



## 氮肥与根瘤菌配施对南疆春大豆结瘤和生长的影响

胥雅馨, 徐 玥, 李 玲, 黄兴军, 王德胜, 吴全忠, 陈国栋, 翟云龙

(塔里木大学 植物科学学院, 新疆 阿拉尔 843300)

**摘 要:** 为了探讨最适合南疆地区的氮肥和根瘤菌配施方案, 设置 3 个施氮水平 ( $N_0: 0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ;  $N_1: 90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ;  $N_2: 180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) 与 3 种根瘤菌 (SMH12、T6 和 SN7-2) 拌种的田间试验, 研究主栽大豆品种新大豆 8 号结瘤情况、干物质积累及分配、产量及其构成因素对施氮及接种根瘤菌的响应。结果表明: 随着施氮量的增加, 根瘤数、根瘤干重、干物质积累量及产量均表现为先增加后下降; 不施用氮肥不利于大豆生长, 供应量过高影响大豆生长代谢、根瘤形成, 单施氮肥增产有限, 增产幅度为 9.41% ~ 14.24%。在相同施氮条件下, 接种根瘤菌可使植株各生长指标显著提高, 表现为  $\text{SN7-2} > \text{T6} > \text{SMH12} > \text{CK}$ , 施氮配合接种根瘤菌比仅施氮肥增产 11.5% ~ 46.3%。 $N_1$  处理接种 SN7-2 根瘤菌的效果最佳, 产量高达  $5\,115.3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 比 CK 增产 31.65%, 能明显提高大豆根瘤数、根瘤干重以及单株和各器官的干物质积累。施氮配合接种根瘤菌是提高南疆大豆结瘤生长和产量的有效措施。

**关键词:** 氮肥; 根瘤菌; 春大豆; 新大豆 8 号; 结瘤; 生长

## Effect of Nitrogen Fertilizer and Rhizobium Inoculation on Nodulation and Growth of Southern Xinjiang Spring Soybean

XU Ya-xin, XU Yue, LI Ling, HUANG Xing-jun, WANG De-sheng, WU Quan-zhong, CHEN Guo-dong, ZHAI Yun-long

(College of Plant Sciences, Tarim University, Alar 843300, China)

**Abstract:** In order to explore the most suitable scheme of nitrogen fertilizer and rhizobium in southern Xinjiang, three levels of nitrogen ( $N_0: 0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ,  $N_1: 90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ,  $N_2: 180 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) were combined with the three rhizobium (SMH12, T6 and SN7-2) of field trials. The nodulation, dry matter accumulation and distribution, and yield response of the main soybean variety of Xindadou 8 to nitrogen application and rhizobium inoculation were studied. The results showed that with the increase of nitrogen application, the number of nodules and their dry matter, dry matter accumulation and yield all increased firstly and then decreased. No nitrogen fertilizer applying was disadvantageous to soybean growth, too high supply also impacted soybean growth and nodule formation. Single application of nitrogen fertilizer had limited yield increase, with the yield increase range of 9.41% - 14.24%. The same nitrogen application conditions with inoculation of rhizobium could significantly improve plant growth indicators, showing as  $\text{SN7-2} > \text{T6} > \text{SMH12} > \text{CK}$ . Nitrogen application combined with rhizobium inoculation could increase yield by 11.5% - 46.3% compared with only nitrogen application.  $N_1$  treatment combined with inoculation of SN7-2 rhizobium had the best effect, the yield was  $5\,115.3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , which was 31.65% higher than CK, the number of nodules, dry weight of nodules, and the dry matter accumulation of individual plants and organs were significantly increased. In conclusion, nitrogen application combined with rhizobium inoculation is an effective measure to increase nodulation growth and yield of soybean in southern Xinjiang.

**Keywords:** Nitrogen fertilizer; Rhizobium; Spring soybean; Xindadou 8; Nodulation; Growth

大豆是需氮量较高的作物, 仅靠自身固氮作用, 不能满足大豆旺盛期和达到丰产对氮素的需求<sup>[1]</sup>。除了共生固氮和土壤源氮外, 氮素肥料是提高产量所必需的<sup>[2]</sup>。然而, 由于施氮量的不断增加及不合理地施用氮肥, 导致肥料利用效率逐年降低并带来相应的环境问题<sup>[3]</sup>。利用根瘤菌与豆科植

物的共生固氮体系能为豆科作物提供所需的氮素来源, 减少氮肥的施用量<sup>[4]</sup>。在幼苗期根瘤菌尚未与大豆建立共生固氮关系, 大豆所需氮素主要从土壤中获取, 其氮素供应能力有限, 少量施用氮肥能够促进大豆根系生长, 为根瘤菌的侵染和结瘤创造有利条件。因此, 在大豆固氮开始前施用氮肥是保

