



林青樵,程萌,郝玉波,等.玉米大豆间作种植密度对玉米光合特性及产量的影响[J].黑龙江农业科学,2024(11):1-6.

玉米大豆间作种植密度对玉米 光合特性及产量的影响

林青樵¹,程萌¹,郝玉波²,于洋²,姜宇博²,吕国依²,焦峰¹,钱春荣²

(1.黑龙江八一农垦大学农学院,黑龙江大庆163319;2.黑龙江省农业科学院耕作栽培研究所,黑龙江哈尔滨150023)

摘要:为充分挖掘间作密度对玉米的增产潜力,以玉米单作为对照,其玉米种植密度 $6.00\text{万株}\cdot\text{hm}^{-2}$ (CK),玉米大豆间作设置4个玉米种植密度 $5.25\text{万株}\cdot\text{hm}^{-2}$ (T1)、 $6.00\text{万株}\cdot\text{hm}^{-2}$ (T2)、 $7.50\text{万株}\cdot\text{hm}^{-2}$ (T3)、 $9.00\text{万株}\cdot\text{hm}^{-2}$ (T4),探究不同间作种植密度对玉米的光合特性、SPAD值和产量的影响。结果表明,玉米品种钱玉568和长发1号表现趋势相同,不同间作密度玉米,随间作密度增加SPAD值逐渐降低,T1、T2和T3均高于CK,分别增加21.49%、12.15%和5.92%。净光合速率、蒸腾速率、胞间二氧化碳、气孔导度均随间作密度增加逐渐降低,间作处理T1、T2、T3均高于单作CK。从产量上看,间作处理均高于单作处理,能显著提高玉米产量,随着间作密度的增加产量逐渐提高。

关键词:玉米;大豆;间作密度;光合特性

禾本科与豆科间作对提高作物产量和提高光、水、热、空间及其他资源的利用率有显著影响^[1-2]。目前,关于禾本科与豆科间作模式的增产增效机理已经有许多深入的报道。高秆作物与矮秆作物的间作模式也有很多,如玉米-辣椒间作、玉米-苜蓿间作等^[3]。作物生产是一个群体过程,合理的种植方式可以改善玉米冠层结构,调节田间通风和透光条件,影响产量^[4-5]。米豆间作模式具有共生固氮、防治杂草和降低 CO_2 排放量等优势^[6]。相关学者对于米豆间作模式展开了大量的理论研究与实践,在光合荧光特性、不同适宜间作密度以及光、热、气高效利用等方向均取得了较大研究进展,多数学者提出适宜间作密度具有明显的产量优势、增加带宽有利于提高大豆光合能力、间作提高了全氮积累量和经济效益等观点^[7]。王敏等^[8]关于玉米和大豆间作的研究发现,高密度玉米间作系统产量显著高于低密度,在 $10.5\text{万株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 密度下获得了较高的玉米产量,主要是由于增加密度引起玉米单株产量降低,但密度增加群体产量提高弥补了较低的单株产量,最终形成增产趋势。

间作密度是影响玉米产量的关键要素,通过

研究明确不同基因型玉米品种对不同间作密度光资源利用的响应特征,对建立玉米间作光资源高效利用技术体系具有重要的指导意义。本研究在玉米-大豆间作系统中设置不同间作密度,研究不同间作密度下不同玉米品种的农艺性状、光合特性、荧光特性,以及产量构成,以期优化黑土区玉米-大豆间作模式,提高玉米产量提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2022年在黑龙江省哈尔滨市道外区民主乡国家现代农业科技示范展示基地($45^{\circ}50'N$, $126^{\circ}50'E$)进行。前茬作物为玉米,土壤类型碳酸盐黑钙土,土壤养分状况:土壤有机质 $2.997\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,碱解氮 $122.32\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷 $27.12\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 $225.08\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

该试验区属于中温带半湿润区,作物一年一熟,无灌溉,为典型的旱作雨养农业,降雨主要集中在多雨的6月至8月,玉米生育期内降雨量为 385.60mm ,日照时数为 1145h 左右。年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 有效积温 2716.6°C 。具体气候情况详见表1。

收稿日期:2024-03-21

基金项目:黑龙江省基金项目(ZD2022C008,LH2023C097);中科院先导科技专项(XDA28130504-04-04,XDA28130504-04-03)。

