



高油高产大豆精量化播种施肥配套模型的构建

王金生¹, 马力¹, 蒲国锋¹, 王家军¹, 张瑞萍¹, 王君², 吴俊江¹, 季妮娜¹, 王冠¹, 孙明明¹

(1. 黑龙江省农业科学院 大豆研究所/农业农村部大豆栽培重点实验室/黑龙江省大豆栽培重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 黑龙江省德强生物股份有限公司, 黑龙江 哈尔滨 150060)

摘要:为分析大豆播种、施肥方式对大豆产量及油份含量构成的影响,掌握科学化提质、增产技术措施,以高油高产大豆新品种黑农 531 为材料,分别设置播种密度、施肥深度和施肥量单因素梯度试验,分析单因素指标对产量构成因子与油分含量的影响。采用二次回归正交试验设计,以产量和油分含量为指标建立大豆播种施肥一体化措施的数学模型,并明确最高产量、最高油分含量下的精量化实施措施组合。结果表明:单株荚数和单株粒数随着播种密度的增加均呈现出先增加后降低的趋势,以 28 万株·hm⁻²为临界值;单株荚数和单株粒数随着施肥深度的增加呈现出逐渐增加的趋势,百粒重随着施肥深度的增加呈现出抛物线状变化;单株荚数、单数粒数及百粒重均随施肥量的增加呈现出逐渐增加的趋势,均以 375 kg·hm⁻²为临界值;大豆油份含量随着播种密度增加、施肥层加深、施肥量提高均呈现出先增加后降低的趋势,各播种密度处理之间的油份含量差异不大,浅施肥和增加施肥量均能显著提高大豆油份含量;得出大豆产量与播种密度(X_1)、施肥深度(X_2)、施肥量(X_3)之间的回归方程为: $Y = 2\,714.696 + 47.445X_1 + 15.768X_2 + 2.967X_3 - 0.4908X_1^2 - 1.862X_2^2 - 0.0012X_3^2 + 0.6809X_1 \times X_2 - 0.0783X_1 \times X_3 - 0.0059X_2 \times X_3$ 。大豆油份与播种密度、施肥深度、施肥量之间的回归方程为: $Y = 14.288 + 0.410X_1 + 0.083X_2 + 0.0146X_3 - 0.00647X_1^2 - 0.0108X_2^2 - 0.0000817X_3^2 + 0.00486X_1 \times X_2 - 0.000316X_1 \times X_3 - 0.0000691X_2 \times X_3$ 。通过该模型预测高油高产大豆最高产量可达到 3 952.023 kg·hm⁻²,达到最大产量需播种密度为 28 万株·hm⁻²,种下施肥深度为 10 cm,施肥量为 225.080 5 kg·hm⁻²;最高油份可达到 22.79%,达到最大油份含量需播种密度为 26 万株·hm⁻²,种下施肥深度为 8.5 cm,施肥量为 354.857 8 kg·hm⁻²。研究结果可为促进高油高产大豆生产提供理论基础和技术支持。

关键词:大豆;播种;施肥;模型;油分含量;产量

Construction of Quantitative Sowing and Fertilization Model for High Oil and High Yield Soybean

WANG Jinsheng¹, MA Li¹, PU Guofeng¹, WANG Jiajun¹, ZHANG Ruiping¹, WANG Jun², WU Junjiang¹, JI Nina¹, WANG Guan¹, SUN Mingming¹

(1. Soybean Research Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Soybean Cultivation, Ministry of Agriculture, Harbin 150086, China; 2. Deqiang Biology Company Limited in Heilongjiang Province, Harbin 150060, China)

Abstract: In order to fully understand the effects of soybean sowing and fertilization methods on soybean yield and oil content, scientific technical measures to improve quality and increase production were mastered, in this study, soybean variety with high oil and high yield, Heinnong 531, was used as the material, the single-factor gradient experiments of sowing density, fertilization depth and fertilization amount were set up to analyze the effects of single factor indexes on yield components and oil content. The quadratic regression orthogonal experimental design was used to establish a mathematical model of the integrated measures of soybean sowing and fertilization with yield and oil content as indicators, and the combination of precise implementation measures under the highest yield and highest oil content was clarified. The results showed that pods number per plant and seeds number per plant increased first and then decreased with the increase of seeding density, and the critical value was 280 000 plants·ha⁻¹. Pods number per plant and seeds number per plant showed a gradual increase trend with the increase of fertilization depth, the change of 100-seed weight showed a parabolic shape with the increase of fertilization depth. The pods number per plant, the seeds number per plant and the 100-seed weight all showed an increasing trend with the increase of fertilizer application rate, and the critical value was 375 kg·ha⁻¹. Soybean oil content increased first and then decreased with the increase of seeding density, the deepening of fertilization layer and the increase of fertilizer amount. There was no significant difference in oil content among different seeding density treatments. Both shallow fertilization and increasing fertilizer amount could significantly increase soybean oil content. The regression equation between soybean yield, seeding density(X_1), fertilization depth(X_2) and fertilization quantity(X_3) was obtained as follows: $Y = 2\,714.696 + 47.445X_1 + 15.768X_2 + 2.967X_3 - 0.4908X_1^2 - 1.862X_2^2 - 0.0012X_3^2 + 0.6809X_1 \times X_2 - 0.0783X_1 \times X_3 - 0.0059X_2 \times X_3$. The

