



# 株行距配置对大豆农艺性状和产量的影响

于晓波, 梁建秋, 何泽民, 吴海英, 张明荣

(南充市农业科学院, 四川 南充 637000)

**摘要:** 为筛选出适宜四川丘陵山区大豆生产的株行距配置, 以结荚习性不同的两个大豆品种南夏豆 25 和南农 99-6 为试验材料, 分析不同株行距配置下的大豆农艺性状和产量构成因素。结果表明: 密度为 25 万株·hm<sup>-2</sup> 时, 相同株距下行距配置的变化对主茎高度和重心高度影响不明显, 株距从 8 cm 扩大到 10 cm 有利于抑制植株主茎高度的增加。重心高度/主茎高度表现为品种间差异显著而不同株行距配置间无显著差异, 表明其主要受品种遗传特性调控。不同株行距配置对主茎节数无显著影响, 但通过改变植株高度影响了主茎的平均节间长度; 株距从 8 cm 扩大到 10 cm 有利于基部节间粗度的增加, 基部节间的长粗比受行距和株距配置的共同调控。宽窄行有利于大豆单株粒数的增加, 且在平均行距为 40 cm 时表现更为明显, 并有利于大豆百粒重的增加, 品种南豆 25 的表现更为明显。株距 8 cm、宽窄行 60 cm + 40 cm 的配置下大豆单株产量显著高于株距 10 cm、等行距 40 cm, 植株分布均匀更有利于个体生产潜力的发挥。

**关键词:** 大豆; 株距; 行距; 农艺性状; 产量

## Effects of Different Spacing Configurations on Soybean Agronomic Traits and Yield

YU Xiao-bo, LIANG Jian-qiu, HE Ze-min, WU Hai-ying, ZHANG Ming-rong

(Nanchong Institute of Agriculture Science, Nanchong 63700, China)

**Abstract:** Two soybean varieties with different podding habits, Nandou 25 and Nannong 99-6 were used as materials in field experiment to investigate the agronomic traits and yield under different spacing configurations. The result showed that, when the density was 250 000 plants·ha<sup>-1</sup>, the change of row spacing configuration under the same plant spacing had no obvious influence on the main stem height and gravity center height. The increase of plant distance from 8 cm to 10 cm was beneficial to restrain the increase of the main stem height. The gravity center height to the main stem height was significantly different among varieties, but there was no significant difference between different row spacing configurations, indicating that it was mainly controlled by the genetic characteristics of varieties. The arrangement of row spacing had no significant effect on the number of main stem nodes, but the average internode length of main stem was affected by the changing of plant height. The increase of pitch from 8 cm to 10 cm was beneficial to the increase of pitch between base nodes. The ratio of length to thickness between base nodes was controlled by line spacing configuration and plant spacing. The width and narrow row was beneficial to the increase of the number of seeds per plant, and it was more obvious when the average line spacing was 40 cm, and it is conducive to the increase of 100-seed weight of soybean, and the performance of variety Nandou 25 was more obvious. The yield of soybean of plant space 8 cm with wide and narrow row 60 cm + 40 cm configuration was significantly higher than that of 10 cm and 40 cm configuration, and the uniform distribution of plants was more favorable for the development of individual production potential.

**Keywords:** Soybean; Plant spacing; Row spacing; Agronomic traits; Yield

种植密度是决定作物产量的重要因子, 增加群体密度成为近年来提高作物群体产量的关键栽培措施<sup>[1-4]</sup>。大豆作为密播作物, 对群体密度具有一

定的自我调节能力。不同大豆品种对密度的适应能力存在明显差异<sup>[5-6]</sup>, 但对于一个特定的品种, 在特定的区域内的适宜密度一般较为稳定<sup>[7]</sup>。种植

收稿日期: 2021-01-04

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFD0101500); 国家现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-04-CES25); 四川省大豆育种攻关 (2016NYZ0031); 国家现代农业产业技术体系四川省豆类杂粮创新团队 (SCCXTD-2020-21); 农业部川渝薯类与大豆科学观测实验站。

第一作者: 于晓波 (1985—), 男, 博士, 副研究员, 主要从事大豆遗传育种与栽培研究。E-mail: bo0524@163.com。

通讯作者: 张明荣 (1964—), 男, 研究员, 主要从事大豆遗传育种与栽培研究。E-mail: zhangminron@126.com。

方式的优化能够有效改善群体结构,协调作物群体和个体关系,是获得高产的有效途径<sup>[8]</sup>。

合理的株行距配置,能够构建不同的冠层结构,有利于冠层光能截获利用和群体内气体交换,缓解由于密度增加造成的遮阴加重和透光率下降等影响,提高群体光能利用效率,促进地上部和地下部的协同生长以及光合产物的合理分配,从而提高产量<sup>[9]</sup>。同等密度下,随着大豆行距的加大和株距的缩小,植株个体间竞争激烈,营养分配失调,导致干物质积累中心上移,同时株高、分枝数、有效荚数、株粒数、百粒重和生物量等植株形态和产量构成指标受到影响,其中株粒数和百粒重成为影响产量的关键因子<sup>[10]</sup>;适当地缩小行距、增大株距则能使植株分布更为均匀,有效增大个体生长空间,减小植株间的资源竞争,延长植株叶片的功能期,提升作物群体光合能力,使得大豆鼓粒期间各阶段灌浆速率、最大灌浆速率、平均灌浆速率均有所增加,最大灌浆速率出现时间延后,有效提高籽粒产量,且宽窄行种植方式下表现更为明显<sup>[11-12]</sup>。宽窄行种植的优势主要体现在密植能够改善植株间互相遮光不透气的不良状况和优化群体植株的冠层结构,改善光合生产环境。与等行距相比,宽窄行种植下作物群体有更高的叶面积指数,适宜的透光率,较高的叶绿素含量和净光合速率,使群体形成高光效的冠层结构,增加群体生物量,有利于产量潜力的发挥<sup>[9,13]</sup>。同一密度下,宽窄行较等行距种植叶片干重百分比有下降趋势,且上层 LAI 较小,高效叶层 LAI 较大;同时,根重的垂直分布出现下移趋势,根系 TTC 还原强度略高于等行距种植<sup>[14]</sup>,有利于构建合理的根冠比。

