

氮密交互对大豆干物质在冠层中分布的影响

吴 琼,孙 磊,刘元英,张明聪,孙文相,赵 晶,王丽娟

(东北农业大学 资源与环境学院,黑龙江 哈尔滨 150030)

**摘 要:**以东农 52 大豆为试材,采用裂区设计,设置 3 个密度(20 万,25 万,30 万株·hm<sup>2</sup>)和 3 种施氮方式(基肥施 N 60 kg·hm<sup>2</sup>;基肥施 N 18 kg·hm<sup>2</sup> + R3/R4 追 N 42 kg·hm<sup>2</sup>),研究氮密交互对 R4 期后大豆叶片、叶柄和荚果干物重在冠层中分布以及不同粒数荚在冠层中分布的影响。结果表明:R6 期前,中冠层各器官干重随密度的升高而升高,而到 R7 期,25 万株·hm<sup>2</sup>处理上、中冠层各器官干物重显著高于 30 万株·hm<sup>2</sup>的处理,从 R5 期开始,启动氮加追氮处理上、中冠层各器官干重显著高于氮肥一次性施用,且 R4 期追氮优于 R3 期追氮;R8 期,25 万株·hm<sup>2</sup>密度的上冠层荚果干重 R4 期追氮处理较氮作基肥一次性施用高 15.2% ( $P<0.05$ )。上、中冠层 $\leq 2$ 粒荚数在密度为 30 万株·hm<sup>2</sup>时最高;而 3、4 粒荚数在密度为 25 万株·hm<sup>2</sup>时达最大值;启动氮 + R4 期追氮显著提高了上、中冠层 3、4 粒荚数。综上得出,25 万株·hm<sup>2</sup>密度下启动氮 + R4 期追氮处理能显著提高 R6 期后上、中冠层各器官干重以及 3、4 粒荚数,产量较其他处理增加 10.8%~36.5% ( $P<0.05$ )。

**关键词:**大豆;氮密交互;冠层;干物质积累

**中图分类号:**S565.1      **文献标识码:**A      **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2015.01.0046

Effects of N and Density Interaction on Dry Matter Distribution in Canopies in Soybean

WU Qiong, SUN Lei, LIU Yuan - ying, ZHANG Ming - cong, SUN Wen - xiang, ZHAO Jing, WANG Li - juan  
(College of Resources and Environmental Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** A split - plot designed field experiment with three densities (200 000, 250 000 and 300 000 plants · ha<sup>-1</sup>) and three N treatments (basal fertilizer N 60 kg · ha<sup>-1</sup>; N 18 kg · ha<sup>-1</sup> as basal fertilizer plus N 42 kg · ha<sup>-1</sup> as topdressing at stage R3/R4) using soybean cultivar Dongnong 52 was conducted to study the effects of starter - N plus top - dressing N on dry matter distribution in leaves, petioles and pods in different canopies under different densities. Results showed that dry matter weight of different organs in middle canopy increased with increment of density at stage R6. At stage R7, dry matter weight of different organs in upper/middle canopy under the density of 250 000 plants · ha<sup>-1</sup> was significantly higher than the statistics for 300 000 plants · ha<sup>-1</sup>. Different organs dry matter weight in upper/middle canopy after R5 of starter - N plus top - dressing N were significantly higher than those of using N only as basal fertilizer under the same density. Besides, top - dressing N at stage R4 was better than at stage R3. At stage R8, seed dry matter weight in upper canopy of starter - N plus top - dressing N at R4 was 15.2% higher than using N only as basal fertilizer ( $P<0.05$ ) under the density of 250 000 plants · ha<sup>-1</sup>. The number of  $\leq 2$  - seeded pods in upper/middle canopy reached a maximum under the density of 300 000 plants · ha<sup>-1</sup>, while the best density for 3/4 - seeded pods was 250 000 plants · ha<sup>-1</sup>; starter - N plus top - dressing N increased the number of 3/4 - seeded pods. In summary, starter - N plus top - dressing N at R4 under the density of 250 000 plants · ha<sup>-1</sup> increased the dry matter weight of organs in upper/middle canopy after R6 and the number of 3/4 - seeded pods, and yield under this condition was 10.8%~36.5% higher than other treatments ( $P<0.05$ ).

