

大豆玉米“扩行增密”带状复种技术在山西应用初探

刘小荣,马俊奎,刘学义

(山西省农业科学院 经济作物研究所,山西 太原 030009)

摘要:为确定大豆玉米“扩行增密”带状复种技术在山西的增产效果及筛选适宜的大豆品种,应用大豆品种汾豆 78 与玉米品种大丰 30 研究了山西省传统玉米大豆套作模式与大豆玉米“扩行增密”带状复种技术对比,应用大豆品种汾豆 78、79、56、92 及 93 与玉米品种大丰 30 进行了大豆新品种筛选。测定了大豆苗期、盛花期、结荚期的叶绿素含量和干物质积累,大豆成熟后的品质,大豆玉米成熟后的植株性状和产量。结果表明:大豆玉米“扩行增密”带状复种技术与传统套作模式相比,带状复种技术下大豆植株总叶绿素、籽粒蛋白质及油脂含量更高,蛋白质和油脂含量分别为 42.28% 和 19.84%,大豆与玉米产量分别为 531.0 和 9 514.5 kg·hm⁻²,分别增产 6.6% 和 70.7%。大豆新品种筛选结果显示,汾豆 93 在植株生长后期干物质及叶绿素含量最高,植株性状最佳,成熟后籽粒的品质最好,蛋白质和油脂含量分别为 44.08% 和 20.2%,玉米大豆综合产量最高,大豆和玉米的产量分别为 894.0 及 10 550.7 kg·hm⁻²,比对照组分别增产了 68.7% 和 10.9%。表明这种大豆玉米“扩行增密”带状复种技术适合在山西省生态环境条件下应用推广,汾豆 93 与大丰 30 是“扩行增密”带状复种模式较好的搭配品种。

关键词:大豆;玉米;带状复种;山西

中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2017.05.0720

Application of ‘Entend Row and Higher Density’ Strip Compound Planting System of Soybean-Maize in Shanxi Province

LIU Xiao-rong, MA Jun-kui, LIU Xue-yi

(Industrial Crop Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030006, China)

Abstract: In order to investigate the application of ‘entend row and higher density’ strip compound planting system of soybean-maize in Shanxi province, and screen out suitable soybean cultivars, we carried out a contrastive study of ‘extend row and higher density’ strip compound planting system of soybean-maize and the traditional interplanting mode in Shanxi which used Fendou 78 and Dafeng 30, and selected five cultivars Fendou 78, 79, 56, 92 and 93 suitable for the strip compound planting system. Then we determined the chlorophyll content, dry matter accumulation of soybean at seedling stage, flowering stage and seed filling period. The plant traits, the seed quality of soybean and yields of maize and soybean were also determined. The results showed that the ‘entend row and higher density’ strip compound planting system of soybean-maize significantly increased the chlorophyll content of plants and seed quality of soybean. The protein content was 42.28% and the fat content was 19.84%. The yield of soybean and maize was 531.0 and 9 514.5 kg·ha⁻¹, which increased by 6.6% and 70.7% than control, respectively. The dry matter and chlorophyll content in the plants of Fendou 93 were higher than that in other four soybean cultivars, the biological traits and seed quality were also better. The protein and content was 44.08% and 20.2%, respectively. As for the yields of soybean and maize, 894.0 and 10 550.7 kg·ha⁻¹ being the most, which respectively increased by 68.7% and 10.9%. The results indicated that the ‘entend row and higher density’ strip compound planting system of soybean-maize could be applied in Shanxi province. Fendou 93 and Dafeng 30 was a better variety group for the ‘entend row and higher density’ strip compound planting system of soybean-maize.

Keywords: Soybean; Maize; Strip compound planting; Shanxi

大豆是中国主要的粮油兼用作物和动物饲料蛋白原料,随着人民生活水平的提高和养殖业的发展,需求量逐年攀升^[1-2]。然而,由于比较效益低,近年中国大豆种植面积不断下降,大豆的供需矛盾日益突出^[3-4]。2015 年 7 月国务院办公厅“关于加快转变农业发展方式的意见”明确提出在西南和淮海重点推广玉米大豆间、套作,显著提高了复种

指数和耕地利用率,有效保证了区域大豆粮食安全^[5]。利用间、套作进行栽培,在没有扩大土地面积的前提下不仅提高了粮食产量^[1,6],而且能够更高效地利用资源,增强农业系统的抗风险能力,增加水土保持能力,提高土壤肥力^[7],同时能够抑制病虫害的发生^[8],是一种基于生物多样性的生态农业范式^[9-11]。

收稿日期:2016-03-12
基金项目:国家现代农业产业技术体系(CARS-04-CES15)。
第一作者简介:刘小荣(1986-),男,硕士,研究实习员,主要从事菜用大豆新品种选育研究。E-mail:liuxiaoronglx@2008.sina.com。
通讯作者:刘学义(1960-),男,学士,研究员,主要从事大豆抗旱及新品种选育研究。E-mail:lxly1959@126.com。

