



大豆玉米带状复合种植条件下的玉米品种筛选

刘丹丹,杨旺井,李亚伟,张 擎,张栋渊,李周帅,宋思颖,
秦冠荣,罗明明,周 童,秦晓梁,薛吉全,徐淑兔

(西北农林科技大学 农学院,西北旱区玉米生物学与遗传育种重点实验室,陕西杨凌 712100)

摘 要 为筛选适宜复合种植的玉米品种,在渭北地区以5个玉米品种(‘陕单650’、‘延科288’、‘榆单896’、‘郑单958’、‘陕单660’)为材料,按照大豆玉米4:2(玉米种植密度为75 000株/hm²,大豆种植密度为150 000株/hm²)的复合种植模式进行适宜复合种植玉米品种的筛选试验。结果表明:在大豆玉米4:2的复合种植模式下,玉米品种‘陕单650’、‘郑单958’综合表现较好,穗行数、行粒数较多,产量较高。‘陕单650’两年产量均位居前列(103 76.36 kg/hm²,9 716.64 kg/hm²),倒伏率较低(1.2%~1.65%),抗倒伏能力强于‘郑单958’。研究筛选出适宜复合种植的玉米品种,有助于玉米大豆复合种植模式的推广。

关键词 玉米;大豆;复合种植;品种筛选

近年来,全球人口不断增加,气温持续上涨,农业领域研究的重点在于提高粮食总产量^[1]。中国要以7%的耕地养活世界上20%的人口^[2-3],可利用的耕地资源有限,仅仅通过扩大特定作物的种植面积来提高产量收效甚微,因此,在保证生态安全的基础上,合理优化耕地资源配置,提高单位面积产量是农业生产中一个亟待解决的问题^[4]。

大豆和玉米是中国重要的粮油兼用作物,在全国可利用土地资源日益减少的背景下,提高玉米和大豆的单产水平对保证高产、稳产和保障国家粮食安全具有重大意义。国家统计局数据显示,中国大豆消费量由2014年的8 408.88万t增加至2022年的11 124.36万t。虽然中国大豆总产量呈逐年上升趋势,由2014年的1 268.57万t增长到了2024年的2 065.24万t,但是进口的大豆由2014年的7 140.31万t增长到了2024年的10 503.00万t,虽然进口量相较于十年前略有减少,但大豆进口依存度仍高达83.57%。大豆已成为中国粮食安全中最易被“卡脖子”的地方,是国家粮食安全战略中最为脆弱的一环,想要从根本上解决这一问题就需要增加大豆种植面积和提

高大豆单产^[5]。

间作可以缓解不同作物对土地资源的竞争,合理地选择两种或两种以上的作物进行间作种植,可以提高作物综合产量,对农业生产具有重要意义^[6]。研究表明,间作可以通过提高水、养分、土地、太阳辐射和大气CO₂等资源利用率来提高综合产量^[7],还有助于减少耕地对环境的不利影响,例如气候变化、土壤酸化、生态毒性等^[8],在可持续农业的发展中起着重要作用。

玉米-大豆带状复合种植已融入中国农业生产,为确保国家粮食安全提供了有力保障^[9]。玉米-大豆带状复合种植模式是由传统间套作模式创新发展而来的,这种模式可以扩大高位作物(玉米)的边行优势,增加低位作物(大豆)的受光面积,实现玉米和大豆年际间的地内轮作,更适应于机械化作业,是不同作物间和谐共生的一季双收种植模式^[10]。该模式具有高产出、可持续、机械化、低风险等优势,可以调整农业结构、实现光能资源的高效利用,通过合理间作,可降低种植单一作物面临的生产风险^[11]。