东北和黄淮海大豆主产区针对单作下大豆种植密度和株行距配置等方面的研究较多<sup>[15-17]</sup>,而西南地区关于大豆种植密度和田间配置的研究主要集中在间套作模式下<sup>[18-21]</sup>,而在四川特殊弱光生态区内单作下大豆株行距配置对高密度大豆群体产量的影响鲜见报道。本研究对同等密度下株行距配置变化对大豆植株形态、产量构成和收获指数的影响进行研究,以期对四川丘陵山区大豆高产栽培提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

供试大豆品种为结荚习性和分枝明显不同的南夏豆 25 (ND25,有限结荚习性,单株分枝 3.5 个)

和南农 99-6 (NN99-6,亚有限结荚习性,单株分枝 1.6 个),分别由南充市农业科学院和南京农业大学提供。供试土壤均为紫色壤土,pH6.73,土壤耕层基础肥力为:有机质 18.7 g·kg<sup>-1</sup>,全氮 2.25 g·kg<sup>-1</sup>,全磷 1.01 g·kg<sup>-1</sup>,全钾 38.26 g·kg<sup>-1</sup>,速效氮 9.14 mg·kg<sup>-1</sup>,速效磷 7.04 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾 131.47 mg·kg<sup>-1</sup>。

1.2 试验设计

试验于 2016 和 2017 年在南充市顺庆区濠溪镇 (30°88'N,106°05'E)进行。采用二因素裂区设计,主区为品种,分别为 ND25 (A1)和 NN99-6 (A2);裂区为株行距配置,共 4 个处理,具体田间株行距设计详见表 1。各处理密度均为 25 万株·hm<sup>-2</sup>。小区长 10 m,宽 8 m,面积 80 m<sup>2</sup>,3 次重复,随机排列。大豆均在 6 月中旬播种,3 叶期进行间苗和补苗,10 月中旬收获。其它田间管理按常规进行。

表 1 田间株行距设计

Table 1 The design of different plant spacing configuration

处理	行距	株距
Treatment	Row spacing/cm	Plant spacing/cm
B1	50	8
B2	60 + 40	8
B3	40	10
B4	50 + 30	10

1.3 测定项目与方法

大豆成熟时,每小区连续取样 20 株进行考种。测定主茎高度、茎秆重心高度(将植株放在手指上使其左右平衡则该点为茎秆平衡支点,子叶节至茎秆平衡支点的距离则为重心高度)、基部第一节间长度和中间粗度、主茎节数、分枝数量。调查单株粒数、百粒重、单株粒重等产量性状指标;计算收获指数(收获指数 = 籽粒产量/植株生物量)。

1.4 数据分析

采用 Excel 2007 和 SPSS 19.0 软件进行数据处理分析,LSD 法测定差异显著性。

2 结果与分析

2.1 株行距配置对大豆主茎和重心高度的影响

由表 2 可知,2016 年不同品种和配置处理大豆主茎高度和重心高度呈极显著差异。大豆主茎高度和重心高度两年均表现为 B1 与 B2、B3 与 B4 处理差异不显著,表明相同株距下行距配置的变化对主茎高度和重心高度影响不明显;2016 年两个品种的 B2 处理主茎高度均显著高于 B4,重心高度均显

著高于 B3;2017 年两个品种 B1 和 B2 处理的主茎高度和重心高度均显著高于 B3 和 B4,表明同等密度下扩大株距更有利于抑制植株主茎高度和重心高度的增加。两年试验结果中 NN99-6 的主茎高度和重心高度均极显著高于 ND25,但重心高度/主茎

高度显著或极显著小于 ND25,不同配置间则差异不显著,表明本研究条件下重心高度/主茎高度主要由品种遗传特性控制而受田间配置的影响相对较小。

表 2 不同株行距配置对大豆主茎伸长与重心高度的影响

Table 2 The main stem height and gravity center height of soybean under different plant spacing configurations							
品种 V	配置 C	2016			2017		
		主茎高度	重心高度	重心高度/主茎高度	主茎高度	重心高度	重心高度/主茎高度
		Main stem height /cm	Gravity center height/cm	Gravity center height /main stem height	Main stem height /cm	Gravity center height/cm	Gravity center height /main stem height
ND25	B1	68.1 ± 4.2 ab	35.8 ± 2.3 ab	0.526 ± 0.017 a	73.2 ± 3.9 a	38.5 ± 1.2 a	0.526 ± 0.014 a
	B2	70.2 ± 2.8 a	36.5 ± 1.6 a	0.520 ± 0.016 a	73.5 ± 5.4 a	39.2 ± 1.6 a	0.535 ± 0.011 a
	B3	64.3 ± 4.5 ab	33.7 ± 1.8 b	0.524 ± 0.009 a	65.4 ± 2.6 b	34.3 ± 1.4 b	0.524 ± 0.024 a
	B4	63.4 ± 3.6 b	35.2 ± 1.4 ab	0.555 ± 0.011 a	64.9 ± 1.9 b	34.5 ± 0.9 b	0.532 ± 0.009 a
NN99-6	B1	94.1 ± 5.2 a	47.5 ± 0.5 a	0.505 ± 0.021 a	93.6 ± 4.3 a	48.2 ± 1.6 a	0.515 ± 0.026 a
	B2	95.8 ± 4.3 a	48.7 ± 2.0 a	0.508 ± 0.019 a	94.0 ± 2.9 a	47.3 ± 1.1 a	0.503 ± 0.019 a
	B3	87.5 ± 3.9 b	43.7 ± 1.2 b	0.499 ± 0.031 a	84.7 ± 2.0 b	43.0 ± 1.2 b	0.508 ± 0.020 a
	B4	86.3 ± 4.1 b	43.8 ± 1.6 b	0.508 ± 0.024 a	86.4 ± 3.3 b	43.5 ± 2.1 b	0.503 ± 0.014 a
V		264.657 **	73.005 **	6.409 *	155.147 **	45.808 **	9.748 **
C		6.937 **	7.741 **	1.127 ns	6.107 *	8.817 **	1.156 ns
V × C		0.284 ns	1.433 ns	0.842 ns	0.626 ns	2.801 ns	1.001 ns