**Keywords:** Soybean; N and density interaction; Canopy; Dry matter accumulation

大豆是全冠层具有生产力的作物,建立良好的群体冠层结构,有利于大豆群体对光能的利用,对于提高产量非常重要<sup>[16]</sup>。冠层内光照的分布主要集中于冠层上部,中部较弱,下部更弱<sup>[4]</sup>。增加冠层光分布可以提高单位叶面积的光合速率<sup>[7-8]</sup>。杜吉到<sup>[9]</sup>指出,冠层中光照强度随着密度的增加呈递减趋势,高密度与低密度群体之间差异显著。密度越大,冠层封闭越早<sup>[10]</sup>。随着密度的增加,中冠层和下冠层落花落荚严重<sup>[11]</sup>。密度增加,上、中冠层粒

重显著增加,且上、中冠层籽粒对产量贡献较大<sup>[12]</sup>。张明聪<sup>[13]</sup>指出,启动氮加追氮处理与氮作基肥一次性施用相比,显著提高了增密条件下大豆上、中冠层的群体净同化率,进而使上、中冠层籽粒干重显著增加。孙超<sup>[14]</sup>的研究表明,前期施氮过多造成植株徒长,通风透光差,进而降低中、下冠层坐果率;优化施肥能够显著提高鼓粒期全冠层叶干重,有利于籽粒充实,最终获得高产。以上研究表明,氮素调控有利于在增密条件下建立大豆高产冠层结构。

收稿日期:2014 - 04 - 02  
基金项目:国家“十二五”科技支撑计划(2013BAD20B04)。  
第一作者简介:吴琼(1988 -),女,硕士,主要从事作物养分管理研究。E - mail:799245545@qq.com。  
通讯作者:刘元英(1954 -),女,教授,博导,主要从事作物养分管理研究。E - mail:yuanyingl@163.com。

以往对大豆冠层中干物质积累与分布的研究主要集中在密度和品种方面,关于氮素调控对冠层结构影响的研究很少,而在增密条件下氮素调控对大豆干物质在冠层中分布的研究鲜见报道。本试验在 3 个密度条件下,研究启动氮加追氮对大豆干物质在冠层中分布的影响,以期在增密条件下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。供试品种为东农 52,该品种由吉 5412 和黑农 40 有性杂交而成,无限结荚习性。土壤为黑土,前茬作物为玉米,有机质含量  $28.5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,全氮  $0.93\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,硝态氮  $23.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,全磷  $0.99\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,速效磷  $61.1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,速效钾  $124.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,pH6.78。肥料为尿素(N 46%)、重过磷酸钙( $\text{P}_2\text{O}_5$  46%)、氯化钾( $\text{K}_2\text{O}$  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。共设置 3 个密度:20 万株  $\cdot\text{hm}^2$  (D1)、25 万株  $\cdot\text{hm}^2$  (D2) 和 30 万株  $\cdot\text{hm}^2$  (D3)。D1 和 D2 设 3 个氮素调控方式:基肥一次施用氮  $60\text{ kg}\cdot\text{hm}^2$  (N1);基肥施氮  $18\text{ kg}\cdot\text{hm}^2$ ,初荚期(R3 期)追氮  $42\text{ kg}\cdot\text{hm}^2$  (N2);基肥施氮  $18\text{ kg}\cdot\text{hm}^2$ 、盛荚期(R4 期)追氮  $42\text{ kg}\cdot\text{hm}^2$  (N3),D3 只设 N2、N3 两个氮素调控方式。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  $\text{P}_2\text{O}_5$   $35\text{ kg}\cdot\text{hm}^2$ , $\text{K}_2\text{O}$   $40\text{ kg}\cdot\text{hm}^2$ 。每个小区 6 垄,垄宽 0.7 m,垄长 15 m,小区面积为  $63\text{ m}^2$ 。

1.2 测定项目与方法

分别于盛荚期(R4)、鼓粒初期(R5)、鼓粒盛期(R6)、初熟期(R7)和收获期(R8)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、柄、荚果(R4 ~ R8)分开。清洗干净,各器官于  $85^\circ\text{C}$  杀

青 30 min, $70^\circ\text{C}$  烘干至恒重,测定干物重。R4 期开始,将植株分为上、中、下 3 个冠层,从子叶痕开始往上数 8 节为下冠层,再向上数 5 节为中冠层,其余为上冠层,分别测定 3 个冠层不同器官在不同生育时期的干物重。

R6 期取样后,每小区选取有代表性的 4 株,在叶柄上挂标签进行冠层的标记,从 R6 ~ R7 期,每隔 3 d 收集 1 次有标记的脱落的叶片,洗净烘干后称重,计入相应的冠层干物重,以保证干物质测定的准确性。在 R8 期每小区取  $2\text{ m}^2$  考种测产。

1.3 数据分析

采用 Excel 2003 与 DPS 7.05 软件进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 全冠层干物质积累动态

如图 1 所示,R4 ~ R6 期干物质分布为:中冠层 > 上冠层 > 下冠层,随着生育期的推移,上冠层干物重所占比例逐渐增加。R6 期,上冠层占全株干物重  $38.8\% \sim 43.2\%$ ,到 R7 期增至  $43.7\% \sim 51.2\%$ ,此时干物质分布为:上冠层 > 中冠层 > 下冠层。