旬邑县地处渭北黄土高原沟壑区,地形主要

收稿日期:2025-05-23 修回日期:2025-07-16

基金项目:农业生物育种重大专项(2022ZD04005)。

第一作者:刘丹丹,女,硕士研究生,从事玉米遗传育种研究。E-mail:liudandan@nwafu.edu.cn

杨旺井,男,硕士研究生,从事玉米遗传育种研究。E-mail:yang2294667587@nwafu.edu.cn

通信作者:徐淑兔,女,副教授,博士生导师,主要从事玉米遗传育种研究。E-mail:shutuxu@nwafu.edu.cn

薛吉全,男,教授,博士生导师,主要从事玉米育种与栽培学研究。E-mail:xjq2934@163.com

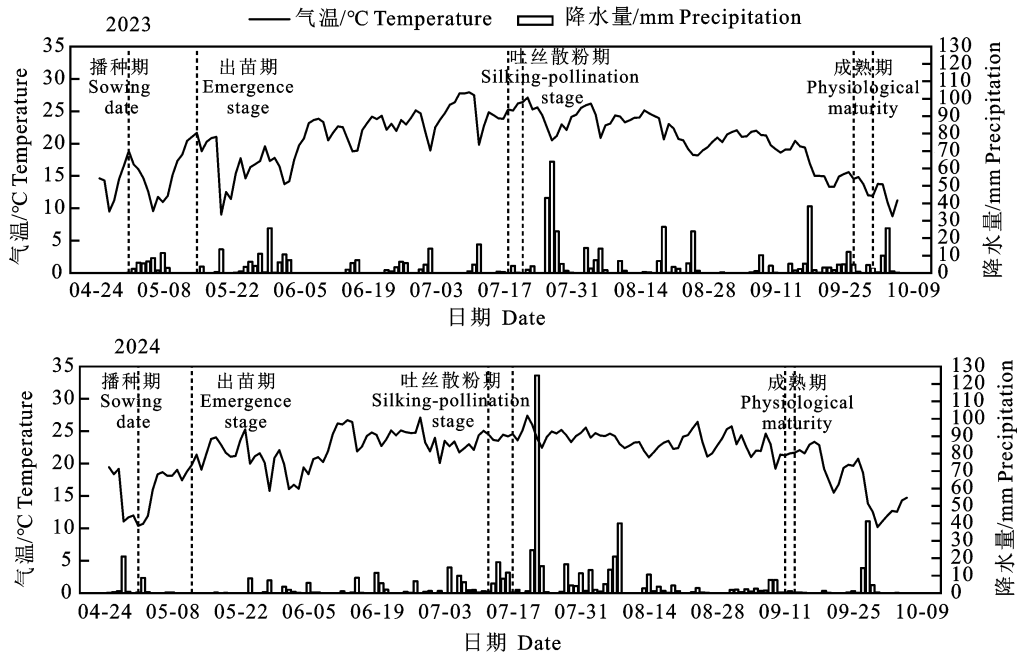


图 2 2023 年和 2024 年试验期间旬邑点气温降水变化图

Fig. 2 Temperature and precipitation variation at Xunyi site during 2023 and 2024 experimental periods

位系数:

$$\text{穗位系数} = \text{穗位高} / \text{株高} \times 100\%$$

1.4.3 玉米田间倒伏率及产量相关指标 在成熟期调查各小区倒伏株数、有效株数后进行收获, 分别在各处理的每行玉米中取连续 5 株, 测定玉米各行果穗的秃尖长、穗行数、行粒数、穗粒数和百粒质量。选取未曾取样的完整两行统计有效株数(N), 人工收获测产, 挂晒晾干, 全部脱粒用电子秤测量 10 株籽粒干质量(G), 用 PM-8188 谷物水分测定仪测定玉米籽粒的含水量(W), 并折合成 14% 标准含水量计算产量。根据每小区实际占地面积计算实际产量。小区面积为(S), 小区产量为(Y)。其中质量单位采用 kg, 面积单位采用 m², 产量单位采用 kg/hm² 表示。

$$Y = \frac{G}{10} \times N + \frac{1-W}{1-14\%} \times \frac{10\ 000}{S}$$

产量性状相关性分析利用两年各性状 3 个重复值及均值计算, 使用 IBM SPSS Statistics 27 软件进行分析, 采用 Pearson 检验, 显著性水平 $P < 0.05$ 。

1.5 数据处理与分析

本试验使用 Microsoft Excel 2019 进行数据整理。使用 IBM SPSS Statistics 27 软件在 0.05 置信度水平上进行双因素方差分析(双因素分别为品种和年份), 并使用 Duncan's 检验法进行多重比较。由 Excel 2019、Origin 2025 完成绘图。

2 结果与分析

2.1 大豆玉米复合种植下不同玉米性状的基本描述统计

由表 2 可知大豆玉米间作不同玉米品种秃尖长的变异系数在 2023 年和 2024 年分别为 41.51%、48.74%, 变异系数较大, 说明两年里秃尖长的变化差异较大, 株高、穗位高、穗位系数、穗长、结实长、穗行数、行粒数、穗粒数、百粒质量、产量两年里的变异系数范围是 5.23%~15.05%, 变异系数适中, 说明两年试验不同品种之间各性状均存在一定的表型变异, 且两年表现较为一致。

2.2 大豆玉米复合种植下不同玉米性状方差分析

如表 3 所示, 2023 年和 2024 年大豆一玉米带状复合种植条件下不同玉米品种的株高、穗位高、穗位系数、秃尖长、穗行数、行粒数、穗粒数、百粒质量均达到显著差异或极显著差异水平, 说明在复合种植下不同玉米品种的植株性状差异较大。而产量性状在两年里的 F 值较小, 没有达到显著差异。2023 和 2024 年间玉米各农艺性状方差分析结果显示, 两年间各品种穗行数差异并不显著, 说明玉米穗行数性状在年际间较为稳定, 受环境影响较小。其余性状年际差异显著, 其中穗位高、穗位系数、行粒数、穗粒数等性状更是达到了极显著水平。