四川农业大学杨文钰教授通过不断尝试玉米行之间、大豆行之间以及玉米大豆之间的行距,最终研发大豆玉米“扩行增密”带状复种技术^[4]。该技术核心是“扩行增密”——扩大玉米大豆间行距,缩小玉米间及大豆间行距,缩小株距,是对我国农作物间套技术的重大发展。运用玉米-大豆带状复合种植技术,在我国西南地区,新型套作大豆发展迅猛,四川省大豆种植面积每年以 3.3 万~6.7 万 hm^2 的速度递增,2010 年,四川省玉米套作大豆推广面积达 115 万 hm^2 ,在重庆、贵州、广西、宁夏、山东、河南、安徽等 11 个省也得到大面积应用^[4,12]。

目前山西省单作大豆面积在 20 万 hm^2 左右,大豆单产上升趋于停滞,比较效益低下,导致大豆种植面积停滞不前,供需日趋紧张。而高产作物玉米种植面积在 133.3 万 hm^2 左右,已占到全部粮食作物面积的 40% 以上。随着国家产业结构的调整,玉米价格下降,如何在保证玉米产量的同时提高大豆产量已成为目前山西省农业亟需解决的问题。本研究旨在通过试验,确定玉米-大豆套作在山西省的种植模式,筛选出最适合在山西省种植的大豆品种,充分挖掘新模式的协调增产潜力,实现玉米、大豆协同高产,规范技术模式。

1 材料与方法

1.1 材料

玉米供试品种为大丰 30(市售),高密植玉米新品种,适应山西省中晚熟区和春播早熟区种植,是山西省目前种植的主要玉米品种。

大豆品种为汾豆 78、79、56、92 及 93,由山西省农业科学院经济作物研究提供,具有耐阴、紧凑、直立抗倒伏特性,是山西省目前最新育成且是推广面积较大的大豆品种。

1.2 试验设计

试验于 2016 年 5 月在山西省农科院经济作物研究所贾家庄示范基地进行,该地区位于吕梁山东麓、汾河水西畔, $\text{E}111^\circ$ 和 $\text{N}37^\circ$,海拔 782 m,温带季风气候区,年平均温度 10.1°C ,年降水量 483 mm,年平均日照时数在 2 598 h 左右。2016 年,大豆玉米于 5 月 2 日播种,5 月 24 日间苗,玉米于 9 月 28 日收获,大豆于 10 月 10 日收获。分别进行传统玉米大豆套作模式种植和大豆玉米“扩行增密”带状复种,并筛选适宜带状复种的大豆品种。

1.2.1 新型玉米大豆带状套作 玉米品种选用大丰 30,大豆品种选用汾豆 78。以山西省传统玉米大豆套作模式(参照山西省农业厅 1984 标准方案)作为对照组,设置为:带宽 220 cm,2 行玉米 2 行大豆

等行距种植,行距 55 cm;玉米单粒穴播,株距 30.2 cm,有效株数 6 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$;大豆单粒穴播,株距 15.1 cm,有效株数 12 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 。重复 4 次。

大豆玉米“扩行增密”带状复种设置为:带宽 220 cm,宽窄行种植,玉米宽行 180 cm,窄行 40 cm,宽行内种 3 行大豆,大豆行距 30 cm,大豆行与玉米行间距 60 cm;玉米单粒穴播,株距 15.1 cm,有效株数 12 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$;大豆单粒穴播,株距 11.4 cm,有效株数 24 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 。重复 4 次。

1.2.2 大豆新品种筛选 选用汾豆 78、79、56、92 及 93 共 5 个大豆品种作大豆玉米“扩行增密”带状复种,玉米品种选用大丰 30,其中将汾豆 78 设为对照组。随机区组方式种植,每个处理重复 4 次。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 叶绿素含量 以大豆主茎全展叶为样本,在大豆苗期、盛花期、结荚期选取长势均匀的植株 5 株,采用 Arnon 法测定叶绿素含量。将叶绿素丙酮溶液在 663 和 645 nm 波长下比色,所得的光密度(OD)值代入公式计算浸提液中 Chla、Chlb 和 $\text{Chl}(a+b)$ 的值。每个处理重复 3 次取其平均值^[13]。

1.3.2 干物质积累 在大豆苗期、盛花期、结荚期分别选取长势均匀的植株 5 株,将样品植株在 105°C 杀青 30 min, 80°C 烘干 72 h 恒重后称量,然后计算单位土地面积的地上部干物质重^[14-15]。

1.3.3 品质 大豆成熟后,用 Grain Analyzer 直接测定各处理的蛋白质及油脂含量,每个处理重复 3 次取其平均值^[16]。

1.3.4 收获考种 大豆成熟后,挑选密度均匀、生长正常的 3 段,分别连续拔取 10 株,对大豆植株的株高、主茎节数、单株粒数、单株产量、底荚高、百粒重及分枝数等性状进行室内考种^[17]。

