

株距对不同株型大豆农艺性状及产量的影响

杨梦平<sup>1,2</sup>, 潘丽丽<sup>3</sup>, 张 勇<sup>1</sup>, 杨兴勇<sup>1</sup>, 董全中<sup>1</sup>, 薛 红<sup>1</sup>, 张明明<sup>1</sup>, 李微微<sup>1</sup>

(1. 黑龙江省农业科学院 克山分院, 黑龙江 克山 161606; 2. 云南农业大学 植物保护学院, 云南 昆明 650000; 3. 克东县气象局, 黑龙江 克东 164800)

**摘 要:**为探讨不同株距对黑龙江克拜地区大豆农艺性状及产量的影响,于2011和2012年在大田栽培条件下,采用裂区设计,主处理为株距因子,6个水平分别是2,3,4,5,7,10 cm;副处理为品种因子,7个水平,3种生态株型,分别是无限多分枝(丰收6号和华疆7734)、无限少分枝(丰收10号和丰收27)和亚有限主茎型(丰收24、克山1号和克福07-935)。结果表明:不同株距条件对大豆农艺性状及产量影响显著。随着株距增加,株高在营养生长阶段呈现逐渐降低趋势,在后期呈现先升后降趋势;5节高度和底荚高度降低,主茎节数、分枝数、茎粗、1粒荚、2粒荚、3粒荚、4粒荚、瘪荚、主茎荚和全株荚数升高;百粒重变化没有规律性,虫粒率和病粒率降低;蛋白质含量降低,脂肪含量升高;产量呈现先升后降趋势,分枝型材料适宜株距为7 cm,主茎型材料适宜株距为5 cm。

**关键词:**大豆;株型;株距;品质;产量  
**中图分类号:**S565. 1      **文献标识码:**A      **DOI:**10. 11861/j. issn. 1000-9841. 2017. 03. 0377

Effect of Plant Spacing on Agronomic Trait and Yield of Different Plant Type Soybean

YANG Meng-ping<sup>1,2</sup>, PAN Li-li<sup>3</sup>, ZHANG Yong<sup>1</sup>, YANG Xing-yong<sup>1</sup>, DONG Quan-zhong<sup>1</sup>, XUE Hong<sup>1</sup>, ZHANG Ming-ming<sup>1</sup>, LI Wei-wei<sup>1</sup>

(1. Keshan Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Keshan 161606, China; 2. College of Plant Protection of Yunnan Agricultural University, Kunming 650000, China; 3. Kedong County Meteorological Bureau, Kedong 164800, China)

**Abstract:** The purpose of this study is to investigate the effect of different plant spacing on agronomic trait and yield of soybean in Ke-Bai region of Heilongjiang. The split plot design was used, the main treatment plant spacing factors included 6 levels (2, 3, 4, 5, 7 and 10cm), and the sub-treatment variety factor had 7 varieties belonged to 3 branches stem types, included infinite multi branches (Fengshou 6 and Huajiang 7734), infinite few branches (Fengshou 10 and Fengshou 27) and sub-infinite (Fengshou 24, Keshan 1 and Kefu 07-935) in the field cultivation condition in 2011 and 2012. The results showed that the effect of different spacing conditions on agronomic trait and yield of soybean were significant. With the increase of plant spacing, the plant height decreased gradually in the vegetative growth stage and first increased and then decreased in the later stage, the 5 nodes height and the height of the bottom pod were decreased, main stem node number, branch number, stem diameter, 1 seed pod, 2 seed pod, 3 seed pod, 4 seed pod, shrunken pod, main stem pod and all pant pod number were increased, 100-seed weight was disorder, pest grain incidence and disease grain incidence were reduced, the protein content was reduced, the fat content was increased, the yield starting was increased and then decreased gradually, the suitable plant spacing of branched material was 7 cm, the suitable plant spacing of main stem type material was 5 cm.

**Keywords:** Soybean; Plant type; Plant Spacing; Quality; Yield

早在1952年费家骅<sup>[1]</sup>提出,选择适宜的行株距应根据不同的大豆品种,不同的土壤和环境。近些年,有关大豆栽培因子的研究多集中在种植密度及行株距配置对大豆的生理生态特性、生长发育状况及产量的影响上。杨国敏等<sup>[2-3]</sup>研究表明,在相同密度条件下,不同群体分布影响夏大豆的产量、叶面积指数、干物质积累分配、叶片水分特征和水分利用效率。刘忠堂<sup>[4]</sup>研究表明,大豆植株分布均匀合理,增加了叶面积指数,改善了受光条件,提高了光能利用率,是大豆获得增产的生理基础。赵双进

