

不同施氮量及施氮方式对大豆根瘤生长及产量的影响

姬月梅,罗瑞萍,赵志刚,连金番

(宁夏农林科学院 农作物研究所/国家大豆产业技术体系银川综合试验站,宁夏 银川 750105)

摘要:以宁夏地区主推品种中黄30为主要研究对象,采用再裂区试验设计,通过接种高效根瘤菌,探讨根瘤菌、施氮量和施氮方式对大豆根瘤干重、根瘤数量以及大豆产量的影响。结果表明:施氮量显著影响大豆结瘤和大豆产量;各处理随着每次施氮量的增加,根瘤干重和根瘤数量的变化趋势均为先增加后下降;产量表现为分次施氮各处理产量>一次性施氮各处理产量>不施氮(B1)产量;接种根瘤菌处理较不接种根瘤菌处理的根瘤数量及大豆产量显著增加;是否接种根瘤菌与施氮量互作、施氮量与施氮方式互作以及是否接种根瘤菌、施氮量和施氮方式互作对大豆产量均产生极显著影响,中黄30产量最佳组合是A2B3C2(接种根瘤菌、施氮量在75 kg·hm⁻²且分次施氮)的前提下,产量最高,达到6 020.37 kg·hm⁻²,较不施氮增产8.36%。

关键词:大豆;根瘤;施氮量;施氮方式;产量

中图分类号:S565.1 文献标识码:A DOI:10.11861/j.issn.1000-9841.2017.06.0887

Effects of Different Nitrogen Application and Methods on Nodule Growth and Yield of Soybean (*Glycine max* L.)

Ji Yue-mei, Luo Rui-ping, Zhao Zhi-gang, Lian Jin-pan

(Crop Institute of Ningxia Academy of Agricultural and Forestry/Yinchuan Integrated Experimental Station of National Soybean Industrial Science and Technology System, Yinchuan 750105, China)

Abstract: Taking Zhonghuang 30 as the research object in Ningxia, the effect of rhizobium, nitrogen fertilizer and nitrogen application on the dry weight, the number of root nodule and the yield of soybean were studied by inoculating high efficient rhizobia. The results showed that the amount of nitrogen applied significantly affected soybean nodulation and soybean yield, and the change trend of dry weight and number of root nodules increased with the increasing of nitrogen application rate. The yield was expressed as the multiple nitrogen application treatments > single nitrogen application treatment > no nitrogen application treatment (B1). The number of nodules and the yield of soybean in the treatment of rhizobium were significantly higher than that of no rhizobia treatment. The interactions, whether inoculation of rhizobium and the nitrogen amount, the nitrogen amount and nitrogen application, and whether the inoculation of rhizobium, nitrogen amount and nitrogen application, were significant on soybean yield. The highest yield combination of Zhonghuang 30 was A2B3C2 (inoculation of rhizobia, nitrogen amount 75 kg·ha⁻¹ and multiple nitrogen application), the highest yield was 6 020.37 kg·ha⁻¹, 8.36% higher than no nitrogen treatment.

Keywords: Soybean; Nodule; Nitrogen amount; Nitrogen method; Yield

大豆是需氮较多的农作物之一,它与根瘤菌所固定的氮素约占大豆一生需氮量的65%~70%^[1],仅靠根瘤固氮还不能完全满足大豆对氮素的需要,一般仍需要配合施用适量的氮肥。生育期间施入适量氮肥既有利于大豆根瘤的形成又可以增加固氮效应,反之,对结瘤的形成有抑制作用,并且会明显减少根瘤数目^[2-3],还会对大豆氮吸收、根瘤的干

重及固氮能力^[4-5]产生影响。不同施氮时期也在一定程度上影响大豆的生长和固氮。在播种前施用适量氮肥,不会对生物固氮有显著负作用^[6];在苗期共生固氮系统正在建立而成熟期共生固氮系统已经开始衰败^[7],需额外补充氮源;在开花结荚期是需氮量最多的时期,尽管这时根瘤固氮能力很强,但因无法完全满足植株体对氮营养的需求,故

