



# 大西江农场种植模式对黑河 43 农艺性状和产量的影响

王吉权, 钱 昌, 王福林, 兰佳伟, 齐思远

(东北农业大学 工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

**摘 要:**为探讨不同种植模式对大豆生长发育和产量的影响,并确定适合黑龙江省大西江农场的最优大豆种植模式,以大豆品种黑河 43 为试验材料,连续 3 年在相同密度条件下设计了 7 种不同种植模式,对各种种植模式下不同大豆生育期的土壤含水量、大豆农艺性状及其干物质积累量和产量进行分析。结果表明:不同种植模式下不同时期土壤含水量差异显著,垄作种植模式各时期土壤含水量均高于平播。干物质积累量和叶面积指数在生育生长期均呈先增后降的趋势。垄上四行不等行距模式大豆株高最高,为 86.53 cm。大垄种小垄管模式茎粗最粗,为 6.67 cm。常规垄播百粒重最大,为 20.69 g。垄上三行模式底荚高最高,为 16.97 cm。相关性分析显示:茎粗、单株粒数、单株荚数和单株粒重与产量呈极显著正相关,相关系数分别为 0.257、0.578、0.319 和 0.651,垄上四行不等行模式在这些方面表现较好,产量最高,为 3 364.91 kg·hm<sup>-2</sup>,比垄上三行模式产量高 9%,比常规垄播模式产量高 10%。综上所述,垄上四行不等行模式可作为黑龙江大西江农场的最优大豆种植模式,同时为相同积温带其他地区选择最优的种植模式提供参考。

**关键词:**大豆;农艺性状;干物质积累量;产量;种植模式

## Effects of Planting Patterns on Agronomic Traits and Yield of Heihe 43 in Daxijiang Farm

WANG Ji-quan, QIAN Chang, WANG Fu-lin, LAN Jia-wei, QI Si-yuan

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

**Abstract:** In order to explore the effects of different cropping patterns on soybean growth and development and yield, and to determine the optimal soybean cropping pattern suitable for Daxijiang Farm in Heilongjiang Province, the Heihe 43 variety was used as the test material, three consecutive years seven distinct planting patterns were designed at the same density. The association between the leaf area index, dry matter accumulation, agronomic parameters, and yield during different fertility periods for each cropping pattern was investigated. The experimental findings revealed that the soil moisture content of the three cropping patterns differed considerably at different times, the soil moisture content of the monopoly cropping pattern was greater than the flat crop at different times. During the reproductive phase, dry matter accumulation and leaf area index increased and then decreased. The plant height of four rows with unequal spacing was the highest as 86.53 cm. Soybean plants were the thickest in the huge ridges planting and small ridges management pattern, for 6.67 cm. The 100-seed weight of 65 cm conventional ridge tillage was the highest, reaching 20.69 g. The layout with equal plant spacing in three rows produced the maximum pod height of 16.97 cm. Correlation analysis showed that stem thickness, seeds number per plant, pods number per plant and seeds weight per plant were highly significantly and positively correlated with yield, with correlation coefficients of 0.257, 0.578, 0.319 and 0.651, respectively. The four unequal rows on monopoly model out performed better than the three-row on monopoly model and the conventional monopoly sowing model in these aspects, with the highest yield of 3 364.91 kg·ha<sup>-1</sup>, which was 9% higher than the three-row on monopoly model and 10% higher than the conventional monopoly sowing model. Finally, the four unequal rows on monopoly model may be chosen as the ideal soybean planting pattern in Daxijiang Farm of Heilongjiang province, and provides a theoretical foundation for selecting the optimal planting pattern in other regions of the same cumulative temperature zone.

**Keywords:** soybean; agronomic traits; dry matter accumulation; yield; planting patterns

大豆是兼具粮食作物和经济作物双重属性的农产品。大豆实现高产主要依赖于品种和种植模式,在选取优良大豆品种的基础上探寻最优大豆种植模式是提高大豆产量的重要途径。黑龙江省是我国大豆主产区,目前年种植面积为  $6.85 \times 10^7$  hm<sup>2</sup> 以上,年总产量高达  $7.188 \times 10^6$  t,种植面积和产量均占全国 40% 以上,保障黑龙江省大豆实现高产对

维持我国大豆市场供需平衡具有重要意义<sup>[1]</sup>。大豆是群体产量作物,不同种植模式大豆的群体结构差异较大,从而使得产量差异较大<sup>[2-3]</sup>。种植模式与产量关系的大量研究表明,不同种植模式下土壤含水量、大豆叶面积指数、干物质积累量、农艺性状以及产量构成等方面均有显著性差异<sup>[4-5]</sup>。已有研究表明,适宜的种植模式既有助于充分发挥大豆单

收稿日期:2022-11-19

基金项目:国家重点研发计划(2018YFD0300105)。

第一作者:王吉权(1970—),男,教授,博导,主要从事农业系统工程研究。E-mail:wang-jiquan@163.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。

株产量潜力,又有助于增加大豆群体单位面积产量,挖掘群体优势,提升大豆产量,实现个体生长与群体产量的有机统一<sup>[6]</sup>。合理密植能够有效发挥大豆群体优势,进而提高大豆产量<sup>[7]</sup>。李殿祥等<sup>[8]</sup>建立垄平结合、宽窄结合、旱涝综防的“大垄密植”种植模式,合理布局大豆植株空间,提高大豆光能利用率,实现高产。同密度条件下对大豆群体的行距、株距、行数进行调节是促进大豆合理分布的重要措施。有研究表明,增大种植垄宽有利于提高大豆光能利用率,从而提高大豆产量<sup>[9]</sup>。近年来学者对于大豆增产措施的研究主要集中在土壤施肥、大豆品种和植株密度选择等方面,而对大豆种植模式的研究并不多。尽管已有学者研究了在不同密度条件下种植模式对大豆产量的影响,但其研究的种植模式的垄宽大多采用 65 和 110 cm,且没有对更大垄宽和更多行数的种植模式进行研究。

