

氮水平对不同大豆品种生理特性及产量的影响

李大勇,徐克章,董雅致,陈展宇,张治安,武志海,刘晓龙

(吉林农业大学 农学院,吉林 长春 130118)

摘要: 为了解不同氮素光合效率大豆品种生理特性和产量对氮水平的响应,从R2期到R6期,在5个氮水平下,对2个氮素光合效率高的品种和2个氮素光合效率低的品种根系活力、叶片硝酸还原酶活性、全氮含量、叶绿素含量、净光合速率、单株干物重和产量进行了研究。结果表明:随氮水平的变化,4个大豆品种的生理特性和产量均表现为低氮促进、高氮抑制的先增加后降低的单峰曲线变化。相近年代育成的不同氮素光合效率品种的比较表明,高氮素光合效率品种的根系活力、叶片硝酸还原酶活性、叶片净光合速率、单株干物重等指标均在中、低氮($40 \sim 80 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)处理阶段高于低氮素光合效率品种,在高氮($120 \sim 160 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)处理阶段低于低氮素光合效率品种,此差异在R6期达极显著水平($P < 0.01$),在R2期和R4期多为显著($P < 0.05$)或不显著水平;叶片全氮含量和叶绿素含量则在所有氮水平均表现高氮素光合效率品种显著低于低氮素光合效率品种。因此,高氮素光合效率品种宜施用中、低量氮肥,而低氮素光合效率品种可相应提高氮肥施用量。

关键词: 大豆;氮水平;氮素光合效率;生理特性;产量

中图分类号: S311.321

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2013)03-0365-07

Effect of Nitrogen Levels on Physiological Characteristics and Yield of Different Soybean Varieties

LI Da-yong, XU Ke-zhang, DONG Ya-zhi, CHEN Zhan-yu, ZHANG Zhi-an, WU Zhi-hai, LIU Xiao-long

(College of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract: In order to understand the response of some physiological characteristics and yield to nitrogen levels in soybean varieties with different nitrogen photosynthetic efficiency, the study on the root activity, nitrate reductase activity, nitrogen content of leaf, chlorophyll content, net photosynthetic rate, dry weight of single plant and yield of two high-level and two low-level nitrogen photosynthetic efficiency varieties under five nitrogen levels from R2 to R6 stage was conducted. The results showed that the change in physiological characteristics and yield of four soybean varieties showed a single peak curve which were increased at the beginning and then decreased with the nitrogen levels. The comparisons of different nitrogen photosynthetic efficiency varieties released in similar years showed that the root activity, nitrate reductase activity, net photosynthetic rate, dry weight of soybean varieties with high level nitrogen photosynthetic efficiency was higher than low level varieties at low nitrogen ($40 \sim 80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) treatment, but it was lower than the low level varieties at high nitrogen ($120 \sim 160 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) treatment, the differences reached extremely significant level ($P < 0.01$) at R6 stage, and they were significant ($P < 0.05$) or non-significant at R2 stage and R4 stage. Total nitrogen content and chlorophyll content in leaves of varieties with high level of nitrogen photosynthetic efficiency were significantly lower than the low level in five nitrogen levels. So the medium and low amount of nitrogen fertilizer should be applied for varieties with high nitrogen use efficiency, similarly, increasing the corresponding amount of fertilizer to apply for varieties with low nitrogen use efficiency was feasible.

Key words: Soybean; Nitrogen levels; Nitrogen photosynthetic efficiency; Physiological characteristics; Yield

氮素是作物生长和产量形成的重要因素^[1-3]。大豆作为氮素来源复杂的作物具有特殊性,它既可从土壤和肥料中获得氮素,又可根瘤固氮,二者互相联系,又相互制约^[4]。但根瘤固氮并不能完全满足大豆正常生长需要,还必须施以足够的氮肥^[5-7]。关于氮素与产量关系的研究较多,多数认为施用适量氮肥可以促进植株生长,增加大豆产量^[8-10]。但由于受品种基因型^[11-12]、氮源^[13-14]和栽培措施^[15-16]等因素的影响,大豆对氮肥的吸收与利用效率不

同,最终导致产量的差异,使氮肥利用效率和确定最佳施肥量的研究结果不一致。Salvagiotti等^[17]指出,没有足够的数据能够明确评估土壤氮、肥料氮和生物固氮对大豆产量的贡献,但对氮水平与产量响应间生理机制的研究将有助于揭示其原因。作物产量的90%来自于光合作用,而氮素是光合器官构建的关键因子,直接或间接地影响光合作用^[18-19]。因此,研究光合特性与氮素的关系可以从

