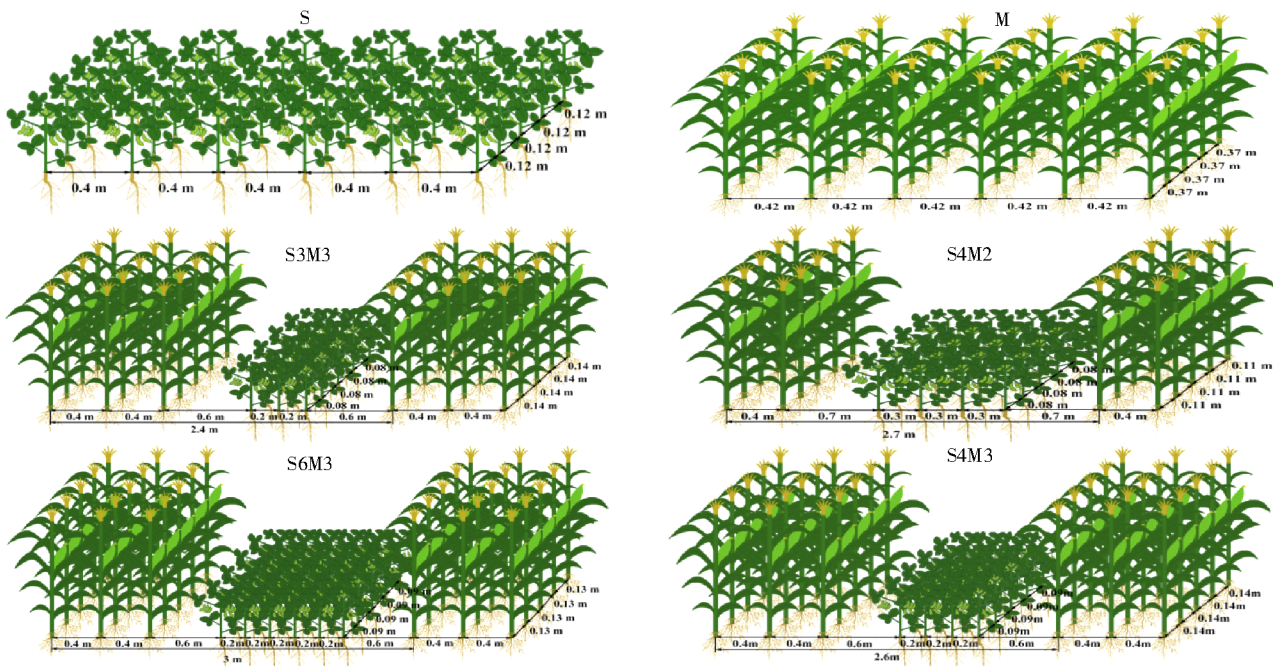
1.2 试验材料

供试玉米品种为强盛199、大豆品种为铁丰31,均来源于山西省农业大学经济作物研究所。

1.3 试验设计

试验设计4种不同的大豆玉米复合种植模式,同时设置大豆与玉米清种2种对照,共计6个处理(图1)。采用完全随机分组设计,每个处理3次重复,小区面积为85 m²(10 m×8.5 m)。2022年5月22日将大豆清种、玉米清种以及大豆玉米间作体系

布设于田间,每个处理中大豆玉米的种植密度根据试验处理要求不同而不同(表2)。播种前,将尿素、磷酸二铵和硫酸钾作为底肥一次施入,玉米施纯氮120 kg/hm²、P₂O₅ 100 kg/hm²、K₂O 110 kg/hm²,大豆施纯氮60 kg/hm²、P₂O₅ 62 kg/hm²、K₂O 53 kg/hm²。采用滴灌方式进行补灌,出苗阶段滴灌1次,滴灌量为24 mm。生育期内按常规进行田间管理。10月15日人工收获玉米和大豆,秸秆进行机械还田处理。



M、S 分别表示玉米清种、大豆清种；S3M3、S4M2、S6M3、S4M3 表示不同的大豆玉米间作模式，且大豆玉米行数比分别为 3:3、4:2、6:3、4:3。下同 M 和 S indicated maize monocropping and soybean monocropping, respectively; S3M3, S4M2, S6M3, and S4M3 indicated different soybean—maize intercropping patterns, and the row number ratio of soybean and maize was 3:3, 4:2, 6:3, and 4:3, respectively. Same below.