收稿日期: 2024-01-22

基金项目: 农业生物育种国家科技重大专项(2023ZD04032); 黑龙江省重点研发计划(2022ZX02B06)。

第一作者: 王金生(1981—), 男, 硕士, 副研究员, 主要从事大豆耕作与栽培研究。E-mail: jinshengwang1981@163.com。

通讯作者: 吴俊江(1970—), 男, 博士, 研究员, 主要从事大豆耕作与栽培技术研究。E-mail: nkywujj@126.com;

王家军(1973—), 男, 硕士, 研究员, 主要从事大豆病害绿色防控及抗病育种研究。E-mail: junjiawang@163.com。

regression equation between soybean oil content and sowing density, fertilization depth and fertilizer amount is as follows: $Y = 14.288 + 0.410X_1 + 0.083X_2 + 0.0146X_3 - 0.00647X_1^2 - 0.0108X_2^2 - 0.00000817X_3^2 + 0.00486X_1 \times X_2 - 0.000316X_1 \times X_3 - 0.0000691X_2 \times X_3$. The model predicted that the highest yield of high-oil and high-yield soybean could reach 3 952.023 kg·ha⁻¹, and the sowing density was 280 000 plants·ha⁻¹, the fertilization depth was 10 cm, and the fertilizer application amount was 225.080 5 kg·ha⁻¹. The maximum oil content can reach 22.79%, and the sowing density is 260 000 plants·ha⁻¹, the fertilization depth is 8.5 cm, and the fertilizer amount is 354.857 8 kg·ha⁻¹ to achieve the maximum oil content. The results provide theoretical basis and technical support for promoting high oil and high yield soybean production.

Keywords: soybean; seeding; fertilization; model; oil content; yield

大豆是我国重要的粮油兼用作物,不仅是人类获取植物蛋白的重要来源,更是油脂加工原料的重要来源。随着人们对健康生活方式的追求,植物油脂渐渐替代动物油脂,成为人们生活中不可或缺的必需品。而大豆油是植物油脂的主要种类之一。因此,高油大豆的种植面积越来越大,对质量和产量的要求也越来越高。如何种植出优质高产的高油大豆,对于提高农民收入、保障食用大豆油的供给安全,都有着极为重要的经济意义和现实意义。

大豆油份含量是大豆的重要经济性状,既受品种的遗传特性制约,也受气候条件和栽培措施影响^[1]。如何针对高油大豆品种协调光、温、水、肥、土等条件,并建立与之配套的栽培技术是高油大豆生产的重要保障。长期以来对于高油大豆的配套栽培技术研究,主要集中在播期、种植密度、施肥种类与施肥量、灌溉等方面。赵雄伟^[2]提出“早播早收、增磷增钾、均匀种植、适量追施氮肥”的高油大豆栽培技术;王建成^[3]则从选种、择地、种子预处理、施肥、播种、田间管理及收割脱粒等方面,整理出一套完整的高油高产大豆栽培技术。但是单纯研究某一项配套技术或几项配套技术,缺乏技术之间的互作考虑,显然是不科学的,更无法实现大豆生产技术精量化、数字化发展需求。近几年,基于技术之间互作关系的栽培技术模型构建屡有报道^[4-9],但大多都是集中在品种、播期、播种密度、施肥量等之间的互作关系研究。相关研究表明,适宜的施肥深度对提高大豆产量和保护环境都具有重要的意义^[10-12]。因此,有必要将播种深度纳入栽培技术互作因素并开展系统研究。

