

种植密度对高蛋白大豆经济性状和产量的影响

田艺心¹,高凤菊¹,徐冉^{2*}

(1. 德州市农业科学研究院,山东 德州,253000;2. 山东省农业科学研究院作物研究所,山东 济南,250100)

摘要:为促进我国高蛋白大豆进一步推广利用,本文选用黄淮海地区高蛋白大豆品种冀豆 21、冀豆 12、荷豆 12 和齐黄 34 为试验材料,对不同种植密度下高蛋白大豆品种植株生长、干物质积累、品质和产量等经济性状进行了研究。结果表明,高蛋白大豆品种株高、主茎节数等植株生长性状均随密度增大而增大,但单株有效分枝数、有效荚数、单荚粒数及荚长等性状随密度增大逐渐减小。单株干物质重随密度增大而减少,但群体干物质重随密度增大先增大后减小;在 22.5 万株·hm⁻²~25.5 万株·hm⁻² 的密度范围内,高蛋白大豆的蛋白质含量随密度的升高而略有升高,而脂肪含量总量则随密度的升高而略有降低。品种产量随密度增大呈抛物线趋势,冀豆 21 和冀豆 12 高产的最佳密度是 22.5 万~25.5 万株·hm⁻²,荷豆 12 和齐黄 34 高产的最佳密度是 19.5 万~22.5 万株·hm⁻²。这说明,适宜密度有利于高蛋白大豆植株生长及株型构建,进而促进干物质积累分配及籽粒产量的增加,该研究为黄淮海地区高蛋白大豆的推广利用提供了依据。

关键词:密度;高蛋白大豆;经济性状;产量

中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1007 – 9084(2017)04 – 0476 – 07

Effect of planting density on economic characteristics and yield of different high protein soybean

TIAN Yi – xin¹, GAO Feng – ju¹, XU Ran^{2*}

(1. Dezhou Academy of Agricultural Sciences, Dezhou 253000, China;

2. Crop Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China)

Abstract:Jidou 21, Jidou 12, Hedou21 and Qihuang 34 were selected in this paper, aiming to further spreading the extension and utilization of high protein soybean in China. Through the study of economic characters such as plant growth, dry matter accumulation, the quality and yield of high protein soybean with different density, the results showed that with the increasing density, the plant height and nod numbers of stem both increased, but the effective branches, effective pods, grains per pod and pod length of single plant all decreased. Similarly, with the increase of density, the dry matter accumulation of single plant reduced, but the group dry matter accumulation increased initially and then decreased. In the density of 22.5 × 10⁴ to 25.5 × 10⁴ plants · hm⁻², the protein content of high protein soybean slightly increased with the increase of density, while the total fat content slightly decreased. The yield of soybean exhibited parabolically trend increase with the density, the best yield of Jidou 21 and Jidou 12 were the density of 22.5 × 10⁴ to 25.5 × 10⁴ plants · hm⁻², and the best yield of Hedou 21 and Qihuang 34 were the density of 19.5 × 10⁴ to 22.5 × 10⁴ plants · hm⁻². The results showed that the suitable density benefited the plant growth and type building of high protein soybean, then promoted the accumulation and allocation of dry matter, increased the grain yield eventually. This study provided a base for the extension and utilization high protein soybean in Huang – Huai – Hai region.

Key words:density; high protein soybean; economic characters; yield

大豆蛋白质含量一般在 40% 以上,且是完全蛋白质,可提供全球约 2/3 的植物蛋白需求,是世界植

收稿日期:2017-03-14
基金项目: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)
作者简介:田艺心(1987-),女,博士,助理研究员,主要从事种子科学、大豆等杂粮栽培育种方面研究,E-mail:tyxin213@sina.com
* 通讯作者:徐冉(1967-),男,博士,研究员,主要从事大豆遗传育种与栽培技术研究,E-mail:soybeanxu@126.com

物蛋白的最重要来源。一直以来,我国每年约 30% 的大豆被用于大豆分离蛋白生产,年产量达到 70 万吨左右,大豆蛋白加工在我国已成为一个新兴产业,且发展迅猛,出口量占世界食品大豆蛋白的 50%^[1,2]。目前,大豆蛋白加工产品主要包括蛋白质粉、浓缩蛋白、分离蛋白、组织化蛋白、组织化浓缩蛋白等,这些产品的生产均对大豆蛋白质含量提出迫切需求。因此,高蛋白大豆品种的选育和栽培已成为大豆育种者和生产者关注的重点。

