



# 黄淮海高蛋白夏大豆新品种适宜种植密度研究

田艺心, 高凤菊, 曹鹏鹏, 高 祺

(德州市农业科学研究院, 山东 德州 253000)

**摘要:**为明确黄淮海地区高蛋白夏大豆新品种最佳种植密度, 为其推广利用提供理论依据, 本研究以高蛋白夏大豆新品种圣豆 18、圣豆 24、菏豆 37 和菏豆 38 为供试材料, 分析单株和群体农艺性状、籽粒品质、产量及产量构成因素对不同种植密度的响应。结果表明: 4 个高蛋白夏大豆新品种株高、底荚高随密度增大均逐渐增大, 单株有效荚数、单株粒数、根干重、茎干重、豆荚干重及百粒重随密度增大均呈现减小趋势, 主茎节数、有效分枝数、籽粒蛋白质和脂肪含量受密度影响不明显。圣豆 18 和圣豆 24 群体根、茎、荚干重在种植密度为  $19.5 \times 10^4 \sim 22.5 \times 10^4$  株  $\cdot \text{hm}^{-2}$  时均较高; 菏豆 37 和菏豆 38 群体根、茎、荚干重在种植密度为  $19.5 \times 10^4$  株  $\cdot \text{hm}^{-2}$  时最高。种植密度为  $22.5 \times 10^4$  株  $\cdot \text{hm}^{-2}$  时, 圣豆 18 产量最高, 为  $3\,750.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ; 种植密度为  $19.5 \times 10^4$  株  $\cdot \text{hm}^{-2}$  时, 圣豆 24、菏豆 37 和菏豆 38 产量均最高, 分别为  $3\,458.65$ ,  $2\,952.30$  和  $3\,625.70 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

**关键词:** 高蛋白夏大豆; 新品种; 种植密度; 农艺性状; 籽粒品质; 产量

## Optimal Planting Density of New High Protein Summer Soybean Varieties in Huang-Huai-Hai Region

TIAN Yi-xin, GAO Feng-ju, CAO Peng-peng, GAO Qi

(Dezhou Academy of Agricultural Sciences, Dezhou 253000, China)

**Abstract:** In order to determine the optimal planting density of new high-protein summer soybean varieties in Huang-Huai-Hai region and provide theoretical basis for their popularization and utilization, we used new high-protein summer soybean varieties Shengdou 18, Shengdou 24, Hedou 37 and Hedou 38 as test materials, and studied the effects of planting density on the agronomic traits, seed quality, yield and yield components. The results showed that the plant height and pod height of new high protein summer soybean varieties increased with the increasing of planting density, the effective pods number per plant, the seed number per plant, the dry weight of root, stem and pod per plant and 100-seed weight decreased with the increasing of density, while its effects on main stem node number, effective branch number, seed protein and fat content were not significant. The dry weight of group root, stem and pod of Shengdou 18 and Shengdou 24 were higher with the planting density of  $19.5 \times 10^4 \sim 22.5 \times 10^4$  plants per hectare, while those of Hedou 37 and Hedou 38 had the highest with the planting density of  $19.5 \times 10^4$  plants per hectare. The highest yield of Shengdou 18 was  $3\,750.00 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  under the planting density of  $22.5 \times 10^4$  plants per hectare, and the highest yield of Shengdou 24, Hedou 37 and Hedou 38 was  $3\,458.65$ ,  $2\,952.30$  and  $3\,625.70 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  respectively under the planting density of  $19.5 \times 10^4$  plants per hectare.

**Keywords:** High protein summer soybean; New variety; Planting density; Agronomic characters; Seed quality; Yield

大豆是重要的高蛋白粮饲兼用作物和油料作物, 在农业供给侧结构性改革中发挥着重要作用。随着人民生活水平提高和消费习惯的变化, 近年来, 高蛋白大豆需求量急剧增长, 国家对高蛋白大豆发展关注力度也在不断提升<sup>[1]</sup>。2016 年, 《农业部关于促进大豆生产发展的指导意见》中明确提出“加强优质突破性品种选育, 力争 2020 年食用大豆蛋白质含量提高 2 个百分点”, 2019 年农业农村部

计划实施大豆振兴计划, 提出“加大大豆育种创新投入, 加快培育高产高油高蛋白大豆新品种”, 《2020 年推进现代种业发展工作要点》中再次将“高产高蛋白大豆”列入良种攻关计划之列。因此, 随着国家政策对高蛋白大豆扶持力度的不断加强, 高蛋白大豆已成为国家大力推动的大豆发展方向, 也是当前国产大豆的主要需求方向<sup>[2-3]</sup>。黄淮海地区作为我国大豆第二大主产区, 其优越的地理位置和

收稿日期: 2020-12-30

基金项目: 山东省农业良种工程(2019LZGC004); 山东省现代农业产业技术体系杂粮创新团队建设项目(SDAIT-5-01); 国家自然科学基金(31760430)。

第一作者: 田艺心(1986—), 女, 博士, 副研究员, 主要从事大豆及杂粮杂豆栽培生理及育种研究。E-mail: tyxin213@sina.com。

丰富的光热资源十分有利于大豆蛋白质含量的增加,是我国最重要的优质高蛋白大豆主产区之一,每年高蛋白大豆种植面积约占黄淮海大豆总种植面积的 30% 左右,借助黄淮海优势生态条件,大面积推广和应用高蛋白质含量或超高蛋白质含量的大豆品种,对我国大豆产业发展具有重要意义。