相同施肥方式下,R4 期上冠层干物重随密度的增加而降低,D1N2 较 D2N2 和 D3N2 分别增加  $13.8\%$  ( $P < 0.05$ ) 和  $30.6\%$  ( $P < 0.01$ );R7 期,D2N3 较 D3N3 增加  $18.7\%$  ( $P < 0.05$ )。R5 ~ R6 期中冠层的干物重随密度的升高而升高,R5 期 D3N3 较 D1N3 和 D2N3 分别增加  $20.9\%$  和  $8.6\%$  ( $P < 0.05$ );R6 期 D2N3 和 D3N3 分别较 D1N3 增加  $9.0\%$  和  $14.7\%$  ( $P < 0.05$ )。但 R7 期,D2N3 反而较 D3N3 增加  $6.6\%$  ( $P < 0.05$ )。这可能是由于鼓粒期 30 万株  $\cdot\text{hm}^2$  的处理因密度过大,植株相互遮挡,影响了后期植株群体干物质积累。

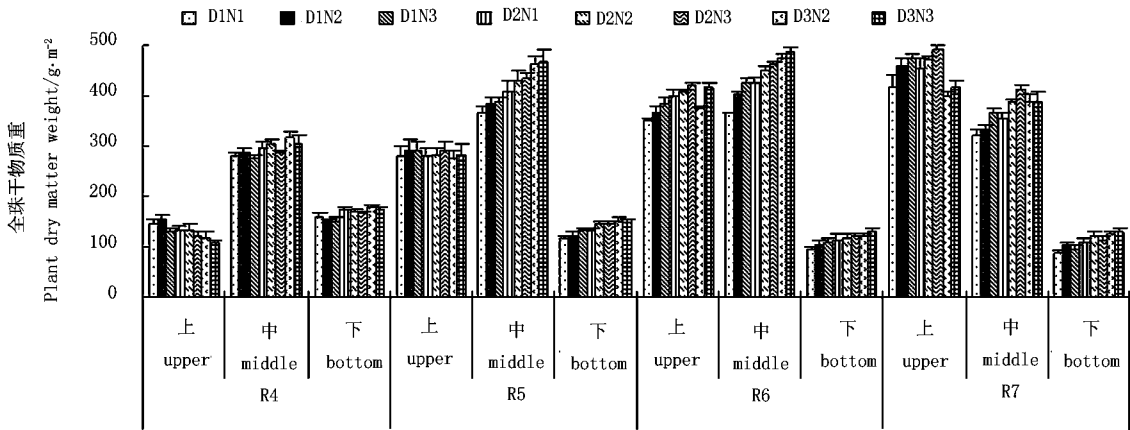


图 1 全株各冠层干物质积累动态

Fig. 1 Dynamic change of plant dry matter accumulation at different stages

相同密度条件下,R6 期干重,上冠层 D3N3 较 D3N2 增加 11.1% ( $P < 0.05$ ),中冠层 D1N3 较 D1N1 增加 16.1% ( $P < 0.05$ )。R7 期,上冠层 D1N3 较 D1N1 增加 13.3%, ( $P < 0.05$ );中冠层 D2N3 较 D2N1 和 D2N2 分别增加 16.5% 和 7.0% ( $P < 0.05$ )。表明 R5 期前干物质变化主要受密度影响,R6 期开始,与氮作基肥一次性施用相比,启动氮 + 追氮能显著提高上、中冠层干物质积累,且 R4 期追氮优于 R3 期追氮。

2.2 不同冠层叶片干物质积累

由图 2 可看出,R7 期前中冠层叶片干重高于上冠层,而 R7 期后中冠层低于上冠层,其原因是 R5

期后,中、下冠层叶片接受光照较少,叶片功能期短,落叶多。

相同施肥方式下,R6 期随密度的升高而升高,D2N3 和 D3N3 分别较 D1N3 增加 12.0% 和 13.1% ( $P < 0.05$ );但到 R7 期,D2N2 反而较 D3N2 增加 70.3% ( $P < 0.01$ )。R4 ~ R6 期,中冠层叶片干重随密度的升高而增加;R4 期,D3N3 较 D1N3 增加 23.6% ( $P < 0.05$ ),R5 期增加 19.4% ( $P < 0.05$ ),R6 期增加 25.0% ( $P < 0.05$ );但到了 R7 期,D2N3 反而较 D3N3 增加 9.5% ( $P < 0.05$ )。说明,密度过大导致群体郁闭,抑制冠层叶片生长发育。