玉米成熟后,挑选密度均匀、生长正常的 3 段,分别连续拔取 10 株,对玉米植株的株高、穗位高、穗长、穗粗、穗行数、千粒重及穗形等性状进行室内考种。分别计算出玉米及大豆产量。

1.4 数据分析

采用 SPSS 17.0 对数据进行单因素分析。

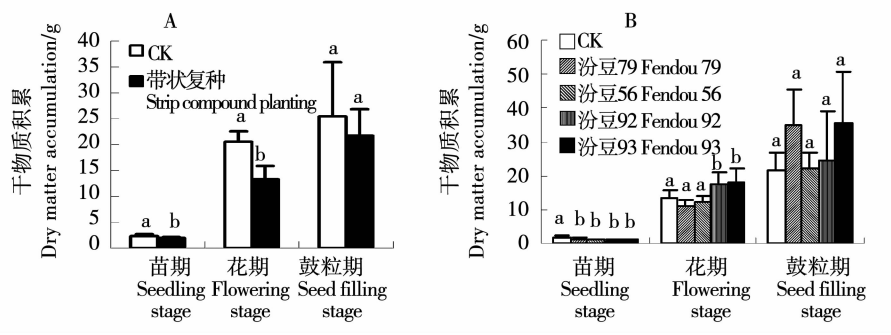
2 结果与分析

2.1 干物质积累

由图 1A 可知,在大豆生长的各时期,均为套作处理干物质积累更多,在苗期和花期显著高于带状复种模式。

从图 1B 可以看出,在苗期,对照组的干物质积累均显著高于处理组。在花期,处理组汾豆 92 及 93 干物质积累量显著显著高于对照组。在鼓粒期,

处理组汾豆 93 干物质积累最多,汾豆 79 次之,对照组 组与各处理组间均不存在显著性差异。



不同小写字母代表差异显著 ($P < 0.05$), 下同。
Different lowercase indicate significant difference ($P < 0.05$), the same below.

图 1 不同处理对大豆植株干物质积累的影响

Fig. 1 Effect of different treatments on the dry matter accumulation of soybean

2.2 叶绿素含量

由图 2A 可知,在大豆生长的各时期,均为带状复种模式叶绿素含量更高,但与对照组均不存在显著性差异。

从图 2B 可以看出,在苗期,汾豆 92 叶绿素含量

最高,而且显著性高于对照组。在花期,对照组叶绿素含量最高,对照组与汾豆 79、92 及 93 间存在显著性差异。在鼓粒期,叶绿素含量汾豆 79 最高,汾豆 93 最低,对照组与各处理组间叶绿素含量均未达到显著性水平。

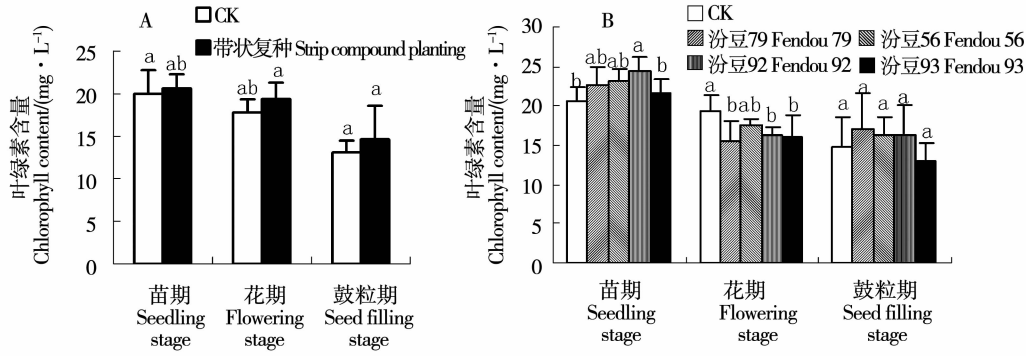


图 2 不同处理对大豆植株总叶绿素含量的影响

Fig. 2 Effect of different treatments on the chlorophyll content of soybean

2.3 蛋白质及油脂含量

由图 3A 可知,带状复种模式下大豆成熟后籽粒的蛋白质与油脂含量均高于对照组,但未达到显著性水平。

从图 3B 可知,大豆成熟后,籽粒蛋白质含量汾

豆 93 最高,达到了 44.08%, 对照组最低,为 42.28%,对照组籽粒蛋白质含量均显著低于各处理组;籽粒油脂含量为汾豆 93 最高,达到了 20.2%,汾豆 92 最低,为 19.54%,对照组与汾豆 92 及 93 间存在显著性差异。