收稿日期:2013-02-17

基金项目:国家自然科学基金(31171459)。

第一作者简介:李大勇(1977-),男,在读博士,实验师,主要从事植物生理生态研究。E-mail: lidayong7@sina.com。

通讯作者:徐克章(1954-),男,教授,博士生导师,主要从事植物生理生态研究。E-mail: kzx0708@yahoo.com.cn。

更深的生理层面去探讨氮素对植物生长的影响。氮素光合效率作为氮素生理利用效率的特征之一,能够有效地反应这种关系^[20]。Garnier等^[21]研究认为,氮素光合效率是决定植株生长和叶氮生产力的主要因素,而且其与光合特性、产量和氮肥利用特性存在显著相关性^[22-24]。在水稻的研究^[25]中发现,后期氮素光合效率和氮肥农学利用率间呈显著正相关,可作为评价水稻氮肥利用率的一个重要指标。但关于以大豆氮素光合效率作为指标来探讨氮肥利用效率和最佳施氮量的研究还鲜有报道。为此,选取4个不同氮素光合效率的大豆品种,对不同氮水平下品种的根系活力、叶片硝酸还原酶活

性、全氮含量、叶绿素含量、净光合速率、单株干物重和产量进行研究,旨在了解不同氮素光合效率大豆品种生理特性和产量对氮水平的响应,及生理特性响应与产量形成的关系,找出不同类型大豆品种最佳需肥量不同的生理原因,从而为科学合理施用氮肥,提高氮肥利用效率提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试品种为4个不同年代育成的氮素光合效率不同的栽培大豆品种(*Glycine max*(L.) Merr.)吉林1号、吉林45、吉林16和吉林38(表1)。

表1 供试大豆品种一览表

Table 1 Selected soybean cultivars

品种 Cultivar	育成年代 Year of release	成熟期 Days to maturity/d	结荚习性 Pod setting habit	氮素光合效率 Nitrogen photosynthetic efficiency	品种来源 Origination of cultivar
吉林1号 Jilin 1	1963	140	无限 Indeterminate	低 Low	吉林省农业科学院 JAAS
吉林45 Jilin 45	2000	128	亚有限 Semi-determinate	低 Low	吉林省农业科学院 JAAS
吉林16 Jilin16	1978	142	无限 Indeterminate	高 High	吉林省农业科学院 JAAS
吉林38 Jilin 38	1998	135	亚有限 Semi-determinate	高 High	吉林省农业科学院 JAAS

1.2 试验设计

试验于2011~2012年在吉林省长春市(E125.10°、N43.53°)吉林农业大学试验田进行,试验地年平均降雨量567 mm,≥10℃积温2 860℃,年平均温度4.6℃。试验地土壤为黑壤土,前茬为玉米,供试土壤全氮1.645 g·kg⁻¹、全磷0.86 g·kg⁻¹,碱解氮120 mg·kg⁻¹,速效磷26.9 mg·kg⁻¹,速效钾122 mg·kg⁻¹,pH6.8。于2011年4月28日,2012年4月25日播种,10行小区,行距65 cm,行长5 m,定苗时密度20万株·hm⁻²,随机区组设计,3次重复。试验设N0(不施氮,对照)、N1(40 kg·hm⁻²,纯氮)、N2(80 kg·hm⁻²,纯氮)、N3(120 kg·hm⁻²,纯氮)和N4(160 kg·hm⁻²,纯氮)5个氮肥水平,氮肥选用尿素,以基肥在播种前施入。

1.3 测定项目与方法

在R2、R4和R6期,选择晴朗天气,每个品种选择3棵长势良好的植株,用LI-6400型光合作用测定系统于上午9:00~11:00,对从上数第3~4片成熟叶片,进行净光合速率(Pn)的测定;随后,将测定净光合速率后的植株采收,用低温取样箱盛装带回实验室。采用TTC法测定根系活力、磺胺比色法测

定硝酸还原酶活性、乙醇-丙酮浸泡法测定叶片叶绿素含量,而后将植株105℃杀青2 h,在80℃下烘干48 h,测定单株干物重^[26];用全自动凯氏定氮仪测定叶片全氮含量。

成熟期取中间6行,每行两边各去50 cm收获豆荚,手工脱粒晒干,待籽粒水分降到14%时测产。

1.4 数据处理

文中图表数据均为两年数据的平均值,应用DPS 9.5数据系统进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 氮水平对大豆根系活力的影响

从图1可以看出,随施氮量的增加,4个大豆品种的根系活力在3个生育时期均呈先增加后下降的单峰曲线变化。但不同品种根系活力对施氮量的响应存在差异。吉林38在低氮(N1)时,根系活力就达到峰值,吉林16和吉林45则在中氮(N2)时达到峰值,而吉林1号在高氮(N3)时才达到峰值。4个品种达峰值时根系活力与对照处理和高氮(N4)处理之间的根系活力差异达极显著水平($P < 0.01$)。

从图1还可看出,现代品种的根系活力要明显

高于早期品种,并在 R4 和 R6 时期达到显著或极显著水平。对相近年代育成品种进行比较,结果现代的 2 个品种在低氮处理(N1)时,高氮素光合效率品种根系活力显著高于低氮素光合效率品种;中氮到高氮处理(N2 ~ N4)时,低氮素光合效率品种的根系活力高于高氮素光合效率品种,且在 R4 期达到显著水平;早期的 2 个品种在中、低氮(N1,N2)处理时高氮素光合效率品种的根系活力显著高于低氮素光合效率品种;在高氮(N3 ~ N4)处理时低氮素