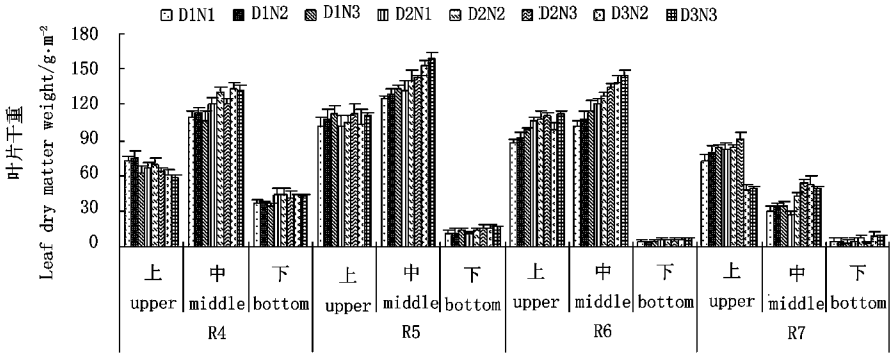


图 2 不同生育时期各冠层叶片干重

Fig. 2 Leaf dry matter accumulation at different stages

相同密度下,R5 期上冠层叶片干重 D2N3 较 D2N1 增加 9.6% ( $P < 0.05$ ),中冠层增加 8.5% ( $P < 0.05$ )。R6 期上冠层 D3N3 较 D3N2 增加 12.2% ( $P < 0.05$ ),中冠层 D2N3 较 D2N1 增加 10.8% ( $P < 0.05$ )。R7 期上冠层 D2N3 较 D2N2 和 D2N1 分别增加 9.9% 和 12.0% ( $P < 0.05$ ),中冠层分别增加 25.0% 和 99.3% ( $P < 0.01$ )。可见,R5 期后启动氮 + 追氮处理叶片干重显著高于一次性施氮处理,且 R4 期追氮优于 R3 期追氮。

2.3 不同冠层叶柄干物质积累

如图 3 所示,相同施氮方式下,R6 期,D2N2 较 D3N2 增加 11.3% ( $P < 0.05$ )。中冠层叶柄干重,R4 ~ R6 期随着密度的升高而增加,R6 期 D3N2 较 D2N2 和 D1N2 分别增加 16.3% 和 29.4% ( $P < 0.01$ );但 R7 期,D2N3 反而较 D3N3 增加 11.3% ( $P < 0.05$ ),可见,适当增加密度有助于增加群体后期上、中冠层叶柄干物质积累,但密度过大会影响群体通风透光,导致植株早衰,使叶柄干重降低。

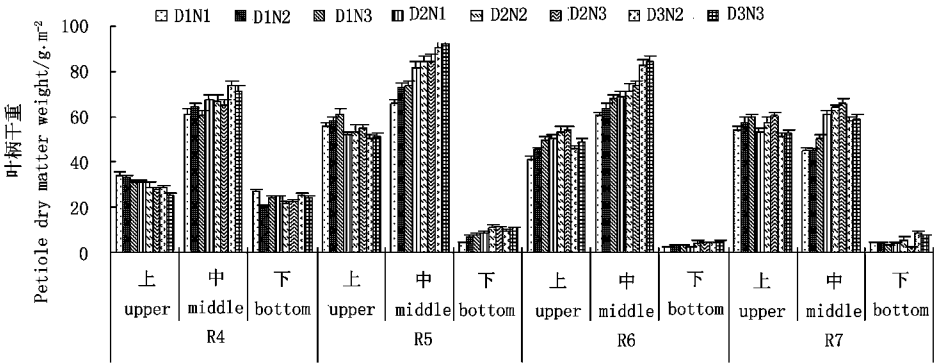


图 3 不同生育时期各冠层叶柄干重

Fig. 3 Petiole dry matter accumulation at different stages

相同密度下,R6 期上冠层 D1N3 较 D1N1 和 D1N2 分别增加 20.2% 和 9.7% ( $P < 0.05$ );中冠层

增加 6.1% 和 12.4% ( $P < 0.05$ )。R7 期上冠层 D2N3 较 D2N1 高 13.5% ( $P < 0.05$ ),中冠层 D1N3

较 D1N2 和 D1N1 分别高 13. 0% 和 12. 0% ( $P<0.05$ )。说明启动氮 + 追氮显著提高了生育后期上、中冠层叶柄干重,且 R4 期追氮优于 R3 期追氮。

2.4 不同冠层荚果干物质积累

如图 4 所示,相同施氮条件下,R6 期,随着密度

的升高而升高,D3N3 较 D1N3 增加10.3% ( $P < 0.05$ );但 R7 期 D2N2 反而较 D3N2 增加6.7% ( $P<0.05$ );R8 期,增加了 6. 2%。中冠层荚果干重,R8 期 D2N3 较 D1N3 增加 16. 7% ( $P < 0.05$ )。以上说明密度过大,落荚率高,荚果干重降低。

