

启动氮加追肥对氮在大豆体内积累分配规律及产量的影响

罗翔宇,董彦明,刘志远,孙文相,罗盛国,刘元英

(东北农业大学 资源与环境学院,黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要:采用框栽试验方法,在施用等量氮(纯N 50 kg·hm⁻²)条件下设置基肥一次性施用(对照);R3或R4期一次性追肥;启动氮15 kg加R3或R4期追氮35 kg共5个处理,研究启动氮加追肥对氮在大豆体内积累分配规律及产量的影响。结果表明,在R5期,与对照相比,启动氮15 kg加R4期追氮35 kg处理叶片N积累量减少11.5%,荚果N积累量增加36.6% ($P < 0.05$);而根系N积累量增加21.7% ($P < 0.05$),根瘤N积累量增加64.2% ($P < 0.05$),表明启动氮加追肥处理N运转通畅,可以满足籽粒充实期大豆对氮素的需求。在R4~R8期,启动氮加R3或R4期追氮处理的氮积累量分别比基肥一次性施用处理增加82.6%和105% ($P < 0.01$)。启动氮加R3或R4期追氮35 kg处理单株粒数分别较对照增加14.8%和15.8% ($P < 0.01$),产量分别增加17.6%和19.9% ($P < 0.01$)。大豆植株R4~R8期氮积累量与产量呈极显著正相关($r = 0.795^{**}$),提高结荚鼓粒期后大豆氮素积累量是增加大豆产量的关键。

关键词:大豆;启动氮;根系;氮积累;氮分配

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2012)03-0443-06

Nitrogen Accumulation, Distribution and Yield of Soybean as Affected by Starter-N plus Topdressed N

LUO Xiang-yu, DONG Yan-ming, LIU Zhi-yuan, SUN Wen-xiang, LUO Sheng-guo, LIU Yuan-ying

(College of Resources and Environmental Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, Heilongjiang, China)

Abstract: In order to get a better understanding of the effects of starter-N plus topdressed N on N accumulation, distribution and yield of soybean, a pot experiment was conducted with 5 different N application times under the rate of N 50 kg · ha⁻¹: all N as basal fertilizer (A), all N as topdressing at R3/R4 stage (B, C), N 15 kg as basal fertilizer and 35 kg as topdressing at R3/R4 stage (D, E). Results are shown as follow: at R5 stage, N accumulation (NA) in leaves of E was 11.5% lower than A, yet NA in nodules of E was 36.6% greater than A, suggesting that a smooth N transportation was ensured by E. NA in roots and pods of E were 21.7% and 64.2% greater compared to A ($P < 0.05$) respectively, indicating that N demand of seeds after R5 stage could have been met by starter-N combined with topdressing. NA in whole plant of D and E was 82.6% and 105% greater than A ($P < 0.01$) respectively at R4-R8 stages. There was a significant positive correlation between NA in R4-R8 stages and soybean yield ($r = 0.795^{**}$), and the improvement of NA after R4 stage was very important in achieving soybean yield potential. Seeds per plant of D and E was 14.8% and 15.8% greater than A ($P < 0.01$), respectively, and yield of D and E was 17.6% and 19.9% greater than A ($P < 0.01$), respectively.

Key words: Soybean; Starter-N; Root; N accumulation; N distribution

氮肥在其它作物上的增产效果已得到了广泛的证实^[1-3],但对大豆而言,施用氮肥与增产间是否存在必然联系依然存在较大争议。一些学者研究指出,在高产和低产条件下施用氮肥对大豆产量都没有显著的影响^[4-7]。丁洪等^[8]指出,施氮可以改善大豆植株主要农艺性状,增加籽粒产量,但不同施氮量的增产效果有较大差别。Sij等^[9]提出,在播种时施入少量的“启动氮”可以刺激和促进植株的早期生长。

前人关于启动氮加追肥对大豆产量和氮在大豆体内积累与分配的影响已进行了相关研究^[10-11],但对大豆根系和根瘤中含氮量和氮积累的研究还鲜有报道。本试验在框栽条件下,研究启动氮加追肥处理对不同生育期大豆各器官,尤其是根系、根瘤中含氮量和氮素积累的影响,揭示启动氮加追肥处理下大豆不同生育期氮在各器官中的分配规律,以期为大豆高产栽培中氮肥合理施用提供理论依据。