黄淮海地区处于中国中部地带,是中国三大大豆主产区之一。在黄淮海大豆创新种质中存在着大批高蛋白种质,其中蛋白质含量超过 45% 的种质有 220 多份,蛋白质含量 $\geq 48\%$ 的品种有 35 份,均是十分珍贵的大豆高蛋白基因源^[2]。由于不同地区生态条件及气候因素的差异,传统种植模式下,这些高蛋白大豆品种在不同环境下产量和品质表现不一,难以充分发挥其遗传潜力。众所周知,大豆蛋白质含量主要由品种遗传特性决定,但受环境条件和栽培措施影响很大。已有研究表明,品种遗传性对大豆品质含量的影响约占 70% ~ 80%,环境条件的影响约占 20% ~ 30%^[3,4]。因此,在现今国家推进农业供给性结构改革,促进大豆发展,重点推进高蛋白大豆产业发展的趋势下,以黄淮海地区优异的高蛋白种质资源为材料,在培育出优质品种的同时,研究其高产高效的配套栽培技术至关重要。为此,本文对不同种植密度下黄淮海地区不同高蛋白大豆品种在经济性状、产量及品质方面进行了研究,旨在为黄淮海地区高蛋白大豆品种的优质栽培和推广利用提供理论依据,以期充分发挥土地生产潜力和高蛋白大豆优势性状,促进大豆蛋白产业发展。

1 材料与方法

1.1 材料

选用高蛋白大豆品种冀豆 21、冀豆 12、荷豆 12、齐黄 34 为材料,其中冀豆 21 通过轮回方法培育而成,蛋白质含量 45.38%,脂肪含量 17.97%;冀豆 12 由母本油 83-14 和父本晋大 7826 远缘杂交选育而成,其籽粒蛋白质含量平均为 46.48%,脂肪含量 17.07%,均由河北省农林科学研究院粮油作物研究所提供。荷豆 12,蛋白质含量为 44.26%,脂肪含量 20.59%,经母本跃进 5 号和父本荷 7513-1-3 有性杂交系谱选育而成,由菏泽市农业科学研究院作物研究所提供;齐黄 34,由母本诱处 4 号和父本 8657-16 有性杂交系谱选育而成,籽粒平均蛋白质含量 43.94%,脂肪含量 20.22%,属蛋白脂肪双

高品种,由山东省农业科学院作物研究所提供。

1.2 试验设计

试验于 2016 年在德州市农科院科技园基地进行,采用两因素随机区组设计,以品种和密度为试验因素,其中品种以 A 表示,冀豆 21、冀豆 12、荷豆 12、齐黄 34 分别以 A1、A2、A3、A4 表示;密度以 B 表示,密度设置 16.5 万株 $\cdot \text{hm}^{-2}$, 19.5 万株 $\cdot \text{hm}^{-2}$, 22.5 万株 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 和 25.5 万株 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 四个水平,分别用 B1、B2、B3 和 B4 表示。试验每个处理设置 3 次重复,共 48 个小区。小区行距 0.4m,行长 6.25m,6 行区,小区面积 15m²。重复间设走道 1m,四周设保护行。成熟后分别从每小区随机选取 10 株进行室内考种及产量测定,分别调查株高、主茎节数、有效分枝数、有效荚数、有效荚粒数、荚长等植株性状。连续选取 10 株,将子叶节以上部分各器官分开,装入袋中,105℃ 条件下杀青 30min,然后在 80℃ 条件下烘至恒重,计算植株及各器官干重。籽粒中蛋白质及脂肪含量测定采用 FOSS 公司生产的 Infratec1255 型近红外整粒谷物快速测定仪。对试验小区分别实收测产,取中间 4 行计产(计产面积 10m²),脱粒后自然晒干,称量小区籽粒产量折合成公顷产量(kg $\cdot \text{hm}^{-2}$)。

1.3 试验地概况及管理

试验地势平坦,灌排方便,壤土。土壤有机质含量 9.96g $\cdot \text{kg}^{-1}$ 、全氮 0.38g $\cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效氮 58mg $\cdot \text{kg}^{-1}$ 、有效磷 7.98mg $\cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效钾 99mg $\cdot \text{kg}^{-1}$, pH 值 7.6。前茬为冬小麦,2015 年种植过大豆。麦收后秸秆还田,结合旋耕犁整地使用毒死蜱毒土法防除地下害虫。2016 年 6 月 10 日统一播种,播前旋地松土,浇水造墒。出苗后第 3d、5d 间苗两次,间苗结束后 1 周定苗。随着间定苗各人工中耕除草 1 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 375kg/hm²。自 7 月 22 日开始每周机械喷药一次防治病虫害。各小区田间操作保持一致。

1.4 数据分析

利用 SPSS15.0 数据处理系统及 Excel2007 工作表对所得数据进行统计分析,处理平均数间差异显著性采用 LSD($p < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同种植密度下高蛋白大豆农艺性状