等<sup>[5]</sup>研究认为,不同株型品种的适宜密度有显著差异,主茎型>分枝紧凑型>分枝松散型,在适宜密度条件下均可达到较高产量水平;增加种植密度、缩小行距、扩大株距,有利于大豆产量潜力的表达。由于大豆生长类型、各地区环境条件的不同使试验结果产生较大差异。而对于一个特定的品种,在特定地区其适宜密度一般比较稳定<sup>[6-8]</sup>。在种植密度一定的条件下,调整行距、株距是大豆群体合理分布的重要手段和措施<sup>[3,9-10]</sup>;而株距较行距对农艺性状的影响更显著<sup>[8]</sup>。

收稿日期:2017-01-29  
基金项目:国家重点研发计划(2016YFD0100201-29)。  
第一作者简介:杨梦平(1991-),女,硕士,主要从事作物保护方面研究。E-mail:396162469@qq.com。  
通讯作者:杨兴勇(1965-),男,硕士,研究员,主要从事大豆遗传育种研究。E-mail:ksxy@sina.com。

黑龙江省生产上大豆品种生态型主要有主茎亚有限型和有分枝无限型两种。无论是无限还是亚有限型,从南往北推移,种植密度逐渐加大,到第六积温带 40 万~45 万株·hm<sup>-2</sup>,株距在逐渐缩小,行距多采用 65 cm,这种行距条件适宜小型机械田间作业。黑龙江省克拜地区种植大豆历史悠久,种植面积大,品质好。现阶段大豆主栽行距为 65 cm,播种株距在 4~5 cm,没有考虑品种生态型要求,致使品种没有表达出最佳产量,限制农民增收致富。研究株距大小大豆农艺形状及产量的影响,探讨适宜株距对克拜地区生产上具有指导意义。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料为黑龙江省第三、四积温带的丰收 6 号、华疆 7734(无限多分枝型);丰收 10 号、丰收 27(无限少分枝型);丰收 24、克山 1 号、克福 07-935(亚有限主茎型)共 7 个品种(系);供试品种由克山分院提供。

1.2 试验设计

试验于 2011-2012 年在黑龙江省农业科学院克山分院科研试验基地进行,试验地势平坦,土壤质地为淋溶黑钙土,土壤基础肥力为全氮 0.2 g·kg<sup>-1</sup>,速效氮 128.7 mg·kg<sup>-1</sup>,有效磷含量 51.7 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾 166.0 mg·kg<sup>-1</sup>,pH6.2,有机质 3.54 g·kg<sup>-1</sup>。前茬作物为春小麦。试验采用二因素裂区设计,主区为株距长度:2,3,4,5,7,10 cm。裂区为品种(品系):丰收 6 号、华疆 7734(无限多分枝型);丰收 10 号、丰收 27(无限少分枝型);丰收 24、克山 1 号、克福 07-935(亚有限主茎型)。每个小区 3 行,宽 65 cm,行长为 5 m,小区面积为 9.75 m<sup>2</sup>,重复 4 次。前茬作物为小麦,秋季起垄施肥,肥料为尿素和磷酸二铵,比值为 1:3,施商品肥量为 225 kg·hm<sup>-2</sup>。种子经过人工精选,剔除大粒、小粒、病虫粒和不完整粒,做到种粒大小尽量一致。机械开

沟,人工按尺点播,出苗后第 4 天进行人工做水补种一次。

1.3 调查项目与方法

田间形态性状调查和室内考种项目及标准均按照邱丽娟等<sup>[1]</sup>方法,调查的性状有株高,主茎节数、分枝数、茎粗、重心高度(子叶节到植株平衡支点的距离)、5 节高度(从子叶痕到第 5 节之间的距离)、底荚高度、全株 1,2,3 和 4 粒荚数、瘪荚数、主茎荚数、全株荚数、倒伏级别、百粒重、虫粒率(虫粒率=200 g 中虫食豆粒重量/200 g×100%),病粒率(病粒率=200 g 中病粒重量/200 g×100%)。株高在田间测量,测量时期为分枝期、开花期、始荚期、始粒期、盛粒期和成熟期,其它性状采用成熟期调查数据,每小区 3 点取样,每点取 5 株,计 15 株。产量数据为小区全区收获的产量折合成公顷产量,其它性状数据采用处理小区数据加权平均值。

1.4 品质测定

采用波通公司生产的 DA7200 型近红外整粒谷物分析仪器进行大豆品质测定。本文品质数据为各处理小区品质测定的加权平均值。

1.5 数据处理

采用 Excel 2003 对小区测量数据的加权平均值进行计算和作图,用 DPS V 7.05 进行统计分析(LSD 法)。

2 结果与分析

2.1 株距对不同株型大豆株高的影响

从图 1 看到,随着株距的增加,参试材料株高发生变化,调查时期不同株高呈现的变化趋势略有不同,在大豆分枝期 6 月 27 日调查时,株高变化随着株距增加而逐渐变低,其它调查时期,株高变化是随着株距增加呈现先升后降趋势。株距在 3~4 cm 时株高最高。可见,在大豆发育前期,株高随着株距缩小而升高,在大豆发育中后期,株高随着株距增加呈现先升高后降低趋势。