收稿日期:2017-06-15
基金项目:宁夏回族自治区自然科学基金(MZ14199);国家现代农业产业技术体系(CARS-004);宁夏农林科学院自主研发青年基金(NKYQ-13-07)。
第一作者简介:姬月梅(1981-),女,硕士,助理研究员,主要从事大豆育种及大豆栽培技术研究。E-mail:ji_yuemei@126.com。
通讯作者:罗瑞萍(1964-),女,副研究员,主要从事大豆遗传育种及大豆综合栽培研究。E-mail:nx8400197@163.com。

而需要土壤氮肥来补充。因而,适时适量施用氮肥尤为重要。

宁夏地区大豆生产过程中过量施用氮肥或不施氮现象屡见不鲜,本研究采用框栽和田间两种试验方法,研究不同施氮量、施氮方式及是否接种根瘤菌对大豆根瘤的形成、生长以及大豆产量的影响,旨在为宁夏大豆生产提供一套更为科学合理的氮肥施用技术,减少氮肥的投入、减轻土壤环境面源污染,提质节本增效,提高大豆单产水平。

1 材料与方法

1.1 材料

供试大豆品种为宁夏地区主推品种中黄 30;根瘤菌由哈尔滨工大华龙生物公司提供,产品根瘤菌数量为 109 cfu·mL⁻¹。

1.2 试验设计

田间试验于 2015 年试验在宁夏农林科学院农作物研究所永宁县杨和乡南全示范基地进行。试验地前茬作物为甜菜。土质为粉(砂)壤土,土壤有机质含量为 23.0 g·kg⁻¹、土壤速效磷 76.7 mg·kg⁻¹、土壤速效钾 185 mg·kg⁻¹、土壤速效氮 157 mg·kg⁻¹,全量氮 1.48 g·kg⁻¹、全量磷 1.3 g·kg⁻¹、全量钾 20.0 g·kg⁻¹、全盐 0.84 g·kg⁻¹,pH7.86。采用再裂区试验设计,主区为根瘤菌(A),裂区为施氮量(B),再裂区为施氮方式(C)。根瘤菌设不接种根瘤菌(A1)和接种根瘤菌(A2);施氮量设不施肥 0 kg·hm⁻²(B1)、50 kg·hm⁻²(B2)、75 kg·hm⁻²(B3)和 150 kg·hm⁻²(B4);施氮方式设一次性施氮(播种前把大豆生育期所需肥全部施入作为基肥,C1)和分次施氮(分 4 次平均施入,时期分别是播种前、苗期、花期和鼓粒期,C2)。共 16 个处理组合,3 次重复。4 月 20 日人工小锄开沟点播,9 月 25 日收获,10 月脱粒考种。框栽试验与田间设计一样,同时土壤中施磷(KH₂PO₄)30 mg·kg⁻¹、钾(KH₂PO₄)30 mg·kg⁻¹,3 次重复。试验框由 PVC 材料制成,桶状,无底,直径 30 cm,深度 32 cm,每框装土量 6 kg(以干土计)。5 月 20 日人工点播,9 月 30 日收获,10 月脱粒考种。

1.3 测定项目与方法

大豆花期从每小区中部随机选取 9 株,测定大豆植株的鲜、干重,地上部鲜、干重,根瘤数量,根瘤的鲜、干重,并取平均值。采用凯氏定氮法^[8]测定植株的全氮量。将植株叶、茎、根、根瘤分开,清水洗净,然后用恒温箱 85℃ 烘干至恒重,测定植株干

物质重量。

成熟收获时每小区随机取 15 株进行考种,考种指标为株高、节数、有效荚数、单荚粒数、每荚粒数、百粒重、单株产量。取样后每个小区单独收获、脱粒和称重。

1.4 数据分析

采用 Excel 2003 和 DPS 6.05 对数据进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对春大豆生育期结瘤的影响

