



宽窄行种植模式对大豆生长发育和产量的影响

齐思远, 王福林, 兰佳伟

(东北农业大学 工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要:为揭示种植模式对嫩江地区大豆生长动态及产量的影响,探讨较适合该地区的田间种植模式,以黑河 43 大豆为试验材料,在密度相同的条件下设置 7 种不同种植模式,研究其对大豆不同生育时期叶面积指数(LAI)、干物质积累分配等指标及产量的影响。结果表明:种植模式对土壤含水量存在显著影响,大垄种植全生育期的土壤平均含水量高于常规垄作以及平播。在生育期内大豆叶面积指数、干物质积累量先增加后降低。垄作产量高于平作产量,行间距相同时,增加垄宽会增加大豆产量;垄宽相同时,采取宽窄行配置能增加大豆产量。灰色关联分析表明单株粒数对大豆产量影响最大。垄上四行宽窄行模式下单株荚数、单株粒数、单株粒重最大,最终籽粒产量达到 $3\,678.15\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,较同为大垄栽培的大垄种小垄管、垄上四行等行距、垄上三行等行距模式分别高 3.01%、5.95% 和 13.20%,比当前农场的种植方式 65 cm 常规垄播模式高 7.97%。综上,本试验条件下,垄上四行宽窄行种植模式为较适合嫩江地区的田间配置方案。

关键词:大豆;种植模式;生长动态;叶面积指数;干物质积累

Effects of Wide and Narrow Planting Patterns on Growth and Yield of Soybean

QI Si-yuan, WANG Fu-lin, LAN Jia-wei

(College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: In order to explore the effects of cultivation patterns on growth tendency and yield of soybean in Nenjiang, discover the best field planting patterns for the region, Heinong 43 was used as material, seven different cultivation patterns were established, and we analyzed the changing trends of leaf area index (LAI), dry matter accumulation and distribution in different growing stages and the yield. The results showed that planting patterns had significant effects on soil moisture content, the average soil moisture content of large ridge planting in the whole growth period was higher than that of conventional ridge planting and flat sowing. In the growing stages, LAI and dry matter accumulation of soybean increased firstly and then decreased. The yield of ridge tillage was higher than flat planting. With the same row spacing, increasing ridge width will increased soybean yield. And with the same ridge width, the wide-narrow row treatment could increase the soybean yield. The grey correlation analysis showed, the seeds number per plant had the greatest impact on soybean yield. Under the treatment four rows of wide-narrow on the 130 cm ridge, pods number per plant, seeds number per plant, and seeds weight per plant were the best. The final yield was $3\,678.15\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, it was 3.01%, 5.95% and 13.20% higher than large-ridge planting and small-ridge management, four rows of same row spacing on the 130 cm ridge, and three rows of same row spacing on the 110 cm ride, compared with other big ridge pattern. It was 7.97% higher than that of 65 cm conventional ridge tillage. In conclusion, under this experiment condition, four rows of wide-narrow on the 130 cm ridge was the suitable field configuration in Nenjiang.

Keywords: soybean; planting pattern; growth tendency; leaf area index; dry matter accumulation

大豆是优质的粮油饲兼用作物^[1]。研究表明,在大豆生产中,品种对产量的贡献率在 30% 以上,而种植模式对产量的贡献率为 34.1%^[2],由此可见针对不同品种和种植区寻找合适的种植模式在大豆生产中具有重要的作用。黑龙江省是我国非转基因大豆的主产区,种植面积和大豆产量均占据国内领先地位,保证黑龙江省的大豆生产对中国大豆市场有着重要的意义。

Cooper^[3]研究指出大豆窄行密植能够获得更高的产量。张国军等^[4]借鉴外国大豆种植经验提出了“原垄卡”栽培模式。郭玉等^[5]提出了“三垄”栽

培模式,使大豆产量提升显著。王晶英等^[6]在“三垄”栽培的基础上,提出“暗垄密”模式,创造了大豆高产记录。合江农科所采用“大垄密”栽培模式,使大豆群体分布合理,提高了叶面积指数和群体产量^[4]。肖佳雷等^[7]发现大垄平台种植在大豆抗旱节水、提高光能利用率方面的作用高于常规垄作。张永强等^[8]在研究密度对大豆产量的影响中发现叶面积指数随密度增加而增大,单株干物质质量反而降低。彭姜龙等^[9]在研究不同株行距配置对大豆产量影响的研究中发现,等行距模式下叶面积指数随行距的增大、株距的减小而减小。目前在大豆生