收稿日期:2012-04-08

基金项目:黑龙江省优势农产品生产与加工研发平台产业化项目(GJPT006-2);哈尔滨市科技攻关计划项目(2008AA6CN040)。

第一作者简介:罗翔宇(1988-),男,在读硕士,研究方向为作物养分管理。E-mail: icyblueitsheart@126.com。

通讯作者:刘元英(1954-),女,教授,博士生导师,从事作物养分管理研究。E-mail: yuanyingL@163.com。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2010年5~10月在东北农业大学香坊试验站进行。试验所用土壤为黑土,有机质含量 $30.3\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全氮 $1.32\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全磷 $0.84\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷 $69.42\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 $205\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,缓效钾 $1\ 055.7\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,pH值6.78。试验所用大豆品种为绥农28,肥料为尿素(N 46%),硫酸钾(K_2O 50%),重过磷酸钙(P_2O_5 46%)。

试验采用高27 cm,直径24.4 cm的聚乙烯框,每框装土11 kg。5月16日播种,每框保苗3株。试验设5个处理,16次重复,各处理N、P、K施用量均相同,分别为 $\text{N } 50\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, $\text{P}_2\text{O}_5\ 40\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, $\text{K}_2\text{O } 50\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,折合每框施肥量为:尿素1.02 g,重过磷酸钙0.82 g,硫酸钾0.94 g。各处理氮肥施用时期和施用量见表1。

表1 各处理施氮时期和施用量

Table 1 N application amount and time

处理 Treatment	施氮量 N amount/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$		
	基肥 Basal	R3 追肥 Topdressing at R3	R4 追肥 Topdressing at R4
N_{50} (A)	50	-	-
$\text{N}_{50}\text{R3}$ (B)	-	50	-
$\text{N}_{50}\text{R4}$ (C)	-	-	50
$\text{N}_{15+35}\text{R3}$ (D)	15	35	-
$\text{N}_{15+35}\text{R4}$ (E)	15	-	35

分别于盛花期(R2)、盛荚期(R4)、始粒期(R5)、满粒期(R6)和完熟期(R8)取样,R2~R6期每个处理取3次重复测定干物重和氮含量,完熟期取4次重复考种测产并测定干物重和氮含量。

每次取样时将框子整体挖出,用水冲去土壤,保留完整根系,将植株由子叶痕处剪断,分为地上与地下部,R2~R6期将根瘤从根系上摘下分别处理,R8期根系与根瘤无法分离,作为1个器官处理。植株地上部把叶、茎(含叶柄)和荚果分开洗净, 85°C 下杀青30 min,然后 70°C 烘干至恒重,R6与R8期烘干后将荚皮与籽粒分离。植株地下部也进行相同处理。分别记录各器官各个生育期的烘干重量。各时期、处理的不同器官样品测干物重后均用粉碎机粉碎后密封保存。

1.2 测定项目与方法

样品N含量测定:用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 法消煮,溶液稀释后用德国布朗卢比公司AA3连续流动分析仪进行N含量(N%)测定。

土壤基础肥力测定:采用常规分析方法^[12]。

N 积累量(mg) = 某器官某生育期N% × 该器官该生育期干物重(g) × 1 000

1.3 数据分析

数据处理、作图、统计分析采用Excel 2003软件进行。

2 结果与分析

2.1 大豆各器官含氮量变化

由图1可见,叶片、茎秆及根瘤的含氮量随生育进程整体呈下降趋势。R4期处理D叶片含氮量最高(4.6%),显著高于处理B(4.2%, $P < 0.01$)。R5期D、E处理叶片含氮量显著下降,但处理E在R6期叶片含氮量为各处理最高(2.76%),表明此处理可以在一定程度上减缓叶片衰老,延长叶片功能期。