本研究以高油高产大豆新品种黑农 531 为材料,针对播种密度、施肥深度和施肥量,设计单因素梯度处理,通过分析单株荚数、单株粒数和百粒重,分析单因素指标对产量构成因子的影响;通过分析油份含量,分析单因素指标对大豆油份含量的影响;同时,采用二次回归正交试验设计建立三因素、五水平共计 25 个处理的正交试验,以播种密度、施肥深度、施肥量值为自变量,大豆产量和油份含量为因变量,进行二次多项式回归分析,建立以实收

产量和油份含量为指标的大豆播种施肥一体化措施的数学模型。研究旨在明确最高产量、最高油分含量下的精量化实施措施组合,为促进高油高产大豆生产提供理论基础和技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

供试品种为高油、高产、抗病大豆新品种黑农 531,由黑龙江省农业科学院大豆研究所提供。

使用大豆专用肥,硫酸钾复合肥,总养分≥45%,N-P₂O₅-K₂O 比为 12:18:15,S≥8%,Zn≥0.02%,购自黑龙江省德强生物股份有限公司。

1.2 试验地点及条件

试验于 2023 年 5—10 月在黑龙江省民主试验田进行,试验地平坦、整齐、肥力均匀,供试土壤为东北黑土,供试土壤基本理化性质为:有机质 32.3 g·kg⁻¹,全氮(N)2.37 g·kg⁻¹,全磷(P)2.41 g·kg⁻¹,全钾(K) 1.392 g·kg⁻¹,水解性氮 212.36 mg·kg⁻¹,速效磷 278.69 mg·kg⁻¹,速效钾 267.37 mg·kg⁻¹,pH7.3。

1.3 试验设计

分别设置播种密度、施肥深度、施肥量 3 个因素的单因素试验,每个因素设计 5 种水平处理(表 1)。通过分析不同处理下单株荚数、单株粒数和百粒重的表现,获得单因素指标对产量构成因子的影响;通过分析不同处理下的油份含量,获得单因素指标对大豆油份含量的影响。

采用二次回归正交试验设计,设定播种密度、施肥深度、施肥量 3 个因素,每个因素 5 个水平(表 1),共计 25 个处理的正交试验(表 2)。以播种密度、施肥深度、施肥量值为自变量,大豆产量和油份含量为因变量,进行二次多项式回归分析,建立以实收产量和油份含量为指标的大豆播种施肥一体化措施的数学模型。并明确最高产量、最高油分含量下的精量化实施措施组合。

采取垄三栽培模式,处理小区面积为 40 m²,不设重复,小区随机排列。区组内土壤、地形等条件相对一致。

表 1 单因素试验方案

Table 1 Test plan of univariate test

水平编码	播种密度	施肥深度	施肥量
Level code	Seeding density/(万株·hm ⁻²)	Fertilization depth/cm	Fertilization amount/(kg·hm ⁻²)
1	24	5	150
2	26	8	225
3	28	10	300
4	30	15	375
5	32	20	450

表 2 正交试验方案

Table 2 The plan of orthogonal test

处理编号	播种密度水平编码	施肥深度水平编码	施肥量水平编码	播种密度	施肥深度	施肥量
Treatment number	Code of sowing density level	Code of fertilization depth level	Code of fertilization level	Seeding density/(万株·hm ⁻²)	Fertilization depth/cm	Fertilization amount/(kg·hm ⁻²)
1	5	1	2	32	5	225
2	2	1	5	26	5	450
3	3	2	1	28	8	150
4	4	4	4	30	15	375
5	5	2	4	32	8	375
6	2	5	3	26	20	300
7	1	3	5	24	10	450
8	1	5	4	24	20	375
9	4	1	3	30	5	300
10	2	4	1	26	15	150
11	5	4	3	32	15	300
12	4	2	5	30	8	450
13	1	2	3	24	8	300
14	3	1	4	28	5	375
15	2	2	2	26	8	225
16	2	3	4	26	10	375
17	5	3	1	32	10	150
18	3	4	5	28	15	450
19	3	5	2	28	20	225
20	4	3	2	30	10	225
21	5	5	5	32	20	450
22	1	4	2	24	15	225
23	3	3	3	28	10	300
24	4	5	1	30	20	150
25	1	1	1	24	5	150

1.4 表型调查

单因素处理区收获时在每个处理区中按“品”字型划样方区 3 个,在每个样方采 50 株大豆,10 株带回室内考种,分别测定各处理区大豆单株荚数、单株粒数及百粒重;同时利用近红外谷物分析仪(Infratec Sofia)测定各处理区收获籽粒的油份含量。