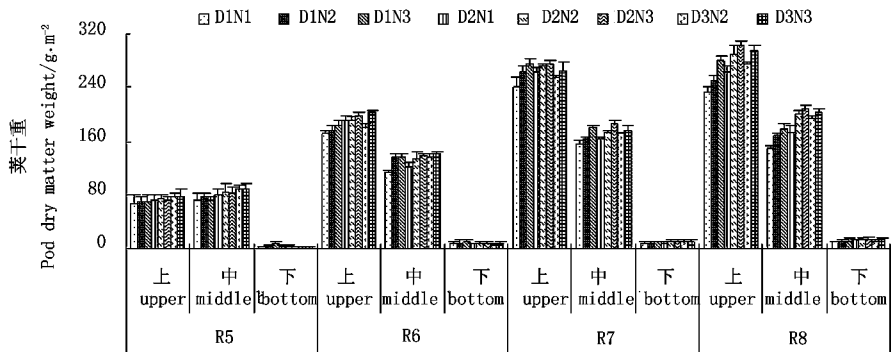


图 4 不同生育时期各冠层荚果干重

Fig.4 Pod dry matter accumulation at different stages

在相同密度下,上冠层荚果干重,R7 期,D1N3 较 D1N1 增加 13. 9% ( $P < 0.05$ );R8 期,D2N3 较 D2N1 增加 15. 2% ( $P < 0.05$ )。中冠层荚果干重,R7 期,D2N3 较 D2N1 增加 13. 5 % ( $P < 0.05$ );R8 期,增加了 19. 7% ( $P < 0.05$ )。结果表明,启动氮 + 追氮主要提高了 R7 期后上、中冠层荚果干重。

2.5 不同粒数荚在冠层中的分布

如图 5 和图 6 所示,相同施氮条件下,单株荚数随着密度增加而减少,D1N2 和 D2N2 分别较 D3N2

增加 35. 7% 和 30. 6% ( $P < 0.01$ ),但与 20 万株·hm<sup>-2</sup>氮作基肥一次性施用处理相比,25 万株·hm<sup>-2</sup> R4 期追氮处理株荚数增加了 7. 5% ( $P < 0.05$ ),说明盛荚期追氮能抵消高密度对植株个体带来的消极作用。单位面积荚数随着密度的升高而升高,但 25 万和 30 万株·hm<sup>-2</sup>密度处理间无显著差异;相同密度下,启动氮 + 追氮处理荚数高于一次性施氮处理。

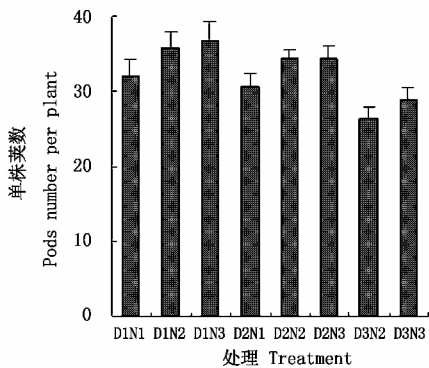


图 5 各处理单株荚数

Fig.5 Pod number of single plant

如图 7 所示,相同施氮条件,上冠层≤2 粒荚数随着密度的升高而增加,D3N3 较 D2N3 和 D1N3 分别增加 13. 2% ( $P < 0.05$ ) 和 50. 0% ( $P < 0.01$ );而 25 万株·hm<sup>-2</sup>密度下 4 粒荚数显著高于 30 万株·hm<sup>-2</sup>,D2N3 较 D3N3 增加 19. 9% ( $P < 0.05$ )。中冠层,≤2 粒荚数,D3N3 较 D2N3 和 D1N3 分别增加 10. 5% ( $P < 0.05$ ) 和 40. 1% ( $P < 0.01$ );4 粒荚数,D2N3 反而较 D1N3 和 D3N3 分别增加25. 4%和27. 5% ( $P < 0.01$ )。

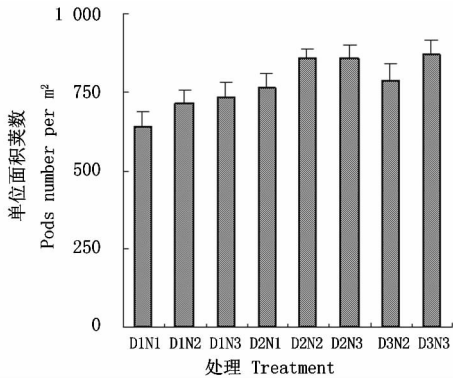


图 6 各处理单位面积荚数

Fig.6 Pod number per square meter

说明密度过大,抑制多粒荚的形成。

相同密度条件下,启动氮加追氮处理优于氮作基肥一次性施用处理。上冠层,启动氮 + R3 期追氮处理≤2 粒荚数高于其他处理,D1N2 分别较 D1N1 和 D1N3 增加 14. 6% 和 8. 3% ( $P < 0.05$ );3、4 粒荚数以 R4 期追氮处理为最高,D1N3 处理 3 粒荚数较 D1N1 和 D1N2 分别增加 17. 5% 和 14. 0% ( $P < 0.05$ )。D1N3 处理 4 粒荚数较 D1N1 和 D1N2 分别

