

启动氮加追氮对不同密度大豆氮素吸收的影响

孙文相, 张明聪, 刘元英, 吴 琼, 赵 晶

(东北农业大学 资源与环境学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要:以大豆品种东农 52 为试材, 采用裂区设计, 设置 3 个密度和 3 种施氮方式, 研究了启动氮加追氮对不同密度大豆氮素吸收的影响。结果表明: 相同密度下, 启动氮加追氮处理与氮作基肥一次施用相比, R5 期后氮积累量和氮同化贡献率显著增加, 其中 25 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 密度下启动氮加 R4 追氮处理的氮积累量增加 109.5% ($P < 0.01$)。相同施肥条件下, R5 期前氮积累量随密度增加而增加, 而 R5 期后启动氮加 R4 追氮处理 25 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 密度下的氮素积累量较 20 和 30 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 分别增加 27.4% 和 16.0% ($P < 0.05$)。R5 期后氮积累量和氮同化贡献率与产量呈极显著正相关。25 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 密度下启动氮加 R4 追氮处理获得了最高产量, 与其它各处理相比提高了 9.1% ~ 25.6% ($P < 0.05$)。

关键词:大豆; 密度; 启动氮加追氮; 氮素积累; 产量

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2013)04-0506-06

Effects of Starter-N plus Top-dressing N on Nitrogen Absorption of Soybean Plants under Different Densities

SUN Wen-xiang, ZHANG Ming-cong, LIU Yuan-ying, WU Qiong, ZHAO Jing

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

Abstract: A split-plots designed field experiment with three densities and three N treatments using soybean *cv.* Dongnong 52 was conducted to study the effects of starter-N plus top-dressing N on N absorption of soybean under different densities. Results showed that N accumulation and contribution rate of N assimilation after R5 of starter-N plus top-dressing N treatment increased significantly compared to those of using N only as basal fertilizer under same density. N accumulation after R5 of starter-N plus top-dressing N at R4 was 109.5% higher than using N only as basal fertilizer ($P < 0.01$) under the density of 250 000 plants $\cdot\text{ha}^{-1}$. When N was equally applied among treatments, N accumulation before R5 increased with higher density, but N accumulation after R5 of starter-N plus top-dressing N at R4 under the density of 250 000 plants $\cdot\text{ha}^{-1}$ was 27.4% and 16.0% higher ($P < 0.05$) than 200 000 and 300 000 plants $\cdot\text{ha}^{-1}$, respectively. The highest yield was achieved by starter-N plus top-dressing N at R4, yield of which was 9.1%~25.6% higher than other treatments ($P < 0.05$).

Key words: Soybean; Density; Starter-N plus top-dressing N; N accumulation; Yield

氮素积累对大豆产量形成有重要作用^[1]。籽粒中的氮素积累量既取决于植株氮素吸收的多少, 又与氮向籽粒中的转运量密切相关^[2]。Salado 等^[3]指出, 结荚鼓粒期吸收同化的氮不能满足籽粒需求时会使产量下降。田艳洪等^[4]研究认为, 如果将大豆全生育期所需氮肥作基肥一次性施用, 往往会使生育前期氮素供给过剩, 营养生长过旺, 后期氮供应不足而减产。增加密度可以显著提高大豆产量^[5-6], 但密度增加往往会影响到氮素利用率的提高^[7], 反而限制了大豆产量潜力的发挥。

前人对启动氮加后期追氮对大豆生育后期根瘤固氮能力和氮积累与分配的影响进行了较多的研究^[8-10], 但能否在增密条件下通过氮素调控将大豆的营养生长控制在适宜水平, 提高结荚鼓粒期氮素吸收能力的相关报道较少。为此, 设置 3 种密度处理, 研

究启动氮加追氮对大豆氮素积累与同化的影响, 以期增密条件下的大豆高产施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2012 年在东北农业大学香坊试验站进行, 前茬为玉米, 试验地土壤为黑土, 有机质含量 28.5 g $\cdot\text{kg}^{-1}$, 全氮 0.93 g $\cdot\text{kg}^{-1}$, 硝态氮 23.2 mg $\cdot\text{kg}^{-1}$, 全磷 0.99 g $\cdot\text{kg}^{-1}$, 速效磷 61.08 mg $\cdot\text{kg}^{-1}$, 速效钾 124 mg $\cdot\text{kg}^{-1}$, pH 6.78。供试品种为东农 52。供试肥料为尿素 (含 N 46%)、重过磷酸钙 (含 P_2O_5 46%) 和氯化钾 (含 K_2O 60%)。

