

宽窄行间作模式下不同玉米品种的互补抗逆增产效应研究

董伟欣¹, 韩立杰¹, 李向岭³, 张月辰^{2*}

(1. 河北开放大学, 石家庄 050080; 2. 河北农业大学农学院/河北省作物生长调控重点实验室, 保定 071001;
3. 河北科技师范学院农学与生物科技学院, 昌黎 066600)

摘要: 为探索不同玉米品种间作对植株生长、生理参数及互补抗病增产效应, 进一步挖掘玉米生产潜力。以‘先玉 335’和‘农大 372’为试验材料, 设置‘先玉 335’(单作), ‘农大 372’(单作), ‘先玉 335’: ‘农大 372’为 1:1(间作) 3 种处理, 研究植株生长、干物质积累、生理参数、产量及对玉米大斑病的抗性特征。结果表明: ‘先玉 335’和‘农大 372’间作对株高无明显影响, 后期增加了茎粗和总绿叶面积并促进了干物质的积累; 2 个品种间作较单作提高了可溶性糖和蛋白含量, 其中可溶性糖在灌浆和成熟期分别显著提高 41.91%和 47.58%, 47.84%和 36.55%, SOD(超氧化物歧化酶)、POD(过氧化物酶)和 MDA(丙二醛)活性升高, 而 O₂(活性氧)含量降低, 叶面积指数(LIA)增大, 植株紧凑, 导致 GA₃(生长素)含量升高, ABA(脱落酸)含量降低, 其中灌浆和成熟期 JZ-‘农大 372’较 DZ-‘农大 372’分别显著升高 28.86%和 22.89%, 吐丝和灌浆期 JZ-‘先玉 335’较 DZ-‘先玉 335’分别显著降低 12.99%和 9.45%; 间作通过增加粒重来提高产量, 每公顷产量分别显著提升 9.61%和 13.82%, 此外, 间作也提高了玉米对大斑病的抗性, 病情指数分别显著降低 56.75%和 54.29%。‘先玉 335’和‘农大 372’间作可通过调控群体结构来延缓后期叶片衰老, 提高产量并增强对玉米大斑病的抗性。

关键词: 玉米; 间作; 生长; 生理参数; 产量; 互补抗病

中图分类号: S513.04

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2021)04-0531-08

Study on complementary resistance effect and increasing yield in different maize (*Zea mays* L.) genotypes under intercropping treatment

DONG Weixin¹, HAN Lijie¹, LI Xiangling³, ZHANG Yuechen²

(1. The Open University of Hebei, Shijiazhuang 050080;

2. Agricultural University of Hebei, Key Laboratory of Crop Growth Regulation of Hebei Province, Baoding 071001;

3. College of Agronomy and Biotechnology, Hebei Normal University of Science and Technology, Changli 066600)

Abstract: In order to explore the effects of intercropping on plant growth, physiological parameters, yield and complementary disease, production potential of maize was further exploitation. Establishment of ‘Xianyu 335’ (single cropping), ‘Nongda 372’ (single cropping) and ‘Xianyu 335’: ‘Nongda 372’=1:1 (intercropping) three treatments, to study on plant growth, dry matter accumulation, physiological parameters, yield and resistance spot. The results demonstrated that interaction between ‘Xianyu 335’ and ‘Nongda 372’ had no obvious effect on plant height, but increased stem diameter, total green leaf area and promoted dry matter accumulation; Two varieties intercropping increased soluble sugar and protein content, Furthermore, soluble sugar content increased by 41.91% and 47.58%, 47.84% and 36.55% respectively in filling and maturation stage, SOD, POD and MDA activity increased while reactive oxygen (O₂) content decreased; Leaf area index (LAI) increased and plant became compact, resulting in GA₃ (gibberellin) content increased, However, ABA (abscisic acid) content decreased, of which JZ- ‘Nongda 372’ increased significantly by 28.86% and 22.89% compared with DZ- ‘Nongda 372’ in filling and maturation stage, However, JZ- ‘Xianyu 335’ decreased significantly by 12.99% and 9.45% compared with DZ- ‘Xianyu 335’ in spinning and filling stage; The yield increased by increasing grain weight under intercropping treatment and increased by 9.61% and 13.82% per hectare respectively. In addition, intercropping treatment also increased resistance of leaf

收稿日期: 2020-09-28

基金项目: “十三五”国家重点研发计划课题三 (2018YFD0300503) 资助。

作者简介: 董伟欣, 博士, 副教授。E-mail: dongweixin.yuxin@163.com

* 通信作者: 张月辰, 博士, 教授, 博士生导师。E-mail: zhangyc1964@163.com

blight in maize and disease index decreased by 56.75% and 54.29% respectively. The intercropping of 'Xianyu 335' and 'Nongda 372' can delay late leaf senescence, increase yield and increase resistance of maize spot by regulating the population structure.