从表 1 可以看出,不同品种株高、主茎节数均随密度增大而增大,有效分枝数、有效荚数、单荚粒数及荚长随密度增大而减小。对同一品种不同密度显

著分析表明,品种冀豆 21 (A1)株高在处理 B2 与 B3 间无明显变化,均显著低于 B4,高于 B1;主茎节数在 B1 和 B2、B3 与 B4 之间均无显著差异,但 B3 与 B4 均显著高于 B1 和 B2;有效分枝数受密度影响不明显,仅 B4 显著减少;有效荚数随密度水平增大均显著降低;单荚粒数与荚长受密度影响较小,无显著变化。品种冀豆 12(A2)株高以 B4 最大,B1 最低,B2 与 B3 间无显著差异,均显著高于 B1,低于 B4;主茎节数、单荚粒数和荚长在密度范围内无显著变化;有效分枝数 B1 最高,显著高于其它密度,其它密度之间无显著差异;有效荚数随着密度水平

增大均显著降低。品种荷豆 12(A3)株高、主茎节数、单荚粒数和荚长表现同 A2 一致;有效分枝数在 B1、B2、B3 水平无显著差异,且 B1 显著高于 B4 水平;有效荚数 B1 和 B2 之间无显著差异,B3 显著高于 B4,且显著低于 B1 和 B2。齐黄 34(A4)株高随密度水平均显著增大;主茎节数和荚长在密度范围内无显著变化;有效分枝数和单荚粒数在 B1、B2、B3 水平无显著差异,且显著高于 B4 水平;有效荚数在 B1 和 B2 之间无显著差异,B3 显著高于 B4,且显著低于 B1 和 B2。

表 1 不同种植密度对不同品种大豆单株农艺性状的影响

Table 1 Effect of different density on agronomic trait of single plant with different varieties(per plant)

处理 Treatments	株高 /cm Height	主茎节数 Stem node	有效分枝数 Effective branch	有效荚数 Effective pod	粒数/荚 Grains per pod	荚长/cm Pod length	根干重/g Dry weight of root	茎干重/g Dry weight of stem	豆荚重/g Dry weight of pod	粒重/g Seed weight per plant
A1B1	88.91h(c)	13.56h(b)	4.00ab(a)	45.56a(a)	2.70c(a)	4.95ab(a)	3.14bc(a)	14.43c(a)	29.04c(a)	24.26a(a)
A1B2	91.78g(b)	13.78gh(b)	3.44abc(a)	41.67b(b)	2.61cd(a)	4.90abc(a)	2.99cd(a)	14.01cde(a)	29.01c(a)	22.99b(b)
A1B3	92.45fg(b)	15.11defg(a)	3.11bcd(a)	38.78c(c)	2.61cd(a)	4.77abc(a)	2.65cde(ab)	13.76cd(a)	27.84cd(a)	20.66d(c)
A1B4	98.11e(a)	15.22cdefg(a)	2.11de(b)	33.33e(d)	2.53cd(a)	4.65bc(a)	2.16ef(b)	11.82g(b)	23.75f(b)	18.11e(d)
A2B1	100.55d(c)	15.44cdef(a)	4.22a(a)	40.78b(a)	2.61cd(a)	4.90abc(a)	3.12bc(a)	15.71b(a)	30.43b(a)	22.64bc(a)
A2B2	105.89c(b)	15.56bcdef(a)	3.00bcd(b)	36.78d(b)	2.61cd(a)	4.79abc(a)	2.72cde(ab)	13.81cde(b)	27.47d(b)	21.79c(a)
A2B3	106.45c(b)	16.00abede(a)	2.89cd(b)	33.00e(c)	2.45cd(a)	4.65bc(a)	2.53cdef(b)	12.81ef(c)	24.64f(c)	20.25d(b)
A2B4	110.22b(a)	16.67abc(a)	2.44de(b)	28.33g(d)	2.42cd(a)	4.64bc(a)	2.16ef(c)	10.84h(d)	21.52g(d)	17.12ef(c)
A3B1	106.89c(c)	16.22abcd(a)	3.11bcd(a)	36.78d(a)	2.55cd(a)	4.79abc(a)	2.83cd(a)	13.03de(a)	27.47d(a)	20.03d(a)
A3B2	109.89b(b)	17.00ab(a)	2.45de(ab)	36.22d(a)	2.44cd(a)	4.64bc(a)	2.83cd(a)	12.94e(a)	27.33d(a)	19.82d(a)
A3B3	110.00b(b)	17.11a(a)	2.33de(ab)	30.11f(b)	2.44cd(a)	4.57bc(a)	2.37def(ab)	10.58h(b)	21.59g(b)	16.50f(b)
A3B4	114.89a(a)	17.11a(a)	1.89e(b)	25.89h(c)	2.36d(a)	4.46c(a)	2.02f(b)	8.96i(c)	18.90h(c)	14.15g(c)
A4B1	86.33i(d)	14.11fgh(a)	4.22a(a)	46.33a(a)	3.36a(a)	5.19a(a)	3.89a(a)	17.21a(a)	32.72a(a)	25.26a(a)
A4B2	89.33h(c)	14.22fgh(a)	3.89abc(ab)	46.00a(a)	3.19ab(ab)	5.18a(a)	3.64ab(a)	16.35ab(a)	30.27b(b)	24.46a(a)
A4B3	93.33f(b)	14.33fgh(a)	3.67abc(ab)	38.78c(b)	3.11ab(ab)	4.94ab(a)	2.98cd(b)	13.77cde(b)	26.10e(c)	20.79d(b)
A4B4	96.78e(a)	14.66efgh(a)	3.56abc(b)	33.44e(c)	3.00b(b)	4.88abc(a)	2.54cdef(b)	11.88fg(c)	22.40g(d)	18.04e(c)