试验采用裂区设计, 密度作主处理, 氮素调控作副处理, 随机排列, 4 次重复。设置 3 个密度: 20 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ (D1)、25 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ (D2) 和 30 万

收稿日期: 2013-03-29

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

第一作者简介: 孙文相 (1987-), 男, 在读硕士, 主要从事作物养分管理研究。E-mail: swx6886@163.com。

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

株·hm⁻²(D3),3个氮素调控方式:基肥一次施用 N 60 kg·hm⁻²(N1);基肥施 N 18 kg·hm⁻²,初荚期(R3)追 N 42 kg·hm⁻²(N2);基肥施 N 18 kg·hm⁻²、盛荚期(R4)追 N 42 kg·hm⁻²(N3),共8个处理,分别记为 D1N1、D1N2、D1N3、D2N1、D2N2、D2N3、D3N2 和 D3N3。各处理基肥施用 P₂O₅ 35 kg·hm⁻²,K₂O 40 kg·hm⁻²。每个小区6行,行宽0.7 m,行长15 m,小区面积63 m²。

1.2 测定项目与方法

分别于苗期(V4)、盛花期(R2)、初荚期(R3)、盛荚期(R4)、鼓粒初期(R5)、鼓粒盛期(R6)取样,每小区从1延长米垄上选取有代表性的6株,将植株按叶、茎、柄、荚果(R4~R6)分开,清洗干净,各器官于85℃杀青30 min,70℃烘干至恒重,测定干物重后粉碎,经H₂SO₄-H₂O₂消煮后用德国布朗卢比公司生产的AA3连续流动分析仪测定N素含量。

R6期取样后,每小区选取有代表性的4株,在叶片和叶柄上进行标记,从R7期至R8期每隔3 d收集一次有标记的脱落的叶片和叶柄,用于计算氮转运贡献率和氮同化贡献率。在R8期每小区取2 m²考种测产。

有关指标计算公式如下:

氮素积累量(nitrogen accumulation, NA) = 器官的干物重 × 氮素含量

阶段积累量(nitrogen accumulation at different stages, NAS) = 本生育时期的氮积累量 - 前生育时期氮积累量

氮素转运量(nitrogen translocation, NT) = R5期营养器官氮素积累量 - 成熟期营养器官氮素积累量

氮素转运贡献率(contribution rate of nitrogen translocation to seed, CNT) = 氮素转运量/成熟期籽粒氮素积累量 × 100%

鼓粒期后氮素同化量(post-seed filling nitrogen assimilation, PNA) = 成熟期籽粒氮素积累量 - 氮素转运量

鼓粒期后氮素同化贡献率(contribution rate of post-seed filling nitrogen assimilation to seed, CNA) = 氮素同化量/成熟期籽粒氮素积累量 × 100%

1.3 数据分析

采用Excel 2003和DPS 7.05软件进行相关的数据计算和统计分析。

2 结果与分析

2.1 大豆各器官含氮量变化

如图1所示,在R3期之前,叶片含氮量随密度

增加而下降,R4期之后密度对叶片含氮量的影响无明显规律。相同密度条件下,R4期之前氮作基肥一次施用处理的叶片含氮量均高于启动氮加追氮处理。但到R6期时,D1N2和D1N3较D1N1分别增加12.8%和17.2%($P < 0.05$),D2N2和D2N3较D2N1分别增加7.1%和14.2%($P < 0.05$)。说明在大豆生育后期供应充足的氮肥,能够显著提高R5期后的叶片含氮量,满足大豆在鼓粒期较高的氮素需求。