正交试验三因素模型构建处理区各小区收获

时单打单收单计产,采用全收计产法获得产量;同时测定每个处理收获籽粒的油份含量,方法同上。

1.5 数据分析

利用 SPSS 28.0 系统进行方差分析,并利用回归分析模块建立大豆播种施肥一体化措施与产量及油份含量关系的数学模型,通过模型进行优化分析,计算出最高产量和最高油份含量下的精量化实施措施。

2 结果与分析

2.1 播种密度、施肥深度和施肥量对大豆产量构成因子的影响

由表3可知,单株荚数和单株粒数随着播种密度的增加均呈现出先增加后降低的趋势。从单株荚数来看,28万和30万株·hm⁻²的播种密度处理均

显著高于其它密度处理,且两者之间差异不大;从单株粒数来看,28万株·hm⁻²的播种密度显著高于其它各密度处理;从百粒重来看,24万、26万和28万株·hm⁻²播种密度之间差异不显著,且显著高于高密度处理。综上,合理的播种密度可以通过群体效应提升单株荚数和单株粒数的增加,同时在保证百粒重不显著降低的条件下增加产量。

表3 播种密度对大豆产量构成因子的影响
Table 3 Effects of seeding density on components of soybean yield

播种密度 Seeding density/(万株·hm ⁻²)	单株荚数 Pods number per plant	单株粒数 Seeds number per plant	百粒重 100-seed weight/g
24	63.6 b	171.6 c	24.3 a
26	65.6 b	188.6 b	23.8 ab
28	74.0 a	218.6 a	23.8 ab
30	72.0 a	171.3 c	23.6 bc
32	66.3 b	139.0 d	23.0 c

注:同列数据后标不同小写字母表示在0.05水平差异显著。下同。
Note: The data in the same column marked with different lowercase letters, indicating that there is a significant difference at the level of 0.05. The same below.

由表4可知,单株荚数和单株粒数随着施肥深度的增加呈现出逐渐增加的趋势。从单株荚数来看,施肥深度为10、15和20 cm处理之间差异不大,但显著高于5和8 cm处理;从单株粒数来看,施肥深度为20 cm的处理显著高于其它各施肥深度处理。同时,10和15 cm处理之间差异不大,但显著高于5和8 cm处理;从百粒重来看,10和15 cm处理之间差异不大,但显著高于其它各施肥深度处理。

但单株粒数差异显著,说明单株粒数对于肥料施用量影响最为敏感。

表5 施肥量对大豆产量构成因子的影响
Table 5 Effects of fertilizer application on soybean yield components

施肥量 Fertilization amount/(kg·hm ⁻²)	单株荚数 Pods number per plant	单株粒数 Seeds number per plant	百粒重 100-seed weight/g
150	65.33 c	157.00 d	23.17 b
225	66.66 c	161.33 c	23.24 b
300	70.33 b	167.33 b	23.36 b
375	75.33 a	174.33 a	23.79 a
450	76.66 a	173.33 a	23.62 a

表4 施肥深度对大豆产量构成因子的影响
Table 4 Effects of fertilization depth on components of soybean yield

施肥深度 Fertilization depth/cm	单株荚数 Pods number per plant	单株粒数 Seeds number per plant	百粒重 100-seed weight/g
5	61.00 b	165.00 c	22.26 c
8	63.66 b	170.66 c	22.75 b
10	67.66 a	187.66 b	23.70 a
15	71.00 a	194.00 b	23.65 a
20	71.33 a	208.33 a	22.52 bc

由表5可知,单株荚数、单数粒数和百粒重均随着施肥量的增加呈现出逐渐增加的趋势,且均表现出高施肥处理375与450 kg·hm⁻²处理之间差异不大,但显著高于其它各施肥处理。低施肥处理150与225 kg·hm⁻²之间单株荚数和百粒重差异大不,

2.2 播种密度、施肥深度和施肥量对大豆油份含量的影响

从表6可以看出;大豆油份含量随着播种密度增加、施肥层加深、施肥量提高均呈现出先提高后降低的趋势。播种密度为28万株·hm⁻²时大豆油份含量最高,各播种密度处理之间的油份含量差异不大;施肥深度10和15 cm处理大豆油份含量显著高于其它施肥深度处理,且两者之间差异显著;300、375和450 kg·hm⁻²施肥处理之间的大豆油份含量差异不大,但显著高于225和150 kg·hm⁻²的低施肥处理。综合以上结果说明适当的施肥深度和施肥量可以对大豆油份含量产生显著影响。

表 6 播种密度、施肥深度、施肥量对大豆油份含量的影响

Table 6 Effects of sowing density, fertilization depth and fertilizer amount on soybean oil content