收稿日期:2022-01-19

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(201503116-04)。

第一作者:齐思远(1992—),男,硕士研究生,主要从事农业系统工程研究。E-mail: qsysara@foxmail.com。

通讯作者:王福林(1959—),男,博士,教授,主要从事农业系统工程研究。E-mail: fulinwang1462@126.com。

产中多采用 65 cm 和 110 cm 两种垄宽种植模式,每垄播种行数为 2~3 行,对更大垄宽以及更多行数的种植模式研究还鲜有报道。

本研究通过组合垄宽、宽窄行、中耕起垄、中耕破垄等栽培措施,设置了 7 种大豆种植模式,对大豆叶面积指数、干物质积累以及土壤含水量等指标的变化情况以及最终籽粒产量进行分析,以探寻可在嫩江地区进行规模化推广的更大垄宽栽培模式。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2021 年在黑龙江农垦总局九三分局大西江农场进行,该地区地处大兴安岭南麓嫩江东岸(48°52'36"N~49°4'20"N,124°45'49"E~125°8'42"E)。≥10℃活动积温 2 160℃,无霜期 115~120 d,年平均降雨量 400 mm 左右,雨热同期。前茬作物为玉米,试验所用土壤为黑土,有机质含量为 50.3 g·kg⁻¹,碱解氮 245 mg·kg⁻¹,有效磷 36.7 mg·kg⁻¹,速效钾 205 mg·kg⁻¹。