本研究结合以往学者研究成果和黑龙江省大豆种植模式的主要特点设计了 7 种植植模式,对各种种植模式下大豆不同生育时期土壤含水量、叶面积指数、干物质积累量和产量构成进行分析,明确大豆增产机理,建立适合黑龙江省不同地区的最优大豆种植模式,以期为提高黑龙江省大豆产量提供一定的理论基础和研究指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2019 年 5 月—2021 年 10 月在大兴安岭垦区九三农垦大西江农场农业科技示范园区进行。该园区地处大兴安岭南麓嫩江东岸(124°57'E, 48°58'N),占地面积 26.8 hm<sup>2</sup>,年均降水量约 420 mm,年均有效积温 2 210 ℃,雨热同期。前茬作物为玉米,试验地块土壤为黑土,有机质含量为 50.3 g·kg<sup>-1</sup>,速效钾 205 mg·kg<sup>-1</sup>,有效磷 36.7 mg·kg<sup>-1</sup>,碱解氮 245 mg·kg<sup>-1</sup>。

1.2 材料

供试大豆品种为黑河 43,由黑龙江省农业科学院黑河分院选育而成,株高 80 cm 左右,无分枝,亚有限结荚习性。黑河 43 大豆具有较强的抗旱性和耐盐碱性,且品质好、产量稳,在黑龙江地区第四积温带广泛种植。

1.3 试验设计

1.3.1 种植模式设计 共设置常规垄播、平播、平播中耕起垄、垄上三行、大垄种小垄管、垄上四行不等行、垄上四行等行距共 7 种植植模式。

大西江农场现有的大豆种植模式有常规垄播、平播、平播中耕起垄和垄上三行等 4 种模式。常规垄播模式为试验地区农户采用的模式,垄宽 65 cm,垄上双行种植,行距 12 cm,株距 7.5 cm,播种面积 624 m<sup>2</sup>;播作模式是将常规垄播改为平播,播种时株行距、面积不变;平播中耕起垄模式以平播为基础,在苗期中耕起 65 cm 垄,播种面积不变;垄上三行为试验农场采用的模式,垄宽 110 cm,垄上三行种植,行距 22.5 cm,播种面积 1 584 m<sup>2</sup>。平播种植方便,节约成本,但排水困难易涝灾;垄播有利于调节土壤水分,增加土壤库容,提高土壤温度,对于高寒地区至关重要。增大垄宽利于大豆植株通风透光,从而促产,因此,本研究结合已往的研究成果与大西江农场地区特点增设 3 种植植模式:“大垄种小垄管”模式将两个 65 cm 小垄合并成 1 个 130 cm 大垄进行播种,株行距不变,苗期中耕时再将 130 cm 大垄分割成两个 65 cm 小垄,播种面积 1 248 m<sup>2</sup>;“垄上四行不等行”模式将两个 65 cm 小垄合并成 1 个 130 cm 大垄进行播种,株行距不变,中耕时保持 130 cm 垄宽,播种面积 1 248 m<sup>2</sup>;“垄上四行等行距”模式的垄宽 130 cm,垄上四行种植,每行行距 25 cm,播种面积 1 248 m<sup>2</sup>。为验证增加垄宽、130 cm 大垄中耕分割为小垄以及 130 cm 大垄每行行距不同对产量的影响,对 7 种植植模式分别标号 A、B、C、D、E、F、G 并进行田间试验,如表 1 所示。

表 1 7 种植植模式垄宽、行数和行距

Table 1 Row width, number of rows and row spacing of seven planting partterns				
处理 Treatment	种植模式 Planting pattern	垄宽 Ride width/cm	行数 Row number	行距 Row spacing/cm
A	常规垄播	65	2	12.0
B	平播	-	-	-
C	平播中耕起垄	65	2	12.0
D	大垄种小垄管	130	4	中间行 53.0,边行 12.0
E	垄上四行不等行	130	4	中间行 53.0,边行 12.0
F	垄上四行等行距	130	4	25.0
G	垄上三行	110	3	22.5

1.3.2 播种和施肥设计 3年试验大豆的播种时间分别为2019年5月7日、2020年5月12日和2021年5月8日,其收获期分别为2019年10月3日、2020年10月15日和2021年10月5日。试验共设计7种大豆种植模式(表1),密度均为36万株·hm<sup>-2</sup>,采取大区种植,不设重复,田间管理方式与常规大田管理方式相同,且种植大豆时采用一次性施底肥,具体施肥量为尿素56 kg·hm<sup>-2</sup>、磷酸二铵156 kg·hm<sup>-2</sup>、硫酸钾30 kg·hm<sup>-2</sup>,施肥日期与大豆播种日期一致。考虑到F处理的试验地区播种机难以操作,故该处理采取人工播种,其余处理均采取机械播种。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 土壤含水量 在不同种植模式的试验地块中,每个地块按对角线取样法选取5个采样点,在苗期、开花期、结荚期、鼓粒期和成熟期,每个采样点按每层10 cm,测量0~50 cm土层的土壤含水量,并计算平均土壤含水量。

1.4.2 大豆叶面积指数 各种种植模式每年在开花期、结荚期、鼓粒期和成熟期分别选取5点,每点随机选取中间行以及边行的大豆共5株,剪下每株叶片并运用托普云农智能叶面积测量系统YMJ-C/CH测量大豆植株叶面积指数。大豆植株的叶面积指数(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 各种种植模式每年在开花期、结荚期、鼓粒期和成熟期分别选取5点,每点随机选取中间行及边行的大豆共5株,测量地上部分干物质含量,将大豆植株地上部置于105℃下杀青30 min,随后80℃烘至恒重称重。

1.4.4 大豆农艺性状和产量 各种种植模式在成熟期分别选取5点,每点取1 m<sup>2</sup>对收获株数进行测量;各种种植模式在成熟期分别选取5点,每点随机取

中间行及边行大豆共5株,测量株高、茎粗、底荚高、单株荚数、单株粒数和百粒重。收获期对产量进行统计,产量(kg·hm<sup>-2</sup>)=单株粒数×百粒重×公顷株数/100 000。

1.4.5 大垄种植模式边行与中间行各农艺性状的差异分析 成熟期分别对垄上四行不等行、垄上三行、垄上四行等行距等3种大垄种植模式的中间行及边行各取5点,每点连续选5株大豆,测量并分析边行与中间行在株高、茎粗、底荚高、单株荚数、单株粒数及百粒重等方面的差异。以此来分析垄上不同行数、行距及垄宽与大豆农艺性状间的关系。