播种密度 Seeding density/ (万株·hm ⁻²)	油份含量 Oil content/%	施肥深度 Fertilization depth/cm	油份含量 Oil content/%	施肥量 Fertilization amount/ (kg·hm ⁻²)	油份含量 Oil content/%
24	22.54 a	5	22.51 c	150	22.51 c
26	22.55 a	8	22.51 c	225	22.53 b
28	22.55 a	10	22.73 a	300	22.64 a
30	22.55 a	15	22.63 b	375	22.64 a
32	22.54 a	20	22.51 c	450	22.64 a

2.3 基于产量和油份含量的大豆播种施肥一体化模型的建立

通过对比不同处理大豆产量及油份含量表现可以看出:处理 9 的大豆产量及油份含量最高,其中,产量为 3 989.63 kg·hm⁻²,油份含为 22.78%;处理 6 的大豆产量最及油份含量最低,其中,产量为 3 606.16 kg·hm⁻²,油份含量为 20.77%。处理 9 和处理 6 产量相差 383.47 kg·hm⁻²,油份含量相差 2.21%(表 7)。说明播种密度、施肥深度与施肥量的不同配置可以显著影响大豆产量及油份含量。

以表 6 中的播种密度、施肥深度和施肥量值为自变量 X ,大豆产量为因变量 Y ,进行二次多项式回归分析,得出大豆产量与播种密度、施肥深度、施肥量之间的回归方程为: $Y = 2\,714.696 + 47.445X_1 + 15.768X_2 + 2.967X_3 - 0.4908X_1^2 - 1.862X_2^2 - 0.0012X_3^2 + 0.6809X_1 \times X_2 - 0.0783X_1 \times X_3 - 0.0059X_2 \times X_3$ 。对回归方程进行拟合度检验,其中, $F = 12.90 > 1, P = 0.0001 < 0.05$ 说明回归方程显著。相关系数 $R = 0.9411$,决定系数 $R^2 = 0.88560$,剩余标准差 $S = 42.6827$,调整相关系数 $R_a = 0.9039$ 。表明该模型的拟合程度较高,可以进行应用。一次项系数的结果数据表明播种密度的增产效应 > 施肥深度的增产效应 > 施肥量的增产效应。二次项系数为负数,

结果表明减产率最大的因素是施肥深度,其次是播种密度,再次是施肥量。

通过该模型预测高油高产大豆最高产量可达到 3 952.023 kg·hm⁻²,达到最大产量需播种密度为 28 万株·hm⁻²,种下施肥深度为 10 cm,施肥量为 225.080 5 kg·hm⁻²。

以播种密度、施肥深度和施肥量值为自变量 X ,大豆油份含量为因变量 Y ,进行二次多项式回归分析,得出大豆油份含量与播种密度、施肥深度、施肥量之间的回归方程为: $Y = 14.288 + 0.410X_1 + 0.083X_2 + 0.0146X_3 - 0.00647X_1^2 - 0.0108X_2^2 - 0.00000817X_3^2 + 0.00486X_1 \times X_2 - 0.000316X_1 \times X_3 - 0.0000691X_2 \times X_3$ 。对回归方程进行拟合度检验,其中, $F = 11.1103 > 1, P = 0.0001 < 0.05$ 说明回归方程显著。相关系数 $R = 0.9325$,决定系数 $R^2 = 0.86956$,剩余标准差 $S = 0.2509$,调整相关系数 $R_a = 0.8895$,表明该模型的拟合程度较高,可以进行应用。各因素对大豆油份含量影响效应与对产量的影响效应相同步,表现为播种密度效应 > 施肥深度 > 施肥量。

通过该模型预测高油高产大豆最高油份含量可达到 22.79%,达到最大油份含量需播种密度为 26 万株·hm⁻²,种下施肥深度为 8.5 cm,施肥量为 354.857 8 kg·hm⁻²。

表 7 不同处理大豆产量及油份含量表现

Table 7 Performance of yield and oil content of soybean under different treatments

处理编号 Treatment number	X_1 播种密度 X_1 seeding density/ (万株·hm ⁻²)	X_2 施肥深度 X_2 fertilization depth/cm	X_3 施肥量 X_3 fertilization amount/ (kg·hm ⁻²)	产量 Yield/(kg·hm ⁻²)	油份含量 Oil content/%
1	32	5	225	3878.52	22.14
2	26	5	450	3846.68	22.16
3	28	8	150	3897.51	22.35
4	30	15	300	3848.43	22.17
5	32	8	375	3881.13	22.36
6	26	20	300	3606.16	20.77