收稿日期: 2020-10-10

基金项目: 新疆生产建设兵团重点领域科技攻关项目 (2019AB022); 塔里木大学华中农业大学联合基金 (TDHNLH201705)。

第一作者: 胥雅馨 (1995—), 女, 在读硕士, 主要从事作物高产理论与技术研究。E-mail: 995828024@qq.com。

通讯作者: 翟云龙 (1979—), 男, 博士, 副教授, 主要从事作物高产理论与技术研究。E-mail: zylzky@163.com。

证大豆高产及氮肥高效利用的关键。

新疆地区大豆产量提高普遍依赖施用氮肥,氮肥虽能使大豆产量提高,但还应考虑氮肥对根瘤固氮的影响<sup>[5]</sup>。合理地施用氮肥可以促进根瘤形成和提高大豆固氮能力,但当外源氮素水平较高时,氮素会起到负面效应,氮肥过量施用会对根瘤形成有抑制作用,导致根瘤数目明显减少,降低大豆产量<sup>[6-7]</sup>。研究表明氮肥减施并接种根瘤菌有助于提高根瘤固氮效能、促进大豆氮素营养吸收与分配,进而提高大豆的产量<sup>[8-9]</sup>。梁福琴等<sup>[10]</sup>研究发现氮素与根瘤菌共同作用时,能使大豆的各项生理特性达到最大值,获得丰产。由此可知,在南疆地区合理施用氮肥结合有效接种根瘤菌剂对大豆结瘤和生长十分重要。然而目前关于南疆地区氮肥管理与根瘤菌接种模式对大豆结瘤、干物质积累及产量影响的相关研究较少。

本研究以新疆地区主栽品种新大豆8号为材料,为减少供试根瘤菌与土著根瘤菌之间的竞争,选用从阿拉尔垦区盐碱土中分离得到的3株根瘤菌,采用田间小区试验方式,探究不同施氮量及接种不同根瘤菌对主栽大豆品种新大豆8号根瘤固氮结瘤特性、干物质积累以及产量的影响,以期获得最佳施氮量和最优根瘤菌剂的组合,为南疆春大豆合理施用氮肥、接种根瘤菌提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试大豆品种为新大豆8号;供试菌株为阿拉尔垦区盐碱土中分离得到的根瘤菌SMH12、T6和SN7-2,由华中农业大学微生物国家重点实验室提供。

1.2 试验设计

试验于2019年在新疆阿拉尔市塔里木大学农学试验站(40°32'20"N,81°17'57"E)进行,试验地前茬作物为冬小麦。土壤质地为壤土,土壤有机质含量为7.81 g·kg<sup>-1</sup>、速效磷18.9 mg·kg<sup>-1</sup>、速效钾112 mg·kg<sup>-1</sup>、碱解氮33.4 mg·kg<sup>-1</sup>,pH7.8。

采用两因素随机区组试验设计,3次重复,小区面积16 m<sup>2</sup>。A因素为氮肥水平(折合纯氮):不施氮肥(N0:0 kg·hm<sup>-2</sup>)、减量施氮(N1:90 kg·hm<sup>-2</sup>)、常规施氮(N2:180 kg·hm<sup>-2</sup>,根据当地大豆的总施氮确定);B因素为接种根瘤菌:SMH12、T6、SN7-2、CK(清水拌种)。采用拌种方式接种根瘤菌,根瘤菌

由草炭吸附,加水搅拌均匀,加入粘附剂,制成拌种剂,对供试材料进行拌种,拌种后摊开置于阴凉处晾干,当天播种完毕,40 cm等行距播种,株距10 cm,留苗25万株·hm<sup>-2</sup>,于2019年4月24日人工点播,9月18日收获。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 根瘤数和根瘤干重 分别于大豆四节期(V4)、盛花期(R2)、盛荚期(R4)、鼓粒期(R6)取样。每个小区随机选取6株具有代表性的植株,采用传统挖掘法将大豆根部完整取出,从大豆子叶节处剪断,用清水缓慢冲洗,洗净后把水控干,将每株根部所有根瘤取下,记录根瘤数;105℃杀青30 min,80℃烘干至恒重,称根瘤干重。

1.3.2 大豆干物质 分别于大豆V4、R2、R4、R6和R8时期在每个小区随机取6株具有代表性的植株,将植株分为茎、叶和荚3部分(V4、R2期仅分茎、叶两部分,R8期仅分茎、荚两部分),不同器官分别装入信封,105℃下杀青30 min,80℃烘干至恒重,测定各部分干重。

1.3.3 大豆产量及产量构成因素 在R8期每个小区取中间2行1 m行长实收计产,同时取10株具有代表性的植株测定株高、主茎节数、单株荚数和粒数,大豆籽粒在65℃烘箱下烘干至恒重,测定百粒重。

1.4 数据处理

采用Excel 2010作图,用DPS 7.05软件统计分析试验数据。

2 结果与分析

2.1 施氮及接种根瘤菌对南疆春大豆结瘤的影响

2.1.1 根瘤数 对不同处理大豆根系结瘤数的统计结果详见表1,随着生育进程的推进,根瘤数不断增加,V4~R2期增长较为缓慢,R2~R4期增长迅速,到R6期达到峰值。施氮对根瘤的形成影响显著,V4~R2期,根瘤数随着施氮量的增加逐渐减少,表现为施氮抑制根瘤形成。到R4期氮肥对根瘤的抑制作用逐渐减弱,根瘤数随着施氮量的增加呈先逐渐增加又显著降低的变化趋势,表现为N1>N0>N2。N1处理的根瘤数最多,在R6期N1处理根瘤平均值达182.83个·株<sup>-1</sup>,分别较N0和N2处理增长13.91%和23.64%。表明施用一定量氮肥能够促进根瘤形成,但施氮过多会抑制根瘤形成和生长。

表 1 不同施氮水平下接种根瘤菌对大豆单株根瘤数的影响

Table 1 Effects of rhizobium inoculation under different nitrogen levels on nodule number per plant (个)