表 2 不同玉米品种各性状的基本描述统计

Table 2 Basic description statistics of traits in different maize varieties

年份 Year	指标 Index	最小值 Min	最大值 Max	平均值 Mean	标准差 MD	变异系数/% CV
2023	株高/cm Plant height	230.00	281.20	255.67	17.97	7.03
	穗位高/cm Ear height	88.00	125.00	110.80	12.75	11.51
	穗位系数/% Ear height index	35.20	49.02	42.97	4.28	9.97
	穗长/cm Ear length	12.56	17.10	14.61	1.01	0.07
	秃尖长/cm Bare tip length	0.28	1.58	0.97	0.40	41.51
	结实长/cm Grain-filled length	11.89	15.60	13.64	0.91	0.07
	穗行数 Kernel row number	15.60	18.20	16.48	0.86	5.23
	行粒数 Kernels per row	27.85	35.00	31.52	2.01	6.36
	穗粒数 Total kernel number per ear	451.17	593.63	519.54	44.20	8.51
	百粒质量/g 100-kernel mass	22.86	33.74	28.73	3.54	12.33
	产量/(kg/hm ²) Yield	8 294.21	11 476.34	10 023.68	1 092.33	10.90
2024	株高/cm Plant height	209.00	265.60	240.84	18.62	7.73
	穗位高/cm Ear height	67.00	113.20	86.09	12.96	15.05
	穗位系数/% Ear height index	30.73	45.39	35.74	4.60	12.86
	穗长/cm Ear length	11.54	15.80	13.33	1.12	0.08
	秃尖长/cm Bare tip length	0.26	1.17	0.65	0.32	48.74
	结实长/cm Grain-filled length	10.66	15.18	12.68	1.14	0.09
	穗行数 Kernel row number	14.80	18.80	16.53	1.25	7.56
	行粒数 Kernels per row	21.90	32.80	27.53	3.29	11.94
	穗粒数 Total kernel number per ear	324.12	550.84	455.63	67.05	14.72
	百粒质量/g 100-kernel mass	26.90	39.13	32.33	3.74	11.57
	产量/(kg/hm ²) Yield	7 547.19	10 467.68	9 104.79	878.16	9.65

表 3 不同玉米品种各性状的方差分析

Table 3 Analysis of variance of different traits in different varieties

变异来源 Source of variation	株高 Plant height	穗位高 Ear height	穗位系数 Ear height index	穗长 Ear length	秃尖长 Bare tip length	结实长 Grain-filled length	穗行数 Kernel row number	行粒数 Kernels per row	穗粒数 Total kernel number per ear	百粒质量 100-kernel mass	产量 Yield
品种 Variety	33.183 **	38.343 **	27.122 **	3.75 *	4.136 *	2.749	13.674 **	10.34 **	9.586 **	20.955 **	1.247
年份 Year	37.079 **	182.59 **	131.939 **	15.97 **	16.129 **	7.764 *	0.055	47.107 **	22.723 **	49.497 **	6.29 *
品种×年份 Variety×Year	7.053 **	2.791	11.183 **	1.59	9.817 **	0.616	2.298	5.088 **	2.154	21.538 **	0.582

注: ** 表示 0.01 水平下差异显著, * 表示 0.05 水平下差异显著, 下同。

Note: ** indicates a significant difference at the 0.01 level, * indicates a significant difference at the 0.05 level, the same below.

2.3 大豆玉米复合种植不同玉米产量性状相关性分析

对各性状进行相关性分析可知,2023 年,穗粒数与穗行数、行粒数呈极显著正相关,秃尖长与百粒质量呈极显著负相关,产量与穗位高、穗位系数、穗行数、穗粒数、百粒质量呈正相关,与秃尖长、行粒数呈负相关。2024 年产量与株高、穗位高、穗位系数、穗行数、行粒数、穗粒数均呈正相

关,与秃尖长、百粒质量呈负相关(图 3)。

2.4 大豆玉米复合种植对不同玉米品种生育期的影响

通过调查试验材料的生育期发现(表 4),同一年试验中,5 个品种在大豆玉米复合种植模式下,出苗时间基本一致,其中 2023 年均均为 14 d,2024 年均均为 11 d。可能由于 2024 年播种后的第一次降雨较 2023 年更早,对于雨养旱作区的玉米

生长而言,更有利于出苗,这也带来了后期整个生育期提前,即 2024 年复合种植下玉米品种生育期

为 134 至 136 d。整体而言,各品种在复合种植条件下,生育期差异不大。

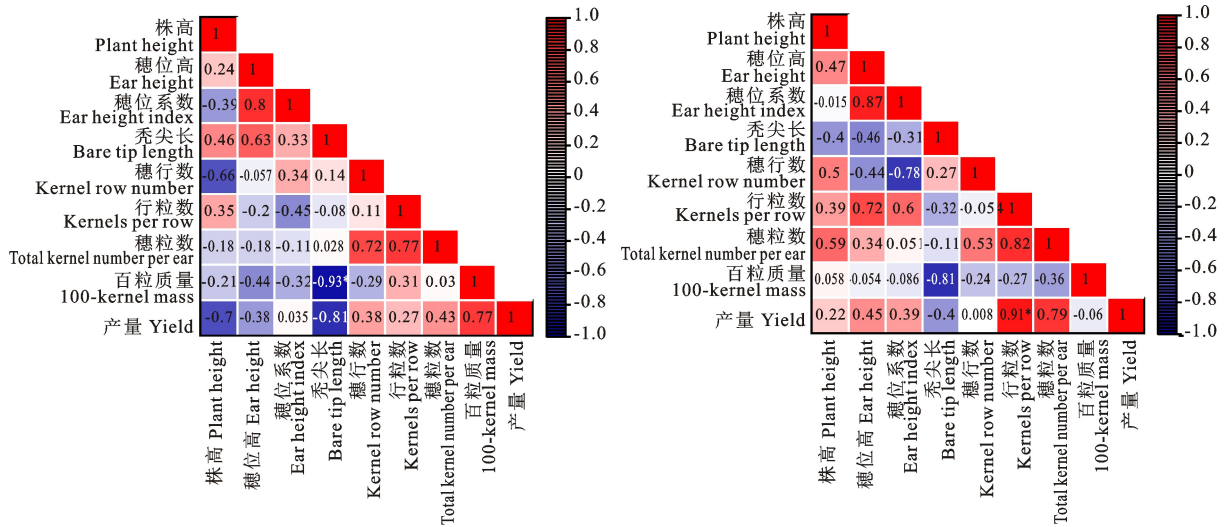


图 3 复合种植不同玉米产量性状相关性分析

Fig. 3 Correlation analysis of different maize yield traits under intercropping

表 4 大豆玉米复合种植不同玉米品种的生育进程

Table 4 Developmental stages of different maize varieties under the soybean-maize strip intercropping model