茎秆和叶柄含氮量表现出相同的变化趋势。相同密度条件下,R3期之前,氮作基肥一次施用处理的含氮量高于启动氮加追氮处理($P < 0.05$);R6期,D1N2和D1N3茎秆含氮量较D1N1分别增加8.4%和14.5%。D2N2和D2N3茎秆含氮量较D2N1分别增加13.3%和18.8%($P < 0.05$),D2N2和D2N3较D1N1分别增加11.1%和16.5%($P < 0.05$)。表明启动氮加追氮处理可以显著提高大豆生育后期叶柄和茎秆的含氮量。

R5期后氮作基肥一次施用处理的荚果含氮量一直为各处理中最低值。相同施肥条件下,R8期25万株·hm⁻²处理的荚果含氮量高于其他密度。但不同时期各处理荚果含氮量差异都未达到显著水平。

2.2 氮积累量

2.2.1 单株氮积累量 单株氮积累量可以在一定程度上表明氮素调控对不同密度下植株个体氮素吸收的影响。如图2所示,相同密度条件下,氮作基肥一次施用处理的氮积累量在V4~R3期高于启动氮加追氮处理;而在R6期后低于启动氮加追氮处理。R6期时,D1N2和D1N3分别比D1N1增加11.9%和21.4%($P < 0.05$),D2N3比D2N1增加16.1%($P < 0.05$)。R8期时,D1N2和D1N3较D1N1分别增加23.1%和31.7%($P < 0.05$);D2N2和D2N3较D2N1分别增加18.8%和26.0%($P < 0.05$)。相同施肥条件下,R6期前单株氮积累量随密度增加而降低,差异达5%显著水平;但到R6期时,D2N3的氮积累量基本与D1N1持平;R8时较D1N1增加16.0%($P < 0.05$),说明在适当增密条件下,启动氮加追氮处理可以抵消密度增加对个体发育产生的负效应,有效地改善群体结构。

2.2.2 单位面积氮积累量 单位面积氮积累量表征大豆群体的吸氮能力,与产量的关系较为密切。由图3可知,相同密度条件下,启动氮加追氮与氮作基肥一次施用处理相比,在R3期前氮积累量差异不显著,到R6期时,D2N3较D2N1增加16.0%($P < 0.05$)。到R8期时,D2N2和D2N3较D2N1