第一作者:林青樵(1997-),男,硕士研究生,从事玉米高产耕作栽培研究。E-mail:1072918993@qq.com。

通信作者:焦峰(1980-),男,博士,副教授,从事作物生理营养研究。E-mail:jiaofeng1980@163.com。

表 1 2022 年生长季试验田气候数据

月份	平均气温/ ℃	总日照/ h	总降水量/ mm	平均相对湿度/ %
5	15.24	255.10	65.00	58.86
6	20.70	227.10	110.20	75.24
7	24.08	203.70	101.80	81.67
8	20.52	237.90	101.70	79.02
9	16.86	221.20	6.90	69.60

1.2 材料

供试材料为通过国家审定的高产型玉米品种钱玉 568、长发 1 号和大豆品种黑农 81。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 本试验设置玉米和大豆间作处理,间作种植采用 1.3 m 大垄 1:1 间作,大垄上分别种植 2 行玉米和 4 行大豆,2 行玉米与 4 行大豆构成 1 个间作单元。间作玉米设置 4 个种植密度,分别为 5.25 万株·hm⁻² (T1)、6.00 万株·hm⁻² (T2)、7.50 万株·hm⁻² (T3)、9.00 万株·hm⁻² (T4),以玉米单作为对照(CK),玉米单作种植密度 6.00 万株·hm⁻²,各处理包括 10 个大垄,垄长 10 m,小区面积 130 m²。

1.3.2 田间管理 2021 年 11 月秋季整地施肥,一次性施用缓控肥(≥48%,N-P₂O₅-K₂O, 26-10-12) 600 kg·hm⁻²,2022 年于 5 月 6 日玉米、大豆同时人工播种,每穴 2 粒,出苗 2 展叶后按试验设计的密度定苗,9 月 30 日玉米、大豆同时人工收获测产。

1.3.3 调查项目及方法 光合指标调查:在各玉米品种拔节期、大喇叭口期和吐丝期在田间选择生长均匀一致的 3 株玉米,测定叶片的叶绿素 SPAD 值、净光合速率、蒸腾速率、气孔导度,拔节期和大喇叭口期分别测定第 6 片叶和第 8 片叶,吐丝期测定穗位叶。同一位点平行测定 3 次取平均值,测定时间为晴朗天气的 9:00—11:00。

干物质积累和收获指数测定:于收获期各小区

采集 3 株具有代表性且长势均匀的玉米,按照叶、茎鞘、轴、籽粒分类,在 105 ℃ 下杀青 1 h,然后在 75 ℃ 下烘干至恒重并且称重。收获指数=籽粒产量/地上部生物量。

产量测定:于玉米成熟期进行实收测产。

实测产量=收获鲜穗重×鲜穗出籽率(%)÷收获样点实际面积×666.7×[1-籽粒含水率(%)]÷(1-14%)。

1.3.4 数据分析 采用 SPSS 22.0 等软件进行数据处理和统计分析,利用最小显著极差法(LSR)进行方差检验。

2 结果与分析

2.1 不同间作密度对玉米穗位叶 SPAD 值的影响

由表 2 可知,SPAD 值随着密植水平增加而降低,拔节期玉米钱玉 568 的处理 AT1 SPAD 值显著高于 AT4,AT1、AT2 和 AT3 相较于 ACK 分别提高 8.57%、3.39% 和 2.83%,AT4 相较于 ACK 降低 6.05%;玉米长发 1 号的处理 BT1 和 BT2 显著高于 BT4,BT1、BT2 和 BT3 相较于 BCK 分别提高 6.79%、6.55% 和 0.41%,BT4 相较于 BCK 降低 5.88%。

大喇叭口期玉米钱玉 568 的处理 AT1 SPAD 值显著高于 AT4,AT1、AT2 和 AT3 相较于 ACK 分别提高 10.52%、7.76% 和 1.03%,AT4 相较于 ACK 降低 5.55%;玉米长发 1 号的处理 BT1 显著高于 BT4,BT1、BT2 和 BT3 相较于 BCK 分别提高 7.97%、5.27% 和 0.87%,BT4 相较于 BCK 降低 2.84%。