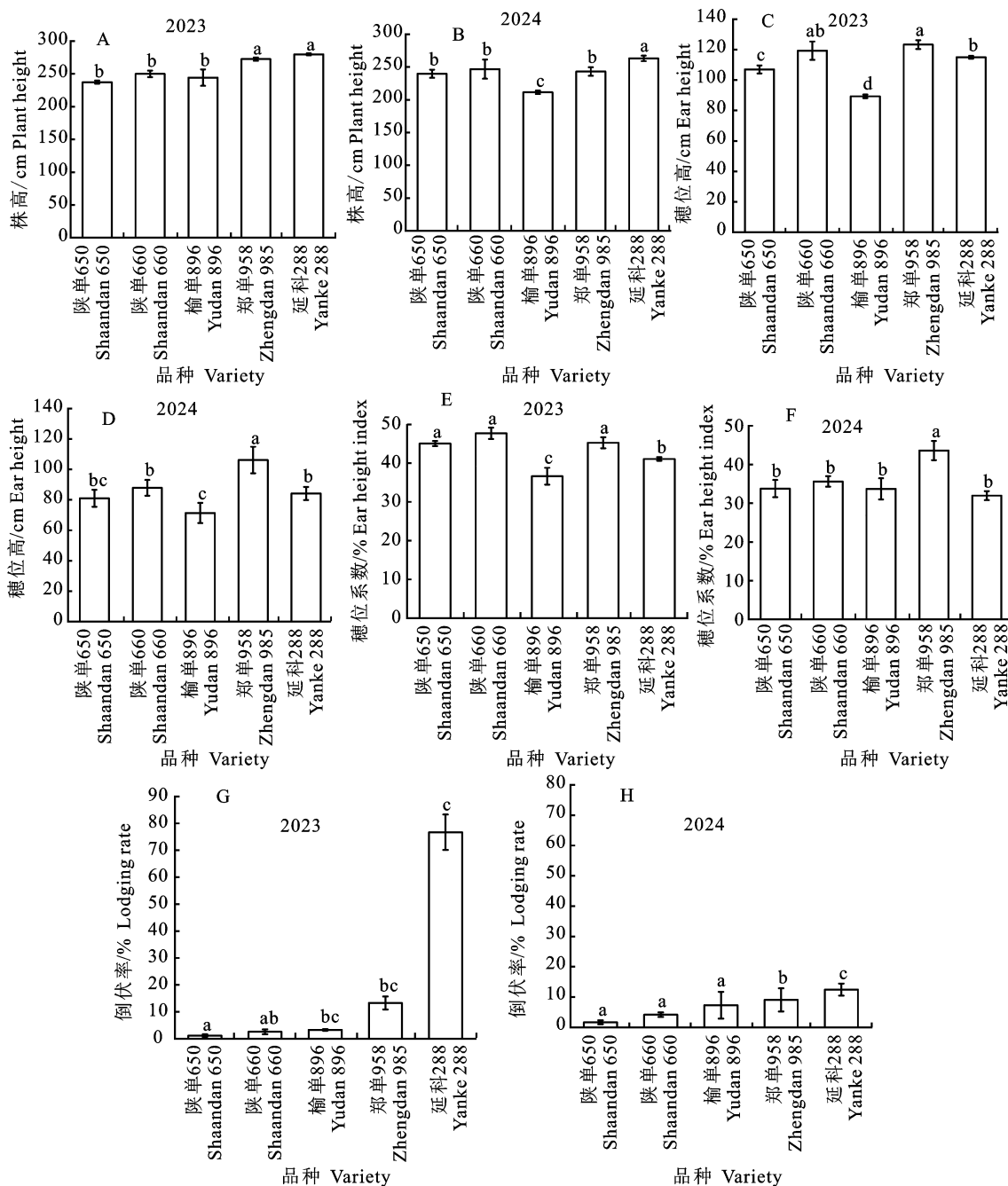
年份 Year	品种 Variety	出苗期/d Period of emergence	抽雄期/d Tasseling period	吐丝期/d Spinning stage	生育期/d Period of duration
2023	陕单 650 Shaandan 650	14	80	81	152
	陕单 660 Shaandan 660	14	80	81	151
	榆单 896 Yudan 896	14	78	79	150
	郑单 958 Zhengdan 958	14	79	81	154
	延科 288 Yanke 288	14	79	81	150
2024	陕单 650 Shaandan 650	11	74	76	136
	陕单 660 Shaandan 660	11	74	77	134
	榆单 896 Yudan 896	11	73	74	134
	郑单 958 Zhengdan 958	11	74	77	134
	延科 288 Yanke 288	11	72	73	134