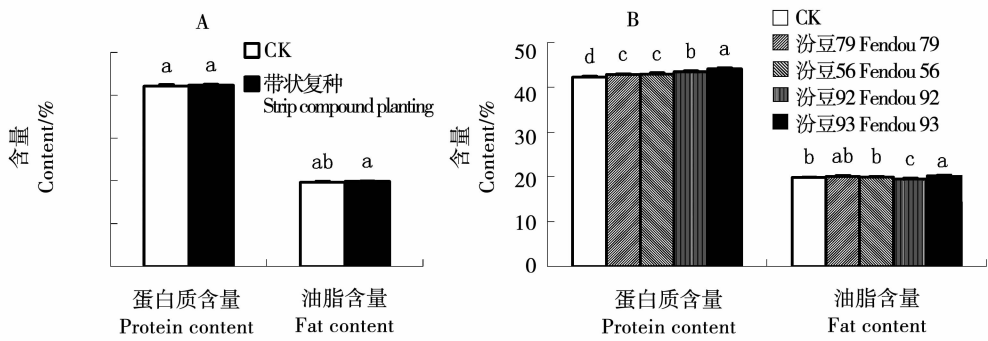


图 3 不同处理对大豆种子品质的影响

Fig. 3 Effect of different treatments on the seed quality of soybean

2.4 植株性状表现

2.4.1 不同种植模式的植株性状 从表 1 可知,带状复种模式下玉米植株的株高和穗位高显著高于

对照组,穗长和穗粗显著低于对照组;由表 2 可知,带状复种模式下大豆植株的株高和百粒重显著高于对照组,分枝数和单株粒数显著低于对照组。

表 1 不同种植模式下玉米植株性状的影响

Table 1 Effect of different planting patterns on the plant characters of maize						
处理组 Treatment	株高 Plant height /cm	穗位高 Ear position /cm	穗长 Ear length /cm	穗粗 Ear diameter /cm	穗行数 Rows per ear	千粒重 1000-kernel weight/g
CK	289.90 ± 23.90 b	114.37 ± 9.99 b	22.04 ± 1.19 a	17.74 ± 0.53 a	17.47 ± 1.48 a	392.25 ± 21.31 a
带状复种 Strip planting	309.13 ± 16.64 a	130.47 ± 12.45 a	20.80 ± 2.51 b	17.22 ± 0.86 b	17.27 ± 1.41 a	387.39 ± 11.74 ab

同列不同小写字母代表差异显著 ($P < 0.05$)。下同。
Different lowercase in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$). The same below.

表 2 不同种植模式对大豆植株性状的影响

Table 2 Effect of different planting patterns on the plant characters of soybean						
处理组 Treatment	株高 Plant height /cm	底荚高 Height of bottom pods /cm	分枝数 Branches	主茎节数 Node No. in main stem	单株粒数 Seeds per plant	百粒重 100-seed weight/g
CK	150.2 ± 21.41 b	6.5 ± 1.72 a	2.43 ± 1.33 a	20.17 ± 3.17 a	49.47 ± 30.01 a	20.94 ± 1.44 b
带状复种 Strip planting	167.5 ± 24.67 a	6.57 ± 1.61 a	0.57 ± 0.77 b	20.13 ± 2.53 a	32.27 ± 17.33 b	22.41 ± 0.72 a

2.4.2 带状复种模式下玉米和大豆的植株性状 从表 3 可知,与汾豆 93 套作的玉米植株的株高、穗长、穗粗、千粒重均最低;与汾豆 92 套作的玉米植株的穗位高最低,千粒重最高;对照组的株高和穗位高最高;与汾豆 93 套作的玉米植株的株高、穗位高、穗行数及千粒重与对照组间存在显著性差异。

由表 4 可知,大豆植株汾豆 93 的底荚高和百粒重最高,单株粒数与主茎节数最少;对照组的株高和主茎节数最高,底荚高、分枝数及百粒重最小;对照组与汾豆 93 的底荚高、主茎节数及百粒重间存在显著性差异。

表 3 不同处理对玉米植株性状的影响

Table 3 Effect of different treatments on the plant characters of maize						
处理组 Treatment	株高 Plant height /cm	穗位高 Ear position /cm	穗长 Ear length /cm	穗粗 Ear diameter /cm	穗行数 Rows per ear	千粒重 1000-kernel weight/g
CK	309.13 ± 16.64 a	130.47 ± 12.45 a	20.80 ± 2.51 bc	17.22 ± 0.86 bc	17.27 ± 1.41 a	387.39 ± 11.74 ab
汾豆 79 Fendou 79	301.70 ± 11.36 ab	116.23 ± 12.39 b	21.24 ± 1.58 ab	17.46 ± 0.56 ab	17.43 ± 1.38 a	370.22 ± 27.43 abc
汾豆 56 Fendou 56	298.47 ± 9.96 bc	111.87 ± 14.60 b	20.67 ± 2.47 c	16.99 ± 1.06 c	17.47 ± 1.25 a	363.96 ± 36.09 bc
汾豆 92 Fendou 92	287.70 ± 20.26 d	109.22 ± 12.55 b	21.52 ± 2.26 ab	17.43 ± 0.61 ab	17.17 ± 1.23 ab	394.41 ± 26.68 a
汾豆 93 Fendou 93	271.63 ± 21.54 e	113.68 ± 13.30 b	19.45 ± 3.32 c	16.83 ± 0.89 c	16.53 ± 1.12 b	357.84 ± 28.64 c