表 7 (续)

处理编号 Treatment number	X_1 播种密度 X_1 seeding density/ (万株·hm ⁻²)	X_2 施肥深度 X_2 fertilization depth/cm	X_3 施肥量 X_3 fertilization amount/ (kg·hm ⁻²)	产量 Yield/(kg·hm ⁻²)	油份含量 Oil content/%
7	24	10	450	3936.52	22.68
8	24	20	375	3696.47	21.29
9	30	5	300	3989.63	22.78
10	26	15	150	3778.01	21.76
11	32	15	300	3887.52	22.19
12	30	8	450	3897.41	22.45
13	24	8	300	3896.35	22.44
14	28	5	375	3849.26	22.17
15	26	8	225	3892.52	22.42
16	26	10	375	3940.51	22.70
17	32	10	150	3919.56	22.18
18	28	15	450	3826.42	22.04
19	28	20	225	3687.53	21.24
20	30	10	225	3930.57	22.64
21	32	20	450	3628.12	20.90
22	24	15	225	3796.53	21.87
23	28	10	300	3945.67	22.73
24	30	20	150	3776.86	21.76
25	24	5	150	3833.43	22.08

3 讨论

肥力水平和种植密度是影响作物产量的关键栽培技术因素。国内外研究表明,不同作物在肥力与密度之间存在明显的互作效应。此类研究在各类作物栽培技术研究中陆续报道^[13-16]。施肥量和种植密度对大豆的影响较大^[17-19],但在肥力与密度互作方面的研究鲜有报道。开展此类工作的研究,可以为大豆数字化生产技术的开发提供科学依据。

大豆产量性状受内部遗传因素和外在环境因素共同作用。不同种植密度对大豆植株生长发育的影响不同,低密度种植有利于大豆植株个体发育,单株产量性状表现好,但单位面积群体量小,限制了大豆总产量的提升;高密度种植不利于大豆通风透光,阻碍个体充分发育,虽然群体量大,但仍然无法获得高产^[20],说明高产栽培技术既要考虑单株的产量表现,同时也要兼顾群体增产效应,本研究中单株荚数和单株粒数随着播种密度的增加均呈现出先增加后降低的趋势,与前人^[21-23]的研究结果一致。百粒重方面低密度处理显著高于高密度处理,综合本研究结果,说明合理的播种密度下可以通过群体效应提升单株荚数和单株粒数,同时在保

证百粒重不显著降低的条件下增加产量。此结果有待在今后的研究中进一步验证。

相关研究表明,大豆种肥深度以种下 6 cm 时增产性最高^[24]。而本研究中单株荚数和单株粒数随着施肥深度的增加呈现出逐渐增加的趋势,以种下 20 cm 增产性最高,这与其它相关研究结果不同。但百粒重方面浅施肥产量显著高于深施肥处理。对以上结果分析说明,深度施肥供给营养更多用于促进大豆生殖生长期结荚和籽粒生产,促进百粒重增长的营养偏少。有待从施肥深度方面探讨和研究如何平衡营养分配。

大豆品质的形成是在基因型和环境条件的共同作用下通过复杂的生理生化活动和生化代谢过程完成的。在一定的基因型条件下,通过适宜的栽培措施,可以使品种的品质特性得到最大化发挥。本研究中大豆油份的含量随着播种密度的提高呈现出先增加后降低的趋势,这与其它有关报道结果相一致^[25]。随着施肥量的增加,大豆油份含量显著提升,施肥量达到 300 kg·hm⁻²后随着施肥量的再增加则油份含量提升不明显,这与其它相关报道相一致^[26]。施肥深度对于大豆油份含量的影响鲜有报道,这部分内容有待在今后的工作中加以补充。

本研究首次以施肥深度、栽培密度和施肥量为要素利用回归设计实现了多因子的有机组合,因数据处理系统 SPSS 软件分析的优化方案只限于数学模拟,不能完全符合实际生产中的各种情况,但是在预测值与限定域数据区域相符合时仍然具有较好的指导意义,可以更好地指导当地的施肥技术及用量。