光合效率品种的根系活力显著高于高氮素光合效率品种。

高氮处理(N4)使品种的根系活力下降,其中早期的 2 个品种根系活力显著低于对照处理,而现代品种的降幅较小,仍保持一个较高水平。可见,适量的氮肥有利于根系活力的增加,而过高的氮肥对根系活力有明显抑制作用,现代品种的根系对氮肥的耐受能力要好于早期品种。

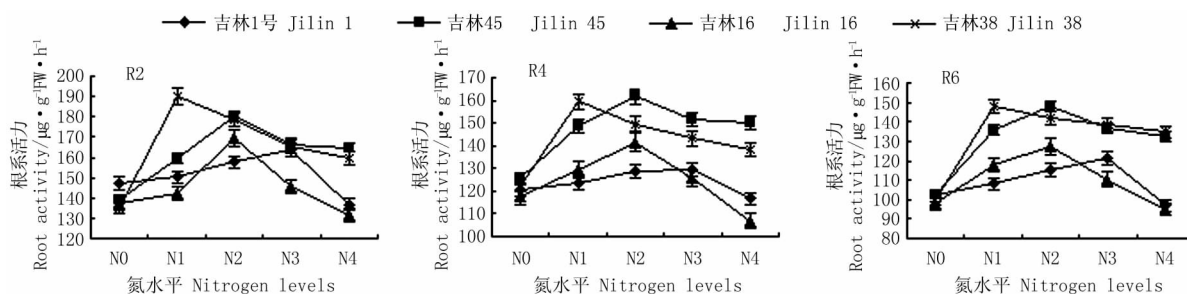


图1 氮水平对大豆根系活力的影响

Fig.1 Effect of different nitrogen levels on root activity of soybean

2.2 氮水平对大豆叶片硝酸还原酶活性、叶片全氮含量、净光合速率和叶绿素含量的影响

由图2和图3可知,在大豆的生殖生长期(R2 ~ R6期),随施氮量的增加,4个大豆品种叶片硝酸还原酶活性、叶片全氮含量、净光合速率和叶绿素含量均呈先增加后降低的单峰曲线变化,各处理间均存在显著($P < 0.05$)或极显著差异($P < 0.01$)。不同品种达到峰值所需的施氮量不同,低氮素光合效率品种均在高氮处理(N3)时生理特性指标达到峰值,高氮素光合效率品种则在中氮(N2)处理时生理特性指标达到峰值。

从图2中亦可以看出,在R2期,对照(N0)和高氮(N3)处理时,高氮素光合效率品种硝酸还原酶活性与低氮素光合效率品种差异不显著;N1、N2和N4处理时,高氮素光合效率品种硝酸还原酶活性明显高于低氮素光合效率品种,在N2处理时达到极显著水平($P < 0.01$)。对照(N0)处理时,吉林1号叶片净光合速率显著低于其它3个品种,3个品种间净光合速率差异不显著;相近育成年代品种间比较表明,中、低氮(N1 ~ N2)处理时,高氮素光合效率品种叶片净光合速率高于低氮素光合效率品种,达显著水平($P < 0.05$),高氮(N3 ~ N4)处理时,高氮素光合效率品种叶片净光合速率低于低氮素光合

效率品种,在N3处理时达显著水平($P < 0.05$),在N4处理时差异不显著。

在R4期,不同氮水平下,吉林38硝酸还原酶活性均显著高于其它3个品种,在中氮(N2)处理时高氮素光合效率品种硝酸还原酶活性显著高于低氮素光合效率品种,其它处理时3个品种间硝酸还原酶活性差异不显著(图2)。相近育成年代品种间比较,除中氮(N2)处理时吉林1号叶片净光合速率高于吉林16外,中、低氮(N1 ~ N2)处理时,高氮素光合效率品种净光合速率均高于低氮素光合效率品种,但差异不显著;高氮(N3 ~ N4)处理时,高氮素光合效率品种净光合速率低于低氮素光合效率品种,在N3处理时达显著水平($P < 0.05$),在N4处理时差异不显著(图2)。

在R6期,现代品种硝酸还原酶活性和净光合速率极显著($P < 0.01$)高于早期品种(图2)。相近年代育成品种比较表明,中、低氮(N1 ~ N2)处理时高氮素光合效率品种硝酸还原酶活性和净光合速率明显高于低氮素光合效率品种,差异达显著($P < 0.05$)或极显著水平($P < 0.01$);高氮(N3 ~ N4)处理时,低氮素光合效率品种硝酸还原酶活性和净光合速率则明显高于高氮素光合效率品种,差异达显著($P < 0.05$)或极显著水平($P < 0.01$)。