施氮量 Nitrogen amount	根瘤菌 Rhizobium	生长时期 Growth stage			
		V4	R2	R4	R6
N0	SMH12	2. 33 de	4. 50 c	127. 33 bc	142. 00 bc
	T6	28. 00 a	49. 25 a	92. 67 bc	144. 00 bc
	SN7-2	18. 33 b	36. 75 ab	137. 33 b	178. 33 ab
	CK	1. 67 def	2. 25 c	18. 00 de	74. 33 cd
N1	SMH12	0. 67 fg	1. 75 c	91. 33 bc	162. 33 abc
	T6	1. 00 efg	1. 25 c	218. 67 a	253. 67 a
	SN7-2	12. 33 c	29. 00 b	199. 33 a	235. 33 ab
	CK	3. 00 d	12. 25 c	68. 00 cd	80. 00 cd
N2	SMH12	—	—	—	—
	T6	—	—	—	—
	SN7-2	1. 33 efg	2. 50 c	22. 33 de	29. 67 d
	CK	—	—	—	—

同列数字后不同小写字母表示不同处理下差异在 5% 水平达显著水平。下同。  
Different lowercase in the same column mean significant difference at 5% level under different treatments. The same below.

接种根瘤处理菌均能不同程度增加根瘤数,接种 SMH12 时大豆根瘤数相对较少,接种 T6 和 SN7-2 能够显著促进大豆结瘤效果。新大豆 8 号 V4 和 R2 期不施氮肥条件下接种 T6 根瘤菌的单株结瘤数最多,分别为 28. 00 和 49. 25 个,与其它处理差异达到显著水平,到 R4 期后施氮量的增加对根瘤的抑制作用逐渐减弱,N1 处理下接种 T6 时根瘤数逐渐增加,到 R6 期单株根瘤数高达 253. 67 个。

2. 1. 2 根瘤干重 不同处理对大豆根瘤干重的影响如表 2 所示,根瘤干重与根瘤数变化趋势基本一致,随着生育进程的推进,根瘤干重逐渐增加,到 R6 期达到最大值。施氮对根瘤干重影响显著,根瘤干重随着施氮量的增加呈先增加后降低的趋势,N1 处理的单株根瘤干重最大,表现为 N1 > N0 > N2; N2 处理较 N0 处理低,均为 0. 01 g 以下。

表 2 不同施氮水平下接种根瘤菌对大豆单株根瘤干重的影响

Table 2 Effects of different rhizobium inoculation under different nitrogen levels on nodule dry weight per plant (g)

施氮量 Nitrogen amount	根瘤菌 Rhizobium	生长时期 Growth stage			
		V4	R2	R4	R6
N0	SMH12	0. 011 de	0. 019 bc	0. 499 bc	0. 585 bcd
	T6	0. 041 a	0. 042 ab	0. 389 bcd	0. 527 cd
	SN7-2	0. 011 de	0. 036 b	0. 512 bc	0. 879 ab
	CK	0. 011 de	0. 022 bc	0. 082 d	0. 394 de
N1	SMH12	0. 022 c	0. 001 c	0. 538 b	0. 645 bcd
	T6	0. 011 de	0. 002 c	0. 941 a	1. 141 a
	SN7-2	0. 030 b	0. 067 a	0. 679 ab	0. 798 bc
	CK	0. 016 cd	0. 012 bc	0. 366 bcd	0. 462 cde
N2	SMH12	—	—	—	—
	T6	—	—	—	—
	SN7-2	0. 006 ef	0. 015 bc	0. 137 cd	0. 146 ef
	CK	—	—	—	—

接种根瘤菌能显著增加根瘤干重,并且不同根瘤菌接种后的根瘤干重存在差异。在不施氮肥条件下,SN7-2 根瘤菌与大豆的匹配性较好,在 R6 期单株根瘤干重为 0.897 g,与清水拌种差异达到显著水平。在减量施氮条件下,在 V4 ~ R2 期,接种 SN7-2 能显著促进根瘤的发育,到 R4 ~ R6 期,T6 表现出较好的匹配性,较清水拌种差异达到显著水平,在 R6 期单株根瘤干重达 1.141 g,分别较 SMH12、T6 和清水拌种增加了 43.47%、30.06% 和 59.51%。常规施氮条件下,根瘤的形成及生长受到了抑制,仅在接种 SN7-2 根瘤菌时有根瘤形成。从整体看在 N1 施氮条件下接种 T6 或 SN7-2 均能促进根瘤的生长。

2.2 施氮及接种根瘤菌对南疆春大豆干物质积累及分配的影响

2.2.1 不同生育时期大豆干物质积累 不同施氮水平和接种根瘤菌对大豆干物质积累情况的分析结果如图 1 所示,施氮对干物质积累影响显著,不同施氮水平下干物质积累量随着施氮量的增加呈现先增长后下降的趋势。接种不同根瘤菌时均以 N1 处理下干物质积累量最高,N2 处理高于 N0 处理,表明氮的供应量与大豆干物质积累有着密切的关

系,施用氮肥能提高大豆干物质积累量,但施用过多的氮肥反而会使干物质积累量降低。

不同施氮条件下随生育期的推进干物质积累变化趋势基本一致,呈单峰曲线变化,生育前期干物质积累量较小,积累速率也较低,随着生育进程的推进,到 R6 期干物质达到最大值,生育后期由于叶片、叶柄脱落使,干物质逐渐减少,其增长速度总体呈现“慢-快-慢”的特点(图 1)。