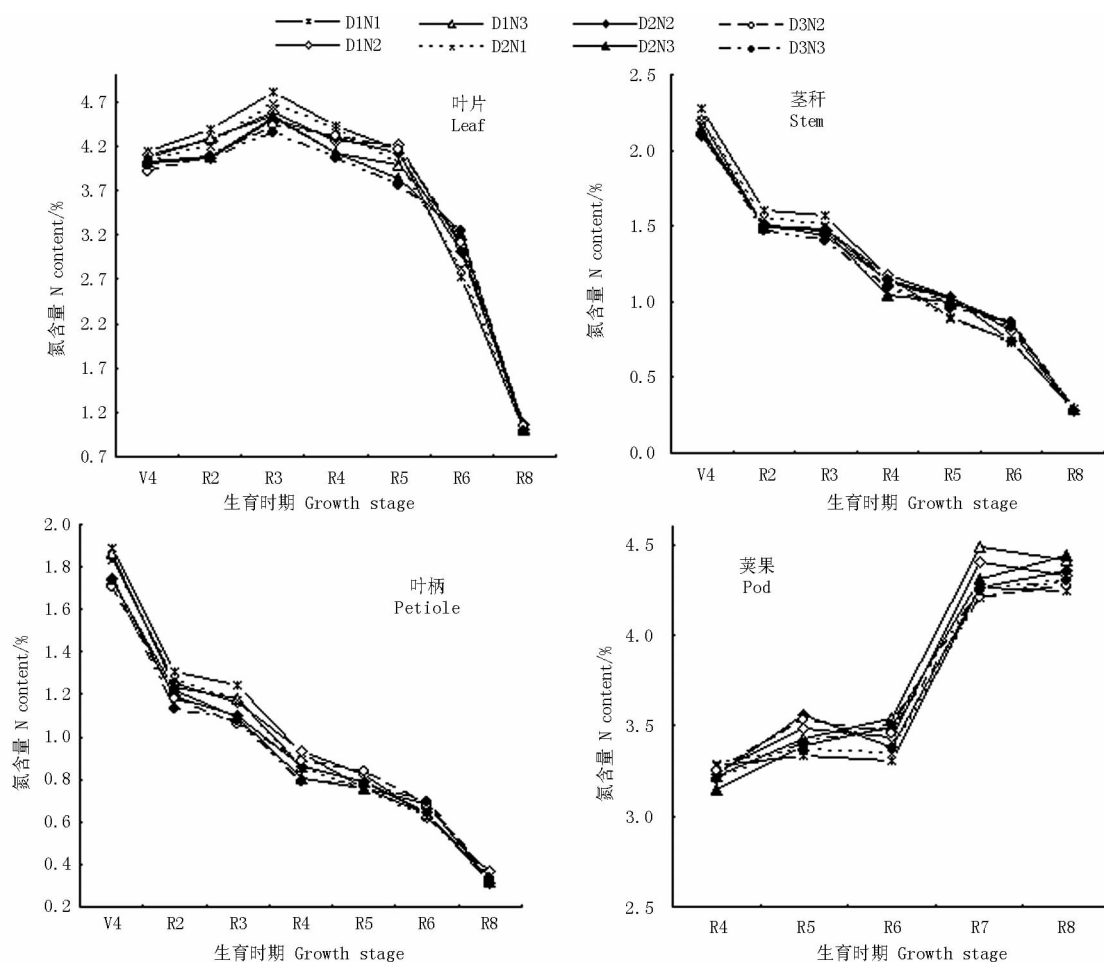
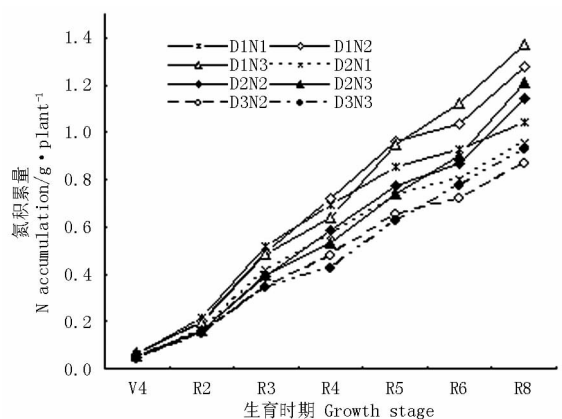


图1 大豆不同时期各器官含氮量

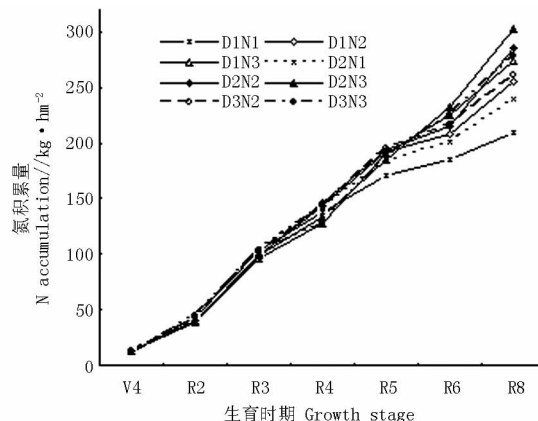
Fig. 1 Nitrogen content of soybean organs at different stages

图2 不同时期大豆单株氮积累量
Fig. 2 Nitrogen accumulation of single plant at different stages

分别增加 19.5% 和 26.5% ($P < 0.01$)。相同施肥条件下,氮积累量表现为 25 万株· hm^{-2} 密度高于 20 和 30 万株· hm^{-2} ,其中 D2N3 与 D1N3 和 D3N3 相比分别增加 10.2% 和 8.8% ($P < 0.05$),说明启动氮加追氮既能保证大豆植株前期生长的氮素供应,又能满足籽粒充实期对氮素较高的需求。

2.3 阶段氮积累量

由图 4 可知,相同密度条件下,V4 ~ R3 期各阶

图3 不同时期大豆单位面积氮积累量
Fig. 3 Nitrogen accumulation per ha at different stages

段氮积累量均表现为氮作基肥一次施用大于启动氮加追氮处理,各处理间差异不明显,而 R4 ~ R8 期各阶段氮积累量表现为启动氮加追氮处理大于氮作基肥一次施用。

R6 ~ R8 期,相同施肥条件下,25 万株· hm^{-2} 启动氮加追氮处理的氮阶段积累量均高于 20 和 30 万株· hm^{-2} ,说明密度从 20 万株· hm^{-2} 增加到 25 万株· hm^{-2} 时,启动氮加追氮显著提高了 R5 期后的氮