不同小写字母表示同一品种处理间在 0.05 水平差异显著; \* 和 \*\* 分别表示在 0.05 和 0.01 水平差异显著,ns 表示 0.05 水平差异不显著。下同。

V – Variety; C – Configuration; Different lowercase indicate significant differences among treatments at  $P < 0.05$ ; \* and \*\* indicate significant differences at the 0.05 and 0.01 level, respectively; ns indicate no significant differences at the 0.05 level. The same below.

2.2 株行距配置对主茎节数和节间性状的影响

如表 3 所示,两年间不同品种间大豆主茎节数差异极显著,平均节间长度之间无显著差异。不同田间配置下,两年试验结果中年际间的主茎节数均无显著差异,表明主茎节数性状是相对稳定的,与品种的遗传特性有关。

两年的平均节间长度差异均显著,B1 和 B2 处理均显著高于 B3 和 B4,平均节间长度的变化表明田间配置能够通过改变主茎高度影响主茎节数的平均节间长度。

两年间不同品种和配置间大豆第一节间粗度

差异均极显著,第一节间长度则无显著差异。2016 年 NN99-6 第一节间长粗比极显著高于 ND25,2017 年 NN99-6 显著高于 ND25,田间配置间两年均无显著差异。ND25 两年的分枝数均极显著高于 NN99-6,田间配置间无显著差异。

不同田间配置下,两年间两个品种的 B3 和 B4 处理的第一节间粗度均显著高于 B1 和 B2,表明同等密度下增加株距较行距扩大更有利于基部节间粗度的增加;B4 处理的第一节间长粗比均显著小于 B1,表明基部节间的长粗比受行距配置和株间距离的共同影响。

表 3 不同株行距配置对大豆节数和节间性状的影响

Table 3 The node number and internode traits of different plant spacing configurations

年份 Year	品种 V	配置 C	主茎节数 Main stem node number	平均节间长度 Average internode length/cm	第一节间长度 The 1st internode length/cm	第一节间粗度 The 1st stem diameter/mm	长粗比 Length/ diameter	分枝数 Branch number
2016	ND25	B1	14.9 ±0.5 a	4.64 ±0.47 a	8.52 ±0.35 a	6.92 ±0.22 b	12.30 ±0.11 a	3.6 ±0.1 a
		B2	14.2 ±0.4 a	4.94 ±0.38 a	8.34 ±0.29 a	6.98 ±0.28 b	11.77 ±0.25 ab	3.5 ±0.2 a
		B3	15.1 ±0.6 a	4.26 ±0.29 b	8.26 ±0.24 a	7.36 ±0.16 a	11.12 ±0.30 ab	3.6 ±0.1 a
		B4	14.7 ±0.6 a	4.31 ±0.24 b	8.25 ±0.31 a	7.61 ±0.28 a	10.76 ±0.18 b	3.8 ±0.3 a
	NN99-6	B1	19.0 ±0.8 a	4.97 ±0.33 a	9.52 ±0.30 a	6.24 ±0.14 b	15.15 ±0.28 a	1.1 ±0.1 a
		B2	20.2 ±0.5 a	4.75 ±0.25 a	9.22 ±0.28 a	6.57 ±0.22 b	14.10 ±0.31 ab	1.2 ±0.1 a
		B3	19.6 ±0.6 a	4.47 ±0.37 b	9.17 ±0.19 a	6.84 ±0.15 a	13.28 ±0.09 ab	1.6 ±0.1 a
		B4	19.3 ±0.4 a	4.46 ±0.25 b	9.02 ±0.41 a	7.00 ±0.29 a	12.81 ±0.18 b	1.4 ±0.1 a
	V		259.898 **	0.522 ns	3.368 ns	25.184 **	11.898 **	368.000 **
	C		1.240 ns	3.420 *	0.155 ns	7.812 **	1.579 ns	1.449 ns
	V × C		4.426 ns	2.291 ns	0.007 ns	0.155 ns	0.068 ns	0.812 ns
2017	ND25	B1	15.1 ±0.6 a	4.85 ±0.37 a	8.73 ±0.30 a	6.14 ±0.16 b	14.12 ±0.31 a	2.9 ±0.2 a
		B2	15.4 ±0.4 a	4.78 ±0.31 a	8.54 ±0.26 a	6.53 ±0.24 b	13.14 ±0.27 ab	3.1 ±0.3 a
		B3	14.9 ±0.4 a	4.39 ±0.28 b	8.44 ±0.19 a	6.96 ±0.30 a	12.10 ±0.19 ab	3.1 ±0.2 a
		B4	14.7 ±0.5 a	4.41 ±0.39 b	8.33 ±0.41 a	7.14 ±0.19 a	11.62 ±0.20 b	3.0 ±0.3 a
	NN99-6	B1	19.9 ±0.6 a	4.72 ±0.20 a	9.22 ±0.44 a	5.80 ±0.09 b	15.86 ±0.15 a	0.9 ±0.1 a
		B2	21.1 ±0.3 a	4.71 ±0.33 a	9.17 ±0.26 a	6.15 ±0.33 b	14.83 ±0.24 ab	1.0 ±0.2 a
		B3	20.8 ±0.4 a	4.29 ±0.22 b	9.01 ±0.31 a	6.47 ±0.37 a	13.90 ±0.30 ab	1.3 ±0.1 a
		B4	21.2 ±0.5 a	4.31 ±0.19 b	8.80 ±0.22 a	6.61 ±0.23 a	13.19 ±0.19 b	1.2 ±0.1 a
	V		354.495 **	1.615 ns	1.175 ns	13.377 **	4.658 *	573.774 **
	C		0.325 ns	2.927 *	0.171 ns	11.566 **	1.999 ns	2.419 ns
	V × C		0.448 ns	0.784 ns	0.006 ns	0.142 ns	0.002 ns	0.871 ns