接种根瘤菌能显著影响干物质积累,在不施氮肥条件下,接种根瘤菌能促进干物质积累,但与清水拌种差异未达到显著水平。在 N1 处理下,根瘤菌处理能显著增加干物质积累量,但各根瘤菌处理间差异不显著,接种 SN7-2 促进效果最明显,其次是 T6、SMH12,在 R8 期干物质积累量分别比 CK 增加 22.55%、13.57% 和 9.46%。在 N0 条件下,各根瘤菌处理干物质积累量表现为 SN7-2 > SMH12 > T6 > CK(图 1)。

以上研究结果表明通过减量施氮和接种根瘤菌均能维持大豆较高的干物质积累,为大豆高产稳产提供充足的物质条件,且在 N1 处理接种 SN7-2 根瘤菌干物质积累量增幅更高。

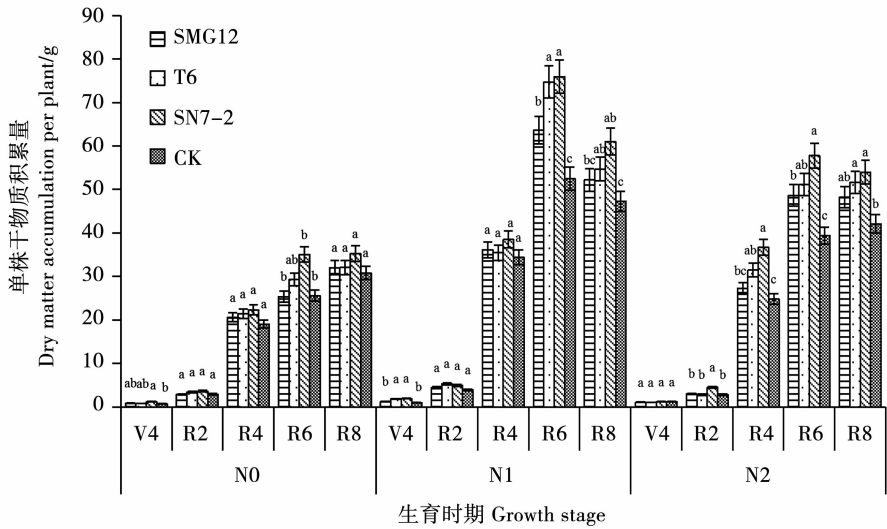


图 1 不同施氮水平下接种根瘤菌对不同生育时期大豆干物质积累的影响  
Fig. 1 Effects of rhizobia inoculation undr different nitrogen levels dry on matter accumulation of soybean at different growth stages

2.2.2 大豆不同地上部位干物质分配 如表 3 所示,随着生育进程的推进,R4 期大豆地上部干物质主要集中在叶片中;R6 期以后,大豆植株茎和叶片的干物质分配比率下降,荚果占干物质比例开始大幅度上升;到 R8 期,荚果的干物质占总量的 80% 左右。施氮影响大豆各器官的干物质积累量,随着施氮量的增加,各器官干物质积累量呈先增后降的变

化趋势(R8 期的茎除外),N1、N2 处理干物质积累量显著高于不施氮肥处理,减量施氮高于常规施氮。与 CK 相比,接种根瘤菌均能不同程度地增加各器官干物质积累量,总体表现为 SN7-2 > T6 > SMH12 > CK。

大豆不同器官中干物质的积累随生育期的推进呈不同变化趋势。茎秆干物质积累量 V4 ~ R8 期

呈先增加后下降的变化趋势;V4 ~ R2 期,在减施氮肥条件下接种 SN7-2 能显著增加茎秆干物质积累量;R4 ~ R6 期,各施氮处理间整体表现为 N1 和 N2 处理大于 N0 处理,R6 期时,N1 和 N2 分别较 N0 增加了 54% 和 9% ,接种根瘤菌处理较清水拌种茎秆干物质增加了 20. 12% ~ 31. 46% ;R8 期在常规施氮条件下茎秆干物质显著高于其他处理。V4 ~ R4 期,在减施氮肥条件下接种 T6 和 SN7-2 能促进叶片干物质积累量,与其它处理差异达显著水平;到 R6 期,在 N1 条件下接种 T6 根瘤菌能显著增加单株叶片干物质积累量,达到 26. 48 g,分别较 N1 条件下

接种 SMH12、SN7-2 和 CK 提高了 33. 45% 、14. 43% 和 26. 93% 。R4 ~ R8 期,荚果干物质呈不断增加的变化趋势。在 R4 期,各处理间荚果干物质差异不明显;R6 期以后各施氮处理间荚果干物质的大小顺序为 N1 > N2 > N0,各接种根瘤菌处理间荚果干物质表现为 SN7-2 > T6 > SMH12 > CK;R8 期,在 N1 条件下接种 SN7-2 时单株荚果干物质质量显著高于其他处理,平均达 46. 25 g(表 3)。说明减量施氮并接种根瘤菌有利于大豆各器官干物质的积累,促进营养器官干物质向籽粒转移,为大豆生殖生长奠定物质基础。

表 3 不同施氮水平下接种根瘤菌对不同生育时期大豆单株地上部干物质分配的影响

Table 3 Effects of rhizobia inoculation under different nirgen levels on shoot dry matter distribution of soybean plants at different growth stages

(g)

