



种植密度与氮肥追施对农庆豆 28 农艺性状及产量的影响

周长军, 田中艳, 吴耀坤, 于吉东, 刘冰, 李建英, 马兰, 李肖白

(黑龙江省农业科学院 大庆分院/国家大豆产业技术体系大庆综合试验站, 黑龙江 大庆 163316)

摘要:为了探索抗线虫大豆新品种农庆豆 28 在黑龙江省西部盐碱半干旱地区的最佳种植密度与氮肥追施水平, 本研究采用二因素随机区组设计, 设置 6 个氮肥追施处理和 4 个种植密度处理 (22 万、25 万、28 万和 31 万株·hm⁻²), 研究不同种植密度与氮肥追施对其主要农艺性状及产量的影响, 探讨该品种最优的肥密配置。结果表明: 在氮肥追施水平相同的条件下, 株高、底荚高度随着种植密度增大而升高, 分枝数、有效节数、单株荚数、单株粒数、单株粒重随着种植密度的增大而降低; 在种植密度相同时, 单株荚数变化在氮肥追施水平 30 和 120 kg·hm⁻² 时呈现双峰高值, 单株粒数和单株粒重在氮肥追施水平 120 kg·hm⁻² 时最高, 随后下降。产量随着种植密度和氮肥追施水平的提高, 呈先升高后降低趋势, 且产量最高处理 (A4B3) 各产量相关构成因素表现并不突出, 可见肥密最优配置使群体优势最大发挥。在种植密度 28 万株·hm⁻²、氮肥追施 120 kg·hm⁻² 时农庆豆 28 产量最高, 达 2 830.50 kg·hm⁻², 其产值较对照 (A0B1) 处理增加 3 792.22 元·hm⁻²。因此在黑龙江省西部盐碱土壤农庆豆 28 最佳增产增效的肥密配置方式为种植密度 28 万株·hm⁻², 以大豆专用复合肥 450 kg·hm⁻² 为底肥, 追施尿素 120 kg·hm⁻²。

关键词: 大豆; 群体; 种植密度; 氮肥追施; 产量

Effects of Planting Density and Nitrogen Topdressing on Agronomic Traits and Yield of Nongqingdou 28

ZHOU Chang-jun, TIAN Zhong-yan, WU Yao-kun, YU Ji-dong, LIU Bing, LI Jian-ying, MA Lan, LI Xiao-bai
(Daqing Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences/Daqing Experiment Station of National Soybean Industrial Technology System, Daqing 163316, China)

Abstract: In order to explore the best planting density and nitrogen topdressing level of a new soybean cyst nematode resistant cultivar Nongqingdou 28 in the saline alkali semi-arid area of Western Heilongjiang Province, we set up a two factor random block design of six nitrogen topdressing treatments and four planting density treatments (220 thousand, 250 thousand, 280 thousand and 310 thousand plants·ha⁻¹). The effects of different planting density and nitrogen topdressing level on its main agronomic traits and yield, and the optimal group structure of Nongqingdou 28 were studied. The results showed that under the same nitrogen topdressing level, the plant height and bottom pod height increased with the increasing of planting density, while the number of branches, effective nodes, pods per plant and seeds per plant, and seed weight per plant decreased with the increasing of planting density. At the same planting density, the number of pods per plant showed bimodal high value at the nitrogen topdressing level of 30 and 120 kg·ha⁻¹, and the number and weight of seeds per plant were the highest at the nitrogen topdressing level of 120 kg·ha⁻¹, and then decreased. The yield increased firstly and then decreased with the increasing of planting density and nitrogen topdressing level, and the relevant yield components of the highest yield treatment (A4B3) were not prominent. It can be seen that the optimal allocation of fertilizer and density maximized the group advantage. When the planting density was 280 thousand plants·ha⁻¹ and the top application of nitrogen fertilizer was 120 kg·ha⁻¹, the yield of Nongqingdou 28 was the highest, reaching 2 830.50 kg·ha⁻¹, and its output value increased by 3 792.22 yuan·ha⁻¹ compared with the control (A0B1). Therefore, in the saline alkali soil in the west of Heilongjiang Province, the best allocation of fertilizer and density to increase production and efficiency of Nongqingdou 28 is 280 thousand plants·ha⁻¹, 450 kg·ha⁻¹ special compound fertilizer for soybean as base fertilizer, and topdressing urea 120 kg·ha⁻¹.

Keywords: soybean; groups; planting density; nitrogen topdressing; yield

优良大豆品种是大豆获得高产的必要条件^[1], 大豆可通过发挥群体优势增加产量, 与单株产量相比群体结构对大豆产量的影响更大, 而适当的种植密度是保证合理群体结构的基础^[2-4], 最佳群体结构能使大豆群体对生态环境资源的利用率达到最大化^[5]。通过调整种植密度使大豆个体与群体间

达到最佳配置, 优化大豆群体结构, 促进大豆良性生长, 有利于打造良好的群体冠层结构, 更加有效地同化光能产物, 积累干物质, 充分发挥大豆单株生产潜力, 同时增加大豆群体植株在单位面积产量上的作用, 实现个体生长与群体产量之间的矛盾统一, 充分利用环境资源以获得更高产量^[6-9]。

收稿日期: 2022-05-30

基金项目: 现代农业大豆产业技术体系大庆综合试验站项目 (CARS-004-CES07); 黑龙江省农业科学院跨越工程项目 (HNK2019CX01); 黑龙江省百千万工程科技重大专项 (2019ZX16B01)。

