

大豆固氮能力和产量对施氮量的响应

严 君, 韩晓增, 王 影, 丁 娇

(中国科学院 东北地理与农业生态研究所/黑土区农业生态院重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150081)

摘 要:为量化不同生育时期氮肥施用量与大豆共生固氮能力和产量的关系,探索既不抑制大豆共生固氮能力,又能提高大豆产量的氮肥施用量,以黑农35为材料,采用盆栽试验,通过在V2、R1、R3和R5期施用不同量的氮肥,测定不同生育时期根瘤数量、干重和固氮酶活性及成熟期的产量,研究氮肥施用时期和施用量对大豆根瘤共生固氮能力和产量的影响。不同生育时期处理的大豆根瘤干重、数量和固氮酶活性大小在R6期均表现为 $V2 > R5 > R3 > R1$,且不同生育时期氮肥施用量与大豆根瘤干重、数量和固氮酶活性间均具有显著的线性负相关关系。不同生育时期处理的干物质积累量和产量在R6期均表现为 $R1 > R3 > V2 > R5$ 。V2、R1和R3期不同氮肥施用量处理,均显著地促进大豆生物量和产量的增加,而R5期不同氮肥施用量处理与CK处理间的生物量和产量差异不显著。不同生育时期处理均以施氮量 $225\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的生物量和产量最高。R1期是决定大豆固氮能力和产量高低的关键生育时期,不同生育时期对氮肥施用量的要求存在差异。

关键词:氮肥;根瘤;固氮能力;产量

中图分类号:S565.106

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2013)06-0778-08

Response of the Ability of N_2 Fixation and Yield to Nitrogen Application Rate in Soybean

YAN Jun, HAN Xiao-zeng, WANG Ying, DING Jiao

(Key Laboratory of Mollisols Agroecology, Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin 150081, China)

Abstract: In order to quantify the relationship between the nitrogen application rate and the ability of nitrogen fixation, and find the critical threshold of nitrogen application rate at different growth stage which could improve soybean yield and had no adverse effect on N_2 fixation ability. Pot experiment were conducted taking Heinong 35 as test material, total fertilizer N were applied at vegetative stage (V2), early bloom (R1), early pod (R3) and grain fill (R5), respectively, with five application rates ($0, 75, 150, 225, 300$ and $375\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), and the nodule number, biomass, nitrogenase activity and yield were determined. Nitrogen applied at different growth stage remarkably decreased nodule number, biomass and nitrogenase activity at R6 with an order of $V2 > R5 > R3 > R1$. There were significantly negative linear correlations between nodule number, biomass and nitrogenase activity and the nitrogen application rate. Moreover, the trends of dry matter accumulation and yield were expressed as an order of $R1 > R3 > V2 > R5$, among which nitrogen applied at V2, R1 and R3 had significant promoting effect. At each stage, the nitrogen application rate of $225\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ had the highest dry matter accumulation and yield. There was different threshold of nitrogen application rate at different growth stage, and R1 was the crucial stage to determine the ability of nitrogen fixation and yield.

Key words: Nitrogen fertilizer; Nodule; Nitrogen fixation; Yield

大豆生长发育所需要的氮素主要有3个来源——根瘤固氮、土壤氮和肥料氮。大豆依靠土壤氮和根瘤固氮能够满足其生长发育对氮素的需要^[1],但在生长发育后期往往会出现氮素供应不足的现象^[2-3],严重影响产量,因此需要施入一定量的氮肥。然而施用氮肥会对大豆共生固氮能力产生影响,因此协调好施氮与固氮的关系非常重要。

肥料氮对大豆共生固氮能力及产量的影响主要由氮肥的施用时期、方式、水平等因素决定。在不同生育时期施用氮肥对大豆固氮能力及产量的

影响存在差异。Starling^[4]和Taylor^[5]在Alabama地区的田间试验表明在营养生长前期施氮 $50\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,根瘤数量和干重均受到抑制,产量却有提高。Gan等^[6]在水培条件下研究表明V2期施氮 $50\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时大豆根瘤干重和数量较对照均有增加,且产量提高31.7%;而在V4或V6期施氮,则抑制根瘤的数量、干重的增加及产量的提高。大豆开花前期是大豆氮素营养的临界期,如果施氮不充分,大豆减产最多,相反则产量最高,而且这种效应在后期施氮难以补偿^[7]。Gan等^[6]研究表明在R1、

收稿日期:2013-07-13

基金项目:国家自然科学基金(41201246);国家重点基础研究发展计划“973计划”(2011CB100506)。

第一作者简介:严君(1982-),女,博士,主要从事植物营养研究。E-mail:yanjun985625@163.com。

通讯作者:韩晓增(1957-),男,博士,研究员,主要从事植物营养及土壤肥力的研究。E-mail:xzhan@neigae.hrb.ac.cn。

R3 和 R5 期施等量的氮肥均能提高根瘤数量、干重和产量。已有研究大多是有关在不同生育时期施用相同量氮肥对大豆生长、固氮及产量的影响,而对不同生育时期施用不同量的氮肥与大豆生物量、固氮及产量的量化关系的研究相对较少。因此,本文在我国肥力较高的东北高寒地区,选用当地主栽大豆品种,在 V2、R1、R3 和 R5 期分别施用不同量的氮肥,量化不同生育时期的氮肥施用量与大豆固氮能力及产量之间的关系,明确大豆共生固氮过程及能力对氮肥用量的响应情况,以期对大豆经济施肥和高产优质高效栽培提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