Key words: maize; intercropping; plant growth; physiological parameters; yield; complementary resistance

玉米作为我国的重要粮食作物之一,随着经济社会的快速发展,玉米的广用途与玉米生产的矛盾日益突出,所以保持玉米高产稳产是对于保障国家粮食安全至关重要,目前,人们主要通过选用优良品种,高水肥,农药等措施来提高产量,这不仅使品种的稳定性和抗性下降,还给环境造成很大压力,单一品种在生产上存在遗传基础狭窄,抵御自然灾害能力差,年际间产量不稳定等问题,间作再次备受关注,因此,探索相同和不同作物品种间作对于集约化高产栽培具有重要意义。

许多研究者对玉米与其他作物间作进行了深入研究,并发现间作可使群体稳定、资源利用效率高、抗逆性增强,产量提高。Ogind 等^[1]、王雅梅等^[2]和赵笃勤等^[3]对玉米和大豆间作进行了研究,证明了间作可提高大豆的株高、叶绿素含量和光合效率,并发现在 2:2 和 2:3 播幅种植下具有显著的生产优势,同时提高了不同土层的水分利用效率、氮肥农学利用效率和产量;也有研究发现,玉米和甘薯间作增加土壤有机质和全氮含量并提高了养分的吸收效率,进一步提高了产量^[4]。尽管不同作物间作对生产有诸多益处,但不同作物间作难以实现机械化生产,需要较多人力和物力,跟不上日新月异的农业规模化生产形势,目前,同种作物不同基因型间混作却备受关注。在玉米上,平西栓等^[5]、刘景文等^[6]和刘鹏飞等^[7]发现,不同玉米品种间作可促进玉米生长和干物质积累、延缓后期叶片衰老、单产提高并进一步提高产量,对南方锈病也有了较强抗性,增加了优势度指数,提高了玉米对于养分的吸收;其他作物也有明显的间作优势,刘红敏等^[8]发现,不同水稻品种间作可降低褐飞虱虫害的发生;不同小麦品种间作可提高对条锈叶锈及白粉病的抗性^[9];不同番茄品种间作可提高对番茄黄化曲叶病毒病的抗性^[10]。以上可见,通过对同一作物不同基因型品种间互作进行研究,既可以发挥不同作物品种的生产优势,又可以实现规模化生产。

河北是我国夏玉米种植大省,也是重要的粮食

储备地,近年来玉米大斑病严重发生,严重影响玉米生长和产量形成。本研究基于不同基因型玉米互补抗逆原理,构建感玉米大斑病基因型‘农大 372’和抗玉米大斑病基因型‘先玉 335’间作群体,探索群体的互补丰产抗逆效应,可为当地品种优化及高产栽培提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验地供试土壤养分含量和气象条件

本试验于 2019 年在河北省新乐市木村乡中同村进行大田试验,试验地为壤土,播种前 0~20 cm 的土壤有机质含量为 18.47 g·kg⁻¹,全氮含量为 1.19 g·kg⁻¹,碱解氮含量为 85.39 mg·kg⁻¹,有效磷含量为 25.74 mg·kg⁻¹,速效钾含量为 121.26 mg·kg⁻¹。

试验区玉米生长季(6、7、8、9 和 10 月份)降雨量分别为 17.5 mm、250.4 mm、131 mm、90.4 mm 和 28.3 mm,总降雨量为 517.6 mm;平均气温分别为 27.7 °C、28.2 °C、26 °C、23.3 °C 和 15.2 °C,6—10 月份日均温为 24.08 °C;日照时数分别为 219.8 h、202.1 h、196.5 h、237 h 和 183.9 h,日照时数总计为 1 039.3 h。

1.2 试验设计

本试验以‘先玉 335’和‘农大 372’为供试材料(由新乐市种子公司提供),2 个品种的性状特征见表 1。结合品种设置单作-‘先玉 335’,单作-‘农大 372’,间作-‘先玉 335’:‘农大 372’3 种植方式,单作简称为 DZ,间作简称为 JZ,2 个品种间作比例为 1:1,单作和间作均为宽窄行种植(宽行间距为 80 cm,窄行间距为 40 cm),所以 4 种处理分别简称为 DZ-‘先玉 335’,DZ-‘农大 372’,JZ-‘先玉 335’和 JZ-‘农大 372’,试验小区畦长为 15 m,宽为 5 m,全部采用随机区组设计,设置 3 次重复,播种前撒施缓释肥(N-P₂O₅-K₂O=28:4:8) 1 050 kg·hm⁻²,6 月 21 日播种,密度为 67 500 株·hm⁻²,分别在苗期、开花吐丝期和灌浆期进行灌水,10 月 2 日收获,其他管理同一般大田生产。

表 1 先玉 335 和农大 372 的品种特性

Table 1 Variety characteristics of Xianyu 335 and Nongda 372

品种	生育期/d	株高/cm	穗位高/cm	对玉米大斑病抗性
先玉 335	98	286	103	高抗
农大 372	103	280	105	感

1.3 测定项目及方法

1.3.1 玉米生长指标和干物质积累测定 在吐丝期、灌浆期和成熟期, 每个处理选取生长一致的 3 株玉米, 每个处理 3 个重复, 共 9 株测定其株高、茎粗和绿叶面积。干物质测定在烘干箱 (德瑞普-DRP-8804) 105 °C 杀青 0.5 h, 80 °C 下烘干至恒重后进行称量。