第一作者: 周长军 (1977—), 男, 硕士, 副研究员, 主要从事大豆育种与栽培研究。E-mail: andazhouchangjun@163.com。

大豆植株生长发育过程中需肥量极大,不同施肥水平对大豆生长发育具有不同程度的影响^[10],合理施肥对提高大豆单产的贡献率可达 40% ~ 50%^[11],氮、磷与大豆籽粒营养物质成分的形成具有密切关系,钾参与了大豆生育过程中的各种重要代谢过程^[12-14],而氮肥是大豆生长发育过程中需求量最大的元素,适宜的施氮水平能维持大豆植株良好的营养条件^[15],大豆植株所需氮素除通过根瘤菌共生固氮获得,其余需从肥料和土壤中获得,由此可以看出,为了满足大豆生长发育所需的营养条件,实现大豆的高产稳产优质,在此过程中需要补施一定量的氮肥^[16-17]。郭泰等^[18]对氮肥后移对大豆产量的影响,李灿东等^[19]、任小俊等^[20]对种植密度与施肥水平对大豆产量性状的影响做过相关研究,但在不同种植密度条件下追施氮肥对大豆产量性状影响的研究相对较少。因此,本研究以黑龙江省农业科学院大庆分院培育的耐盐碱、抗线虫大豆新品种农庆豆 28 为材料,采用 4 个种植密度和 6 个氮肥追施水平的二因素随机区组试验方法,研究不同种植密度与氮肥追施对其主要农艺性状、产量和产量性状的影响,探讨该品种最优的群体结构和合理栽培措施,以期对黑龙江省盐碱半干旱地区大豆高产优质栽培提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试品种 黑龙江省农业科学院大庆分院 2020 年选育而成的抗线虫大豆品种农庆豆 28,该品种生育日数 123 d,需 ≥10 ℃ 活动积温 2 550 ℃ 左右。

1.1.2 供试肥料 底肥为山东红日阿康股份有限公司生产的大豆专用复合肥(N-P₂O₅-K₂O:13-25-12),追肥为中国石油天然气股份有限公司生产的尿素(含 N 46.4%)。

1.2 试验地概况

试验地点位于黑龙江省农业科学院大庆分院安达育种基地(125°21'57"E, 46°24'0"N),试验地前茬作物为玉米,地势平坦,土壤类型为黑钙土,基地海拔 150 m,≥10 ℃ 活动积温为 2 650 ~ 2 700 ℃,无霜期 140 d 左右,土壤 pH8.2,年均降雨量 450 mm,土壤有机质含量 42.4 mg·kg⁻¹,碱解氮 156.4 mg·kg⁻¹,有效磷 17.6 mg·kg⁻¹,速效钾 270.7 mg·kg⁻¹。

1.3 试验设计

试验采取二因素随机区组设计,5 行区,行长 6 m,行距 0.65 m,3 次重复,小区面积 19.5 m²。2021 年 5 月 12 日播种,播种前施入底肥 450 kg·hm⁻²,播种量按设定试验密度的 1.5 倍计算,出苗后第一片复叶展开时根据试验要求密度定苗,开花期追施尿素,田间统一常规管理。

试验因素一为 6 个氮肥追施量处理,分别为 A0(0 kg·hm⁻²)、A1(30 kg·hm⁻²)、A2(60 kg·hm⁻²)、A3(90 kg·hm⁻²)、A4(120 kg·hm⁻²)、A5(150 kg·hm⁻²);试验因素二为 4 个种植密度处理,分别为 B1(22 万株·hm⁻²)、B2(25 万株·hm⁻²)、B3(28 万株·hm⁻²)、B4(31 万株·hm⁻²)。设置不追肥处理及常规种植密度 22 万株·hm⁻²处理为对照(A0B1)。大豆植株成熟后,每小区内取连续 10 株大豆植株,测定株高、底荚高度、分枝数、有效节数、单株荚数、单株粒数、单株粒重、百粒重等性状,其余全部收获测产,并折算成公顷产量。

1.4 经济效益分析

各处理中追施尿素成本、种子用量成本为较 A0B1 处理额外增加部分,大豆市场价格 5.90 元·kg⁻¹,尿素 2 500 元·t⁻¹,A0 密度大豆种子成本 480 元·hm⁻²。

1.5 数据分析

采用 Excel 2007 及 DPS 7.05 软件对品种农艺性状及产量数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 种植密度与氮肥追施水平及其互作对农庆豆 28 农艺性状及产量影响

如表 1 所示,在不同氮肥追施水平下,各处理间农艺性状除分枝数差异不显著、底荚高度差异显著外,其他性状差异极显著,说明氮肥追施水平对该品种分枝数影响较小,对底荚高度产生显著影响,对株高、有效节数、单株荚数、单株粒重、百粒重、产量等其他性状产生极显著影响;在不同种植密度下,各处理间除分枝数差异显著外,其他农艺性状差异极显著;而不同种植密度与氮肥追施互作下,各农艺性状及产量差异极显著。说明种植密度、氮肥追施与种植密度互作对各处理间品种农艺性状及产量影响较大。而种植密度与氮肥追施水平及其互作对各农艺性状的影响对于产量形成各有利弊,有待于进一步分析^[19]。

表 1 不同处理农艺性状方差分析
Table 1 Variance analysis of agronomic traits in different treatments

变异来源 Source of variance	株高 Plant height/cm	底荚高 Bottom pod height/cm	分枝数 Branches number	有效节数 Effective nodes number	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 ⁻²)
施肥 Fertilization	69.69 **	3.39 *	1.32	6.49 **	12.86 **	38.77 **	35.69 **	8.38 **	113.84 **
密度 Density	54.91 **	24.02 **	4.16 *	17.51 **	81.63 **	151.55 **	109.96 **	4.74 **	26.85 **
施肥×密度 Fertilization × Density	3.60 **	2.70 **	3.38 **	3.29 **	2.61 **	4.66 **	2.71 **	10.06 **	9.80 **