供试大豆品种为黑农 35。供试肥料为分析纯尿素(含 N46%)。供试土壤采自中国科学院东北地理与农业生态研究所院内长期连作大豆试验地 0~20 cm 耕层,土壤有机质 $46.73 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮 1.94% ,碱解氮 $108.53 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,pH6.64。将所采集的土壤经过晾晒、风干后,反复过 5 mm 筛,确保土壤肥力一致,过筛后装入 PVC 材料塑料小桶(直径×高:15 cm×20 cm),每桶装风干土 3 kg。

1.2 试验设计

试验于 2011 年在中国科学院东北地理与农业生态研究所培养场进行,采用盆栽试验。设 2 种供氮方式:①不供氮处理,即对照处理(CK);②一次供氮处理,即分别在大豆生长发育的 V2、R1、R3 和 R5 期前 5 d,每盆一次性施纯氮 0.16,0.32,0.48,0.64 和 0.80 g(相当于大田用量 75,150,225,300 和 $375 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,分别用 N1、N2、N3、N4 和 N5 表示)。其中 P、K 肥(KH_2PO_4 , $0.1 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$)每盆处理

一致,以种肥的形式施入。而尿素则是以水溶液的形式施入。随机区组排列,4 次重复。

于 2011 年 5 月 10 日播种,待子叶完全展开时,每桶保苗 2 株。大豆生长期定期灌水,保持田间含水量为 65% 左右。

1.3 测定项目与方法

分别于大豆主茎第 5 节复叶全展期(V5)、盛花期(R2)、盛荚期(R4)、满粒期(R6)取样,并于成熟期(R8)考种测产^[8]。将取回的大豆植株分为地上部(荚期、成熟期时豆荚与地上部分分开)、根系和根瘤 3 部分,其中新鲜根瘤一部分用于测定根瘤固氮酶活性^[9],另一部分与地上、根系及其他组织器官在 105°C 杀青 30 min,然后 80°C 烘干至恒重,测定干重。

1.4 数据分析

采用 Excel 2003, DPS 2000 对试验数据进行差异性分析。

2 结果与分析

2.1 根瘤生长及固氮能力

2.1.1 根瘤数量和干重 桑原真人等^[10]指出,氮肥对根侵染、瘤发育、固氮作用和类菌体蛋白均有抑制作用。大豆根瘤生物量和数量在不同生育时期随着施氮量的增加的变化趋势相似。由图 1 和图 2 可以看出,在 R4 期前 CK 处理的根瘤干重、数量均高于其他处理,而 R4 期后则以 V2 期 N1 处理的根瘤干重和数量高于其他处理,不同生育时期处理的根瘤干重和数量的平均值表现为 $V2 > R5 > R3 > R1$,以 R1 期施氮处理对根瘤的产生和形成抑制作用最大。根瘤干重和数量随着大豆生育时期的推进均在 R4 期达到最大值,之后开始下降。R6 期时, V2、R1、R3 和 R5 期施氮处理的根瘤干重平均值较

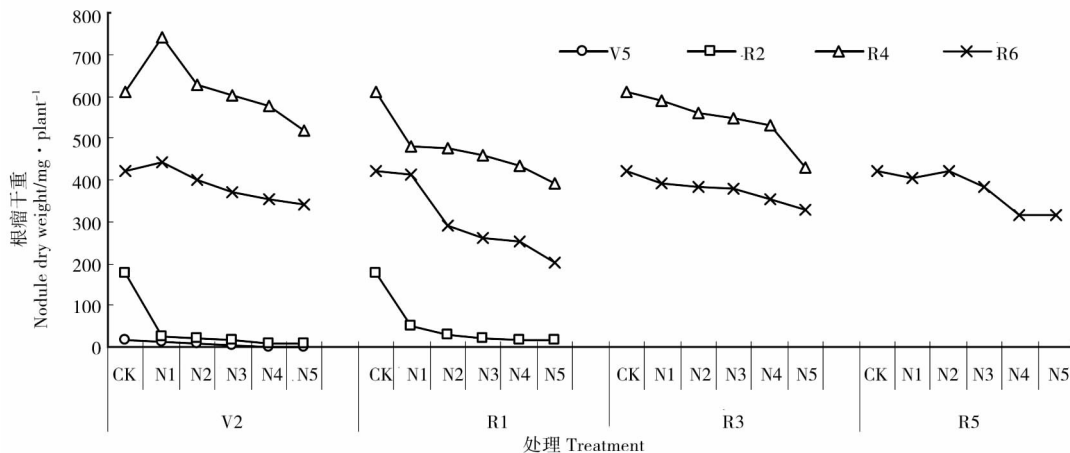


图 1 不同生育时期不同氮肥施用量对大豆根瘤干重的影响

Fig. 1 Effect of different N application rate and time on nodule dry weight

CK 处理分别下降 9.8%、33.0%、13.4% 和 13.2%；而根瘤数量则分别下降 10.8%、17.9%、16.9% 和 15.8%。不同生育时期根瘤干重和数量均随着施氮量的增加呈逐渐下降的变化趋势，即施氮量越大对根瘤干重和数量的抑制作用越大。施入的氮肥过多，土壤速效氮含量较高，大豆体内相当一部分碳水化合物

会用于合成氨基酸，而向根部输送的碳水化合物自然也就相对减少，从而不利于根瘤的产生和形成。宋海星等^[11]也指出，氮肥增加了叶片尤其是低节位叶片的含氮量，加强了叶中含氮化合物的代谢合成，从而减少了光合产物向根部的运输。