表 4 不同处理对大豆植株性状的影响

Table 4 Effect of different treatments on the plant characters of soybean

处理组 Treatment	株高 Plant height /cm	底荚高 Height of bottom pods/cm	分枝数 Branches	主茎节数 Node No. in main stem	单株粒数 Seeds per plant	百粒重 100-seed weight/g
CK	167.5 ± 24.67 a	6.57 ± 1.61 c	0.57 ± 0.77 b	20.13 ± 2.53 a	32.27 ± 17.33 bc	22.41 ± 0.72 e
汾豆 79 Fendou 79	157.57 ± 29.66 ab	9.2 ± 4.97 c	1.07 ± 1.08 b	19.63 ± 3.10 ab	43.43 ± 32.49 ab	28.13 ± 1.13 b
汾豆 56 Fendou 56	138.33 ± 18.30 bc	7.63 ± 3.11 c	1.77 ± 0.82 c	18.2 ± 2.16 b	45.47 ± 28.60 ab	26.57 ± 1.22 c
汾豆 92 Fendou 92	154.65 ± 33.53 ab	13.23 ± 9.97 b	2.37 ± 1.71 ac	19.97 ± 3.76 a	59.3 ± 42.58 a	24.75 ± 1.20 d
汾豆 93 Fendou 93	159.53 ± 32.82 ab	23.2 ± 12.79 a	0.9 ± 1.24 b	16.53 ± 3.00 c	29.83 ± 20.96 c	35.1 ± 1.37 a

2.5 产量

由图 4A 可知,带状复种模式下大豆及玉米的产量为 531.0 和 9 514.5 kg·hm⁻²,对照组大豆及玉米的产量为 498 和 5 573 kg·hm⁻²,分别比对照组增产了 6.6% 和 70.7%,并且带状复种模式下玉米的产量与对照组存在显著性差异。

从图 4B 可知,大豆的产量为汾豆 92 最高,汾豆

93 次之,分别为 987 及 894 kg·hm⁻²,对照组最低,为 531 kg·hm⁻²,汾豆 92 和汾豆 93 分别比对照组增产 85.8% 和 68.7%,而且与对照组均达到了显著水平差异;玉米的产量为汾豆 93 组最高,为 10 550.7 kg·hm⁻²,对照组最低,为 9 514.5 kg·hm⁻²,汾豆 93 组比对照组增产了 10.9%,对照组与各处理组间均不存在显著性差异。

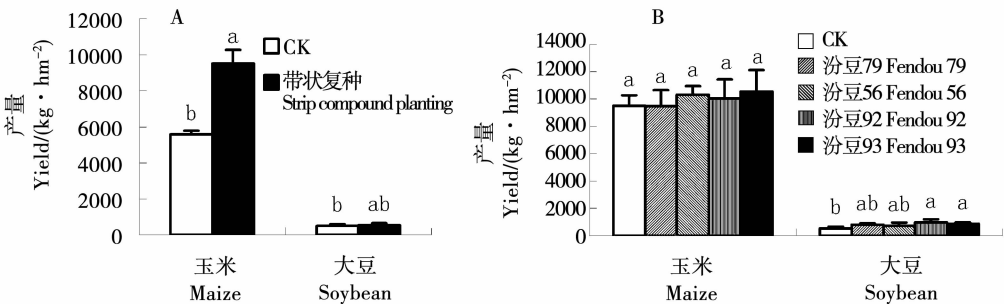


图 4 不同处理对大豆及玉米产量的影响

Fig. 4 Effect of different treatments on the yields of maize and soybean

3 结论与讨论

3.1 大豆玉米“扩行增密”带状复种

刘卫国等^[18]发现套作条件下,玉米遮荫使大豆苗期所处的光环境与自然光相比,总有效光合辐射降低,远红光的比例增加。大豆苗期与玉米共生,每行均处于边行劣势,均表现植株较高、主茎节数偏少等现象^[19-20]。Martin 等^[21]报道,玉米与大豆套作与单作大豆相比,套作产量明显提高。本研究结果显示:在各时期,都是对照组干物质积累快,但是总叶绿素含量是带状复种模式下更高。而且在带状复种模式下,大豆成熟后蛋白质和油脂含量提高,为 42.28% 和 19.84%。玉米植株的株高及穗位高为更高。大豆植株分枝数、单株粒数较少,株高较高,百粒重较高。