2.3 株行距配置对大豆产量及产量构成的影响

由表 4 可知,两年间不同品种和配置处理大豆单株粒数、百粒重、单株粒重和产量均呈极显著差异( $P<0.01$ ),且百粒重在品种和配置间互作极显著。从品种间来看,NN99-6 的单株粒数和单株粒重两年均极显著高于 ND25,百粒重两年则均极显著低于 ND25,产量 NN99-6 极显著高于 ND25,表明本研究条件下产量构成因素中单株粒数对产量的影响较百粒重更大。

不同田间配置下,两年间单株粒数表现为 B4 均显著高于 B3(除 2016 年 ND25 外),B2 高于 B1

但差异不显著(2017 年 N99-6 表现为差异显著),表明宽窄行有利于大豆籽粒数量的增加,且在平均行距较小的环境下表现更为明显;百粒重两年间均表现为 ND25 的 B4 处理显著高于 B3、B2 显著高于 B1,NN99-6 在宽窄行配置下稍有增加但差异不显著,表明宽窄行有利于大豆籽粒灌浆和物质积累,且对百粒重大的品种影响更为明显;百粒重两年间均表现为 B4 和 B3、B2 和 B1 处理间无显著差异,但 B4 处理显著高于 B1,表明植株分布均匀更有利于个体生产潜力的发挥。

表 4 不同株行距配置下的大豆产量性状

Table 4 The soybean yield traits of different plant spacing configurations

品种 V	配置 C	2016				2017			
		单株粒数	百粒重	单株粒重	产量	单株粒数	百粒重	单株粒重	产量
		Seeds number per plant	100-seed weight/g	Seeds weight per plant/g	Yield /(kg·hm <sup>-2</sup> )	Seeds number per plant	100-seed weight/g	Seeds weight per plant/g	Yield /(kg·hm <sup>-2</sup> )
ND25	B1	38.8 ± 1.8 b	22.3 ± 0.44 c	8.65 ± 0.28 b	2163.1 ± 128.9 b	34.6 ± 1.2 b	21.4 ± 0.38 c	7.40 ± 0.42 c	1850.9 ± 86.4 c
	B2	41.5 ± 1.2 ab	23.2 ± 0.39 b	9.63 ± 0.35 ab	2407.0 ± 128.8 ab	36.2 ± 1.1 b	22.1 ± 0.27 b	8.00 ± 0.33 bc	2000.6 ± 106.4 bc
	B3	40.0 ± 0.8 ab	23.5 ± 0.50 b	9.40 ± 0.21 ab	2350.0 ± 107.5 b	37.3 ± 0.9 b	22.4 ± 0.44 b	8.36 ± 0.26 b	2089.5 ± 127.1 b
	B4	43.2 ± 1.3 a	24.4 ± 0.41 a	10.14 ± 0.33 a	2533.5 ± 40.7 a	40.1 ± 2.2 a	23.1 ± 0.35 a	9.40 ± 0.17 a	2289.4 ± 66.8 a
NN99-6	B1	51.2 ± 1.1 b	18.1 ± 0.38 b	9.27 ± 0.26 b	2316.8 ± 112.5 b	44.2 ± 0.9 c	17.6 ± 0.29 a	7.78 ± 0.11 c	1945.2 ± 87.4 c
	B2	55.2 ± 1.2 b	18.3 ± 0.34 ab	10.10 ± 0.15 b	2525.4 ± 86.9 b	48.8 ± 1.4 b	17.8 ± 0.46 a	8.69 ± 0.28 b	2172.0 ± 117.3 b
	B3	54.8 ± 1.6 b	18.6 ± 0.26 ab	10.19 ± 0.40 b	2548.2 ± 145.8 b	50.1 ± 1.1 b	17.9 ± 0.17 a	8.97 ± 0.25 b	2241.7 ± 126.2 b
	B4	59.6 ± 1.7 a	18.8 ± 0.29 a	11.17 ± 0.21 a	2709.3 ± 70.5 a	55.5 ± 1.8 a	17.6 ± 0.48 a	9.76 ± 0.17 a	2408.8 ± 94.7 a
V		266.712 **	2401.000 **	12.734 **	12.734 **	275.956 **	2185.744 **	14.274 **	13.153 **
C		10.505 **	34.167 **	17.963 **	17.963 **	11.802 **	21.279 **	30.478 **	30.817 **
V × C		2.601 ns	8.167 **	0.347 ns	0.347 ns	2.018 ns	7.982 **	0.400 ns	1.261 ns