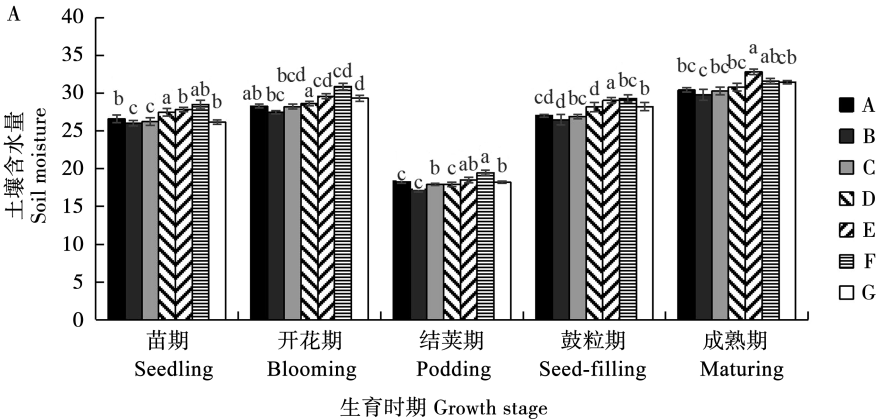
1.5 数据分析

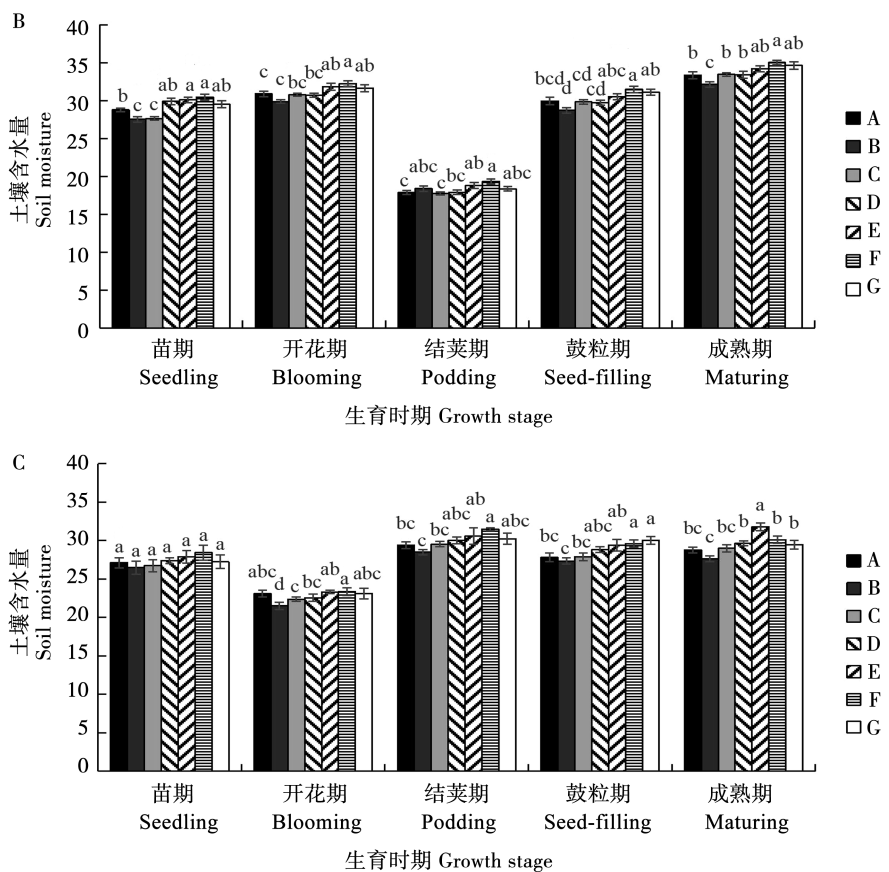
用Excel 2019对数据进行分析,用SPSS 26.0软件进行方差分析,用Duncan进行多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 不同种植模式土壤含水量

由图1可知,2020、2021年各处理在苗期土壤含水量为F>E>D>G>A>C>B,且3年间垄作模式各生育期土壤含水量均高于平播模式。在开花期,3年间C处理与B处理具有显著性差异,这是由于C处理中耕起垄时增加了土壤保墒能力;D处理含水率明显低于其他大垄种植模式,这是由于D处理中耕破大垄为小垄时,降低了土壤保墒能力。在结荚期,E、F处理土壤含水量较高,B、C处理含水量较低,其中,3年间F与B、C处理均存在显著性差异。在鼓粒期,E、F、G处理等大垄模式与B处理达到显著性差异。E处理的含水率在成熟期之前一直低于F处理,但差异不显著,且随大豆生长差距逐渐减小,直到成熟期E处理含水率实现反超并达到最高,与F处理具有显著性差异。总体来看,相较于平播和小垄模式,大垄模式保墒能力更好。





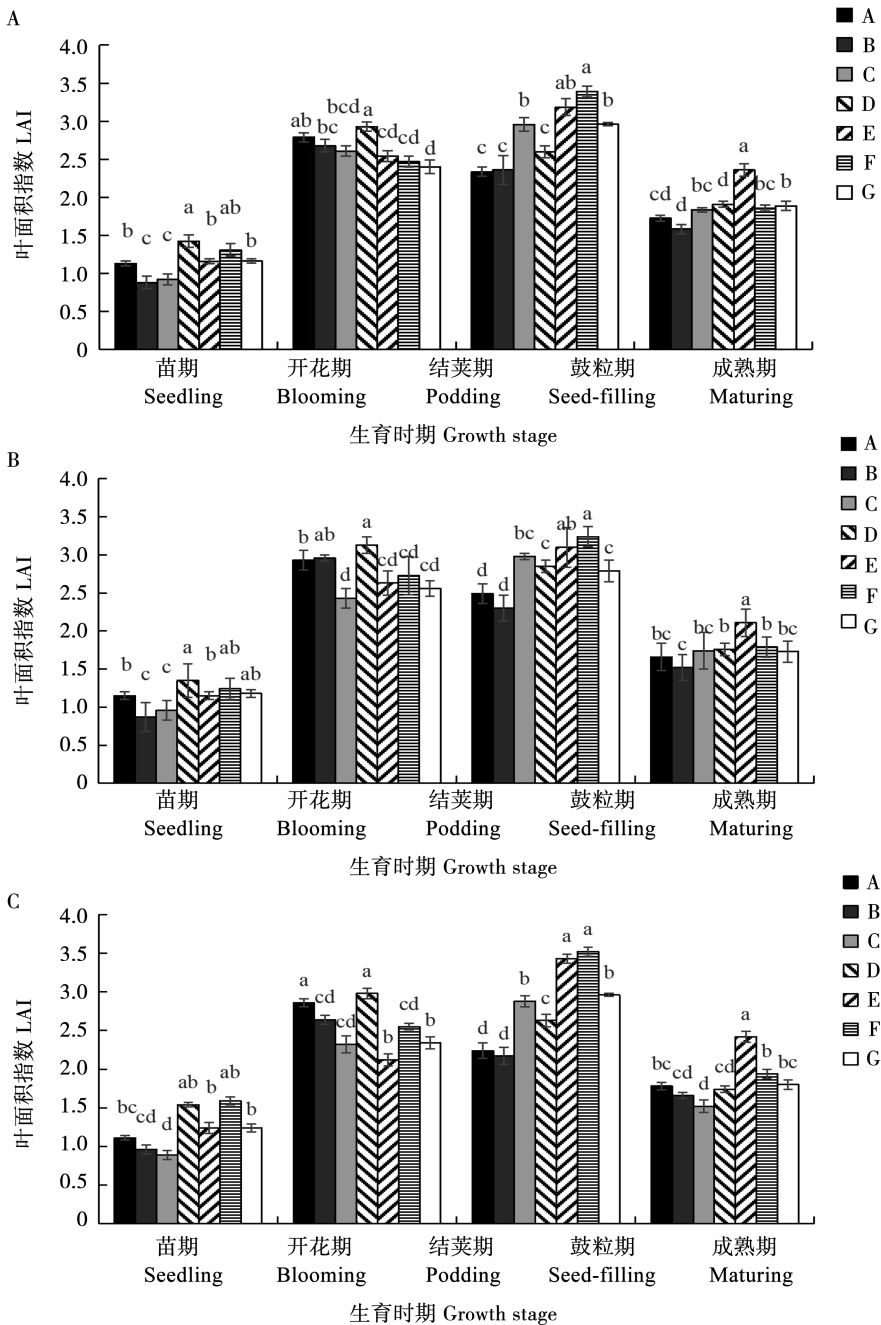
注: A. 2019; B. 2020; C. 2021。不同小写字母代表 0.05 水平差异显著,下同。  
Note: A. 2019; B. 2020; C. 2021. Different lowercase indicate significant difference at 0.05 level, the same below.