图 1 大豆玉米复合种植模式示意
Fig.1 Schematic diagram of soybean-maize intercropping pattern

表 2 大豆玉米复合系统种植密度
Tab.2 Planting density of soybean-maize intercropping system

株/小区

种植模式 Planting pattern	大豆清种 S	玉米清种 M	S3M3		S4M2		S6M3		S4M3	
			大豆 Soy-bean	玉米 Maize	大豆 Soy-bean	玉米 Maize	大豆 Soy-bean	玉米 Maize	大豆 Soy-bean	玉米 Maize
密度 Density	1 846	575	1 272	720	1 696	616	1 692	520	1 504	549

1.4 测定项目及方法

1.4.1 作物地上部生物量和各器官的分配比例 在大豆与玉米收获前(2022年10月10日),每个处理随机选取长势均匀的大豆与玉米植株各9株,分别测量其各器官的生物量干质量,并取平均值。其中大豆测量豆荚、叶柄、叶、茎,玉米测量穗、叶、茎。将分割的各器官放入烘箱中,先于105℃下杀青30min,再于80℃下烘干至恒量测定干物质质量。

1.4.2 邻体效应指数的计算 采用邻体效应指数(Relative Interaction Index, RII)^[15]定量表征复合系统中大豆和玉米生长竞争与互惠关系^[16]。当RII为正值时,表示植物间为正相互作用;为负值时,表示植物间为负相互作用。

$$RII = \frac{B_w - B_o}{B_w + B_o} \quad (1)$$

式中, B_w 为植株在复合种植下的生物量(g); B_o 为植株在单种下的生物量(g)。

1.5 数据分析

本研究使用 Microsoft Excel 2021 软件处理数

据,采用 SPSS 22.0 软件分析数据和显著性检验,并用 Origin Pro 2022 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 不同处理下作物生物量累积与分配的比较

不同宽幅间作种植体系影响作物各器官生物量分配。清种下,大豆、玉米单株总生物量分别为40.88、630.26g。在不同的间作体系中,S4M2、S6M3大豆总生物量较大豆清种分别增加了9.49%、28.95%,S3M3、S4M3大豆总生物量较大豆清种分别减少了43.63%、3.36%。S6M3、S4M3玉米总生物量较大豆清种分别增加了27.79%、18.00%,S3M3、S4M2玉米总生物量较大豆清种分别减少了26.14%、43.29%。间作种植模式的大豆、玉米,较大豆清种、玉米清种,仅S6M3大豆、玉米总生物量同步增长。

不同处理下大豆生物量的比较见图2。大豆清种模式下豆荚、叶柄、叶、茎生物量分别为14.57、5.56、8.14、12.62g。在豆荚的对比中,较大豆清

种,仅S6M3豆荚生物量显著增加了20.59% ($P < 0.05$),其余间作豆荚生物量显著减少了22.03%~39.53% ($P < 0.05$)。在叶柄的对比中,相较于大豆清种,仅S6M3叶柄生物量显著增加了85.96% ($P < 0.05$),其他模式下叶柄生物量变化不明显,差异不显著。在叶的对比中,相较于大豆清种,间作模式下叶生物量变化均未达到显著水平。在茎的对比中,相较于大豆清种,S3M3茎生物量显著减少了42.69%,其余模式下差异不显著。

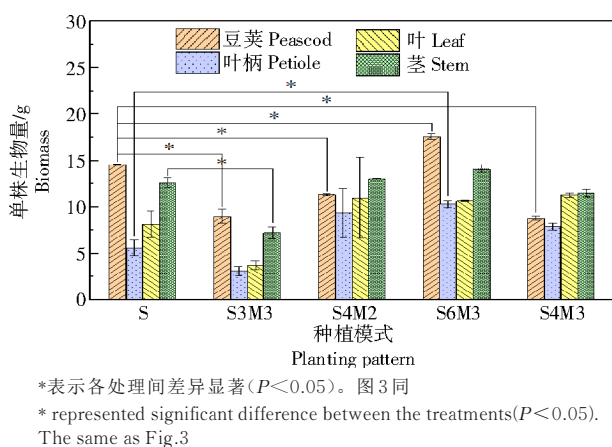


图2 不同种植模式下大豆生物量的比较
Fig.2 Comparison of biomass of soybean under different patterns

不同处理下玉米生物量的比较见图3。玉米清种模式下穗、叶、茎单株生物量分别为331.91、58.45、239.90 g。在穗的对比中,相较于玉米清种,S3M3、S4M2穗的生物量分别减少了9.32%、36.72%,S6M3、S4M3穗的生物量分别增加了28.79%、10.93%。在叶的对比中,相较于玉米清种,S3M3、S4M2、S6M3叶的生物量减少了0.29%~49.05%。S4M3叶的生物量增加了168.21%。在茎的对比中,相较于玉米清种,仅S6M3茎的生物量增加了33.25%,其余间作生物量降低了8.83%~51.20%。间作模式下,各器官生物量相较于清种差异均未达到显著水平。