R4期处理A茎秆含氮量为1.3%,显著高于其它处理($P < 0.05$),其后持续下降,但R8期含氮量依然为各处理最高值。结合叶片含氮量可以看出,处理A在R4期叶片和茎秆含氮量都很高,植株体内积累了大量氮素;R5期叶片含氮量高于其它处理而茎秆含氮量则低于其它处理,说明处理A植株体内N转运不畅;而R8期茎秆含氮量高说明成熟期仍有部分N滞留在营养体中,造成N的浪费。

比较R4期各处理根系含氮量可以看出,处理B与D较处理A分别增加21%和13%($P < 0.05$),较处理C分别增加33%和24%($P < 0.01$);R4期追肥后,处理C与E在R5期根系含氮量迅速升高,较处理A分别增加了15%和16%($P < 0.05$)。以上结果表明,大豆结荚鼓粒期对追肥N的吸收利用效率非常高。而处理A R4~R8期根系含氮量则始终低于R2期,表明N作为基肥一次性施入使根系在生殖生长后期较其它处理吸收养分的能力差。

各处理根瘤含氮量随生育期的推进呈现下降趋势。R2期处理A根瘤含氮量最高,比未施肥的处理D、E分别增加12%和10%($P < 0.01$)。R4期各处理根瘤含氮量无显著差别,R5期A、D的根瘤含氮量较R4期有明显下降,而其它处理根瘤含氮量则与R4期基本持平,R4期追肥的2个处理甚至略有上升,说明R4期追肥对根瘤固氮不会产生明显的抑制作用。R6期启动氮加追肥处理的根瘤含氮量明显高于其它处理,结合根瘤中N积累量结果可以看出,处理E在R6期根瘤中N积累量也高于其它处理。