积累量,但密度超过 25 万株·hm⁻²,氮积累量已不再随着密度的增加而增加,在此密度条件下氮素调控效果已达到极限。其中,D2N3 处理在 R5~R8 期的氮素积累量较 D1N3 和 D3N3 处理分别增加 41.3%、29.0% ($P<0.05$)。表明启动氮加 R4 追氮显著增加了 R4 期后 25 万株·hm⁻²密度下各阶段的氮积累。结果还表明,启动氮加 R4 期追氮优于启动氮加 R3 期追氮。

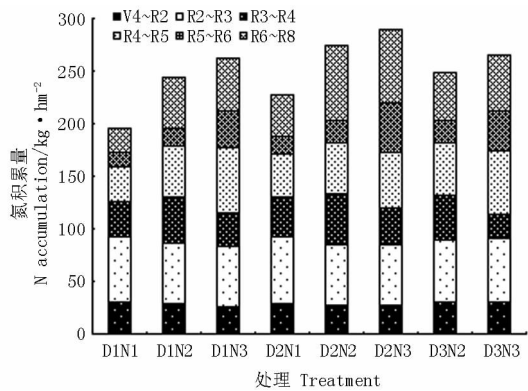


图 4 大豆植株氮素阶段积累量
Fig.4 Nitrogen accumulation in soybean plants at different stages

2.4 R5 期后植株氮的吸收与转运

R5 期后氮的吸收量与产量密切相关。如表 1 所示,相同施肥条件下,R5 期前氮积累量随密度增加而增加,而 R5 期后氮素吸收量表现为 25 万株·hm⁻²高于 20 和 30 万株·hm⁻²。相同密度条件下,R5 期

后氮素吸收量表现为,启动氮加 R4 期追氮处理高于氮作基肥一次性施用处理,差异达显著水平。对 R5 期前、后氮积累量与产量进行相关分析得出,R5 期前氮积累量与产量没有相关性($y=0.0075x+3.45,r=0.197$),而 R5 期后氮积累量与产量呈极显著正相关($y=0.0141x+4.06,r=0.805^{**}$),说明提高鼓粒期后氮积累量有助于实现增产。

氮转运贡献率是 R5 期后籽粒中来源于营养器官中氮素转运的百分比,氮同化贡献率是 R5 期后同化的氮占籽粒总氮量的百分比。表 1 的结果显示,转运贡献率并不随着 R5 期前氮积累量的增加而增加,但同化贡献率却随着 R5 期后氮吸收量的增加而增加。相同施肥条件下,25 万株·hm⁻²处理的同化贡献率大于 20 和 30 万株·hm⁻²处理;相同密度条件下,启动氮加追氮处理的同化贡献率大于氮作基肥一次性施用处理。值得注意的是,D2N2 和 D2N3 氮同化贡献率较 D1N1 分别增加 87.2% 和 91.0% ($P<0.05$),说明在 25 万株·hm⁻²密度下,启动氮加追氮能够满足鼓粒期籽粒的高氮需求,减缓因营养器官氮向籽粒过度转运导致的叶片衰老,提高氮同化能力。结果还表明,启动氮加 R4 期追氮处理的同化贡献率高于启动氮加 R3 期追氮处理。综上可知,25 万株·hm⁻²密度条件下启动氮加 R4 期追氮可以显著增加鼓粒期后的氮同化量,提高同化贡献率,显著增加大豆产量。