施氮量 Nitrogen amount	根瘤菌 Nodule bacteria	茎 Straw					叶 Leaf				荚果 Pod		
		V4	R2	R4	R6	R8	V4	R2	R4	R6	R4	R6	R8
N0	SMH12	0. 18 c	0. 49 c	4. 51 fg	3. 60 de	3. 37 c	0. 66 bed	2. 41 c	10. 94 c	8. 65 e	5. 14 abcd	13. 12 de	28. 67 f
	T6	0. 20 bc	0. 62 c	4. 23 g	3. 61 de	3. 42 c	0. 62 cd	2. 78 bc	11. 78 c	8. 72 e	5. 40 abcd	16. 95 ede	28. 64 f
	SN7-2	0. 24 bc	0. 74 bc	4. 95 efg	3. 26 e	3. 52 c	0. 94 bc	2. 89 bc	12. 23 c	8. 42 e	5. 16 abcd	23. 35 bc	31. 74 ef
	CK	0. 16 c	0. 60 c	4. 12 g	4. 44 cde	3. 41 c	0. 56 d	2. 33 c	11. 28 c	11. 45 e	3. 67 d	9. 68 e	27. 41 f
N1	SMH12	0. 25 bc	0. 75 bc	8. 11 abed	8. 67 ab	8. 01 b	1. 01 b	3. 68 ab	23. 31 a	17. 62 cd	4. 71 bed	37. 33 a	44. 2 bc
	T6	0. 40 a	0. 98 ab	8. 70 ab	8. 10 abc	7. 66 b	1. 47 a	4. 34 a	19. 87 ab	26. 48 a	6. 91 a	40. 16 a	47. 03 ab
	SN7-2	0. 48 a	1. 06 a	8. 25 abc	10. 28 a	7. 66 b	1. 47 a	3. 86 ab	24. 69 a	22. 66 b	5. 55 abcd	43. 01 a	53. 37 a
	CK	0. 23 bc	0. 76 bc	7. 57 bed	5. 40 bede	6. 88 b	0. 73 bed	3. 18 bc	22. 58 a	19. 35 c	4. 23 cd	27. 75 b	40. 39 bed
N2	SMH12	0. 23 bc	0. 52 c	6. 60 cde	7. 58 abcd	9. 38 a	0. 84 bed	2. 50 c	15. 71 bc	16. 17 cd	4. 98 abcd	24. 91 bc	38. 88 cde
	T6	0. 22 bc	0. 50 c	9. 59 a	7. 53 abcd	9. 72 a	0. 83 bed	2. 33 c	15. 98 bc	17. 58 cd	5. 88 abc	26. 05 b	41. 89 bc
	SN7-2	0. 21 bc	0. 70 bc	9. 67 a	8. 87 ab	9. 66 a	0. 97 bc	3. 81 ab	20. 43 ab	23. 64 ab	6. 62 ab	25. 26 bc	44. 34 bc
	CK	0. 28 b	0. 50 c	6. 31 def	5. 52 bede	8. 07 b	0. 92 bc	2. 32 c	14. 10 c	14. 47 d	4. 41 cd	19. 42 bed	34. 02 def

### 2.3 施氮及接种根瘤菌对南疆春大豆产量及其构成因素的影响

如表 4 所示,施氮及接种根瘤菌对大豆产量及其产量构成因素影响显著。随着施氮量的增加,产量呈先增加后降低的变化趋势,在 N1 条件下最高平均产量为4 253. 52 kg·hm<sup>-2</sup>,较 N0 处理增产 22. 44% ,较 N2 处理增产 11. 03% 。表明减量施氮并接种根瘤菌能有效增加大豆产量。在相同施氮量条件下,接种不同根瘤菌处理产量均高于 CK 处理,表明接种根瘤菌能显著增加大豆产量,且在减量施氮条件下接种 SN7-2 时产量最高,达到 5 115. 27 kg·hm<sup>-2</sup>。

进一步分析产量构成因素可知,N1 处理的株高均显著高于 N0 和 N1 处理,说明减量施氮对植株生

长有积极的促进作用;大豆主茎节数在 N0、N1、N2 处理下差异不显著,均为 11 节左右。随着施氮量的增加,单株荚数、单株粒数呈先增加后下降的趋势,说明施用适量的氮肥能够增加单株荚数和单株粒数。N1、N2 处理间百粒重无显著差异,但与 N0 处理差异显著,说明施用氮肥能够促进大豆百粒重的增加,从而为大豆增产稳产提供有力条件。在相同施氮量条件下接种不同根瘤菌均能增加单株荚数、单株粒数和百粒重,但各处理间无显著性差异。N1 处理下,接种 SMH12 和 SN7-2 时的单株荚数显著高于其它处理;N2 处理下,接种 SN7-2 时的单株荚数显著高于其它处理。接种不同根瘤菌处理间单株粒数和百粒重均无显著差异。

表 4 不同施氮水平下接种根瘤菌对大豆产量及其构成因素的影响  
Table 4 Effects of rhizobia inoculation under different nitrogen levels  
on the yield and its composition of soybean

施氮量	根瘤菌	株高	主茎节数	单株荚数	单株粒数	百粒重	产量
Nitrogen amount	Nodule bacteria	Plant height	Node number	Pod number	Seed number	100-seed	Yield
		/cm	of main stem	per plant	per plant	weight/g	/(kg·hm <sup>-2</sup> )
N0	SMH12	32.9 e	11.0 b	43.2 de	92.7 de	18.8 b	3403.9 bcd
	T6	41.8 cd	12.5 ab	44.8 cde	97.3 de	18.3 b	3343.1 cd
	SN7-2	36.7 de	12.5 ab	46.8 cde	108.1 cde	18.1 b	3450.9 bcd
	CK	44.8 bc	11.5 b	38.5 e	82.7 e	18.6 b	2998.4 d
N1	SMH12	49.5 abc	11.5 b	67.0 ab	150.2 ab	22.4 a	4461.0 ab
	T6	46.0 bc	11.8 b	50.4 cde	140.2 abc	23.0 a	3941.4 bcd
	SN7-2	51.3 ab	13.3 a	74.2 a	159.2 a	22.8 a	5115.3 a
	CK	56.3 a	11.8 b	53.9 bcd	136.1 abc	21.9 a	3496.4 bcd
N2	SMH12	43.8 bcd	12.3 ab	56.2 bcd	121.2 bcd	21.7 a	3600.4 bcd
	T6	46.1 bc	12.0 ab	58.5 bc	118.1 bcd	22.3 a	4036.1 bcd
	SN7-2	45.5 bc	12.5 ab	65.3 ab	121.8 bcd	21.8 a	4333.8 abc
	CK	54.5 a	12.3 ab	48.3 cde	95.1 de	21.2 a	3167.5 d