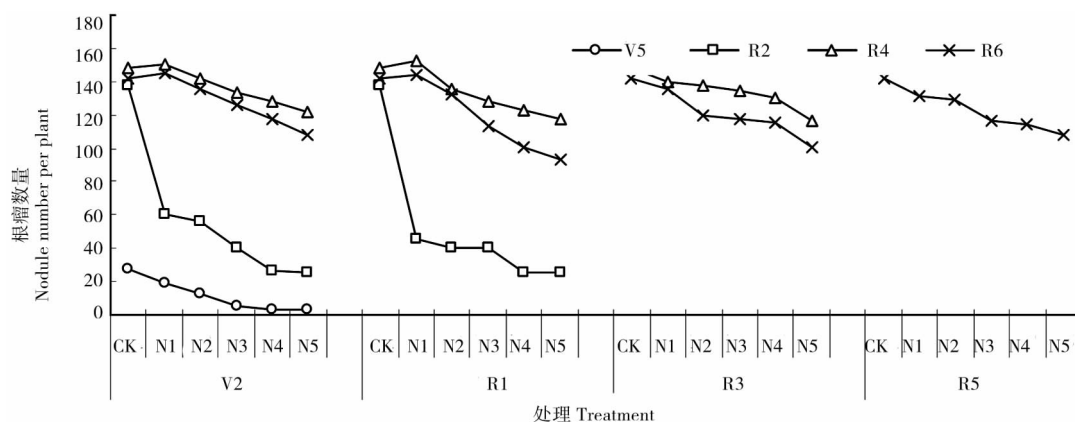


图2 不同生育时期不同氮肥施用量对大豆根瘤数量的影响

Fig.2 Effect of different N application rate and time on nodule number

2.1.2 根瘤固氮酶活性 根瘤固氮酶活性在大豆整个生育时期均以 CK 处理最高。不同生育时期处理的根瘤固氮酶活性的平均值表现为 V2 > R5 > R3 > R1 (图 3)，以 R1 期施氮处理对根瘤固氮酶活性抑制作用最大。从图 3 亦可看出，固氮酶活性的峰值出现在 R4 期，与根瘤干重和数量的变化趋势一致。R4 期不同生育时期施氮根瘤固氮酶活性平均值表现为 R1 > V2 > R3，这可能是由于前期施用大量的氮肥，影响了大豆幼苗的生长发育，进而影响了大豆的根瘤的产生和形成，且这种前期对幼苗的损害会影响大豆一生的生长发育。R6 期各处理根瘤固氮酶活性随着根系的衰老均下降，不同生育时期处理下固氮酶活性平均值表现为 V2 > R5 > R3 > R1。R1 和 R3 期施氮处理在 R6 期时的固氮酶活性

小于其他时期处理，表明这两个时期施氮，延迟了固氮酶活性的持续时间，有利于大豆植株氮素的积累，为获得高产奠定基础。R5 期施用氮肥对已形成根瘤的固氮酶活性亦有较大的影响，这可能是由于根瘤固氮酶活性已经开始随着根系的衰老有下降的趋势，加上施用氮肥又促进了大豆各组织氮素向籽粒的转移，从而固氮酶活性相对其他生育时期处理下降更多。

氮肥的施用量较施用时期对大豆根瘤干重、数量和固氮酶活性的影响作用大，R6 期时的根瘤干重、数量和固氮酶活性与不同生育时期氮肥施用量间均具有显著的线性负相关关系 (表 1)，即氮肥施用量越大对根瘤干重、数量和固氮酶活性的抑制作用越大。

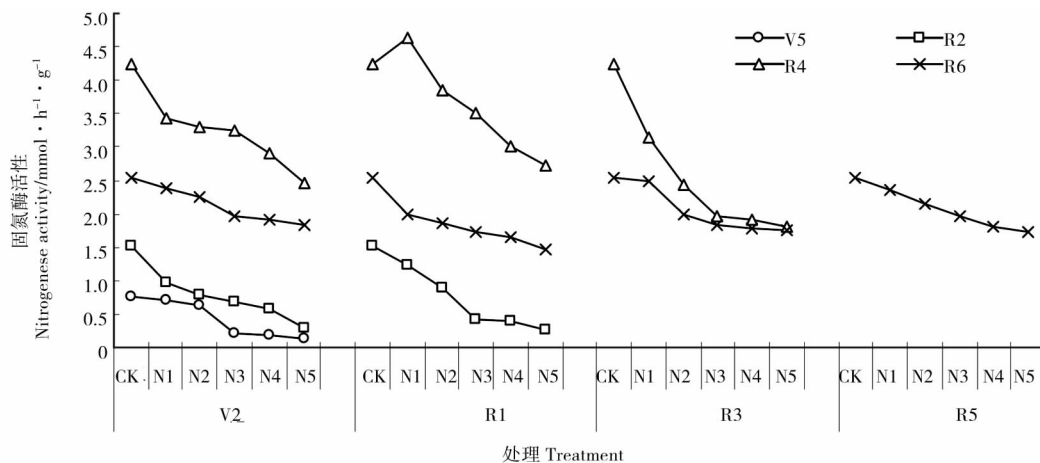


图3 不同生育时期不同氮肥施用量对大豆根瘤固氮酶活性的影响

Fig.3 Effect of different N application rate and time on nodule nitrogenase activity

表 1 不同生育时期氮肥施用量与 R6 期大豆根瘤干重、数量和固氮酶活性的相关性

Table 1 Correlation among nodule dry weight, number nitrogenase activity in R6 and N application rate