1.2 材料

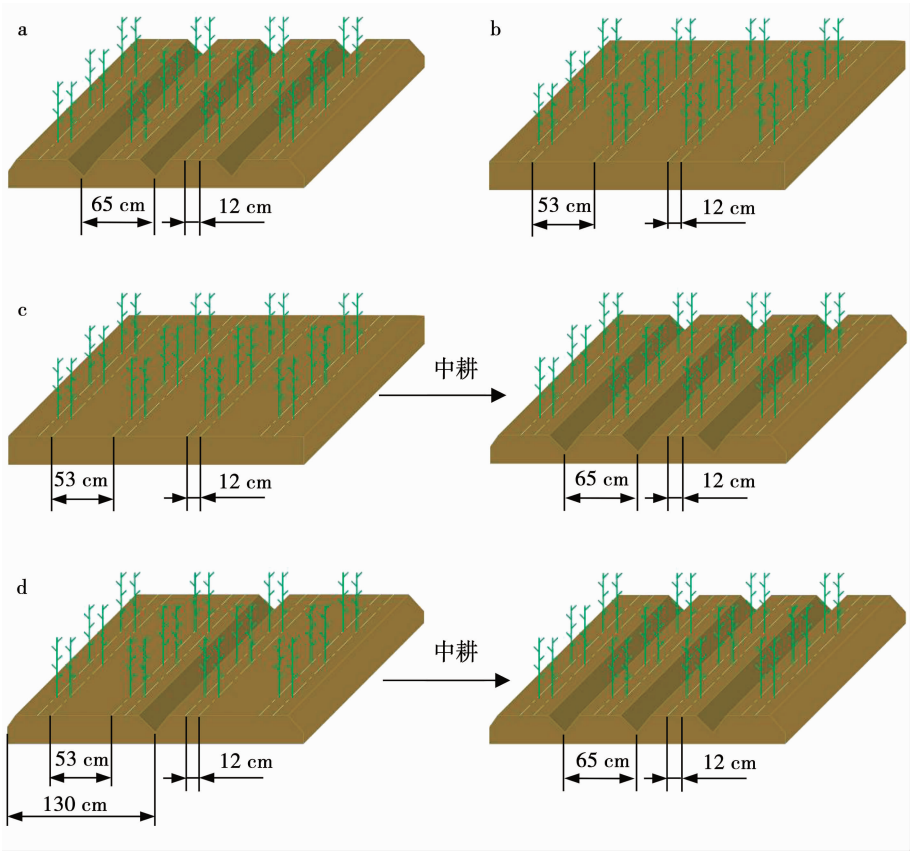
供试品种为黑河 43,早熟品种,株高 80 cm,亚有限结荚习性。

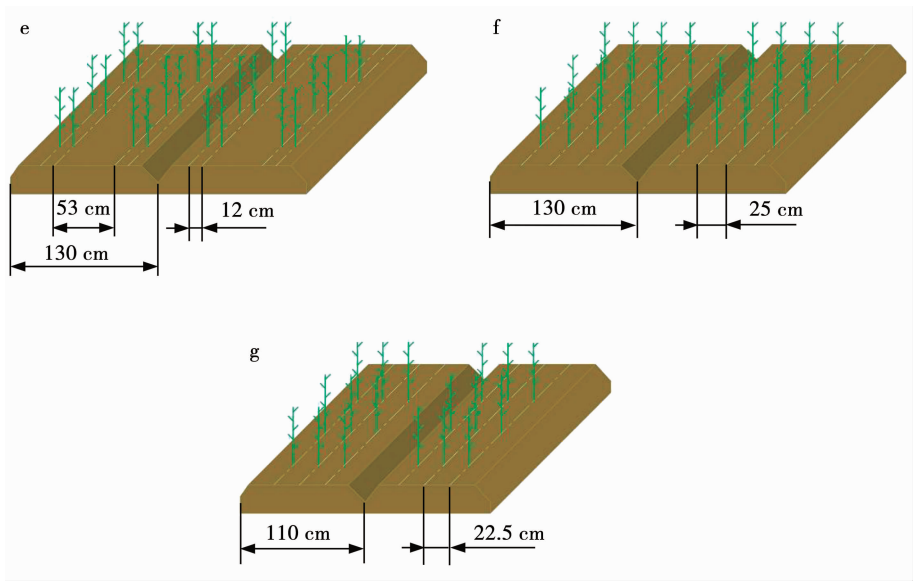
1.3 试验设计

试验分别设置常规垄播、平播、平播中耕起垄、大垄种小垄管、垄上四行宽窄行、垄上四行等行距和垄上三行 7 种不同的种植模式,分别记为 A1、A2、A3、A4、A5、A6、A7(表 1,图 1)。密度均为 36 万株·hm⁻²,大区种植,不设重复,东西垄向,垄长 120 m,A7 处理播 12 垄,其余处理播 8 垄。施尿素 56 kg·hm⁻²,磷酸二铵 156 kg·hm⁻²,硫酸钾 30 kg·hm⁻²。于 2021 年 5 月 11 日播种,10 月 8 日收获田间管理同常规大田相同。

表 1 试验设置种植模式

Table 1 Planting patterns of the experiment			
处理	垄宽	行数	行距
Treatment	Ridge width/cm	Row number	Row spacing/cm
A1	65	2	12
A2	-	-	窄 12,宽 53
A3	65	2	12
A4	130	4	中间行 53,边行 12
A5	130	4	中间行 53,边行 12
A6	130	4	25
A7	110	3	22.5





注:a. 常规垄作;b. 平播;c. 平播后起垄;d. 大垄种小垄管;e. 垄上四行宽窄行;f. 垄上四行等行距;g. 垄上三行等行距。

Note:a. Conventional ridge planting; b. Flat sowing; c. Ridge after flat planting; d. Large-ridge planting and small-ridge management;e. Four rows of wide-narrow on the 130 cm ridge;f. Four rows of same row spacing on the 130 cm ridge;g. Three rows of same row spacing on the 110 cm ridge.

图1 种植模式示意图

Fig.1 Schematic diagram of planting patterns

1.4 测定项目及方法

- 1.4.1 土壤含水量 播种期、苗期、盛花期、结荚期、鼓粒期、成熟期各处理分别选取5点测量0~10,10~20,20~30,30~40和40~50 cm的土壤含水量,计算土壤平均含水量。
- 1.4.2 叶面积指数 在R2、R4、R6和R8期分别选取各处理长势均匀的大豆10株,使用托普云农智能叶面积测量系统YMJ-C/CH测量大豆叶面积指数。叶面积指数(LAI)=单位土地上的总叶面积/单位土地面积。
- 1.4.3 干物质积累量 在R2、R4、R6和R8期各处理分别选取5点,每点选取具有代表性的大豆5株,将子叶节以下部位去除,把各部分器官分开,置于105℃杀青30 min,然后80℃烘干至恒重,称重。
- 1.4.4 大豆农艺性状 R2、R4、R6和R8期在各处理分别选取5点,每点选取具有代表性的大豆5株进行室内考种,测量茎粗、株高、节数、底荚高度、单株荚数、单株粒数和百粒重。
- 1.4.5 产量和收获指数 收获期进行测产并计算收获指数。收获指数=收获期籽粒干重/收获期全株干重;产量(kg·hm⁻²)=单株粒数×百粒重×公顷株数/100 000

1.5 数据分析

采用Excel 2019 进行数据处理,使用SPSS 25.0 进行数据分析,使用Graphpad prism 7 作图。

2 结果与分析

2.1 种植模式对土壤含水量的影响

因不同的种植模式对土壤扰动的程度不同,从而土壤的紧实度不同,进而使土壤的蓄水保墒能力有所差异。由表2可知,除播种期外,不同种植模式间的土壤含水量均存在显著差异。苗期土壤含水量表现为:A6>A5>A4>A1>A7>A3>A2,垄作模式高于平播模式,130 cm大垄高于常规垄,而110 cm大垄土壤含水量小于常规垄。A3处理经过中耕起垄处理后,在盛花期土壤含水量与未采取中耕措施的A2处理达到显著性差异。而A4处理经过中耕变大垄为小垄后,在盛花期土壤含水量明显低于其他大垄种植模式,可能是在中耕破垄的过程中,破坏了原有垄的系统性和整体性,导致土壤蓄水能力降低,含水量下降。结荚期土壤含水量表现为:A6>A5>A1>A7>A4>A3>A2,除A1、A7和A4处理外,其余各处理间均存在显著性差异。在鼓粒期A7、A6和A53个处理大垄种植模式与A3、A2处理间存在显著差异。在成熟期之前A5含水量一直略低于A6,但均未达到显著性差异,成熟期A5处理达到最高,显著高于A6处理。A4处理在中耕变大垄为小垄后,含水量低于A5处理。整体来看大垄种植模式土壤的蓄水保墒性能要更好,宽窄行处理在大豆发育时的土壤含水量低于等行距处理。