2.1.1 根瘤干重 由表 1 可以看出,田间试验大豆花期时,在是否接种根瘤菌、不同施氮量和施氮方式条件下,随着施氮量的增加,根瘤干重先逐渐增加而后显著降低,B3 处理的根瘤干重最多,并且分次施氮 B3 处理根瘤干重高于一次性施氮 B3 处理。说明分次施氮有利于大豆根瘤菌生长,这与前人研究结论一致。同时说明根瘤本身生长需要一定量的氮素营养,施用合适的氮对大豆根瘤生长有促进作用,过量施氮会抑制根瘤的生长发育^[9],如 B4 处理。

框栽试验大豆花期和鼓粒期时,花期和鼓粒期根瘤干重变化趋势几乎一致,最优组合均为 A2B3C2,其花期根瘤干重与其他处理均达到显著水平($P < 0.05$),鼓粒期除与 A2B2C2 组合无显著差异外,与其它组合均达到显著水平($P < 0.05$)。综合可知,施氮量相同的各处理,分次施氮较一次性施氮根瘤干重显著增加;在接种根瘤菌条件下,施氮量相同的各个处理根瘤干重均高于不接种根瘤菌条件下各处理。

2.1.2 根瘤数量 施氮显著影响大豆根瘤数量的形成。由表 2 可以看出,田间试验在大豆花期时,根瘤数量随着施氮量的增加先逐渐增加而后显著降低,根瘤数量各处理间达到显著水平。在接种根瘤菌条件下,分次施氮 B3 处理的根瘤数量最多,并且高于一次性施氮 B3 处理,且达到显著水平。

框栽试验大豆花期和鼓粒期根瘤数量变化趋势大致相同,各处理间达到显著水平($P < 0.05$),且最优组合为 A2B3C2。综合可知,施氮量相同的各处理,分次施氮较一次性施氮根瘤数量显著增加;在接种根瘤菌条件下,施氮量相同的各个处理根瘤数量均高于不接种根瘤菌条件下各处理,且达到显著水平。

表 1 不同处理对大豆根瘤干重的影响

Table 1 Effects of different treatment on nodule dry weight

根瘤菌 Nodule bacteria	施氮量 Nitrogen amount	施氮方式 Nitrogen method	框栽花期根瘤干重 Dry weight of nodule in florescence(box planting)/g	框栽鼓粒期根瘤干重 Dry weight of root nodule during drum(box planting)/g	田间花期根瘤干重 Dry weight of nodule in florescence(field)/g
A1	B1	C1	0. 0353 cd	0. 0167 e	0. 0400 cd
	B2		0. 012 def	0. 0177 e	0. 0413 cd
	B3		0. 03 cde	0. 0267 de	0. 0833 bc
	B4		0. 0167 def	0. 0123 e	0. 0387 cd
	B1	C2	0. 0353 cd	0. 0167 e	0. 0400 cd
	B2		0. 0133 def	0. 0327 cde	0. 0537 cd
	B3		0. 0567 b	0. 0720 cd	0. 1077 ab
	B4		0. 0277 de	0. 0493 cde	0. 0443 cd
A2	B1	C1	0. 0267 de	0. 0833 bc	0. 0270 d
	B2		0. 0133 def	0. 0577 cde	0. 0417 cd
	B3		0. 0220 cde	0. 0067 e	0. 1097 ab
	B4		0. 0033 f	0. 0513 cde	0. 0637 bcd
	B1	C2	0. 0267 de	0. 0833 bc	0. 0270 d
	B2		0. 0500 bc	0. 1220 ab	0. 0630 bcd
	B3		0. 0900 a	0. 1600 a	0. 1550 a
	B4		0. 0187 def	0. 0523 cde	0. 0653 bcd

同列不同小写字母表示 5% 水平下差异显著。下同。

The different lowercase in the same column represente significant difference at 5% level. The same below.