氮肥施用时期 N application time	根瘤干重 Nodule dry weight		根瘤数量 Nodule number		固氮酶活性 Nitrogenase activity	
	回归方程 Regression equation	R^2	回归方程 Regression equation	R^2	回归方程 Regression equation	R^2
V2	$y = -0.269\ 0x + 438.76$	0.872 *	$y = -0.099\ 4x + 147.81$	0.931 **	$y = -0.002\ 0x + 2.530\ 5$	0.961 **
R1	$y = -0.614\ 9x + 421.95$	0.907 **	$y = -0.149\ 7x + 148.90$	0.943 **	$y = -0.002\ 5x + 2.348\ 6$	0.879 **
R3	$y = -0.229\ 3x + 418.67$	0.953 **	$y = -0.102\ 9x + 141.29$	0.942 **	$y = -0.002\ 4x + 2.519\ 0$	0.857 *
R5	$y = -0.322\ 7x + 437.00$	0.811 *	$y = -0.089\ 1x + 140.05$	0.959 **	$y = -0.002\ 3x + 2.514\ 3$	0.986 **

n = 6; $r_{0.05} = 0.754$; $r_{0.01} = 0.874$.

2.2 大豆干物质积累量

CK 处理的地上干物质积累量在大豆整个生育时期均最低(图 4)。V2 期施氮 V5 期时大豆干物质积累量随着施氮量的增加较 CK 处理分别增加 2.4%、10.8%、13.3%、16.9% 和 19.3%,其中 N4 和 N5 处理的干物质积累量差异不大。R1 和 R3 期施氮处理的干物质积累平均值显著高于 V2 和 R5 期施氮处理,各生育时期均以 N3 和 N4 处理的干物质积累量最大,且与 CK 处理的干物质积累量差异显著,而过多施用氮肥,对大豆干物质积累量影响不显著。R1 期 N3 处理的干物质积累量,在 R2、

R4、R6 和 R8 期较 CK 处理分别增加了 31.6%、31.3%、18.4% 和 31.7%;R3 期 N3 处理随着生育时期的推进较 CK 处理的干物质积累量分别增加了 26.6%、19.1% 和 26.9%。R5 期不同量氮肥处理的干物质积累量与 CK 处理差异不显著,且过多施用氮肥干物质积累量低于 CK 处理。不同生育时期施氮大豆干物质积累量不同,其整体变化趋势表现为 R1 > R3 > V2 > R5,而不同施氮量处理以 N3 和 N4 处理的干物质积累量最大。综上,R1 期 N3 处理最有利于大豆干物质的积累。

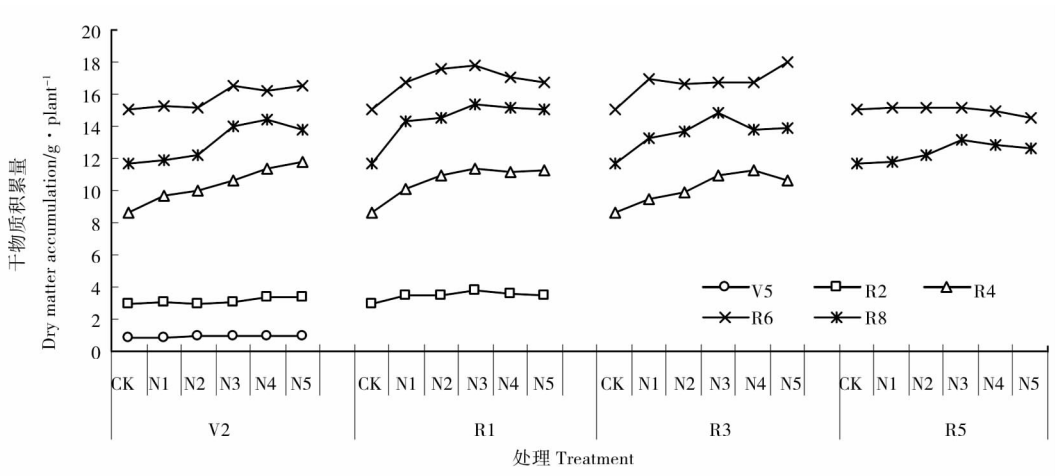


图 4 不同氮肥施用时期不同氮肥施用量对大豆干物质质量积累的影响

Fig. 4 Effect of different N application rate and time on dry matter accumulation of soybean

氮肥施用量较施用时期对大豆干物质积累量的影响作用大,不同生育时期氮肥施用量对大豆 R6 期干物质积累量的影响差异显著($P < 0.01$)。不同生育时期氮肥施用量与 R6 期大豆干物质积累量间

均具有二项式负相关关系(表 2),表明不同生育时期适量施氮均有利于大豆干物质的积累,而过多施氮则不利于大豆的生长发育。

表 2 不同生育时期及氮肥施用量与 R6 期大豆干物质积累量的相关性

Table 2 Correlation among dry matter accumulation at R6, N application rate and time

氮肥施用时期 N application time	回归方程 Regression equation	R^2
V2	$y = -0.000\ 001x^2 + 0.004\ 9x + 14.945$	0.788 *
R1	$y = -0.000\ 05x^2 + 0.023\ 1x + 15.180$	0.949 **
R3	$y = -0.000\ 007x^2 + 0.008x + 15.558$	0.667
R5	$y = -0.000\ 009x^2 + 0.002\ 2x + 15.037$	0.963 **

$n=6$; $r_{0.05}=0.754$; $r_{0.01}=0.874$.