表 2 种植模式对土壤含水量的影响

Table 2 Effects of planting patterns on soil moisture content

单位:%

处理 Treatment	播种期 Sowing stage	苗期 Seedling stage	盛花期 Flowering stage	结荚期 Podding stage	鼓粒期 Seed filling stage	成熟期 Maturity stage
A1	28.98 a	27.93 a	23.10 abc	31.12 c	29.24 ab	29.98 bcd
A2	28.45 a	26.49 c	21.51 d	30.09 e	28.06 c	29.73 cd
A3	28.97 a	26.73 bc	22.37 c	30.67 d	28.59 bc	29.91 bcd
A4	28.37 a	28.00 a	22.55 bc	30.93 c	29.12 ab	29.65 d
A5	28.49 a	28.17 a	23.31 ab	31.58 b	29.46 a	31.24 a
A6	28.44 a	28.43 a	23.35 a	31.83 a	29.49 a	30.25 b
A7	28.25 a	27.23 b	23.11 abc	31.00 c	29.51 a	30.17 bc

注:不同的小写字母表示处理间在 $P\leq 0.05$ 水平下差异显著。下同。

Note: Different lowercase indicate significant difference ($P\leq 0.05$) between treatment. The same below.

2.2 种植模式对大豆叶面积指数的影响

叶面积指数对大豆干物质积累影响很大并且受不同种植模式影响,为了获得高产,应将叶面积指数控制在适当的范围内^[10]。由图 2 可知,在生育期中,大豆叶面积指数呈单峰形曲线变化。在 R2 时期,A4 处理叶面积指数最高(1.6),叶面积指数最低的处理为 A6(0.68)且与其他处理均存在显著性差异。R4 时期叶面积指数快速增加,A1、A2、A4 和 A7 处理的叶面积指数达到最大,处理间的叶面积指数出现显著差异。R6 期 A3、A5 和 A6 处理的叶面积指数达到最大,A6 处理叶面积指数最大,为 3.64,较处理 A5 高 5.2%,但并没有显著性差异,与处理 A1、A2、A3、A4 和 A7 存在显著性差异。R8 时期 A5 叶面积指数最大,与其余处理存在显著性差异。各处理在成熟期相较叶面积最大时期下降分别为:54.41%、62.88%、46.14%、59.90%、42.08%、53.67%和 59.03%,A5 处理叶面积指数下降最慢。从种植方式来看,大垄栽培叶面积增长速度虽然小于常规垄播以及平播,但保持叶面积指数的能力优于常规垄播及平播。

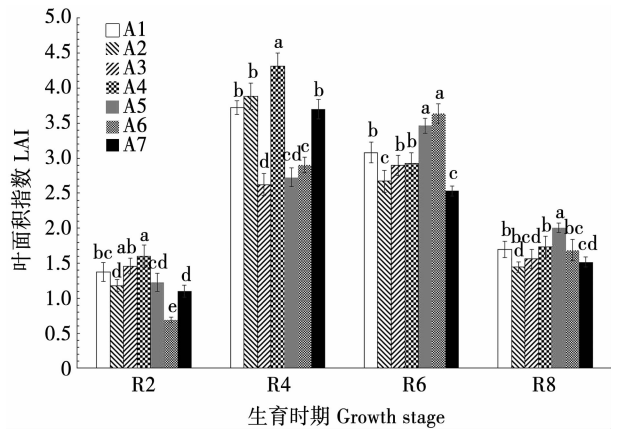


图 2 种植模式对大豆叶面积指数的影响

Fig. 2 Effects of planting patterns on LAI of soybean

2.3 种植模式对大豆干物质质量积累和收获指数的影响

2.3.1 干物质积累 干物质积累以及干物质在籽粒中的分配决定着大豆产量^[11]。在生育期内,大豆干物质积累先增加,在 R6 期达到峰值,随后由于叶片变黄脱落^[12]以及落荚^[13]等现象,干物质积累逐渐下降。由表 3 可知,种植模式对不同时期大豆干物质积累的总量和速度均有较大影响。R2 期 A3 干物质积累最高,A6 干物质积累量最低,并与其他各处理均差异显著。R4 期 A1、A4 处理干物质积累量快速增加,达到了 $880\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 左右,较 A2 高 32.98%,较 A5、A6、A7 这 3 个大垄种植处理高 51.72%左右。R6 期各垄作处理干物质积累量均高于平作的 A2。R8 期 A5 处理干物质积累量最大,与 A2、A3、A7 差异显著。在 R4 期之前,平播及小垄种植干物质积累速率大于大垄种植。但 R4 期之后,大垄种植的干物质积累速率大于平播及小垄种植,并且干物质积累量最大值也较高。