1.3.2 玉米穗位叶片生理参数的测定 在吐丝期、灌浆期和成熟期上午 8:00—10:00, 取玉米穗位叶片中间部分鲜样, 置于液氮中带回实验室进行生理参数测定。叶绿素含量参照崔勤等的方法^[11]测定; 可溶性糖含量采用白宝璋的方法测定^[12]; 可溶性蛋白含量参照 Read 等^[13]的方法测定; 超氧化物歧化酶 (SOD) 活性和过氧化物酶 (POD) 活性参照韩胜芳等的方法测定^[14]; GA₃ 和 ABA 含量参照吴颂如等方法测定^[15]。

1.3.3 玉米叶面积指数 (LAI) 和叶片夹角 (MTA) 的测定 在吐丝期、灌浆期和成熟期上午 9:00—11:00, 采用 LAI-2200C 冠层分析仪 (美国 LI-COR 公司生产) 测定玉米穗位叶片的 LAI 和 MTA, 每个处理测定 3 株, 3 次重复, 共测定 9 株。

1.3.4 抗病性调查 在乳熟期对单作和间作小区分别连续调查 20 株, 根据病斑面积占叶片面积的百分数来计算玉米大斑病的病情指数, 病情分级参照王晓鸣^[16]的方法。

1.3.5 考种及产量测定 在收获前 (9 月 28 日) 进行考种及产量测定, 每个处理选取 3 株, 3 次重复, 共 9 株, 测定单穗重、穗粒数、穗粒重和百粒重, 并利用 XY-MW-T 系列快速水分测定仪 (常州市幸运电子设备有限公司生产) 测定玉米籽粒的含水量 (约为 10 %); 每个处理 (1 点/每个处理, 3 次重复) 选取 3 点测定 10 m 双行穗数, 再折算成亩穗数、每公顷穗数, 根据下列公式计算出每公顷产量。

$$\text{产量} = (\text{亩穗数} \times \text{单穗穗粒重} \times \text{百粒重} / 100) \times (100\% - \text{含水量}) / (100\% - 14\%)$$

1.3.6 玉米籽粒营养成分测定 每个处理取样 1 kg, 设置 3 次重复, 分别测定玉米籽粒的蛋白质、脂肪、可溶性糖和淀粉含量 (FOSS 谷物分析仪), 求其并均值。

1.4 数据分析

所有数据采用 Excel 2019 进行统计分析, 使用 SPSS 25.0 对单作和间作处理的相关指标进行显著性检验 ($\alpha=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 ‘先玉 335’和‘农大 372’间作对植株生长的影响

通过对 2 个玉米品种的株高、茎粗和绿叶面积 3 个指标不同处理间进行比较后得出, ‘先玉 335’和‘农大 372’间作模式下的株高在吐丝期、灌浆期和成熟期较单作稍有降低, 但差异均未达到显著性差异; 2 个品种的茎粗间作较单作均升高, 吐丝期和灌浆期差异不明显, 但在成熟期均显著升高, 升高幅度分别为 16.86 % 和 19.78 %; ‘先玉 335’和‘农大 372’间作模式下的绿叶面积在 3 个时期较单作均呈现升高趋势, 在吐丝期升高幅度未达到显著性差异, 而在灌浆期和成熟期均显著升高, ‘先玉 335’间作较单作分别显著升高 14.46 % 和 13.54 %, ‘农大 372’分别显著升高 12.85 % 和 12.84 %, 2 个品种相比较, 间作模式下‘农大 372’较‘先玉 335’的株高稍有降低, 而茎粗和绿叶面积从吐丝期至成熟期不断增大 (表 2)。说明间作对 2 个品种的株高没有明显的影响, 而是后期通过增加茎粗和绿叶面积来扩大群体的且‘农大 372’大于‘先玉 335’。

2.2 ‘先玉 335’和‘农大 372’间作对植株不同部位干物质积累的影响

由表 3 可见, 间作影响不同部位干物质的积累, 2 个品种间作模式下, ‘先玉 335’的叶片干重在吐丝期、灌浆期和成熟期较单作降低, 而‘农大 372’却呈现升高趋势, 但差异都未达到显著性水平, 说明间作对叶片干物质的积累影响不大; 茎秆重在吐丝期间作较单作无显著变化, 在灌浆期 JZ-‘农大 372’较 DZ-‘农大 372’显著升高 15.66%, 成熟期 JZ-‘先玉 335’较 DZ-‘先玉 335’显著升高 14.88%, 而 JZ-‘农大 372’较 DZ-‘农大 372’显著升高 21.49%; 2 个品种间作模式下的穗重在 3 个时期均表现出高于单作的趋势, 吐丝期稍有升高, 但差异不明显, 而在灌浆期和成熟期间作较单作均显著升高, JZ-‘先玉 335’较 DZ-‘先玉 335’分别显著升高 19.21 % 和 14.75%, JZ-‘农大 372’较 DZ-‘农大 372’分别显著升高 8.99% 和 11.95 %, 2 个品种相比较, 间作模式下, ‘农大 372’在中后期的干物质积累量高于‘先玉 335’。说明间作可以协调群体结构来促进穗部干物质积累且‘农大 372’的积累量更高, 增产潜力更大。