2.3 大豆产量

由表 3 可知,不同生育时期施用不同量氮肥,对大豆产量的影响不同。CK 处理的大豆产量最低。不同生育时期处理下产量平均值表现为 $R1 > R3 > V2 > R5$, 其中 V2、R1 和 R3 期施氮均显著促进大豆产量的增加,与 CK 处理间差异显著,而 R5 期不同施氮量处理的产量与 CK 处理间差异不显著。施氮肥能显著增加大豆的产量,其中 N3 处理的产量显著高于其他处理。在 V2 和 R3 期施氮量达到 N3 处理时,

单株产量最高达 8.09 和 8.54 g,较 CK 分别增加了 15.6% 和 22.0%。R1 期以 N4 处理的单株产量最高,达 8.29 g,较 CK 增加了 18.4%。R5 期以 N5 处理的单株产量最高,达 7.71 g,较 CK 增加 10.1%。R1 期施氮各处理的产量均显著高于其他时期施氮处理,而 R5 期施氮各处理的产量平均值最小。不同生育时期氮肥施用量对大豆成熟期产量的影响差异显著 ($P < 0.01$)。除 R5 期施氮处理外,其他生育时期施氮与大豆产量间均具有显著的二项式负相关关系(图 5)。

表 3 不同生育时期不同氮肥施用量下大豆产量的变化

Table 3 Changes of soybean yield in different N application rate and time

处理 Treatment	V2	R1	R3	R5	方差分析 Variance analysis	
					$P(T)$	$LSD_{0.05}$
CK	7.00 ± 0.24 b	7.00 ± 0.24 b	7.00 ± 0.24 b	7.00 ± 0.24 a	ns	0
N1	7.13 ± 0.36 b	7.79 ± 1.32 b	7.98 ± 1.25 a	7.30 ± 0.83 a	ns	1.05
N2	7.39 ± 0.61 ab	7.88 ± 1.08 ab	7.96 ± 0.82 ab	7.02 ± 0.53 a	ns	0.94
N3	8.09 ± 0.96 a	8.07 ± 1.37 ab	8.54 ± 1.49 a	7.68 ± 1.04 a	ns	1.45
N4	8.08 ± 0.91 a	8.29 ± 0.61 a	8.49 ± 0.88 a	7.27 ± 0.62 a	<0.05	0.83
N5	7.92 ± 1.04 a	8.27 ± 0.84 a	7.93 ± 0.73 ab	7.71 ± 1.26 a	ns	1.16
方差分析 Variance analysis						
P(N)	<0.05	ns	<0.05	ns	—	—
$LSD_{0.05}$	0.78	1.11	0.98	0.92	—	—

同列不同小写字母表示差异显著性达 5% 水平;ns 表示差异不显著。

Different lowercase letters mean significant difference at 5% level;ns means no significant difference.

2.4 不同生育时期氮肥施用量与大豆共生固氮能力和产量的关系

不同生育时期氮肥处理下,大豆的产量和固氮酶活性的变化趋势不一致,随着土壤无机氮含量的升高,固氮酶活性均呈逐渐下降的变化趋势,而产量则呈逐渐上升的变化趋势。产量和固氮酶活性

交叉处的氮肥施用量,为既不抑制大豆固氮能力,同时又能提高大豆产量的氮肥施用量阈值。由图 6 可见,不同生育时期的临界氮肥施用量不同,V2 期为 $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;R1 期为 $0\sim75\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;R3 期为 $75\sim150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;R5 期为 $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

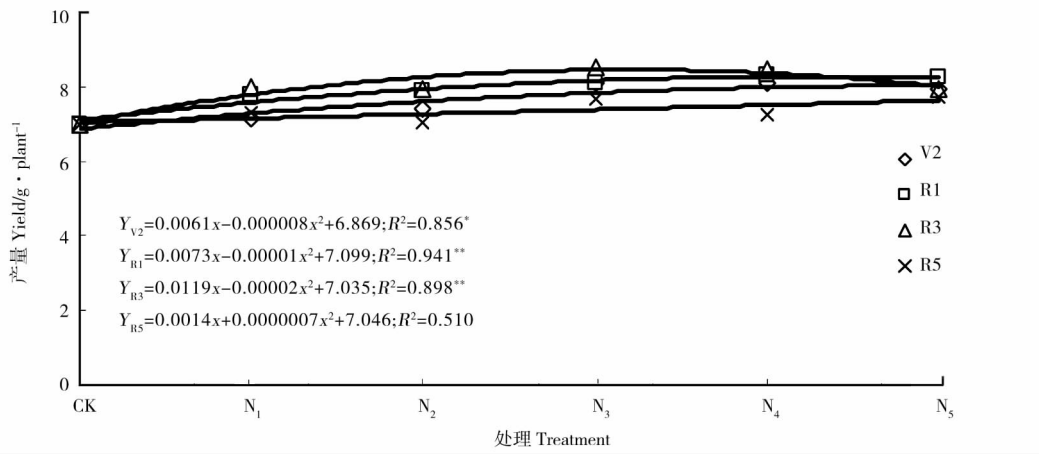


图 5 不同氮肥施用时期不同氮肥施用量与大豆产量的相关关系
Fig. 5 Correlation between N application rate,time and soybean yield

