



# 氨基酸肥喷施次数和时期对大豆生理和产量的影响

张鹏宇, 张晓蕊, 贺 如, 孙贺祥, 姚兴东, 谢甫绋

(沈阳农业大学 大豆研究所, 辽宁 沈阳 110866)

**摘 要:**为分析氨基酸肥对大豆生长发育和产量的影响,探讨大豆田氨基酸肥的高效施肥次数和时期,以沈农 8 号(有限型)和沈农 9 号(亚有限型)两个大豆品种为材料,设置不同生育时期喷施不同次数氨基酸肥处理,对比分析不同生育时期不同处理大豆叶片光合生理、氮代谢、产量及其相关性状等。结果表明:氨基酸肥处理会显著提高大豆的产量,在 V4、R1 和 R3 期喷施 3 次氨基酸肥处理下沈农 8 号和沈农 9 号产量显著高于其它处理,分别比不施氨基酸肥对照增产 27% 和 16%。在 V4、R1 和 R3 期喷施 3 次氨基酸肥后两个品种不同时期的净光合生理指标、氮代谢酶活性和氮素积累量均显著高于其它处理。研究表明施用氨基酸肥可以提高大豆植株的光合能力和氮代谢能力,增加单株粒数,从而获得高产,以 V4、R1 和 R3 期喷施 3 次氨基酸肥处理增产率最高。

**关键词:**大豆;氨基酸肥;生育时期;光合能力;氮代谢酶活性;产量;产量相关性状

## Effects of Spraying Frequency and Stage of Amino Acid Fertilizer on Soybean Physiology and Yield

ZHANG Peng-yu, ZHANG Xiao-rui, HE Ru, SUN He-xiang, YAO Xing-dong, XIE Fu-ti

(Soybean Research Institute, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

**Abstract:** In order to analyze the effect of amino acid fertilizer on the growth, development and yield of soybean, and to explore the frequency and period of high-efficiency fertilization of amino acid fertilizer in soybean fields, two soybean varieties, Shennong 8 (determinate type) and Shennong 9 (semi-determinate type), were used as materials. We set up fertilizer treatments, sprayed different times of amino acid fertilizers in different growth periods, to analyze the photosynthetic physiology, nitrogen metabolism, plant agronomic traits and yield of soybean leaves of different treatments at different growth periods. The results showed that the amino acid fertilizer treatment could significantly increase the yield of soybean. The yields of Shennong 8 and Shennong 9 were significantly higher than those of the other treatments when the amino acid fertilizer was sprayed three times in the V4, R1 and R3 periods, increased by 27% and 16% respectively compared with the control without amino acid fertilizer. The net photosynthetic physiological index, population light energy interception rate, nitrogen metabolism enzyme activity and nitrogen accumulation of the two varieties were significantly higher than other treatments in V4, R1 and R3 stages after three times spraying of amino acid fertilizer. The results showed that the application of amino acid fertilizer could improve the photosynthetic capacity and nitrogen metabolism of soybean plants, increase the seeds number per plant, and thus obtain high yield, and the highest yield was obtained by spraying three times of amino acid fertilizer at V4, R1 and R3 stages.

**Keywords:** soybean; amino acid fertilizer; growth period; photosynthetic capacity; nitrogen metabolizing enzyme activity; yield; yield related traits

近年来,氨基酸肥越来越受到市场青睐<sup>[1]</sup>,与尿素等速效肥和鸡粪等农家肥相比,氨基酸肥营养全面,速效氮含量高,肥效快,吸收利用率高,对环境的污染小<sup>[2]</sup>。目前氨基酸肥料已经广泛应用到农业生产中,但大部分报道集中在对园艺作物的应用上,对大豆等大田作物的应用研究还很少。因此,分析施用氨基酸肥促进大豆增产的生理机制,探讨大豆生产中氨基酸肥的合理用量和施用时期具有重要意义。

作物生长发育所需要的能量大部分通过光合作用来提供<sup>[3,4]</sup>,光合作用与作物产量呈显著正相

关关系<sup>[5-6]</sup>。因此促进作物植株光合作用和延长光合作用时间是提高作物产量的有效手段。有研究表明,氨基酸会促进植物在无光合作用的情况下进行蛋白合成<sup>[7]</sup>。张树生等<sup>[8]</sup>发现,氨基酸肥料可以显著增加黄瓜的叶绿素含量和植株叶面积。孙新娥等<sup>[9]</sup>研究表明,氨基酸肥料可以促进芸豆叶片光合作用和产量提高。张龙等<sup>[10]</sup>发现氨基酸叶面肥能促进枣树花期叶片的光合作用。研究表明,把微量 ALA 与植物生长发育所必需的氮、磷、钾以及多种微量元素等营养元素配合起来制成的氨基酸水溶性肥料可以增加大豆<sup>[11]</sup>、草莓<sup>[12]</sup>和西瓜<sup>[13]</sup>叶片

收稿日期:2022-03-02

基金项目:辽宁省教育厅重点项目(LJKZ0630);国家重点研发计划(2016YFD0300203-2)。

第一作者:张鹏宇(1996—),男,硕士研究生,主要从事大豆遗传改良与生理生态研究。E-mail:zpy040511@163.com。

通讯作者:谢甫绋(1966—),男,博士,教授,博导,主要从事大豆遗传改良与生理生态研究。E-mail:xf299@syau.edu.cn。

的光合速率,减缓叶片衰老,提高产量并改善品质,达到增产增收的目的。

氮素是大豆生长需要的大量元素,在物质和代谢中起着举足轻重的作用。Teixeira 等<sup>[14]</sup>研究不同种类氨基酸对大豆生长发育的影响,发现不同种类氨基酸均可以增加硝酸还原酶活性和植株总氮含量。随着生育进程的推进,高施氮水平可以减缓氮代谢酶活性的降低<sup>[15]</sup>。充足的氮源可以提高叶片硝酸盐、氨基酸和总氮含量,促进干物质积累<sup>[16]</sup>。但目前关于外源施用氨基酸肥对大豆氮素积累和氮代谢调节作用的研究鲜见报道。

本研究以沈农8号(有限型)和沈农9号(亚有限型)2个大豆品种为试验材料,设置不同生育时期喷施氨基酸肥处理,分析大豆叶片光合生理、氮代谢活性和氮素积累等相关指标,以及产量及其相关性状,探讨大豆叶片喷施氨基酸肥的最佳时期、次数,并分析了其增产机制,以期为氨基肥在大豆生产上的推广应用奠定基础。

1 材料及方法

1.1 材料

供试的大豆品种为沈农8号(有限型)和沈农9号(亚有限型),由沈阳农业大学大豆研究所提供。

氨基酸肥由南京禾稼春生物科技有限公司生产,主要活性成份是5-氨基乙酰丙酸(5-ALA,氨基酸含量 $\geq 100\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ),由南京农业大学园艺学院孙健老师提供。