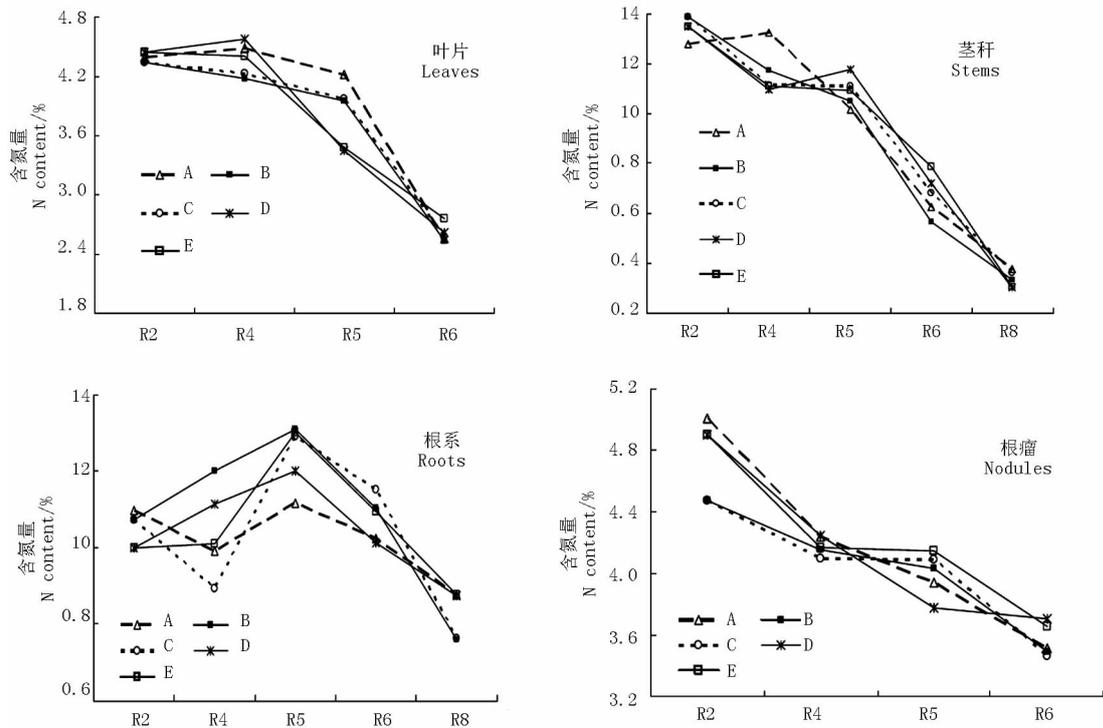


图1 大豆各器官不同时期含氮量

Fig. 1 N content of soybean organs at various stages

2.2 氮在不同器官中的积累与分配

各处理不同器官中氮素积累量见表2,各生育期N阶段积累量见图2。

R2期处理A与处理D、E叶片、茎秆和根系中的N积累量无显著差别,表明少量的启动氮也可起到相同效果,而处理B、C的叶片N积累量则显著低于其它处理($P < 0.01$),表明基肥不施氮会影响前期生长;处理A根瘤中N积累量显著低于其它处理($P < 0.01$),据此可以认为,基肥中施入过量的N对根瘤固氮产生了明显的抑制。R2期各处理叶片N积累占全株N积累量的67%~69%,茎秆N积累量约占全株N积累量的20%。

对比R4期各器官N积累量可以看出,由于处理A基肥N投入量大,该处理各器官N积累量均显著高于其它处理,其中叶片、茎秆、根系差异达到极显著水平,此时期各处理叶片N积累降至全株N积累量的61%~65%,茎秆N积累量上升为全株N积累量的22%~26%。处理A在R2~R4期N积累量达到 $1.79 \text{ g} \cdot 3 \text{ 株}^{-1}$,占全生育期的49%,比其它处理增加11~18个百分点。

进入R5期后,大豆叶片中的N开始向荚果中输送,叶片N积累量降至全株的38%~47%,荚果N积累量则升至全株的24%~30%。处理A叶片N积累量较E增加13.1%,但各处理间差异不显著;而C、E荚果N积累量较A分别增加25.8%和36.6%($P < 0.05$)。以上结果说明此时期基肥N滞留

在叶片中的现象比较严重,而R4期追施的N在植株体内的转运效率远高于基肥,大量肥料N很快进入荚果,对籽粒的充实有显著的促进作用。对比各处理根瘤N积累量可以看出,R4期追肥的2个处理较其它处理高31%~64%($P < 0.05$),而且E比C高25%($P < 0.05$),各处理根系N积累量规律与之相似。处理A在R4~R5期N积累量为 $0.38 \text{ g} \cdot 3 \text{ 株}^{-1}$,仅占全生育期的11%,低于其它处理13~15个百分点($P < 0.05$)。

R6期各处理叶片N积累量仅占全株总量的22%~24%,而荚果N积累量高达61%~64%,说明叶片中的N已大量向荚果中运转。处理E叶片N积累较A增加了12%($P < 0.05$),其它处理则与A差异不显著,这一结果表明叶片已进入加速衰老的阶段,而处理E可以在一定程度上减缓叶片衰老,延长叶片功能期。R6期茎秆N积累量只占全株的9%~12%,对比各处理茎秆N积累量可以看出,处理E显著高于其它各处理($P < 0.01$),与A相比增加了29%。结合叶片N积累量结果可以说明,处理E在这一时期营养器官中N积累量还很充足,在保证源强度的同时满足高产条件下荚果对氮素的需求。

R8期处理A茎秆中剩余N量为各处理最高,而荚皮、籽粒中的N积累总量则明显低于R4期追肥处理。可以看出,处理A在结荚、鼓粒期体内的N转运情况不够流畅,总N分配不合理,大量N素