表 3 种植模式对大豆干物质积累的影响

Table 3 Effects of planting patterns on dry matter accumulation of soybean

单位: $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$

处理 Treatment	生育时期 Growth stage			
	R2	R4	R6	R8
A1	142.78 c	876.96 a	1185.48 d	1043.86 ab
A2	135.86 c	787.32 b	1169.71 d	979.99 d
A3	157.46 a	504.94 e	1200.46 cd	1009.37 c
A4	145.08 bc	885.24 a	1385.14 b	1049.33 ab
A5	153.79 ab	573.34 d	1432.58 a	1055.66 a
A6	76.46 e	598.90 c	1437.91 a	1038.38 ab
A7	104.54 d	576.36 d	1244.88 c	1027.58 bc

2.3.2 收获指数 由图 3 可知,种植模式会影响大豆收获指数,A6 处理收获指数最高,达到 0.456,显著高于 A4,较 A4(0.432)高 5.56%。但 A6 干物质积累总量较低,导致籽粒干物质积累量不高。结合干物质积累量综合比较,A5 处理较为理想。

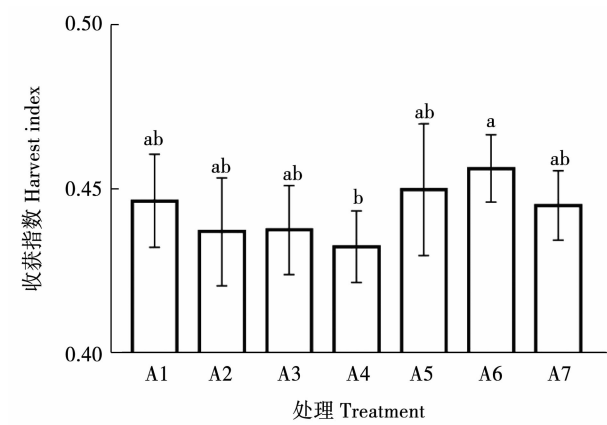


图3 种植模式对大豆收获指数的影响
Fig.3 Effects of planting patterns on harvest index of soybean

表4 种植模式对大豆产量及农艺性状的影响									
Table 4 Effects of planting patterns on yield and agronomic traits of soybean									
处理 Treatment	茎粗 Stem diameter/mm	株高 Plant height/cm	节数 Nodes number	底荚高 Height of lowest pod/cm	单株荚数 Pods number per plant	单株粒数 Seeds number per plant	单株粒重 Seeds weight per plant/g	百粒重 100-seed weight/g	产量 Yield/ (kg·hm ⁻²)
A1	7.84 c	95.80 abc	15.02 ab	18.09 a	18.41 bc	43.22 d	10.53 bcd	21.61 a	3406.53 bcd
A2	7.99 c	93.70 c	14.41 b	16.01 c	17.64 cd	43.01 d	9.71 e	20.07 c	3164.01 e
A3	8.59 b	95.30 bc	15.22 ab	17.30 b	16.82 d	42.60 d	10.19 cde	20.65 bc	3245.73 cde
A4	9.33 a	97.10 ab	15.50 a	18.41 a	18.91 b	46.11 b	10.84 bc	21.18 ab	3570.56 bc
A5	8.69 b	97.76 a	15.13 ab	18.02 ab	20.63 a	48.43 a	12.00 a	21.14 abc	3678.15 a
A6	8.81 b	96.16 ab	15.41 ab	18.10 ab	18.60 bc	44.92 c	11.01 b	21.38 ab	3471.70 b
A7	7.94 c	96.10 ab	14.84 ab	17.92 ab	18.31 bc	43.48 d	10.87 de	20.59 bc	3249.33 de

2.5 种植模式对大豆产量及产量构成因素的影响

2.5.1 产量构成因素 A5 处理单株荚数最高,为 20.63,随后为 A4、A6 处理,荚数分别为 18.91 和 18.60,A3 处理最低,为 16.82。A5 处理与其余各处理均达到显著性差异。A5 处理单株粒数最高,为 48.43,与其余处理均达到显著差异。各处理单株粒重从大到小依次为:A5 > A6 > A7 > A4 > A1 > A3 > A2。A5 与 A2 的差距达到了 23.6%。整体来看,大垄栽培以及宽窄行种植模式在单株荚数和单株粒数、单株粒重上表现更好。百粒重方面,A1 表现最好,达到 21.61 g,而一直在各方面表现较好的 A4、A5 和 A6 的百粒重分别仅为 21.18,21.14 和 21.38 g,但均未和 A1 达到显著差异。A2 处理百粒重最小,为 20.07 g,较处理 A1 低 11.5%。

2.5.2 产量 各处理的产量大小依次为:A5 > A4 > A6 > A1 > A7 > A3 > A2。垄作栽培大豆产量高于平作,A5 处理产量达到了 3 678.15 kg·hm⁻²。较同为大垄栽培的 A4、A6 和 A7 分别高 3.01%、5.95% 和 13.20%,比当前农场的种植方式 A1 高 7.97%。

2.4 种植模式对大豆农艺性状的影响

2.4.1 茎粗 如表 4 所示,各处理茎粗从大到小依次为 A4 > A6 > A5 > A3 > A2 > A7 > A1,A4 与其余各处理均存在显著差异,较 A1 处理高 19.01%。