增加 25.5% 和 14.7% ( $P < 0.05$ )。中冠层, D1N2 处理  $\leq 2$  荚数较 D1N1 和 D1N3 分别增加 12.2% 和 6.9% ( $P < 0.05$ ); D2N3 处理 3 粒荚数较 D2N1 增加 17.2% ( $P < 0.05$ ); D2N3 处理 4 粒荚较 D2N1 和

D2N2 分别增加 30.3% 和 12.7% ( $P < 0.01$ )。可见 25 万株  $\cdot$   $\text{hm}^2$  密度条件下启动氮 + R4 期追氮不仅促进了 3,4 粒荚的形成, 而且提高了单位面积荚数, 达 859 个  $\cdot$   $\text{m}^2$ , 从而提高了产量。

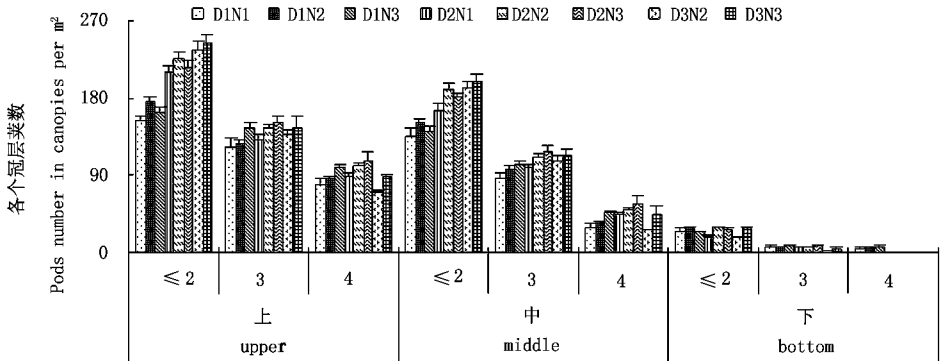


图 7 大豆各冠层不同粒数荚的分布  
Fig.7 Pod number in different canopies

2.6 大豆产量及产量构成因素

大豆产量及构成因素见表 1。相同施肥条件下, 当密度低于 25 万株  $\cdot$   $\text{hm}^2$  时, 产量随着密度的升高而升高, 但当密度增至 30 万株  $\cdot$   $\text{hm}^2$  时, 产量较 25 万株  $\cdot$   $\text{hm}^2$  时低。相同密度条件下, 启动氮 + 追氮处理产量要高于氮作基肥一次施用处理, 且 R4 期追氮的处理产量高于 R3 期追氮。

从产量构成中可看出, 随着密度的增加, 株粒数有所减少。密度相同的条件下, 启动氮 + 追氮的单株粒数高于氮作基肥一次施用的处理。密度从

20 万株  $\cdot$   $\text{hm}^2$  增至 25 万株  $\cdot$   $\text{hm}^2$  时, 单位面积粒数显著增加, 当密度增至 30 万株  $\cdot$   $\text{hm}^2$  时, 虽然单位面积株数有所增加, 但株粒数因群体密度过大而大幅度减小, 从而使其单位面积粒数反而低于密度为 25 万株  $\cdot$   $\text{hm}^2$  的处理。在肥密交互的作用下, D2N3 单位面积粒数较 D1N1 增加了 33.8% ( $P < 0.05$ )。本试验中, 25 万株  $\cdot$   $\text{hm}^2$  密度下, 启动氮加 R4 期追氮的处理获得了最高产量, 与其他处理相比, 产量提高 10.8% ~ 36.5% ( $P < 0.05$ )。