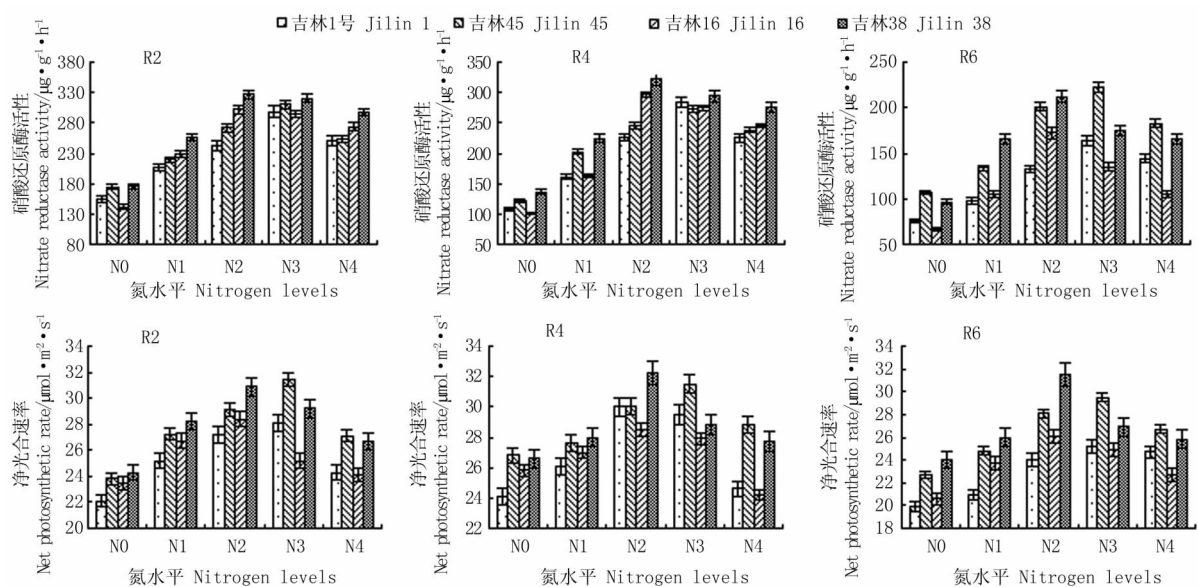


图2 氮水平对大豆叶片硝酸还原酶活性和净光合速率的影响

Fig. 2 Effect of nitrogen levels on nitrate reductase activity and the net photosynthetic rate of soybean

由图3可知,除R4和R6期N0~N1处理阶段,吉林38叶片全氮含量显著高于吉林1号外,其它生育时期和处理均表现为低氮素光合效率品种叶片全氮含量高于高氮素光合效率品种,在R4期和R6期高氮(N3~N4)处理阶段达极显著水平($P <$

0.01),其余多为显著水平($P < 0.05$)。在3个生育时期,除中氮(N2)处理时二者差异不显著外,其它施氮处理均表现为低氮素光合效率品种叶绿素含量显著高于高氮素光合效率品种($P < 0.01$)。

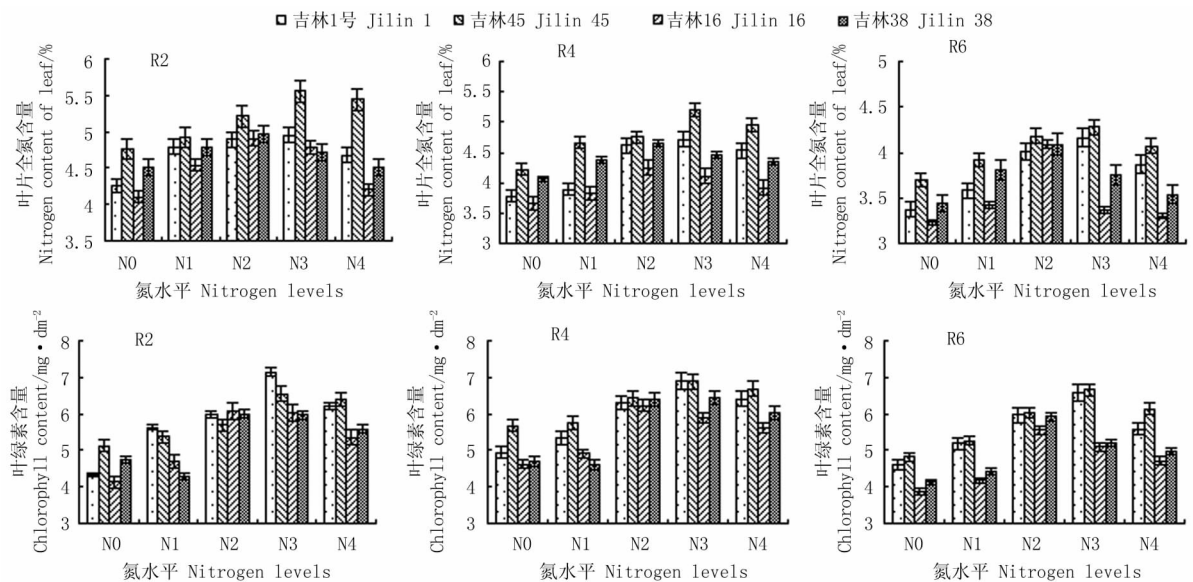


图3 氮水平对大豆叶片全氮含量和叶绿素含量的影响

Fig. 3 Effect of nitrogen levels on nitrogen content of leaf and chlorophyll content of soybean