2.4.2 株高 大垄栽培的株高较小垄以及平播模式高,A5 处理的株高达到了 97.76 cm,A2 最低,仅为 93.7 cm,A2 与所有大垄栽培模式株高均达到显著性差异。A4、A5、A6 和 A7 这 4 个处理株高较高,说明在苗期前采用大垄栽培能增加大豆株高(表 4)。

2.4.3 节数 各处理的节数差异不大,仅最高的 A4 和最低的 A2 间存在显著性差异。垄作处理的节数多于平作(表 4)。

2.4.4 底荚高 A4 处理底荚高度最大,达到了 18.41 cm;A2 最低,为 16.01 cm;A1、A4 分别与 A2、A3 存在显著性差异。说明垄作栽培底荚高度大于平播(表 4)。

A5 与其余处理间均存在显著差异。除 A7 处理外各大垄模式大豆产量高于小垄模式,可能是 A7 的垄宽仅为 110 cm 而行距则由小垄种植的 12.0 cm 变为 22.5 cm,此时株行距对产量的影响大于垄宽对产量的影响,但总体来看,大垄栽培大豆产量高于小垄栽培(表 4)。

2.6 大豆产量与各性状间的灰色关联分析

根据灰色系统理论,各因素的重要性由关联度表示,关联度越大则该因素的重要性越高^[14-15]。本研究各性状与产量的关联度如表 5 所示,从大到小依次为:单株粒数(0.769 2)、单株荚数(0.721 1)、单株粒重(0.720 3)、百粒重(0.697 8)、节数(0.688 8)、株高(0.670 5)、茎粗(0.659 6)、底荚高(0.630 2),可见单株粒数、单株荚数和单株粒重对产量的影响最大,底荚高度和茎粗对产量的影响较小。说明在进行大豆种植时应选择单株粒数、荚数和粒重表现较好的种植模式,以提高产量。本研究中 A5 处理单株粒数和单株荚数和单株粒重均表现最好,产量也最高。

表5 产量与各性状间的灰色关联度
Table 5 Grey relevant grades between yield and agronomic traits

指标 Index	关联度 Relevant grade	排序 Rank
X1	0.6596	7
X2	0.6705	6
X3	0.6888	5
X4	0.6515	8
X5	0.7211	2
X6	0.7692	1
X7	0.7203	3
X8	0.6978	4

注: X1、X2、X3、X4、X5、X6、X7、X8 分别表示茎粗、株高、节数、底荚高、单株荚数、单株粒数、单株粒重、百粒重。
Note: X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7 and X8 stand for stem diameter, plant height, nodes number, height of lowest pod, pods number per plant, seeds number per plant, seeds weight per plant, 100-seed weight.

3 讨论

适宜的种植模式有助于大豆植株的生长发育和产量提高。适宜的种植模式能够改善土壤水分环境,影响大豆根系的生长,从而影响大豆的地上部生长,使叶面积指数变化合理并延长光合时间,有利于光合产物的积累和分配,最终提高大豆的产量^[16-17]。本研究整个生育期大垄种植模式土壤含水量更高,蓄水保墒性能更好,这与肖佳雷等^[7]的结论一致。130 cm 宽窄行处理与 130 cm 等行距处理含水量有差异,但并不显著。

叶面积指数是衡量大豆群体结构的重要指标,大豆结荚期和鼓粒期叶面积指数与产量显著相关,大豆光合产物及籽粒形成的关键时期是结荚期和鼓粒期^[18]。在鼓粒初期前后,叶面积指数上升与下降速率较小时有利于光合产物积累。延长叶面积的持续期可以使干物质积累增加^[19]。本研究结果表明,130 cm 大垄种植模式在鼓粒期的叶面积指数明显好于平作以及常规 65 cm 垄播、110 cm 垄播,为高产打下了基础。A5、A6 叶面积指数变化均比较平稳,而其余处理叶面积指数变化迅速。叶面积指数影响干物质积累^[20],干物质是光合作用积累而成的产物,干物质的积累转运和分配直接影响经济产量。研究表明,大垄种植能获得较高的干物质积累量,而同时收获指数比其他模式高,说明大垄栽培有较好的向籽粒转移同化产物的能力,有利于产量的积累。

在本研究中,垄作模式产量高于平作;大垄种植产量高于小垄种植,这与尹晓娟等^[21]的结论一致,而不同于黄甜^[22]的研究结果,说明大豆种植需

要结合大豆品种以及种植地的土壤气候条件,选择更为适合的种植模式。大垄平台能提高地温,既能保墒又有利于排涝^[23],在同密度下,宽窄行种植能优化大豆群体排布^[24],促进大豆生长,提高产量。A5 模式(垄上四行宽窄行)正是将这两种田间配置方式结合,通过大垄的保温保墒作用使大豆从苗期开始就有一个较为合适的叶面积指数,而 A5 宽窄行的种植方式也让大豆种群结构相对合理,叶面积指数上升、下降都较为平稳,有较好的保持叶面积指数的能力,使大豆干物质在前期稳步增加,后期也能较好地转运到籽粒中,进而构成产量。