2.5 大豆玉米复合种植对不同玉米品种植株性状的影响

由图 4 可知,2023 年及 2024 年‘郑单 958’穗位高均较高,显著高于‘陕单 650’‘榆单 896’‘延科 288’。综合可知,供试品种中,株高、穗位高较高的是‘郑单 958’‘延科 288’,2023 年的株高、穗位高均要高于 2024 年的数值,这是由于 2024 年在作物拔节期比较干旱,影响了株高、穗位高的发育。2023 年穗位系数较高的是‘陕单 650’‘陕单 660’‘郑单 958’,显著高于‘榆单 896’‘延科 288’。2024 年玉米穗位系数有不同差异,最大的是‘郑单 958’,显著高于其他 4 个品种。

2023 年和 2024 年试验大豆玉米间作种植不

同玉米品种处理的倒伏率大小均是‘延科 288’>‘郑单 958’>‘榆单 896’>‘陕单 660’>‘陕单 650’。复合种植条件下不同玉米品种倒伏情况存在不同差异,5 个品种两年试验间倒伏率较为严重的是‘延科 288’,倒伏率在 12.44%~76.7%之间,‘陕单 650’‘陕单 660’‘榆单 896’在 2023 年、2024 年试验倒伏情况表现较好,倒伏率为 1.2%~7.3%,抗倒伏能力较强。而 2023 年‘延科 288’在籽粒灌浆成熟后因大风天气原因发生了严重的倒伏,不利于玉米机械化收获,增加了人工收获的成本,因此认为‘延科 288’不适于复合种植。



同一组数据中标以不同小写字母表示处理间在 $P < 0.05$ 水平差异显著,下同

Within the same group, values followed by different lowercase letters differ significantly at $P < 0.05$, the same blow

图4 复合种植下不同玉米品种基本农艺性状比较分析

Fig. 4 Comparative analysis of basic agronomic traits of different maize varieties under strip intercropping model

2.6 大豆玉米复合种植不同玉米品种对产量构成因素的影响

2023年和2024年大豆玉米间作不同玉米品种处理对果穗性状的影响如表5所示,2023年秃尖长各品种最短的是‘榆单896’,为0.51 cm。穗行数最多的是‘陕单650’、显著高于‘陕单660’‘榆单896’‘郑单958’‘延科288’,行粒数最多的是‘陕单650’‘榆单896’‘郑单958’‘延科288’,

显著高于‘陕单660’。穗粒数最多的是‘陕单650’,显著高于其他品种。百粒质量最大的是‘榆单896’‘郑单958’,达到了32.82 g,31.77 g,显著高于其他品种,‘延科288’由于倒伏较为严重,所以百粒质量较低为23.7 g,显著低于其他品种。2024年穗行数、行粒数表现较好的是‘陕单650’‘陕单660’‘郑单958’,‘陕单650’在穗行数、行粒数、穗粒数方面表现均比较优异,‘郑单958’在

秃尖长、行粒数、穗粒数方面表现较为优异。由于响,行粒数、穗粒数表现较差。
2024 年‘榆单 896’穗腐病的发生导致其受到影

表 5 2023 和 2024 年不同玉米复合种植处理下产量相关性状

Table 5 Yield-related traits under different maize strip intercropping models in 2023 and 2024

年份 Year	品种 Variety	秃尖长/cm Bare tip length	穗行数 Kernel row number	行粒数 Kernels per row	穗粒数 Total kernel number per ear	百粒质量/g 100-kernel mass
2023	陕单 650 Shaandan 650	0.90 bc	18.00 a	32.50 a	584.92 a	28.72 b
	陕单 660 Shaandan 660	1.05 ab	16.33 bc	28.08 b	458.68 c	26.66 c
	榆单 896 Yudan 896	0.51 c	15.87 bc	31.88 a	505.87 b	32.82 a
	郑单 958 Zhengdan 958	0.89 bc	15.80 c	32.87 a	519.18 b	31.77 a
	延科 288 Yanke 288	1.50 a	16.40 b	32.27 a	529.08 b	23.70 d
2024	陕单 650 Shaandan 650	0.79 a	17.53 a	30.30 a	531.18 a	29.41 c
	陕单 660 Shaandan 660	1.04 a	16.93 ab	26.40 b	447.00 ab	27.67 c
	榆单 896 Yudan 896	0.77 a	15.73 bc	23.60 b	372.36 b	34.38 ab
	郑单 958 Zhengdan 958	0.33 b	15.00 c	30.90 a	463.59 ab	33.43 b
	延科 288 Yanke 288	0.32 b	17.47 a	26.43 b	464.01 ab	36.74 a

注:同组数据中标以不同小写字母表示处理间在 $P < 0.05$ 水平差异显著。

Note: Within the same group, values followed by different lowercase letters indicate significant differences at $P < 0.05$.

