

## 氮肥对不同品质基因型大豆光合生理和干物质积累的影响

谢甫缙, 马兆惠, 张惠君, 敖雪, 王海英

(沈阳农业大学 农学院, 辽宁 沈阳 110866)

**摘 要:**以 6 个不同品质基因型大豆品种为试材,探讨了苗期追施尿素对叶片光合生理和植株干物质积累的影响。结果表明:随着生育进程,各品种的叶面积指数、叶色值和光合速率呈单峰曲线变化,干物质积累呈“S”型曲线。苗期追施尿素会对开花期至鼓粒初期大豆的叶面积指数、光合速率和叶色值产生显著影响,单株干物质积累最大速率和平均速率在施肥处理间均存在极显著差异。追施氮肥会使单株干物质最大积累速率出现时间提前,以高蛋白品种提前天数最多。

**关键词:**大豆;光合速率;叶色值;叶面积指数;干物质积累

**中图分类号:**S565.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1000-9841(2010)02-0223-05

## Effect of Nitrogen Fertilizer on Photosynthetic Physiology and Dry Matter Accumulation of Soybean with Quality Genotypes

XIE Fu-ti, MA Zhao-hui, ZHANG Hui-jun, AO Xue, WANG Hai-ying

(Agronomy College of Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, Liaoning, China)

**Abstract:**Six soybean cultivars of different quality genotypes were used to study the effects of N fertilizer on photosynthetic physiology and dry matter accumulation. The experiment was carried out by the split plot design in field. The results showed that as the growth and development of plant, the LAI, leaf greenness and leaf photosynthetic rate showed a single-peak curve, while the dry matter accumulation showed a typical “S” curve. There were significant effects on LAI, leaf photosynthetic rate and leaf greenness from the bloom stage to the beginning stage of grain-filling under the treatment of urea topdressing. The maximum and average rates of dry matter accumulation both existed a significant difference under the different fertilizer levels. Topdressing of N fertilizer made the maximum rate of dry matter accumulation appeared earlier, especially for the high-protein genotype.

**Key words:**Soybean; Leaf photosynthetic rate; Leaf greenness; LAI; Dry matter accumulation

氮是植物生长发育所必须的重要营养元素之一。大豆植株和籽粒中含有丰富的氮素<sup>[1]</sup>。氮素对大豆的生理代谢和生长发育有重要作用<sup>[2-3]</sup>,进而影响大豆的产量和品质。孙继颖等<sup>[4]</sup>研究表明,大豆叶片的含氮量与光合能力成正相关,且在一定的施氮量范围内,叶面积指数随着施氮量的增加而增加。Evans<sup>[5]</sup>的研究也得到相同的结论,并认为这是植物固有的生理生态特性。赵力汉等<sup>[6]</sup>指出,氮对提高叶面积指数、光合势、叶绿素含量及生长率均有促进作用。虽然施用氮肥对根瘤的形成有抑制作用,但是,施氮能促进前期叶片的生长,并在一定程度上延缓了后期叶片和根系的衰老,使整个生育期保持较高的叶面积指数,增加了干物质积累量,最终导致籽粒产量的增加<sup>[7-8]</sup>。但也有报道指出施氮会导致干物质积累和产量的下降<sup>[9]</sup>。现以

不同品质基因型大豆为试材探讨了苗期追施尿素对大豆植株光合生理和干物质积累的影响,试图为不同品质基因型大豆品种的高效营养管理提供理论依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验设计

试验于 2009 年在沈阳农业大学试验地进行,以尿素为供试肥料,进行苗期追肥。选用 6 个亚有限结荚习性品种(表 1),设置 3 个尿素施肥水平,即  $0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  ( $N_0$ )、 $100 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  ( $N_1$ )、 $200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  ( $N_2$ ),采取裂区设计,主区为施肥水平,副区为品种。4 行小区,行距 60 cm,行长 5 m,小区面积  $12 \text{ m}^2$ ,种植密度均为  $15 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。3 次重复。5 月 3 日播种,9 月 25 日收获,常规田间管理。