大豆产量和各农艺性状间的灰色关联分析结果表明,各农艺性状对产量的影响有主次之分,可通过改善主要因素提高大豆产量^[25]。在本研究中,单株粒数、单株荚数、单株粒重与产量的关联度均在 0.7 以上,垄上四行宽窄行种植模式下的大豆单株粒数、单株荚数、单株粒重均为各处理中最佳,在今后的种植模式改进中也应以单株粒数、单株荚数、单株粒重为重点性状,协调百粒重、底荚高等其余农艺性状,充分发挥大豆的生产潜力。

4 结论

生产中选择适宜的种植模式是实现高产的基础和前提。在本研究的不同种植模式中,垄上四行宽窄行(A5)提高了土壤含水量,成熟期干物质积累量达到 1 055.66 g·m⁻²,单株荚数、单株粒数、单株粒重均位列各处理首位,农艺性状表现也较好,取得了较高的收获指数,最终获得最高产量,籽粒产量达到 3 678.15 kg·hm⁻²,较同为大垄栽培的大垄种小垄管(A4)、垄上四行等行距(A6)、垄上三行等行距(A7)分别高 3.01%、5.95% 和 13.20%,比当前农场的种植方式 65 cm 常规垄播(A1)高 7.97%。垄上四行宽窄行模式是一种在嫩江地区较为理想的种植模式,在生产中可结合实际情况进行示范应用。

参考文献

[1] 陈伟,朱俊峰,田国强. 中美贸易摩擦对中国大豆的影响及对策分析[J]. 大豆科学, 2019, 38(1): 118-123. (CHEN W, ZHU J F, TIAN G Q. The impact and countermeasures analysis of sino-US trade friction on China's soybean[J]. Soybean Science, 2019, 38(1): 118-123.)
[2] 翟喜海. 黑龙江省大豆主要栽培模式及关键技术[J]. 中国农学通报, 2009, 25(12): 85-90. (ZHAI X H. Main type and key technology of soybean cultivation in Heilongjiang Province[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(12): 85-90.)
[3] COOPER R L. Response of soybean cultivars to narrow rows and planting rates under weed-free conditions[J]. Agronomy Journal, 1977, 69(1): 89-92.
[4] 张国军,梁贵林,陈德恩,等. 三江平原主要大豆栽培技术模式

的产量与效益分析[J]. 农学学报, 2012, 2(8): 1-7. (ZHANG G J, LIANG G L, CHEN D E, et al. Yield and economic benefit analysis on major soybean planting modes in the sanjiang plain of Heilongjiang Province [J]. Journal of Agriculture, 2012, 2(8): 1-7.)

[5] 郭玉. 几种大豆高产栽培模式的比较[J]. 大豆科学, 1988, 7(4): 285-292. (GUO Y. The comparison of several models of high-yield cultivation models of soybean [J]. Soybean Science, 1988, 7(4): 285-292.)

[6] 王晶英,周勋波,杨方人. 大豆“暗垄密”高产栽培新技术[J]. 黑龙江农业科学, 2001(4): 43-44. (WANG J Y, ZHOU X B, YANG F R. A new technique for high-yielding cultivation of soybean[J]. Heilongjiang Agricultural Science, 2001(4): 43-44.)

[7] 肖佳雷,王贵江,来永才,等. 大豆大垄平台增密保墒增产机理的研究[J]. 中国种业, 2012, 208(7): 39-41. (XIAO J L, WANG G J, LAI Y C, et al. Study on density increasing, moisture conservation and yield increasing mechanism of soybean wide-ridge cultivation[J]. China Seed Industry, 2012, 208(7): 39-41.)

[8] 张永强,张娜,唐江华,等. 密度对北疆复播大豆生长动态及产量的影响研究[J]. 新疆农业大学学报, 2014, 37(1): 7-11. (ZHANG Y Q, ZHANG N, TANG J H, et al. Effects of planting density on yield and growth tendency of summer soybean in North Xinjiang[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2014, 37(1): 7-11.)

[9] 彭姜龙,张永强,唐江华,等. 株行距配置对夏大豆光合特性及产量的影响[J]. 大豆科学, 2015, 34(5): 794-800, 807. (PENG J L, ZHANG Y Q, TANG J H, et al. Effect of plant-row spacing on photosynthetic characteristics and yield of summer soybean[J]. Soybean Science, 2015, 34(5): 794-800, 807.)

[10] 张荣贵,宋宇. 大豆叶面积、净光合生产率与产量的相关性[J]. 中国农业科学, 1979(2): 40-46. (ZHANG R G, SONG Y. Correlation of leaf area and net photosynthesis rate to the yield of soybean [J]. Chinese Agricultural Science, 1979(2): 40-46.)