合理的间套种植能够实现作物增产,其中禾本

科作物与豆科作物的间套种植具有显著的间套优势。Ngwira 等^[22]研究认为,玉米大豆间作能够促进作物增产,并具有显著的经济效益。在玉米大豆带状复种种植体系中,大豆所处光环境与净作大豆截然不同,从而影响其形态建成和产量形成^[17]。种植密度是影响复合群体整体产量的关键^[23-24]。研究发现,传统套作较直播增产 30% ~ 50%^[24-27]。大量研究表明,间套作复合群体通过增加叶面积指数和延长光合时间增加光能利用而增产^[23-24,28-29]。雍太文等^[30]研究发现,玉米大豆套作体系下,与单作相比,带状种植方式的玉米产量略有降低,而大豆产量显著提高,玉豆系统的总产量显著提高。等行距种植方式的玉米产量虽有提高,但大豆产量显著下降,不利于玉米大豆套作系统总产量的提高。本试验研究表明大豆的产量为对照组低(498 kg·hm⁻²),带状复种模式比对照组增产了 6.6%;玉米的产量为

对照组低(5 573 kg·hm⁻²),带状复种模式比对照组增产了 70.7%。

本研究结果表明,大豆玉米“扩行增密”带状复种模式显著增加了玉米大豆联合产量,影响了大豆及玉米植株的生态性状,提高了大豆籽粒的品质。与其它研究数据相比较,玉米产量增加 70.7%,增幅较大,可能是带状复种模式与 2016 年试验地区降水较多联合影响的结果。

3.2 大豆新品种筛选

合理的间、套作有利于增产,减少农业投入,培肥地力,减少病虫害的发生^[20]。合理的间套作复合群体结构,对矮位作物一般认为是光强弱,风速低、温度低、生长发育受到不同程度的影响而导致产量下降。矮位作物受高位作物的高度、密度、叶型与叶角的影响,而且还与矮位作物的品种、行数及与高位作物间的距离有关^[20,31-32]。陈红等^[33]研究发现,套作模式下不同大豆品种的株高、底荚高、主茎节数及分枝数有显著差异;受大豆品种因素与套作的双重影响,套作大豆产量及其构成因素差异较大。本研究结果显示:在大豆植株生长后期汾豆 93 干物质积累及叶绿素含量最高;其籽粒蛋白质和油脂含量最高,为 44.08% 及 20.2%;玉米植株株高和穗位高为对照组最高,穗长、穗粗、穗行数和千粒重为汾豆 93 处理组最低;大豆植株,对照组的株高最高,分枝数最少,汾豆 93 底荚最高,主茎节数最少,百粒重最高。

彭昌家^[34]研究表明,一个适于玉、豆间作较理想的大豆品种不但要求具有较高的产量水平,而且要求耐荫力强,对各种环境有较强的适应性,大豆品种的丰产性与稳定性、适应性和耐荫性等性状受不同遗传基因所控制,因此,可选出既有高产潜力、耐荫力强,又有广泛适应性,而且稳产性好的品种。崔亮等^[13]研究发现不同玉米-大豆带状套作组合的大豆产量呈显著差异,随着玉米对大豆弱光胁迫程度的加剧,大豆产量呈现降低趋势。雍太文等^[35]研究发现与单作和玉米大豆套作等行距种植相比,玉米大豆套作带状种植下玉米产量降低,但大豆产量显著提高。玉米大豆套作体系下,采用带状轮作种植,玉米与大豆的种间竞争力和营养竞争比率最协调,种间竞争作用得到缓解,促进了玉米和大豆对养分的吸收,提高了作物产量和土地当量比。本研究结果显示:大豆的产量为汾豆 92 最高,汾豆 93 次之,分别为 987 及 894 kg·hm⁻²,比对照组增产 85.8% 和 68.7%;玉米的产量为汾豆 93 最高,为 10 550.7 kg·hm⁻²,汾豆 93 比对照组增产了 10.9%。

综上所述,新型的玉米大豆带状复合种植模式与传统套作模式相比,大豆与玉米分别增产了 6.6% 和 70.7%,大豆植株总叶绿素、籽粒蛋白质及

油脂含量更高,表明这种新型的玉米大豆带状复合种植模式适合在山西省应用推广;汾豆 93 与大丰 30 套作使大豆和玉米分别增产 68.7% 和 10.9%,在植株生长后期干物质及叶绿素量最高,成熟后品质最好,植株性状最佳,且玉米大豆综合产量最高。因此在山西省这种种植模式大豆品种选择汾豆 93 与大丰 30 搭配为最佳。

参考文献

[1] Li L, Li S M, Sun J H. Diversity enhances agricultural productivity *via* rhizosphere phosphorus facilitation on phosphorus-deficient soils[J]. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, 2007, 104: 1192-1196.

[2] Lithourgidis A S, Dordas C A, Damalas C A, et al. Annual intercrops: An alternative pathway for sustainable agriculture[J]. *Australian Journal of Crop Science*, 2011, 5(4): 396-410.

[3] 赵团结, 盖钧镒, 李海旺, 等. 超高产大豆育种研究的进展与讨论[J]. *中国农业科学*, 2006, 39(1): 29-37. (Zhao T J, Gai J Y, Li H W, et al. Advances in breeding for super high-yielding soybean cultivars[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(1): 29-37.)