注：* 和 ** 分别代表在 0.05 和 0.01 水平差异显著。
Note: * and ** indicate significantly different at 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

2.2 氮肥追施对农庆豆 28 农艺性状及产量的影响
对不同氮肥追施水平条件下农庆豆 28 的农艺性状及产量进行新复极差测验,结果显示:氮肥追施 A3 水平农庆豆 28 株高最高,与 A0、A1、A2 水平差异极显著,说明株高随氮肥追施量增加而增高,到 A3 水平最高,随后略有下降;A1 水平底荚高度最高,与其他氮肥追施水平差异显著;各氮肥追施

水平间分枝数差异不显著;A5 水平有效节数最多,与除 A0 外其他氮肥追施水平差异显著;A5 水平百粒重最高,与除 A3 外其他氮肥追施水平差异显著;单株荚数、单株粒数、单株粒重和产量都以 A4 水平最高,且均与其他氮肥追施水平差异显著,说明氮肥追施 120 kg·hm⁻²对农庆豆 28 产量及产量构成因素促进效果最好(表 2)。

表 2 氮肥追施水平对农庆豆 28 农艺性状及产量的影响
Table 2 Effects of nitrogen topdressing level on agronomic traits and yield of Nongqingdou 28

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	底荚高度 Bottom pod height/cm	分枝数 Branches number	有效节数 Effective nodes number	单株荚数 Pods number per plant
A0	76.06 ± 2.33 cC	17.58 ± 4.53 bB	1.03 ± 1.12 aA	15.39 ± 1.51 aA	21.75 ± 3.88 cC
A1	81.88 ± 3.01 bB	21.64 ± 4.43 aA	0.81 ± 0.58 aA	14.61 ± 0.84 bAB	25.29 ± 3.69 bAB
A2	82.56 ± 3.46 bB	18.89 ± 5.30 bAB	0.55 ± 0.61 aA	14.06 ± 1.28 bB	24.67 ± 2.76 bAB
A3	84.19 ± 2.21 aA	19.22 ± 2.86 bAB	0.56 ± 0.33 aA	14.42 ± 1.05 bB	24.11 ± 2.66 bB
A4	84.17 ± 2.63 aA	17.75 ± 4.59 bB	0.83 ± 0.72 aA	14.58 ± 1.10 bAB	26.33 ± 3.80 aA
A5	84.14 ± 1.99 aA	17.69 ± 5.11 bB	0.86 ± 0.77 aA	15.45 ± 1.93 aA	24.97 ± 3.05 bAB

处理 Treatment	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·km ⁻²)
A0	46.60 ± 7.78 dD	8.77 ± 1.44 eD	18.84 ± 0.50 bcB	2078.53 ± 70.78 dD
A1	54.18 ± 7.10 bBC	9.98 ± 1.43 dC	18.69 ± 0.56 cB	2377.21 ± 86.63 cC
A2	55.16 ± 5.15 bB	10.65 ± 1.30 bAB	19.07 ± 0.53 bAB	2523.32 ± 92.05 bB
A3	54.39 ± 6.43 bBC	10.58 ± 0.92 bcAB	19.43 ± 0.87 aA	2515.03 ± 174.12 bB
A4	59.04 ± 7.61 aA	11.08 ± 1.44 aA	18.92 ± 1.01 bcB	2647.88 ± 193.68 aA
A5	52.22 ± 6.11 cC	10.25 ± 1.27 cdBC	19.49 ± 0.48 aA	2426.60 ± 104.32 cC

注:不同字母分别表示处理间在 0.05 和 0.01 水平存在显著和极显著差异。下同。
Note:Different letters indicate there were significant and extremely significant differences between treatments at the levels of 0.05 and 0.01. The same below.

2.3 种植密度对农庆豆 28 农艺性状及产量的影响
对不同种植密度条件下农庆豆 28 农艺性状及产量进行新复极差测验,结果显示:株高随种植密度增加而增高,到 B3 水平达最高,随后略有下降;底荚高度随种植密度增加而增高;除 B4 外其他水平分枝数差异不显著;有效节数随种植密度增加而

下降;单株荚数、单株粒数、单株粒重和产量均以 B1 水平最高,且均与其他施肥水平差异显著;B4 水平百粒重最高,但各水平间差异不大;B3 水平产量最高。说明密度 28 万株·hm⁻²较利于农庆豆 28 增加产量。由于施肥水平与种植密度存在互作效应,因此需对各处理农艺性状及产量进一步分析(表 3)。

表 3 种植密度对农庆豆 28 农艺性状及产量的影响

Table 3 Effects of planting density on agronomic traits and yield of Nongqingdou 28

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	底荚高度 Bottom pod height/cm	分枝数 Branches number	有效节数 Effective nodes number	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 ⁻²)
B1	79.02±3.62 cC	14.79±2.19 cB	1.00±0.79 aA	15.21±1.32 aA	27.18±1.63 aA	60.24±3.28 aA	11.45±0.75 aA	19.07±0.75 aAB	2319.77±123.42 cC
B2	81.96±3.50 bB	17.24±3.24 bB	0.91±0.56 aAB	15.56±0.92 aA	26.48±2.46 aA	57.11±5.68 bB	10.76±1.16 bB	18.80±0.78 bB	2455.15±180.61 bAB
B3	84.02±3.11 aA	21.33±4.68 aA	0.80±0.75 aAB	14.19±1.49 bB	24.30±2.78 bB	51.92±6.25 cC	9.88±1.33 cC	19.19±0.52 aA	2501.36±275.88 aA
B4	83.67±3.27 aA	21.83±3.89 aA	0.39±0.66 bB	14.06±1.18 bB	20.12±1.79 cC	45.12±3.92 dD	8.79±1.06 dD	19.24±0.79 aA	2436.11±235.61 bB