2.4 株行距配置对大豆收获指数的影响

如图 1 所示,不同田间配置下,ND25 和 NN99-6 的收获指数两年间均表现为 B4 处理显著高于 B1。

B1 和 B2、B3 和 B4 处理间均无显著差异,表明同等株距下行间距配置的变化并未对收获指数产生显著影响。

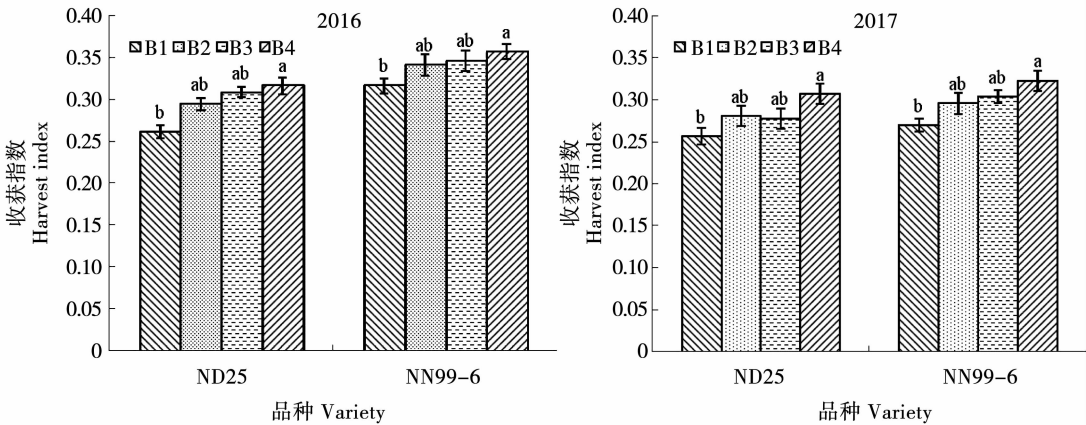


图 1 不同株行距配置下的收获指数

Fig. 1 The harvest index of different plant spacing configurations

2.5 植株性状与产量的相关性分析

通过表 5 相关性分析结果可知,分枝数与主茎高和主茎节数呈极显著负相关,与百粒重则呈极显著正相关,适宜的田间配置在抑制植株纵向伸长生长的同时能够促进分枝的发生<sup>[22]</sup>,构建更为合理的“源库”从而有利于籽粒填充<sup>[23]</sup>;单株粒数与主茎高和主茎节数均呈极显著正相关,表明一定的节数和植株高度是增加大豆结荚能力和籽粒形成的基础。

表 5 植株性状与产量构成间的相关性分析

Table 5 The correlation of plant traits and yield

性状 Trait	主茎高 Main stem height	主茎节数 Main stem nodes number	百粒重 100-seed weight	产量 Yield
分枝数 Branch number	-0.971 **	-0.955 **	0.982 **	-0.145
单株粒数 Seed number per plant	0.753 *	0.877 **	-0.769 *	0.714 *

3 讨 论

大豆作为一种密播作物,田间株行距的合理配置能够有效协调个体与群体的统一,构建良好的群体结构,从而提高光能利用效率和改善通风条件,有利于群体产量的形成<sup>[24-25]</sup>。植物群体能够通过自我调节补偿效应来提高对环境的适应能力,增加群体的功能稳定性,其中植株形态的改变在群体功能发挥中起着重要的调节作用,尤其茎秆特性是判定植株是否健壮的重要指标<sup>[26-27]</sup>。本研究中相同密度下的不同株行距配置未引起主茎节数发生显著变化,表明主茎节数作为复杂的数量性状仍表现出了相对稳定的遗传特性<sup>[28-29]</sup>,受环境因素影响较小;相同株距下的宽窄行和等行距间大豆植株的主茎高度、平均节间长度和第一节间长度无显著差异,而随着株距的减小和平均行距的增加,植株第一节间长度和平均节间长度增加,茎粗减小,可能是由于株间距过近使得行内个体间荫蔽加重,内源赤霉素含量和乙烯释放量增加诱导节间过度伸长、变细<sup>[30]</sup>,从而引起植株主茎高度的增加,这与前人的研究结果一致<sup>[26,31]</sup>,这表明缩小行距、增大株距的“均匀型”种植能使植株分布更为合理,个体生长更为健壮。行距配置的改变对重心高度无显著影响,但重心高度随着株距的减小而增加,这是由于个体间竞争加剧引起营养物质分配失调,导致干物质积累、重心上移<sup>[10]</sup>。

不同的田间配置可以对大豆群体结构产生较大的影响,进而影响大豆的干物质和群体对环境资源的利用并最终集中反映在产量上,采取合理的栽培方式,调整大豆种植的株行距配置等技术措施对提高大豆群体内个体的潜力产量有重要意义。不同株行距配置间的干物质积累量和运转存在明显的差异,合理的群体结构可以提高光能利用效率,使库源关系更为协调,有利于积累较多的干物质并在开花后向籽粒中运转<sup>[32-33]</sup>。前人对不同大豆品种在各株行距配置下的产量及其构成进行了研究,但得出的结果由于品种特性、种植密度、土壤肥力和气候条件等差异而不尽相同<sup>[34-36]</sup>。本研究中株距相同时,宽窄行处理下 ND25 的百粒重显著高于等行距,而 NN99-6 则无显著差异,表明宽窄行配置对籽粒较大品种的百粒重影响更为明显,这与光环境的改变促进光合产物向籽粒运输以及库的大小有关<sup>[37]</sup>。株距 8 cm 时宽窄行和等行距间大豆单株粒数和产量无显著差异,株距 10 cm 时宽窄行的单株粒数和产量则均显著高于等行距,表明当行内植株间竞争减小时,宽窄行配置能够有效改善植株光环境和透气条件从而减少花荚脱落,进而增加单株粒数,提高单株生产能力<sup>[38]</sup>,且在植株分布更为均