表 1 大豆氮转运和同化
Table 1 Nitrogen translocation and assimilation in soybean

处理 Treatment	R5 期前氮积累量 NA before R5/kg·hm ⁻²	R5 期后氮积累量 NA after R5/kg·hm ⁻²	转运贡献率 CNT/%	同化贡献率 CNA/%
D1N1	160.4 ± 11.5 b	48.9 ± 7.9 d	80.0 ± 4.9 a	20.0 ± 3.9 d
D1N2	191.1 ± 8.67 a	64.3 ± 7.1 c	72.7 ± 7.4 b	27.3 ± 1.4 c
D1N3	190.3 ± 9.5 a	82.9 ± 11.6 b	66.8 ± 5.2 c	33.2 ± 2.2 b
D2N1	183.4 ± 10.8 ab	55.9 ± 10.2 d	74.5 ± 4.1 b	25.5 ± 4.1 cd
D2N2	193.9 ± 7.1 a	92.1 ± 9.5 b	62.6 ± 3.9 d	37.4 ± 3.9 a
D2N3	185.5 ± 11.6 ab	117.1 ± 9.4 a	61.8 ± 6.7 d	38.2 ± 6.7 a
D3N2	195.3 ± 13.6 a	65.5 ± 3.2 c	72.4 ± 1.7 b	27.6 ± 1.7 c
D3N3	187.3 ± 12.9 ab	90.8 ± 9.5 b	64.3 ± 3.8 cd	35.7 ± 3.8 ab

2.5 大豆产量及产量构成因素

由表 2 可知,当密度低于 25 万株·hm⁻²时,产量随密度的增加而增加;密度增至 30 万株·hm⁻²时,产量则比 25 万株·hm⁻²有所下降。相同密度条件下,启动氮加追氮处理的产量均高于氮作基肥一次施用处理,其中启动氮加 R4 期追氮处理的产量显著高于启动氮加 R3 期追氮处理。

在大豆产量构成因素中,单株荚数和单株粒数

均随密度增加而下降。相同密度条件下,启动氮加追氮处理的单株荚数和单株粒数均大于氮作基肥一次施用处理。密度从 20 万株·hm⁻²增加至 25 万株·hm⁻²时,单位面积粒数均显著增加。当密度达到 30 万株·hm⁻²时,尽管单位面积株数增加,但由于群体过大,单株荚、粒数都显著下降,使得单位面积粒数反而低于 25 万株·hm⁻²。从肥密互作来分析,虽然 D2N3 与 D1N1 相比单株粒数无明显差异,

但是单位面积粒数却增加了 22.7% ($P < 0.05$)。因而在本试验中,25 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 密度下的启动氮加 R4

期追氮处理获得了最高产量,与其它各处理相比产量提高了 9.1%~25.6% ($P < 0.05$)。

表 2 大豆产量和产量构成因素

Table 2 Yield and yield components of soybean

处理 Treatment	单株荚数 Pods per plant	单株粒数 Seeds per plant	单位面积粒数 Seeds per m^2	百粒重 100-seed weight/g	产量 Yield/ $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$	增产 Increase/%
D1N1	44.7 \pm 2.0 bc	80.7 \pm 4.3 c	1614 \pm 85.5 d	19.6 \pm 0.6	3.16 \pm 0.09 f	—
D1N2	50.3 \pm 3.1 ab	83.8 \pm 6.0 b	1676 \pm 60.4 c	19.8 \pm 0.5	3.32 \pm 0.22 e	5.06
D1N3	54.1 \pm 2.4 a	88.4 \pm 2.2 a	1769 \pm 43.6 bc	19.7 \pm 0.2	3.48 \pm 0.04 d	10.13
D2N1	41.5 \pm 2.1 cd	69.6 \pm 3.3 d	1741 \pm 72.7 b	19.9 \pm 0.1	3.46 \pm 0.17 cd	9.49
D2N2	45.1 \pm 1.7 bc	72.4 \pm 2.8 c	1811 \pm 69.7 a	20.1 \pm 1.0	3.64 \pm 0.15 b	15.19
D2N3	51.9 \pm 6.9 a	79.3 \pm 2.8 bc	1983 \pm 52.2 a	20.0 \pm 0.5	3.97 \pm 0.10 a	25.63
D3N2	35.2 \pm 3.0 e	56.4 \pm 3.7 f	1693 \pm 80.2 bc	19.9 \pm 0.8	3.36 \pm 0.10 de	6.33
D3N3	38.1 \pm 1.0 de	62.4 \pm 0.9 e	1871 \pm 26.0 a	19.0 \pm 0.3	3.56 \pm 0.03 c	12.66