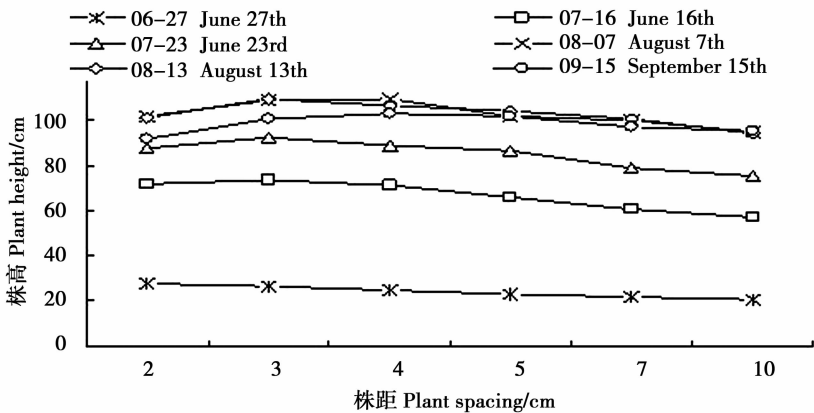


图 1 株距对株高的影响  
Fig. 1 The effect of plant spacing on plant height

品种的株高性状受株距的影响表现各有不同,采用株高标准差对这一现象进行分析。从表 1 中看出,品种间株高的变化是有差异的,丰收 24 株高标准差最小,丰收 6 号最大,说明株高性状对株距条件响应程度不同,在调查中还发现株高的变化与倒伏

级别有关系,株高变化小的,倒伏级别低,抗倒性好。相关分析表明,株高的标准差与倒伏级别成极显著正相关,在盛花期(7 月 16 日)株高的变化与倒伏级别相关系数最大为 0.54\*\* ( $P<0.01$ )。

表 1 在不同测量时期品种株高的标准差  
Table 1 Standard deviation of variety plant height in different period

品种 Variety	日期 Date/( month - day )						倒伏级别 Lodging score
	06 - 27	07 - 16	07 - 23	08 - 07	08 - 13	09 - 15	
丰收 24 Fengshou 24	3.06	4.46	3.53	3.37	3.02	4.24	0.89
克山 1 号 Keshan 1	4.15	10.09	11.71	13.61	13.59	11.63	1.14
丰收 27 Fengshou 27	2.71	5.51	8.80	4.74	11.68	7.34	1.19
华疆 7734 Huajiang 7734	2.85	7.55	7.74	9.96	10.67	5.49	1.33
克辐 935 Kefu 935	3.18	8.29	4.60	11.05	9.63	5.84	1.81
丰收 10 号 Fengshou 10	1.43	5.60	5.66	6.63	2.72	11.59	1.94
丰收 6 号 Fengshou 6	4.34	10.08	11.48	10.81	10.56	10.97	2.07
相关系数 Correlation coefficient	0.46**	0.54**	0.44**	0.29*	0.25	-0.02	

\* 和 \*\* 分别表示显著和极显著相关。  
\* and \*\* mean significant and very significant correlation, respectively.

2.2 株距对大豆主茎节数、分枝数、茎粗和重心高度的影响

表 2 是株距对大豆形态性状的影响,从中可以看出,株距对主茎节数、分枝数、茎粗和重心高度影响都达到极显著水平 ( $P<0.01$ )。随着株距的加大,主茎节数、茎粗和分枝数都在增加,10 cm 株距处理最大,2 cm 处理最小。重心高度是先升高后降低的变化趋势,3 cm 株距处理最大,10 cm 株距处理最小。对各性状进行回归分析(表 3),结果表明,随着株距增加,主茎节数和茎粗都呈升高趋势,表现出显著的决定系数  $R^2$  分别为 0.993 5 和 0.993 7,符合线性方程。分枝数的变化符合指数函数,决定系数  $R^2$  值为 0.982 2;重心高度的变化符合二元一次方

程,  $R^2$  值为 0.936 5。说明株距与主茎节数、分枝数、茎粗和重心高度有极显著的相关性。

2.3 株距对大豆产量构成性状的影响

表 4 是考种结果,可以看出,株距变化显著影响了产量相关性状。其中,5 节高度随着株距的加大而缩小,2 cm 株距处理时 5 节高度最高,每相邻处理差异都达到极显著水平 ( $P<0.01$ );底荚高度在 2,3 和 4 cm 处理间无显著差异,极显著高于 5,7 和 10 cm 处理,5,7 和 10 cm 处理间差异也达到极显著水平;1,2,3,4 粒荚数、瘪荚数、主茎荚数和全株荚数都随着株距加大而增多,处理间差异达到极显著水平。