[4] 杨文钰, 雍太文, 任万军, 等. 发展套作大豆, 振兴大豆产业[J]. *大豆科学*, 2008, 27(1): 1-7. (Yang W Y, Yong T W, Ren W J, et al. Develop relay-planting soybean, revitalize soybean industry[J]. *Soybean Science*, 2008, 27(1): 1-7.)

[5] 刘沁林, 李佳凤, 范元芳, 等. 净、套作下大豆茎秆和籽粒糖氮动态规律研究[J]. *草业学报*, 2017, 26(4): 113-119. (Liu Q L, Li J F, Fan Y F, et al. Dynamics of soluble sugar and nitrogen contents in the stem and grain of soybean under relay intercropping and monoculture conditions[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2017, 26(4): 113-119.)

[6] Echarte L, Maggiora A D, Cerrudo D, et al. Yield response to plant density of maize and sunflower intercropped with soybean[J]. *Field Crops Research*, 2011, 121: 423-429.

[7] 苏本营, 陈圣宾, 李永庚, 等. 间套作种植提升农田生态系统服务功能[J]. *生态学报*, 2013, 33(14): 4505-4514. (Su B Y, Chen S B, Li Y G, et al. Intercropping enhances the farmland ecosystem services[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(14): 4505-4514.)

[8] 赵思毅, 魏刚, 徐建俊, 等. 间套作生态控制病、虫、草害研究进展[J]. *中国麻业科学*, 2014, 36(6): 275-279. (Zhao S Y, Wei G, Xu J J, et al. Review of ecological control for pests, diseases and weeds by intercropping[J]. *Plant Fiber Sciences in China*, 2014, 36(6): 275-279.)

[9] Szumigalski A R, van Acker R C. Nitrogen yield and land use efficiency in annual sole crops and intercrops[J]. *Agronomy Journal*, 2006, 98: 1030-1040.

[10] Willey R W. Resource use in intercropping systems[J]. *Agricultural Water Management*, 1990, 17: 215-231.

[11] Zhang G G, Yang Z B, Dong S T. Interspecific competitiveness affects the total biomass yield in an alfalfa and corn intercropping system[J]. *Field Crops Research*, 2011, 124: 66-73.

[12] Launay M, Brisson N, Satger S, et al. Exploring options for managing strategies for pea-barley intercropping using a modeling approach[J]. *European Journal of Agronomy*, 2009, 31: 85-98.