注:表中 A1~A4 分别表示品种冀豆 21、冀豆 12、荷豆 12、齐黄 34;B1~B4 分别表示密度 16.5 万、19.5 万、22.5 万、25.5 万株·hm⁻²。小写字母表示显著差异达 5% 水平;括号内小写字母表示同一品种不同密度显著差异。下同
Note: A1~A4 represent the variety of Jidou 21, Jidou 12, Hedou 12, Qihuang 34 respectively;B1~B4 represent the density of 16.5×10⁴ plants·hm⁻², 19.5×10⁴ plants·hm⁻², 22.5×10⁴ plants·hm⁻², 25.5×10⁴ plants·hm⁻² respectively. Letters mean different significance at 5% level. Those letters in parentheses mean different significance of the same variety with different density. Same as below

单株不同器官干重随密度增大,总体趋势逐渐减少。由表 1 可以看出,A1 根、茎和豆荚干重均在 B1、B2、B3 无显著差异,密度增至 B4 时显著降低;单株粒重随密度增大均显著降低。A2 根干重和单株粒重在 B1、B2 无显著变化,B3 和 B4 均显著降低;茎和豆荚干重均随密度增大显著降低。A3 根干重在 B1、B2、B3 无显著差异,密度增至 B4 时显著降低;茎、豆荚干重和单荚粒重均在 B1、B2 无显著变化,B3 和 B4 均显著降低。A4 根干重、茎干重和单株粒重在 B1、B2 无显著变化,B3 和 B4 均显著降低;豆荚干重随密度增大均显著降低。

2.2 不同种植密度下高蛋白群体植株生长性状

从表 2 可以看出,A1 群体有效荚数,根、茎、豆荚干重和 A2 群体有效荚数、根干重均在 B3 最大,B3 与 B4 差异不明显,均显著高于 B2 和 B1,B2 显著高于 B1;A2 群体茎和豆荚干重 B3 最大,与 B2、

B4 无显著差异,均显著高于 B1。A3 群体有效荚数、根、茎干重均在 B2 最大,其次为 B3,B2 与 B3、B3 与 B4 之间差异不明显,但 B2 均显著高于 B4 和 B1;A3 群体豆荚总重在 B2 最大,显著高于其他密度,B3 与 B4 无显著差异,均显著高于 B1。A4 群体有效荚数和根干重 B2 最大,显著高于 B4 与 B1,与 B3 差异不明显;群体茎、豆荚重 B2 最大,B2、B3、B4 差异不明显,但均显著高于 B1。密度与群体干物质的关系呈抛物线趋势,说明在适当范围内增加密度,有利于群体干物质质量和产量的提高。

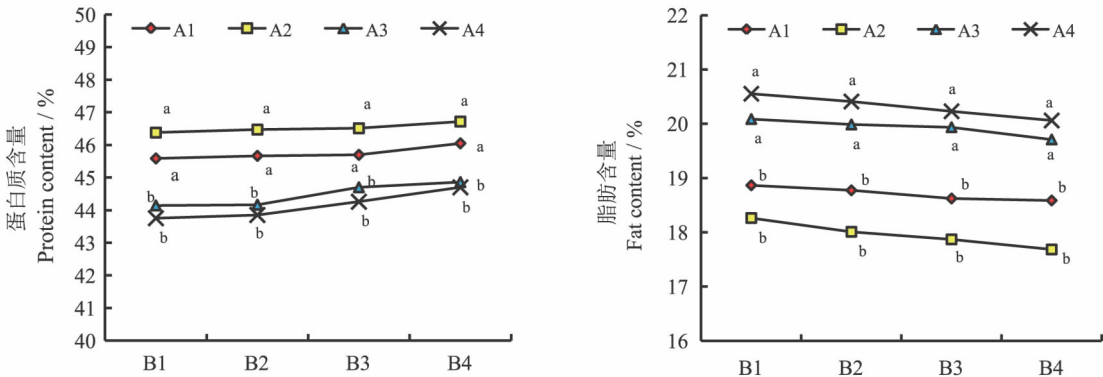
2.3 不同种植密度下高蛋白大豆品质

由图 1A 可以看出,品种 A1、A2、A3、A4 随密度增大籽粒蛋白质含量均略有提高,但均无显著变化。品种 A1 和 A2 籽粒蛋白质含量在各密度水平下均显著高于 A3 和 A4,A1 与 A2、A3 与 A4 之间籽粒蛋白质含量均无显著差异。籽粒脂肪含量与蛋白质表