2.7 大豆玉米复合种植对不同玉米品种产量的影响

由图 5 可知大豆玉米复合种植不同玉米品种处理下 2023 年的各品种产量均要高于 2024 年的,说明 2023 年的生长气候对玉米来说较为适宜,2023 年各品种相比差异不显著,各品种产量大小为‘陕单 650’>‘榆单 896’>‘郑单 958’>‘陕单 660’>‘延科 288’,产量较高的为‘陕单

650’、‘榆单 896’、‘郑单 958’,产量分别达到 $10\ 376.36\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 、 $10\ 178.65\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 和 $10\ 131.23\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 。2024 复合种植不同玉米品种处理产量大小为‘陕单 650’>‘郑单 958’>‘延科 288’>‘榆单 896’>‘陕单 660’。产量最高的是‘陕单 650’、‘郑单 958’,达到了 $9\ 979.13\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 和 $9\ 716.64\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 。

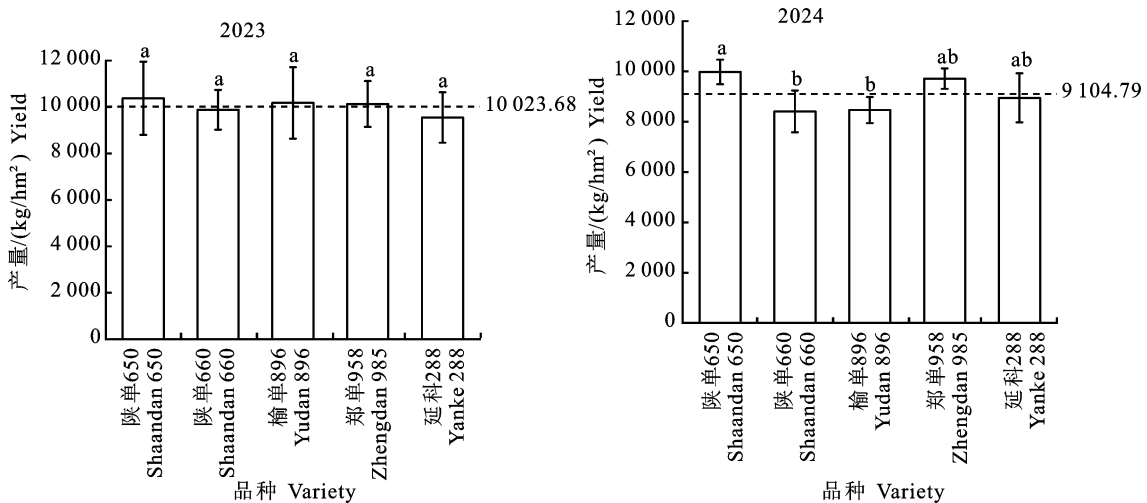


图 5 大豆玉米复合种植下不同玉米品种产量

Fig. 5 Yield of different maize varieties under soybean-maize strip intercropping

3 讨论

3.1 复合种植模式对玉米大豆的影响

玉米和大豆组合间作复合种植是半干旱条件下灌区种植作物的更优选项,Raza 等^[14]3 年田间

试验证明,与单一种植模式相比间作条件下土壤和水资源利用率大幅增加。吴宇等^[15]研究认为玉米大豆复合种植模式在与单作模式下作物的生长发育没有明显差异的条件下可以创造更高的经济效益。与单作相比,虽然间作可能导致其中一

种作物产量下降,但群体产量却得到了明显的提高,可以实现“玉米基本不减产,增收一季大豆”的目标^[16]。同时,带状复合种植技术可以有效提高农业生产效率,在增加总体产量的同时减少化肥的施用。适宜的玉米品种可以提高复合种植体系中作物植株的透光率、干物质积累量和光能利用率,从而提高土地当量比^[17]。因此,间作的两种作物可以实现资源的互补利用,玉米大豆复合种植模式作为一个整体,在总体资源捕获和利用率方面超过了单一种植模式^[18]。

玉米一大豆间作的产量动态反映了资源利用互补性与竞争性并存的生态学特征。本试验中,以‘陕单 650’为例,与单作大豆和单作玉米的产量相比,间作玉米的产量基本与单作时差异不大,但大豆减产却较多(49.9%),这种情况产生的原因一是光资源分配失衡,玉米作为 C4 植物,其高光效特性在间作中占据竞争优势,而大豆(C3 植物)受冠层遮荫导致光合速率下降^[19-20];二是地下资源竞争,在半干旱区土壤养分受限条件下,玉米根系对氮素的强竞争能力,可能加剧大豆的氮胁迫。前人研究表明,在间作中,玉米之所以生长得更好,可能与更高的光能利用率、水资源利用率^[21]、养分积累^[22]、以及边行植物的可塑性相关^[23]。与之相反的是,间作条件下大豆的生长显著低于单作大豆,并且这种差异会随着玉米密度的增加而增加,因为间作大豆会比单作大豆遭受更严重的遮光和水分胁迫^[24]。

3.2 玉米大豆复合种植不同玉米品种对植株性状的影响

不同的玉米品种存在着株型、株高等方面的差异,与大豆间作后,会影响到大豆植株株高、分枝数等性状,对大豆植株生理生长及产量形成影响则各不相同。而适宜的玉米品种可减少大豆玉米间作系统中玉米对大豆的遮荫影响^[25-26]。本试验中‘陕单 650’‘陕单 660’‘榆单 896’在两年试验里株高、穗位高均低于其他品种,在间作时可以减轻玉米株形高大对大豆带来的遮荫影响。使玉米收获时尽量不影响到大豆的产量^[27]。

3.3 玉米大豆复合种植不同玉米品种对产量及产量构成因素的影响

玉米大豆复合种植是中国农业生产中的一种典型生产方式。合理的大豆玉米间作,可以使水肥等资源利用产生互补作用,获得更高的产量和经济效益,在作物增产增效方面有重要作用^[28]。