3 讨 论

氮素是植株生长发育中需要量最多的营养元素,也是限制大豆生长发育和产量形成的重要因素,其供应量过高影响大豆生长代谢和根瘤形成,导致产量降低<sup>[11]</sup>。施用一定量的氮肥能促进大豆植株生长,有利于大豆根瘤的形成和固氮能力的提高,高浓度化合态氮在早期根瘤形成阶段抑制根瘤菌对大豆根毛的侵染、降低根瘤数,不利于根瘤固氮效能的发挥<sup>[12]</sup>。在本研究中,随着生育进程的推进,根瘤数和根瘤干重逐渐增加,到 R6 期达到最大值。根瘤形成受外源氮素和根瘤菌影响很大,根瘤数和根瘤干重随着施氮量的增加呈先增加后显著降低的趋势,表明减量施氮有利于有根瘤的生长和形成,而过多的施用氮肥会抑制根瘤形成,这与沈润平等<sup>[13]</sup>的研究结果一致。氮素对作物生长发育和产量形成起着决定性的因素。干物质积累、分配和营养元素之间的关系是合理运筹氮肥的重要依据<sup>[14]</sup>。合理施用氮肥能够增加光合速率和呼吸作用,促进作物生长发育,增加植株地上部分干物质积累量,促进光合产物向籽粒转运,为大豆丰产创造物质保障<sup>[15-17]</sup>。也有研究认为,不合理的施氮会不利于植株生长,导致干物质积累和产量下降<sup>[18]</sup>。本研究表明,随着施氮量的增加,大豆干物质积累量、各器官干物质积累量呈先增长后下降的变化趋势,与前人研究观点一致<sup>[19]</sup>。前人关于施氮量对大豆产量及其构成因素影响的想法不一。有研究认

为,大豆单株荚数、粒数、百粒重随着施氮量的增加呈上升趋势,从而增加了大豆的产量<sup>[20-22]</sup>。也有学者认为,施氮能够显著提高作物产量,但增产效果随着施氮量的增加而逐渐降低,氮肥利用率下降,过量施氮会增加植物的呼吸强度,养分消耗过多,不利于植物的生长发育和产量的形成。也有学者认为,在低、中、高氮肥处理中,在中氮条件下,大豆生长较好<sup>[23]</sup>。本研究结果表明,随着施氮量的增加,大豆单株荚数、粒数、百粒重呈先上升后下降的变化趋势,在氮肥减施处理下效果最佳,平均产量高达 4 253.52 kg·hm<sup>-2</sup>,分别较不施氮肥和常规施氮提高 22.44% 和 11.03%。

豆科植物接种根瘤菌能保持种子和土壤中较多的根瘤菌存在,使根际快速定植,从而确保获得有效的结瘤和较高的产量<sup>[24]</sup>。姬月梅等<sup>[25]</sup>研究认为选择与大豆匹配性好、固氮能力高的根瘤菌,可以提高大豆的共生固氮效能,减少氮肥的施用量。诸多研究表明,接种根瘤菌可显著改善豆科作物的生长性能,增加大豆根瘤数、根瘤干重,提高共生固氮能力,但不同根瘤菌接种大豆效果有差异<sup>[26-28]</sup>。刘丽等<sup>[29]</sup>指出,接种根瘤菌与不接种相比有显著的增产效果,增产达 9.3% 以上。本研究中,T6、SN7-2 根瘤菌在共生固氮方面表现突出,能较好地促进根瘤形成。接种根瘤菌均能增加干物质积累量、单株荚数、粒数及产量,接种根瘤较清水拌种相比平均产量提高了 14.65% ~ 25.10%,但在常规施氮条件下接种根瘤菌对大豆干物质积累量及产量未表现

出显著影响,可能是由于过量的氮肥抑制了大豆根系根瘤形成。

合理地降低施氮量有利于根瘤菌与大豆的共生,通过共生固氮作用可以维持一定的供氮能力,施用少量氮肥并接种根瘤菌能使大豆植株维持良好的营养条件,是保证大豆产量提高的有效措施<sup>[30]</sup>。郑浩宇等<sup>[8]</sup>指出合理减施氮肥并接种根瘤菌有助于提高大豆籽粒干物质的积累,且各器官干物质积累量能维持一个较高的水平,从而有利于植株的生长及产量的提高。谢运河等<sup>[31]</sup>研究表明,使用大豆根瘤菌和减少施氮量能达到较高的大豆产量和质量水平,充分发挥根瘤菌的固氮作用既能对大豆产量产生增效作用,又能减少氮素的施用量,从而降低成本、减少污染。适宜的施氮量和接种根瘤菌能促进根瘤对氮素的固定及其在大豆体内的同化及转运,从而促进大豆对氮素的吸收,提高产量。本研究认为,在南疆盐碱条件下,减量施氮同时接种根瘤菌能够促进根瘤形成,增加各器官干物质的积累量,促进营养器官生物量向生殖器官转运,提高荚果的干物质分配比例,其中接种 SN7-2 根瘤菌时产量高达5 115.3 kg·hm<sup>-2</sup>。因此,在大豆耕种过程中适当减少施氮量及接种根瘤菌能显著增强根瘤固氮能力,提高干物质积累量,有效增加单株荚数、单株粒数,从而达到增产的效果。