2.4 各处理农艺性状及产量分析

2.4.1 株高 种植密度、氮肥追施及其互作对农庆豆 28 各农艺性状及产量影响显著,株高以 A4B4 处理最高,A0B1 最低,变化范围为 73.00 ~ 87.30 cm,其中 A4B4 处理与 A2B4、A5B3、A5B2 处理差异不显著,但与其他处理差异显著,说明种植密度、氮肥追施及其互作共同影响农庆豆 28 的株高,在氮肥追施水平相同的条件下,株高随着密度增加而增高(表 4)。

2.4.2 底荚高度 底荚高度以 A1B4 处理最高,A0B1 处理最低,变化范围为 12.56 ~ 26.55 cm,其中 A1B4 处理与 A2B3、A5B3、A1B3、A0B4、A4B4、A3B4 处理差异不显著,但与其他处理差异极显著,说明种植密度对底荚高度影响较大,随着种植密度升高则底荚高度增高(表 4)。

2.4.3 分枝数 分枝数以 A0B1 处理最多,A2B4 处理最少,变化范围为 0.10 ~ 2.33 个,其中除 A2B3、A2B4、A5B3、A5B4 处理分枝数较少外,其他处理差异不大,说明种植密度、氮肥追施及其互作共同影响分枝数量,但种植密度相对于氮肥追施对分枝数的影响程度更高,农庆豆 28 分枝数随密度增大而减少(表 4)。

2.4.4 有效节数 有效节数以 A5B1 处理最高,A2B3 处理最低,变化范围为 12.78 ~ 17.01 节,A5B1 处理与 A5B2、A0B1、A0B3 处理差异不显著,与 A0B2 处理差异显著、与其他处理差异达极显著水平。说明农庆豆 28 有效节数在常规施肥条件下差异不大,氮肥追施 150 kg·hm⁻² 水平时有效节数最大,但在相同氮肥追施水平条件下有效节数随着密度的增加而减少(表 4)。

2.4.5 单株荚数 单株荚数以 A4B2 处理最多,A0B4 最少,变化范围为 17.11 ~ 30.44 个,A4B2 与 A1B1 处理差异不显著,与 A5B2、A2B1、A4B1、A1B2、A5B1 处理差异显著,与其他处理差异达极显著水平。说明种植密度对单株荚数影响

大,单株荚数随着种植密度增加而减少,当氮肥追施 120 kg·hm⁻² 水平时,单株荚数达最大值(表 4)。

2.4.6 单株粒数 单株粒数以 A4B2 处理最多,A0B4 处理最少,变化范围为 38.29 ~ 67.31 粒,A4B2 处理与排名第 2 ~ 4 位的 A4B1、A1B1、A2B1 处理差异显著,与其他处理差异达极显著水平。说明种植密度低则单株粒数多,且在种植密度较低时,单株粒数随着氮肥追施水平增加而增大,在氮肥追施 120 kg·hm⁻² 水平时单株粒数达峰值,随后降低(表 4)。

2.4.7 单株粒重 单株粒重以 A2B1 处理最高,A0B4 处理最低,变化范围为 7.21 ~ 12.24 g,A2B1 处理与 A4B2、A3B1、A4B1、A5B1 处理差异不显著,与 A1B1、A5B2、A4B3 差异显著,与其他处理差异达极显著水平。说明种植密度对单株粒重影响大,密度越低则单株粒重越大,在密度较低时单株粒重随着氮肥追施水平提高有增加趋势(表 4)。

2.4.8 百粒重 百粒重以 A3B4 处理最高,A4B2 处理最低,变化范围为 17.62 ~ 20.48 g,A3B4 处理与 A5B3 处理差异不显著,与 A5B1、A3B1、A0B3、A2B1 处理差异显著,与其他处理差异达极显著水平,说明农庆豆 28 百粒重随着氮肥追施与种植密度升高有增大的趋势,与单株荚数、单株粒数及单株粒重变化趋势相反,百粒重较大的处理,单株荚数、单株粒数及单株粒重相对较低(表 4)。

2.4.9 产量 产量以 A4B3 处理最高,A0B4 处理最低,变化范围为 2 007.33 ~ 2 830.50 kg·hm⁻²,A4B3 处理与产量排范围为第 2 位的 A3B3 处理差异不显著,说明农庆豆 28 种植密度为 28 万株·hm⁻² (B3) 时易获得高产,A4B3 处理与产量排第 4 位和第 5 位的 A4B2 和 A4B4 处理差异显著,与其他处理差异极显著。说明氮肥追施水平为 120 kg·hm⁻² 时并相应提高种植密度能够增加农庆豆 28 的产量(表 4)。

表 4 不同种植密度与氮肥追施对农庆豆 28 主要农艺性状的影响

Table 4 Effects of different planting densities and nitrogen topdressing levels on agronomic traits of Nongqingdou 28