提高大豆单产主要有两条途径,一是选育优良品种,提高大豆产量潜力;二是改进栽培措施,激发大豆产量潜力。黄淮海地区高蛋白大豆种质资源丰富,截止 2019 年高蛋白大豆种质资源选育已近 300 多份<sup>[4-5]</sup>,有力地保证了高蛋白种质资源供给。而在改进栽培措施方面,先前许多研究结果已表明<sup>[6-7]</sup>,适宜大豆种质密度可有效提高大豆单株生产潜力,进而促进产量增加。如李筱雨等<sup>[8]</sup>研究发现,开豆 46 密度过大易出现底荚高、结荚少、产量低的现象,建议开豆 46 的最适种植密度为 1 万株·hm<sup>-2</sup>。于德斌等<sup>[9]</sup>研究发现,吉林分枝型大豆随种植密度的增大,产量先增后减,种植密度为 5.4 万株·hm<sup>-2</sup> 时产量最高。吕继龙等<sup>[10]</sup>在收集了 1998—2017 年大豆试验数据的基础上,研究发现我国春、夏大豆高产的最佳密度分别为 34 万和 27 万株·hm<sup>-2</sup>,其中在夏大豆产区,密度对产量影响最大。王立明等<sup>[11]</sup>在甘肃东部旱作区开展陇黄 1 号、陇黄 2 号和陇黄 3 号大豆新品种适宜种植密度研究,发现陇黄 1 号、陇黄 2 号和陇黄 3 号适宜种植密度分别为 14.5 万、20.8 万和 18.1 万株·hm<sup>-2</sup>,且适宜种植密度能显著提高旱作区大豆产量和田间水分利用效率。安兴耀等<sup>[12]</sup>通过不同密度对青贮饲用大豆黔饲豆 1 号产量及农艺性状影响研究,发现 38 万~45 万株·hm<sup>-2</sup> 是获取青贮饲用大豆高产的合理密度。因此,对现有高蛋白大豆新品种适宜种植密度的研究是挖掘高蛋白大豆产量潜力的首要和必要举措,有利于其配套栽培技术的进一步实施,符合国家精准化农业实施要求。

本研究以黄淮海地区 2019 年新审定的的高蛋白大豆品种为供试材料,研究不同种植密度对高蛋白夏大豆新品种植株生长性状、籽粒品质、产量及其构成因素的影响,旨在明确高蛋白夏大豆新品种在黄淮海地区的合理种植密度,为高蛋白夏大豆新品种进一步推广利用及高产优化栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

以高蛋白夏大豆新品种圣豆 18、圣豆 24、荷豆 37、荷豆 38 为供试材料,这 4 个品种均属于黄淮海夏大豆中熟新品种,均为 2019 年通过审定,有限结

荚习性,其蛋白质含量均为 45% 以上。其中圣豆 18 蛋白质含量 45.14%,圣豆 24 蛋白质含量 45.80%,均由山东省圣丰种业科技有限公司提供;荷豆 37 蛋白质含量 45.50%,荷豆 38 蛋白质含量 45.02%,均由山东省菏泽市农业科学院提供。

1.2 试验设计

试验于 2019 年在德州市黄河涯镇农业科技园基地进行。试验地土壤为壤土, pH7.61,速效氮 60.11 mg·kg<sup>-1</sup>、速效钾 102.03 mg·kg<sup>-1</sup>,速效磷 55.32 mg·kg<sup>-1</sup>、全氮 1.02 g·kg<sup>-1</sup>、有机质含量 12.43 g·kg<sup>-1</sup>。2018 年种植大豆,前茬为冬小麦。麦收后秸秆还田,结合旋耕犁整地使用毒死蜱毒土防除地下害虫。2019 年 6 月 15 日统一播种,播前旋地松土,浇水造墒。出苗后 3 和 5 d 间苗两次,间苗结束后 7 d 定苗。间定苗期间人工中耕除草 2 次,生育期间人工除草 4 次。生育期内遇旱人工浇水 3 次。追施三元复合肥 380 kg·hm<sup>-2</sup>。自 7 月 22 日开始每 7 d 机械喷药 1 次防治病虫害。除密度处理外,各小区田间管理操作保持一致。

分别以品种和密度为两个试验因素,随机区组设计。分别以 V1、V2、V3 和 V4 表示圣豆 18、圣豆 24、荷豆 37 和荷豆 38;分别以 D1、D2、D3 和 D4 表示密度 13.5 万、16.5 万、19.5 万和 22.5 万株·hm<sup>-2</sup>。每个处理设 3 次重复,共 48 个小区,每个小区设 6 行区,行长 5.0 m,行距 0.5 m,面积 15 m<sup>2</sup>。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 单株农艺性状 成熟期,从各小区分别随机选取 10 株,测量株高、底荚高、主茎节数、有效分枝数、有效荚数、单株粒数等单株农艺性状。并将植株根、茎、荚及籽粒等分开装袋,杀青后 80℃ 烘至恒重,称量并计算单株根、茎、荚和籽粒干重。

1.3.2 群体农艺性状 群体有效荚数、根、茎及荚干重均由单株植株相关农艺性状×相对应密度计算而来。成熟后分别对各小区实收测产,取中间 4 行计产,计产面积 10 m<sup>2</sup>,并计算折合公顷产量(kg·hm<sup>-2</sup>)。