表 1 大豆产量和产量构成因素

Table 1 Yield and yield components of soybean

处理 Treatment	单株粒数 Seeds per plant	单位面积粒数 Seeds per m <sup>2</sup>	百粒重 100 - seed weight/g	产量 Yield/t $\cdot$ $\text{hm}^2$	增产 Increase/%
D1N1	73.92 $\pm$ 0.67 e	1478 $\pm$ 15.3 f	19.6 $\pm$ 0.6	2.90 $\pm$ 0.03 g	-
D1N2	81.07 $\pm$ 0.58 b	1621 $\pm$ 8.5 e	19.8 $\pm$ 0.5	3.21 $\pm$ 0.02 f	10.79
D1N3	86.73 $\pm$ 1.2 a	1734 $\pm$ 20.6 c	19.7 $\pm$ 0.2	3.42 $\pm$ 0.04 d	17.93
D2N1	67.84 $\pm$ 0.58 f	1696 $\pm$ 17.3 d	19.9 $\pm$ 0.1	3.38 $\pm$ 0.04 d	16.48
D2N2	76.57 $\pm$ 0.67 d	1914 $\pm$ 19.0 b	20.1 $\pm$ 1.0	3.85 $\pm$ 0.04 b	32.79
D2N3	79.12 $\pm$ 0.33 c	1978 $\pm$ 8.0 a	20.0 $\pm$ 0.5	3.96 $\pm$ 0.02 a	36.53
D3N2	55.19 $\pm$ 0.43 h	1655 $\pm$ 5.5 e	19.9 $\pm$ 0.8	3.30 $\pm$ 0.01 e	24.57
D3N3	62.77 $\pm$ 0.67 g	1883 $\pm$ 16.0 b	19.0 $\pm$ 0.3	3.58 $\pm$ 0.03 c	23.50

3 结论与讨论

吴奇峰等<sup>[15]</sup>研究表明, 增施氮肥主要增加了大豆鼓粒后期、上冠层籽粒的干物质积累。种植密度对大豆的生长发育影响很大, 因此建立良好的冠层结构将有助于大豆干物质积累, 有利于籽粒产量提高。张晓艳等<sup>[16]</sup>指出随着密度的增加干物质积累有向上冠层移动的趋势。本试验结果表明: 适当提高种植密度, 有效地提高了上、中冠层叶干重, 但

密度过大会影响群体生育后期中、下冠层光照, 导致中、下冠层叶片早衰, 不利于产量的提高。增密条件下, 启动氮加追氮不仅有利于建立理想的大豆冠层结构, 而且优化了生育后期氮素营养状况, 一定程度上克服了因密度增加造成的个体弱势; 显著提高了鼓粒后期单位面积上、中冠层叶片、叶柄和荚果干物质积累。林蔚刚<sup>[17]</sup>指出, 成熟期无限结荚习性大豆粒重主要集中在中冠层, 上冠层次之。本试验供试材料虽为无限结荚习性品种, 但籽粒干物重主要集中在上冠层, 中冠层次之, 这与林蔚刚的结论不同,

可能是因为增加密度与施氮互作使大豆生长重心发生上移。

本试验结果表明:启动氮加 R4 期追氮条件下,上、中冠层 3、4 粒荚数在密度 25 万株·hm<sup>2</sup> 时达最大值,占上、中冠层荚数的 52.1%;当密度增至 30 万株·hm<sup>2</sup> 时,上、中冠层 3、4 粒荚数比例降至 46.9%。30 万株·hm<sup>2</sup> 密度下,R4 期追氮在单位面积总荚数较 R3 期追氮增加 10% 的基础上,还增加了上、中冠层 3、4 粒荚数的比例;R3 期追氮则增加了中、上冠层≤2 粒荚数。这说明适当增加密度条件下启动氮加盛荚期追氮有利于形成良好的冠层结构,促进上、中冠层 3、4 粒荚的形成。

综上所述,在本试验条件下,密度为 25 万株·hm<sup>2</sup> 采用启动氮加 R4 期追氮方式可最有效的提高单位面积大豆上、中冠层干物质积累量和 3、4 粒荚数,从而获得更高的产量。

### 参考文献

[1] Board J E. Soybean cultivar differences on light interception and leaf area index during seed filling[J]. *Agronomy Journal*, 2004, 96: 305-310.

[2] 金剑, 刘晓冰, 王光华, 等. 不同密度大豆生殖生长期群体冠层结构研究[J]. *农业系统科学与综合研究*, 2003, 19 (2): 124-128. (Jin J, Liu X B, Wang G H, et al. Study on canopy structure in reproductive stage of soybean with different densities [J]. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2003, 19 (2): 124-128. )

[3] 李生秀, 魏建军, 刘建国, 等. 窄行密植对大豆群体冠层结构及光分布的影响[J]. *新疆农业科学*, 2005, 42 (6): 412-414. (Li S X, Wei J J, Liu J G, et al. Effects of planting with narrow line and proper density on canopy structure light penetration of soybean [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2005, 42 (6): 412-414. )