表 2 株距对大豆主茎节数、分枝数、茎粗和重心高度的影响

Table 2 Effects of plant spacing on soybean main node number, branch number, stem diameter and gravity height

株距 Plant spacing/cm	主茎节数 No. of nodes on main stem	分枝数 No. of branches per plant	茎粗 Thickness of stem /mm	重心高度 Gravity center height/cm
2	10.67 eD	0.16 eE	4.95 cC	55.71 bAB
3	11.33 eD	0.34 dD	5.43 cC	59.25 aA
4	12.33 dCD	0.46 cCD	6.38 bcBC	57.88 abAB
5	12.83 cB	0.65 cC	7.22 bB	54.33 bB
7	13.53 bA	1.42 bB	7.79 abAB	49.31 bBC
10	14.17 aA	2.34 aA	8.52 aA	46.44 cC

同列不相同小写与大写字母分别表示 5% 和 1% 的显著水平。下同。  
Lowercase and capital letter in the same column indicate significant at 0.05 and 0.01 level respectively. The same below.

表 3 大豆主茎节数、分枝数、茎粗和重心高度的回归分析方程及决定系数

Table 3 Regression equation and determination coefficient of soybean main node number, branch number, stem diameter and gravity height

项目 Item	模拟方程 Simulation equation	$R^2$
主茎节数 No. of nodes on main stem	$y = 0.7029x + 10.017$	0.9935
分枝数 No. of branches per plant	$y = 0.1012e^{0.5157x}$	0.9822
茎粗 Thickness of stem/mm	$y = 0.7363x + 4.138$	0.9937
重心高度 Gravity center height/cm	$y = -0.8333x^2 + 3.5551x + 54.013$	0.9365

表 4 株距对大豆产量构成性状的影响

Table 4 Effect of plant spacing on yield components trait in soybean

株距 Plant spacing/cm	5 节高度 The 5 node height/cm	底荚高度 Lowest pod height/cm	一粒荚数 No. of one-seed pod	二粒荚数 No. of two-seed pod	三粒荚数 No. of three-seed pod	四粒荚数 No. of four-seed pod	瘪荚数 Blighted pods	主茎荚数 Pods in main stem	全株荚数 Pods per plant
2	27.1 aA	28.4 aA	2.3 dD	5.6 dD	5.7 eE	1.2 eE	0.9 dD	14.5 eE	15.8 eE
3	23.9 bB	27.6 aAB	2.5 dCD	5.6 dD	6.9 eE	1.5 eE	1.0 cdD	16.3 eE	17.2 eE
4	20.8 cC	28.3 aA	2.5 dCD	6.5 dD	9.1 dD	2.6 dD	1.4 bcCD	20.4 dD	22.0 dD
5	18.9 dD	25.4 bB	3.3 cC	8.7 cC	11.6 cC	3.5 cC	1.6 bBC	26.4 cC	28.5 cC
7	17.2 eE	21.8 cC	4.8 bB	12.2 bB	16.2 bB	5.5 bB	2.0 aAB	34.6 bB	40.8 bB
10	15.7 fF	18.6 dD	6.1 aA	16.0 aA	20.8 aA	7.6 aA	2.2 aA	41.0 aA	52.6 aA

2.4 株距对大豆百粒重、虫粒率和病粒率的影响

2011 年 2,3 和 4 cm 株距处理百粒重高,显著高于 5,7 和 10 cm 处理,后者的百粒重极差≤0.1 g。2012 年 10 cm 株距处理百粒重极显著高于 2,3,4, 5 和 7 cm 处理,而 2,3,4,5 和 7 cm 处理间没有显著差异,并且极差≤0.2 g。就本研究而言,株距对百粒重有影响,但是没有一定的规律性。造成 2011 和 2012 年百粒重变化规律不同的原因,推测是与每年的降雨时期分布不同有关系,这还需要进一步研究。

2011 年 3 cm 株距处理虫粒率最高,为 5.5%; 3,2,5 和 4 cm 株距处理的虫粒率无显著差异,都比 7 cm 株距虫粒率高达极显著水平,3 和 2 cm 株距虫粒率显著高于 10 cm 株距处理。2012 年 2 cm 株距处理的虫粒率最高,达到 3.7%; 2 和 3 cm 株距材料的虫粒率差异不显著,2 cm 株距处理材料的虫粒率极显著高于 4,5,10 和 7 cm 株距处理的虫粒率; 3 和 4 cm 株距处理的虫粒率无显著差异,5,10 和

7 cm 株距的虫粒率差异极显著;4,5 和 10 cm 株距处理无显著差异,都高于 7 cm 株距处理的虫粒率,达极显著水平。2011 和 2012 年虫粒率的变化相近,年际间虫粒率差异较大,总体而言,株距越小虫粒率越高,在 7 cm 株距时最低,而后虫粒率又开始回升。