表 2 不同处理对大豆根瘤数量的影响

Table 2 Effects of different treatments on nodule number

根瘤菌 Nodule bacteria	施氮量 Nitrogen amount	施氮方式 Nitrogen method	框栽花期根瘤数量 Nodules number in florescence(box planting)	框栽鼓粒期根瘤数量 Root nodules number in drum(box planting)	田间花期根瘤数量 Nodules number in florescence(field)
A1	B1	C1	3. 3333 fg	0. 2777 fg	3. 0887 e
	B2		1. 8333 hi	0. 7777 efg	2. 2667 f
	B3		3. 3333 fg	0. 6667 efg	4. 1110 d
	B4		2. 6667 gh	0. 6667 efg	2. 7780 ef
	B1	C2	3. 3333 fg	0. 2777 fg	3. 0887 e
	B2		3. 6667 efg	0. 9903 def	5. 0000 c
	B3		6. 0000 bc	1. 7620 cd	7. 4167 b
	B4		4. 8890 cde	1. 0667 def	2. 9447 ef
A2	B1	C1	4. 3333 def	0. 1183 g	2. 4723 ef
	B2		5. 3333 bcd	1. 1110 de	2. 6557 ef
	B3		1. 6667 hi	0. 1667 g	7. 3613 b
	B4		0. 6667 i	1. 9047 bc	4. 1000 d
	B1	C2	4. 3333 def	0. 1183 g	2. 4723 ef
	B2		6. 3333 b	2. 5713 b	5. 2833 c
	B3		8. 3333 a	4. 8890 a	8. 4723 a
	B4		3. 3333 fg	2. 4443 bc	5. 6943 c

2.2 不同施氮量及施氮方式对春大豆产量及产量构成因素的影响

由表3可知,随着施氮量的增加,大豆单株粒数和单株粒重均表现为先增加而后减少,其中,A2B3C2组合的单株粒数和单株荚数除了与A2B2C2组合间无显著差异外,与其它组合均达到显著水平($P < 0.05$);单株粒重处理间均达到显著

水平($P < 0.05$),且最优组合为A2B3C2。综合可知,分次施氮较一次性施氮更有利于单株荚数、粒数的增加和单株产量的提高;在接种根瘤菌条件下,施氮量相同的各个处理单株粒数、单株荚数和单株粒重均高于不接种根瘤菌条件下各处理,且达到显著水平。

表3 不同处理产量构成因素及其差异显著性
Table 3 Yield components and their significant difference

根瘤菌 Nodule bacteria	施氮量 Nitrogen amount	施氮方式 Nitrogen method	田间株粒数 Seeds number per plant(field)	田间株荚数 Pods number per plant(field)	田间株粒重 Seeds weight per plant(field)/g	框栽株粒数 Pods number per plant (box planting)	框栽株粒重 Seeds weight per plant (box planting)/g
A1	B1	C1	111.25 h	47.04 g	21.11 f	8.70 i	0.96 h
	B2		135.11 cde	54.33 ef	25.87 e	11.79 g	1.03 h
	B3		127.37 ef	55.09 def	26.77 cde	14.64 e	1.72 e
	B4		115.75 gh	53.40 f	25.35 e	10.50 h	0.97 h
	B1	C2	111.25 h	47.04 g	21.11 f	8.70 i	0.96 h
	B2		138.53 cd	57.32 de	26.72 cde	12.66 f	1.65 e
	B3		142.67 bc	60.93 c	29.46 b	14.84 e	2.03 d
	B4		133.00 de	55.45 def	26.60 cde	14.31 e	1.33 f
A2	B1	C1	121.13 fg	55.42 def	26.22 de	10.84 h	1.19 g
	B2		141.13 bcd	55.90 def	28.17 bed	13.03 f	1.32 f
	B3		147.07 ab	61.07 c	28.14 bed	21.02 b	2.39 c
	B4		140.28 bcd	57.64 d	28.22 bed	14.93 e	1.97 d
	B1	C2	121.13 fg	55.42 def	26.22 de	10.84 h	1.19 g
	B2		148.23 ab	65.67 ab	28.76 bc	18.75 c	2.49 b
	B3		153.69 a	67.12 a	32.04 a	25.00 a	3.23 a
	B4		143.01 bc	63.62 bc	28.47 bc	16.77 d	3.19 a