现趋势相反,品种 A1、A2、A3、A4 随密度增大籽粒脂肪含量均略有降低,但均无显著变化。品种 A1 和 A2 籽粒脂肪含量在各密度水平下均显著低于 A3 和 A4,A1 与 A2、A3 与 A4 之间籽粒脂肪含量均无显著差异。这说明籽粒蛋白质和脂肪含量与品种遗传特性有很大关系,受此密度影响较小。

表 2 不同种植密度对不同品种群体植株生长性状的影响
Table 2 Effect of different density on growing traits of group plant with different varieties(per hm²)

处理 Treatments	有效荚数 Effective pod	根干重 Dry weight of root/kg	茎干重 Dry weight of stem/kg	豆荚总重 Dry weight of pod/kg
A1B1	7 516.67de(c)	517.73ef(c)	2 381.13gh(c)	4 792.15gh(c)
A1B2	8 125.00c(b)	549.67cdef(b)	2 682.55def(b)	5 657.17cde(b)
A1B3	8 725.00ab(a)	596.25bede(a)	3 152.25a(a)	6 263.00a(a)
A1B4	8 500.00b(ab)	583.27bede(ab)	3 012.97abc(a)	6 055.12ab(a)
A2B1	6 728.33i(c)	515.45ef(c)	2 592.33efg(b)	5 020.77g(b)
A2B2	7 171.70fg(b)	530.85ef(b)	2 693.82def(ab)	5 357.13f(ab)
A2B3	7 425.07def(a)	569.83bedef(a)	2 882.02bcd(a)	5 543.25def(a)
A2B4	7 225.50efg(ab)	551.75cdef(ab)	2 763.39de(ab)	5 487.02def(a)
A3B1	6 068.33j(c)	467.68f(b)	2 150.50i(c)	4 533.65h(c)
A3B2	7 063.33gh(a)	550.55cdef(a)	2 523.30fg(a)	5 330.00f(a)
A3B3	6 775.00hi(ab)	533.75def(ab)	2 381.00gh(ab)	4 857.25g(b)
A3B4	6 601.67i(b)	514.82ef(b)	2 283.95hi(bc)	4 818.93g(b)
A4B1	7 645.00d(c)	642.03abcd(b)	2 840.20cd(b)	5 398.25ef(b)
A4B2	8 970.00a(a)	710.02a(a)	3 187.38a(a)	5 902.65bc(a)
A4B3	8 725.00ab(ab)	670.00ab(ab)	3 098.75ab(a)	5 872.25bc(a)
A4B4	8 528.33b(b)	648.83abc(b)	3 028.27abc(ab)	5 713.42cd(ab)



注:图中 A1 ~ A4 分别表示品种冀豆 21、冀豆 12、荷豆 12、齐黄 34;B1 ~ B4 分别表示密度 16.5、19.5、22.5、25.5 万株·hm⁻²。小写字母表示同一密度不同品种显著差异
Note:A1 ~ A4 represent the variety of Jidou 21, Jidou 12, Hedou 12, Qihuang 34 respectively;B1 ~ B4 represent the density of 16.5 × 10⁴ plants · hm⁻², 19.5 × 10⁴ plants · hm⁻², 22.5 × 10⁴ plants · hm⁻², 25.5 × 10⁴ plants · hm⁻² respectively. Lower letters mean different significance of same density with different variety

图 1 品种与密度互作对籽粒蛋白质和脂肪含量的影响
Fig.1 Effect of interactions between density and variety on grain protein and fat content

2.4 不同种植密度下高蛋白大豆产量

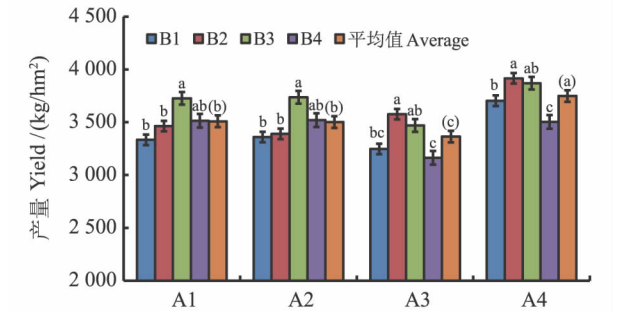
2.4.1 多因素分析 将各处理、各重复的小区产量进行方差分析(表 3),结果表明不同品种处理间产量差异达到极显著水平;不同密度处理间的产量差