2011 年病粒率各个处理间无显著差异,2 cm 株距处理病粒率最高,达到 6.2%。2012 年病粒率同样是 2 cm 株距处理最高,并与 4,5,7 和 10 cm 株距处理病粒率差异达到极显著水平,与 3 cm 株距处理病粒率差异达到显著水平;3 cm 株距处理病粒率极显著高于 7 和 10 cm 处理,显著高于 5 cm 株距处理,与 4 cm 株距处理无显著差异;4,5,7 和 10 cm 株距处理间病粒率无显著差异。总体上 2011 和 2012 年株距处理对病粒率的影响趋势相同,株距越小病粒率越高(表 5)。

表 5 株距对大豆品种百粒重、虫粒率和病粒率的影响

Table 5 Effect of plant spacing on 100-seed weight, pest seed rate and disease seed rate in soybean

株距 Plant spacing/cm	百粒重 100-seed weight/g		虫粒重 Pest seed percent/%		病粒重 Disease seed percent/%	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012
2	16.3 aA	15.9 bB	5.4 aA	3.7 aA	6.2 aA	7.0 aA
3	16.4 aA	15.8 bB	5.5 aA	3.5 abAB	5.7 aA	5.8 bAB
4	16.2 abAB	16.0 bB	4.6 abAB	3.1 bcBC	5.2 aA	4.9 bcBC
5	15.9 cC	15.8 bB	4.9 abA	2.8 cC	4.9 aA	4.5 cBC
7	16.0 bcABC	15.9 bB	3.0 cB	2.1 dD	4.5 aA	4.3 cC
10	15.9 cBC	16.3 aA	3.8 bcAB	2.7 cC	4.4 aA	3.9 cC

2.5 株距对品种产量的影响

表 6 是供试材料产量平均结果,可以看出,2011 年以 7 cm 株距产量最高,达2 285.7 kg·hm<sup>-2</sup>,与其它株距处理差异达极显著水平,排在第二位的是 5 cm株距处理,其产量依次极显著高于 4,10,3 和 2 cm株距处理;4 和 10 cm 株距处理的产量差异不显著,依次极显著高于 3 和 2 cm 的处理;3 cm 株距处理的产量极显著高于 2 cm 处理。2012 年 5 cm 株距产量最高,达到2 654.7 kg·hm<sup>-2</sup>,并且极显著高于其它处理产量,7 cm 处理产量显著高于 4 cm 处理,7 和 4 cm 处理产量都依次极显著高于 10,3 和 2 cm处理,10,3 和 2 cm 处理彼此间产量差异都达到了极显著水平。

表 7 是 2011 年各品种产量新复极差测验,株距对品种产量影响达到极显著水平。多分枝类型品种丰收 6 号在 7 和 10 cm 株距上产量差异不显著,但依次极显著高于 4,3 和 2 cm 株距处理的产量;华疆 7734 在 7 cm 株距上的产量最高,7 cm 与 5,4,3 和2 cm 株距处理达极显著水平,7 与 10 cm 株距处理差异显著。少分枝类型品种丰收 10 号在 7 cm

株距处理产量最高,并极显著高于其它处理;品种丰收 27 在 7 和 5 cm 株距上产量差异不显著,而依次极显著高于 4,10,3 和 2 cm 株距处理的产量。主茎型品种丰收 24,在株距 4 cm 产量最高,4 与 3 cm 株距产量差异不显著,但是依次极显著高于 5,2,7 和10 cm 株距时的产量。克辐 935 在 7 cm 株距时产量最高,7 与 5 cm 株距产量差异显著,依次与 10,4,3 和 2 cm 株距处理产量差异极显著。克山 1 号在 7 cm 株距处理产量最高,7 cm 株距时产量显著高于 5 和 4 cm,依次极显著高于 3,10 和 2 cm。

表 6 株距对大豆产量的影响

Table 6 Effect of plant spacing on soybean yield

株距 Plant spacing/cm	2011	2012
2	1850.6 eE	2248.9 fE
3	2009.4 dD	2458.3 eD
4	2131.7 cC	2582.9 cB
5	2216.7 bB	2704.0 aA
7	2285.7 aA	2626.3 bB
10	2106.8 cC	2517.0 dC

表 7 2011 年品种在不同株距下产量新复极差测验

Table 7 New complex differential test of variety yield under different plant spacing in 2011