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	底荚高 Bottom pod height/cm	分枝数 Branches number	有效节数 Effective nodes number	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 ⁻²)
A0B1	73.00 jG	12.56 hF	2.33 aA	16.22 abcABC	26.09 bcdeBCD	56.21 cdeDEF	10.45 defCDEF	18.57 eFG	2114.70 hiK
A0B2	75.33 iFG	17.67 defghCDEF	0.33 cdeBC	15.56 bcdeABCDE	24.01 efgCDEF	50.81 fgFGHI	9.40 ghFGH	18.52 eFG	2155.27 hK
A0B3	77.89 hF	17.22 eighCDEF	1.33 abcdABC	16.01 abcdABCD	19.78 hHI	41.10 jKL	8.02 jJ	19.61 bcABCDE	2036.83 iK
A0B4	78.01 hF	22.89 abcABC	0.11 eBC	13.78 ghijkEFG	17.11 iI	38.29 kL	7.21 kJ	18.68 defEFG	2007.33 iK
A1B1	77.67 hF	16.56 eighCDEF	0.44 cdeBC	15.22 cdefgBCDEF	28.89 abAB	62.88 bABC	11.32 bcdeABCD	18.00 fgGH	2302.90 gJ
A1B2	82.01 efgDE	20.34 bcdeBCDE	0.89 bcdeBC	14.89 cdefgBCDEF	27.22 bcdeABCD	56.03 cdeDEF	10.79 cdeBCDE	19.26 bcdeBCDEF	2470.50 defDEFGHI
A1B3	84.89 bcdeABCD	23.11 abcdABC	1.33 abcdABC	14.01 fghijkEFG	24.67 defCDE	52.00 efgEFGH	9.18 ghiGH	18.74 deEFG	2326.70 gHIJ
A1B4	83.02 defgCDE	26.55 aA	0.56 bcdeBC	14.33 efghCDEFG	20.37 hFGHI	45.81 hijJK	8.63 hijHI	18.77 deEFG	2408.73 efgEFGHIJ
A2B1	77.70 hF	13.67 ghEF	0.67 bcdeBC	14.45 efghCDEFG	27.67 bcABC	62.12 bABC	12.24 aA	19.61 bcABCDE	2481.57 deDEFGH
A2B2	82.44 defgCDE	15.78 fghCDEF	1.33 abcdABC	15.44 bcdeBCDEF	24.89 cdefCDE	55.24 cdeDEF	10.85 cdeBCDE	19.41 bcdeBCDEF	2468.40 defDEFGHI
A2B3	84.22 bcdeABCD	25.78 abAB	0.22 deBC	12.78 iKG	25.44 cdefBCD	54.32 defDEFG	10.25 efDEFG	18.64 efEFG	2583.90 cdBCD
A2B4	85.78 abcABC	20.33 bcdeBCDE	0.10 eC	13.55 hijkFG	20.66 hFGHI	48.95 ghGHIJ	9.26 ghiGH	18.62 efEFG	2559.40 dCDE
A3B1	82.89 defgCDE	15.67 fghCDEF	0.55 bcdeBC	14.11 efghijkDEFG	26.00 cdefBCD	59.10 bcBCD	11.62 abcABC	19.74 baBCD	2349.93 gGHIJ
A3B2	82.44 defgCDE	19.01 defgBCDEF	0.67 bcdeBC	15.22 cdefgBCDEF	24.56 defCDE	55.98 cdeDEF	10.48 defCDEF	18.60 eFG	2382.50 efgFGHIJ
A3B3	87.01 abAB	20.11 cdefBCDEF	0.66 bcdeBC	13.89 ghijkEFG	25.67 cdefBCD	57.46 cdBCDE	10.90 cdeBCDE	18.88 cdeDEFG	2741.30 abA
A3B4	84.44 cdeABCD	22.11 abcdeABCD	0.33 cdeBC	14.44 efghCDEFG	20.22 hGHI	45.00 hijJK	9.34 ghiFGH	20.48 aA	2586.40 cdBCD
A4B1	80.89 gE	15.55 fghCDEF	0.44 cdeBC	14.22 efghiDEFG	27.67 bcABC	63.01 bAB	11.55 abcABC	18.72 defEFG	2348.71 gGHIJ
A4B2	84.01 cdeBCDE	16.55 eighCDEF	0.78 bcdeBC	15.44 bcdeBCDEF	30.44 aA	67.31 aA	11.87 abAB	17.62 gH	2720.21 bAB
A4B3	84.44 cdeABCD	16.67 eighCDEF	1.01 bcdeABC	14.67 defghCDEFG	26.44 bcdefBCD	57.64 cdBCDE	11.12 bcdeABCD	19.42 bcdeBCDEF	2830.50 aA
A4B4	87.30 aA	22.22 abcdeABCD	1.11 bcdeABC	14.01 fghijkEFG	20.78 hFGH	48.21 ghiHIJ	9.77 fgEFG	19.94 abAB	2692.10 bcABC
A5B1	81.89 fgDE	14.67 fghDEF	1.56 abAB	17.01 aA	26.78 bcdeABCD	58.12 cdBCD	11.50 abcABC	19.75 baBCD	2320.80 gIJ
A5B2	85.55 abcABC	14.11 ghEF	1.44 abcABC	16.78 abAB	27.78 bcABC	57.32 cdCDE	11.17 bcdeABCD	19.39 bcdeBCDEF	2534.00 dDEF
A5B3	85.67 abcABC	25.11 abcAB	0.22 deBC	13.78 ghijkEFG	23.78 fgDEFG	48.97 ghGHIJ	9.81 fgEFG	19.87 abABC	2488.91 deDEFG
A5B4	83.44 cdefCDE	16.89 eighCDEF	0.22 deBC	14.22 efghijDEFG	21.56 ghEFGH	44.45 iJK	8.51 iJHI	18.93 cdeCDEFG	2362.71 fgGHIJ

注：不同大小写字母分别表示处理间在0.05或0.01水平存在显著或极显著差异。

Note:Different upercase or lowercase indicate significant or extremely significant differences between treatments at the levels of 0.05 or 0.01 respectively.