表2 大豆各器官氮积累量与分配比例

Table 2 Accumulation and distribution of N in soybean organs

生育期 Stage	处理 Treatment	叶片 Leaf		茎秆 Stem		荚果 Pod		籽粒 Seed		根系 Root		根瘤 Nodule	
		氮积累量	比例	氮积累量	比例	氮积累量	比例	氮积累量	比例	氮积累量	比例	氮积累量	比例
		N A	Percentage	N A	Percentage	N A	Percentage	N A	Percentage	N A	Percentage	N A	Percentage
R2	A	700 ± 10.3 A	69	197 ± 0.8 a	20	-	-	-	-	63 ± 1.2 a	6.2	51 ± 2.9 B	5.1
	B	658 ± 21.5 B	67	197 ± 11.3 a	20	-	-	-	-	62 ± 3.2 a	6.3	63 ± 5.4 A	6.4
	C	658 ± 21.5 B	67	197 ± 11.3 a	20	-	-	-	-	62 ± 3.2 a	6.3	63 ± 5.4 A	6.4
	D	711 ± 17.4 A	68	211 ± 7.4 a	20	-	-	-	-	60 ± 1.1 a	5.8	63 ± 3.0 A	6.0
	E	711 ± 17.4 A	68	211 ± 7.4 a	20	-	-	-	-	60 ± 1.1 a	5.8	63 ± 3.0 A	6.0
R4	A	1812 ± 25.3 A	61	753 ± 23.2 A	26	124 ± 13.3 a	4.2	-	-	121 ± 7.6 A	4.1	143 ± 7.5 b	4.9
	B	1505 ± 35.7 B	63	579 ± 34.2 B	24	82 ± 8.8 b	3.4	-	-	103 ± 5.3 B	4.3	124 ± 11.5 a	5.2
	C	1527 ± 20.2 B	63	588 ± 6.2 B	24	101 ± 12.5 ab	4.1	-	-	93 ± 1.0 B	3.8	125 ± 16.4 a	5.1
	D	1619 ± 35.6 B	65	544 ± 28.4 B	22	100 ± 21.4 ab	4.0	-	-	114 ± 9.2 A	4.6	119 ± 15.9 a	4.8
	E	1573 ± 27.9 B	64	566 ± 17.3 B	23	101 ± 17.0 ab	4.1	-	-	104 ± 5.1 B	4.2	122 ± 16.2 a	5.0
R5	A	1499 ± 73.5 a	47	673 ± 49.1 a	21	767 ± 94.2 a	24	-	-	143 ± 4.8 a	4.5	106 ± 7.9 a	3.3
	B	1437 ± 176.1 a	45	675 ± 65.9 a	21	805 ± 95.7 a	25	-	-	160 ± 13.3 b	5.0	108 ± 14.4 a	3.4
	C	1398 ± 147.8 a	41	703 ± 59.8 ab	21	965 ± 60.5 b	29	-	-	168 ± 3.3 b	5.0	139 ± 13.0 b	4.1
	D	1387 ± 52.0 a	40	839 ± 40.1 c	24	998 ± 62.5 b	28	-	-	165 ± 4.8 b	4.7	119 ± 6.7 ab	3.4
	E	1326 ± 75.5 a	38	742 ± 34.2 b	21	1048 ± 41.7 b	30	-	-	174 ± 12.4 b	5.0	174 ± 24.6 c	5.0
R6	A	802 ± 42.6 ab	23	360 ± 22.1 B	11	263 ± 6.1 a	7.7	1794 ± 133 a	53	119 ± 6.5 a	3.5	78 ± 14.4 a	2.3
	B	741 ± 13.7 a	22	308 ± 19.4 A	9.0	262 ± 19.1 a	7.6	1915 ± 61 a	56	124 ± 11.3 a	3.6	79 ± 14.2 a	2.3
	C	807 ± 47.4 b	23	383 ± 8.8 B	11	273 ± 10.5 a	7.8	1841 ± 12 a	53	127 ± 7.8 a	3.6	72 ± 6.0 a	2.0
	D	825 ± 24.7 b	22	423 ± 17.2 C	11	281 ± 6.9 a	7.4	2091 ± 79 b	55	117 ± 6.2 a	3.1	77 ± 11.1 a	2.0
	E	894 ± 22.1 c	24	464 ± 13.5 D	12	292 ± 5.4 a	7.8	1863 ± 36 a	50	118 ± 2.7 a	3.2	92 ± 2.9 a	2.5
R8	A	-	-	141 ± 7.2 c	4.0	122 ± 3.6 AB	3.4	3199 ± 216 a	90	95 ± 6.7 B	2.7	-	-
	B	-	-	115 ± 9.4 a	3.3	99 ± 5.1 A	2.9	3171 ± 117 a	92	69 ± 3.2 A	2.0	-	-
	C	-	-	130 ± 10.2 bc	3.6	113 ± 10.0 AB	3.1	3324 ± 170 ab	91	77 ± 10.9 A	2.1	-	-
	D	-	-	113 ± 5.3 a	3.0	155 ± 6.8 C	4.1	3465 ± 133 b	91	95 ± 5.7 B	2.5	-	-
	E	-	-	120 ± 12.7 ab	3.0	121 ± 1.3 B	3.0	3716 ± 123 c	92	101 ± 7.1 B	2.5	-	-