吐丝期玉米钱玉 568 的处理 AT1 显著高于 AT3、AT4 和 ACK,AT2 显著高于 ACK。AT1、AT2、AT3 和 AT4 相较于 ACK 分别提高 21.49%、12.16%、5.92% 和 3.86%;玉米长发 1 号的处理 BT1 显著高于 BT3、BT4 和 BCK,且 BT3 显著高于 BT4 和 BCK。BT1、BT2、BT3 和 BT4 相较于 BCK 分别提高 15.00%、11.21%、9.55% 和 0.64%。

表 2 不同间作密度对玉米 SPAD 值的影响

品种	处理	SPAD 值		
		拔节期	大喇叭口期	吐丝期
钱玉 568	AT1	44.87±0.87 a	47.00±1.20 a	51.27±1.92 a
	AT2	42.73±2.15 ab	45.83±2.48 ab	47.33±2.26 ab
	AT3	42.50±0.94 ab	42.97±1.37 abc	44.70±1.49 bc
	AT4	38.83±2.53 b	40.17±1.77 c	43.83±2.42 bc
	ACK	41.33±1.83 ab	42.53±1.48 bc	42.20±0.57 c

表 2 (续)

品种	处理	SPAD 值		
		拔节期	大喇叭口期	吐丝期
长发 1 号	BT1	44.67±1.22 a	45.67±0.90 a	48.53±1.03 a
	BT2	44.57±2.67 a	44.53±0.83 ab	46.93±0.33 ab
	BT3	42.00±2.48 ab	42.67±2.19 ab	46.23±0.91 b
	BT4	39.37±1.51 b	41.10±1.04 b	42.47±0.41 c
	BCK	41.83±1.58 ab	42.30±1.49 ab	42.20±0.57 c

注:不同小写字母表示各处理间在 $P<0.05$ 水平差异显著。下同。

2.2 不同间作密度对玉米光合参数的影响

由表 3 可知,随着生育期的推进,各处理的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)和蒸腾速率(T_r)皆呈递减趋势,间作处理的 T1、T2、T3 指标仍高于玉米单作(CK)处理。

2.2.1 净光合速率 在拔节期,钱玉 568 的净光合速率表现为处理 AT1 和 AT2 显著高于 ACK 和 AT4,各间作处理分别较 ACK 高 18.64%、16.39%、11.29%和 8.67%;长发 1 号在拔节期净光合速率表现为 BT1 显著高于 BT4 和 BCK, BT2 和 BT3 显著高于 BT4 但与 BCK 处理差异不显著, BT1、BT2 和 BT3 处理分别较 BCK 高 20.84%、17.61%和 14.79%,虽处理 BT4 较单作 BCK 降低 1.39%但无显著差异。

在吐丝期,钱玉 568 净光合速率表现为 AT1 显著高于其他处理, AT1、AT2 和 AT3 处理分别比 ACK 高 24.93%、15.90%和 12.60%;而处理 AT4 却比 ACK 低,相较于 ACK 处理降低 3.76%;长发 1 号在吐丝期净光合速率表现为处理 BT1、BT2 和 BT3 显著高于 BT4 和 BCK, BT1、BT2 和 BT3 相较于 BCK 分别提高 31.18%、26.21%和 16.83%;处理 BT4 反而降低,相较于 BCK 处理降低 1.24%。

2.2.2 气孔导度 在拔节时期,钱玉 568 玉米气孔导度表现为处理 AT1 显著高于 ACK 和 AT4, AT2 和 AT3 高于 ACK 但差异并不显著,间作处理 AT1、AT2 和 AT3 较单作 ACK 处理分别高 25.71%、11.43%和 8.57%; AT4 较单作降低 8.57%。玉米长发 1 号在拔节期气孔导度表现为

处理 BT1 显著高于 BCK 和 BT4, BT2 和 BT3 高于 BCK 但差异并不显著,处理 BT1、BT2 和 BT3 较 BCK 处理分别高 12.50%、9.38%和 6.25%; BT4 较 BCK 降低 3.12%。

在吐丝期,钱玉 568 的气孔导度表现为处理 AT1 显著高于 AT3、AT4 和 ACK,处理 AT1、AT2 和 AT3 较 ACK 分别高 43.48%、26.09%和 4.35%; AT4 虽较 ACK 降低 4.35%,但无显著差异。玉米长发 1 号在吐丝期气孔导度表现为处理 BT1 和 BT2 显著高于 BT4 和 BCK,处理 BT1、BT2 和 BT3 较 BCK 分别提高 47.62%、38.10%和 23.81%; BT4 虽较 BCK 降低 28.57%,但无显著差异。