1.3.3 品质性状 采用 Infratec1255 型近红外光谱分析仪(FOSS 公司生产)对大豆籽粒脂肪和蛋白质含量进行快速测定。

1.3.4 方差分析 以品种和密度为两因素,采用两因素随机区组设计方差分析方法对各处理产量进行多因素分析,并分别以品种和密度为单因素,对产量进行单因素随机区组方差分析。

1.4 数据分析

用 DPS 7.05 软件和 Excel 2007 进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 高蛋白大豆单株农艺性状对密度的响应

如表1所示,圣豆18、圣豆24和荷豆37在D4处理下的株高显著高于D1~D3处理;荷豆38的D4和D3处理间株高无显著差异,均显著高于D1和D2处理。圣豆18的D4和D3处理底荚高差异不显著,与D1和D2处理差异显著;圣豆24的D4处理底荚高显著高于D1~D3处理;荷豆37和荷豆38的D4和D3处理与D2处理底荚高差异不显著,均显著高于D1处理。因此,4个高蛋白大豆品种株高、底荚高均随密度增大而逐渐增大。

4个高蛋白大豆品种主茎节数和有效分枝数受密度影响不明显,各处理间均无显著差异。

圣豆18和荷豆38的D1处理单株有效荚数显

著高于D2~D4处理;圣豆24和荷豆37的D1与D2处理单株有效荚数差异不显著,均显著高于D3和D4处理。圣豆18、圣豆24和荷豆37的D1处理单株粒数显著高于D2~D4处理;荷豆38的D1与D2处理单株粒数差异不大,显著高于D3和D4处理。圣豆18的D1和D2处理与D3处理根干重差异不显著,显著高于D4处理;圣豆24、荷豆37和荷豆38的D1处理根干重均显著高于D2~D4处理。圣豆18和荷豆37的D1处理茎干重、荚干重及粒重均显著高于D2~D4处理;圣豆24和荷豆38的D1处理茎干重、荚干重及粒重均与D2处理差异不显著,显著高于D3和D4处理。因此,4个高蛋白大豆品种单株有效荚数、单株粒数、根干重、茎干重、荚干重及百粒重随密度增大均有减小的趋势。

表1 种植密度对高蛋白夏大豆新品种单株农艺性状的影响

Table 1 The effects of density on single plant agronomic trait of new high-protein summer soybean varieties

处理 Treatment	株高 Plant height /cm	底荚高 Bottom pod hight/cm	主茎节数 Stem nod number	有效分枝数 Effective branch number	有效荚数 Effective pod number	粒数 Seed number	根干重 Dry weight of root/g	茎干重 Dry weight of stem/g	荚干重 Dry weight of pod/g	粒重 Seed weight/g
V1D1	79.67 i(c)	14.21 c(b)	17.32 a(a)	2.33 b(a)	54.00 a(a)	97.52 a(a)	3.85 a(a)	14.97 bc(a)	35.12 c(a)	22.45 a(a)
V1D2	82.67 h(bc)	14.68 c(b)	17.56 a(a)	2.30 b(a)	52.89 a(b)	88.31 cd(b)	3.79 a(a)	12.31 ef(b)	29.45 e(b)	19.33 de(b)
V1D3	84.58 g(b)	15.32 c(ab)	17.67 a(a)	2.57 a(a)	51.67 a(b)	86.95 de(c)	3.27 bc(ab)	12.29 ef(b)	29.74 e(b)	18.82 e(bc)
V1D4	93.22 d(a)	16.07 c(a)	17.53 a(a)	2.33 b(a)	46.01 bc(c)	86.09 e(c)	2.79 fg(b)	10.45 hi(c)	26.03 g(c)	16.67 g(c)
V2D1	85.09 g(c)	14.03 c(c)	16.05 b(a)	1.33 e(a)	37.56 def(a)	94.07 b(a)	3.43 b(a)	12.17 f(a)	27.52 f(a)	20.13 c(a)
V2D2	87.43 f(bc)	15.21 c(b)	16.06 b(a)	1.30 e(a)	36.23 ef(ab)	92.39 b(b)	3.07 d(b)	11.85 fg(ab)	25.95 g(ab)	19.05 e(a)
V2D3	90.09 e(b)	15.78 c(b)	16.21 ab(a)	1.54 d(a)	34.75 f(b)	90.08 c(c)	3.02 de(b)	10.81 gh(b)	23.91 h(b)	17.74 f(b)
V2D4	93.30 d(a)	16.08 c(a)	16.33 ab(a)	1.55 d(a)	30.02 g(c)	89.36 c(c)	2.56 h(c)	9.46 i(c)	21.72 i(c)	15.23 h(c)
V3D1	92.05 d(c)	21.05 ab(b)	16.02 ab(a)	2.01 c(a)	40.67 d(a)	88.98 cd(a)	3.37 b(a)	16.40 a(a)	30.92 d(a)	19.95 cd(a)
V3D2	93.09 d(c)	22.33 ab(ab)	16.31 ab(a)	2.15 bc(a)	39.33 de(ab)	78.26 f(b)	2.86 efg(b)	13.57 d(b)	24.51 h(b)	17.24 fg(b)
V3D3	96.84 c(b)	23.02 a(a)	16.50 ab(a)	2.33 b(a)	36.27 ef(b)	70.91 g(c)	2.72 gh(b)	13.47 de(b)	23.56 h(b)	15.14 h(c)
V3D4	98.09 bc(a)	23.11 a(a)	16.27 ab(a)	2.30 b(a)	30.18 g(c)	62.06 h(d)	2.11 j(c)	11.08 fgh(c)	19.02 j(c)	12.79 i(d)
V4D1	94.09 d(c)	20.56 b(b)	16.23 ab(a)	2.12 bc(a)	48.33 b(a)	98.10 a(a)	3.69 a(a)	15.97 ab(a)	40.15 a(a)	22.65 a(a)
V4D2	99.78 ab(b)	21.54 ab(ab)	16.57 ab(a)	2.15 bc(a)	45.60 bc(b)	97.63 a(ab)	3.11 cd(b)	15.10 b(a)	38.90 b(ab)	21.03 b(ab)
V4D3	100.43 a(a)	22.89 a(a)	16.65 ab(a)	2.30 b(a)	43.95 c(bc)	89.69 c(b)	2.94 def(bc)	13.86 cd(b)	35.24 c(b)	18.59 e(b)
V4D4	101.09 a(a)	23.05 a(a)	16.83 ab(a)	2.33 b(a)	37.07 ef(c)	79.17 ef(c)	2.34 i(c)	11.34 fgh(c)	28.29 f(c)	15.53 h(c)