2.3 ‘先玉 335’和‘农大 372’间作对可溶性糖和可溶性蛋白质含量的影响

2 个品种间作较单作的可溶性糖和蛋白含量均呈现出升高趋势, 可溶性糖含量从吐丝期至成熟期不断升高, 在吐丝期间作较单作升高不明显, 但在

灌浆期和成熟期 JZ-‘先玉 335’较 DZ-‘先玉 335’分别显著升高 41.91 %和 47.58 %，JZ-‘农大 372’较 DZ-‘农大 372’分别显著升高 47.84 %和 36.55 %，见图 1 (a)；而可溶性蛋白含量从吐丝期至灌浆期升高，到成熟期有稍有降低，吐丝期 2 个品种间作较单作分别显著升高 13.92 %和 13.68 %，而灌浆期和

成熟期升高幅度未达到显著性水平图 1 (b)，2 个品种相比较，JZ-‘农大 372’较 JZ-‘先玉 335’在后期积累的可溶性糖和蛋白质含量较多，说明间作模式更有利于发挥不同基因型品种的优势，进一步提高碳水化合物的积累程度，对于产量提高具有积极作用。

表 2 单间作对玉米株高、茎粗和叶面积的影响

Table 2 Effects of sole-cropping and intercropping treatment on plant height, stem diameter and leaf area of maize

测定指标	处理	测定时期		
		吐丝期	灌浆期	成熟期
株高/cm	DZ-先玉 335	261.33±9.15 ^a	275.00±7.81 ^a	280.67±3.06 ^a
	JZ-先玉 335	254.33±6.59 ^a	273.00±5.29 ^a	277.67±15.51 ^a
	DZ-农大 372	225.00±5.57 ^b	265.33±10.02 ^a	278.00±5.29 ^a
	JZ-农大 372	222.67±6.19 ^b	264.00±5.29 ^a	273.67±15.53 ^a
茎粗/cm	DZ-先玉 335	5.37±0.26 ^a	6.49±1.03 ^a	6.56±0.29 ^b
	JZ-先玉 335	6.23±0.51 ^a	6.63±0.61 ^a	7.89±0.11 ^a
	DZ-农大 372	5.33±0.38 ^a	6.43±0.98 ^a	6.49±0.12 ^b
	JZ-农大 372	6.06±0.95 ^a	6.74±0.21 ^a	8.09±0.26 ^a
绿叶面积/cm ²	DZ-先玉 335	357.98±25.39 ^a	403.86±10.94 ^b	414.34±5.75 ^b
	JZ-先玉 335	348.01±14.31 ^a	472.12±21.43 ^a	479.22±20.71 ^a
	DZ-农大 372	353.84±18.26 ^a	417.86±31.09 ^b	421.71±14.28 ^b
	JZ-农大 372	349.72±34.75 ^a	479.46±10.53 ^a	483.82±8.56 ^a

注：均值±S.E，同列中不同小写字母表示同一指标不同处理间经新复极差法检验在 0.05 水平上的统计差异显著性。下同。

表 3 单间作对玉米叶片重、茎秆重和穗重的影响

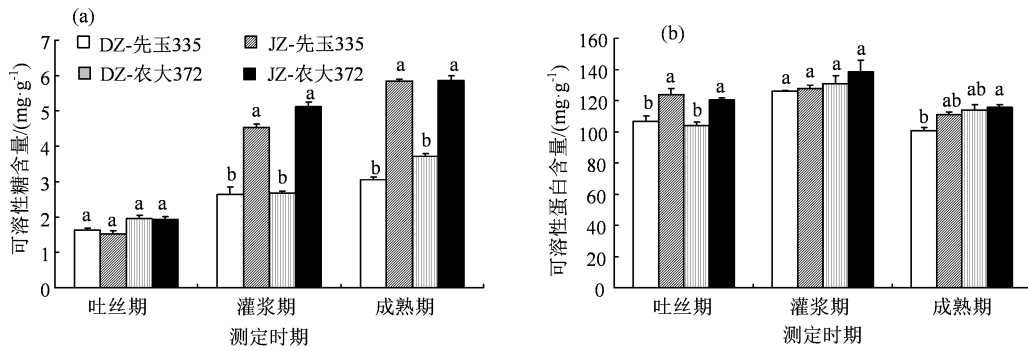
Table 3 Effects of sole-cropping and intercropping treatment on leaf weight, stem weight and ear weight of maize

测定指标	处理	测定时期		
		吐丝期	灌浆期	成熟期
叶片重/g	DZ-先玉 335	31.45±2.89 ^a	38.95±8.62 ^a	42.33±7.32 ^a
	JZ-先玉 335	30.22±3.13 ^a	34.59±3.62 ^a	33.52±3.55 ^a
	DZ-农大 372	26.83±5.28 ^a	34.28±5.89 ^a	34.81±2.27 ^a
	JZ-农大 372	27.37±1.42 ^a	35.19±2.48 ^a	36.19±7.09 ^a
茎秆重/g	DZ-先玉 335	71.25±8.69 ^a	71.79±1.61 ^a	73.73±6.59 ^b
	JZ-先玉 335	74.23±2.81 ^a	77.18±1.51 ^a	86.62±3.13 ^a
	DZ-农大 372	60.77±10.79 ^a	62.17±3.07 ^b	70.59±9.89 ^b
	JZ-农大 372	65.22±5.42 ^a	73.71±4.61 ^a	89.91±9.28 ^a
穗重/g	DZ-先玉 335	83.82±15.06 ^a	144.30±11.16 ^b	219.99±11.67 ^b
	JZ-先玉 335	94.75±19.95 ^a	178.59±12.18 ^a	258.04±17.26 ^a
	DZ-农大 372	78.96±10.02 ^a	165.86±16.93 ^b	233.56±12.89 ^b
	JZ-农大 372	85.12±3.05 ^a	182.26±7.59 ^a	265.25±19.87 ^a