图 1 种植模式对土壤含水量的影响  
Fig.1 Effects of planting patterns on soil moisture

2.2 不同种植模式对大豆叶面积指数的影响

叶面积指数 (LAI) 影响光能在不同冠层的分布,一定程度上影响作物光合产物的积累,其大小和动态变化过程对大豆产量有很大的影响<sup>[10]</sup>。如图 2 所示,3 年间 7 种植模式的叶面积指数均呈先增长后下降的趋势,在开花期后叶面积指数增速较快,到结荚期逐渐达到最高,从结荚期至鼓粒期叶面积指数能维持较高状态,之后随着底部叶片衰老,植株养分向豆荚输送,叶面积指数下降。其中,开花期 D、F 处理叶面积指数较高,B、C 处理较低。在结荚期 A、B、D 处理叶面积指数迅速增加并达到自身最大,此时 D 处理叶面积指数最高,3 年平均为

3.01,其次是 A、B 处理,分别为 2.86 和 2.76。在鼓粒期 E、F 和 G 处理达到自身最大叶面积指数,且此时 F 处理叶面积指数最大,为 3.38,比 E 处理高 4%,但未达到显著性差异,F 与 A、B、D 处理 3 年间均呈显著性差异。直到成熟期,E 处理叶面积指数最大,与其他处理存在显著性差异。在成熟期各处理叶面积指数与各自最大叶面积指数相比分别下降了 66%、74%、73%、59%、46%、62% 和 60%。鼓粒期、成熟期的叶面积指数增长或衰落过快,不利于光合产物的积累<sup>[11]</sup>,虽然大垄模式结荚期的叶面积指数增速较弱于平播和垄播,但其在成熟期叶面积指数波动更小,为干物质积累打下良好基础。



注：A. 2019；B. 2020；C. 2021。

Note: A. 2019；B. 2020；C. 2021.

图2 种植模式对大豆叶面积指数的影响

Fig. 2 Effects on soybean LAI of planting patterns

2.3 不同种植模式对大豆干物质积累量的影响

大豆的干物质积累及其分配与大豆产量密切相关<sup>[12]</sup>。不同种植模式大豆的干物质积累量如表2所示,3个生长季大豆干物质积累都先增加后减少,鼓粒期达到最大,之后逐渐减少,到成熟期逐渐趋于稳定。不同生长时期不同种植模式大豆干物质积累量存在差异:C处理3年内开花期干物质积累量最大,F、G处理较低;A、D处理在结荚期干物质积累量迅速增加,在2019和2021年与其他处理

具有显著性差异;各处理干物质积累量在鼓粒期逐渐增加并达到峰值,并且垄作模式干物质积累量超过平播;E、F、G处理在成熟期干物质积累量较大,其中E处理干物质积累量最高,3年平均为24.32 g,并且与B、C处理具有显著性差异。整体上看,在结荚期之前垄作模式干物质积累速率慢于平播模式,而结荚期之后,垄作模式干物质积累速率超过平播模式,且干物质积累量更大。

表 2 不同种植模式大豆各生育时期的干物质积累量

Table 2 Dry matter accumulation of soybean at different growing stages under different planting patterns

单位:g·m <sup>-2</sup>												
处理 Treatment	2019				2020				2021			
	开花期	结荚期	鼓粒期	成熟期	开花期	结荚期	鼓粒期	成熟期	开花期	结荚期	鼓粒期	成熟期
	Blooming	Podding	Seed-filling	Maturing	Blooming	Podding	Seed-filling	Maturing	Blooming	Podding	Seed-filling	Maturing
A	3.09 a	13.46 ab	21.06 c	20.57 c	2.96 b	15.17 a	22.32 c	21.41 b	3.16 bc	19.38 a	21.93 c	21.62 bc
B	2.85 ab	10.75 d	19.35 d	18.71 d	2.82 c	9.96 c	20.77 d	19.51 c	3.18 bc	10.89 d	20.95 d	19.90 d
C	3.13 a	10.90 d	20.02 cd	19.52 cd	2.79 c	10.25 c	21.34 d	20.05 c	3.91 a	11.18 cd	21.87 c	20.84 cd
D	2.89 b	14.13 a	21.13 c	20.55 c	2.93 b	14.69 a	24.15 ab	22.54 ab	3.52 abc	19.47 a	24.59 a	22.15 b
E	3.05 a	12.90 b	25.90 a	25.23 a	2.96 b	11.35 bc	24.78 a	23.58 a	3.68 ab	12.78 b	24.73 a	24.16 a
F	2.61 ab	12.07 c	25.39 a	24.82 a	3.08 a	12.11 b	24.22 ab	22.41 ab	2.97 c	12.14 bc	23.86 ab	23.99 a
G	2.94 ab	11.80 c	23.47 b	22.68 b	2.99 ab	11.72 b	23.67 b	22.95 a	3.03 bc	11.79 bcd	23.40 b	23.56 a