由表4可以看出,接种根瘤菌产量与不接种根瘤菌产量间达到显著水平($P < 0.05$);产量依次排列前4位最优最佳组合为A2B3C2、A2B2C2、A1B3C2和A2B4C2;同一氮素水平下接种根瘤菌较不接种根瘤菌均增产,增产幅度达13%;同一氮素水平下分次施氮较一次性施氮增产,接种根瘤菌施氮量为75 kg·hm⁻²时,分次施氮较一次性施氮产量增幅为6.441%。说明大豆生育期间使用根瘤菌的同时施用适量的氮和采用分次施氮的方式能够获得较高产量。由表5可知,是否接种根瘤菌与施氮量、施氮量与施氮方式以及是否接种根瘤菌、施氮

量与施氮方式之间存在交互作用,且作用显著。由产量(表4)和产量裂区方差分析(表5)可以看出,主区接种根瘤菌与不接种根瘤菌间达到显著水平($P < 0.05$);裂区4种不同施氮量间存在差异,施氮量为75 kg·hm⁻²与其它3种施氮量间达到极显著水平($P < 0.01$);再裂区2种施氮方式间存在差异,分次施氮与一次性施氮间达到极显著水平($P < 0.01$)。产量最佳组合是A2B3C2,即接种根瘤菌、施氮量在75 kg·hm⁻²且分次施氮的前提下,产量最高,达到6 020.37 kg·hm⁻²。

表 4 不同施氮量及施氮方式对中黄 30 产量的影响

Table 4 Effect of different supplying methods on the yield properties of Zhonghuang 30

根瘤菌 Nodule bacteria(A)	施氮量 Nitrogen amount(B)	施氮方式 Nitrogen method(C)	I /Kg	II /Kg	III /Kg	5% 水平差异性分析			产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	产量位次 Production rank
						Difference analysis at 0.05 level				
						A	B	C		
A1	B1	C1	5.177	4.989	5.169	5.627 b	5.112 c	5.467 b	4799.711 g	16
			5.556	5.559	5.446		5.520 b		5183.437 ef	13
			5.867	5.602	5.689		5.719 a		5370.293 de	12
			5.608	5.497	5.443		5.516 b		5179.369 ef	14
	B1	C2	5.177	4.989	5.169		5.112 c	5.788 a	4799.711 g	15
			5.899	5.943	6.064		5.969 b		5604.41 bcd	6
			6.103	6.265	6.253		6.207 a		5828.198 ab	3
			5.763	5.877	5.945		5.862 b		5503.94 cd	11
A2	B1	C1	5.845	5.89	5.893	6.040 a	5.876 c	5.924 b	5517.398 cd	10
			5.854	5.831	5.964		5.883 bc		5523.971 cd	8
			6.008	5.984	6.006		5.999 a		5633.205 bcd	5
			5.983	5.899	5.934		5.939 b		5576.241 bcd	7
	B1	C2	5.845	5.89	5.893		5.876 c	6.156 a	5517.398 cd	9
			6.296	6.149	6.211		6.219 b		5839.153 ab	2
			6.349	6.356	6.53		6.412 a		6020.374 a	1
			6.122	6.107	6.121		6.117 b		5743.378 bc	4

表 5 不同处理对大豆产量影响的方差分析

Table 5 Variance analysis of different treatment on soybean yield

裂区设计 Split plot design	变异来源 Source of variation	平方和 Sum of squares	自由度 Degrees of freedom	均方 Means quare	F 值 F value	P 值 P value
主区部分 Main plot	区 组 Block	0.0267	2			
	根瘤菌 A Rhizobium A	2.0464	1	2.0464	1894.5729	0.0005
	主区误差 Main plot error	0.0022	2	0.0011		
	主 区 Main area	2.0753	5			
裂区部分 Split plot	施氮量 B Nitrogen levels B	1.9016	3	0.6339	74.7986	0.0001
	A × B	0.2066	3	0.0689	8.1268	0.0032
	裂区误差 Split plot error	0.1017	12	0.0085		
	再裂区部分 施氮方式 Nitrogen applied way C	0.0948	1	0.0948	13.5288	0.0212
Split-Split plot	A × C	0.0980	1	0.0980	13.9893	0.0201
	再裂区误差 Split-Split plot error	0.0280	4	0.0070		
	B × C	1.4740	3	0.4913	139.3288	0.0001
	A × B × C	0.2386	3	0.0795	22.5498	0.0001
	互作误差 Interaction ener	0.0423	12	0.0035		
	裂区 Split plot	4.1856	42			
	总和 Total	6.2609	47			