2.4 ‘先玉 335’和‘农大 372’间作对 SOD、POD 酶活性及 O₂、MDA 含量的影响

由图 2 可见，SOD、POD 酶活性从吐丝期至成熟期不断升高，间作较单作均呈现升高趋势，‘农大 372’较‘先玉 335’升高幅度更大，见图 2(a)(b)；MDA 含量与 SOD、POD 酶活性在 3 个时期的变化趋势稍有差异，MDA 含量从吐丝期至灌浆期逐渐

升高，到成熟期下降，间作较单作均呈现出升高趋势，与酶活性变化表现一致，见图 2 (c)；而活性氧 (O₂) 含量则是从吐丝期至成熟期逐渐升高，间作较单作均呈现降低趋势，见图 2 (d)。说明间作使后期叶片细胞清除活性氧的能力升高，叶片细胞保持旺盛的生命力，延缓叶片衰老，可提高叶片的光合速率，加速营养物质的转化速率。



均值±S.E., 每个图注上的小写字母不同者表示经新复极差法检验在 0.05 水平上的统计差异显著性。下同。

图 1 单作对玉米可溶性糖和可溶性蛋白含量的影响

Figure 1 Effects of sole-cropping and intercropping treatment on soluble sugar and soluble protein content of maize

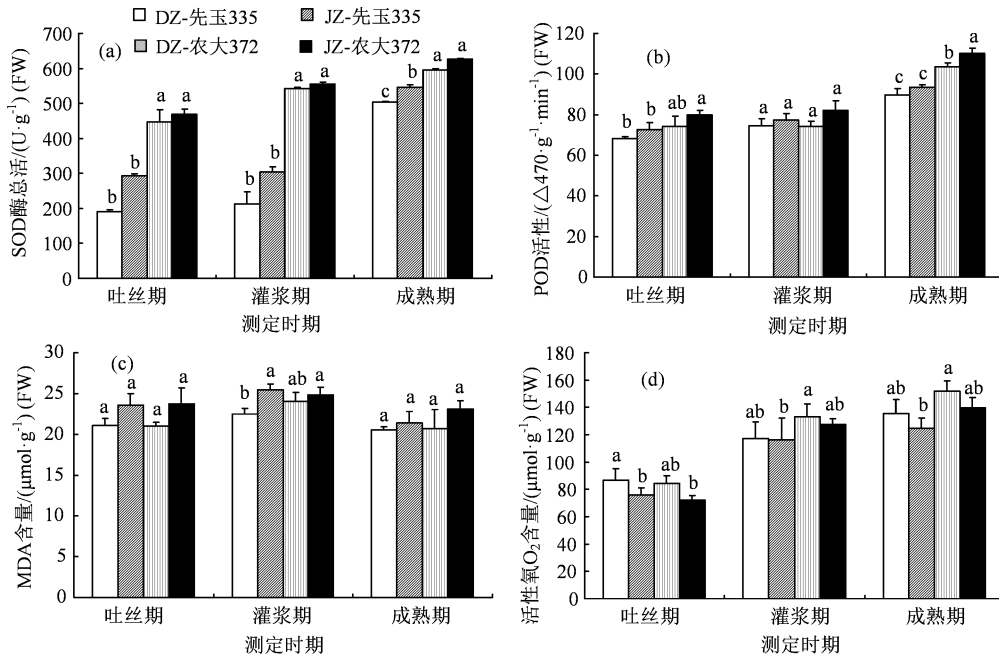


图 2 单作对玉米 SOD、POD 活性及 O₂、MDA 含量的影响

Figure 2 Effects of sole-cropping and intercropping treatment on SOD, POD activity and O₂, MDA content of maize

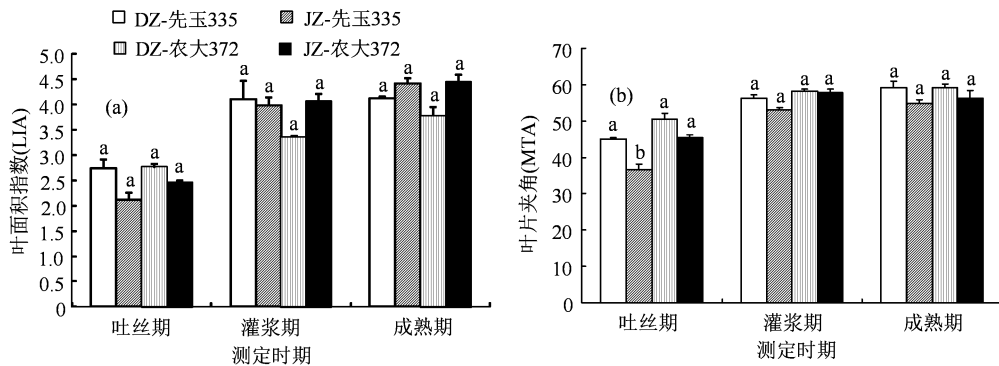


图 3 单作对玉米叶面积指数 (LAI) 和叶片夹角 (MTA) 的影响

Figure 3 Effects of sole-cropping and intercropping treatment on LAI and MTA of maize