1.2 试验设计

试验于2020年在沈阳农业大学实验农场进行,采用二因素随机区组设计,二因素分别为不同品种处理和不同时期施氨基酸肥处理(表1)。设置两个品种处理:沈农8号和沈农9号。设置7个不同时期施氨基酸肥处理:①CK处理,不喷施氨基酸肥;②V4处理,于V4期喷施氨基酸肥;③R1处理,于R1期喷施氨基酸肥;④R3处理,于R3期喷施氨基酸肥;⑤V4R1处理,分别于V4和R1期喷施氨基酸肥;⑥R1R3处理,分别于R1和R3期喷施氨基酸肥;⑦V4R1R3处理,分别于V4、R1和R3期喷施氨基酸肥。每个小区5行,每行长5 m,3次重复,共42个小区,种植密度为 $15\text{ 万株}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,不同生育时期叶面喷施氨基酸肥,氨基酸肥浓度为 $1\text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ ,每个小区每次喷施2 L。常规田间管理。

在大豆R3期喷施氨基酸肥后10 d开始测定光合生理指标、氮代谢酶活性及单株氮素积累量,每9 d测1次,即8月21日(R4期)、8月29日(R5期)和

9月6日(R6期)各测定1次,并于成熟期测定单株氮素积累量,每个处理选取3株代表性植株进行测定。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 光合生理指标 在晴天9:00—11:00用便携式光合仪(Li-6800,USA)测定大豆植株主茎上倒数第3片完全展开复叶的中间叶片的净光合速率( $P_n$ );在晴天11:00—13:00用冠层分析仪(AccuPAR LP-80,USA)测定叶面积指数(LAI);用叶绿素仪(SPAD-502,Japan)测定大豆植株的叶绿素含量(SPAD值)。

1.3.2 氮代谢酶活性 硝酸还原酶:在晴天9:00—11:00,对叶片喷施 $2\text{ mL }0.5\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的硝酸钾溶液,日光照射1 h后取下, $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱保存。取 $0.3\text{ g}$ 冷冻样品,加入 $3\text{ mL}$ 萃取缓冲液(PBS7.8),在冰上研磨 $5\text{ min}$ , $20\text{ 000 r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心 $20\text{ min}$ 。取 $0.2\text{ mL}$ 上清液,与 $0.75\text{ mL}$ 反应试剂( $100\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ pH}7.5\text{ Tris-HCl}$ 、 $1.0\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ NADH}$ 和 $250\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ KNO}_3$ )混合,温育 $30\text{ min}$ ,用 $1\text{ mL }1\%$ 磺胺和 $1\text{ mL }0.02\%$ 萘胺终止反应。 $540\text{ nm}$ 处测定吸光度。

谷氨酰胺合成酶:取 $0.6\text{ mL}$ 样品上清液,与 $0.4\text{ mL}$ 混合试剂( $15\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ ATP-Na}$ 、 $0.5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ MgSO}_4$ 和 $1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 盐酸羟胺)混合, $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 孵育 $5\text{ min}$ 。用 $0.4\text{ mL }0.67\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ FeCl}_3$ 、 $0.37\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ HCl}$ 和 $20\%$ 三氯乙酸混合液终止反应,测定 $540\text{ nm}$ 吸光度。

谷氨酸合成酶:采用微板法,取 $20\text{ }\mu\text{L}$ 样品上清液,与 $290\text{ }\mu\text{L}$ 反应液( $20\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ L-谷氨酰胺}$ 、 $0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ 2-酮戊二酸}$ 、 $10\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ KCl}$ 、 $3\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ NADH}$ )于96孔板单孔中,测定 $340\text{ nm}$ 初始吸光值和反应 $3\text{ min}$ 后 $340\text{ nm}$ 吸光值。

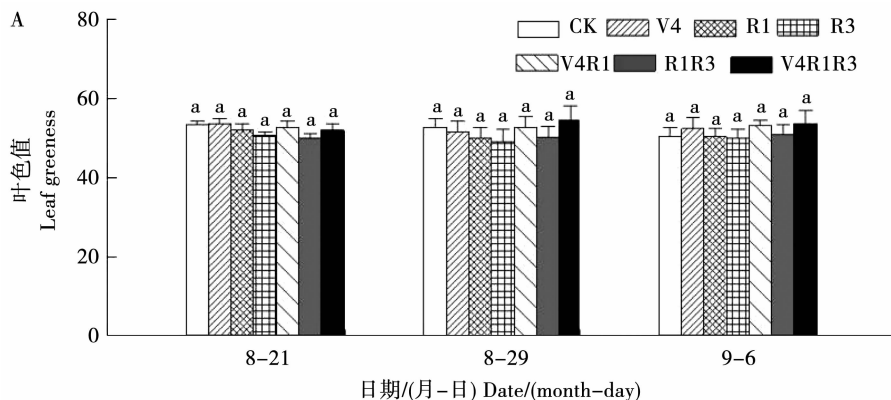
谷氨酸脱氢酶:采用微板法,取 $20\text{ }\mu\text{L}$ 样品上清液,与 $290\text{ }\mu\text{L}$ 反应液( $0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ 2-酮戊二酸}$ 、 $1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ NH}_4\text{Cl}$ 、 $3\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ NADH}$ )于96孔板单孔中,测定 $340\text{ nm}$ 初始吸光值和反应 $3\text{ min}$ 后 $340\text{ nm}$ 吸光值。

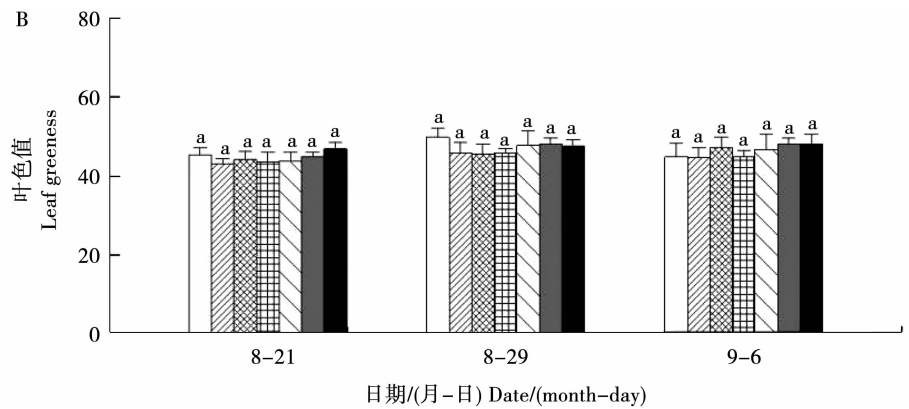
1.3.3 单株氮素积累量 采用凯氏定氮法测量单株氮积累量。

1.3.4 产量及其相关性状 在大豆成熟期,每个小区取中间3行,每行3 m进行小区测产,按14%标准含水量折算产量。每个小区取连续10株植株风干后进行考种,测定单株荚数、单株粒数和百粒重。