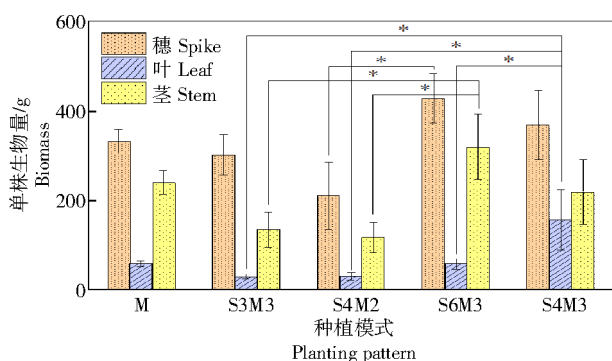


图3 不同种植模式下玉米生物量的比较
Fig.3 Comparison of biomass of maize under different patterns

2.2 不同处理下作物生长互作效应比较

邻体效应指数RII量化间作种植模式种间竞争强度的情况。从图4可以看出,间作S3M3、S4M2、S6M3、S4M3模式下,大豆、玉米RII分别为(-0.28; -0.15)、(0.05; -0.28)、(0.13; 0.12)、(-0.02; 0.08)。在间作S3M3模式下,大豆和玉米种间存在负相互作用,不利于大豆和玉米生长;间作S4M2下,对大豆生长为正相互作用,而对玉米生长为负相互作用;间作S4M3与间作S4M2相反,对玉米生长为正相互作用,而对大豆生长为负相互作用;间作S6M3(大豆行距20 cm,玉米行距40 cm,大豆玉米间距60 cm)情况下,大豆、玉米存在正相互作用,此种间作种植模式能够同时促进大豆、玉米的生长,加强大豆、玉米的种间互惠。

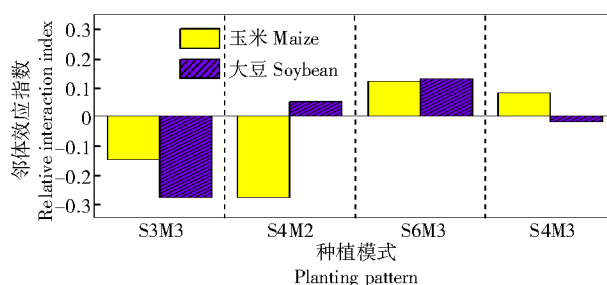


图4 不同种植模式种间竞争强度
Fig.4 Interspecies competition intensity of different planting patterns

3 结论与讨论

大豆玉米复合种植实质上表现为禾本科与豆科之间互相竞争和互惠资源问题^[17],比如阳光、地下水资源等。王雅梅等^[18]研究指出,各间作处理大豆植株地上部生物量随着大豆播幅的增加而增大。这与本试验研究大豆地上部分生物量S6M3>S4M2>S4M3>S3M3的结果一致。但S4M2、S6M3大豆总生物量相较于大豆清种分别增加了9.49%、28.95%,这与王雅梅等^[18]研究发现的间作下大豆地上生物量均低于单作的结果不一致。可能的原因是大豆从玉米获取了一定的营养而产生变化。S6M3、S4M3玉米总生物量相较于清种分别增加了27.79%、18.00%,这与黄营等^[19]研究结果一致。在S6M3中大豆和玉米总生物量相较于清种分别增加了28.95%和27.79%,这与卢俊吉^[20]研究指出的大豆玉米带状间作种植模式可以获得高产饲料的结果一致。

大豆RII依次为:S3M3<S4M3<0<S4M2<S6M3;玉米RII依次为:S4M2<S3M3<0<S4M3<S6M3;复合种植模式下作物竞争强度各不相同,间作S6M3下,大豆、玉米存在正相互作用,能够同时

促进大豆、玉米的生长。在大豆玉米复合系统下,玉米作为 C4 作物,大豆作为 C3 作物,其对水的需求存在区别^[21]。在有机旱作条件下,邻体效应指数 RII 受水分胁迫影响较大,因土壤水分严重短缺,作物对水资源竞争相对激烈。研究区域近 60 a 的年降雨中枯水年和平水年的占比累计超过 90%^[5]。综上,在与试验区年降雨量相差不明显的旱作区域,选择 S6M3 复合种植模式有望提高青贮饲料的产量。

参考文献:

- [1] 刘思彤,张东娟,许锦,等. 间作对高粱光合特征及物质生产的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2023,43(6):52-61. LIU S T, ZHANG D J, XU J, et al. Effects of intercropping on the photosynthetic characteristics and biomass production of sorghum[J]. Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition), 2023, 43(6):52-61.
- [2] FAN Z L, CHAI Q, YU A Z, et al. Water and radiation use in maize-pea intercropping is enhanced with increased plant density [J]. Agronomy Journal, 2020, 112(1):257-273.
- [3] 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(4):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.
- [4] 刘小荣,马俊奎,刘学义. 大豆玉米“扩行增密”带状复种技术在山西应用初探[J]. 大豆科学, 2017, 36(5):720-726. LIU X R, MA J K, LIU X Y. Application of 'entend row and higher density' strip compound planting system of soybean-maize in Shanxi Province[J]. Soybean Science, 2017, 36(5):720-726.
- [5] 吴晋波,张吴平,王国芳,等. 水分条件影响下玉米生产过程的生命周期评价[J]. 生态与农村环境学报, 2019, 35(11):1396-1403. WU J B, ZHANG W P, WANG G F, et al. Life cycle assessment of the maize production under different water conditions[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2019, 35(11):1396-1403.
- [6] 曹宇媛,纪晓玲,刘琴,等. 谷子大豆间作模式对作物干物质积累分配及产量的影响[J]. 山西农业科学, 2024, 52(1):61-67. CAO Y Y, JI X L, LIU Q, et al. Effects of Millet and Soybean Intercropping Patterns on Dry Matter Accumulation and Distribution, and Yield of Crops[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2024, 52(1):61-67.
- [7] REN Y Y, WANG X L, ZHANG S Q, et al. Influence of spatial arrangement in maize-soybean intercropping on root growth and water use efficiency[J]. Plant and Soil, 2017, 415(1):131-144.
- [8] 杨文钰,杨峰. 发展玉豆带状复合种植,保障国家粮食安全[J]. 中国农业科学, 2019, 52(21):3748-3750. YANG W Y, YANG F. Developing maize-soybean strip intercropping for demand security of national food[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(21):3748-3750.
- [9] YIN W, CHAI Q, GUO Y, et al. Reducing carbon emissions and enhancing crop productivity through strip intercropping with improved agricultural practices in an arid area[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 166:197-208.
- [10] 楚启鹏. 不同种植密度与物种组合下植物相互作用的研究[D]. 兰州:兰州大学, 2021. CHU Q P. Research on plant interaction under different planting density and species combination[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2021.
- [11] 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.
- [12] HUANG C D, LIU Q Q, GOU F, et al. Plant growth patterns in a tripartite strip relay intercrop are shaped by asymmetric above-ground competition[J]. Field Crops Research, 2017, 201:41-51.
- [13] SADEGHPOUR A, JAHANZAD E, ESMAEILI A, et al. Forage yield, quality and economic benefit of intercropped barley and annual medic in semi-arid conditions: Additive series [J]. Field Crops Research, 2013, 148:43-48.
- [14] 戎亚思,李国强,张杰等. 基于 AquaCrop 模型的河南省冬小麦灌溉制度优化研究[J]. 河南农业科学, 2023, 52(2):151-161. RONG Y, LI G Q, ZHANG J, et al. Irrigation strategies optimization for winter wheat in henan province based on AquaCrop model[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2023, 52(2):151-161.
- [15] ARMAS C, ORDIALES R, PUGNAIRE F. Measuring plant interactions: a new comparative index[J]. Ecology, 2004, 85:2682-2686.
- [16] YIN W, CHEN G P, FENG F X, et al. Straw retention combined with plastic mulching improves compensation of intercropped maize in arid environment[J]. Field Crops Research, 2017, 204:42-51.
- [17] 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 and 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. The impact of intercropping three leguminous crops with maize on maize productivity and interspecific competition[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2020, 29(1):86-94.
- [18] 王雅梅,许彦骁,王亚露,等. 玉米-大豆不同宽幅间作对大豆光合特性及群体产量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(11):2587-2595. WANG Y M, XU Y X, WANG Y L, et al. Effects of maize-soybean intercropping with different widths on photosynthetic characteristics of soybean and population yield[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2020, 39(11):2587-2595.
- [19] 黄莹,吴强,邓妹玥,等. 两种间作模式对玉米根系生长、叶片光合特性及生物量的影响[J]. 四川农业大学学报, 2020, 38(5):513-519, 527. HUANG Y, WU Q, DENG S Y, et al. Effects of root interaction on root growth, leaf photosynthetic characteristics and biomass of maize under two intercropping systems of maize and legumes[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2020, 38(5):513-519, 527.
- [20] 卢俊吉. 川西高原播期和玉米豆类间作对青贮原料产量与饲用品质的影响[D]. 雅安:四川农业大学, 2022. LU J J. Effects of sowing date and maize-legume intercropping on yield and forage quality of silage raw materials in Western Sichuan Plateau[D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2022.
- [21] 史中欣,柴强,杨彩虹,等. 带型配置及施氮量对玉米间作豌豆产量和水分利用效率的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2011, 46(1):39-43. SHI Z X, CHAI Q, YANG C H, et al. Effects of different nitrogen applications and intercropping stripe compound on yield and WUE under maize/pea intercropping[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2011, 46(1):39-43.