2.5 ‘先玉 335’和‘农大 372’间作对 GA₃ 和 ABA 含量的影响

由表 4 可见, ‘先玉 335’和‘农大 372’间作可以

改变玉米穗位叶片中的激素含量和比例, 间作较单作 GA₃ 含量升高, ‘农大 372’升高幅度更大, 吐丝期 2 个品种间作较单作升高不明显, 灌浆期和成熟

期 JZ-‘农大 372’较 DZ-‘农大 372’分别显著升高 28.86% 和 22.89%；相反，2 个品种间作较单作 ABA 含量呈现降低趋势，吐丝期和灌浆期 JZ-‘先玉 335’较 DZ-‘先玉 335’分别显著降低 12.99% 和 9.45%，‘农大 372’间作较单作降低幅度未达到显著水平，2 个品种在成熟期间作较单作降低也不明显；另外，2 个品种在间作模式下的 GA_3/ABA 同样呈现升高趋势，吐丝期 JZ-‘先玉 335’较 DZ-‘先玉 335’显著升高 20.39%，灌浆期和成熟期 2 个品种间作较单作均显著升高。说明间作使叶片中的 GA_3 含量升高，延缓后期叶片衰老，可提高光能利用率。

表 4 单间作对玉米 GA_3 、ABA 含量及 GA_3/ABA 的影响

Table 4 Effects of sole-cropping and intercropping treatment on GA_3 , ABA content and GA_3/ABA of maize

测定指标	处理	测定时期		
		吐丝期	灌浆期	成熟期
GA_3 含量/(ng·g ⁻¹)(FW)	DZ-先玉 335	5.38±0.12 ^{ab}	3.69±0.04 ^c	3.34±0.09 ^b
	JZ-先玉 335	5.89±0.11 ^a	4.09±0.03 ^{bc}	3.83±0.13 ^b
	DZ-农大 372	5.23±0.02 ^b	4.24±0.03 ^b	3.67±0.06 ^b
	JZ-农大 372	5.42±0.05 ^{ab}	5.96±0.06 ^a	4.76±0.07 ^a
ABA 含量/(ng·g ⁻¹)(FW)	DZ-先玉 335	65.54±0.38 ^a	78.62±0.47 ^a	84.24±0.75 ^a
	JZ-先玉 335	57.02±0.32 ^b	71.19±0.91 ^b	81.02±1.41 ^{ab}
	DZ-农大 372	65.78±0.29 ^a	71.99±0.49 ^{ab}	81.65±0.42 ^{ab}
	JZ-农大 372	66.76±0.18 ^a	69.59±1.11 ^b	75.16±0.15 ^b
GA_3/ABA	DZ-先玉 335	0.082±0.02 ^b	0.047±0.01 ^c	0.039±0.01 ^b
	JZ-先玉 335	0.103±0.01 ^a	0.057±0.01 ^b	0.047±0.02 ^b
	DZ-农大 372	0.079±0.01 ^b	0.059±0.01 ^b	0.045±0.01 ^b
	JZ-农大 372	0.081±0.01 ^b	0.086±0.01 ^a	0.063±0.01 ^a

表 5 单间作对玉米产量构成因素及产量的影响

Table 5 Effects of sole-cropping and intercropping treatment on yield components and yield of maize

处理	测定指标					
	每公顷穗数/万个	穗粒数/个	单穗重/g	单穗粒重/g	百粒重/g	每公顷产量/kg
DZ-先玉 335	10.97±318.11 ^a	616.33±59.63 ^a	208.49±21.29 ^a	159.58±1.25 ^d	26.57±0.23 ^d	9 465.06±318.11 ^a
JZ-先玉 335	11.47±318.61 ^a	616.00±73.07 ^a	210.47±30.64 ^a	185.54±1.49 ^b	30.44±0.41 ^c	10 470.97±318.61 ^b
DZ-农大 372	10.53±872.18 ^a	605.83±64.32 ^a	210.37±21.31 ^a	175.61±1.25 ^{bc}	32.21±0.22 ^b	9 630.51±572.18 ^a
JZ-农大 372	11.81±622.74 ^a	615.42±72.89 ^a	219.37±32.63 ^a	199.23±5.05 ^a	35.29±0.44 ^a	11 175.03±622.74 ^b

表 6 单间作对玉米大斑病病情指数的影响

Table 6 The disease index of corn northern leaf blight of maize under sole-cropping and intercropping treatment

处理	病情指数/%	病级	抗病性
DZ-先玉 335	2.89±0.04 ^c	2	抗
JZ-先玉 335	1.25±0.07 ^d	1	高抗
DZ-农大 372	57.89±4.56 ^a	5	感
JZ-农大 372	26.46±3.88 ^b	3	中抗