3 结论与讨论

针对不同密度群体,前人研究认为单株氮积累量随着密度增加而降低^[11-12],本研究结果与之一致,说明在增加密度时,群体的自我调节能力在一定程度上影响着个体的发育与功能^[13]。王立刚等^[14]指出,低密度群体的氮吸收量高于高密度群体,而增施氮磷钾肥能够提高单株氮素积累和高产条件下个体对氮的吸收速率。本试验结果表明,启动氮加追氮处理改善了 25 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 群体大豆生育后期氮素营养状况,提高了单株氮积累量,一定程度上克服了由于密度增加造成的个体弱势,促进群体后期对氮素的吸收与积累,显著提高了鼓粒期后单位面积氮积累量,这与王海艳等^[15]的研究结果相似。

一些学者对禾本科作物的研究表明,花后氮素同化量越大籽粒产量越高^[16-17],而关于大豆籽粒建成期后氮素转运、同化与产量的关系尚无明确的说法。侯立白等^[18]认为,营养器官氮素转运量对产量的形成起重要作用。侯国梅^[19]研究结果表明,盛花期追氮处理的氮素转运量和氮贡献率均较高。金剑等^[20]研究认为,氮或干物质的转运量都不是可靠的高产指标。本试验结果表明,鼓粒期后氮积累量与同化贡献率均与产量呈极显著正相关。与氮作基肥一次施用相比,启动氮加 R4 期追氮显著提高了鼓粒期后氮积累量和同化贡献率,在 25 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 密度下显著提高了鼓粒期后氮素吸收与同化,因而获得了最高的产量;当密度达到 30 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,各项指标和产量反而下降。因此,采用 25 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 这一密度并配合启动氮加 R4 期追

氮,可以显著提高大豆产量。

参考文献

- [1] 董守坤. 大豆吸收利用氮素规律及相关酶活性研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2008; 14-17. (Dong S K. Nitrogen absorption, utilization and related enzymatic activity in soybean[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2008; 14-17.)
- [2] Kumudini S, Hume D J, Chu G. Genetic improvement in short-season soybeans[J]. Crop Science, 2002, 42: 141-145.
- [3] 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: 451-455.
- [4] 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): 17-18. (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): 17-18.)
- [5] Doss B D, Thurber D L. Irrigation, row width, and plant population in relation to growth characteristics of two soybean varieties[J]. Agronomy Journal, 1974, 66: 620-623.
- [6] 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.)
- [7] 肖万欣, 谢甫锦, 张惠君, 等. 超高产大豆辽豆 14 的氮素积累与利用[J]. 大豆科学, 2008, 27(6): 62-64. (Xiao W X, Xie F T, Zhang H J, et al. Accumulation and utilization of nitrogen in super-high-yielding soybean cv. Liaodou 14[J]. Soybean Science, 2008, 27(6): 762-764.)
- [8] 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): 45-48, 72. (Gan Y B, Chen J, Qiu Z M, et al. Effects of fertilizer application at different