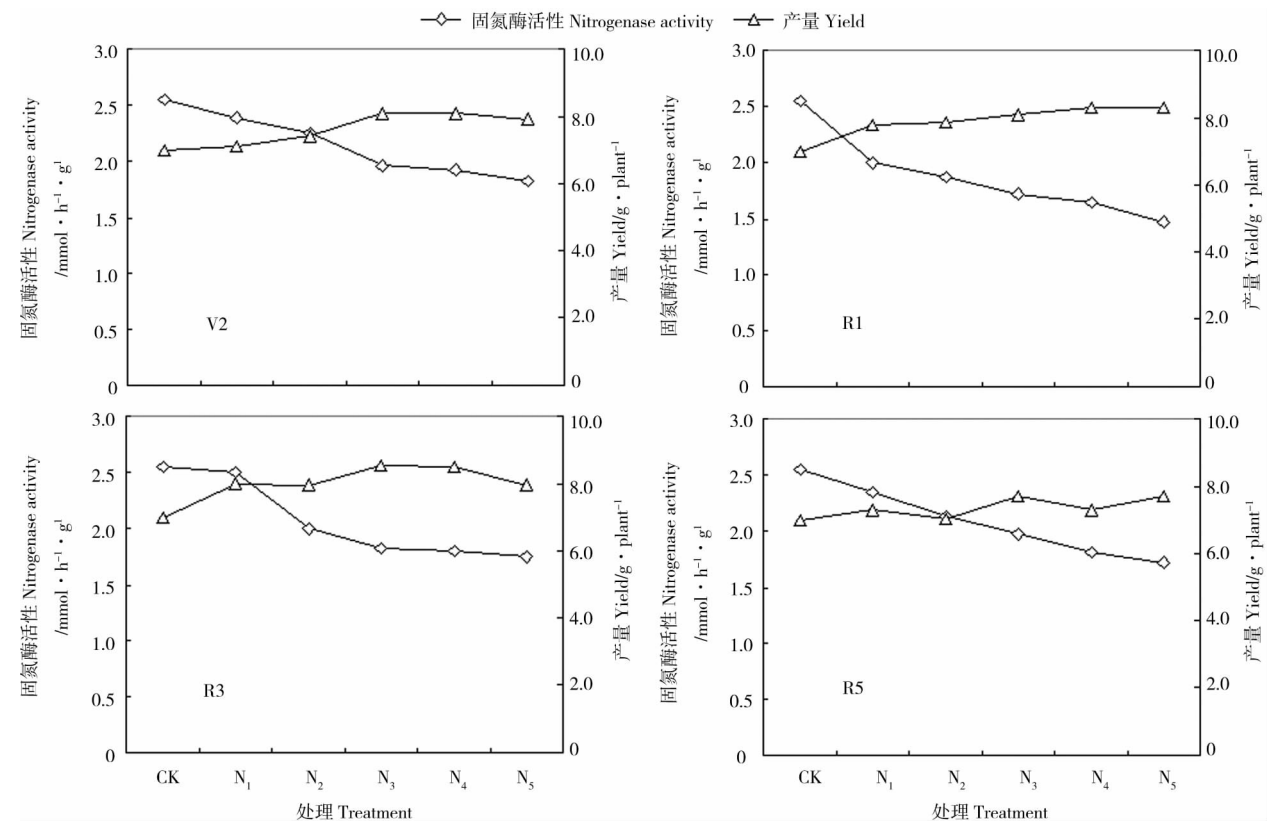


图 6 不同氮肥施用时期不同氮肥施用量下大豆固氮能力与产量的相关关系
Fig. 6 Correlation between the ability of N₂ fixation and yield with different N application rate and time

3 讨 论

3.1 施氮对大豆结瘤及固氮能力的影响

大豆出苗时根系吸收能力很弱,且此时正值根瘤自身形成发育阶段,因此该阶段补充氮素十分必要。藤田等^[12]研究表明,氮肥对固氮作用的影响主要表现在抑制根瘤的形成与生长,而对已形成根瘤的固氮过程的抑制作用相对较小,一般来说,土壤肥料氮对大豆共生固氮体系发育的抑制,在大豆生育前期表现较重,随着生育进程而趋向减轻,乃至

恢复正常水平。Marshner^[13]报道,在播种前施用适量的氮肥,能够促进根瘤的产生和形成,对大豆的生物固氮亦无显著负作用。Gan 等^[6,14]研究表明,V2 期施氮能增加 R1 期的根瘤干重。本试验亦有相同的变化趋势,V2 期 N1 处理在 R6 期时的根瘤干重、数量和固氮酶活性较对照分别增加4.96%、2.11%和 -6.27%。而 Starling 等^[4]研究表明,播前施氮 50 kg·hm⁻²根瘤数量较不施氮处理下降 18%,根瘤干重下降 34%。本研究表明 V2 期不同氮肥用量处理使 R6 期根瘤干重较对照平均下降 9.8%,根

瘤数量下降 10.8%, 固氮酶活性下降 18.9%。

在大豆开花结荚直到始粒期追施氮肥对于提高大豆根瘤固氮活性, 延缓根系衰退及增加植株氮素积累均有很大的促进作用。Gan 等^[6,14]研究表明, R1、R3 和 R5 期施氮供试大豆品种的根瘤干重均显著低于对照处理和 V2 期施氮处理。Hungria 等^[15]研究表明, R2 或 R4 期施氮 50 kg · hm⁻² 根瘤数量和根瘤干重均低于对照处理。而 Beard 和 Hoover^[16]研究表明, R2 期施氮对根瘤数量无显著的抑制作用。本研究表明 R1、R3 和 R5 期施氮根瘤干重、数量和固氮酶活性均低于对照, 且以 R1 期施氮对根瘤的产生和形成抑制作用最大。不同生育时期根瘤数量、干重和固氮酶活性均随施氮量的增加而逐渐下降。