大豆花期根瘤干重与产量构成因子及产量的相关性分析显示,单株粒数、单数荚数、单株粒重、根瘤数量和根瘤干重与产量均极显著正相关,其

中,根瘤干重与产量的相关系数最大(表 6)。说明,产量的增加与大豆根瘤干重有很大关系,由此进一步进行了通径分析。

表 6 大豆结瘤及产量构成因素相关性分析
Table 6 Correlation analysis of soybean nodulation and yield components

	单株粒数 Seeds number per plant	单株荚数 Pods number per plant	单株粒重 Seeds weight per plant	根瘤数量 Number of nodules	根瘤干重 Dry weight of root nodules
株粒数 Seeds number per plant	1.00				
株荚数 Pods number per plant	0.85**	1.00			
株粒重 Seeds weight per plant	0.94**	0.90**	1.00		
根瘤数量 Number of nodules	0.91**	0.89**	0.93**	1.00	
根干重 Dry weight of root nodules	0.77**	0.74**	0.76**	0.67**	1.00
产量 Yield	0.67**	0.68**	0.68**	0.68**	0.93**

**表示在1%水平($F_{0.01}=4.88$)的差异显著性。
** represente the significant difference at 0.01 level.

通径分析结果表明(表7),根瘤干重对产量的直接作用最大,通径系数为1.1488,其次为根瘤数量(0.9041)。单株荚数、单株粒数及单株粒重对产量的直接通径系数均为负数,但它们与产量呈极显

著的正相关,说明它们对产量的负影响力较小。因此,在适宜的施氮量和施氮方式条件下提高根瘤干重、增加根瘤数量是提高产量的主要途径。

表 7 大豆产量与产量构成因素及大豆根瘤干重和根瘤数量的通径分析

Table 7 The yield and yield components of soybean and the path analysis of the dry weight and nodule number

性状 Characters	单株粒数 Seeds number per plant	单株荚数 Pods number per plant	单株粒重 Seeds weight per plant	根瘤数量 Number of nodules	根瘤干重 Dry weight of root nodules
株粒数 Seeds number per plant	<u>-0.6001</u>	-0.1711	-0.2701	0.8211	0.8871
株荚数 Pods number per plant	-0.5107	<u>-0.2011</u>	-0.2582	0.8091	0.8449
株粒重 Seeds weight per plant	-0.5634	-0.1804	<u>-0.2877</u>	0.84	0.8701
根瘤数量 Number of nodules	-0.545	-0.1799	-0.2673	<u>0.9041</u>	0.7717
根干重 Dry weight of root nodules	-0.4634	-0.1479	-0.2179	0.6073	<u>1.1488</u>

数据带“-”表示各因素对产量的直接通径系数,不带_表示间接通径系数。剩余通径系数为0.224;
The data with “-” indicating the direct path coefficient of each factor to the yield, without _indicating the indirect path coefficient. The residual path coefficient is 0.224.