NA = Nitrogen accumulation

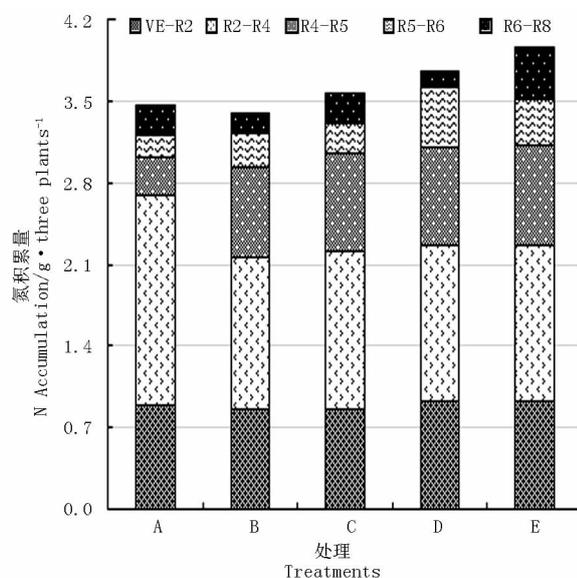


图2 大豆全株氮阶段积累量

Fig. 2 N accumulation in soybean plants at different stages

滞留在营养器官中并随其衰老而损失,造成成熟期籽粒内N积累量低,不利于籽粒产量和品质的进一步提高。处理E全株N积累量在R4~R8期比处理A增加105% ($P < 0.01$); R6~R8期比处理A增加76.2% ($P < 0.01$)。比较4个追肥处理可以看出,启动氮加追肥处理与一次性追肥处理相比,提高了大豆鼓粒至成熟期的N积累量,这一结果也反映在各处理的产量差异上。

2.3 启动氮加追肥对大豆产量的影响

2.3.1 对产量及产量构成的影响 不同施氮处理的产量及产量构成因子见表3。

由表3可见,启动氮加追肥处理显著提高了单株粒数,与处理A相比,D与E的单株粒数分别增加了14.8%和15.8% ($P < 0.01$),百粒重分别提高了0.53和0.66 g。处理A与处理B、C的产量(61.94~67.36 g · 3株⁻¹)没有明显差别,而处理D、E的产量则分别达到72.86与74.25 g · 3株⁻¹,

表 3 不同处理对大豆产量及产量构成因子的影响
Table 3 Effects of treatments on yield and yield components of soybean

处理 Treatment	株荚数 Pods per plant	单株粒数 Seeds per plant	百粒重 100-seed weight/g	产量 Yield/g · three plants ⁻¹
A	45.7 ± 2.36 a	103.3 ± 4.28 A	20.00 ± 0.24 a	61.94 ± 2.15 A
B	46.3 ± 2.31 a	107.0 ± 1.52 A	20.30 ± 0.56 a	65.24 ± 1.16 A
C	49.0 ± 3.48 a	110.7 ± 4.04 A	20.27 ± 0.32 a	67.36 ± 2.84 AB
D	49.2 ± 2.44 a	118.6 ± 2.74 B	20.53 ± 0.38 a	72.86 ± 0.98 AB
E	53.4 ± 0.75 a	119.6 ± 3.87 B	20.66 ± 0.10 a	74.25 ± 2.27 B

与处理 A 相比,增产幅度分别达到 17.6% 与 19.9%,显著高于其它 3 个处理($P < 0.01$)。

2.3.2 N 阶段积累量与产量的相关分析 从图 3、图 4 可以看出,R4 期的全株 N 积累量与产量基本没有相关性,但 R4 ~ R8 期的 N 积累量与产量达到了极显著正相关($r = 0.795$)。因此,增加大豆产量的关键是提高 R4 ~ R8 期大豆的 N 积累量,而 R4 期前的 N 积累量过高则会造成营养体生长过旺,源库不协调,不利于后期 N 素向籽粒中的分配