3.2 施氮对大豆生物量及产量的影响

有关施氮对大豆产量的影响说法不一。有研究表明大豆施氮可以增产, 特别是在生长季节短、播种时土壤温度低、结瘤慢的地区, 这主要是由于在低温条件下, 土壤养分有效性差, 速效氮肥可促进植株前期的发育, 弥补根瘤固氮的不足^[17-20]。而多数美国学者的试验结果则认为大豆施氮不增产或增产不显著, 主要是由于施氮后植株 C/N 比减小, 供给根瘤的碳水化合物减少影响根瘤的发育和功能^[21-22]。

氮肥施用时期是决定大豆产量高低的关键性因素^[14]。本研究表明, 氮肥在 R1 和 R3 期施用有利于大豆干物质量的积累和产量的提高; 而相同量的氮肥在 R3 或 R5 期施用效果无显著差异。Gan 等^[6,14]通过盆栽和田间试验均表明, 在 V2 或 R1 期施氮能显著提高大豆的总生物量和产量, 且基肥和营养期施氮有利于豆荚的形成。Iwata 和 Utada^[7]通过在不同时期施用氮肥的砂培试验表明, 在开花前 14~21 d 不同氮素处理使大豆减产最多, 而此前一个月或者开花后两周内不供氮则未引起较大的减产。Watababe 等^[3]报道, 大豆开花期施用适量的氮肥, 不仅能加强植株的光合作用, 增加植株对氮素的吸收, 而且能促进种子的形成和发育。Hashimoto^[23]在开花期供给大豆植株以不同浓度的氮 (0, 44, 100 μg · g⁻¹), 结果每株花数较对照增加 13.7% 和 37.3%, 荚数则分别增加 9.9% 和 28.5%。开花期缺氮的植株, 其干物重、花数和荚数分别约为不缺氮植株的 80%、88% 和 67%^[24]。Imsande^[25]研究表明, 鼓粒期施氮能增强根瘤固氮能力, 促进植株对氮素的吸收, 并最终使籽粒产量提高 13.5%。李小为^[26]研究表明在大豆生长后期施氮肥利于干物质积累, 能获得明显的增产效果。倪丽等^[27]试验表明, 在产量形成的关键时期施用氮肥, 能促进干物

质向荚粒中分配, 利于产量的形成。

本研究表明不同生育时期均以 N3 和 N4 处理有利于大豆干物质量的积累, 过量 (N5) 或少量 (N1 和 N2) 的施氮亦有利于大豆的生长, 但与对照无显著差异。

参考文献

- [1] Harper J E. Soil and symbiotic nitrogen requirements for optimum soybean production[J]. Crop Science, 1974, 14: 255-260.
- [2] Sinclair T R, de Wit C T. Analysis of the carbon and nitrogen limitations to soybean yield[J]. Agronomy Journal, 1976, 68: 319-324.
- [3] Watanabe I, Tabuchi K, Nakano H. Response of soybean to supplemental nitrogen after flowering [M]//Shanmugasundaram S, Sulzberger E W, Mclean B T. Proceedings of the symposium on soybean in tropical and subtropical cropping systems [J]. Tsukuba, 1983: 301-308.
- [4] Starling M E, Wood C W, Weaver D B. Starter nitrogen and growth habit effects on late-planted soybean[J]. Agronomy Journal, 1998, 90: 658-662.
- [5] Taylor R S, Weaver D B, Wood C W, et al. Nitrogen application increases yield and early dry matter accumulation in late-planted soybean[J]. Crop Science, 2005, 45: 854-858.
- [6] Gan Y B, Ineke S, Herman van K, et al. Effect of N fertilizer top-dressing at various reproductive stages on growth, N₂ fixation and yield of three soybean (*Glycine max* L. Merr.) genotypes[J]. Field Crops Research, 2003, 80: 147-155.
- [7] Iwata M, Utada A. Effect of nitrogen supplied in various growth stages on the growth and yield of several vegetable crops[J]. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 1968, 37: 57-66.
- [8] Fehr W R, Canvins S, Burmood D T, et al. Stage of development descriptions for soybean *Glycine max* (L.) Merrill [J]. Crop Science, 1971, 11: 929-931.
- [9] Tang C, Hinsinger P, Drevon J J, et al. Phosphorus deficiency impairs early nodule functioning and enhances proton release in roots of *Medicago truncatula* L [J]. Annals of Botany, 2001, 88: 131-138.
- [10] 桑原真人. タイズの多収条件と窒素代謝(2) [J]. 农业および园艺, 1986, 61: 590-598. (Setiyono. Environment conditions and nitrogen metabolism of soybean [J]. Journal of Agronomy and Horticulure, 1986, 61: 590-598.)
- [11] 宋海星, 王萍, 申斯乐, 等. 大豆共生固氮与叶片全氮含量之间关系的研究 [J]. 吉林农业科学, 2000, 25 (6): 9-11. (Song H X, Wang P, Shen S L, et al. Study on the relations between commensally nitrogen fixation and the total nitrogen content of leaves in soybean [J]. Jilin Agricultural Sciences, 2000, 25 (6): 9-11.)
- [12] 藤田耕之辅. タイズおよびレンクの生育をりにに窒素の固定に対する化合態窒素や炭酸力スの影响 [J]. 土壤肥料学杂志, 1986, 57: 3-12. (Takahasuki. Chemical nitrogen on nitrogen fixation, absorption and transfer of soybean [J]. Jorunal of Soil and Fertilizer, 1982, 53: 30-34.)
- [13] Marschner H. Mineral nutrition of higher plants [M]. London: Academic Press, 1986.
- [14] Gan Y B, Ineke S, Posthumus F, et al. Effects of N management on growth, N₂ fixation and yield of soybean [J]. Nutrent Cycling in