收稿日期:2010-01-16

基金项目:辽宁省科技厅科技基金资助项目(2008201004, 2008201005)。

第一作者简介:谢甫缙(1966-),男,教授,博士生导师,研究方向为大豆株型育种与栽培。E-mail: snssoybean@yahoo.com.cn。

表 1 供试大豆品种的品质指标

Table 1 Quality traits of soybean cultivars for experiment

品质基因型 Quality genotype	品 种 Cultivar	蛋白含量 Protein content/%	脂肪含量 Fat content/%
普通品种 Common type	铁丰 31 Tiefeng 31	42.20	21.30
	铁丰 33 Tiefeng 33	41.95	21.15
高油品种 High-oil type	沈农 12 Shengnong 12	37.54	22.17
	辽豆 14 Liaodou 14	37.84	22.04
高蛋白品种 High-protein type	辽豆 16 Liaodou 16	46.28	19.30
	永伟 6 号 Yongwei 6	45.51	19.92

1.2 测定项目与方法

从分枝期起,每 2 周测定 1 次以下各项目。叶面积用鲜样称重法,调查叶面积动态。光合速率用 Li-COR6400 便携式光合系统仪测定光合速率,测定冠层上部倒 3 叶,各处理每次测定 9 片叶。叶色值用活体叶绿素测定仪 (SPAD 502) 测定冠层上部倒 3 叶,各处理每次测定 9 片叶。干物质积累动态测定植株各器官干物质积累和分配,各处理每次测定取样 3 株。

1.3 数据分析

采用 Excel 和 DPS 统计软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 氮肥对不同大豆叶面积指数的影响

结果表明,所有品种的叶面积指数均在出苗后 77~91 d(鼓粒期)达到峰值,全生育期的平均叶面积指数,以高蛋白品种最高,平均为 4.06,普通品种次之,为 3.19,高油品种最低(3.01)。

对叶面积指数与施肥水平进行相关性分析,结果表明,不同品质基因型大豆叶面积指数与尿素施用量呈极显著正相关,  $r=0.99^{**}$ 。

出苗后 35~77 d(分枝期至结荚盛期)施肥处理间、各品种间、施肥处理与品种交互作用均达到极显著差异水平 ( $P=0.0001$ ),但从鼓粒期开始,施肥处理间差异不显著,而品种间差异仍达极显著水平 ( $P=0.0001$ )。

同类品质基因型品种在各施肥处理下叶面积指数变化趋势一致(图 1),鼓粒盛期之前高蛋白品种、普通品种和高油品种平均 LAI 上升速率分别为 0.115、0.084 和 0.073 d<sup>-1</sup>;鼓粒盛期之后高蛋白品种、普通品种和高油品种平均 LAI 下降速率分别为 0.133、0.130 和 0.107 d<sup>-1</sup>。从全生育期 LAI 平均值来看,高油品种在 N<sub>1</sub> 及 N<sub>2</sub> 处理下 LAI 明显高于 N<sub>0</sub> 处理,高蛋白品种与普通品种 LAI 在 N<sub>1</sub> 处理下较高。