2.5 不同处理产量变化分析

在不同氮肥追施水平条件下,不同种植密度农庆豆 28 产量变化曲线如图 1 所示,农庆豆 28 播种密度为 22 万株·hm⁻²、氮肥追施为 60 kg·hm⁻²时产量最高,随着氮肥追施量增加产量反而下降;播种密度为 25 万株·hm⁻²时,在追施氮肥量 30 和 120 kg·hm⁻²

时出现产量双峰情况,但氮肥追施 120 kg·hm⁻²时产量较高;播种密度为 28 万株·hm⁻²时,氮肥追施 120 kg·hm⁻²时产量最高,随后下降,亦是所有处理的最高峰;播种密度在 31 万株·hm⁻²时,产量曲线变化较平缓,在氮肥追施 120 kg·hm⁻²时产量最高。

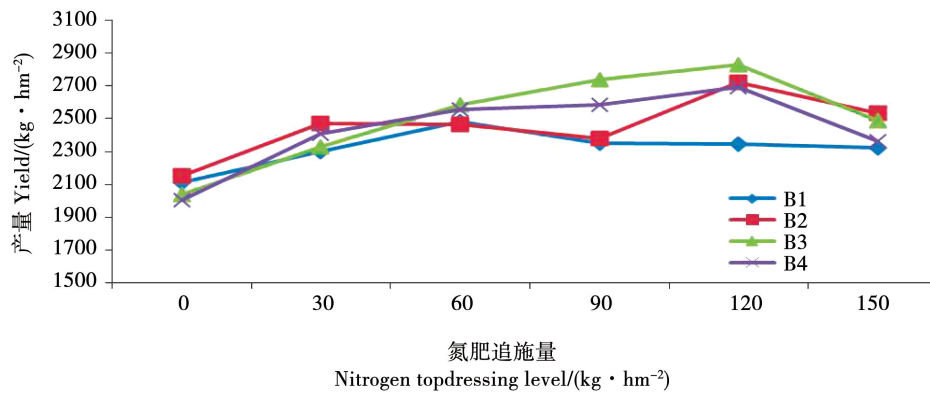


图 1 不同种植密度和氮肥追施量农庆豆 28 产量变化曲线

Fig.1 Yield variation curve of Nongqingdou 28 under different planting density and nitrogen topdressing level

2.6 不同处理经济效益分析

现阶段大豆种植户农业机械化程度较高^[21],种植密度增加可通过调节播种机械进行,氮肥追施可结合第二次中耕机械作业进行,因此各处理较常规施肥和播种密度(A0B1)只增加了追施氮肥的成本和种子增量的成本。各处理经济效益分析表明(表 5),除 A0B3 和 A0B4 处理增收为负值外,其他氮肥追施和种植密度增加,各处理较 A0B1 增收幅度在 174.34 ~ 3 792.22 元·hm⁻²,其中氮肥追施 120 kg·hm⁻²、种植密度 28 万株·hm⁻²处理(A4B3)

产值最高,达 16 699.95 元·hm⁻²,虽然成本增加 431 元·hm⁻²,但较常规播种密度 22 万株·hm⁻²、不追施氮肥处理(A0B1)增收最多,达 3 792.22 元·hm⁻²。说明在黑龙江省西部风沙盐碱半干旱区只增加农庆豆 28 种植密度,不增加相应的施肥量,达不到增收效果,只有增加种植密度的同时并配合适当增加施肥量才能达到增产增效的目的。因此在该地区农庆豆 28 最佳增产增效的肥密配置方式为种植密度 28 万株·hm⁻²,并在基肥 450 kg·hm⁻²的基础上花期追施氮肥120 kg·hm⁻²。

表 5 不同处理经济效益分析表

Table 5 Economic benefit analysis of different treatments					
处理 Treatment	产量 Yield/ (kg·hm ⁻²)	产值 Output value/ (元·hm ⁻²)	氮肥增加成本 Increased cost of nitrogen fertilizer/ (元·hm ⁻²)	种子增加成本 Increased cost of seeds/ (元·hm ⁻²)	增收 Net income/ (元·hm ⁻²)
A0B1	2114.70	12476.73	0	0	0
A0B2	2155.27	12716.07	0	65	174.34
A0B3	2036.83	12017.32	0	131	-590.41
A0B4	2007.33	11843.27	0	196	-829.46
A1B1	2302.90	13587.11	75	0	1035.38
A1B2	2470.50	14575.95	75	65	1959.22
A1B3	2326.70	13727.53	75	131	1044.80
A1B4	2408.73	14211.53	75	196	1463.80
A2B1	2481.57	14641.24	150	0	2014.51
A2B2	2468.40	14563.56	150	65	1871.83
A2B3	2583.90	15245.01	150	131	2487.28
A2B4	2559.40	15100.46	150	196	2277.73
A3B1	2349.93	13864.61	225	0	1162.88
A3B2	2382.50	14056.75	225	65	1290.02

续表 5

处理 Treatment	产量 Yield/ (kg·hm ⁻²)	产值 Output value/ (元·hm ⁻²)	氮肥增加成本 Increased cost of nitrogen fertilizer/ (元·hm ⁻²)	种子增加成本 Increased cost of seeds/ (元·hm ⁻²)	增收 Net income/ (元·hm ⁻²)
A3B3	2741.3	16173.67	225	131	3340.94
A3B4	2586.4	15259.76	225	196	2362.03
A4B1	2348.7	13857.33	300	0	1080.60
A4B2	2720.2	16049.18	300	65	3207.45
A4B3	2830.5	16699.95	300	131	3792.22
A4B4	2692.1	15883.39	300	196	2910.66
A5B1	2320.8	13692.72	375	0	840.99
A5B2	2534.0	14950.60	375	65	2033.87
A5B3	2488.9	14684.51	375	131	1701.78
A5B4	2362.7	13939.93	375	196	892.20

注:增收 = 产值 - 氮肥增加成本 - 种子增加成本 - A0B1 产值。
Note: Net income = Output value - Increased cost of nitrogen fertilizer - Increased cost of seeds - A0B1 output value.