1.4 数据分析

采用Excel 2010进行数据处理,采用DPS 16.05进行数据方差分析。





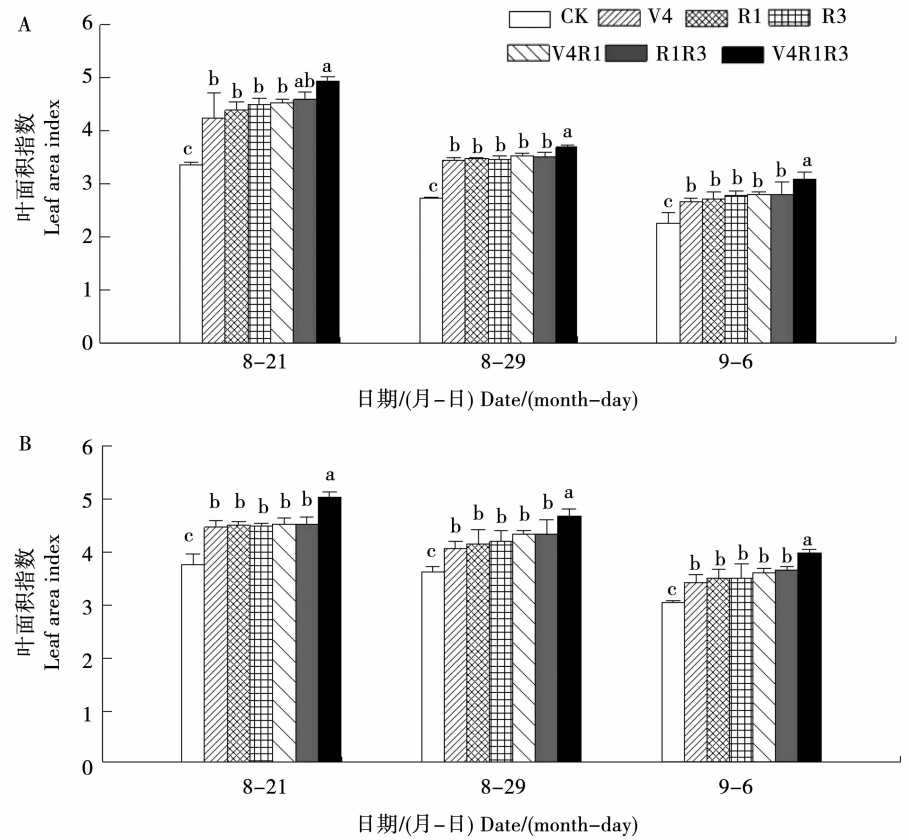
注:A. 沈农 8 号;B. 沈农 9 号。  
Note: A. Shennong 8; B. Shennong 9.

图 2 不同生育时期各喷施氨基酸肥处理叶色值比较

Fig.2 Comparison on leaf greenness of different amino acid fertilizer spraying treatments at different growth periods

2.1.3 大豆叶面积指数 如图 3 所示,单次施肥处理(R3 处理、R1 处理和 V4 处理)间比较,两个品种 R3 处理的效果均优于 R1 处理和 V4 处理。两个品种 V4、R1、R3、V4R1 和 R1R3 处理的叶面积指数间均不存在显著差异。两个品种不同测定时期

V4R1R3 处理的叶面积指数较 CK 处理的增长率均为最大,其中沈农 8 号的增长率分别为 47%、35% 和 37%,沈农 9 号的增长率分别为 34%、29% 和 31%。结果说明不同氨基酸肥处理均会显著提高大豆叶片的叶面积指数。



注:A. 沈农 8 号;B. 沈农 9 号。  
Note: A. Shennong 8; B. Shennong 9.

图 3 不同生育时期各喷施氨基酸肥处理叶面积指数比较

Fig.3 Comparison on leaf area index of different amino acid fertilizer spraying treatments at different growth periods

2.1.4 方差分析 如表 1 所示,各生育时期的不同氨基酸施肥处理间叶片光合速率和叶面积指数存在极显著差异;各生育时期的不同品种间叶片光合速率和叶面积指数存在显著或极显著差异;各生育时期的不同氨基酸施肥处理间及不同品种间的叶

色值不存在显著差异。各生育时期的施肥处理 × 品种间的各光合生理指标均不存在差异。结果说明不同氨基酸肥处理及不同品种对光合速率和叶面积指数产生一定影响,且不同氨基酸肥处理及不同品种间不存在互作效应。

表 1 氨基酸肥处理对大豆光合生理指标影响的方差分析

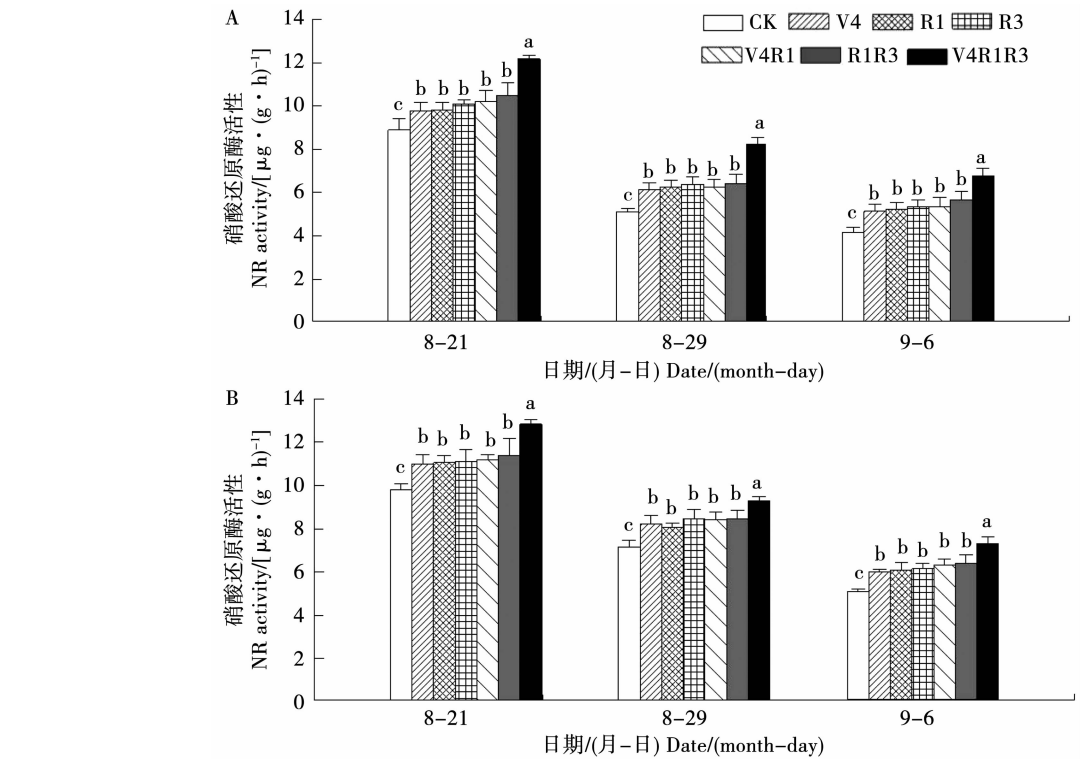
| Table 1 Effects of amino acid fertilizer treatment on photosynthetic traits in soybean |                      |                         |         |                                   |
|--|----------------------|-------------------------|---------|-----------------------------------|
| 生育时期   | 光合生理指标               | 施肥处理                    | 品种      | 施肥处理 × 品种                         |
| Growth stage   | Photosynthetic index | Fertilization treatment | Variety | Fertilization treatment × Variety |
| V4   | 光合速率                 | * *                     | * *     | ns                                |
|  | 叶面积指数                | * *                     | *       | ns                                |
|  | 叶色值                  | ns                      | ns      | ns                                |
| R5   | 光合速率                 | * *                     | * *     | ns                                |
|  | 叶面积指数                | * *                     | * *     | ns                                |
|  | 叶色值                  | ns                      | ns      | ns                                |
| R6   | 光合速率                 | * *                     | * *     | ns                                |
|  | 叶面积指数                | * *                     | * *     | ns                                |
|  | 叶色值                  | ns                      | ns      | ns                                |