2.3 氮水平对大豆单株干物重的影响

由图4可知,4个大豆品种的单株干物重均随施氮量的增加呈先增加后下降的单峰曲线变化。低氮素光合效率大豆品种吉林1号和吉林45在高氮(N3)处理达到峰值,各处理间的差异达到显著水平($P < 0.05$)。高氮素光合效率大豆品种吉林16和吉林38在中氮(N2)处理达到峰值,各处理间的差异达到显著水平($P < 0.05$)。相近年代育成品种

比较表明,在对照(N0)处理时,除吉林1号显著低于其它3个品种外,其它3个品种之间不存在显著差异;在低氮处理阶段,高氮素光合效率品种单株干物重高于低氮素光合效率品种,在R6期达到极显著水平($P < 0.01$);在高氮处理阶段,低氮素光合效率品种单株干物重高于高氮素光合效率品种,在3个生育期均达显著($P < 0.05$)或极显著水平($P < 0.01$)。

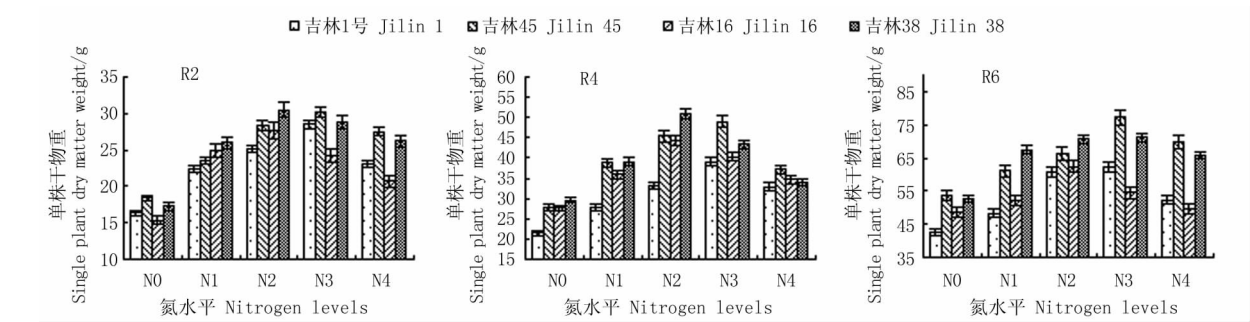


图4 氮水平对大豆品种单株干物重的影响

Fig.4 Effect of nitrogen levels on single plant dry matter weight of soybean

2.4 氮水平对大豆产量的影响

从表2可以看出,随施氮量的增加,4个大豆品种单位面积产量呈先增加后下降的单峰曲线变化,2个高氮素光合效率品种的产量峰值出现在中氮(N2)处理,产量顺序为N2>N3>N4>N1>N0,各处理间均存在显著差异($P<0.05$);2个低氮素光合效率品种的产量峰值出现在高氮(N3)处理,

产量顺序为N3>N2>N4>N1>N0,各处理间均存在显著差异($P<0.05$)。现代品种产量显著高于早期品种。相近年代育成的品种比较表明,各施氮处理均表现为高氮素光合效率品种产量高于低氮素光合效率品种,在N0~N2处理阶段达到显著水平($P<0.05$),在N3~N4处理阶段差异不显著。

表2 氮水平对大豆产量的影响

Table 2 Effect of nitrogen levels on yield of soybean($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)

品种 Cultivar	氮水平 Nitrogen levels				
	N0	N1	N2	N3	N4
吉林1号 Jilin 1	135.7 dB	149.9 dB	168.5 dC	184.9 bB	161.9 bB
吉林45 Jilin 45	166.2 bA	184.9 bA	202.3 bB	213.3 aA	194.4 aA
吉林16 Jilin 16	140.8 cB	157.9 cB	190.3 cB	186.0 bB	170.7 bB
吉林38 Jilin 38	179.9 aA	194.9 aA	227.8 aA	216.1 aA	197.2 aA

3 结论与讨论

研究表明,氮水平的变化对大豆植株性状有不同程度的影响,并在大豆的生殖生长期表现为低氮促进、高氮抑制的先增加后降低的变化趋势,这与前人的研究结果^[27-30]基本一致。在R2~R6期,随施氮量的增加,4个大豆品种生理特性和产量均呈先增加后下降的单峰曲线变化。但氮水平对植株性状的影响存在品种间差异。对相近年代育成的不同氮素光合利用率品种的比较表明,高氮素光合效率品种硝酸还原酶活性、叶片净光合速率、单株干物重等指标均在中、低氮(N1~N2)处理阶段高于低氮素光合效率品种,在高氮(N3~N4)处理阶段低于低氮素光合效率品种,此差异在R6期达极显著水平。不同品种植株性状对氮水平的响应不同,可能由于根系性状对氮水平的响应不同所致。本研究结果表明,低氮素光合效率品种的根系活力峰值出现在比高氮素光合效率品种更高的一个氮水平上,并且明显高于高氮素光合效率品种。这是由于在高氮(N3~N4)处理阶段,根瘤固氮受到抑