3 讨论

大豆是高蛋白作物,需氮量非常大,虽然能够通过根瘤菌固氮,但大豆的幼苗期还未形成根瘤,且大豆的鼓粒期需要更多的氮时,根瘤菌的固氮能力已开始衰亡^[7],其吸收同化的氮量不能满足大豆籽粒的生长需求,容易造成减产^[10]。尽管施氮肥会不同程度地抑制根瘤菌的形成,但氮素能够缓解叶片和根系的衰老,在后期能够促进干物质积累和籽粒产量的增加^[11],因此,大豆高产需要补充足够的氮素,但氮肥的施入必须恰到好处。本研究采用框栽试验和大田试验两种种植方式均表明基肥一次性施入过多的氮肥,既不利于根系的生长,又使根瘤数量和根瘤干重较分次施氮偏低。

为了避免一次性施氮过量,会对大豆根瘤固氮产生负面作用,本研究对比探讨了一次性施氮和分次施氮对大豆产量的影响,结果表明分次施氮各处理产量>一次性施氮各处理产量>不施氮(对照)产量。大豆花期根瘤干重与产量构成因子及产量

的相关性分析显示,不同的施氮量及不同施氮方式根瘤干重与大豆产量呈极显著的正相关($r=0.9746$),单株产量与单株荚数呈正相关,这一点被许多研究结果所证实^[12-14]。本研究结果表明在接种根瘤菌、施氮量在75 kg·hm⁻²且分次施氮的前提下产量最高,达到6 020.37 kg·hm⁻²。说明,根瘤固氮和适量的氮素施入是大豆高产的关键,分次施氮既可满足大豆花期所需的氮素养分,又不会抑制根瘤的生长、还能够大幅度提高大豆产量,与甘银波等^[15]进行分次追氮获得较高的饱荚产量的结论相一致。

4 结论

本试验采取一次性施氮和分次施氮(在播前、苗期、花期和鼓粒期)进行对比研究,最终获得最佳的大豆产量和一套更为科学合理的氮肥施用技术,在接种根瘤菌条件下,利用大豆最佳施氮量和施氮方式,获得了最高产量,经过试验证明:(1)本试验在接种根瘤菌处理中在不同的施氮量情况下,无论

是一次性施氮还是分次施氮,早施、迟施都较对照不施氮增产,并且分次施氮较不施氮增产且幅度大,增产幅度为 3.940% ~ 8.359%,小区最高产量达到6 020.37 kg·hm⁻²; (2) 不接种根瘤菌处理下分次施氮较不施氮增产,增产幅度为 12.794% ~ 17.641%,小区最高产量达到5 828.198 kg·hm⁻²; (3) 同一施氮量下,接种根瘤菌较不接种菌增产且有显著差异,增产幅度为 3.197% ~ 13.002%; 同一施氮方式下,接种根瘤菌较不接种菌增产且有显著差异; (4) 同一施氮量条件下,分次施氮较一次性施氮增产,接种根瘤菌条件下,在 75 kg·hm⁻²施氮量下,分次施氮较一次性施氮增产最高为 6.441%; 不接种根瘤菌条件下,同样在 75 kg·hm⁻²施氮量下,分次施氮较一次性施氮增产,最高增产 7.862%。

因此,在大豆生产中,我们既要发挥较高的固氮效率,又要保证大豆的经济产量。另外,通过多元回归和通径分析明确了各生育时期根瘤结瘤间及对产量的影响主次关系,能为育种提供一定的理论依据。该试验仅考虑了根瘤干重及根瘤数量对产量的影响,事实上,还应该考虑全生育期的根瘤鲜干重及根部变化对产量的影响等,另外,剩余通径系数仍然很高,这表明还有其它影响产量的性状尚未考虑进去,比如气候、土壤、环境等都可以造成产量主导因素的变化。所以仍需进一步的进行大面积的展示示范进行验证其结论,合理分配大豆不同生长阶段对氮素的需求,以进一步提高氮肥的利用率,减少氮肥施用过多造成的浪费和对环境产生的污染。

参考文献

[1] Sinclair T R, de Wit C T. Photosynthate and nitrogen requirement for seed production by various crops [J]. Science, 1975, 18: 565-567.

[2] 沈润平,王中孚,郭进耀. 氮磷钾营养对春大豆产量品质效应研究[J]. 江西农业大学学报,1998,20(1):51-55(Shen R P, Wang Z F, Guo J Y. Studies of the effect of N. P. K nutrientson the yield and quality of spring soybean[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis,1998,20(1):51-55.)