注: \* 表示存在显著差异 ( $P < 0.05$ ); \* \* 表示存在极显著差异 ( $P < 0.01$ ); ns 表示没有显著差异 ( $P > 0.05$ )。下同。  
Note: \* indicate there is significant difference at  $P < 0.05$  level; \* \* indicate there is extremely significant difference at  $P < 0.01$ ; ns indicate there isn't statistically significant difference at  $P > 0.05$ . The same below.

2.2 氨基酸肥对大豆氮代谢酶活性的影响

2.2.1 硝酸还原酶 如图 4 所示,单次施肥处理间比较,两个品种不同生育时期间 R3 处理的施肥效果均优于 R1 和 V4 处理;V4、R1、R3、V4R1 和 R1R3 处理间硝酸还原酶活性差异不显著;V4R1R3 处理各生育时期的硝酸还原酶活性相对于对照增强率

最大,其中沈农 8 号硝酸还原酶活性的增强率分别为 37%、61% 和 63%,沈农 9 号的增强率分别为 31%、29% 和 44%。结果说明不同氨基酸肥处理均可以显著增强大豆叶片的硝酸还原酶活性,V4R1R3 处理的增强效果最明显。



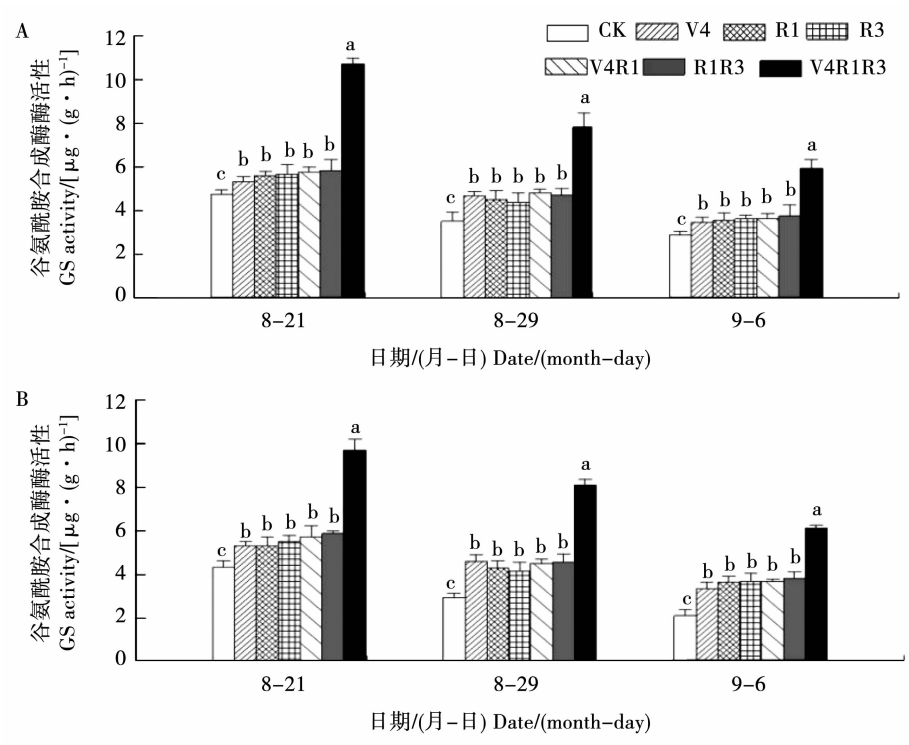
注:A. 沈农 8 号;B. 沈农 9 号。  
Note: A. Shennong 8; B. Shennong 9.

图 4 不同生育时期各喷施氨基酸肥处理叶片硝酸还原酶活性比较

Fig.4 Comparison on nitrate reductase (NR) in soybean leaves of different amino acid fertilizer spraying treatments at different growth periods

2.2.2 谷氨酰胺合成酶 如图5所示,单次施肥处理间比较,两个品种不同生育时期间 R3 处理的施肥效果均优于 R1 和 V4 处理;两个品种 V4、R1、R3、V4R1 和 R1R3 处理间谷氨酰胺合成酶活性差异均不显著;V4R1R3 处理各生育时期的谷氨酰胺合成酶活性相对于对照增强率最大,其中沈农 8 号的增

强率分别为 85%、93% 和 97%,沈农 9 号的增强率分别为 81%、89% 和 94%,各生育时期沈农 9 号谷氨酰胺合成酶活性的增强率均大于沈农 8 号。结果说明不同氨基酸肥处理均可以显著增强大豆叶片的谷氨酰胺合成酶活性,V4R1R3 处理的增强效果最明显。