制,而利用外源氮素相对较多的低氮素光合效率品种的植株性状就优于高氮素光合效率品种。高氮素光合效率品种叶片全氮含量和叶绿素含量明显低于低氮素光合效率品种,说明低氮素光合效率品种在生殖生长期具有更高的叶片氮积累量,这可能是其氮素光合效率偏低的原因之一。

关于氮水平对大豆产量影响的研究结果并不一致。一些研究表明,产量随施氮量增加不断增加,高氮获得高产^[31-32],而更多的研究^[7-8,33-34]认为,中、低氮素供应,可使根瘤得到充分的生长发育,明显增加大豆的产量。结果不一致的原因主要是由于品种差异导致施氮量对产量的作用不同。本研究表明,不同品种对氮肥的生理响应不同,使品种对氮肥的吸收和利用不同,最终导致产量的差异。除根系活力外,高氮素光合效率品种在中氮(N2)处理时,各项生理特性都达到了最大值,同时单株干物重和产量也达到最大值;低氮素光合效率品种在高氮(N3)处理时,各项生理特性才达到最大,同时产量也达到最大值。氮水平对生理特性和产量的影响具有一致性,并因品种的氮素光合效率不同而

异,因此可以将氮素光合效率水平作为选择氮水平,确定最佳施氮量的一个依据,即高氮素光合效率品种施用中、低氮肥,而低氮素光合效率品种可相应提高氮肥施用量,将有助于大豆产量的提高。

参考文献

- [1] Kumar S, Narula A, Abidin M Z, et al. Enhancement in biomass and berberine concentration by neem cake and nitrogen (urea) and sulphur nutrients in *Tinospora cordifolia* Miers [J]. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 2004, 10: 243-251.
- [2] Zhou X J, Liang Y, Chen H, et al. Effects of rhizobia inoculation and nitrogen fertilization on photosynthetic physiology of soybean [J]. *Photosynthetica*, 2006, 44 (4): 530-535.
- [3] 江立庚, 曹卫星, 甘秀芹, 等. 不同氮水平对南方早稻氮素吸收利用及其产量和品质的影响 [J]. *中国农业科学*, 2004, 37 (4): 490-496. (Jiang L G, Cao W X, Gan X Q, et al. Nitrogen uptake and utilization under different nitrogen management and influence on grain yield and quality in rice [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37 (4): 490-496.)
- [4] 苗以农, 石连旋. 大豆生理学 [M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2008: 110-111. (Miao Y N, Shi L X. *Soybean physiology* [M]. Changchun: Jinlin Science and Technology Press, 2008: 110-111.)
- [5] 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: 1-13.
- [6] Hungria M, Franchini J C, Campo R J, et al. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: contributions of biological N₂ fixation and N fertilizer to grain yield [J]. *Canadian Journal of Plant Science*, 2006, 86: 927-939.
- [7] 董守坤, 龚振平, 祖伟. 氮素营养水平对大豆氮素积累及产量的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16 (1): 65-70. (Dong S K, Gong Z P, Zu W. Effects of nitrogen nutrition levels on N-accumulation and yields of soybean [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16 (1): 65-70.)
- [8] Barker D W, Sawyer J E. Nitrogen application to soybean at early reproductive development [J]. *Agronomy Journal*, 2005, 97: 615-619.
- [9] 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.)
- [10] Wesley T L, Lamond R E, Martin V L, et al. Effects of late season nitrogen fertilizer on irrigated soybean yield and composition [J]. *Journal of Production Agriculture*, 1998, 11: 331-336.
- [11] 李俊华, 董志新, 刘建国, 等. 不同基因型大豆氮效率的研究 [J]. *土壤通报*, 2005, 36 (3): 352-356. (Li J H, Dong Z X, Liu J G, et al. Study on nitrogen efficiency on different genotype soybean [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36 (3): 352-356.)
- [12] 刘晓冰, 金剑, 张秋英, 等. 不同大豆基因型氮肥积累运转研究简报 [J]. *大豆科学*, 2001, 20 (4): 298-301. (Liu X B, Jin J, Zhang Q Y, et al. Nitrogen accumulation and translocation in different soybean varieties [J]. *Soybean Science*, 2001, 20 (4): 298-301.)
- [13] Imsande J. Nitrogen deficit during soybean pod fill and increased plant biomass by vigorous N₂ fixation [J]. *European Journal of Agronomy*, 1998, 8: 1-11.