株距 Plant spacing/cm	无限多分枝型 Infinite multi-branches type		少分枝类型 Infinite few branches type		亚有限主茎型 Sub-infinite type		
	丰收 6 号 Fengshou 6	华疆 7734 Huajiang 7734	丰收 10 号 Fengshou 10	丰收 27 Fengshou 27	丰收 24 Fengshou 24	克辐 935 Kefu 935	克山 1 号 Keshan 1
2	1092.3 eE	1980.1 dC	1748.7 cC	2118.0 cC	2292.3 bB	1779.5 eD	1943.6 cC
3	1338.5 dD	2000.0 dC	1882.1 bB	2338.5 bB	2378.8 abAB	1897.4 dD	2230.8 bB
4	1574.4 cC	2102.6 cBC	1964.1 bB	2410.3 bB	2471.8 aA	2123.1 cC	2275.6 bAB
5	1861.5 bB	2174.4 bcB	1984.6 bB	2600.0 aA	2313.5 bB	2292.3 bAB	2290.4 bAB
7	2005.1 aA	2323.1 aA	2143.6 aA	2641.0 aA	2102.6 cC	2394.9 aA	2389.7 aA
10	1959.0 aAB	2210.4 bAB	1933.3 bB	2353.8 bB	2075.6 cC	2215.4 bcBC	2000.0 cC

表 8 是 2012 年各品种产量新复极差测验,多分枝类型品种丰收 6 号和华疆 7734 最高产量的株距处理分别是 7 和 5 cm,并与其它处理产量差异达极显著水平。少分枝类型品种丰收 10 号和丰收 27 最

高产量的株距处理也是 7 和 5 cm。主茎型品种丰收 24、克辐 935 和克山 1 号最高产量的株距处理分别是 3,5 和 5 cm。两年试验结果显示多数品种在株距 7 或者 5 cm 时产量最高。

表 8 2012 年品种在不同株距下产量的新复极差测验

Table 8 New complex differential test of variety yield under different plant spacing in 2012

株距 Plant spacing /cm	无限多分枝型 Infinite multi-branches type		少分枝类型 Infinite few branches type		亚有限主茎型 Sub-infinite type		
	丰收 6 号 Fengshou 6	华疆 7734 Huajiang 7734	丰收 10 号 Fengshou 10	丰收 27 Fengshou 27	丰收 24 Fengshou 24	克辐 935 Kefu 935	克山 1 号 Keshan 1
2	1499.8 eD	2714.5 cC	1622.2 dD	2618.0 cB	2824.0 bB	1990.8 dD	2368.2 dD
3	1649.5 dC	2663.8 cCD	1781.8 cC	2661.2 bcAB	3122.0 aA	2482.8 cC	2831.0 cC
4	1969.0 cB	2860.5 bB	1963.3 bB	2787.2 aA	2822.8 bB	2678.7 bB	3011.3 bB
5	2108.5 bB	3084.8 aA	2095.3 aAB	2792.2 aA	2764.0 bcB	2912.0 aA	3231.3 aA
7	2277.8 aA	2664.7 cCD	2179.2 aA	2757.3 abAB	2701.7 cBC	2684.3 bB	3005.7 bB
10	1993.5 cB	2530.0 dD	2119.2 aA	2702.0 abcAB	2591.0 dC	2652.8 bB	2807.0 cC

从表 9 中可以看出,株距对不同生态型大豆产量的影响达到极显著水平( $P<0.01$ )。不同类型大豆高产的株距有所不同,多分枝类型大豆以 7 cm 株距产量最高,5 cm 株距产量排在第二,7 与 5 cm 株距产量差异显著,7 与 5 cm 处理产量都极显著高于其它处理株距的产量。少分枝类型最高产量株距也为 7 cm,与产量排在第二位 5 cm 株距处理产量无显著差异,两处理都比 4 cm 株距的产量高达显著

水平,同时比剩余处理产量高达极显著水平。主茎型最高产量株距处理为 5 cm,排在第二位的是 4 cm 株距处理,5 cm 株距处理比其它处理产量高达极显著水平。多分枝类型、少分枝类型和主茎型最高产量分别是2 317.7,2 430.3和2 633.9 kg·hm<sup>-2</sup>。综上,从不同角度分析得知,在北部克拜地区主茎型和分枝型大豆适宜株距分别为 5 和 7 cm。

表 9 株距对不同生态型大豆产量的影响

Table 9 Effect of plant spacing on the yield of different soybean ecotype

株距 Plant spacing/cm	无限多分枝型 Infinite multi-branches type	少分枝类型 Infinite few branches type	亚有限主茎型 Sub-infinite type
2	1821.7 eD	2026.7 dD	2199.7 eE
3	1912.9 dC	2165.9 cC	2490.5 cC
4	2126.6 cB	2281.2 bBA	2563.9 bB
5	2307.3 bA	2368.0 aA	2633.9 aA
7	2317.7 aA	2430.3 aA	2546.5 bBC
10	2173.2 cB	2277.1 bB	2390.3 dD

2.6 株距对大豆品质的影响

由表 10 可以看出,随着株距的增加,品种蛋白质含量在逐渐减少,脂肪含量在逐渐增加。2011 – 2012 年不同株距处理下蛋白质含量极差分别为 2.09% 和 1.87%,变异系数分别为 1.92 和 1.62;脂