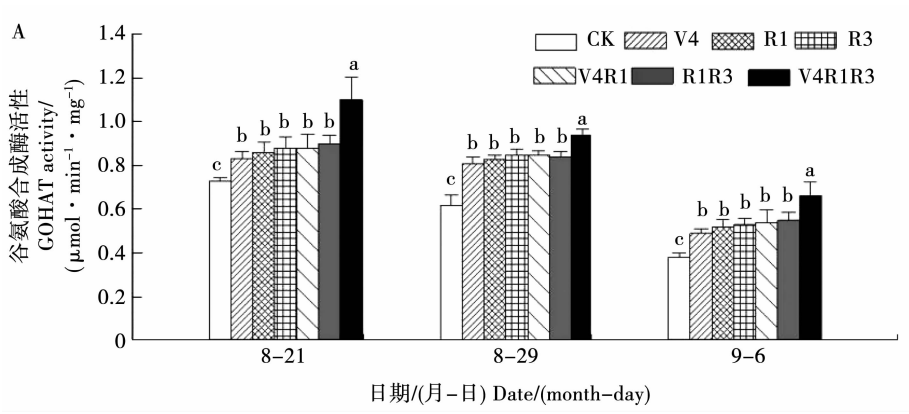


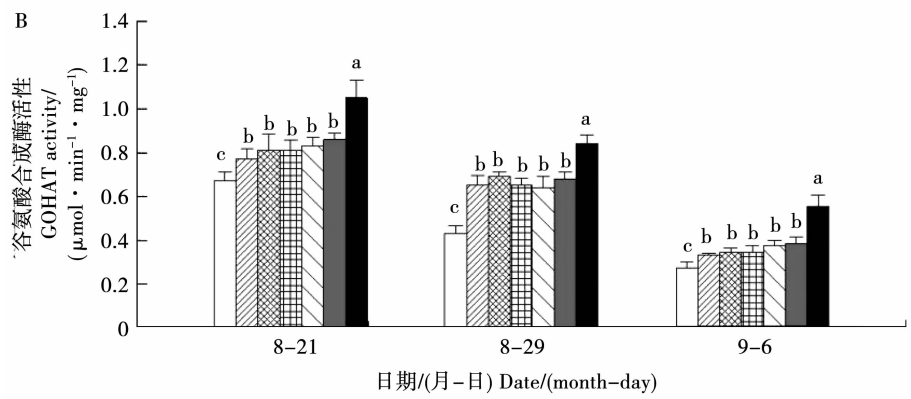
注:A. 沈农 8 号;B. 沈农 9 号。  
Note: A. Shennong 8; B. Shennong 9.

图5 不同生育时期各喷施氨基酸肥处理叶片谷氨酰胺合成酶活性比较  
Fig.5 Comparison on glutamine synthase (GS) activity in soybean leaves of different amino acid fertilizer spraying treatments at different growth periods

2.2.3 谷氨酸合成酶 如图6所示,单次施肥处理间比较,两个品种不同测定时期 R3 处理的谷氨酸合成酶活性增强效果均优于 R1 和 V4 处理;两个品种 V4、R1、R3、V4R1 和 R1R3 处理间谷氨酸合成酶活性差异均不显著;V4R1R3 处理各生育时期的谷

氨酸合成酶活性相对于对照增强率最大,其中沈农 8 号的增强率分别为 50%、52% 和 75%,沈农 9 号的增强率分别为 48%、55% 和 70%(图 6)。结果说明不同氨基酸肥处理均显著增强大豆叶片的谷氨酸合成酶活性,V4R1R3 处理的增强效果最明显。



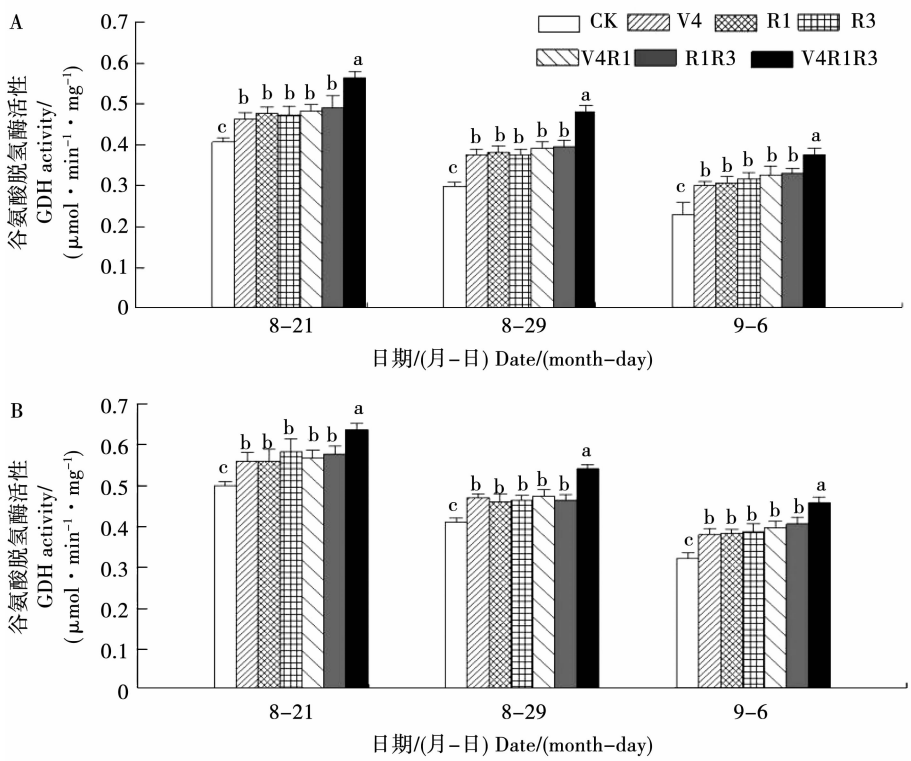


注:A. 沈农 8 号;B. 沈农 9 号。  
Note: A. Shennong 8; B. Shennong 9.

图 6 不同生育时期各喷施氨基酸肥处理叶片谷氨酸合成酶活性比较  
Fig.6 Comparison on glutamate synthase (GOGAT) activity in soybean leaves of different amino acid fertilizer spraying treatments at different growth periods

2.2.4 谷氨酸脱氢酶 如图 7 所示,单次施肥处理间比较,两个品种不同测定时期 R3 处理的谷氨酸脱氢酶活性均优于 R1 和 V4 处理;两个品种 V4、R1、R3、V4R1 和 R1R3 处理间谷氨酸脱氢酶活性差异均不显著;V4R1R3 处理各生育时期的谷氨酸脱氢酶活性相对于对照增强率最大,其中沈农 8 号的

增强率分别为 39%、61% 和 64%,沈农 9 号的增强率分别为 27%、31% 和 30%,各生育时期沈农 9 号谷氨酸脱氢酶活性的增强率均大于沈农 8 号。结果不同氨基酸肥处理均可以显著增加大豆叶片的谷氨酸脱氢酶活性,V4R1R3 处理的增强效果最明显。



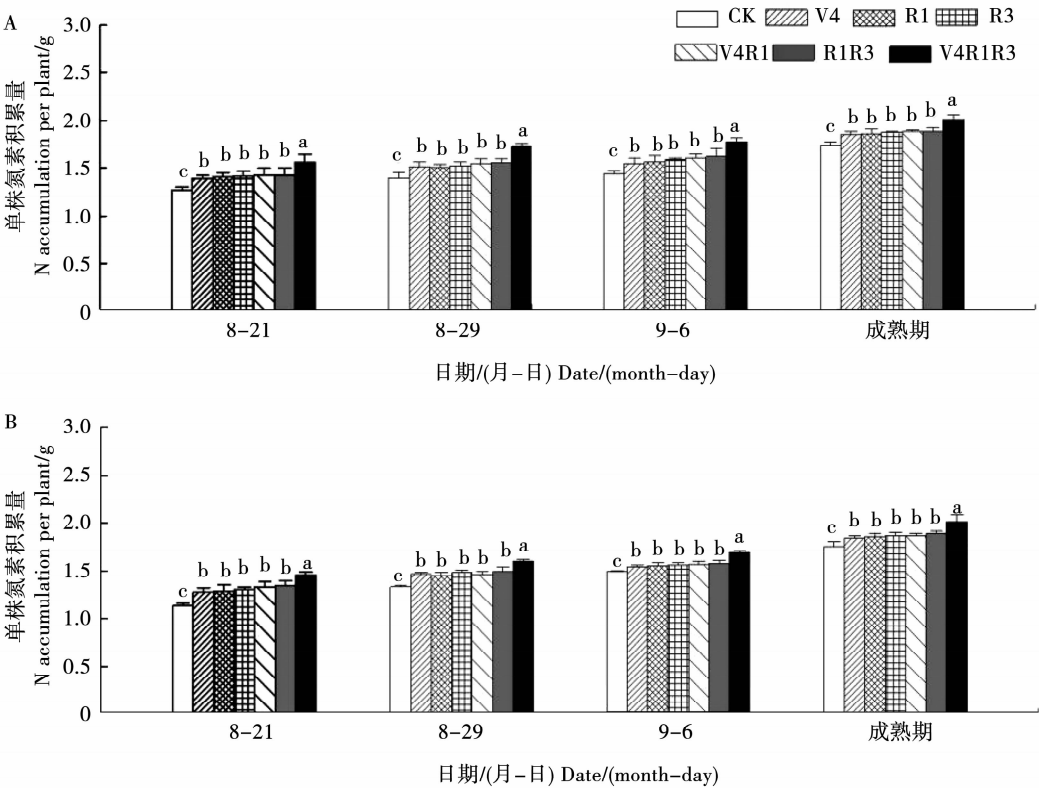
注:A. 沈农 8 号;B. 沈农 9 号。  
Note: A. Shennong 8; B. Shennong 9.