[11] 赵桂范,连成才,郑天琪,等. 种植方式对大豆植株干物质积累及养分吸收影响的研究[J]. 大豆科学, 1995, 14(3): 233-240. (ZHAO G F, LIAN C C, ZHENG T Q, et al. The effects of planting patterns on dry matter accumulation and nutrient content absorbability of soybean plant [J]. Soybean Science, 1995, 14(3): 233-240.)

[12] 宋微微,杜吉到,郑殿峰,等. 大豆干物质积累、分配规律的研究进展[J]. 大豆科学, 2008, 27(6): 1062-1066. (SONG W W, DU J D, ZHENG D F, et al. Research progress on dry matter accumulation and distribution rules of soybean population [J]. Soybean Science, 2008, 27(6): 1062-1066.)

[13] 蒋利,雍太文,张群,等. 种植模式和施氮水平对大豆花荚脱落及产量的影响[J]. 大豆科学, 2015, 34(5): 843-849. (JIANG L, YONG T W, ZHANG Q, et al. Effect of different planting patterns and N application rates on abscission of flower and pod of soybean and yield [J]. Soybean Science, 2015, 34(5): 843-849.)

[14] 封亮,王淑彬,杨文亭,等. 红壤旱地玉米大豆间作模式对大豆农艺性状和产量的影响[J]. 大豆科学, 2020, 39(6): 882-890. (FENG L, WANG S B, YANG W T, et al. Effects of maize soybean intercropping patterns on soybean agronomic characters and yield in upland red soil [J]. Soybean Science, 2020, 39(6): 882-890.)

[15] 张君,王丕武,杨伟光,等. 大豆主要性状间的灰色关联度分析[J]. 沈阳农业大学学报, 2004(1): 1-3. (ZHANG J, WANG P W, YANG W G, et al. Analysis of grey correlative grade among main characters of soybean [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2004(1): 1-3.)

[16] 孟凡钢,李羽,张伟,等. 不同生育时期干旱胁迫对大豆根系分布和农艺性状的影响[J]. 大豆科学, 2016, 35(6): 943-946. (Effect of drought-stress on soybean root distribution and agronomic traits at different growth stages [J]. Soybean Science, 2016, 35(6): 943-946.)

[17] 苏丽丽,李亚杰,徐文修,等. 耕作方式对土壤理化性状及夏大豆产量的影响分析[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(3): 43-48, 58. (Effects of tillage methods on soil physical and chemical properties and yield of summer soybean [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2017, 35(3): 43-48, 58.)

[18] 曹金锋,赵双进,卢思慧,等. 大豆不同群体叶面积指数及干物质积累与产量的关系[J]. 河北农业科学, 2009, 13(5): 1-3. (CAO J F, ZHAO S J, LU S H, et al. Studies on the relationship between yield and leaf area index and dry matter accumulation of soybean with different population [J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2009, 13(5): 1-3.)

[19] 常耀中,董丽华. 大豆高产规律及栽培技术研究[J]. 作物学报, 1982, 8(1): 41-48. (CHANG Y Z, DONG L H. The principle of high-yielding soybean and its culture technique [J]. Acta Agronomica Sinica, 1983, 8(2): 41-48.)

[20] 陈传信,唐江华,王娜,等. 种植方式对北疆滴灌复播大豆植株生长及产量的影响[J]. 新疆农业大学学报, 2016, 39(6): 431-436. (CHEN C X, TANG J H, WANG N, et al. Effects of planting patterns on plant growth and yield of summer soybean in northern Xinjiang [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2016, 39(6): 431-436.)

[21] 尹晓娟,吴显峰,边辉. 大豆 130 cm 大垄高台密植试验研究[J]. 现代农业科技, 2010, 537(19): 56, 58. (YIN X J, WU X F, BIAN H. Study on the experiment of soybean cultivation in 130 cm wide-ridge high-platform [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2010, 537(19): 56, 58.)

[22] 黄甜. 大垄三行下不同类型大豆品种产量及生理特征研究[D]. 长春:吉林农业大学, 2020. (HUANG T. Study on yield and physiological characteristics of different types of soybean varieties with three rows planting patterns [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2020.)

[23] 李耀武. 大豆大垄高台密植增产机理初探[J]. 现代化农业, 2011, 382(5): 51-52. (LI Y W. Study on the mechanism of yield increasing by dense planting in soybean wide-ridge and high platform planting [J]. Modernizing Agriculture, 2011, 382(5): 51-52.)

[24] 张伟,张惠君,王海英,等. 株行距和种植密度对高油大豆农艺性状及产量的影响[J]. 大豆科学, 2006, 25(3): 283-287. (ZHANG W, ZHANG H J, WANG H Y, et al. Effects of spacings and planting densities on agronomic traits and yield in high-oil soybeans [J]. Soybean Science, 2006, 25(3): 283-287.)

[25] 刘明,卜伟召,杨文钰,等. 山东间作大豆产量与主要农艺性状关联分析[J]. 中国油料作物学报, 2018, 40(3): 344-351. (LIU M, BU W Z, YANG W Y, et al. Correlation analysis of yield and agronomic traits of soybean for intercropping in Shandong [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2018, 40(3): 344-351.)