肪含量极差分别为 1.11% 和 0.94%,变异系数分别为 2.13 和 1.84。两年脂肪含量的变异系数都大于蛋白质含量,也说明在株距处理影响下,蛋白质含量较脂肪含量相对稳定。

表 10 株距对品种品质的影响  
Table 10 Effect of plant spacing on variety quality

株距 Plant spacing/cm	2011		2012	
	蛋白质含量 Protein content/%	脂肪含量 Fat content/%	蛋白质含量 Protein content/%	脂肪含量 Fat content/%
2	41. 31	18. 99	42. 23	18. 88
3	40. 69	19. 31	41. 89	18. 94
4	40. 44	19. 47	41. 69	19. 16
5	39. 98	19. 75	41. 41	19. 22
7	39. 53	19. 95	41. 00	19. 50
10	39. 23	20. 10	40. 36	19. 82
极差 Range	2. 09	1. 11	1. 87	0. 94
变异系数 CV/%	1. 92	2. 13	1. 62	1. 84

3 结论与讨论

合理的株行距配置对良好的个体发育,对提高单产具有重要的作用。目前,以株行距配置或者种植密度对产量及主要农艺性状的影响,前人开展了诸多研究,但由于栽培品种和栽培条件存在差异,研究结果也不尽相同<sup>[12-17]</sup>。前人研究指出,超高产大豆品种,在密植条件下根系更发达<sup>[12]</sup>,叶面积指数随种植密度增加呈上升趋势,单株叶面积和干物质积累呈下降趋势<sup>[13]</sup>,株高、主茎节数、有效分枝数、单株荚数、单株粒数、单株粒重和单株茎重均趋于降低(减少),而底荚高度趋于上升<sup>[14]</sup>,适宜的密度有利于群体对光能的利用,有效保证了群体内部与外界的气体交换,提高了光合速率和籽粒产量<sup>[15]</sup>。本试验结果表明,大豆在营养生长阶段,株高的变化是随着株距的加大而变矮,而在生殖生长阶段,株高是随着株距的增加呈现先升高后降低趋势,这与以往研究略有不同<sup>[13-14]</sup>。不同品种株高对株距变化响应不同,秆强品种株高变化不明显,秆弱品种株高变化明显。盛花期株高的标准差与茎秆强度呈现极显著正相关。随着株距的加大,主茎节数、茎粗和分枝数都在增加,重心高度是先升高后降低的变化趋势,通过回归分析,主茎节数和茎粗可用方程  $y = 0.7029x + 10.017$  和  $y = 0.7363x + 4.1380$  表示,决定系数  $R^2$  分别为0.993 5和0.993 7;有效分枝数的变化可用方程  $y = 0.1012e^{0.5157x}$  表示,决定系数  $R^2$  值为0.982 2;重心高度的变化可用方程  $y = -0.8333x^2 + 3.5551x + 54.013$  表示,  $R^2$  为0.936 5。

随着株距增加,5 节高度和底荚高度呈现降低趋势,处理间差异达到极显著水平 ( $P < 0.01$ ),主茎节数、分枝数、1 粒荚数、2 粒荚数、3 粒荚数、4 粒荚数、瘪荚数、主茎荚数和全株荚数呈现升高趋势,各处理间差异达极显著水平 ( $P < 0.01$ )。株距对百粒重的影响虽然达到极显著水平,但是百粒重两年的变化趋势不近相同,还需要进一步验证。株距对虫粒率和病粒率的影响是株距越小虫粒率和病粒率越高,豆粒外观商品品质越差。品质方面,随着株距加大,蛋白质含量呈下降趋势,脂肪含量呈上升趋势,根据不同生产需求,适当调节株距可以对品质有改善作用。株距对产量的影响是呈现先升高后降低趋势,2011 年 7 cm 株距产量最高,2012 年 5 cm 株距产量最高,就材料类型而言,两年试验结果为分枝型材料 7 cm 株距产量高,主茎型材料 5 cm 株距产量高。综上,本研究认为在黑龙江克拜地区大豆高产的适宜株距是 5 ~ 7 cm。

参考文献

[1] 费家骅. 大豆行株距的试验[J]. 农业科学通讯,1952(10):28-29. (Fei J X. Soybean row spacing experiment[J]. Agricultural Science Communication, 1952(10):28-29.)  
[2] 齐林,杨国敏,周勋波,等. 夏大豆群体内植株分布对干物质积累分配及产量的影响[J]. 作物学报,2009,35(9):1722-1728. (Qi L,Yang G M,Zhou X B,et al. Effect of plant density patterns in population on dry matter accumulation, partitioning and yield in summer soybean [J]. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(9):1722-1728.)  
[3] 杨国敏,周勋波,陈雨海,等. 群体分布对夏大豆产量和水分利用效率的影响[J]. 生态学报,2009,29(12):6458-6465. (Yang G M,Zhou X B,Chen Y H,et al. Effect of population distribution

on yield and water use efficiency in summer soybean[J]. Acta Ecologica Sinica,2009,29(12):6458-6465. )