2.4 不同种植模式对大豆农艺性状的影响

如表 3 所示,采用 130 cm 大垄种植的 D、E、F 处理实际收获大豆植株数量高于其他种植模式,F 处理收获植株数量最多,平均为 35.17 株·m<sup>-2</sup>,与 B 处理相比连续 3 年均差异显著。D、E、F、G 处理 3 年间的茎粗较粗,A、B 处理茎粗较细。大垄种植模式的株高高于小垄和平播种植模式,其中,E 处理株高

最高,平均为 86.53 cm, B 处理最低,为 78.96 cm, F 处理与 B 处理 3 年均达到显著性差异。在节数方面,仅 2021 年 F 处理与 B 处理达到显著性差异,其余年份各处理间差异不显著,但从整体来看,垄作模式的节数略高于平播。A、D、E、F 处理的底荚高较高,其中 F 处理最高,为 16.96 cm, B 处理最矮,为 15.12 cm, 3 年间垄作模式的底荚高均比平播模式高。

表 3 不同种植模式的大豆农艺性状和产量

Table 3 Effects of different planting patterns on agronomic characters and yield of soybean

年份 Year	处理 Treatment	收获株数	茎粗	株高	单株节数	底荚高	单株荚数	单株粒数	单株粒重	百粒重	产量 Yield/ (kg·hm <sup>-2</sup> )
		Plants number	Stem	Plant	Nodes	Height of	Pods	Seeds	Seeds	100-seed	
		for harvest/ (株·m <sup>-2</sup> )	diameter/ mm	height/ cm	number per plant	lowest pod/cm	number per plant	number per plant	weight per plant/g	weight/ g	
2019	A	33.9 c	4.77 c	71.17 b	13.36 a	15.23 c	19.32 ab	48.16 ab	9.02 b	21.59 a	3129.77 b
	B	34.4 bc	4.79 c	70.02 b	13.19 a	14.61 bc	18.12 c	46.35 c	8.68 b	20.07 a	3044.63 b
	C	34.4 bc	4.92 bc	71.83 b	13.27 a	15.27 bc	18.89 ab	49.29 ab	8.81 b	20.73 a	3101.66 b
	D	34.9 ab	5.06 ab	75.26 a	13.30 a	16.90 a	19.32 ab	49.93 ab	8.94 b	21.19 a	3176.93 b
	E	35.4 a	4.93 bc	76.73 a	13.46 a	16.54 ab	19.89 a	51.28 a	9.61 a	21.16 a	3486.02 a
	F	35.2 a	5.05 ab	74.91 a	13.87 a	15.58 abc	19.47 ab	50.23 a	9.00 b	21.40 a	3235.45 b
	G	34.9 ab	5.23 a	75.39 a	13.99 a	15.50 bc	19.43 ab	49.26 ab	8.93 b	20.61 a	3185.12 b
2020	A	34.7 ab	5.67 bc	77.61 bc	16.38 ab	16.20 ab	20.72 ab	51.76 ab	9.84 ab	19.87 a	3496.56 ab
	B	34.2 b	5.52 c	73.29 c	16.20 c	14.60 c	19.34 c	47.92 c	9.03 c	18.65 c	3150.00 c
	C	34.4 b	5.68 bc	75.89 bc	16.50 ab	14.76 c	20.24 c	50.54 c	9.37 bc	19.20 ab	3297.82 bc
	D	35.0 ab	6.07 a	81.11 ab	16.26 ab	15.18 bc	21.28 bc	52.72 ab	9.84 ab	19.73 a	3508.83 ab
	E	35.4 a	5.88 ab	85.18 a	16.60 ab	16.16 ab	21.91 a	54.96 a	10.33 a	19.62 a	3743.53 a
	F	35.4 a	5.79 b	86.25 a	16.90 a	17.15 a	21.47 ab	53.37 ab	9.72 ab	19.27 ab	3514.98 ab
	G	34.9 ab	5.81 b	79.53 b	16.82 ab	17.17 ab	21.68 ab	54.11 a	9.66 abc	19.30 ab	3442.21 ab

表 3(续)

年份	处理	收获株数 Plants number for harvest/ (株·m <sup>-2</sup> )	茎粗 Stem diameter/ mm	株高 Plant height/ cm	单株节数 Node number per plant	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 <sup>-2</sup> )
2021	A	34.0 c	7.65 d	95.66 bc	15.06 a	18.18 a	18.36 ab	43.22 d	9.44 a	20.61 a	3281.83 b
	B	33.5 c	7.82 cd	95.02 c	14.82 a	16.14 c	17.14 b	43.08 d	9.37 a	20.07 a	3214.62 b
	C	33.9 c	8.07 bcd	95.20 c	15.24 a	17.36 ab	17.50 b	43.24 d	9.51 a	20.28 a	3290.22 b
	D	35.0 ab	8.89 a	96.84 ab	15.46 a	18.54 a	18.88 ab	46.26 b	9.47 a	20.39 a	3378.29 b
	E	35.4 a	8.51 ab	97.68 a	15.16 a	18.12 a	20.18 a	48.48 a	10.14 a	20.36 a	3675.17 a
	F	34.9 ab	8.62 ab	96.74 ab	15.42 a	18.16 a	18.52 ab	45.10 c	9.46 a	20.40 a	3369.20 b
	G	34.7 b	8.43 abc	96.44 ab	14.92 a	17.94 ab	18.28 ab	44.14 cd	9.57 a	20.50 a	3385.26 b
年均 Average of years	A	34.20 c	6.03 a	81.48 a	14.93 a	16.54 a	19.47 abc	47.71 bc	9.35 b	20.69 ab	3302.72 b
	B	34.03 c	6.04 a	79.44 a	14.74 a	15.12 b	18.20 c	45.78 c	9.03 b	19.60 c	3136.42 c
	C	34.23 c	6.22 a	80.97 a	15.00 a	15.80 ab	18.88 bc	47.69 bc	9.53 b	20.07 ab	3229.90 bc
	D	34.97 b	6.67 a	84.40 a	15.01 a	16.87 a	19.83 ab	49.64 ab	9.42 b	20.44 ab	3354.68 b
	E	35.40 a	6.44 a	86.53 a	15.07 a	16.94 a	20.66 a	51.57 a	10.03 b	20.38 a	3634.91 a
	F	35.17 ab	6.49 a	85.97 a	15.40 a	16.96 a	19.82 ab	49.57 ab	9.67 b	20.36 ab	3373.21 b
	G	34.83 b	6.49 a	83.79 a	15.24 a	16.97 a	19.80 ab	49.17 ab	9.38 b	20.14 ab	3337.53 b