2.2.3 胞间 CO_2 浓度 在拔节期和吐丝期,玉米钱玉 568 处理 AT1 均显著高于其他处理,在拔节期,各间作处理胞间 CO_2 浓度较 ACK 分别高 70.74%、48.33%、38.73%和 36.32%,在吐丝期,各间作处理胞间 CO_2 浓度较 ACK 分别高 67.92%、31.77%、14.24%和 6.71%。玉米长发 1 号在拔节期处理 BT1 显著高于 BCK,高出 37.91%。吐丝期 BT1 显著高于 BT4 和 BCK,分别高出 39.47%和 67.86%。

2.2.4 蒸腾速率 在拔节期玉米钱玉 568 处理 AT1 显著高于 AT4 和 ACK 分别提高 15.13%和 19.73%,吐丝期 AT1 显著高于 AT4 和 ACK 分别高 59.06%和 62.64%。玉米长发一号在拔节期 BT1 显著高于 BCK,提高 19.38%,在吐丝期 BT1 显著高于 BT4 和 BCK,分别提高 38.78%和 47.76%。各间作处理均高于单作。

表 3 不同间作密度对玉米光合参数的影响

品种	处理	净光合速率/ $[\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}]$		气孔导度/ $[\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}]$		胞间 CO_2 浓度/ $(\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1})$		蒸腾速率/ $[\text{mmol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}]$	
		拔节期	吐丝期	拔节期	吐丝期	拔节期	吐丝期	拔节期	吐丝期
钱玉 568	AT1	45.83±2.08 a	40.54±1.79 a	0.44±0.07 a	0.33±0.02 a	162.54±7.98 a	172.25±8.67 a	5.40±0.10 a	5.79±0.16 a
	AT2	44.96±1.86 a	37.61±1.50 b	0.39±0.01 ab	0.29±0.04 ab	141.21±8.84 b	135.17±0.62 b	5.03±0.13 ab	4.60±0.51 ab
	AT3	42.99±1.84 ab	36.54±0.82 b	0.38±0.02 ab	0.24±0.02 bc	132.07±8.33 b	117.19±13.10 bc	4.91±0.45 ab	4.53±0.45 ab
	AT4	41.98±1.04 b	31.23±0.74 c	0.32±0.01 b	0.22±0.03 c	129.78±8.29 b	109.46±7.16 c	4.69±0.29 b	3.64±0.92 b
	ACK	38.63±2.64 b	32.45±0.61 c	0.35±0.05 b	0.23±0.02 bc	95.20±6.96 c	102.58±5.77 c	4.51±0.09 b	3.56±0.71 b

表 3 (续)

品种	处理	净光合速率/[$\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$]		气孔导度/[$\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$]		胞间 CO_2 浓度/($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)		蒸腾速率/[$\text{mmol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$]	
		拔节期	吐丝期	拔节期	吐丝期	拔节期	吐丝期	拔节期	吐丝期
长发 1 号	BT1	45.28±1.19 a	41.23±1.83 a	0.36±0.02 a	0.31±0.03 a	123.30±7.84 a	89.42±9.45 a	5.05±0.04 a	5.94±0.49 a
	BT2	44.07±2.79 ab	39.67±2.58 a	0.35±0.01 ab	0.29±0.08 a	119.77±6.52 a	87.78±6.17 a	5.04±0.31 a	5.60±0.53 a
	BT3	43.01±2.27 ab	36.72±1.75 a	0.34±0.01 ab	0.26±0.03 ab	115.84±3.47 a	81.25±8.82 ab	4.84±0.37 ab	4.95±0.37 ab
	BT4	36.95±1.32 c	31.04±1.66 b	0.31±0.02 b	0.15±0.02 b	114.25±7.74 a	64.11±4.91 bc	4.57±0.37 ab	4.28±0.72 b
	BCK	37.47±1.07 bc	31.43±1.32 b	0.32±0.01 b	0.21±0.01 b	89.40±5.53 b	53.27±9.94 c	4.23±0.22 b	4.02±0.24 b