异也达到极显著水平;品种对小区产量的影响作用(F = 16.32)大于密度(F = 12.31);而品种与密度间的互作对产量的影响也有显著差异。

表 3 小区折合产量方差分析
Table 3 Analysis of variance of converted yield in small section

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	2	454 179.2	227 089.6	12.13	3.32	5.39
处理间 Treatments	15	2 069 233.0	137 948.9	7.37	2.01	2.70
A	3	916 850.0	305 616.7	16.32	2.92	4.51
B	3	691 416.7	230 472.2	12.31	2.92	4.51
A × B	9	460 966.7	51 218.5	2.74	2.21	3.07
误差 Error	30	561 754.3	18 725.1			
总变异 Total variation	47	3 085 167				

2.4.2 单因素分析 由图 2 可以看出,在试验密度范围内,各品种产量随密度的变化呈现先增加后减少的趋势,品种 A1 和 A2 均在密度 B3 时产量最高,与 B4 产量差异不明显,显著优于 B1 和 B2。品种 A3 和 A4 在密度 B2 下产量最高,与 B3 差异不明显,显著优于 B1 和 B4。综合 4 个品种的平均值,进一步进行多重比较发现,品种 A4 平均产量最高,显著高于其它品种,A1 和 A2 无显著差异,A3 平均产量最低,显著低于其他品种。在试验密度范围内,品种 A1 和 A2 高产的最佳密度是 22.5 万~25.5 万株·hm⁻²,品种 A3 和 A4 高产的最佳密度是 19.5 万~22.5 万株·hm⁻²左右。



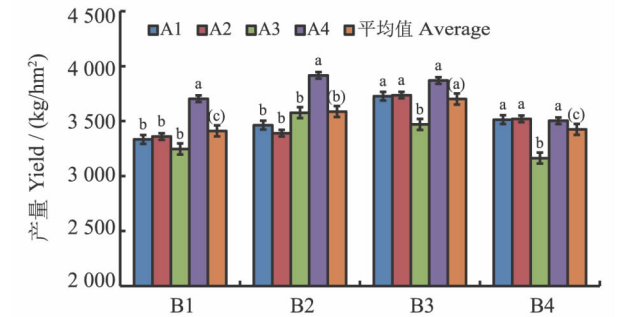
注:小写字母表示同一品种不同密度下 5% 显著差异;括号内小写字母表示不同品种平均产量 5% 显著差异
Note: Lowercases mean 5% significant difference with same variety under different density; Lowercases in parentheses mean 5% significant difference of average yield with different variety

图 2 各品种不同密度下产量比较

Fig. 2 Comparison of yield of varieties under different density

图 3 可以看出,同一密度不同品种产量因品种特性而出现差异。在 B1 和 B2 密度水平,品种 A1、A2、A3 之间产量无显著差异,但均显著低于品种 A4。在 B3 和 B4 密度水平,品种 A1、A2、A4 之间产量均无显著差异,且均显著高于品种 A3。综合 4 个密度的平均值,进一步进行多重比较发现,在 B3 密

度水平下,各品种产量平均值显著高于密度 B2 水平,且 B2 显著高于 B1 和 B4,B1 与 B4 无显著差异(图 3)。说明密度过高或过低均不利于产量的增加,适当增加密度有利于产量提高,品种 A1、A2 在密度较高时产量较高,相比 A3 和 A4,更适合密植。



注:小写字母表示同一密度下不同品种 5% 显著差异;括号内小写字母表示不同密度平均产量 5% 显著差异
Note: Lowercases mean 5% significant difference among different varieties with same density; Lowercases in parentheses mean 5% significant difference of average yield with different density

图 3 各密度下不同品种产量比较

Fig. 3 Comparison of yield of different variety under same density

2.5 产量与产量构成性状相关性分析

产量形成过程是产量多个构成因素共同建成的过程和群体干物质生产和分配的过程。产量构成因素包括单株荚数、单荚粒重、百粒重等。通过对产量及产量构成因素相关分析表明(表 4),单株荚数和密度之间呈极显著负相关,相关系数为-0.78;单株粒重和密度之间呈极显著负相关,相关系数为-0.80;单株荚数和单株粒重呈极显著正相关,相关系数为0.97,和百粒重呈极显著正相关,相关系数为0.57。单株粒重和百粒重、产量均呈显著正相关,相关系数分别为0.50,0.53;百粒重和产量呈极显著正相关,相关系数为0.80。

表 4 产量及构成因素间的相关系数

Table 4 Correlation coefficient between yield and composition factors

性状 Traits	密度 Density	单株荚数 Pod per plant	单株粒重 Grain per plant	百粒重 Hundred grain weight	产量 Yield
密度 Density	1				
单株荚数 Pod per plant	-0.78 **	1			
单株粒重 Grain per plant	-0.80 **	0.97 **	1		
百粒重 Hundred grain weight	-0.02	0.57 *	0.50 *	1	
产量 Yield	-0.02	0.48	0.53 *	0.80 **	1