3 讨论

大豆产量是由其内在遗传基础与外界环境共同作用决定的。研究表明,种植密度影响大豆单位面积产量,合理的种植密度能够充分发挥个体生产潜力,增加群体因素在单位面积产量上的作用,并且能够使个体与群体间矛盾统一,增加单位面积荚数、粒数和粒质量^[22]。而单纯控制大豆品种的种植密度,不辅以合理的施肥措施,并不能发挥品种的最大增产潜力,因此改变品种的种植密度与施肥水平能够影响大豆主要农艺性状及产量构成因素。适宜的种植密度可改变大豆植株的群体结构,而群体结构的改变使大豆植株生长发育所需肥力水平有所不同,施肥水平可以促进大豆对养分的吸收,形成较高的群体产量,进而提高大豆产量,获得较理想的经济效益。因此寻求品种不同种植密度与施肥水平的最佳配置是提高大豆产量的关键。

本研究通过对农庆豆 28 实施不同种植密度和氮肥追施处理,在氮肥追施水平相同的条件下株高、底荚高度随着种植密度增大而升高,分枝数、有效节数随种植密度增大而减少,产量较高的 A4B3、A3B3、A4B2、A2B3 等处理株高集中在 84.01 ~ 87.01 cm 之间,较其他处理相对较高,说明农庆豆 28 的株高等偏上时有利于形成较高产量,而产量较高处理的底荚高度、分枝数、有效节数等农艺性状都处于中等水平,说明并不是底荚高度越低、分枝数和有效节数越多,越有利于形成较高产量。在氮肥追施水平相同的条件下,单株荚数、单株粒数、单株粒重随着种植密度的增大而降低的变化规律非常明显,但在种植密度相同时,单株荚数在氮肥追施水平 30 和 120 kg·hm⁻²时产量呈现双峰状态,单株粒数和单株粒重在氮肥追施 120 kg·hm⁻²时最高,随

后下降。说明在种植密度相同,产量构成因素单株荚数、单株粒数、单株粒重随着氮肥追施水平提升出现不同的峰值,但以氮肥追施水平 120 kg·hm⁻²时峰值最大,促进效果最好。

在所有处理中单株荚数、单株粒数以 A4B2 处理最多,分别为 30.44 和 67.31 粒,单株粒重 A2B1 处理最高(12.24 g),百粒重 A3B4 处理最高(20.48 g),产量最高的 A4B3 处理单株荚数 26.44 个、单株粒数 57.64 粒、单株粒重 11.12 g、百粒重 19.42 g,其产量构成因素指标在所有处理中并不突出。其原因是随着播种密度的增加,产量的形成取决于品种群体,在较高密度条件下单个产量性状的表现往往不理想^[23-24],可见在产量构成因素和群体密度之间的最优配置是获得高产的关键。因随着种植密度和氮肥追施水平的增加,大豆的群体优势决定产量,而期待通过某些性状获得高产也是行不通的,因此种植密度和氮肥追施的优化调节是大豆高产的主要因素,可使其产量潜力得到充分发挥。但是由于不同大豆品种特征特性存在差异,种植密度和氮肥追施配置方式也会有所不同^[19]。

4 结论

农庆豆 28 在播种密度不断增加和氮肥追施水平不断提高的条件下,产量呈现出先升后降的趋势,种植密度 28 万株·hm⁻²、氮肥追施 120 kg·hm⁻²时产量最高,达 2 830.50 kg·hm⁻²,其产值较常规种植密度 22 万株·hm⁻²、不追施氮肥处理增加 3 792.22 元·hm⁻²。因此在黑龙江省西部盐碱土壤,农庆豆 28 最佳增产增效的肥密配置方式为种植密度 28 万株·hm⁻²,大豆专用复合肥(N-P₂O₅-K₂O: 13-25-12)450 kg·hm⁻²为底肥,追施尿素 120 kg·hm⁻²。

参考文献

[1] 王连铮,王岚,赵荣娟,等. 优质、高产大豆育种的研究[J]. 大豆科学,2006,25(3):205-211. (WANG L Z,WANG L,ZHAO R J, et al. Study on breeding of high quality and high yield soybean[J]. Soybean Science, 2006,25(3):205-211.)

[2] REN Y Y,LIU J J,WANG Z J, et al. Planting density and sowing proportions of maize-soybean intercrops affected competitive interactions and water-use efficiencies on the Loess Plateau,China [J]. European Journal of Agronomy,2016,72:70-79.

[3] CARPENTER A C,BOARD J E. Growth dynamic factors controlling soybean yield stability across plant populations[J]. Crop Science, 1997,37(5):1520-1526.

[4] 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.)

[5] 董钻. 大豆产量生理[M]. 北京:中国农业出版社,2012:125-132,148-155. (DONG Z. Soybean yield physiology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2012:125-132,148-155.)

[6] 王跃强,王曙明,赵丽梅,等. 杂交大豆昆虫传粉及制种技术研究进展[J]. 吉林农业科学,2008(3):5-8. (WANG Y Q, WANG S M, ZHAO L M, et al. Progress in studies of insect pollinators and seed producing techniques of soybean hybrids[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences,2008(3):5-8.)

[7] 陈圣伦. 玉/豆套作模式的群体配置技术及其对大豆的效应研究[D]. 雅安:四川农业大学,2008. (CHEN S L. Study on population allocation technology of maize / soybean intercropping model and its effect on soybean[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University,2008.)