和转运。

3 结论与讨论

前人研究指出,R5 期后叶片含氮量与 N 积累量是大豆籽粒产量的重要影响因素^[13]。本试验 N 素积累分配比例结果表明,处理 A 在 VE ~ R4 期 N 积累量明显高于其它处理,但在是影响产量的关键时期(R4 ~ R8)该处理 N 积累量则显著降低,仅占全生育期积累量的 24.3%,向荚果中供应的 N 不足。另外,该处理营养体生长过于繁茂,源库不够协调,进入 R5 期后植株体内 N 转运情况较差,以上原因导致了处理 A 产量较低。R5 期处理 E 与 A 相比叶片 N 积累量减少 11.5%,荚果 N 积累量增加 36.6% ($P < 0.05$),说明处理 E 体内 N 运转通畅;而根系 N 积累量增加 21.7% ($P < 0.05$),根瘤 N 积累量增加 64.2% ($P < 0.05$),表明启动氮加追肥可以满足籽粒充实期的氮素需求。R4 ~ R8 期处理 D、E 的 N 积累量占全生育期积累量的比例分别达 40.7% 和 44.0%,在大豆的生殖生长期将叶片和茎秆含氮量维持在适宜水平,既保证了光合能力和转运效率,又避免了营养体生长过大过旺造成郁闭和叶片早衰,因而获得了较高的产量。

在寒地条件下,播种及生育早期的土壤温度有可能抑制微生物的活性,并间接地影响固氮能力,甚至抑制植株前期生长^[14]。王树起等^[15]提出,施用一定量的氮肥对根系的生长发育有促进作用,但过量氮肥又会抑制根系生长。本研究结果表明,在施肥量相等的条件下,启动氮加追肥处理前期利用少量氮肥有效地促进了根系生长,使荚果建成期的追肥得到了高效的吸收利用,肥效较其它处理更为持久,鼓粒至收获期根系吸收氮量也更大。R6 期处理 E 叶片 N 积累量最高,茎秆、荚果 N 积累量也显

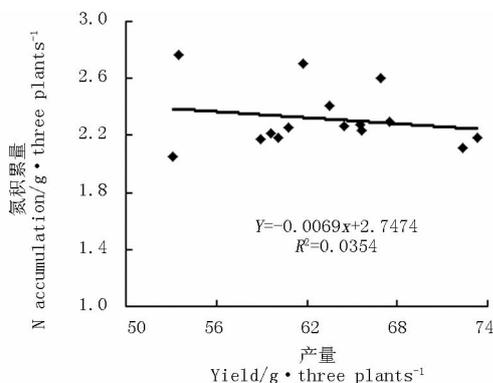


图 3 R4 期氮素积累量与产量的相关性

Fig. 3 Correlation between NA at R4 stage and yield

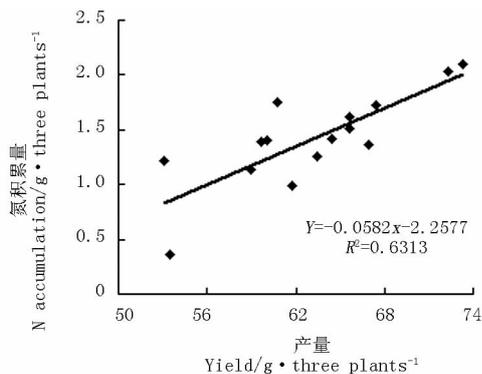


图 4 R4-R8 期氮素积累量与产量的相关性

Fig. 4 Correlation between NA at R4-R8 stages and yield

著高于其它处理。R6 是籽粒产量形成的关键时期,而处理 E 在此时同时具备了库大、源强、流畅的优势,能够最大限度地发挥品种的产量潜力。进入 R8 期后, E 的地上部营养器官 N 积累量低于其它处理,但籽粒与根系 N 积累量高于其它处理,表明此种处理在最大限度促进 N 素从源向库转运的同时,保证了根系在成熟期还有相对较高的吸收能力,这与 Afza 等^[16]的结果相同。