[4] 林蔚刚, 胡立成, 董丽华, 等. 大豆不同群体叶面积与光强垂直分布初步分析[J]. *大豆科学*, 1996, 15(1): 56-60. (Lin W G, Hu L C, Dong L H, et al. The preliminary analysis on distribution of leaf area and intensity of illumination at different colony of soybean in vertical direction [J]. *Soybean Science*, 1996, 15(1): 56-60. )

[5] 刘晓冰, 宋春雨, Herber S J. 美国大豆产量生理研究的进展[J]. *大豆科学*, 2001, 20(2): 141-145. (Liu X B, Song C Y, Herber S J. Some brief aspects of yield physiology research in soybean in USA [J]. *Soybean Science*, 2001, 20(2): 141-145. )

[6] 王景文, 尹田夫. 大豆株型数学模型与冠层中光的垂直分布[J]. *东北农学院学报*, 1982(3): 24-28. (Wang J W, Yin T F. Mathematical patterns of plant types of soybean and perpendicular distribution of light in the canopy [J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 1982(3): 24-28. )

[7] Westgate M E. Managing soybeans for photosynthetic efficiency [C]//Kauffman H E. *World soybean research Proc.* Chicago: Superior Print Champaign, IL, 1999: 223-228.

[8] 刘建国, 李俊华, 张煜新, 等. 大豆群体冠层结构及光合特性的研究[J]. *石河子大学学报(自然科学版)*, 2003, 7(3): 188-190. (Liu J G, Li J H, Zhang Y X, et al. Studies on character of canopy and photosynthesis in soybean population [J]. *Journal of Shihezi University (Natural Science)*, 2003, 7(3): 188-190. )

[9] 杜吉到, 张晓艳, 李建英, 等. 密度对大豆群体冠层微气象特征及产量的影响[J]. *中国油料作物学报*, 2010, 32(2): 245-251. (Du J D, Zhang X Y, Li J Y, et al. Density effect on microclimate characteristics of soybean population canopy and yield [J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2010, 32(2): 245-251. )

[10] 赵双进, 张孟臣, 杨春燕, 等. 栽培因子对大豆生长发育及群体产量的影响 iv. 播期、密度、行株距(配置方式)对产量的影响[J]. *中国油料作物学报*, 2002(4): 29-32. (Zhao S J, Zhang M C, Yang C Y, et al. Effect of culture factors on growth and yield of soybean iv. Effect of sowing date, density, space in row and plant space on yield [J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2002(4): 29-32. )

[11] 刘玉平, 李瑞平, 李志刚. 栽培模式与密度对大豆冠层结构及产量的影响[J]. *大豆科学*, 2010, 29(5): 796-799. (Liu Y P, Li R P, Li Z G. Effect of cultivation pattern and density on canopy structure and yield of soybean [J]. *Soybean Science*, 2010, 29(5): 796-799. )

[12] 孙卓韬, 董钻. 大豆株型、群体结构与产量关系的研究第二报: 大豆群体冠层的荚粒分布[J]. *大豆科学*, 1986, 5(2): 91-102. (Sun Z T, Dong Z. Studies on the relationships between plant type population structure and yield in soybean II. Seed distribution in soybean canopies [J]. *Soybean Science*, 1986, 5(2): 91-102. )

[13] 张明聪. 启动氮加追氮对不同密度大豆光合生产能力的影响 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2013. (Zhang M C. Effects of starter-N plus topdressing N on photosynthetic capacity of soybean plants with different densities [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2013. )

[14] 孙超, 王海燕, 刘元英. 优化施肥对大豆群体质量的影响[J]. *东北农业大学学报*, 2012, 43(8): 110-113. (Sun C, Wang H Y, Liu Y Y. Effect of optimized fertilization on population quality of soybean [J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2012, 43(8): 110-113. )

[15] 吴奇峰, 相吉山, 董志新, 等. 大豆植株不同冠层籽粒干物质积累动态及产量分布[J]. *大豆科学*, 2011, 30(4): 596-601. (Wu Q F, Xiang J S, Dong Z X. Seed dry matter dynamic accumulation and yield distribution in different canopy of soybean [J]. *Soybean Science*, 2011, 30(4): 596-601. )

[16] 张晓艳, 杜吉到, 郑殿峰, 等. 密度对大豆群体叶面积指数及干物质积累分配的影响[J]. *大豆科学*, 2011, 30(1): 96-100. (Zhang X Y, Du J D, Zheng D F, et al. Effect of density on leaf area index, dry matter accumulation and distribution in soybean population [J]. *Soybean Science*, 2011, 30(1): 96-100. )

[17] 林蔚刚. 大豆群体冠层叶粒与光照垂直分布规律的初步分析[J]. *黑龙江农业科学*, 1996(3): 1-4. (Lin W G. Preliminary analysis on vertical distribution of leaves grain and light of colony canopy of soybean [J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 1996 (3): 1-4. )