4 结论

以播种密度、施肥深度和施肥量为自变量,大豆产量和油份含量为因变量,进行二次多项式回归分析,得出大豆产量与播种密度、施肥深度、施肥量之间的回归方程为: $Y = 2\,714.696 + 47.445X_1 + 15.768X_2 + 2.967X_3 - 0.4908X_1^2 - 1.862X_2^2 - 0.0012X_3^2 + 0.6809X_1 \times X_2 - 0.0783X_1 \times X_3 - 0.0059X_2 \times X_3$ 。大豆油份与播种密度、施肥深度、施肥量之间的回归方程为: $Y = 14.288 + 0.410X_1 + 0.083X_2 + 0.0146X_3 - 0.00647X_1^2 - 0.0108X_2^2 - 0.00000817X_3^2 + 0.00486X_1 \times X_2 - 0.000316X_1 \times X_3 - 0.0000691X_2 \times X_3$ 。通过该模型预测高油高产大豆最高产量可达到 $3\,952.023\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,达到最大产量需播种密度为 $28\text{ 万株}\cdot\text{hm}^{-2}$,种下施肥深度为 10 cm ,施肥量为 $225.0805\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;最高油份可达到 22.79% ,达到最大油份含量需播种密度为 $26\text{ 万株}\cdot\text{hm}^{-2}$,种下施肥深度为 8.5 cm ,施肥量为 $354.8578\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

参考文献

[1] 薛红. 高油大豆优质高产栽培技术[J]. 中国种业,2009(10): 23-24. (XUE H Y. Cultivation technology of high oil soybean with high quality and high yield[J]. Chinese Seed Industry, 2009 (10):23-24.)

[2] 赵雄伟. 高油大豆“两早两增 一匀一适”栽培技术[J]. 现代农业科技,2017(9):24-25. (ZHAO X W. High oil soybean "two early, two increase, one uniform and one suitable" cultivation technology[J]. Modern Agricultural Science and Technology,2017 (9):24-25.)

[3] 王建成. 浅谈优质高油大豆高产栽培技术措施[J]. 吉林农业, 2011(7):143-144. (WANG J C. High oil soybean "two early, two increase, one uniform and one suitable" cultivation technology [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2011 (7): 143-144.)

[4] 冯丽娟,朱洪德,于洪久,等. 品种、密度、施肥量对高油大豆产量及品质的效应[J]. 大豆科学, 2007, 26(2): 158-162. (FENG L J, ZHU H D, YU H J, et al. Effect of variety, density and fertilizer level on the yield and quality of high oil soybean[J]. Soybean Science, 2007, 26(2): 158-162.)

[5] 李爱霞,公茂云,荣斌. 我区大豆不同施肥比例、施肥水平等因素与产量的回归分析[J]. 农业开发与装备,2013(12):51-52. (LI A X, GONG M Y, RONG B. Regression analysis of yield of

soybean with different fertilization ratio, fertilization level and other factors in our area[J]. Agricultural Development and Equipment, 2013(12):51-52.)

[6] 石绍河,陈维元,姜成喜,等. 不同栽植密度与施肥量对大豆产量的影响[J]. 现代农业科技,2012(6):66-67. (SHI S H, CHEN W Y, JIANG C X, et al. Effect of different planting density and fertilizer amount on soybean yield[J]. Modern Agricultural Science and Technology,2012(6):66-67.)

[7] 刘克礼,高聚林,刘砚梅,等. 旱作大豆综合农艺栽培措施与产量关系模型及产量构成分析[J]. 大豆科学, 2004, 23(1): 50-54. (LIU K L, GAO J L, LIU Y M, et al. The model of relationship between cultivation measures and yields in dry farming soybean and the analyse to yield constituents [J]. Soybean Science, 2004, 23(1): 50-54.)

[8] 卢珊,王福林. 基于 BP-LCO 的大豆种植密度和施肥量优化[J]. 大豆科学,2023,42(2):204-211. (LU S, WANG F L. Optimization of soybean planting density and fertilizer amount based on BP-LCO[J]. Soybean Science,2023,42(2):204-211.)

[9] 吕继龙,何萍,徐新朋,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(6):174-180. (LÜ J L, HE P, XU X P, et al. Evaluation of optimal fertilizer application and planting density of soybean in China [J]. Chinese Soil and Fertilizer,2020(6):174-180.)

[10] 丁希明,李淑真. 施肥深度对大豆生育及产量影响的研究[J]. 黑龙江农业科学,1980(4): 44-47. (DING X M, LI S Z. Effect of fertilization depth on soybean growth and yield[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences,1980(4): 44-47.)

[11] 龚振平,金喜军,马春梅,等. 春大豆对不同来源氮素吸收利用的研究[J]. 土壤通报, 2010, 41(5): 1138-1141. (GONG Z P, JIN X J, MA C M, et al. Study on the absorption and utilization of various source nitrogen by spring soybean [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2010, 41(5): 1138-1141.)