不同小写字母表示5%水平存在显著差异;括号内字母为同一品种不同密度差异分析结果,括号外字母为不同处理间差异分析结果。下同。

Lowercase mean significance at 5% level. The lowercase in parentheses mean different significance of the same variety with different density, and the lowercase out of parentheses mean different significance of different treatments. The same below.

2.2 高蛋白大豆群体农艺性状对密度的响应

如表 2 所示,圣豆 18 群体有效荚数、茎干重、豆荚干重在 D3 和 D4 处理较高,两者无显著差异,均显著高于 D1 和 D2 处理,除 D2 处理有效荚数显著高于 D1 处理,茎干重和荚干重在 D1 和 D2 间无显著差异;圣豆 18 群体根干重在 D3 处理最高,但与 D4 和 D2 处理均无明显差异,且均显著高于 D1。圣豆 24 群体有效荚数、根、茎及荚干重均在 D3 和 D4 处理较高,两者之间差异不显著,均显著高于 D1 和 D2 处理,D1 与 D2 处理差异显著。荷豆 37 群体有效荚数、根、茎及荚干重均以 D3 处理最高,显著高

于其他处理,且群体有效荚数、根干重 D2 和 D4 处理显著高于 D1 处理,D4 处理茎干重显著高于 D1 处理,D4 处理荚干重显著高于 D2 处理。荷豆 38 群体有效荚数表现为 D3 > D4 > D2 > D1,且处理之间差异均显著,群体根、茎及荚干重均以 D3 处理最高,显著高于其他处理,D2 和 D4 处理间无显著差异,显著高于 D1 处理。结果说明群体有效荚数及各器官干重与密度均呈抛物线趋势,表明一定范围内提升密度,有利于增加大豆有效荚数及植株干重,进而提高产量。

表 2 种植密度对不同品种群体生长性状的影响

Table 2 The effects of planting density on group growing traits of different varieties

处理 Treatment	有效荚数	根干重	茎干重	荚干重
	Effective pod number	Dry weight of root	Dry weight of stem	Dry weight of pod
	$/(\times 10^3 \text{ 个}\cdot\text{hm}^{-2})$	$/(\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2})$	$/(\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2})$	$/(\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2})$
V1D1	7290.00 g(c)	519.75 de(b)	2020.95 l(b)	4741.20 f(b)
V1D2	8726.85 c(b)	625.35 a(a)	2031.15 l(b)	4859.25 e(b)
V1D3	10075.65 b(a)	637.65 a(a)	2396.55 e(a)	5799.30 c(a)
V1D4	10352.25 a(a)	627.75 a(a)	2351.25 f(a)	5857.50 c(a)
V2D1	5070.60 m(c)	463.50 hi(c)	1642.95 n(c)	3715.65 k(c)
V2D2	5977.95 k(b)	506.55 fg(b)	1955.25 m(b)	4281.75 h(b)
V2D3	6776.25 i(a)	588.90 b(a)	2107.95 k(a)	4661.80 g(a)
V2D4	6754.50 i(a)	576.00 c(a)	2128.50 j(a)	4887.75 e(a)
V3D1	5490.45 l(d)	454.95 i(c)	2213.55 h(c)	4174.65 i(bc)
V3D2	6489.45 j(c)	471.90 h(b)	2238.50 g(bc)	4044.70 j(c)
V3D3	7072.65 h(a)	530.40 d(a)	2627.30 b(a)	4594.85 g(a)
V3D4	6790.50 i(b)	474.75 h(b)	2492.25 d(b)	4279.50 h(b)
V4D1	6524.55 i(d)	498.15 g(c)	2156.40 i(c)	5420.25 d(c)
V4D2	7524.00 f(c)	513.15 ef(b)	2490.95 d(b)	6418.50 b(b)
V4D3	8570.25 d(a)	573.30 c(a)	2702.70 a(a)	6871.15 a(a)
V4D4	8340.75 e(b)	526.50 d(b)	2551.50 c(b)	6365.25 b(b)