本试验中 2023 年各玉米品种产量相比差异不显著,产量较高的为‘陕单 650’‘榆单 896’‘郑单 958’,产量分别达到了 10 376.36 kg/hm²、10 178.65 kg/hm²、10 131.23 kg/hm²。2024 复合种植不同玉米品种间产量差异显著,产量最高的是‘陕单 650’‘郑单 958’和‘延科 288’,分别达到了 9 979.13 kg/hm²、9 716.64 kg/hm² 和 8 950.05 kg/hm²,而‘榆单 896’和‘陕单 660’的产量较低,只有 8 400 kg/hm² 左右。根据旬邑地区 2023 年与 2024 年的气象数据分析(图 2),两年间气候条件存在显著差异,这是导致玉米产量差异的关键环境因素。2023 年拔节期降水较充沛,有利于正常株型的形成;2023 年玉米生育后期籽粒灌浆成熟时降水比 2024 年同时期更多,为籽粒灌浆提供了充足的水分条件,保障了灌浆期需水,适当提高了产量。虽然因为气候原因 2024 年各品种的产量与 2023 年相比均有下降,但‘陕单 650’‘郑单 958’两个品种 2024 年的产量与袁晓婷等关于各区域不同模式下作物产量与效益分析的研究结果西北地区玉米净作产量 9 710 kg/hm²^[29]相近,基本实现了“玉米不减产,多收一季豆”的理念。从穗部性状可以看出,产量表现好的,穗行数、行粒数较多,百粒质量较重,这与前人的研究玉米获得高产的关键是较多的穗粒数和较重的穗粒质量是一致的^[30]。

4 结论

通过 2023—2024 连续两年的复合种植试验,开展了适宜复合种植玉米品种的筛选。根据两年试验各品种的产量和基本农艺性状综合分析发现,玉米与大豆间作后,在不同玉米品种的配置下,各玉米品种在相同年份生育期相差不大。两年试验中‘延科 288’倒伏率均较高,尤其是 2023 年较为严重。‘陕单 650’‘陕单 660’两年里抗倒伏能力表现均较好。2023 年各品种产量相比差异不显著,产量较高的为‘陕单 650’‘榆单 896’‘郑单 958’,产量分别达到了 10 376.36 kg/hm²、10 178.65 kg/hm²、10 131.23 kg/hm²。2024 不同玉米品种处理产量最高的是‘陕单 650’‘郑单 958’,达到了 9 979.13 kg/hm²、9 716.64 kg/hm²,综合两年试验田间表现较为优异的品种为‘陕单 650’‘郑单 958’。‘陕单 650’等品种在复合种植条件下具有高产,综合性状优良等特点,可用于渭北区复合种植生产。

参考文献 Reference:

- [1] SADE N, PELEG Z. Future challenges for global food security under climate change [J]. *Plant Science*, 2020, 295: 110467.
- [2] HAN H, ZHANG X. Exploring environmental efficiency and total factor productivity of cultivated land use in China [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 726: 138434.
- [3] CHENG L, JIANG P H, CHEN W, *et al.* Farmland protection policies and rapid urbanization in China: a case study for Changzhou City [J]. *Land Use Policy*, 2015, 48: 552-566.
- [4] LI C, WANG X, JI Z, *et al.* Optimizing the use of cultivated land in China's main grain-producing areas from the dual perspective of ecological security and leading-function zoning [J]. *International Journal of Environment Research and Public Health*, 2022, 19(20): 13630.
- [5] 李 治, 何小田. 中国大豆生产时空演变格局的影响因素与优化对策研究 [J]. *大豆科学*, 2024, 43(6): 782-792.
- [6] LI C, STOMPH T J, MAKOWSKI D, *et al.* The productive performance of intercropping [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2023, 120(2): e2201886120.
- [7] ISAAC M E, HINSINGER P, HARMAND J M. Nitrogen and phosphorus economy of a legume tree-cereal intercropping system under controlled conditions [J]. *Science of the Total Environment*, 2012, 434: 71-78.
- [8] GAO Y, WU P T, ZHAO X N, *et al.* Growth, yield, and nitrogen use in the wheat/maize intercropping system in an arid region of northwestern China [J]. *Field Crop Research*, 2014, 167: 19-30.
- [9] LIU J, YANG W Y. Soybean maize strip intercropping: a solution towards food security in China [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2024, 23: 2503-2506.
- [10] 杨文钰, 雍太文, 王小春, 等. 玉米-大豆带状复合种植技术体系创建与应用 [J]. *中国高新技术*, 2020(15): 149-151.
- [11] 陈西凡. 大豆玉米带状复合种植技术及应用综述 [J]. *种子科技*, 2022, 40(14): 33-35.
- [12] 夏利恒, 刘 京, 尉 芳, 等. 陕西渭北旱塬区耕地时空格局变化分析 [J]. *农业工程学报*, 2021, 37(5): 256-264.
- [13] 李静娟, 李永宏. 旬邑县 2019 年旱地春玉米全程机械化生产技术模式示范总结 [J]. *基层农技推广*, 2020, 8(4): 9-11.
- [14] RAZA M A, YASIN H S, GUL H, *et al.* Maize/soybean strip intercropping produces higher crop yields and saves water under semi-arid conditions [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2022, 13: 1006720.
- [15] 吴 宇, 常海滨, 吴建磊, 等. 黄冈市夏玉米大豆间作与单作对比分析 [J]. *湖北农业科学*, 2021, 60(18): 26-28, 62.
- [16] 崔 婷, 陈香兰, 张 专, 等. 大豆-玉米带状间作模式的产量及效益分析 [J]. *湖南农业科学*, 2024(12): 32-36.
- [17] RAZA M A, CUI L, KHAN I, *et al.* Compact maize canopy improves radiation use efficiency and grain yield of maize/soybean relay intercropping system [J]. *Environmental Science and Pollution Research International*, 2021, 28(30): 41135-41148.
- [18] LI C, HOFFLANDE E, KUYPER T W, *et al.* Syndromes of production in intercropping impact yield gains [J]. *Nature Plants*, 2020, 6(6): 653-660.
- [19] LIU X, RAHMAN T, SONG C, *et al.* Relationships among light distribution, radiation use efficiency and land equivalent ratio in maize-soybean strip intercropping [J]. *Field Crop Research*, 2018, 224: 91-101.
- [20] YANG F, LIAO D, WU X, *et al.* Effect of aboveground and belowground interactions on the intercrop yields in maize-soybean relay intercropping systems [J]. *Field Crops Research*, 2017, 203: 16-23.
- [21] RAHMAN T, LIU X, HUSSAIN S, *et al.* Water use efficiency and evapotranspiration in maize-soybean relay strip intercrop systems as affected by planting geometries [J]. *PLoS One*, 2017, 12(6): e0178332.
- [22] AHMED S, RAZA M, ZHOU T, *et al.* Responses of soybean dry matter production, phosphorus accumulation, and seed yield to sowing time under relay intercropping with maize [J]. *Agronomy*, 2018, 8: 282.
- [23] ZHU J, VAN DER WERF W, VOS J, *et al.* High productivity of wheat intercropped with maize is associated with plant architectural responses [J]. *Annals of Applied Biology*, 2016, 168: 357-372.
- [24] RAZA M A, CUI L, KHAN I, *et al.* Compact maize canopy improves radiation use efficiency and grain yield of maize/soybean relay intercropping system [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, 28(30): 41135-41148.
- [25] 闫 锋, 崔秀辉, 王 成, 等. 玉米绿豆间作效应分析 [J]. *安徽农业科学*, 2013, 41(27): 10931-10932.
- [26] 刘兴艳. 玉米-大豆间作和施氮对玉米产量及农艺性状的影响 [J]. *农业开发与装备*, 2017(11): 96.
- [27] 黄妙华. 玉米大豆间作品种筛选及田间配置研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2017.
- [28] 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, 102.
- [29] 袁晓婷, 汤 松, 罗 凯, 等. 大豆玉米带状复合种植产量与效益分析—基于全国 16 个示范省(市、区)的调查数据 [J]. *四川农业大学学报*, 2023, 41(5): 834-841, 872.
- [30] 王 辉, 张晓祥, 王平喜, 等. 玉米产量构成要素的通径分析 [J]. *河南科技学院学报*, 2022, 50(4): 17-22.

Screening of Maize Varieties Under Soybean-Maize Strip Intercropping Conditions

LIU Dandan, YANG Wangjing, LI Yawei, ZHANG Qing, ZHANG Dongyuan,
LI Zhoushuai, SONG Siying, QIAN Guanrong, LUO Mingming, ZHOU Tong,
QIN Xiaoliang, XUE Jiquan and XU Shutu

(Key Laboratory of Maize Biology and Genetic Breeding in Arid Area of Northwest Region, College of Agronomy,
Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China)

Abstract Under conditions of a large population and limited arable land resources in China, the soybean-maize strip intercropping model improves land-use efficiency and crop productivity, helping to mitigate constraints on grain production. To screen out maize varieties suitable for intercropping, five maize varieties ('Shaandan 650', 'Yanke 288', 'Yudan 896', 'Zhengdan 958' and 'Shaandan 660') were used as materials in the Weibei region. The suitability of these varieties for intercropping was assessed under a soybean-maize 4 : 2 planting pattern (maize planting density: 75 000 plants/hm²; soybean planting density: 150 000 plants/hm²). The results showed that under the 4 : 2 soybean-maize intercropping system, 'Shaandan 650' and 'Zhengdan 958' exhibited better overall performance, including more ears per plant, more grains per row, and higher yield. 'Shaandan 650' ranked among the top in yield for two consecutive years (10 376.36 kg/hm², 9 716.64 kg/hm²), and had low lodging rate (1.2%–1.65%), demonstrating stronger lodging resistance than 'Zhengdan 958'. In this study, maize varieties were suitable for strip intercropping, thereby may help promote the maize-soybean strip intercropping model in the Weibei area.

Key words Maize; Soybean; Strip intercropping; Varieties screening

Received 2025-05-23 **Returned** 2025-07-16

Foundation item Major Agricultural Biological Breeding Project (No. 2022ZD04005).

First authors LIU Dandan, female, master student. Research area: maize genetics and breeding. E-mail: liudandan@nwafu.edu.cn

YANG Wangjing, male, master student. Research area: maize genetics and breeding. E-mail: yang2294667587@nwafu.edu.cn

Corresponding authors XU Shutu, female, associate professor, doctoral supervisor. Research area: maize genetics and breeding. E-mail: shutuxu@nwafu.edu.cn

XUE Jiquan, male, professor, doctoral supervisor. Research area: maize genetics and breeding. E-mail: xjq2934@163.com

(责任编辑:成敏 Responsible editor: CHENG Min)