[12] 王彦丰,王琳,付龙令,等. 大豆施用磷酸二铵深度研究[J]. 吉林农业科学,1996(1): 65-70. (WANG Y F, WANG L, FU L L, et al. Deep study on application of diammonium phosphate to soybean[J]. Jilin Agricultural Science,1996(1): 65-70.)

[13] 蒋桂英,朱新霞,刘建国,等. 转基因抗病棉花品系密度与肥料互作效应研究[J]. 西北农业学报, 2001, 10(2): 71-74. (JIANG G Y, ZHU X X, LIU J G, et al. Interaction effects between fertilizer and density of strains of disease resistant and transgenesis cotton [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2001, 10(2): 71-74.)

[14] 杨永政,梁燕. 栽培密度和施肥水平对菜豆种子产量影响的数学模型研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2005, 33(7): 49-52. (YANG Y Z, LIANG Y. Studies on mathematic model of planting density and fertilization affecting the yield of common bean seed [J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2005, 33(7): 49-52.)

[15] 刘和平,刘培勋,罗仁革,等. 山区玉米品种种植密度和施肥量研究[J]. 中国农学通报, 2014, 30(24): 52-55. (LIU H P, LIU P X, LUO R G, et al. Study on planting density and fertilizer rate of hybrid maize cultivar growing in area [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(24): 52-55.)

[16] 李继强,赵向田,王浩瀚,等. 栽培密度和施肥水平对春油菜产量的影响[J]. 基因组学与应用生物学, 2016, 35(5):

1240-1247. (LI J Q, ZHAO X T, WANG H H, et al. Effect of planting density and fertilizing level on spring rape yield [J]. Genomics and Applied Biology, 2016, 35(5): 1240-1247.)

[17] 孙联合, 许海涛. 氮磷钾优化配比对大豆品质及相关生理参数的影响[J]. 湖南农业科学, 2008(5): 71-73. (SUN L H, XU H T. Effects of N-P-K optimum combination fertilization on quality and relative physiological parameters of soybean [J]. Hunan Agricultural Sciences, 2008(5): 71-73.)

[18] 李洪杰, 张小燕, 赵晋铭, 等. 不同密度与肥水处理对鲁黄1号大豆产量及农艺性状的影响[J]. 大豆科学, 2012, 31(5): 753-756. (LI H J, ZHANG X Y, ZHAO J M, et al. Effects of planting density, fertilization and irrigation on yield and agronomic performance of soybean cv. Luhuang No. 1 [J]. Soybean Science, 2012, 31(5): 753-756.)

[19] 刘玉平, 李志刚, 李瑞平. 不同密度与施氮水平对高油大豆产量及品质的影响[J]. 大豆科学, 2011, 30(1): 79-82, 88. (LIU Y P, LI Z G, LI R P. Effects of different planting densities and N-fertilizer levels on yield and quality of soybean [J]. Soybean Science, 2011, 30(1): 79-82, 88.)

[20] 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.)

[21] 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 A A, 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.)

[22] 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.)

[23] 刘玉平, 李志刚, 李瑞平, 等. 不同密度与施氮水平对大豆产量及产量性状的影响[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2011, 26(2): 173-176. (LIU Y P, LI Z G, LI R P, et al. Effects of different planting densities and N-fertilizer levels on the yield and yield characteristics of soybean [J]. Journal of Inner Mongolia Minzu University (Natural Sciences), 2011, 26(2): 173-176.)

[24] 张晓雪, 吴冬婷, 龚振平, 等. 施肥深度对大豆氮磷钾吸收及产量的影响[J]. 核农学报, 2012, 26(2): 364-368. (ZHANG X X, WU D T, GONG Z P, et al. Effect of fertilization depth on N, P, K absorption and yield in soybean [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2012, 26(2): 364-368.)

[25] 宁海龙, 李文霞, 韩秀才, 等. 栽培密度对高油大豆籽粒产量及品质影响初探[J]. 中国油料作物学报, 2002, 24(1): 75-76. (NING H L, LI W X, HAN X C, et al. A primary study on the effect of density on the yield and quality of seeds in elevated-fat soybean [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2002, 24(1): 75-76.)

[26] 冯丽娟. 不同种肥施用量对高油大豆产量及品质的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2013(3): 28-30. (FENG L J. Effects of different seed fertilization on yield and quality traits of high-oil soybean [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2013(3): 28-30.)

协办单位

中国作物学会大豆专业委员会
东北农业大学大豆研究所
吉林省农业科学院大豆研究所
南京农业大学大豆研究所
辽宁省农业科学院作物研究所
河北省农林科学院粮油作物研究所