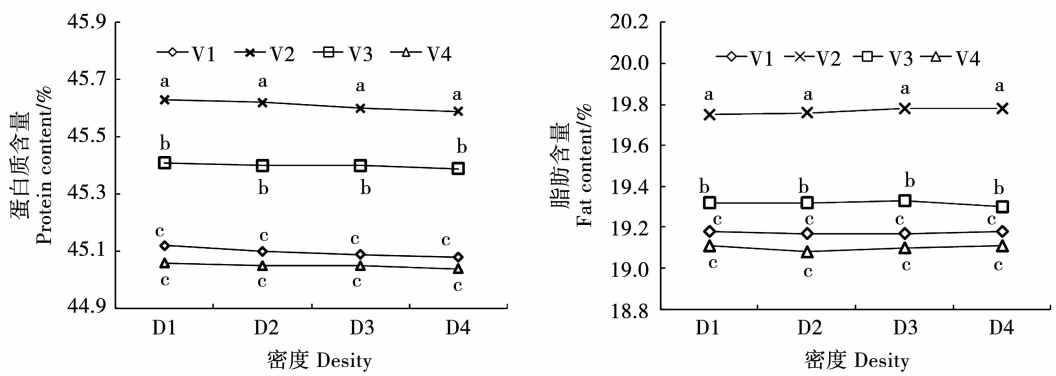
2.3 高蛋白大豆品质对密度的响应

如图 1 所示,各品种蛋白质和脂肪含量随密度增大均无显著变化,且在同一密度处理下,各品种蛋白质含量和脂肪含量均表现为圣豆 24 > 荷豆 37 > 圣豆18 > 荷豆 38,且圣豆 24 蛋白质和脂肪含量显著高于荷豆 37,圣豆 18 和荷豆 38 蛋白质和脂肪含量较低,无显著差异,显著低于其他品种。表明大豆籽粒蛋白质和脂肪含量主要受品种遗传特性影

响,受密度影响较小。

2.4 不同种植密度下高蛋白大豆产量方差分析

2.4.1 多因素分析 对各处理小区产量的方差分析结果如表 3 所示,不同品种 ( $F = 46.29$ )、不同密度 ( $F = 41.24$ ) 下小区产量差异均达到极显著水平,且品种对产量的影响大于密度对产量的影响,同时品种与密度互作 ( $F = 3.10$ ) 对小区产量影响也达到极显著水平。



不同小写字母表示同一密度不同品种在  $P < 0.05$  水平差异显著。下同。  
Different lowercase mean there is significant difference between different varieties with the same planting density. The same below.

图 1 品种与密度交互对籽粒蛋白质和脂肪含量的影响  
Fig. 1 The effects of interactions between density and variety on seed protein content and fat content

表 3 产量方差分析  
Table 3 The yield variance analysis

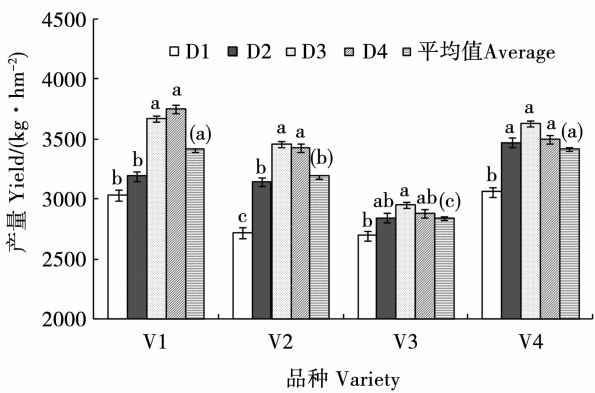
变异来源 Source of variation	平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	$F$	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
区组 Blocks	454179.2	2	227089.6	12.13 **	3.32	5.39
处理间 Treatments	5438524.0	15	362568.3	19.36 **	2.01	2.70
V	2600128.0	3	866709.4	46.29 **	2.92	4.51
D	2316547.0	3	772182.3	41.24 **	2.92	4.51
V × D	521848.8	9	57983.2	3.10 **	2.21	3.07
误差 Error	561753.9	30	18725.1			
总变异 Total variation	6454457	47				

\* 和 \*\* 分别表示在  $P < 0.05$  和  $P < 0.01$  水平存在显著或极显著差异。  
\* and \*\* mean significant and extremely significant difference at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$  level.

2.4.2 单因素分析 对同一品种不同种植密度下产量均值的分析结果如图 2 所示,圣豆 18 和荷豆 38 产量均值无显著差异,均显著高于品种圣豆 24,品种荷豆 37 产量均值最低,显著低于其他品种。

同一品种在不同种植密度下产量存在差异。圣豆 18 在 D4 处理下产量最高,为  $3\,750.00\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,但与 D3 处理无显著差异,且均显著高于 D1 和 D2 处理,D1 和 D2 处理产量无显著差异。圣豆 24 在 D3 处理时产量最高,为  $3\,458.65\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,但与 D4 处理无显著差异,且均显著高于 D1 和 D2 处理,D2 处理显著高于 D1 处理。荷豆 37 和荷豆 38 均在 D3 处理产量最高,分别为  $2\,952.30$  和  $3\,625.70\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,均与 D2 和 D4 处理差异不显著,显著高于 D1 处理。圣豆 18 在种植密度为  $22.5\text{ 万株}\cdot\text{hm}^{-2}$  时产量最高,圣豆 24、荷豆 37 和荷豆 38 均在种植密度为  $19.5\text{ 万株}\cdot\text{hm}^{-2}$  时产量最高。

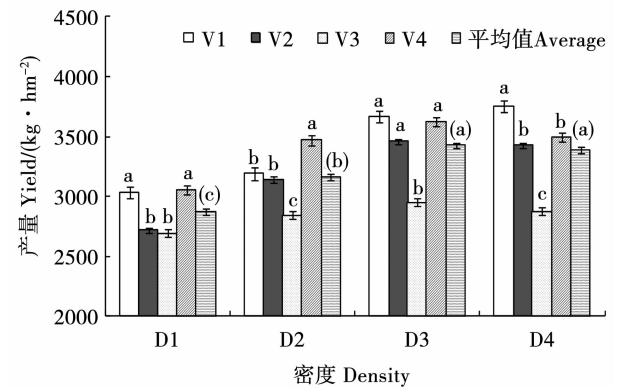
各密度产量均值显著性分析结果如图 3 所示, D3 和 D4 密度下品种总体产量均值较高,均显著高



括号内不同小写字母表示不同品种平均产量在 5% 水平存在显著差异;括号外不同小写字母表示同一品种在不同密度下在 5% 水平存在显著差异。  
The different lowercase in parentheses indicated that the average yield of different varieties was significantly different at 5% level; Different lowercase outside parentheses indicate that the yield of the same variety at different densities was significant different at 5% level.