[8] ECHARTE L,MAGGIORA A D,CERRUDO D. Yield response to plant density of maize and sunflower intercropped with soybean [J]. Field Crops Research,2011,121(3):423-429.

[9] 于洪久. 种植密度对大豆光合生理及产量的影响[J]. 大豆科学,2009,28(6):1115-1118. (YU H J. Effects of plant density on photosynthetic characteristics and yield of soybean[J]. Soybean Science,2009,28(6):1115-1118.)

[10] 赵丽梅,彭宝,王跃强,等. 种植方式、疏叶及昆虫对杂交大豆制种产量的影响[J]. 中国油料作物学报,2012,34(5):478-482. (ZHAO L M, PENG B, WANG Y Q, et al. Effects of planting patterns, leaf trimming and pollinator on hybrid soybean seed production[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences,2012,34(5):478-482.)

[11] 蓝福生. 农业新技术在植物营养与施肥研究中的应用[J]. 广西植物,1998,18(3):285-290. (LAN F S. The application of new agricultural technology in the research of plant nutrition and fertilization[J]. Guihaia,1998,18(3):285-290.)

[12] 宁海龙,胡国华,李文滨,等. 氮磷钾底肥对大豆蛋白质含量的效应[J]. 大豆科学,2006,25(3):288-293. (NING H L, HU G H, LI W B, et al. The effects of based NPK fertilizer on protein content in soybean[J]. Soybean Science,2006,25(3):288-293.)

[13] 郑淑琴. 钾对大豆生理效应及产量和品质的影响[J]. 黑龙江农业科学,2001(4):25-27. (ZHENG S Q. Effect of potassium on the physiology, yield and quality of soybean[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences,2001(4):25-27.)

[14] 付春旭. 种植密度对绥农 22 大豆产量及品质影响的研究[J]. 黑龙江农业科学,2011(7):29-32. (FU C X. Research of planting density on yield and quality of Suinong 22 [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences,2011(7):29-32.)

[15] 苏代群,张楷歆,李文霞,等. 不同施氮条件下大豆形态与产量相关性状的 QTL 分析[J]. 大豆科学,2020,39(2):198-204. (SU D Q, ZHANG K X, LI W X, et al. QTL analysis of morphological and yield-related traits of soybean under different nitrogen levels[J]. Soybean Science, 2020,39(2):198-204.)

[16] 章建新,倪俐,翟云龙. 施氮对高产春大豆氮素吸收分配的影响[J]. 大豆科学,2005,24(1):38-42. (ZHANG J X, NI L, ZHAI Y L. Effect on nitrogen fertilizer application to the absorption and distribution of nitrogen in spring soybean [J]. Soybean Science, 2005,24(1):38-42.)

[17] 马春梅,唐远征,龚振平,等. 不同施氮量对大豆吸收化肥氮效率的影响[J]. 大豆科学,2005,24(1):34-37. (MA C M, TANG Y Z, GONG Z P, et al. The influence on different nitrogen levels to the nitrogen absorption rate in soybean [J]. Soybean Science, 2005,24(1):34-37.)

[18] 郭泰,刘秀芝,郑殿峰,等. 氮素后移施肥对大豆产量及品质的影响[J]. 大豆科学,2015,34(1):168-171. (GUO T, LIU X Z, ZHENG D F, et al. Effects of delayed nitrogen fertilizer application on yield and quality of soybean[J]. Soybean Science, 2015,34(1):168-171.)

[19] 李灿东,郭泰,郑伟,等. 播种密度及施肥水平对耐密植大豆合农 76 产量性状的影响[J]. 大豆科学,2017,36(5):727-732,736. (LI C D, GUO T, ZHENG W, et al. Effect of sowing density and fertilizer levels on the yield traits of high dense planting soybean cultivar Henong 76[J]. Soybean Science, 2017,36(5):727-732,736.)

[20] 任小俊,吕新云,马俊奎. 种植密度与施肥水平对山西早熟夏大豆产量与主要农艺性状的影响[J]. 大豆科学,2019,38(6):921-927. (REN X J, LYU X Y, MA J K. Effects of different planting densities and fertilization levels on yield and main agronomic characters of early-maturing summer soybean in Shanxi Province[J]. Soybean Science,2019,38(6):921-927.)

[21] 周长军,陈井生,田中艳,等. 黑龙江省风沙半干旱地区根瘤菌与氮肥耦合大豆高效施肥方式研究[J]. 大豆科学,2020,39(6):912-918. (ZHOU C J, CHEN J S, TIAN Z Y, et al. Study on high efficient fertilization methods of coupling effect of rhizobium and nitrogen fertilizer in wind sand and semi-arid area of Heilongjiang Province [J]. Soybean Science, 2020,39(6):912-918.)

[22] 刘金印,张恒善,王大秋. 大豆种植密度和群体结构的研究[J]. 大豆科学,1987,6(1):1-10. (LIU J Y, ZHANG H S, WANG D Q. Studies on soybean plant density and its index of population structure[J]. Soybean Science,1987,6(1):1-10.)

[23] CURRIE R W, WINSTON M L, SLESSOR K N, et al. Effect of synthetic queen mandibular pheromone sprays on pollination of fruit crops by honeybees (Hymenoptera: Apidae) [J]. Journal of Economic Entomology,1992,85:1293-1299.

[24] SHEPPARD W S, JAYCOX E R, PARISE S G. Selection and management of honeybees for pollination of soybeans [C]// Proceeding IV Intrnational Symposium Pollination. Maryland Agricultral Experiment Station Specific Misc Publisher, 1979:123-130.