[4] 刘忠堂. 大豆窄行密植高产栽培技术的研究[J]. 大豆科学, 2002,21(2):117-121. ( Liu Z T. Study on technology for high yield of solid-seeded soybean[J]. Soybean Science,2002,21(2): 117-121. )

[5] 赵双进,张孟臣,杨春燕,等. 栽培因子对大豆生长发育及群体产量的影响 I . 播期、密度、行株距(配置方式)对产量的影响[J]. 中国油料作物学报,2002,24(4):29-32. ( Zhao S J, Zhang M C, Yang C Y, et al. Effect of culture factors on growth and yield of soybean I . Effect of sowing date, density, space in row and plant space on yield[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences,2002,24 (4):29-32. )

[6] 周勋波,孙淑娟,陈雨海,等. 株行距配置对夏大豆光利用特性、干物质积累和产量的影响[J]. 中国油料作物学报,2008, 30(3):322- 326. ( Zhou X B, Shun S J, Chen Y H, et al. Effect of plant-row spacings on solar utilization, dry matter weight and yield in summer soybean[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2008,30(3):322- 326. )

[7] 李灿东,郭泰,王志新,等. 播期对耐密植大豆品种主要农艺性状及产量的影响[J]. 中国农学通报,2016,32(3):39-42. ( Li C D, Guo T, Wang Z X, et al. Effects of different sowing dates on main agronomic traits and yield of close planting soybean cultivars [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2016,32(3):39-42. )

[8] 于凤瑶,辛秀君,张代军,等. 群体分布与大豆农艺性状关系的研究[J]. 草业科学,2010,27(10):114-120. ( Yu F Y, Xin X J, Zhang D J, et al. Relationship between group distribution and agromonic traits in *Glycine max* [J]. Pratacultural Science, 2010, 27 (10):114-120. )

[9] 李生秀,魏建军,刘建国,等. 窄行密植对大豆群体冠层结构及光分布的影响[J]. 新疆农业科学,2005,42(6):412-414. ( Li S X, Wei J J, Liu J G, et al. Effects of planting with narrow line and proper density on canopy structure light penetration of soybean [J]. Xinjiang Agricultural Sciences,2005,42(6):412-414. )

[10] 董钻. 大豆产量生理[M]. 北京: 中国农业出版社,2012:135-137. ( Dong Z. Soybean yield physiology[M]. Beijing: China Agri-cultural Press,2012:135-137. )

[11] 邱丽娟,常汝镇. 大豆种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社,2006. ( Qiu L J, Chang R Z. Soybean germ-plasm specifications description and data standards[M]. Beijing: China Agriculture Press,2006. )

[12] 刘晓冰,金剑,王光华,等. 行距对大豆竞争有限资源的影响[J]. 大豆科学,2004,23(3):215-221. ( Liu X B, Jin J, Wang G H, et al. Influences of row-spacing on competing limited resources in soybean[J]. Soybean Science,2004,23(3):215-221. )

[13] 马兆惠,车仁君,王海英,等. 种植密度和种植方式对超高产大豆根系形态和活力的影响[J]. 中国农业科学,2015,48(6): 1084-1094. ( Ma Z H, Che R J, Wang H Y, et al. Effect of different seeding rates and planting patterns on root morphological traits and root vigor of super-high-yield soybean cultivars [J]. Scientia Agricultura Sinica,2015,48(6):1084-1094. )

[14] 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. )

[15] 焦浩,纪永民,张存岭. 种植方式和密度对大豆产量和单株性状的影响[J]. 作物杂志,2008(5):50-53. ( Jiao H, Ji Y M, Zhang C L. Effect of planting pattern and density on soybean yield and other traits[J]. Crops,2008(5):50-53. )

[16] 张永强,张娜,王娜,等. 种植密度对北疆复播大豆光合特性及产量的影响[J]. 西北植物学报,2015,35(3):571-578. ( Zhang Y Q, Zhang N, Wang N, et al. Effects of planting density on photo-synthetic characteristics and yield of summer soybean in north Xin-jiang [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2015, 35 (3):571-578. )

[17] 何世炜,常生华,武得礼,等. 大豆播种密度对籽实产量及其构成因素影响的研究[J]. 草业学报,2005,14(5):43-47. ( He S W, Chang S H, Wu D L, et al. The effect of *Glycine max* sowing density on seeds yield and plant morphology[J]. Acta Prataculturae Sinica,2005,14(5):43-47. )