2.5 不同种植模式大豆产量及其构成因素分析

2.5.1 单株荚数 由表 3 可知, D、E、F、G 处理 3 年间单株荚数较多,其中 E 处理最多,为 20.66,其次是 D、F、G 处理,分别为 19.83,19.82 和 19.80,B 处理最少,为 18.20。E 与 B 处理 3 年间单株荚数均达到显著性差异,其余处理间在 2019 和 2021 年无显著性差异。

2.5.2 单株粒数 由表 3 可知,E、F、G 处理的单株粒数 3 年中均较高,其中,E 处理最高,为 51.57,其次为 F 和 G 处理,分别为 49.57 和 49.17,B 处理最低,为 45.78,E 与 B 处理 3 年间单株粒数均达到显著性差异。

2.5.3 单株粒重 由表 3 可知,A、D、E、F、G 处理单株粒重在不同的年份均有较好的表现,其中,E 处理单株粒重最高,为 10.03 g,B 处理最低,为 9.03 g,E 处理比 B 处理高 11%,2019 和 2020 年 E 与 B 处理均达到差异显著,2021 年各处理间单株粒重无显著差异。

2.5.4 百粒重 由表 3 可知,A 处理的百粒重最大,为 20.69 g,而在其他各方面表现均较好的大垄

模式 D、E、F、G 处理的百粒重均低于 A 处理,分别为 20.44,20.38,20.36 和 20.14 g,但均未与 A 处理达到显著性差异, B 处理表现较差,为 19.60 g,较 A 处理低 5%。2020 年仅 B 处理与 A、D、E 处理百粒重达到显著差异,其余年份各处理间无显著差异。

2.5.5 产量 由表 3 可知,3 年间 E 和 F 处理的大豆产量较高,其中 E 处理产量最高,为 3 634.91 kg·hm<sup>-2</sup>,较同为大垄种植模式的 F、D 和 G 分别高 8%、8% 和 9%,而 B 处理产量最低,为 3 187.10 kg·hm<sup>-2</sup>,且 3 年间 E 与其他处理产量均存在显著性差异。

总的来看,大垄种植模式在单株荚数、单株粒数、单株粒重和产量等方面比小垄模式表现更好,而在百粒重方面却稍逊一筹,但差异不显著。

2.6 大垄种植模式边行与中间行农艺性状差异

2.6.1 垄上四行不等行距种植模式 由表 4 可知,垄上四行不等行种植模式边行与中间行大豆的农艺性状以及产量差别很小。这是由于不等行距配置使得其中间行距比其余大垄模式的中间行距更大,每组相邻行的中间都形成一条可供空气流动的通道,通风透光性就会更好<sup>[13]</sup>,从而促进作物光合产物的积累,一定程度上有助于大豆增产。

2.6.2 垄上四行等行距种植模式 由表 4 可知,该种植模式下中间行的株高和底荚高比边行高,而在单株荚数、单株粒数比边行少,单株粒重不及边行。其中,边行和中间行 3 年间在株高方面未达到显著性差异;2019 和 2020 年在底荚高方面达到显著性差异;2020 和 2021 年在单株荚数方面无显著性差异;2019 和 2020 年在单株粒数方面无显著性差异;

3 年间单株粒重均达到显著性差异。

2.6.3 垄上三行种植模式 由表 4 可知,该种植模式下各行虽然在茎粗、株高、节数和底荚高等方面无显著差异,但边行表现更好。边行在单株荚数、单株粒数、单株粒重和百粒重等方面表现更好,其中,单株荚数仅在 2019 年达到显著性差异,单株粒重连续 3 年均差异显著。

表 4 增设种植模式不同株行大豆农艺性状与产量构成因素差异

Table 4 Difference in soybean agronomic traits and yield components of different planting rows of new added planting patterns

处理 Treatment	农艺性状 Agronomic trait	2019				2020				2021			
		中间行	边行	<i>t</i>	<i>P</i>	中间行	边行	<i>t</i>	<i>P</i>	中间行	边行	<i>t</i>	<i>P</i>
		Middle	Border			Middle	Border			Middle	Border		
		row	row			row	row			row	row		
E	茎粗	4.96	4.90	0.872	0.432	5.80	5.95	-0.977	0.384	8.52	8.53	-0.107	0.920
	株高	76.77	76.68	-0.051	0.962	85.08	85.29	-0.085	0.937	97.50	97.86	-0.457	0.672
	节数	13.54	13.38	0.164	0.877	16.38	16.82	-1.156	0.312	15.12	15.20	-0.128	0.904
	底荚高	16.54	16.55	-0.016	0.988	16.37	15.95	1.025	0.363	18.13	18.12	0.014	0.990
	单株荚数	19.91	19.87	-0.405	0.706	21.91	21.92	-0.020	0.985	20.07	20.29	-0.216	0.839
	单株粒数	51.32	51.25	0.101	0.925	54.77	55.16	-0.686	0.531	48.39	48.58	-0.481	0.656
	单株粒重	9.61	9.62	-0.025	0.981	10.32	10.34	-0.152	0.886	10.10	10.19	0.091	0.932
F	茎粗	5.06	5.04	0.322	0.763	5.74	5.84	-0.650	0.551	8.58	8.30	0.984	0.381
	株高	75.29	74.53	0.845	0.446	86.48	86.03	-0.231	0.829	97.06	96.42	1.882	0.133
	节数	13.89	13.85	-0.057	0.957	17.02	16.77	0.663	0.543	15.52	15.32	1.155	0.312
	底荚高	16.14	15.01	-4.856	0.008 **	17.49	16.81	-4.490	0.011 *	18.58	17.74	-1.142	0.317
	单株荚数	19.01	19.94	-5.111	0.007 **	21.41	21.53	-1.600	0.881	18.14	18.90	-3.516	0.422
	单株粒数	49.83	50.63	-0.416	0.699	52.50	54.24	-1.920	0.127	44.42	45.78	-2.963	0.025 *
	单株粒重	8.75	9.37	-3.231	0.032 *	9.41	10.04	-6.284	0.003 **	9.13	9.79	-6.900	0.002 **
G	茎粗	5.19	5.26	-0.850	0.443	5.74	5.88	-2.362	0.078	8.51	8.52	-0.718	0.964
	株高	75.34	75.44	-0.129	0.904	79.56	82.51	0.031	0.977	97.70	97.96	-0.048	0.969
	节数	13.78	14.20	-0.818	0.459	16.90	16.94	1.058	0.350	14.84	14.99	-0.041	0.734
	底荚高	15.30	15.70	-0.494	0.647	17.07	17.26	-0.392	0.715	18.45	18.75	1.563	0.193
	单株荚数	18.96	19.90	-3.395	0.027 *	21.37	21.99	-1.364	0.244	18.02	18.54	-0.448	0.677
	单株粒数	49.55	50.31	-0.621	0.568	52.58	55.63	-2.228	0.090	43.87	44.41	-0.659	0.546
	单株粒重	8.52	9.34	-7.498	0.002 **	9.26	10.07	-1.779	0.015 *	8.79	10.35	-9.446	0.001 **