- [14] 郭海龙, 马春梅, 董守坤, 等. 春大豆生长中对不同氮源的吸收利用 [J]. *核农学报*, 2008, 22 (3): 338-342. (Guo H L, Ma C M, Dong S K, et al. Absorption and utilization of different nitrogen sources during the growth of soybean plant [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2008, 22 (3): 338-342.)
- [15] 张含彬, 任万军, 杨文钰, 等. 不同施氮量对套作大豆根系形态与生理特性的影响 [J]. *作物学报*, 2007, 33 (1): 107-112. (Zhang H B, Ren W J, Yang W Y, et al. Effects of different nitrogen levels on morphological and physiological characteristics of relay-planting soybean root [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2007, 33 (1): 107-112.)
- [16] 刘玉平, 李志刚, 李瑞平. 不同密度与施氮水平对高油大豆产量及品质的影响 [J]. *大豆科学*, 2011, 30 (1): 79-82, 88. (Liu Y P, Li Z G, Li R P. Effects of different planting densities and N-fertilizer levels on yield and quality of soybean [J]. *Soybean Science*, 2011, 30 (1): 79-82, 88.)
- [17] Salvagiotti F, Specht J E, Cassman K G, et al. Growth and nitrogen fixation in high-yield soybean: impact of nitrogen fertilization [J]. *Agronomy Journal*, 2009, 101: 958-970.
- [18] Boussadia O, Steppe K, Zgallai H, et al. Effects of nitrogen deficiency on leaf photosynthesis, carbohydrate status and biomass production in two olive cultivars 'Meski' and 'Koroneiki' [J]. *Scientia Horticulturae*, 2010, 123: 336-342.
- [19] Araya T, Noguchi K, Terashima I. Effect of nitrogen nutrition on the carbohydrate repression of photosynthesis in leaves of *Phaseolus vulgaris* L. [J]. *Journal of Plant Research*, 2010, 123: 371-379.
- [20] Hikosaka K. Interspecific difference in the photosynthesis nitrogen relationship: patterns, physiological causes, and ecological importance [J]. *Journal of Plant Research*, 2004, 117: 481-494.
- [21] Garnier E, Gobin O, Poorter H. Nitrogen productivity depends on photosynthetic nitrogen use efficiency and on nitrogen allocation within the plant [J]. *Annals of Botany*, 1995, 76 (6): 667-672.
- [22] 徐克章, 黑田喜荣, 平野贡. 水稻开花后叶片氮含量与光合作用的动态变化及其关系 [J]. *作物学报*, 1995, 21 (2): 171-175. (Xu K Z, Eiki K, Mitsugu H. The dynamic changes of nitrogen content and photosynthesis and their correlations in pot rice leaves after anthesis [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1995, 21 (2): 171-175.)
- [23] Shangguan Z P, Sha M G, Dyckmans E. Effects of nitrogen nutrition and water deficit on net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in winter wheat [J]. *Journal of Plant Physiology*, 2000, 156: 46-51.
- [24] 吴平. 水稻氮素光合效率及有关叶片参数的测定 [J]. *浙江农业学报*, 1994, 6 (2): 131-134. (Wu P. Measurement of nitrogen photosynthetic rate and related leaf parameters in rice [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 1994, 6 (2): 131-134.)
- [25] 曾建敏, 彭少兵, 崔克辉, 等. 热带水稻光合特性及氮素光合效率的差异研究 [J]. *作物学报*, 2006, 32 (12): 1817-1822. (Zeng J M, Peng S B, Cui K H, et al. Genetic variation in photosynthetic characteristics and photosynthetic nitrogen use efficiency in tropical rice [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2006, 32 (12): 1817-1822.)