[13] 崔亮, 苏本营, 杨峰, 等. 不同玉米-大豆带状套作组合条件

- 下光合有效辐射强度分布特征对大豆光合特性和产量的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(8): 1489-1501. (Cui L, Su B Y, Yang F, et al. Effects of photo-synthetically active radiation on photosynthetic characteristics and yield of soybean in different maize/soybean relay strip intercropping systems[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(8): 1489-1501.)
- [14] 苏本营, 宋艳霞, 陈圣宾, 等. 大豆幼苗对套作玉米遮荫环境的光合生理生态响应[J]. 生态学报, 2015, 35(10): 3298-3308. (Su B Y, Song Y X, Chen S B, et al. Photosynthetic responses of soybean (*Glycine max*) seedlings to shading caused by maize in an intercropping system[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(10): 3298-3308.)
- [15] 刘小明, 雍太文, 苏本营, 等. 减量施氮对玉米-大豆套作系统中作物产量的影响[J]. 作物学报, 2014, 40(9): 1629-1638. (Liu X M, Yong T W, Su B Y, et al. Effect of reduced N application on crop yield in maize-soybean intercropping system[J]. Acta Agronomica Sinica, 2014, 40(9): 1629-1638.)
- [16] 宁堂原, 焦念元, 安艳艳, 等. 间套作资源集约利用及对产量品质影响研究进展[J]. 中国农学通报, 2007, 23(4): 159-163. (Ning T Y, Jiao N Y, An Y Y, et al. Advances in resources intensive utilization, yield and quality in intercropping or relay cropping systems[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2007, 23(4): 159-163.)
- [17] 刘卫国, 邹俊林, 袁晋, 等. 套作大豆农艺性状研究[J]. 中国油料作物学报, 2014, 36(2): 219-223. (Liu W G, Zou J L, Yuan J, et al. Research on the agronomic traits of relay cropping soybean[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2014, 36(2): 219-223.)
- [18] 刘卫国, 宋颖, 邹俊林, 等. LED灯模拟作物间作套种群体内光环境的设计与应用[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 288-292. (Liu W G, Song Y, Zou J L, et al. Design and effect of LED simulated illumination environment on intercropping population[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(8): 288-292.)
- [19] 吴其林, 王竹, 杨文钰. 苗期遮荫对大豆茎秆形态和物质积累的影响[J]. 大豆科学, 2007, 26(6): 868-872. (Wu Q L, Wang Z, Yang W Y. Seedling shading affects morphogenesis and substance accumulation of stem in soybean[J]. Soybean Science, 2007, 26(6): 868-872.)
- [20] 刘卫国, 蒋涛, 余跃辉, 等. 大豆苗期茎秆对荫蔽胁迫响应的生理机制初探[J]. 中国油料作物学报, 2011, 33(2): 141-146. (Liu W G, Jiang T, Shen Y H, et al. Preliminary study on physiological response mechanism of soybean (*Glycine max*) stem to shade stress at seedling stage[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2011, 33(2): 141-146.)
- [21] Martin R C, Astatkie T, Cooper J M. The effect of Bradyrhizobium strains on monocropped and intercropped soybean (*Glycine max* L. Merr.) biomass and protein[J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 1998, 181(1): 1-6.
- [22] Ngwira A R, Aune J B, Mkwinda S. On-farm evaluation of yield and economic benefit of short term maize legume inter-cropping systems under conservation agriculture in Malawi[J]. Field Crops Research, 2012, 132: 149-157.
- [23] 刘巽浩, 牟正国. 中国耕作制度[M]. 北京: 中国农业出版社, 1993: 151-159. (Liu X H, Mu Z G. The farming system in China[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1993: 151-159.)
- [24] 李凤超, 李增嘉. 种植制度的理论与实践[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 139-192. (Li F C, Li Z J. Theory and practice of cropping system[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 139-192.)
- [25] 陈阜, 逢焕成. 冬小麦/春玉米/夏玉米间套作复合群体的高产机理探讨[J]. 中国农业大学学报, 2000, 5(5): 12-16. (Chen F, Peng H C. Research on mechanism for maximum yield of intercropping pattern wheat /corn /corn[J]. Journal of China Agricultural University, 2000, 5(5): 12-16.)
- [26] 李新平, 黄进勇. 黄淮海平原麦玉三熟高效种植模式复合群体生态效应研究[J]. 植物生态学报, 2001, 25(4): 476-482. (Li X P, Huang J Y. Micro-environmental effects and productivity of complex crop communities in the wheat/corn/corn crop patterns in HuangHuaiHai plain[J]. Acta Phytocologica Sinica, 2001, 25(4): 476-482.)
- [27] 隋鹏, 陈阜, 高旺盛. 海河低平原区小麦玉米套种高产技术研究[J]. 作物杂志, 2000(2): 10-11. (Sui P, Chen F, Gao W S. Study on high yield production technologies for strip compound planting system of wheat-corn in Haihe lowland plain[J]. Crops, 2000(2): 10-11.)
- [28] Francis C A. Multiple cropping system[M]. New York: Macmillan Publishing Company, 1986: 376-383.
- [29] Vandermeer J H. The Ecology of intercropping[M]. New York: Cambridge University Press, 1989: 356-362.
- [30] 雍太文, 刘小明, 刘文钰, 等. 减量施氮对玉米-大豆套作体系中作物产量及养分吸收利用的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(2): 474-482. (Yong T W, Liu X M, Liu W Y, et al. Effects of reduced N application rate on yield and nutrient uptake and utilization in maize-soybean relay strip intercropping system[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(2): 474-482.)
- [31] 李增嘉, 李凤超, 赵秉强. 小麦玉米玉米间套作的产量效应与光热资源利用率的研究[J]. 山东农业大学学报, 1998, 29(4): 419-426. (Li Z J, Li F C, Zhao B Q. Studies on light and heat resource use efficiency and yield effect of wheat/corn /corn intercropping system[J]. Journal of Shandong Agricultural University, 1998, 29(4): 419-426.)
- [32] 黄高宝. 集约栽培条件下间套作的光能利用理论发展及其应用[J]. 作物学报, 1999, 25(1): 16-24. (Huang G B. Development of light utilization theory for wheat/corn intercropping in condition of intensive cultivation[J]. Acta Agronomica Sinica, 1999, 25(1): 16-24.)
- [33] 陈红, 尹学伟, 杨明, 等. 适宜重庆地区套作的大豆品种筛选[J]. 南方农业, 2014, 8(34): 36-37. (Chen H, Yin X W, Yang M, et al. Selecting soybean cultivars for strip compound planting in Chongqing[J]. South China Agriculture, 2014, 8(34): 36-37.)
- [34] 彭昌家. 麦玉薯带状种植玉米间大豆的配置方式和品种研究[J]. 四川农业大学学报, 1990, 8(3): 216-222. (Peng C J. Research of configuration and variety between strip cropping of wheat/maize/sweet potato and maize/soybean[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 1990, 8(3): 216-222.)
- [35] 雍太文, 刘小明, 宋春, 等. 种植方式对玉米大豆套作体系中作物产量、养分吸收和种间竞争的影响[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(6): 659-667. (Yong T W, Liu X M, Song C, et al. Effect of planting patterns on crop yield, nutrients uptake and interspecific competition in maize-soybean relay strip intercropping system[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2015, 23(6): 659-667.)