本试验结果表明,通过启动氮加盛荚期追肥可使大豆根瘤在 R5 ~ R6 期 N 积累量远高于其它处理,说明此时根瘤仍有较强的固氮能力。Salvagiotti 等^[17]指出,由生物固氮而获得的氮素平均占到大豆总吸氮量的 52%,因此提高大豆鼓粒期至成熟期的固氮能力对其籽粒产量有积极的影响。一次性追肥处理的产量和产量构成因子与全部 N 肥作基肥处理相比没有显著差别,而启动氮加追肥处理则提高了大豆的单株粒数和百粒重,产量分别比氮全部作基肥提高了 17.6% 与 19.9%,差异达到显著水平 ($P < 0.01$)。

参考文献

- [1] Bly A G, Woodard H J. Foliar nitrogen application timing influence on grain yield and protein concentration of hard red winter and spring wheat[J]. *Agronomy Journal*, 2003, 95(2):335-338.
- [2] Abad A, Lloveras J, Michelena A. Nitrogen fertilization and foliar urea effects on durum wheat yield and quality and on residual soil nitrate in irrigated Mediterranean conditions[J]. *Field Crops Research*, 2004, 87(2-3):257-269.
- [3] Binder D L, Sander D H, Walters D T. Maize response to time of nitrogen application as affected by level of nitrogen deficiency[J]. *Agronomy Journal*, 2000, 92(6):1228-1236.
- [4] Barker D W, Sawyer J E. Nitrogen application to soybean at early reproductive development[J]. *Agronomy Journal*, 2005, 97(2):615-619.
- [5] Beard B H, Hoover R M. Effect of nitrogen on nodulation and yield of irrigated soybeans [J]. *Agronomy Journal*, 1971, 63(5):815-816.
- [6] Welch L F, Boone L V, Chambliss C G, et al. Soybean yields with direct and residual nitrogen fertilization[J]. *Agronomy Journal*, 1973, 65(4):547-550.
- [7] Freeborn J R, Holshouser D L, Alley M M, et al. Soybean yield response to reproductive stage soil-applied nitrogen and foliar-applied boron[J]. *Agronomy Journal*, 2001, 93(6):1200-1209.
- [8] 丁洪, 郭庆元. 氮肥对不同品种大豆氮积累和产量品质的影响[J]. *土壤通报*, 1995, 26(1):18-21. (Ding H, Guo Q Y. Effects of nitrogen fertilization on N accumulation and yield quality of different soybean varieties [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 1995, 26(1):18-21.)
- [9] 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.
- [10] 邢永锋, 章建新, 李金霞, 等. 前氮后移对春大豆农艺性状及产量的影响[J]. *新疆农业大学学报*, 2008, 31(6):31-34. (Xing Y F, Zhang J X, Li J X, et al. Effects of different application of n-fertilizer on agronomic characters of spring soybean [J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2008, 31(6):31-34.)
- [11] 甘银波, 陈静, 邱正明, 等. 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):45-72. (Gan Y B, Chen J, Qiu Z M, et al. Effects of N fertilizer application at different growth stages on N uptake and N-fixation of soybeans [J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 1996, 18(4):45-72.)
- [12] 李酉开. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1983:67-172. (Li Y K. *Conventional methods for soil and agriculture chemistry analysis* [M]. Beijing: Science and Technology Press, 1983:67-172.)
- [13] Shibles R, Sundberg D N. Crop physiology relation of leaf N content and other traits with seed yield of soybean[J]. *Plant Production Science*, 1998, 1(1):3-7.
- [14] 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.
- [15] 王树起, 韩晓增, 乔云发, 等. 施氮对大豆根系形态和氮素吸收积累的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2009, 17(6):1069-1073. (Wang S Q, Han X Z, Qiao Y F, et al. Root morphology and nitrogen accumulation in soybean (*Glycine max* L.) under different nitrogen application levels [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2009, 17(6):1069-1073.)
- [16] Afza R, Hardarson G, Zapata F, et al. Effects of delayed soil and foliar N fertilization on yield and N₂ fixation of soybean[J]. *Plant and Soil*, 1987, 97(3):361-368.
- [17] Salvagiotti F, Cassman K G, Specht J E, et al. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review[J]. *Field Crops Research*, 2008, 108(1):1-13.