## 4 结 论

研究表明施氮对大豆植株生长影响显著,适当施氮可以促进根瘤形成,但过高的氮素会抑制根瘤菌与大豆的结瘤共生。接种高效匹配的根瘤菌剂可以促进大豆的结瘤共生,增加大豆干物质积累,使大豆产量提高。在南疆盐碱条件下,氮肥减施结合根瘤菌接种能使大豆植株的各项指标达到最佳,在减量施氮条件下接种 SN7-2 根瘤菌最有利于新大豆 8 号根瘤共生和产量的提高。

## 参考文献

[1] Osborne S L, Riedell W E. Starter nitrogen fertilizer impact on soybean yield and quality in the northern Great Plains [J]. *Agronomy Journal*, 2006, 98(6): 1569-1574.

[2] Sij J W, Turner F T, Craigmiles J P. “Starter nitrogen”; fertilization in soybean culture [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1979, 10(11): 1451-1457.

[3] 袁光, 张冠初, 丁红, 等. 减施氮肥对旱地花生农艺性状及产量的影响 [J]. *花生学报*, 2019, 48(3): 30-35. (Yuan G, Zhang G C, Ding H, et al. Effect of reducing nitrogen fertilizer

application on agronomic traits and yield of peanut in dry land [J]. *Journal of Peanut Science*, 2019, 48(3): 30-35.)

[4] 马家斌, 于晓波, 吴海英, 等. 接种根瘤菌对西南地区大豆光合性能和固氮能力的影响 [J]. *中国油料作物学报*, 2020, 42(1): 102-108. (Ma J B, Yu X B, Wu H Y, et al. Effects of inoculation of different rhizobium on photosynthetic characteristics and nitrogen fixation of soybean [J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2020, 42(1): 102-108.)

[5] 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): 305-312.

[6] 宋秀丽. 不同氮肥施用量对大豆生长状况的影响 [J]. *黑龙江农业科学*, 2015(6): 39-43. (Song X L. Effect of different nitrogen fertilizer amount on the grown of soybean [J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2015(6): 39-43.)

[7] 孙文相, 张明聪, 刘元英, 等. 启动氮加追氮对不同密度大豆氮素吸收的影响 [J]. *大豆科学*, 2013, 32(4): 506-511. (Sun W X, Zhang M C, Liu Y Y, et al. Effects of starter-N plus top-dressing N on nitrogen absorption of soybean plants under different densities [J]. *Soybean Science*, 2013, 32(4): 506-511.)

[8] 郑浩宇, 黄炳林, 王孟雪, 等. 氮肥减施与接种根瘤菌对大豆光合与产量的影响 [J]. *大豆科学*, 2019, 38(3): 413-420. (Zheng H Y, Huang B L, Wang M X, et al. The effect of nitrogen fertilizer reduction and rhizobium inoculation on soybean photosynthesis and yield [J]. *Soybean Science*, 2019, 38(3): 413-420.)

[9] Spaink H P, Kondorosi A, Hooykaas P J J. The rhizobiaceae molecular biology of model plant-associated bacteria [M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1998.

[10] 梁福琴, 关大伟, 党蓓蕾, 等. 根瘤菌和氮素对大豆植株特性及产量的影响 [J]. *黑龙江农业科学*, 2017(8): 28-31. (Liang F Q, Guan D W, Dang B L, et al. Effect of rhizobium and nitrogen on plant characteristics and yield of soybean [J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2017(8): 28-31.)

[11] 乔云发, 苗淑杰, 韩晓增. 氮素形态对大豆根系形态性状及释放 H<sup>+</sup> 的影响 [J]. *大豆科学*, 2006, 25(3): 265-269. (Qiao Y F, Miao S J, Han X Z. Effects of nitrogen forms on the root morphology and proton extrusion in soybean [J]. *Soybean Science*, 2006, 25(3): 265-269.)

[12] 刘莉, 周俊初, 陈华癸. 不同化合态氮浓度对大豆根瘤菌结瘤和固氮作用的影响 [J]. *中国农业科学*, 1998, 31(4): 87-89. (Liu L, Zhou J C, Chen H K. The effect of different compound nitrogen concentration on the nodulation and nitrogen fixation in soybean [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 1998, 31(4): 87-89.)

[13] 沈润平, 王中孚, 郭进耀, 等. 氮磷钾营养对春大豆产量品质效应的研究 [J]. *江西农业大学学报*, 1998, 20(1): 53-57. (Shen R P, Wang Z F, Guo J Y, et al. Studies of the effect of NPK nutrients on the yield and quality of spring soybean [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 1998, 20(1): 53-57.)

[14] 倪丽, 章建新, 金加伟, 等. 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.)

[15] 韩晓增, 许艳丽, 王守宇. 营养元素对连作大豆减产的控制功能[J]. 中国油料作物学报, 2002, 24(2): 54-58. (Han X Z, Xu Y L, Wang S Y. Controlling function of nutrition element on soybean continuous cropping[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2002, 24(2): 54-58.)