匀的情况下对大豆籽粒数的增加效应更为明显。

4 结 论

在 25 万株·hm<sup>-2</sup>密度条件下,相同株距下的宽窄行和等行距间的主茎高度和重心高度无明显差异,而株距从 8 cm 扩大到 10 cm 则有利于抑制植株主茎高度增加,促进基部节间粗度的增加,重心高度/主茎高度则主要受品种遗传特性调控。宽窄行有利于大豆单株粒数和百粒重的增加,平均行距为 40 cm 时单株粒数增加较明显,品种南豆 25 的百粒重增加更为明显。株距 8 cm、宽窄行 60 cm + 40 cm 的配置下大豆单株产量显著高于株距 10 cm、等行距 40 cm,植株分布均匀更有利于个体生产潜力的发挥。

参考文献

[1] Tollenaar M, Lee E A. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize[J]. Field Crops Research, 2002, 88: 161-169.

[2] 李敏, 罗德强, 江学海, 等. 控水增密模式对杂交水稻减氮后产量形成的调控效应[J]. 作物学报, 2020, 46(9): 1430-1447. ( Li M, Luo D Q, Jiang X H, et al. Regulations of controlled irrigations and increased densities on yield formation of hybrid indica rice under nitrogen-reduction conditions [J]. Acta Agronomica Sinica, 2020, 46(9): 1430-1447. )

[3] 胡月秋, 徐开未, 龙玲, 等. 玉米“正红 6 号”的密植效应. 草业学报[J], 2020, 29(7): 154-162. (Hu Y Q, Xu K W, Long L, et al. Effect of high plant density on yield of maize variety ‘Zhenghong No. 6’ [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2020, 29(7): 154-162. )

[4] 郑飞娜, 初金鹏, 张秀, 等. 播种方式与种植密度互作对大穗型小麦品种产量和氮素利用率的调控效应[J]. 作物学报, 2020, 46(3): 423-431. ( Zheng F N, Chu J P, Zhang X, et al. Interactive effects of sowing pattern and planting density on grain yield and nitrogen use efficiency in large spike wheat cultivar [J]. Acta Agronomica Sinica, 2020, 46(3): 423-431. )

[5] 张建新, 翟云龙, 薛丽华. 密度对高产春大豆生长动态及干物质积累分配的影响[J]. 大豆科学, 2006, 25(1): 1-5. ( Zhang J X, Zhai Y L, Xue L H, et al. Effect of plant density on growth tendency, dry matter accumulation and distribution in high yield spring soybean [J]. Soybean Science, 2006, 25(1): 1-5. )

[6] 谢甫锦, 王贺, 张惠君, 等. 不同肥密处理对超高产大豆辽豆 14 的影响[J]. 大豆科学, 2008, 27(1): 61-68. ( Xie F T, Wang H, Zhang H J, et al. Effects of different fertilizer levels and planting density on super high-yield soybean Liaodou 14 [J]. Soybean Science, 2008, 27(1): 61-68. )

[7] Norsworthy J K, Shipe E R. Effect of row spacing and soybean genotype on main stem and branch yield[J]. Agronomy Journal, 2005, 97: 919-923.

[8] Liu T, Song F, Liu S, et al. Canopy structure, light interception, and photosynthetic characteristics under different narrow-wide planting patterns in maize at silking stage[J]. Spanish Journal of Agricultural Research, 2011, 9(4): 1249-1261.