2.7 ‘先玉 335’和‘农大 372’间作对产量的影响

由表 5 可以看出，‘先玉 335’和‘农大 372’间作较单作可以提高每公顷穗数、穗粒数和单穗重，但

2.6 ‘先玉 335’和‘农大 372’间作对 LAI（叶面积指数）和 MTA（叶片夹角）的影响

‘先玉 335’和‘农大 372’间作使 LAI（叶面积指数）和 MTA（叶片夹角）表现不同，吐丝期 2 个品种的叶面积指数单作均高于间作，而灌浆期和成熟期呈现出间作高于单作的趋势，见图 3（a）；叶片夹角在吐丝期、灌浆期和成熟期均呈现间作小于单作的趋势，见图 3（b），在吐丝期表现更为明显。说明间作使 2 个玉米品种的 MTA 变小导致植株之间变得紧凑，叶面积增大，增加了光能利用效率，有利于后期籽粒干物质的积累。

差异性都未达到显著性水平，而单穗粒重和百粒重却明显增加，分别显著增加 13.99% 和 11.86%，12.71% 和 8.73%，每公顷产量也显著增加，JZ-‘先

玉 335'较 DZ-'先玉 335'显著增加 9.61%, JZ-'农大 372'较 DZ-'农大 372'显著增加 13.82%。说明'先玉 335'和'农大 372'间作具有增产效应, 而产量的提高是通过增加粒重来实现的。

2.8 '先玉 335'和'农大 372'间作对大斑病的抗性的影响

'先玉 335'和'农大 372'间作明显提高了对玉米大斑病的抗性, '先玉 335'由抗提高到高抗, 病级由 2 级降为 1 级, '农大 372'由感提高到中抗, 病级由 5 级降为 3 级, 另外, '先玉 335'和'农大 372'间作使病情指数显著降低, JZ-'先玉 335'较 DZ-'先玉 335'显著降低 56.75%, JZ-'农大 372'较 DZ-'农大 372'显著降低 54.29% (见表 6)。

3 讨论与结论

优良品种选择是实现高产稳产的重要途径, 近年来, 玉米新品种层出不穷, 加之全球灾害性天气和病虫害的频繁发生, 不仅给粮食生产造成严重危害, 而且加速了作物品种退化, 单一作物品种种植的遗传基础狭窄, 抵御自然灾害的能力较差, 而不同基因型玉米品种间作是丰富玉米群体遗传多样性, 提高抗逆性, 实现高产的有效途径。在生产上, 王小林等^[17]研究指出, 玉米品种'郑单 958'与'沈单 16 号'间作可以有效提高玉米的水分利用效率 (WUE), 根系的吸水能力增强并延长根系生命活力; 此作者对'郑单 958'与'沈单 16 号'品种间作后还发现, 间作可以提高株高和茎粗, 显著增加群体的叶面积指数 (LAI) 和地上部干物质积累, 有效改善群体结构, 增加群体物质生产力^[18]; 而祁勇^[19]研究发现, 4 个不同基因型玉米品种间作可通过穗粒数增多使产量显著提高 4.2%~20.7%, 并对黑粉病和青枯病的抗性也显著提高; 陈国立等^[20]研究也同样发现, 不同玉米品种间作不仅可以提高对黑粉病的抗性, 而且可以通过增加穗粒数来提高产量, 间作比单作显著增产 4.04%~17.14%; 而其他的研究也证明不同基因型玉米间作均可显著降低纹枯病、叶锈病和叶斑病的发病指数^[21-22]。本研究发现, 不同玉米品种间作对株高无影响, 后期茎粗、叶面积指数和地上部干物质积累显著增加, 此外, 间作较单作穗位叶碳水化合物增加, 保护酶 (SOD、POD 和 MDA) 活性增强; 另外, 本研究还发现间作较单作 GA₃ 含量总体呈现升高趋势, ABA 呈现降低趋势, Jonathan Jones 实验室的研究表明^[23], 赤霉素在抵抗活体寄生病原菌的过程中起正向调控作用, 但是在对抗坏死型病原菌的过程中却起负调

控作用, Mauch-Mani 等^[24]研究认为, ABA 在抗病途径中起到负调控的作用, 而 Yang 等^[25]的研究却发现, 赤霉素负调控水稻抗病抗逆性, 这与前人研究结果有相同和不同之处, 原因可能是病原菌不同生理小种对不同作物的差异性而造成的, 其抗逆性机理还需进一步深入研究。

不同基因型玉米品种间作可以提高群体的抗病性, 感病品种的病情指数显著降低^[26]。从本研究结果来看, 间作产量提高是通过增加粒重来实现的, 且显著提高对玉米大斑病的抗性, 这可能是两品种间交叉授粉所产生花粉直感的结果, 这与前人研究趋势相一致, '先玉 335'和'农大 372'间作使病情指数显著降低, 较单作分别显著降低 56.75% 和 54.29%。不同基因型玉米间作是高产抗逆的有效途径, 但品种选择和间作模式存在较大差异^[27], 所以在品种选择时要注意株高、生育期、粒色、品种与比例以及熟性之间的矛盾, 只有选择合适的玉米品种间作才能更好的改善玉米群体结构、提高资源利用率、增产抗逆和保护环境。从理论上讲, 选择合适的玉米品种越多, 其稳定性和丰产性越好, 但品种选择越多, 种植模式就越复杂, 加之不同品种间作的方式和比例没有固定的栽培模式, 所以在实际操作方面比较复杂, 而本研究只选择了'先玉 335'和'农大 372'两个品种, 通过互作对植株长势、穗位叶片的生理参数变化、产量以及对玉米大斑病的抗性进行探索研究, 发现两个品种互作较单作对于抗逆性具有积极作用, 但两个品种互作具有一定的局限性, 本试验只在小范围内进行研究, 之后实验室会在此基础上选择较多不同基因型玉米品种在核心区试验, 之后向周边地区辐射, 此外, 在技术上也不够成熟, 所以品种和技术会进行下一步的研究和探索。