图 7 不同生育时期各喷施氨基酸肥处理叶片谷氨酸脱氢酶活性比较  
Fig.7 Comparison on glutamate dehydrogenase (GDH) activity in soybean leaves of different amino acid fertilizer spraying treatments at different growth periods

2.2.5 氨基酸肥对大豆单株氮素积累量的影响

如图 8 所示,单次施肥处理间比较,两个品种不同生育时期 R3 处理的施肥效果均优于 R1 和 V4 处理;两个品种 V4、R1、R3、V4R1 和 R1R3 处理间单株氮素积累量均差异不显著;V4R1R3 处理各生育

时期的单株氮素积累量相对于对照增长率最大,其中沈农 8 号的增长率分别为 23%、24%、24% 和 16%,沈农 9 号的增长率分别为 29%、20%、13% 和 14%。不同氨基酸肥处理均可以显著增加单株氮素积累量,V4R1R3 处理的增加效果最明显。



注:A. 沈农 8 号;B. 沈农 9 号。  
Note: A. Shennong 8; B. Shennong 9.

图 8 不同生育时期各喷施氨基酸肥处理大豆植株氮素积累量比较

Fig.8 Comparison on nitrogen accumulation in soybean plant of different amino acid fertilizer spraying treatments at different growth periods

2.2.6 方差分析 如表 2 所示,各生育时期的不同氨基酸施肥处理间,叶片硝酸还原酶、谷氨酸合成酶、谷氨酸脱氢酶活性以及植株氮素积累量均存在极显著差异;R4 期不同氨基酸施肥处理间的谷氨酰胺合成酶活性存在显著差异。各生育时期的不同大豆品种间叶片的硝酸还原酶、谷氨酰胺合成酶、谷氨酸合成酶和谷氨酸脱氢酶活性均存在极显著

差异;R4 和 R5 期的不同大豆品种间植株氮素积累量均存在极显著差异。除 R5 期硝酸还原酶活性外,各生育时期的施肥处理 × 品种间的各指标均无显著差异。结果说明氨基酸施肥处理和不同品种对谷氨酸合成酶和谷氨酸脱氢酶产生极显著影响, R5 期不同氨基酸施肥处理与不同品种的互作对硝酸还原酶活性产生一定影响。

表 2 氨基酸肥对大豆叶片氮代谢酶和氮素积累影响的方差分析

Table 2 Effects of amino acid fertilizer on nitrogen metabolism enzymes and nitrogen accumulation in soybean leaves

| 生育时期<br>Growth stage | 指标<br>Indicator | 施肥<br>Fertilization | 品种<br>Variety | 施肥处理 × 品种<br>Fertilization treatment × Variety |
|----------------------|-----------------|---------------------|---------------|--|
| V4                   | 硝酸还原酶           | * *                 | * *           | ns   |
|                      | 谷氨酰胺合成酶         | *                   | * *           | ns   |
|                      | 谷氨酸合成酶          | * *                 | * *           | ns   |
|                      | 谷氨酸脱氢酶          | * *                 | * *           | ns   |
|                      | 氮素积累量           | * *                 | * *           | ns   |



续表 2

| 生育时期         | 指标        | 施肥            | 品种      | 施肥处理 × 品种                         |
|--------------|-----------|---------------|---------|-----------------------------------|
| Growth stage | Indicator | Fertilization | Variety | Fertilization treatment × Variety |
| R5           | 硝酸还原酶     | * *           | * *     | *                                 |
|              | 谷氨酰胺合成酶   | ns            | * *     | ns                                |
|              | 谷氨酸合成酶    | * *           | * *     | ns                                |
|              | 谷氨酸脱氢酶    | * *           | * *     | ns                                |
|              | 氮素积累量     | * *           | * *     | ns                                |
| R6           | 硝酸还原酶     | * *           | * *     | ns                                |
|              | 谷氨酰胺合成酶   | ns            | * *     | ns                                |
|              | 谷氨酸合成酶    | * *           | * *     | ns                                |
|              | 谷氨酸脱氢酶    | * *           | * *     | ns                                |
|              | 氮素积累量     | * *           | ns      | ns                                |
| R8           | 成熟期氮素积累量  | * *           | ns      | ns                                |

2.3 氨基酸肥对大豆产量及其相关性状的影响

2.3.1 产量相关性状 如表 3 所示,不同氨基酸肥处理均可以显著增加大豆的单株粒数,两个品种 V4 处理的单株粒数高于对照,但差异不显著。两个大

豆品种 V4R1R3 处理下的单株粒数均高于其它处理,分别比对照增产 29% 和 26%。但不同生育时期喷施氨基酸肥各个处理的百粒重和单株荚数差异均不显著。

表 3 不同氨基酸施肥处理对大豆产量性状的影响

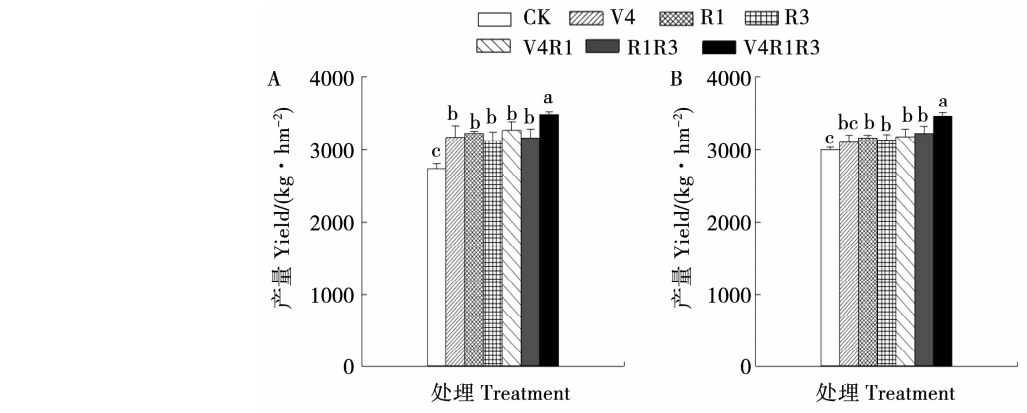
Table 3 Effects of amino acid fertilization treatment on yield traits of soybean at different growth stages