(下转第 375 页)

比对照显著增加。大豆产量增加的原因是多方面的,Cabrio 和 Opera 处理大豆后能明显改善大豆根部的生长状态,增加根瘤数量,促进营养的吸收和氮的固定;中黄 13 光合速率升高,蒸腾速率降低,增加了光能的吸收和碳的固定。

籽粒霉变主要由霉菌引起^[13],当大豆籽粒含水量高于 14% 时就有霉变的危险,南方春大豆在收获时经常碰到阴雨天气,使籽粒霉变十分严重。并且霉变的大豆会产生黄曲霉素,这是目前世界上公认的强致癌物之一,籽粒霉变影响大豆籽粒的品质和种子活力。喷施 Cabrio 和 Opera 后可显著降低南农 70-60 和南农 307-1 籽粒霉变率(未发表),这对促进大豆生产和保护大豆籽粒安全具有重要作用。

参考文献

- [1] Edson B, Guy M T, Wilson S V. AgCelence basis of the physiological effects [R]. Germany:2009.
 - [2] Ypema H L, Gold R E. Kresoxim-methyl: modifications of a naturally occurring compound to produce a new fungicide [J]. Plant Disease, 1999, 83: 4-19.
 - [3] Bryson R J, Leandro L, Jones D R. The physiological effects of kresoxim-methyl on wheat leaf greenness and the implications for crop yield [C]. Proceedings Brighton Conference: Pests & Diseases Farnham, 2000: 739-746.
 - [4] Köehle H, Grossmann K, Jabs T, et al. Physiological effects of the strobilurin fungicide F500 on plants [C]. Modern fungicides and antifungal compounds III, 2002: 61-74.
 - [5] Bertelsen J R, Neergaard E, Smedegaard P V. Fungicidal effects of azoxystrobin and epoxiconazole on phyllosphere fungi, senescence and yield of winter wheat [J]. Plant Pathology, 2001, 50: 190-205.
 - [6] Stefan H, Kai S. A strobilurin fungicide enhances the resistance of tobacco against tobacco mosaic virus and *Pseudomonas syringae* [J]. Plant Physiology, 2002, 130: 120-127.
 - [7] 严君. 施氮对大豆结瘤固氮及生长的影响 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2009. (Yan J. Effect of nitrogen application on symbiotic nitrogen fixation and growth of soybean [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2009.)
 - [8] 吴颂如, 陈婉芬, 周燮. 酶联免疫法 (ELISA) 测定内源植物激素 [J]. 植物生理学通报, 1988 (5): 53-57. (Wu S R, Chen W F, Zhou X. Enzyme linked immunosorbent assay for endogenous plant hormones [J]. Plant Physiology Communications, 1988 (5): 53-57.)
 - [9] 许传俊, 李玲. 植物多酚氧化酶的研究进展 [J]. 生命科学, 2002, 6 (S): 45-48. (Xu C J, Li L. A review of recent advances on poly phenol oxidase in plant [J]. Life Science Research, 2002, 6 (S): 45-48.)
 - [10] 田华, 段美洋, 王兰. 植物硝酸还原酶功能的研究进展 [J]. 中国农学通报, 2009, 25 (10): 96-99. (Tian H, Duan M Y, Wang L. Research progress on nitrate reductase functions in plants [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25 (10): 96-99.)
 - [11] Neil R B. Chlorophyll Fluorescence: A probe of photosynthesis *in vivo* [J]. Annual Review of Plant Biology, 2008, 59: 89-113.
 - [12] Fridovich I. Superoxide dismutase [J]. Annual Review of Biochemistry, 1975, 44: 147-159.
 - [13] 生军苟, 伍友珍. 种子霉变及其控制 [J]. 四川农业科学, 1993 (3): 43. (Sheng J G, Wu Y Z. Mildew controlling of the grain [J]. Sichuan Agricultural Sciences, 1993 (3): 43.)
-
- (上接第 370 页)
- [26] 张治安, 陈展宇. 植物生理学实验指导 [M]. 长春: 吉林大学出版社, 2008: 35, 50-64. (Zhang Z A, Chen Z Y. Plant physiology [M]. Changchun: Jilin University Press, 2008: 35, 50-64.)
 - [27] 李彦生, 杜明, 刘晓冰, 等. 氮素用量对菜用大豆生殖生长期根系及鲜荚产量的影响 [J]. 大豆科学, 2012, 31 (1): 47-51. (Li Y S, Du M, Liu X B, et al. Effects of different nitrogen dosage on root morphology during reproductive stages and fresh pod yield in vegetable soybean [J]. Soybean Science, 2012, 31 (1): 47-51.)
 - [28] 黄正来, 武立权, 韩立德. 花期追施氮肥对菜用大豆 AC10 生理指标及产量影响的研究 [J]. 激光生物学报, 2005, 14 (3): 193-196. (Huang Z L, Wu L Q, Han L D. Effect of dressing nitrogen on physiological index and yield vegetable of soybean variety AC10 at Anthesis [J]. Acta Laser Biology Sinica, 2005, 14 (3): 193-196.)
 - [29] 葛文婷, 金喜军, 马春梅, 等. 大豆硝酸还原酶活性及其与施氮关系的研究 [J]. 核农学报, 2011, 25 (5): 1036-1041. (Ge W T, Jin X J, Ma C M, et al. Nitrate reductase activity and its relationship with applied nitrogen in soybean [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2011, 25 (5): 1036-1041.)
 - [30] 陈振武, 钱朗, 王海英, 等. 花期追施氮肥对不同株型黑豆品种生殖生长期叶片生理生化特性的影响 [J]. 大豆科学, 2010, 29 (4): 623-626. (Chen Z W, Qian L, Wang H Y, et al. Effect of nitrogen fertilizer on leaf physiological and biochemical traits of black soybean during reproductive stage [J]. Soybean Science, 2010, 29 (4): 623-626.)
 - [31] 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: 1569-1574.
 - [32] 刘丽君, 孙聪姝, 刘艳, 等. 氮肥对大豆结瘤及叶片氮素积累的影响 [J]. 东北农业大学学报, 2005, 36 (2): 133-137. (Liu L J, Sun C S, Liu Y, et al. Effect of nitrogen on nodule-forming and nitrogen concentration in soybean leaves [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2005, 36 (2): 133-137.)
 - [33] 姚玉波, 马春梅, 张磊, 等. 施氮水平对大豆吸收利用氮素及产量的影响 [J]. 东北农业大学学报, 2009, 40 (4): 6-10. (Yao Y B, Ma C M, Zhan L, et al. Effect of nitrogen levels on absorption and utilization of nitrogen and yield of soybean [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2009, 40 (4): 6-10.)
 - [34] 邸伟, 金喜军, 马春梅, 等. 施氮水平对大豆氮素积累与产量影响的研究 [J]. 核农学报, 2010, 24 (3): 612-617. (Di W, Jin X J, Ma C M, et al. Effects of nitrogen application on yield and nitrogen accumulation in soybean [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2010, 24 (3): 612-617.)