参考文献:

- [1] OGINDO H O, WALKER S. Comparison of measured changes in seasonal soil water content by rainfed maize-bean intercrop and component cropping systems in a semi-arid region of southern Africa[J]. *Phys Chem Earth Parts A/B/C*, 2005, 30(11/12/13/14/15/16): 799-808.
- [2] 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.
- [3] 赵笃勤, 刘淑慧, 赵凯超. 玉米-大豆间作和减量施氮对玉米生长、产量及土壤硝态氮含量的影响[J]. *西北农业学报*, 2020, 29(8): 1159-1166.
- [4] 张艳, 郭书亚, 尚赏, 等. 甘薯/玉米不同间作方式对土

- 壤养分、酶活性及作物产量的影响[J]. 山西农业科学, 2020, 48(8): 1234-1238.
- [5] 平西栓, 邢冉冉, 刘天学. 不同玉米品种间作的互补抗逆增产效应[J]. 甘肃农业大学学报, 2020, 55(2): 62-67.
- [6] 刘景文, 武庆凯, 毛瑞喜, 等. 玉米品种爱农 007 和爱农 001 间作种植新模式增产潜力研究[J]. 种业导刊, 2020(3): 14-16.
- [7] 刘鹏飞, 红梅, 平翠枝, 等. 玉米间作种植对黑土区农田中小型土壤动物群落的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2018(6): 91-97.
- [8] 刘红敏, 宁万光, 徐畅, 等. 不同品种水稻间作栽培对褐飞虱发生及水稻产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(4): 124-126.
- [9] 曹克强, 曾士迈. 小麦混合品种对条锈叶锈及白粉病的群体抗病性研究[J]. 植物病理学报, 1994, 24(1): 21-25.
- [10] 何鑫, 赵统敏, 赵丽萍, 等. 间作及几种物理防治对番茄黄化曲叶病毒病的防控效果[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(5): 86-90.
- [11] 崔勤, 李新丽, 翟淑芝. 小麦叶片叶绿素含量测定的分光光度计法[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(10): 2063.
- [12] 白宝璋, 靳占忠, 李存东. 植物生理学试验教程[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1996.
- [13] READ S M, NORTH COTE D H. Minimization of variation in the response to different proteins of the Coomassie blue G dye-binding assay for protein[J]. Anal Biochem, 1981, 116(1): 53-64.
- [14] 韩胜芳, 邓若磊, 徐海荣, 等. 缺磷条件下不同磷效率水稻品种光合特性和细胞保护酶活性[J]. 应用生态学报, 2007, 18(11): 2462-2467.
- [15] 吴颂如, 陈婉芬, 周燮. 酶联免疫法(ELISA)测定内源植物激素[J]. 植物生理学通讯, 1988, 24(5): 53-57.
- [16] 王晓鸣. 玉米抗病虫害鉴定与调查技术[J]. 作物杂志, 2005(6): 53-55.
- [17] 王小林, 张岁岐, 王淑庆. 不同密度下品种间作对玉米水分平衡的影响[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(2): 171-178.
- [18] 王小林, 张岁岐, 王淑庆, 等. 黄土塬区不同品种玉米间作群体生长特征的动态变化[J]. 生态学报, 2012, 32(23): 7383-7390.
- [19] 祁勇. 不同玉米品种间作对其产量性状的影响研究[J]. 农业科技通讯, 2018(5): 52-54.
- [20] 陈国立, 宋多义, 祁丽敏, 等. 不同玉米品种间作对抗性及产量性状的影响[J]. 山东农业科学, 2009, 41(6): 46-47.
- [21] 李潮海, 苏新宏, 孙敦立. 不同基因型玉米间作复合群体生态生理效应[J]. 生态学报, 2002, 22(12): 2096-2103.
- [22] 苏新宏, 李潮海, 孙敦立, 等. 不同基因型玉米间作研究初报[J]. 玉米科学, 2000, 8(4): 57-60.
- [23] SUN X H, LAPIN D, FEEHAN J M, et al. Pathogen effector recognition-dependent association of NRG1 with EDS1 and SAG101 in TNL receptor immunity[J]. Nat Commun, 2021, 12(1): 3335. doi:10.1038/s41467-021-23614-x.
- [24] MAUCH-MANI B, MAUCH F. The role of abscisic acid in plant-pathogen interactions[J]. Curr Opin Plant Biol, 2005, 8(4): 409-414.
- [25] YANG D L, LI Q, DENG Y W, et al. Altered disease development in the eui mutants and eui overexpressors indicates that gibberellins negatively regulate rice basal disease resistance[J]. Mol Plant, 2008, 1(3): 528-537.
- [26] 梅沛沛. 不同基因型玉米间作复合群体稳产增产效应及其机制研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2007.
- [27] 赵亚丽, 康杰, 刘天学, 等. 不同基因型玉米间混作优势带型配置[J]. 生态学报, 2013, 33(12): 3855-3864.