| 处理<br>Treatment | 沈农 8 号 Shennong 8    |                          |                           | 沈农 9 号 Shennong 9    |                          |                           |
|-----------------|----------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------|--------------------------|---------------------------|
|                 | 百粒重                  | 单株荚数                     | 单株粒数                      | 百粒重                  | 单株荚数                     | 单株粒数                      |
|                 | 100-seed<br>weight/g | Pods number<br>per plant | Seeds number<br>per plant | 100-seed<br>weight/g | Pods number<br>per plant | Seeds number<br>per plant |
| CK              | 23.66 ± 0.54 a       | 59.30 ± 6.71 a           | 97 ± 7.81 c               | 17.20 ± 0.74 a       | 76.40 ± 1.26 a           | 146 ± 3.79 c              |
| V4              | 23.08 ± 0.96 a       | 60.30 ± 5.28 a           | 105 ± 5.51 bc             | 17.19 ± 0.24 a       | 77.10 ± 3.63 a           | 151 ± 1.53 c              |
| R1              | 23.97 ± 0.60 a       | 63.60 ± 4.23 a           | 110 ± 2.52 b              | 17.53 ± 0.47 a       | 82.30 ± 4.42 a           | 161 ± 6.51 b              |
| R3              | 23.61 ± 0.98 a       | 61.50 ± 4.42 a           | 110 ± 2.52 b              | 17.03 ± 0.80 a       | 85.60 ± 6.53 a           | 160 ± 3.51 b              |
| V4R1            | 23.81 ± 0.24 a       | 60.50 ± 2.54 a           | 113 ± 6.00 b              | 17.27 ± 0.68 a       | 78.40 ± 0.42 a           | 160 ± 0.58 b              |
| R1R3            | 23.86 ± 0.37 a       | 62.70 ± 4.73 a           | 112 ± 3.61 b              | 17.40 ± 0.95 a       | 81.40 ± 6.11 a           | 164 ± 4.58 b              |
| V4R1R3          | 23.77 ± 0.81 a       | 64.03 ± 5.67 a           | 125 ± 3.51 a              | 17.56 ± 0.86 a       | 85.50 ± 5.30 a           | 184 ± 4.36 a              |

注:同列数据后不同字母表示在 5% 水平存在显著差异。  
Note; Different letters after the same column of data indicate significant differences at the 5% level.

2.3.2 产量 如图 9 所示,不同氨基酸肥处理会增加大豆的产量,两个大豆品种 V4R1R3 处理的产量均高于其它处理,分别比对照增加 27% 和 16%。方差分析结果表明,不同氨基酸施肥处理间和施肥处

理 × 品种处理间的产量存在极显著差异,但不同大豆品种间不存在显著差异,说明不同氨基酸施肥处理及施肥处理 × 品种互作均对大豆产量产生一定影响。



注:A. 沈农 8 号;B. 沈农 9 号。  
Note; A. Shennong 8; B. Shennong 9.

图 9 各喷施氨基酸肥处理大豆籽粒产量比较  
Fig. 9 Comparison on soybean yield of different amino acid fertilizer spraying treatments

3 讨论

在植物生长发育的过程中,光合作用起着至关重要的作用。有研究表明,氨基酸肥可以提高叶片光合效率,减弱光合午休,主要是因为其提高了叶片 PS II 反应中心的光化学效率以及反应中心的受体活性<sup>[9]</sup>。段春慧等<sup>[11]</sup>研究发现,氨基酸肥料可以明显增加大豆叶片叶绿素含量,而本研究发现不同氨基酸叶面肥处理下大豆叶片的叶色值与对照之间没有显著的变化,但叶片的净光合速率和光能截获率都显著提高,其中 V4R1R3 处理提高最明显。

氮代谢主要的功能就是为植物提供氮源,作物的产量与种子的品质都与氮代谢途径密切相关。硝酸还原酶能够把  $\text{NO}^{3-}$  还原为  $\text{NO}^{2-}$ ,所以可以通过直接调控硝酸还原酶活性来调节氮代谢途径<sup>[17]</sup>;谷氨酰胺合成酶和谷氨酸合成酶的共同作用可以使  $\text{NH}^{4+}$  变成谷氨酰胺和谷氨酸等有机氮而被植株吸收,其中谷氨酸脱氢酶(GDH)起到了辅助作用<sup>[18]</sup>。本研究发现,在不同氨基酸肥处理下硝酸还原酶、谷氨酰胺合成酶、谷氨酸合成酶和谷氨酸脱氢酶活性的变化趋势一致,均显著高于对照,其中 V4R1R3 处理的酶活性最高,不同氨基酸肥处理均可以显著增加氮素积累,其中 V4R1R3 处理的氮素积累量最高,说明氮代谢酶活性的增加会促进植物的氮素积累,有利于作物产量的增加。

作物产量的形成实际上是同化物的积累、转运及向籽粒分配的过程<sup>[19-20]</sup>。Hotta 等<sup>[21]</sup>最早对关于外源施用氨基酸肥料提高作物产量进行报道,证明萝卜、大麦、马铃薯、大蒜和蚕豆均可通过外源施用氨基酸肥料来提高产量。Soares 等<sup>[22]</sup>发现用氨基酸混合物(谷氨酸、半胱氨酸、甘氨酸、精氨酸和蛋氨酸)拌种可以提高大豆植株的生产力。蒋舒蕊等<sup>[23]</sup>研究表明,喷施氨基酸肥对植物的生长发育有显著的促进作用,尤其是植物生长发育后期。本研究中不同氨基酸肥料处理均可以使大豆的产量显著提高,肥料处理次数越多产量增加越多,其中 V4R1R3 处理的产量最高,增产率最高,不同大豆品种对喷施氨基酸肥的响应情况不同,沈农 8 号和沈农 9 号分别比对照增产 29% 和 26%,其中沈农 8 号的增产幅度高于沈农 9 号。

4 结论

本研究在大豆不同生育时期喷施不同次数氨基酸肥处理,不同处理下大豆的产量均显著提高,其中 V4、R1 和 R3 期分别喷施氨基酸处理的产量最高,沈农 8 号和沈农 9 号分别比对照增产 29% 和 26%。氨基酸肥使大豆产量提高的主要原因是叶片光合能力、群体光能截获率、氮代谢相关酶活性和氮素积累量增加,从而植株的干物质积累增加,单株粒数提高,最终籽粒产量得以增加。研究结果表明在 V4、R1 和 R3 期各喷施 1 次氨基酸肥的增产效果最好。

参考文献

[1] 庞庆阳,宣毓龙,蔡旭,等. 基于棉粕的氨基酸肥对小麦生长及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究,2017,35(2): 21-24. (PANG Q Y, XUAN Y L, CAI X, et al. Effect of cottonseed amino acid fertilizer on yield and growth of wheat[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2017, 35(2): 21-24. )

[2] 张连秋,杨玉岭,朱哲,等. 氨基酸肥料在生产中的应用进展[J]. 农业灾害研究,2014,4(6): 48-49, 55. (ZHANG L Q, YANG Y L, ZHU Z, et al. Application of amino acid fertilizer in production[J]. Journal of Agricultural Catastrophology, 2014, 4(6): 48-49, 55. )

[3] YEO A R, CAPORN S J M, FLOWERS T J. The effect of salinity upon photosynthesis in rice (*Oryza sativa* L.): Gas exchange by individual leaves in relation to their salt content[J]. Journal of Experimental Botany,1985,36(8): 1240-1248.