图 2 各品种不同密度下产量比较  
Fig. 2 The comparison of varieties yield under different densities

于 D1 和 D2 密度产量均值,D2 显著高于 D1 密度产量均值。D1 密度下,品种圣豆 18 和荷豆 38 产量无明显差异,均显著高于品种圣豆 24 和荷豆 37,且圣豆 24 和荷豆 37 产量无显著差异。D2 密度下,圣豆 18 和圣豆 24 之间无明显差异,均显著低于荷豆 38,显著高于荷豆 37。D3 密度下,圣豆 18、圣豆 24 和荷豆 38 之间均无显著差异,均显著高于荷豆 37。D4 密度下,圣豆 24 和荷豆 38 产量无明显差异,均显著高于荷豆 37,显著低于圣豆 18。



括号内不同小写字母表示不同密度平均产量在 5% 水平存在显著差异;括号外不同小写字母表示同一密度下不同品种在 5% 水平存在显著差异。

The different lowercase in parentheses indicated that the average yield of different planting densities was significantly different at 5% level; Different lowercase outside parentheses indicate that the yield of different varieties at the same planting densities was significant different at 5% level.

图 3 各密度下不同品种产量比较

Fig. 3 The comparison of varieties yield under the same density

3 讨 论

3.1 密度对高蛋白夏大豆新品种植株性状的影响

大豆属于群体作物,密度高低会对大豆单株及群体生长性状产生影响,进而影响总体产量高低。随密度递增,大豆株高、底荚高增加,单株荚数、粒数及单株粒重均下降<sup>[13-14]</sup>。本研究结果表明密度增加,大豆植株空间生长受限,趋于纵向生长,且植株个体在结荚期受光照变化影响较大,花荚及籽粒形成对密度较敏感。樊海潮等<sup>[15]</sup>研究发现,大豆主茎节数、有效分枝数随密度增大逐渐减小;程元霞<sup>[16]</sup>对商豆 14 研究也发现,大豆主茎节数和分枝数与密度呈负相关;林海波<sup>[17]</sup>研究发现,耐密大豆沈农 12 在一定密度下,主茎节数和分枝数受密度影响较小,高密度下才有明显变化,不耐密大豆辽豆 11 主茎节数和分枝数在低密度下即有显著变化。

本研究中,各品种大豆主茎节数和有效分枝数总体上随密度增大降低趋势,但各处理之间差异均不显著,表明大豆主茎节数和分枝数受品种特性和密度处理梯度差异影响较小。

干物质积累是大豆优势潜力发挥的重要农艺性状之一,直接影响后期大豆产量形成<sup>[18-19]</sup>。本研究发现,大豆单株根、茎及荚干重均随密度增大而减小,表明密植下大豆植株光合积累养分受限,且对有限土壤及空间环境养分竞争激烈,单株植株各器官干物质积累较少。群体干物质积累在植株密度弥补下的表现与单株不同,圣豆 18 和圣豆 24 群体根、茎及荚干重在种植密度为 19.5 万 ~ 22.5 万株·hm<sup>-2</sup>时均表现较高,荷豆 37 和荷豆 38 群体根、茎及荚干重在种植密度为 19.5 万株·hm<sup>-2</sup>时表现最高,进一步证明在适当范围内增加密度有利于群体干物质积累与分配<sup>[20]</sup>。

3.2 密度对高蛋白夏大豆新品种籽粒品质的影响

密度对大豆品质具有一定影响,前人研究结果表现不一。盖志佳等<sup>[21]</sup>在黑龙江对大豆合农 76 号的研究发现密度与大豆蛋白质含量、脂肪含量均呈负相关,这与朱洪德等<sup>[22]</sup>研究结论一致。刘渊等<sup>[23]</sup>在河北对农大豆 2 号的研究发现种植密度与大豆蛋白质含量可能具有一定的正相关性。李文龙等<sup>[24]</sup>对河北大豆保豆 3 号的研究表明,相同环境下密度对大豆蛋白质和脂肪含量影响不大,而不同种植环境蛋白质和脂肪含量差异极显著,土壤钾含量高时大豆脂肪含量较高,土壤钾含量低时大豆蛋白质含量较高。郑伟等<sup>[25]</sup>通过对 5 个亚有限大豆品种研究发现,不同年代育成品种之间和不同种植密度处理之间蛋白质和脂肪含量差异均达到极显著水平,增加密度有利于蛋白质积累,降低密度有利于脂肪积累。在本研究的密度范围内,各品种蛋白质和脂肪含量均无显著变化,这可能与种植环境有关,具体原因有待深入分析。