[3] Otieno P E, Muthomi J W, Cheminingwa G N, et al. Effect of Rhizobia inoculation farm yard manure and nitrogen fertilizer on nodulation and yield of food grain legumes[J]. Journal of Biological Sciences,2009,9(4):326-332.

[4] 甘银波,陈静,邱正明. 不同阶段施用氮肥对大豆氮吸收及固氮的影响[J]. 中国油料,1996,18(4):45-47. (Gan Y B, Chen J, Qiu Z M. Effects of N fertilizer application at different growth stages on N uptake and N-fixation of soybeans[J]. Chinese Jour-

nal of Oil Crop Sciences, 1996,18(4):45-47.)

[5] 田艳洪,刘元英,张文钊,等. 不同时期施用氮肥对大豆根瘤固氮酶活性及产量的影响[J]. 东北农业大学学报,2008,39(5):15-19. (Tian Y H, Liu Y Y, Zhang W Z, et al. Effect of N fertilization at different stage on nitrogenase activity and yield of soybean[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2008,39(5):15-19.)

[6] Marschner H. Mineral nutrition of higher plant[M]. London: Academic Press, Inc, 1986:674.

[7] 陈昌斌,戴小密,俞冠翹,等. 组成型 *nifA* 对大豆根瘤菌(*Rhizobium fredii*) HN01lux 结瘤固氮效率的促进作用[J]. 科学通报,1999,44(5):529-533. (Chen C B, Dai X M, Yu G Q, et al. Composition of *nifA* on soybean rhizobia (*Rhizobium fredii*) HN01lux nodulation efficiency role in promoting[J]. Chinese Science Bulletin,1999,44(5):529-533.)

[8] 史瑞和,鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:农业出版社,1980. (Shi R H, Bao S D. Agrochemical analysis[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1980.)

[9] 房增国,左元梅,李隆,等. 玉米/花生间作条件下不同施氮水平对花生铁营养和固氮的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(4):386-390. (Fang Z G, Zuo Y M, Li L, et al. Effects of different nitrogen levels on iron nutrition and nitrogen fixation of peanut in maize-peanut mixed cropping system[J]. Plant Nutrition and Fertilizing Science,2004,10(4):386-390.)

[10] Salado-Navarro L R, Hinson K, Sinclair T R. Nitrogen partitioning and dry matter allocation in soybeans with different seed protein concentration[J]. Crop Science,1985,25(3):451-455.

[11] 倪丽,章建新,金加伟,等. 以氮肥施用对高产大豆根系、干物质积累及产量的影响[J]. 新疆农业大学学报,2004,27(2):36-39. (Ni L, Zhang J X, Jin J W, et al. Effect of nitrogen on root system, dry matter accumulation and yield of high yield soybean [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2004,27(2):36-39.)

[12] 金剑,刘晓冰,王光华,等. 氮素积累、分配与大豆产量的关系[J]. 大豆通报,1998(6):25. (Jin J, Liu X B, Wang G H, et al. Relationship between nitrogen accumulation, distribution and yield of soybean[J]. Soybean Bulletin, 1998(6):25.)

[13] 何建国,严华,贾金川,等. 不同氮肥管理对大豆生长及产量的影响[J]. 大豆通报,1999(1):11. (He J G, Yan H, Jia J C, et al. Effect of different nitrogen management on the growth and yield of soybean[J]. Soybean Bulletin,1999(1):11.)

[14] 戴建军,程岩. 黑龙江省南部黑土不同施氮水平对大豆产量的影响[J]. 东北农业大学学报,2000,31(3):225-228. (Dai J J, Cheng Y. The effect of nitrogen rates on yield of soybean planted in Black soil of Heilongjiang province[J]. Journal of Northeast Agricultural University,2000,31(3):225-228.)

[15] 甘银波,本佳婉. 不同氮肥管理对毛豆共生固氮及产量的影响[J]. 中国油料,1996,18(1):34-37. (Gan Y B, Ben J V. Effects of N fertilizer managements on N fixation and yield of two vegetable soybeans[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 1996,18(1):34-37.)