由表 3 中 2022 年试验结果可知,随着生育期的推进,各处理的净光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度和蒸腾速率皆呈递减趋势,间作处理的 T1、T2、T3 指标仍高于单作处理,且具有显著 ($P<0.05$) 性差异。各指标在两个生育时期整体表现为: $T1>T2>T3>CK>T4$ 。其中, T1 间作处理效果最好。

2.3 不同间作密度对玉米干物质积累和收获指数的影响

由表 4 可知,收获期(R6 时期),玉米钱玉

568 的单株籽粒产量 AT2 显著高于 AT4 和 ACK,分别高出 24.20% 和 35.14%。单株生物产量 AT3 显著高于 AT1、AT4 和 ACK。从收获指数来看,AT1 显著高于其他间作处理,具体排序 $AT1>ACK>AT4>AT2>AT3$ 。

玉米长发 1 号收获期(R6 时期),间作玉米的单株籽粒产量 BT2 显著高于其他处理。单株生物产量 BT2 显著高于 BT1 和 BT3,分别高出 19.94% 和 14.87%,BT3 显著高于 BT1。从收获指数来看 $BT1>BT3>BT4>BT2>BCK$ 。

表 4 不同间作密度对玉米干物质积累及收获指数的影响

品种	处理	单株籽粒产量/g	单株生物产量/g	收获指数
钱玉 568	AT1	250.16±13.24 ab	449.73±30.22 bc	55.62%±0.0 a
	AT2	270.27±12.86 a	515.90±33.14 ab	52.39%±0.0 b
	AT3	264.00±26.32 ab	539.46±34.61 a	48.94%±0.0 c
	AT4	217.60±6.28 bc	413.00±17.71 c	52.69%±0.0 b
	ACK	200.00±28.61 c	376.46±43.91 c	53.1.%±0.0 b
长发 1 号	BT1	254.50±16.36 b	453.73±33.87 c	56.09%±0.0 a
	BT2	279.70±7.83 a	544.20±6.80 a	51.40%±0.0 b
	BT3	249.80±5.90 b	473.77±13.88 b	52.73%±0.0 b
	BT4	258.03±2.69 ab	496.87±15.31 ab	51.93%±0.01 b
	BCK	240.83±8.84 b	509.17±24.79 ab	47.30%±0.02 c

2.4 不同间作密度对玉米产量的影响

由表 5 可知,间作条件下各品种玉米产量都有不同程度的提高,其中,玉米钱玉 568 不同间作密度处理的 AT4 产量均显著高于 AT1 和 AT2 处理,分别高出 21.51% 和 16.57%,单作处理 ACK 显著低于间作处理,各处理产量排序为 $AT4>AT3>AT2>AT1>ACK$ 。

玉米长发 1 号的产量为 BT4 处理显著高于 BT1 和 BT2,分别高出 23.49% 和 18.77%,单作处理 BCK 显著低于间作处理,各处理产量排序为 $BT4>BT3>BT2>BT1>BCK$ 。进一步说明,间作更有利于玉米产量的提高。

表 5 不同间作密度对玉米产量的影响

单位: $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$

处理	钱玉 568 产量	处理	长发 1 号产量
AT1	16561.28±994.12 b	BT1	16839.61±1000.19 c
AT2	17263.78±1154.51 bc	BT2	17508.02±988.84 bc
AT3	19530.52±439.83 ab	BT3	19258.67±2161.37 ab
AT4	20124.28±2090.33 a	BT4	20794.53±1512.69 a
ACK	12872.76±1144.99 d	BCK	14252.68±502.99 d

3 讨论

SPAD 值作为反映作物叶片叶绿素含量的指标,与作物的生长状况和产量密切相关。适当的

间作密度可以提高作物的 SPAD 值,进而促进作物的生长和产量。这是因为叶绿素是光合作用的关键色素,其含量的增加可以提高作物的光合效率,增加有机物的合成和积累,从而提高作物的产量。此外,适当的间作密度还可以改善作物的品质,提高作物的市场竞争力。本研究中,5.25 万、6.00 万和 7.50 万株·hm⁻² 间作处理玉米的 SPAD 值,均高于 6.00 万株·hm⁻² 单作处理,这与张建华等^[9] 研究一致,表明间作种植可有效提高玉米 SPAD 值。