[9] 白晶, 张春雨, 丁相鹏, 等. 行距配置和覆反光膜对夏玉米产

- 量及光能利用的影响[J]. 中国农业科学, 2020, 53(19): 3942-3953. (Bai J, Zhang C Y, Ding X P, et al. Effects of row spacing and mulching reflective film on the yield and light utilization of summer maize [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2020, 53(19): 3942-3953.)
- [10] 周勋波, 杨国敏, 孙淑娟, 等. 不同株行距配置对夏大豆群体结构及光截获的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(3): 691-697. (Zhou X B, Yang G M, Sun S J, et al. Effect of different plant row spacing on population structure and PAR interception in summer soybean[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(3): 691-697.)
- [11] 陈传信, 唐江华, 陈佳君, 等. 种植方式对夏大豆鼓粒期叶片光合能力及籽粒灌浆特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2018, 36(3): 101-105. (Chen C X, Tang J H, Chen J J, et al. Effect of planting patterns on photosynthetic capacity and grain filling characteristics of summer soybean at seed-filling stage[J]. Agricultural Research in the Arid Area, 2018, 36(3): 101-105.)
- [12] Mohammadi G R, Ghobadi M E, Sheikhehpour S. Phosphate biofertilizer, row spacing and plant density effects on corn yield and weed growth[J]. American Journal of Plant Science, 2012, 3: 425-429.
- [13] 肖继兵, 刘志, 孔凡信, 等. 种植方式和密度对高粱群体结构和产量的影响[J]. 中国农业科学, 2018, 51(22): 4264-4276. (Xiao J B, Liu Z, Kong F X, et al. Effects of planting pattern and density on population structure and yield of sorghum [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2018, 51(22): 4264-4276.)
- [14] 梁熠, 何文寿, 代晓华, 等. 株行配置对春玉米根冠空间分布及产量的影响[J]. 玉米科学, 2016, 24(6): 97-102. (Liang Y, He W S, Dai X H, et al. Effect of planting density and row spacing on root-shoot spatial distribution and grain yield of spring maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2016, 24(6): 97-102.)
- [15] 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.)
- [16] 田艺心, 高凤菊, 徐冉. 种植密度对高蛋白大豆经济性状和产量的影响[J]. 中国油料作物学报, 2017, 39(4): 476-482. (Tian Y X, Gao F J, Xu R. Effect of planting density on economic characteristics and yield of different high protein soybean [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2017, 39(4): 476-482.)
- [17] 郑伟, 谢甫绶, 郭泰, 等. 种植密度对不同耐密性大豆品种特性的影响[J]. 大豆科学, 2015, 34(2): 255-259. (Zheng W, Xie F T, Guo T, et al. Effect of planting density on characteristics of soybean cultivars with different density tolerance[J]. Soybean Science, 2015, 34(2): 255-259.)
- [18] 庞婷, 陈平, 袁晓婷, 等. 种间距对不同结瘤特性套作大豆物质积累、鼓粒及产量形成的影响[J]. 中国农业科学, 2019, 52(21): 3751-3762. (Pang T, Chen P, Yuan X T, et al. Effects of row spacing on dry matter accumulation, grain filling and yield formation of different nodulation characteristic soybeans in intercropping[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(21): 3751-3762.)
- [19] 徐婷, 雍太文, 刘文钰, 等. 播期和密度对玉米-大豆套作模式下大豆植株、干物质积累及产量的影响[J]. 中国油料作物学报, 2014, 3(5): 593-601. (Xu T, Yong T W, Liu W Y, et al. Effects of sowing time and density on soybean agronomic traits, dry matter accumulation and yield in maize-soybean relay strip intercropping system[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2014, 3(5): 593-601.)
- [20] 杨峰, 崔亮, 武晓玲, 等. 不同空间配置套作大豆后期农学参数及光谱特征分析[J]. 中国油料作物学报, 2012, 34(3): 268-272. (Yang F, Cui L, Wu X L, et al. Soybean agronomic and hyperspectral characteristics at later stage under spatial patterns of maize-soybean intercropping [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2012, 34(3): 268-272.)
- [21] 高仁才, 杨峰, 廖敦平, 等. 行距配置对套作大豆冠层光环境及其形态特征和产量的影响[J]. 大豆科学, 2015, 36(4): 611-615. (Gao R C, Yang F, Liao D P, et al. Effects of different row spacings of maize on light environment, morphological characteristics and yield of soybeans in a relay intercropping system [J]. Soybean Science, 2015, 36(4): 611-615.)
- [22] 张瑞朋, 付连舜, 佟斌, 等. 密度及行距对不同大豆品种农艺性状及产量的影响[J]. 大豆科学, 2015, 34(1): 52-55. (Zhang R P, Fu L S, Tong B, et al. Effect of plant density and row spacing on agronomic characteristics and yield for different soybeans[J]. Soybean Science, 2015, 34(1): 52-55.)
- [23] 韩莉萍. 优化施肥下不同行距配置对大豆干物质积累及产量的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2016. (Han L P. Effect of optimized fertilization on dry matter accumulation and yield of soybean with different row spacing [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2016.)
- [24] 杜长玉, 胡兴国, 何忠仁, 等. 不同密度对大豆产量和生理指标影响的研究[J]. 内蒙古农业科技, 2006(2): 35-36. (Du C Y, Hu X G, He Z R, et al. Effect of different density on yield and physiological index of soybean [J]. Inner Mongolia Agricultural Science and Technology, 2006(2): 35-36.)
- [25] 盖钧镒, 游明安, 邱家驹, 等. 大豆高产理想型群体生理基础的探讨[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1990: 3-12. (Gai J Y, You M A, Qiu J X, et al. Study on physiological basis of high yield ideal type population of soybean [M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1990: 3-12.)
- [26] 杨从党. 作物研究过程中生态场理论的应用[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(4): 70-75. (Yang C D. Application of ecological theory to research of crops[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2002, 10(4): 70-75.)
- [27] 于晓波, 梁建秋, 何泽民, 等. 撒播量对大豆茎秆特性和产量的影响[J]. 草业学报, 2020, 29(9): 117-124. (Yu X B, Liang J Q, He Z M, et al. Response of stem characteristics and yield to sowing rate in soybean [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2020, 29(9): 117-124.)
- [28] 尹振功, 王强, 孟宪欣, 等. 基于 Overview 和物理图谱的大豆主茎节数候选基因挖掘[J]. 大豆科学, 2020, 39(3): 370-376. (Yin Z G, Wang Q, Men X X, et al. Candidate gene mining of soybean node numbers on the main stem based on overview and physical map of soybean genome [J]. Soybean Science, 2020, 39(3): 370-376.)
- [29] 张永芳, 高志慧, 史鹏清, 等. 基于不同大豆品种农艺性状及品质性状的适应性分析[J]. 中国农业科技导报, 2020, 22(8): 25-32. (Zhang Y F, Gao Z H, Shi P Q, et al. Adaptability analysis of different soybean varieties based on agronomic and quality traits [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2020, 22(8): 25-32.)
- [30] 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, She Y H, et al. Preliminary study on

physiological response mechanism of soybean (*Glycine max*) stem to shad stress at seedling stage[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2011, 33(2): 141-146. )

[31] 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. (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. )

[32] 高亚男, 曹庆军, 韩海飞, 等. 不同行距对春玉米产量和光合速率的影响[J]. 玉米科学, 2010(2): 73-76. (Gao Y N, Cao Q J, Han H F, et al. Effect of different row spacing on yield and photosynthetic rate of spring maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2010(2): 73-76. )

[33] 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, Sun S J, Chen Y H, et al. Effect of plant row spacing on solar utilization, dry matter weight and yield in summer soybean [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2008, 30(3): 322-326. )

[34] 张敬涛, 王成, 王谦玉, 等. 不同栽培模式对大豆产量及生长发育的影响[J]. 中国农学通报, 2002, 18(5): 8-10. (Zhang J T, Wang C, Wang Q Y, et al. Effect of different cultivation on soybean yield and development[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2002, 18(5): 8-10. )

[35] Adams P D, Weaver D B. Stem trait row spacing and plant population effects on soybean yield[J]. Crop Science, 1998, 38(3): 750-755.