注/Note: * p<0.05, ** p<0.01

3 讨论

3.1 密度对高蛋白大豆植株生长的影响

株型结构是大豆植株整体生长特征的集中表

现,包括株高、主茎节数、有效分枝数、有效荚数、荚长等参数变化,这些器官的空间结构分布很大程度上决定了光合产物的积累与分配^[5]。合理的空间配置,有利于提高叶片光能利用率、促进大豆植株养

分吸收,进一步提高产量和改善大豆品质。本研究结果表明:在不同密度水平范围内,品种冀豆 21、冀豆 12、荷豆 12、齐黄 34 的株高、主茎节数等性状均随密度的增大而增大,有效分枝数、有效荚数、单荚粒数及荚长随密度增大有逐渐减小的趋势,其中单荚粒数和荚长受密度影响不显著。本试验与前人研究结果一致^[6~9]。

3.2 密度对高蛋白大豆干物质积累的影响

对于单株植株,本研究发现,不同器官干物质均随密度增大逐渐减少,这可能是由于低密度水平下,植株生长空间较大,有利于株型合理生长,茎秆较粗,叶片伸展充分,有利于光合作用和营养物质吸收积累,不同器官中干物质积累较为充分;高密度下,植株生长空间有限,限制株型合理生长进而影响干物质积累水平。本研究结果表明,低密度下不同品种单株各器官干物质重均高于高密度处理,这与先前研究结果相一致^[10~12]。

密度与群体干物质的关系是,密度较低时提高密度有利于干物质积累,随着密度的增大,干物质积累量增加不明显,当密度超过一定水平时,干物质积累量随密度增大而减小^[13~15]。本研究结果表明,冀豆 21 和冀豆 12 群体有效荚数、根干重、茎干重、豆荚总重和粒重均在 $22.5 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 水平达到最大,其次为 $25.5 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。荷豆 12 和齐黄 34 群体有效荚数、群体根干重、群体茎干重、豆荚总干重和粒重均在 $19.5 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 最大,其次是 $22.5 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。这说明在适当范围内增加密度,有利于群体干物质积累与分配。

3.3 密度对高蛋白大豆籽粒品质的影响

Carrera 等认为,大豆生产的主要目的是得到蛋白质和脂肪,因此在生产中要采取一切可行的措施来提高大豆的品质^[16]。首先是选用高品质的品种,大豆品质受遗传影响约为 70% ~ 80%;二是创建有利的生态环境。环境因素对品质的影响为 20% ~ 30%,满足大豆优质品种对外界的要求有助于提高大豆品质^[17]。密度对蛋白质含量、脂肪含量的影响程度因品种而异。本研究表明,在 $22.5 \text{ 万} \sim 25.5 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的密度范围内,高蛋白大豆的蛋白质含量随密度的升高而略有升高,而脂肪含量总量则随密度的升高而略有降低,这与前人的研究结果一致^[18~20]。另外,通过对不同品种蛋白质含量平均值方差分析可知,不同品种蛋白质含量不同,表现为冀豆 12 > 冀豆 21 > 荷豆 12 > 齐黄 34,这与品种本身遗传特性一致。

3.4 密度对高蛋白大豆产量的影响

产量除了受数量性状的影响外,还受环境条件的约束。通过对产量多因素分析,本研究结果发现,品种与密度互作对大豆产量的影响差异显著。不同品种处理间产量差异达到极显著水平;不同密度处理间的产量差异也达到极显著水平;品种对小区产量的影响作用 ($F = 16.32$) 大于密度 ($F = 12.31$);而品种与密度间的互作对产量的影响也有显著差异。同一品种产量随密度的变化均呈抛物线趋势。品种冀豆 21 和冀豆 12 产量顶点值为密度 B3 处理,分别为 $3\,726.67 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $3\,736.67 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;荷豆 12 和齐黄 34 产量最大值为密度 B2 处理,分别为 $3\,576.67 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $3\,916.67 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,不同留苗密度在不同品种内对大豆单位面积产量的影响不同,不同品种应采用不同的留苗密度。这与 Abbais 等研究结果一致,即合理种植密度能充分发挥个体生产潜力,最大限度增加单位面积产量^[21~24]。结合产量单因素分析结果,本研究结果表明,冀豆 21 和冀豆 12 高产的最佳密度是 $22.5 \text{ 万} \sim 25.5 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$,荷豆 12 和齐黄 34 高产的最佳密度是 $19.5 \text{ 万} \sim 22.5 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 左右,可见密度过高和过低都不利于大豆高产潜力的发挥。

另外,大豆的产量因素主要由单株荚数、单株粒重、百粒重等构成,本研究结果发现,单株荚数和单株粒重均与密度之间呈极显著负相关;单株荚数和单株粒数呈极显著正相关,和百粒重呈极显著正相关;单株粒重和百粒重、产量均呈显著正相关;百粒重和产量呈极显著正相关。这说明它们之间的关系是既相互关联又彼此制约的。