3.3 密度对高蛋白夏大豆新品种产量的影响

大豆作为群体性栽培作物,密度过高或过低都会导致产量难以增加,合理密度下才能确保其冠层受光态势较好,从而利于荚粒形成和产物积累,促进产量提高<sup>[26]</sup>。本研究结果表明,不同品种之间、不同密度之间、品种与密度互作影响均达到极显著水平,且影响大小依次表现为品种 > 密度 > 互作,说明产量主要受品种本身遗传特性影响,选育高产品种对提高大豆产量潜力具有重要作用,其次在现

有高产品种的基础上,适当密植,依靠群体发挥增产潜力也是获得高产的重要举措之一。本研究中圣豆 18 在种植密度为  $22.5\text{ 万株}\cdot\text{hm}^{-2}$  时产量最高,为  $3\,750.00\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,圣豆 24、荷豆 37 和荷豆 38 均在种植密度为  $19.5\text{ 万株}\cdot\text{hm}^{-2}$  时产量最高,分别为  $3\,458.65$ 、 $2\,952.30$  和  $3\,625.70\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。4 个大豆品种产量最高时的种植密度均较高,表明合理密植有利于挖掘大豆高产潜力。

4 结 论

适宜种植密度可保证大豆能够充分利用光热资源、形成良好群体结构、保持良好群体生理指标,有助于其产量提高。黄淮海高蛋白夏大豆新品种株高、底荚高随密度增大均逐渐增大,单株有效荚数、单株粒数、根干重、茎干重、荚干重及百粒重随密度增大均有减小的趋势,主茎节数、有效分枝数、籽粒蛋白质和脂肪含量受密度影响不明显。圣豆 18 和圣豆 24 群体根、茎、荚干重均在种植密度为  $19.5\text{ 万}\sim 22.5\text{ 万株}\cdot\text{hm}^{-2}$  时较高,荷豆 37 和荷豆 38 群体根、茎、豆荚干重均在种植密度为  $19.5\text{ 万株}\cdot\text{hm}^{-2}$  时最高。种植密度为  $22.5\text{ 万株}\cdot\text{hm}^{-2}$  时圣豆 18 产量最高,为  $3\,750.00\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,种植密度为  $19.5\text{ 万株}\cdot\text{hm}^{-2}$  时圣豆 24、荷豆 37、荷豆 38 产量均最高,分别为  $3\,458.65$ 、 $2\,952.30$  和  $3\,625.70\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

参考文献

[1] 李锋. 中国大豆生产成本的比较及经济技术需求[J]. 农学学报, 2019, 9(4): 1-6. ( Li F. Discussion on soybean production cost and technological demand in China [J]. Journal of Agriculture, 2019, 9(4): 1-6. )

[2] 高凤菊, 田艺心, 曹鹏鹏. 玉米-大豆间作种植技术推广的现状与建议-以德州地区为例[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(2): 27-29. ( Gao F J, Tian Y X, Cao P P. The present situation and suggestion of intercropping technique of maize and soybean-A case study of Dezhou area[J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2020, 48(2): 27-29. )

[3] 程遥, 马禹, 宁健康. 中美贸易争端背景下中国大豆产业发展研究[J]. 大豆科学, 2020, 39(2): 311-316. ( Cheng Y, Ma Y, Ning J K. Research on the development of China's soybean industry under the background of the trade disputes between China and the United States [J]. Soybean Science, 2020, 39(2): 311-316. )

[4] 田艺心, 高凤菊, 曹鹏鹏. 密度对高蛋白大豆生长动态及产量的影响[J]. 大豆科学, 2017, 36(3): 385-390. ( Tian Y X, Gao F J, Cao P P. Effect of plant density on growth tendency and yield of high protein soybean [J]. Soybean Science, 2017, 36(3): 385-

390. )

[5] 常世豪, 杨青青, 舒文涛, 等. 黄淮海夏大豆品种(系)主要农艺性状的综合性分析[J]. 作物杂志, 2020(3): 66-72. ( Chang S H, Yang Q Q, Shu W T, et al. Comprehensive analysis of main agronomic traits of summer sowing soybean varieties (lines) in Huang-Huai-Hai region [J]. Crops, 2020(3): 66-72. )

[6] 章永根, 傅旭军, 俞慧明, 等. 种植密度与用肥量对鲜食夏大豆浙鲜 19 的影响[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(5): 890-892, 895. ( Zhang Y G, Fu X J, Yu H M, et al. Effects of planting density and fertilizer use on fresh summer soybeans and Zhejiang Fresh 19 [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2020, 61(5): 890-892, 895. )

[7] 索荣臻, 王明玖, 王娜, 等. 不同种植密度对饲用大豆品系 15 农艺性状及产量的影响[J]. 大豆科学, 2020, 39(1): 62-67. ( Suo R Z, Wang M J, Wang N, et al. Effects of different planting densities on agronomic traits and yield of feeding soybean Line 15 [J]. Soybean Science, 2020, 39(1): 62-67. )

[8] 李筱雨, 李相涛, 张冬菊, 等. 不同种植密度对大豆新品种开豆 46 产量的影响[J]. 农业科技通讯, 2020, 3(9): 152-154. ( Li X Y, Li X T, Zhang D J, et al. Effects of different planting densities on yield of new soybean variety Kaidou 46 [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2020, 3(9): 152-154. )

[9] 于德斌, 张鸣浩, 孟凡钢, 等. 密度对分枝型大豆品种主要农艺性状及产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(24): 20-21. ( Yu D B, Zhang M H, Meng F G, et al. Effects of density on main agronomic characters and yield of branching soybean variety [J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2020, 48(24): 20-21. )