在禾豆间作系统中,种植模式与栽培环境共同影响着光能的分布和利用,通风透光环境的优劣是决定作物生长发育及产量形成的关键^[10-12]。袁嘉磊^[13] 的研究表明,玉米大豆 4:4 间作模式对玉米叶片的光合能力有显著提升作用,且光合速率和蒸腾速率总体表现最佳;而 2:3 间作模式则对大豆光合能力有显著促进作用。张美微等^[14] 研究指出,玉米和花生间作显著改善了夏玉米的光照条件,提高了玉米的冠层透光率,增强了光合速率,提高了光合特性,增大了光合产物向籽粒中的分配比率。目前普遍认为,光合速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度及蒸腾速率为评价光合效果的 4 个评定指标^[15]。在本研究中,在不同间作密度下的净光合速率、蒸腾速率、胞间 CO₂ 浓度、气孔导度在拔节期和吐丝期,各处理玉米光合速率变化规律相同,均呈现随密度降低增长趋势,与前人研究一致。其中,间作 5.25 万株·hm⁻² 处理的净光合速率、蒸腾速率、胞间 CO₂ 浓度、气孔导度在拔节期均为最大值,且显著高于 6.00 万株·hm⁻² 单作处理($P < 0.05$)。

玉米产量受许多因素的影响,除了品种自身的影响因素外,气象因子、环境条件、栽培条件等也会对其产生一定影响^[16-17]。本研究表明间作增加了玉米产量,且增产效果显著,这与申磊等^[18] 的研究结果一致。其中,9.00 万株·hm⁻² 处理下的产量最大,钱玉 568 玉米可达 20 124.28 kg·hm⁻²,长发 1 号玉米可达 20 794.53 kg·hm⁻²,最具间作优势。整体来看,间作处理能提高玉米收获指数,其中 5.25 万株·hm⁻² 处理下玉米收获指数最高,钱玉 568 可达 55.62%,长发 1 号可达 56.09%。

4 结论

本研究中,玉米密度为 5.25 万、6.00 万和 7.50 万株·hm⁻² 与大豆间作处理 SPAD 值,均高

于玉米 6.00 万株·hm⁻² 单作处理,间作种植可有效提高玉米 SPAD 值。在不同间作密度下的净光合速率、蒸腾速率、胞间 CO₂ 浓度、气孔导度在拔节期和吐丝期,各处理玉米光合速率变化规律相同,均呈现随密度降低增长趋势。间作增加了玉米产量,且增产效果显著。其中,9.00 万株·hm⁻² 处理下的产量最大,钱玉 568 玉米可达 20 124.28 kg·hm⁻²,长发 1 号玉米可达 20 794.53 kg·hm⁻²,最具间作优势。

参考文献:

- [1] HAN F, GUO R, HUSSAIN S, et al. Rotation of planting strips and reduction in nitrogen fertilizer application can reduce nitrogen loss and optimize its balance in maize-peanut intercropping[J]. *European Journal of Agronomy*, 2023, 143: 126707.
- [2] ALI RAZA M, GUL H, WANG J, et al. Land productivity and water use efficiency of maize-soybean strip intercropping systems in semi-arid areas: a case study in Punjab Province, Pakistan [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 308: 127282.
- [3] 郭建秋, 晏云, 李林, 等. 间作对大豆形态、光合荧光特性、农艺性状、产量及品质的影响[J]. *江苏农业科学*, 2024, 52(2): 112-117.
- [4] 颜健辉, 杨相昆, 张占琴, 等. 不同大豆玉米品种及不同间作模式对群体结构和产量的影响[J]. *新疆农垦科技*, 2023, 46(6): 14-20.
- [5] 郑皓远, 陈喜凤, 郭丹阳, 等. 条带间作对玉米大豆光能利用特征、产量及经济收入的影响[J]. *东北农业科学*, 2023, 48(6): 1-5.
- [6] WANG X L, FENG Y J, YU L L, et al. Sugarcane/soybean intercropping with reduced nitrogen input improves crop productivity and reduces carbon footprint in China[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 719: 137517.
- [7] ZHANG Y T, LIU J, ZHANG J Z, et al. Row ratios of intercropping maize and soybean can affect agronomic efficiency of the system and subsequent wheat[J]. *PLoS One*, 2015, 10(6): e0129245.
- [8] 王敏, 舒泽兵, 封亮, 等. 种植密度对北疆灌区带状间作青贮玉米-大豆物质积累及产量的影响[J]. *四川农业大学学报*, 2024, 42(4): 735-743, 761.
- [9] 张建华, 马义勇, 王振南, 等. 间作系统中玉米光合作用指标改善的研究[J]. *玉米科学*, 2006, 14(4): 104-106.
- [10] 唐红琴, 李忠义, 董文斌, 等. 不同间作绿肥替代化肥模式对木薯性状和产量的影响[J]. *作物杂志*, 2021(4): 184-190.
- [11] 苏在东. 大豆玉米带状复合种植模式的尝试与探索[J]. *河北农业*, 2024(2): 40-41.
- [12] 李军伟, 高丽惠, 郭士松, 等. 玉米大豆混合青贮的应用前景[J]. *河北农业*, 2024(1): 89-90.
- [13] 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: 内蒙古农业大学, 2021.