[4] 郑宝香. 大豆表观光合作用遗传及其与产量关系的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2008. (ZHENG B X. Study on inheritance of apparent photosynthesis and its relationship with yield in soybean [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2008. )

[5] ASHLEY D A, BOERMA H R. Canopy photosynthesis and its association with seed yield in advanced generations of a soybean cross[J]. Crop Science, 1989, 29(4): 1042-1045.

[6] MORRISON M J, VOLDENG H D, COBER E R. Agronomic changes from 58 years of genetic improvement of short-season soybean cultivars in Canada[J]. Agronomy Journal, 2000, 92(4): 780-784.

[7] 常伟. 丛枝菌根化沙枣苗木耐盐胁迫机制研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2020. (CHANG W. Study on the mechanism of salt tolerance of arbuscular *Elaeagnus angustifolia* seedlings[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2020. )

[8] 张树生,杨兴明,黄启为,等. 施用氨基酸肥料对连作条件下黄瓜的生物效应及土壤生物性状的影响[J]. 土壤学报, 2007(4): 689-694. (ZHANG S S, YANG X M, HUANG Q W, et

al. Effect of application of amino acid fertilizer on biological properties of cucumber plants and soil microorganisms under continuous mono-cropping[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2007(4): 689-694. )

[9] 孙新娥,申明,王中华,等. 两种叶面肥对日光温室芸豆叶片光合作和果实品质的影响[J]. *南京农业大学学报*,2011,34(3):37-43. (SUN X E, SHEN M, WANG Z H, et al. Effects of two leaf fertilizers on photosynthesis and fruit quality of kidney bean in solar greenhouse [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2011, 34(3): 37-43. )

[10] 张龙,王森,刘佳,等. 氨基酸叶面肥对枣树花期光合作用的影响[J]. *中南林业科技大学学报*, 2017, 37(11): 69-75. (ZHANG L, WANG S, LIU J, et al. Amino acid foliar fertilizer effect on *Zizyphus jujube* flowering photosynthesis[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2017, 37(11): 69-75. )

[11] 段春慧,申明,张治平. 氨基酸肥料对大豆叶片光合作用与产量的影响[J]. *南京农业大学学报*, 2012, 35(4): 15-20. (DUAN C H, SHEN M, ZHANG Z P, et al. Effects of amino-acid fertilizer on leaf photosynthesis and yield of soybean [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2012, 35(4): 15-20. )

[12] 刘卫琴,康琅,汪良驹. ALA 对草莓光合作用的影响及其与抗氧化酶的关系[J]. *西北植物学报*, 2006, 26(1): 57-62. (LIU W Q, KANG L, WANG L J. Effects on strawberry photosynthesis and relations to anti-oxidant enzymes of ALA[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2006, 26(1): 57-62. )

[13] 康琅,程云,汪良驹. 5-氨基乙酰丙酸对秋冬季大棚西瓜叶片光合作用及抗氧化酶活性的影响[J]. *西北植物学报*, 2006, 26(11): 2297-2301. (KANG L, CHENG Y, WANG L J. Effects of 5-Aminol evulinic Acid( ALA) on the photosynthesis and anti-oxi dative enzymes activities of the leaves of greenhouse water melon in summer and winter [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2006, 26(11): 2297-2301. )

[14] TEIXEIRA W F, FAGAN E B, SOARES L H, et al. Seed and foliar application of amino acids improve variables of nitrogen metabolism and productivity in soybean crop [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2018, 9: 396.

[15] 李强. 不同氮效率玉米品种对氮肥水平与运筹的响应及氮素吸收利用差异[D]. 成都: 四川农业大学, 2017. (LI Q. Differences of maize cultivars with contrasting nitrogen efficiency response to nitrogen level and management on nitrogen uptake and utilization[D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2017. )

[16] 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. (DONG S K. Study on the law of nitrogen absorption and utilization and related enzyme activities in soybean[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2008. )

[17] 张森,许自成,李京京,等. 烟草碳氮代谢及其调控技术研究进展[J]. *生物技术进展*, 2016, 6(5): 312-318. (ZHANG S, XU Z C, LI J J. Advance on carbon and nitrogen metabolism and regulation of tobacco[J]. *Current Biotechnology*, 2016, 6(5): 312-318. )

[18] 林清华,李常健,张楚富,等. 水稻谷氨酰胺合成酶同工酶免疫学性质比较研究[J]. *植物学报*, 2000, 42(5): 471-475. (LIN Q H, LI C J, ZHANG C F, et al. Comparative study of immunological properties on glutamine synthetase isozymes in rice plants[J]. *Acta Botanica Sinica*, 2000, 42(5): 471-475. )

[19] ALESSANDRO M, LAURA E, MARCO M, et al. Post-anthesis accumulation and remobilization of dry matter, nitrogen and phosphorus indurum wheat as affected by soil type[J]. *European Journal of Agronomy*, 2007,26: 179-186.

[20] PANG X L, YANG Y M, YU C L, et al. Crop management for increasing rice yield and nitrogen use efficiency in northeast China [J]. *Agronomy Journal*, 2015, 107(5): 1682-1690.

[21] HOTTA Y, TANAKA T, TAKAOKA H, et al. New physiological effects of 5-aminolevulinic acid in plants: The increase of photosynthesis, chlorophyll content, and plant growth [J]. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 1997, 61(12): 2025-2028.

[22] SOARES L H, DOURADO-NETO D, FAGAN E B, et al. Soybean seed treatment with micronutrients, hormones and amino acids on physiological characteristics of plants[J]. *African Journal of Agricultural Research*, 2016, 11(35): 3314-3319.

[23] 蒋舒蕊,毛莲珍,赵凯,等. 氨基酸与腐植酸肥对无土栽培生菜生长及营养品质的影响[J]. *蔬菜*, 2021(7): 28-31. (JIANG S R, MAO L Z, ZHAO K, et al. Effects of amino acids fertilizer and humic acid fertilizer on growth and nutritional quality of lettuce in soilless cultivation [J]. *Vegetables*, 2021(7): 28-31. )