[10] 吕继龙, 何萍, 徐新明, 等. 我国大豆最佳施肥量和种植密度评价[J]. 中国土壤与肥料, 2020, 12(6): 174-180. ( Lyu J L, He P, Xu X M, et al. Assessment of the optimum fertilization rates and planting density for soybean production in China [J]. China Soil and Fertilizer, 2020, 12(6): 174-180. )

[11] 王立明, 杨如萍, 陈光荣, 等. 陇黄系列大豆新品种适宜种植密度研究[J]. 中国种业, 2020, 10(9): 42-45. ( Wang L M, Yang R P, Chen G R, et al. Study on suitable planting density of Longhuang series soybean variety [J]. China Seed, 2020, 10(9): 42-45. )

[12] 安兴耀, 陈佳琴, 徐熙, 等. 密度调控对青贮饲用大豆产量及农艺性状的影响[J]. 贵州农业科学, 2020, 48(6): 10-13. ( An X Y, Chen J Q, Xu X, et al. Effects of density regulation on yield and agronomic traits of silage soybean [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2020, 48(6): 10-13. )

[13] 杨芳, 陈艳, 汪媛媛, 等. 施肥量和种植密度对中豆 4601 产量及农艺性状的影响[J]. 湖北农业科学, 2019, 58(23): 53-56. ( Yang F, Chen Y, Wang Y Y, et al. Effects of fertilizer amount and planting density on yield and main agronomic traits of soybean Zhongdou 4601 [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2019, 58(23): 53-56. )

[14] 赵占营, 楚光红, 李思忠, 等. 栽培密度对高产大豆根系生长及

花荚形成的影响[J]. 干旱地区农业研究,2019,37(5):62-69. (Zhao Z Y, Chu G H, Li S Z, et al. Effects of different densities on root growth and pod formation of high yield soybean [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2019, 37(5):62-69.)

[15] 樊海潮,张继雨,王俊涛,等. 种植密度对大豆新品种产量及农艺性状的影响[J]. 山东农业科学,2020,52(2):38-42. (Fan H C, Zhang J Y, Wang J T, et al. Effect of different planting densities on yield and agronomic characters of new soybean varieties [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2020, 52(2):38-42.)

[16] 程元霞. 种植密度对商豆14产量及品质的影响[J]. 安徽农业科学,2017,45(8):42-43, 57. (Cheng Y X. Effects of planting density on the yield and quality of Shangdou 14 [J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2017, 45(8):42-43, 57.)

[17] 林海波. 种植密度对耐密植大豆形态性状的影响[J]. 种子科技,2018,21(3):100-101. (Lin H B. The effect of planting density on the morphological characters of soybean tolerant to close planting [J]. Seeds Technology, 2018, 21(3):100-101.)

[18] 王甜,庞婷,杜青,等. 田间配置对间作大豆光合特性、干物质积累及产量的影响[J]. 华北农学报,2020,35(2):107-116. (Wang T, Pang T, Du Q, et al. Effects of different field collocation patterns on photosynthetic characteristics and dry matter accumulation and yield in intercropping soybean [J]. North China Journal of Agronomy, 2020, 35(2):107-116.)

[19] 肖永成. 大豆干物质积累分配与产量的关系研究[J]. 现代农业科技,2020(1):2-6. (Xiao Y C. Relationship between dry matter accumulation distribution and yield of soybean [J]. Modern Agricultural Technology, 2020(1):2-6.)

[20] 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.)

[21] 盖志佳,赵文军,杜佳兴,等. 行距和密度对半矮秆大豆‘合农76’产量及品质的影响[J]. 农学学报,2017,7(11):1-5. (Gai Z J, Zhao W J, Du J X, et al. Row spacing and density: effects on yield and quality of semi-dwarf soybean variety Henong 76 [J]. Journal of Agriculture, 2017, 7(11):1-5.)

[22] 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. (Zhu H D, Wang C F. Environmental effect on yield and quality of high protein soybean [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2009, 31(3):327-333.)

[23] 刘渊,李文龙,李喜焕,等. 施肥水平和种植密度对河北山区夏播大豆产量及品质影响[J]. 中国农业科技导报,2017,19(8):115-123. (Liu Y, Li W L, Li X H, et al. Effects of fertilization level and planting density on yield and quality of summer sowing soya in mountainous areas of Hebei [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2017, 19(8):115-123.)

[24] 李文龙,李喜焕,王瑞霞,等. 河北省夏播早熟区不同施肥水平和种植密度对大豆产量及品质的影响[J]. 河南农业科学,2015,44(3):40-44. (Li W L, Li X H, Wang R X, et al. Effects of different fertilizer levels and planting densities on yield and quality of soybean in early mature soybean region of Hebei [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2015, 44(3):40-44.)

[25] 郑伟,韩旭东,郭泰,等. 种植密度对黑龙江省不同年代育成大豆品种产量和品质的影响[J]. 种子,2015,34(2):77-81. (Zheng W, Han X D, Guo T, et al. Effect of plant density on grain yield and quality of soybean cultivars released in different years in Heilongjiang [J]. Seed, 2015, 34(2):77-81.)

[26] 尹阳阳,徐彩龙,宋雯雯,等. 密植是挖掘大豆产量潜力的重要栽培途径[J]. 土壤与作物,2019,8(4):361-367. (Yin Y Y, Xu C L, Song W W, et al. Increasing planting density is an important approach to achieve the potential of soybean yield [J]. Soil and Crops, 2019, 8(4):361-367.)