- Agroecosystems, 2002, 62: 163-174.
- [15] Hungria M, Franchini J C, Campo R J, et al. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: contributions of biological N_2 fixation and N fertilizer to grain yield[J]. Canadian Journal of Plant Science, 2006, 86: 927-939.
- [16] Beard B H, Hoover R M. Effect of nitrogen on nodulation and yield of irrigated soybeans[J]. Agronomy Journal, 1971, 63: 352-356.
- [17] Tancogne M, Bouniols A, Wallace S U, et al. Effect of nitrogen fertilization on yield component distribution and assimilate translocation of determinate and indeterminate soybean lines[J]. Journal of Plant Nutrition, 1991, 14: 963-973.
- [18] Takahashi Y, Chinushi T, Nakano T, et al. Evaluation of N_2 fixation and N absorption activity by relative ureide method in field-grown soybean plants with deep placement of coated urea[J]. Soil Science & Plant Nutrition, 1992, 38: 699-708.
- [19] Sharma R A. Efficient water use and sustainable production of rain-fed soybean and safflower through conjunctive use of organics and fertilizer[J]. Crop Research, 1992, 5: 181-194.
- [20] Purcell L C, King C A. Drought and nitrogen source effects on nitrogen nutrition, seed growth and yield in soybean[J]. Journal of Plant Nutrition, 1996, 19: 969-993.
- [21] Koutroubas S D, Papakosta D K, Gagianas A A. The importance of early dry matter and nitrogen accumulation in soybean yield[J]. European Journal of Agronomy, 1998, 9: 1-10.
- [22] Seneviratne G, van Holm L H J, Ekanayake E M H G S. Agronomic benefits of rhizobial inoculant use over nitrogen fertilizer application in tropical soybean[J]. Field Crops Research, 2000, 68: 199-203.
- [23] Hashimoto K. The significance of nitrogen nutrition to the seed yield and its relating characters of soybeans-with special reference to cool summer injury[J]. Research Bulletin of Hokkaido National Agricultural Experiment Station, 1976, 114: 1-87.
- [24] Konno S. Physiological study on the mechanism of seed production of soybean plant. II. Effect of nutrient element deficiency during the pod filling stage on chemical composition and seed production[J]. Proceedings of the Crop Science Society of Japan, 1969, 38: 700-705.
- [25] Imsande J. Interrelationship between plant developmental stage, plant growth rate, nitrate utilization and nitrogen fixation in hydroponically grown soybean[J]. Journal of Experimental Botany, 1988, 39: 775-785.
- [26] 李大为. 大豆生长中土壤与肥料的功能作用[J]. 大豆通报, 2004(4): 20-21. (Li X W. The function of soil and fertilizer in soybean growth[J]. Soybean Bulletin, 2004(4): 20-21.)
- [27] 倪丽, 章建新, 金加伟. 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. 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.)

新书推介

水稻植质钵育机械化栽培技术体系研究



作者:汪春
出版时间:11/1/2013
页码:248
装帧:圆脊精装
定价:128

作者简介:汪春教授 延寿县人,博士,黑龙江八一农垦大学博士生导师,黑龙江省重点学科农业工程带头人梯队带头人,国务院特殊津贴及全国“五一”劳动奖章获得者;多年来主持国家级课题5项、省部级课题10项,课题鉴定15项,获得各级奖

励8项,其中黑龙江省科学技术进步奖一等奖2项(第1名)、三等奖2项(第1名),全国农牧渔业丰收奖一等奖1项(第1名),神农中华农业科技奖三等奖1项(第1名);获得专利22项,其中发明专利4项;出版专著2部,在国际学术交流会上发表论文3篇,在国内期刊上发表论文40余篇,其中EI收录12篇;曾获得全国先进工作者、全国农业科技推广标兵、全国农业机械化与设施农业工程技术专家库专家、黑龙江省垦区优秀专家、黑龙江省数字化农业研究领域首席

专家、黑龙江省第八届劳动模范、第三届黑龙江省青年科技奖等荣誉称号。

内容简介:水稻植质钵育机械化栽培技术是为解决目前中国水稻生产中遇到的一系列问题而开发的一种新型水稻栽培模式。《水稻植质钵育机械化栽培技术体系研究》汇集了有关该项技术多年来的研究成果,详细介绍了水稻植质钵育秧盘模具开发、制备工艺及参数优化,以及水稻植质钵育秧盘蒸汽干燥理论研究及其装置与工艺开发;水稻植质钵育秧盘播种机相关理论与装置开发;水稻植质钵育栽秧机—改进;水稻植质钵育秧盘产业化实现及在水稻移栽上的综合利用与效益分析,各环节相互衔接,构建成熟的水稻植质钵育机械化栽培技术体系。水稻植质钵育机械化栽培技术的推广应用对中国粮食安全起着重要的保障作用,对提高中国水稻生产水平具有重要意义。

编辑推荐:水稻植质钵育机械化栽培技术是一种新型水稻栽培技术,对提高中国水稻生产水平具有重要意义。本书从其秧盘制备工艺及参数优化、蒸汽干燥装置开发、播种机装置开发等方面进行了系统阐述,可使读者对其有全面的了解,有很高的阅读和应用价值。解,有很高的阅读和应用价值。