- [14] 张美微,李志源,鲁振,等.吐丝期干旱对夏玉米叶绿素荧光特性和产量的影响[J].南方农业学报,2021,52(4):924-930.
- [15] 申露婷.不同水分胁迫对大豆光合和叶绿素荧光的影响研究[D].南京:南京信息工程大学,2021.
- [16] GAO H X, ZHANG C C, van der WERF W, et al. Intercropping modulates the accumulation and translocation of dry matter and nitrogen in maize and peanut[J]. Field Crops Research, 2022, 284: 108561.
- [17] 王辉,张晓祥,王平喜,等.玉米产量构成要素的通路分析[J].河南科技学院学报(自然科学版),2022,50(4):17-22.
- [18] 申磊,王秀媛,滕元旭,等.干旱区玉米大豆间作生长及产量影响的研究[J].石河子大学学报(自然科学版),2022,40(1):13-20.

Effects of Intercropping Density of Maize and Soybean on Photosynthetic Characteristics and Yield of Maize

LIN Qingqiao¹, CHENG Meng¹, HAO Yubo², YU Yang², JIANG Yubo², LÜ Guoyi², JIAO Feng¹, QIAN Chunrong²

(1. Agricultural College, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China; 2. Institute of Crop Cultivation and Faming, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150023, China)

Abstract: In order to fully tap the potential of intercropping density to increase yield of maize, maize monoculture was taken as the control in this study, and the planting density was 60 000 plants·ha⁻¹ (CK). Maize and soybean intercropping were set up with four planting densities of 52 500 plants·ha⁻¹ (T1), 60 000 plants·ha⁻¹ (T2), 75 000 plants·ha⁻¹ (T3) and 90 000 plants·ha⁻¹ (T4). To explore the effects of different intercropping densities on photosynthetic characteristics, SPAD and yield of maize. The results showed that the main results were as follows: the trend of maize Qianyu 568 and Changfa 1 was the same, and the SPAD of maize with different intercropping density increased, and gradually decreased T1, T2 and T3 were higher than CK, increasing by 21.49%, 12.15% and 5.92%, respectively. Net photosynthetic rate, transpiration rate, intercellular carbon dioxide and stomatal conductance decreased gradually with the increase of intercropping density, and intercropping treatment T1, T2 and T3 were higher than CK. In terms of yield, intercropping significantly increased maize yield, and the yield gradually increased with the increase of intercropping density.

Keywords: maize; soybean; intercropping density; photosynthetic properties

立足黑龙江 辐射全中国 聚焦大农业 促进快发展 欢迎订阅2025年《黑龙江农业科学》

《黑龙江农业科学》是黑龙江省农业科学院主管、主办的综合性农业科技期刊，是全国优秀期刊、黑龙江省优秀期刊、CACJ中国应用型核心期刊。现已被国内多家权威数据库收录。

月刊，每月10日出版，国内外公开发行人。国内邮发代号14-61，每期定价25.00元；国外发行代号M8321，每期定价25.00美元。

热忱欢迎广大农业科研工作者、农业院校师生、国营农场及农业技术推广人员、管理干部和广大农民群众踊跃订阅。全国各地邮局均可订阅。

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告

地址:哈尔滨市南岗区学府路368号《黑龙江农业科学》编辑部
邮编:150086 电话:0451-51522869 投稿网址:hljnykx.haasep.cn