4 结论

本研究结果表明,高蛋白大豆品种株高、主茎节数等植株生长性状均随密度增大而增大,但单株有效分枝数、有效荚数、单荚粒数及荚长等性状随密度增大逐渐减小。单株植株干物质重随密度增大而减少,但群体干物质重随密度增大先增大后减小,且在 $22.5 \text{ 万} \sim 25.5 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的密度范围内,高蛋白大豆的蛋白质含量随密度的升高而略有升高,而脂肪含量总量则随密度的升高而略有降低。品种产量随密度增大呈抛物线趋势,冀豆 21 和冀豆 12 高产的最佳密度是 $22.5 \text{ 万} \sim 25.5 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$,荷豆 12 和齐黄 34 高产的最佳密度是 $19.5 \text{ 万} \sim 22.5 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。这说明,适宜密度有利于高蛋白大豆植株生长及株型构建,进而促进干物质积累分配及籽粒产量的增加,该研究为黄淮海地区高蛋白大豆的推

广利用提供了理论基础和栽培依据。

参考文献：

[1] Ainsworth E A, Yendrek C R, Skoneczka J A, et al. Accelerating yield potential in soybean: potential targets for biotechnological improvement[J]. *Plant Cell & Environment*,2012,35(1):38–52.

[2] 韩 飞,刘 勇. 中国大豆蛋白产业现状及发展方向[J]. *大豆科技*,2013,23(3):13–17.

[3] 宁海龙,杨庆凯. 环境条件对大豆化学品质影响的研究进展[J]. *东北农业大学学报*,2003,34(1):81–85.

[4] Wolf R B. Effect of temperature on soybean seed constituents oil, protein, moisture, fatty acids, amino acids sugars[J]. *Journal of American Oil Chemistry and Society*, 1992,59(90):230–232.

[5] 苏 营,张逸飞,牟文雅,等. 大豆主要株型和产量指标对大气 CO₂ 和温度升高的响应[J]. *生态学报*, 2016,36(9):2 597–2 606.

[6] 王 程,刘 兵,金 剑,等. 密度对大豆农艺性状及产量构成因素空间分布特征的影响[J]. *大豆科学*, 2008,27(6):936–941.

[7] 黄中文,王 伟,徐新娟,等. 大豆动态株高及其生长速率与产量的相关分析[J]. *河南科技学院学报*, 2010,38(2):16–19.

[8] 杨胜先,牛 远,李 梦,等. 栽培大豆农艺性状的关联分析及优异等位变异挖掘[J]. *中国农业科学*, 2014,47(20):3 941–3 952.

[9] Fehr W R, Caviness C E. Stages of soybean development [M]. Iowa State University,1977. 80.

[10] 章建新,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.

[11] 唐江华,苏丽丽,罗家祥,等. 不同耕作方式对夏大豆干物质积累及转运特性的影响[J]. *核农学报*,2015, 29(10):2 026–2 032.

[12] Yohei K, Yu T, Keisuke K, et al. Yield and dry matter productivity of Japanese and US soybean cultivars[J]. *Plant Production Science*, 2016, 19(2):257–266.

[13] Carpenter A C, Board J E. Growth dynamic factors controlling soybean yield stability across plant populations [J]. *Crop Science*,1997,37(5):1 520–1 526.

[14] 王红军,吴奇峰,谢映周. 大豆籽粒干物质积累规律及与产量关系的研究[J]. *新疆农业科学*,2006,43(4):268–270.

[15] 李思忠,章建新,李春艳,等. 滴灌大豆干物质积累、分配及产量分布特性研究[J]. *中国农业大学学报*, 2016,21(7):21–28.

[16] Carrera C S, Seguin P. Factors affecting tocopherol concentrations in soybean seeds[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*,2016,64(50):9 465–9 474.

[17] Jacob C, Carrasco B, Schwember A R. Advances in breeding and biotechnology of legume crops[J]. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*,2016,127(3):561–584.

[18] 李志刚,宋书宏,李瑞平. 大豆籽粒中干物质、脂肪和蛋白质积累规律的研究[J]. *作物杂志*,2008,4(16): 51–54.

[19] 邵广忠,任海洋,宗春美,等. 大豆蛋白质和脂肪含量积累规律[J]. *黑龙江农业科学*,2010,8:166–168.

[20] 孟 田. 不同年代育成大豆品种物质形成和养分吸收规律的研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2016. 7–9.

[21] Abbasi M K, Tahir M M, Azam W, et al. Soybean yield and chemical composition in response to phosphorus potassium nutrition in Kashmir [J]. *Agronomic Journal*, 2012,104:1 443–1 458.

[22] Kakiuchi J, Kamiji Y. Relationship between phosphorus accumulation and dry matter production in soybeans[J]. *Plant Production Science*,2015,18(3):344–355.

[23] 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.

[24] 孙国伟,付连舜,张凤路,等. 播期及密度对不同大豆品种农艺性状及产量的影响[J]. *大豆科学*,2016,35(3):423–427.

(责任编辑:王丽芳)