[16] 张含彬, 伍晓燕, 杨文钰. 氮肥对套作大豆干物质积累与分配的影响[J]. 大豆科学, 2006, 25(4): 404-409. (Zhang H B, Wu X Y, Yang W Y. Effect of nitrogen fertilizer on the accumulation and distribution of dry matter in relay-planting soybean[J]. Soybean Science, 2006, 25(4): 404-409.)

[17] 刘小明, 雍太文, 苏本营, 等. 减量施氮对玉米-大豆套作系统中作物产量的影响[J]. 作物学报, 2014, 40(9): 1629-1638. (Liu X Y, Yong T W, Su B Y, et al. Effect of reduced N application on crop yield in maize-soybean intercropping system [J]. Acta Agronomica Sinica, 2014, 40(9): 1629-1638.)

[18] Peterson T A, Varvel G E. Crop yield as affected by rotation and nitrogen rate. I. Soybean[J]. Agronomy Journal, 1989, 81(5): 727-731.

[19] 吴魁斌, 戴建军, 赵久明, 等. 不同施氮水平对大豆产量及氮肥利用率的影响[J]. 东北农业大学学报, 1999, 30(4): 3-5. (Wu K B, Dai J J, Zhao J M, et al. Study on the influence of 15N-urearate on the yield and fertilizer utilization efficiency of soybean[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 1999, 30(4): 3-5.)

[20] 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.)

[21] 才艳, 郑殿峰, 冯乃杰, 等. 氮肥施用量对大豆生长动态及干物质积累的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2007, 19(2): 13-16. (Cai Y, Zheng D F, Feng N J, et al. Effect of nitrogen fertilizer on growth tendency, dry matter accumulation and distribution in soybean[J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 2007, 19(2):13-16.)

[22] 雍太文, 刘小明, 刘文钰, 等. 减量施氮对玉米-大豆套作体系中作物产量及养分吸收利用的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(2): 474-482. (Yong T W, Liu X M, Liu W Y, et al. Effects of reduced N application rate on yield and nutrient uptake and utilization in maize-soybean relay strip intercropping system [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(2): 474-482.)

[23] 雍太文, 董茜, 刘小明, 等. 施肥方式对玉米-大豆套作体系氮素吸收利用效率的影响[J]. 中国油料作物学报, 2014, 36(1): 84-91. (Yong T W, Dong Q, Liu X M, et al. Effect of N application methods on N uptake and utilization efficiency in maize-soybean relay strip intercropping system [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2014, 36(1): 84-91.)

[24] Deaker R, Roughley R J, Kennedy I R. Legume seed inoculation technology-a review[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36(8): 1275-1288.

[25] 姬月梅, 罗瑞萍, 赵志刚, 等. 接种根瘤菌对春大豆生长及产量的影响[J]. 种子, 2014, 33(11): 75-78. (Ji Y M, Luo R P, Zhao Z G, et al. Effect of rhizobium inoculation on the growth and yield of spring soybean[J]. Seed, 2014, 33(11): 75-78.)

[26] 王金生, 丁宁, 吴俊江, 等. 大豆根瘤菌接种效应及竞争结瘤能力分析[J]. 大豆科学, 2017, 36(5): 761-767. (Wang J S, Ding N, Wu J J, et al. Analysis of the inoculation effect of soybean rhizobia and the competitive nodulation ability [J]. Soybean Science, 2017, 36(5): 761-767.)

[27] 戴小密, 刘彦杰, 叶小梅, 等. 接种大豆根瘤菌(*Sinorhizobium fredii*)遗传工程菌株 LMG101 对大豆的增产效应[J]. 中国农业科学, 2003, 36(1): 66-70. (Dai X M, Liu Y J, Ye X M, et al. Soybean yield response to inoculation with genetically engineered strain LMG101 of *Sinorhizobium fredii* [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2003, 36(1): 66-70.)

[28] 马中雨, 李俊, 张永芳, 等. 大豆根瘤菌与大豆品种共生匹配性研究[J]. 大豆科学, 2008, 27(2): 221-227. (Ma Z Y, Li J, Zhang Y F, et al. Symbiotic matching between soybean rhizobium cultivars [J]. Soybean Science, 2008, 27(2): 221-227.)

[29] 刘丽, 马鸣超, 姜昕, 等. 根瘤菌与促生菌双接种对大豆生长和土壤酶活的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(3): 644-654. (Liu L, Ma M C, Jiang X, et al. Effect of rhizobia and PGPR co-inoculant on soybean characteristics and soil enzyme activities[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2015, 21(3): 644-654.)

[30] 申晓慧, 姜成, 张敬涛, 等. 不同施氮量对‘合农 60 号’大豆产量性状的影响[J]. 农学报, 2013, 3(6): 17-19. (Shen X H, Jiang C, Zhang J T, et al. The influences of different nitrogen on the soybean production of ‘Henong 60’ [J]. Journal of Agriculture, 2013, 3(6): 17-19.)

[31] 谢运河, 李小红, 王同华, 等. 玉米/大豆间作条件下根瘤菌与氮肥互作对大豆产量和品质的影响[J]. 作物杂志, 2011(4): 54-57. (Xie Y H, Li X H, Wang T H, et al. Interaction effects between nitrogen application and soybean rhizobium on yield and quality of soybean in the maize/soybean intercropping pattern[J]. Crops, 2011(4): 54-57.)