[36] 彭姜龙. 品种筛选和株行距配置方式对夏大豆产量形成的影响[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2015. (Peng J L. Effects of variety selection and spacing configurations on yield formation of summer soybean [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2015. )

[37] 王维军. 大豆落花落荚原因及其解决途径的探讨[J]. 中国农业科学, 1962, 3(5): 21-24. (Wang W J. The reason of falling pods and flowers of soybean and the prevention solutions [J]. Scientia Agricultura Sinica, 1962, 3(5): 21-24. )

[38] 柴国华, 吕慧颖, 李辉亮, 等. 热胁迫对大豆花荚离层细胞 *HSP70* 基因表达、能量供应及花荚脱落率的影响[J]. 农业生物技术学报, 2006, 14(4): 574-577. (Chai G H, Lyu H Y, Li H L, et al. Effects of heat stress on *HSP70* gene expression and energy supply in abscission zone of flowers-pods, and abscission rate of flowers-pods in soybean cultivars [J]. Journal of Agricultural Biotechnology, 2006, 14(4): 574-577. )

(上接第 481 页)

[14] Zhai Y, Wang Y, Li Y J, et al. Isolation and molecular characterization of *GmERF7*, a soybean ethylene-response factor that increases salt stress tolerance in tobacco[J]. Gene, 2013, 513(1): 174-183.

[15] Sun L, Sun Y, Zhang M, et al. Suppression of 9-*cis*-epoxycarotenoid dioxygenase, which encodes a key enzyme in abscisic acid biosynthesis, alters fruit texture in transgenic tomato [J]. Plant Physiology, 2012, 158(1): 283-298.

[16] Rodrigo M J, Alquezar B, Zacarias L. Cloning and characterization of two 9-*cis*-epoxycarotenoid dioxygenase genes, differentially regulated during fruit maturation and under stress conditions, from orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) [J]. Journal of Experimental Botany, 2006, 57(3): 633-643.

[17] Qin X, Zeevaart J A. Overexpression of a 9-*cis*-epoxycarotenoid dioxygenase gene in *Nicotiana plumbaginifolia* increases abscisic acid and phaseic acid levels and enhances drought tolerance[J]. Plant Physiology, 2002, 128(2): 544-551.

[18] Wan X R, Li L. Regulation of ABA level and water-stress tolerance of *Arabidopsis* by ectopic expression of a peanut 9-*cis*-epoxy-carotenoid dioxygenase gene [J]. Biochemical Biophysical Research Communications, 2006, 347(4): 1030-1038.

[19] Iuchi S, Kobayashi M, Taji T, et al. Regulation of drought tolerance by gene manipulation of 9-*cis*-epoxycarotenoid dioxygenase, a key enzyme in abscisic acid biosynthesis in *Arabidopsis* [J]. The Plant Journal, 2001, 27(4): 325-333.

[20] Schwartz S H, Tan B C, Gage D A, et al. Specific oxidative cleavage of carotenoids by VP14 of maize[J]. Science, 1997, 276(5320): 1872-1874.

[21] Tian X W, Ji J, Wang G, et al. Cloning and expression analysis of 9-*cis*-epoxycarotenoid dioxygenase gene 1 involved in fruit maturation and abiotic stress response in *Lycium chinense* [J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2015, 34(3): 465-474.

[22] 王赞, 陈丹, 岳川, 等. 茶树 *CsNCED2* 基因的克隆和表达分析[J]. 西北植物学报, 2018, 38(6): 994-1002. (Wang Z, Chen D, Yue C, et al. Cloning and expression analysis of *CsNCED2* gene in tea plant [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2018, 38(6): 994-1002. )

[23] Jia Y Y, Liu J L, Bai Z Q, et al. Cloning and functional characterization of the *SmNCED3* in *Salvia miltiorrhiza* [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2018, 40(7): 133.

[24] 周丽, 李梦婷, 朱莺, 等. 水稻 *OsNCED4* 基因的克隆及功能初探[J]. 分子植物育种, 2020, 18(7): 2087-2096. (Zhou L, Li M T, Zhu Q, et al. Cloning and functional analysis of *OsNCED4* gene in rice [J]. Molecular Plant Breeding, 2020, 18(7): 2087-2096. )

[25] Zeevaart J A, Creelman R A. Metabolism and physiology of abscisic acid[J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1988, 39: 439-473.

[26] Iuchi S, Kobayashi M, Yamaguchi S K, et al. A stress-inducible gene for 9-*cis*-epoxycarotenoid dioxygenase involved in abscisic acid biosynthesis under water stress in drought-tolerant cowpea [J]. Plant Physiology, 2000, 123(2): 553-562.

[27] Li T, Sun J, Li C, et al. Cloning and expression analysis of the *FvNCED3* gene and its promoter from ash (*Fraxinus velutina*) [J]. Journal of Forestry Research, 2019, 30(2): 471-482.

[28] Xiong L, Lee H, Ishitani M. Regulation of osmotic stress-responsive gene expression by the LOS6/ABA1 locus in *Arabidopsis* [J]. Journal of Biological Chemistry, 2002, 277(10): 8588-8596.