注：\* 和 \*\* 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著或极显著。

Node: \* and \*\* means significant or extremly significant difference at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$  level, respectively.

2.7 产量及其构成因素间的相关性分析

由表 5 可知,产量与茎粗、单株荚数、单株粒数和单株粒重呈极显著正相关,相关系数分别为 0.257,0.578,0.319 和 0.651,与底荚高呈显著正相关,相关系数为 0.218。茎粗与底荚高、单株粒重呈极显著正相关,相关系数分别为 0.499 和 0.280,与株高呈显著正相关,相关系数为 0.207。底荚高与

单株粒重呈极显著正相关,相关系数为 0.255,与单株粒数呈极显著负相关,相关系数为 -0.278。产量与单株粒重的相关性最大,其次是单株粒数和单株荚数,各种植模式的产量大小顺序与单株粒重大小顺序基本一致。大垄单株粒重高于小垄和平播,产量也更高。垄上四行不等行种植模式的单株重最大,其他指标表现较好,产量最高。

表5 大豆农艺性状、产量以及产量构成因素间的相关性分析

Table 5 Correlation analysis among agronomic traits, yield and yield components of soybean

指标 Index	茎粗 Stem diameter	株高 Plant height	节数 Nodes number	底荚高 Height of lowest pod	单株荚数 Pods number per plant	单株粒数 Seeds number per plant	单株粒重 Seeds weight per plant	百粒重 100-seed weight	产量 Yield
茎粗 Stem diameter	1								
株高 Plant height	0.207 *	1							
节数 Nodes number	0.164	-0.006	1						
底荚高 Height of lowest pod	0.499 **	0.315 **	0.054	1					
单株荚数 Pods number per plant	-0.247 *	0.139 *	0.266 **	-0.016	1				
单株粒数 Seeds number per plant	-0.597 **	-0.117	0.208 *	-0.278 **	0.647 **	1			
单株粒重 Seeds weight per plant	0.280 **	0.085	0.208 *	0.255 *	0.447 **	0.212 *	1		
百粒重 100-seed weight	-0.045	-0.053	-0.239 *	0.007	-0.113	-0.144	-0.081	1	
产量 Yield	0.257 **	0.060	0.164	0.218 *	0.578 **	0.319 **	0.651 **	-0.078	1

注：\* 和 \*\* 分别表示在 0.05 或 0.01 水平显著或极显著相关。  
Node: \* and \*\* means significant or extremely relation at  $P<0.05$  or  $P<0.01$  level, respectively.

3 讨论

不同地区选取适宜的种植模式能够改善土壤含水量,加快大豆地下根系生长发育,从而间接促进大豆地上部生长,且有助于叶面积指数合理增长和作物光合产物积累,最终实现高产。本研究中大垄种植模式在大豆整个生育期的土壤含水量比小垄和平播模式高,保墒节水能力更好,这与张国军等<sup>[14]</sup>的结论一致。结荚期和鼓粒期是大豆光合产物积累和形成籽粒的重要时期,这两个时期的叶面积指数与大豆产量显著相关<sup>[15]</sup>。叶面积指数在鼓粒初期变化幅度较小时有助于作物光合产物积累<sup>[16]</sup>,大垄模式在结荚、鼓粒期叶面积指数高于小垄和平播模式,且在鼓粒期、成熟期保持较高叶面积指数的能力也更好。

常规垄播模式产量高于平播模式,这与原显东<sup>[17]</sup>研究结论一致。大垄种植模式比小垄种植模式的产量高,这与林浩等<sup>[9]</sup>的结果一致,而与孙殿君等<sup>[18]</sup>研究结论相悖,主要原因可能与当地旱涝并重的气候情况有关,这说明在不同的地区需要结合当地气候、土壤等因素选取适宜的大豆种植模式。

垄上四行不等行模式的边行与中间行在农艺性状和产量等方面差别很小,垄上三行和垄上四行等行距模式的中间行大豆长势与边行相比较弱,株

高比边行低,单株荚数和粒数也比边行少,这与黄甜<sup>[13]</sup>的研究结果相似。主要原因是垄上四行不等行模式的中间行的行距更大,使得植株群体结构和通风性更好,透光面积更大,利于大豆生长;而垄上三行和垄上四行等行距的中间行通风透光性较差,中间行大豆生长受到抑制,因此其中间行表现不如边行。大垄配置能提高土壤的保温、保墒能力,为大豆生长前期创造良好条件,不等行距配置保障中后期植株群体通风透光性,垄上四行不等行模式正是结合这两种优势实现高产。

大豆产量与单株粒数、单株荚数和单株粒重呈极显著正相关,这与梁建秋等<sup>[19]</sup>的研究结果基本一致,说明较高的单株粒数、单株荚数和单株粒重是保障高产的基础,垄上四行不等行种植模式在这些方面表现很好从而获得高产。同时,在种植模式改进过程中应着重关注单株荚数、单株粒数和单株粒重等性状,并协调茎粗、株高等其他农艺性状来挖掘大豆增产潜力。

在今后的种植模式研究过程中,可以引入田间信息远程获取无线传输系统,分析不同种植模式的土壤水分、温度的变化情况,以期探究各种种植模式对大豆生长发育及产量的影响。另外,未来还可以进一步研究最优种植模式下的最优密度和施肥等问题。