- growth stages on N uptake and N-fixation of soybean[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 1996, 18(4): 45-48, 72.)
- [9] 罗翔宇,董彦明,刘志远,等.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[J].大豆科学,2012,31(3):78-83. (Luo X Y, Dong Y M, Liu Z Y, et al. Nitrogen accumulation, distribution and yield of soybean as affected by starter-N plus topdressed N[J]. Soybean Science, 2012, 31(3): 78-83.)
- [10] 董雪. 氮素调控对大豆光合产物积累及根瘤固氮的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2009:47-54. (Dong X. The effects of N management on photosynthate distribution and nitrogenase activity of soybean [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2009: 47-54.)
- [11] 张晓艳,郑殿峰,冯乃杰,等.密度对大豆群体碳氮代谢相关指标及产量、品质的影响[J].干旱地区农业研究,2011,29(5):128-132. (Zhang X Y, Zheng D F, Feng N J, et al. Effect of plant density on soybean carbon and nitrogen metabolism, yield and quality[J]. Agriculture Research in the Arid Areas, 2011, 29(5): 128-132.)
- [12] 肖亦农,谢甫缙,肖万欣.不同肥密处理对超高产大豆氮素吸收和产量的影响[J].大豆科学,2011,30(5):669-776. (Xiao Y N, Xie F T, Xiao W X. Effects of different fertilizer level and planting density on nitrogen absorption and yield of super-high-yielding soybean[J]. Soybean Science, 2011, 30(5): 669-776.)
- [13] 翟云龙.种植密度对高产春大豆生长发育及氮磷钾吸收分配的效应研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2005:23-27. (Di Y L. Study on the effect of plant density on the growth and development, nitrogen phosphorus potassium absorption and distribution of high-yield spring soybean [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2005: 23-27.)
- [14] 王立刚,刘景辉,刘克礼,等.大豆对氮素吸收规律的研究[J].中国农学通报,2004,20(6):162-165. (Wang L G, Liu J H, Liu K L, et al. The study on the law of nitrogen absorption in soybean [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2004, 20(6): 162-165.)
- [15] 王海艳,孙超,罗盛国,等.优化施肥对大豆氮素积累及产量的影响[J].东北农业大学学报,2012,43(4):11-15. (Wang H Y, Sun C, Luo S G, et al. Effect of optimized fertilization on N accumulation and yield of soybean[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2012, 43(4): 11-15.)
- [16] 蒋彭炎.水稻高产栽培理论与技术讲座(2)—高产水稻的若干生物学规律[J].中国稻米,1994(2):43-45. (Jiang P Y. Lectures on high-yielding cultivation theory and technology of rice (2)—biology regularities of high-yield rice[J]. China Rice, 1994(2): 43-45.)
- [17] 杜金哲,李文雄,胡尚连,等.春小麦不同品质类型氮的吸收、转化利用及与籽粒产量和蛋白质含量的关系[J].作物学报,2001,27(2):253-260. (Du J Z, Li W X, Hu S L, et al. Nitrogen assimilation, transfer and utilization in relation to grain protein content and yield of spring wheat genotypes differing in quality[J]. Acta Agronomica Sinica, 2007, 27(2): 253-260.)
- [18] 侯立白,李奇真,孙克用.应用¹⁵N示踪法对大豆不同来源氮素吸收与利用的研究[J].作物学报,1985,11(3):187-189. (Hou L B, Li Q Z, Sun K Y. Studies on the absorption and utilization of different nitrogen sources by soybean by means of ¹⁵N isotope tracer[J]. Acta Agronomica Sinica, 1985, 11(3): 187-189.)
- [19] 侯国梅.追施氮肥对大豆体内氮素运转与分配的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2009:38-41. (Hou G M. Effects of top-dressed N-fertilizer on translocation and distribution in soybean plants [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2009: 38-41.)
- [20] 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. Studies on the relationships between nitrogen accumulation, distribution and yield of soybean[J]. Soybean Bulletin, 1998(6): 25.)

(上接第 505 页)

- [14] 沈宏,施卫明,王校常,等.不同作物对低磷胁迫的适应机理研究[J].植物营养与肥料学报,2001,7(2):172-177. (Shen H, Shi W M, Wang X C, et al. Study on adaptation mechanisms of different crops to low phosphorus stress[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2001, 7(2): 172-177.)
- [15] Dakorad F. A functional relationship between leghemoglobin and nitrogenase based on novel measurements of the proteins in legume root nodules[J]. Annals of Botany, 1995, 15: 49-54.
- [16] Sinclair T R, Serra J R. Legume nitrogen fixation and drought[J]. Nature, 1995, 378(23): 344-347.
- [17] Lynch J. Root architecture and plant productivity[J]. Plant Physiology, 1995, 109(1): 7-13.
- [18] 房增国,左元梅,李隆.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 Fertilizer Science, 2004, 10(4): 386-390.)
- [19] 严君,韩晓增,王守宇,等.不同施氮量及供氮方式对大豆根瘤生长及固氮的影响[J].江苏农业学报,2010,26(1):75-79. (Yan J, Han X Z, Wang S Y, et al. Effects of different N supply levels and methods on nodule growth and nitrogen fixation in soybean (*Glycine max* L.) [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2010, 26(1): 75-79.)