4 结论

不同地区选用适宜的种植模式是实现大豆高产的基础和前提。垄上四行不等行种植模式的土壤保墒节水能力好,结荚、鼓粒期的叶面积指数也比较适宜,且在成熟期维持较高叶面积指数的能力最好,单株粒数和单株荚数最大,最终产量在所有处理中最高,为3 634.91 kg·hm<sup>-2</sup>,高于大西江农场垄上三行种植模式9%,高于常规垄播模式10%。大垄种小垄管茎粗最粗,为6.67 cm,垄上四行等行距种植模式叶面积指数最高,为3.24,但成熟期叶面积指数的保持能力略低于垄上四行不等行模式,垄播种植模式的百粒重最重,为20.69 g。整体上看,平播模式产量最低,农艺性状及产量构成因素表现不及垄作模式,130 cm的大垄模式综合表现较好,130 cm 垄上四行不等行种植模式是黑龙江省大西江农场的最优种植模式。

参考文献

[1] 刘燕,刘伟,姜妍,等. 黑龙江省三十年间粮食作物生产变化对大豆生产的影响[J]. 大豆科技,2022(4): 38-46,60. (LIU Y, LIU W, JIANG Y, et al. Effects of changes in grain crop production on soybean production in Heilongjiang province during the past 30 years[J]. Soybean Science and Technology,2022(4): 38-46,60. )

[2] XU C L,LI R D, SONG W W, et al. High density and uniform plant distribution improve soybean yield by regulating population uniformity and canopy light interception [J]. Agronomy-Basel, 2021, 11(9):1880.

[3] RAZA M A, KHALID M H B, ZHANG X, et al. Effect of planting patterns on yield, nutrient accumulation and distribution in maize and soybean under relay intercropping systems [J]. Scientific Reports, 2019,9: 4947.

[4] 杨加银,徐海斌,徐海风. 栽培因子对高油大豆产量及品质性状的影响[J]. 中国农学通报,2007(5): 196-199. (YANG J Y, XU H B, XU H F. Effects of cultivation factors on yield and quality of high oil soybean[J]. Chinese Agronomy Bulletin,2007(5): 196-199. )

[5] 朱洪德,王春风. 栽培措施对高蛋白大豆产量及品质的影响[J]. 中国油料作物学报,2009,31(3): 327-333. (ZU H D, WANG C F. Effect of cultivation measures on yield and quality of high protein soybean [J]. Chinese Journal of Oil Crops,2009,31(3): 327-333. )

[6] 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. Comparison of several high yield cultivation modes of soybean [J]. Soybean Science,1988,7(4): 285-292. )

[7] 刘玉平,李瑞平,李志刚. 栽培模式与密度对大豆冠层结构及产量的影响[J]. 大豆科学,2010,29(5): 796-799,803. (LIU Y P, LI R P, LI Z G. Effects of planting pattern and density on canopy structure and yield of soybean[J]. Soybean Science,2010,29(5): 796-799,803. )

[8] 李殿祥,门文革,董金秋. 大豆大垄密植高产高效栽培技术研究[J]. 现代农业科技,2010(1): 49. (LI D X, MEN W G, DONG J Q. Study on high yield and high efficiency cultivation technology of soybean planting in large ridges [J]. Modern Agricultural Science and Technology,2010(1): 49. )

[9] 林浩,刘丽君,吴俊江,等. 不同栽培模式对大豆同化物积累和光合生理特性与产量形成的影响[J]. 大豆科学,2009,28(3): 456-460. (LIN H, LIU L J, WU J J, et al. Effects of different cultivation patterns on assimilate accumulation, photosynthetic physiological characteristics and yield formation of soybean [J]. Soybean Science,2009,28(3): 456-460. )

[10] 刘峰,李雪杉. 超早熟大豆品种华疆2号110 cm大垄密植高产栽培技术[J]. 黑龙江农业科学,2020(11): 138-140. (LIU F, LI X S. High yield cultivation technology of 110 cm long ridge dense planting for super early soybean cultivar Huajiang 2 [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences,2020(11): 138-140. )

[11] 刘志远. 施氮时期对大豆干物质积累动态的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学,2012. (LIU Z Y. Effects of nitrogen application period on dynamic dry matter accumulation of soybean [D]. Northeast Agricultural University,2012. )

[12] 孙贵荒,刘晓丽,董丽杰,等. 高产大豆干物质积累与产量关系的研究[J]. 大豆科学,2002,21(3): 199-202. (SUN G H, LIU X L, DONG L J, et al. Study on the relationship between dry matter accumulation and yield of high yield soybean[J]. Soybean Science,2002,21(3): 199-202. )

[13] 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 soybean varieties on large ridges and three rows[D]. Changchun: Jilin Agricultural University,2020. )

[14] 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 benefit analysis of main soybean cultivation technology models in Sanjiang plain[J]. Journal of Agronomy,2012,2(8): 1-7. )

[15] 张晓艳,杜吉到,郑殿峰,等. 密度对大豆群体叶面积指数及干物质积累分配的影响[J]. 大豆科学,2011,30(1): 96-100. (ZHANG X Y, DU J D, ZHENG D F, et al. Effect of density on leaf area index and dry matter accumulation and distribution in soybean population[J]. Soybean Science,2011,30(1): 96-100. )

[16] 常耀中,董丽华. 大豆高产规律及栽培技术研究[J]. 作物学报,1982,6(1): 41-48. (CHANG Y Z, DONG L H. Study on high yield rule and cultivation technique of soybean [J]. Journal of Crops,1982,6(1): 41-48. )

[17] 原显冬. 内蒙古北部地区抗草甘膦大豆栽培模式研究[D]. 北京: 中国农业科学院,2014. (YUAN X D. Study on glyphosate-resistant soybean cultivation pattern in northern Inner Mongolia [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences,2014. )

[18] 孙殿君,蒋洪蔚,胡国华. 大豆垄上三行“大垄密”栽培技术[J]. 大豆科技,2014(1): 20-24. (SUN D J, JIANG H W, HU G H. The cultivation technique of "big and dense ridges" in three rows on soybean ridges[J]. Soybean Science and Technology,2014(1): 20-24. )

[19] 梁建秋,安建刚,王嘉,等. 不同种植密度对四川大豆农艺性状及产量的影响[J]. 大豆科学,2021,40(5): 653-661. (LIANG J Q, AN J G, WANG J, et al. Effects of different planting densities on agronomic characters and yield of soybean in Sichuan [J]. Soybean Science, 2021,40(5): 653-661. )