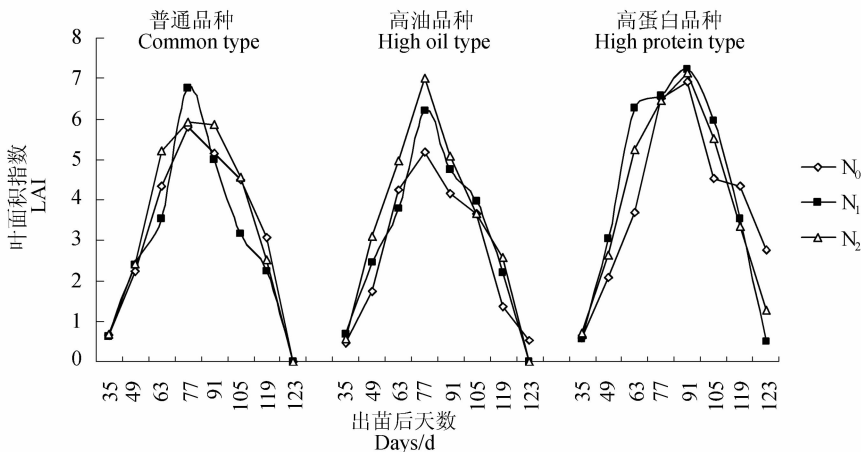


图 1 不同生育时期品质基因型大豆叶面积指数变化

Fig. 1 Dynamics of LAI of soybean cultivars with quality genotypes at different growth stages

2.2 氮肥对不同品质基因型大豆光合速率的影响

高蛋白、高油和普通品种在不同生育时期叶片的光合速率变化趋势基本一致,呈单峰曲线变化(图 2)。光合速率的高峰值在盛花期至鼓粒期出现。全生育期叶片的光合速率,以高蛋白品种最高,平均为 17.867  $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,普通品种次之,为 16.855  $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,高油品种则为 16.154  $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

在出苗后 56 d(盛花期)施肥处理间光合速率差异达极显著水平 ( $P=0.0057$ ),出苗后 98 d(鼓粒

盛期)施肥处理间 ( $P=0.0318$ )、施肥处理与品种交互作用 ( $P=0.0346$ ) 差异均达显著水平。可见,苗期追施尿素对开花期和鼓粒盛期大豆叶片的光合速率有较大的影响。

同类品质基因型品种在各施肥处理下光合速率变化趋势一致,在相同施肥水平条件下,分枝期前高蛋白品种光合速率略低于普通品种和高油品种,但分枝期至盛花期光合速率上升迅速,在盛花期至鼓粒期光合速率高于其它 2 类品种。鼓粒期之后叶片光合速率下降速率为:高油品种 > 普通品

种 > 高蛋白品种。与不施肥 ( $N_0$ ) 和少施肥 ( $N_1$ ) 处

理相比,高施肥 ( $N_2$ ) 处理下会使大豆品种光合速率

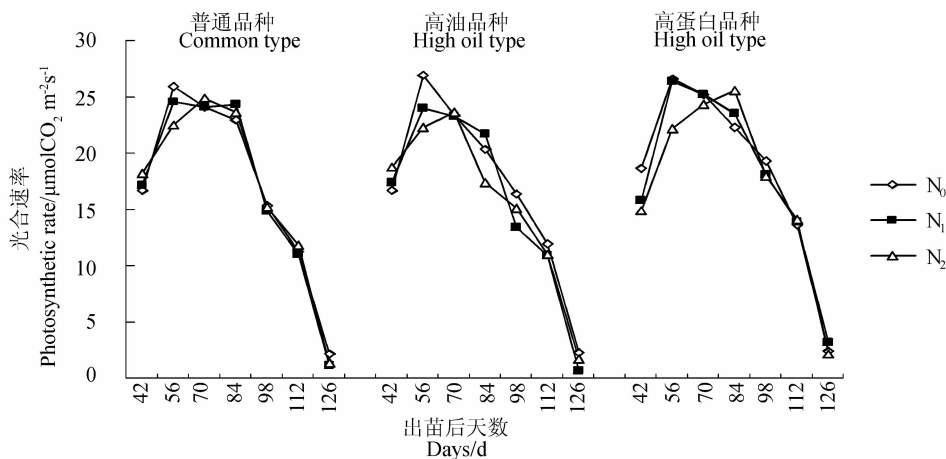


图2 不同生育时期品质基因型大豆叶片的光合速率变化

Fig. 2 Dynamics of leaf photosynthetic rate of soybean cultivars with quality genotypes at different growth stages

### 2.3 氮肥对不同品质基因型大豆叶色值的影响

不同尿素追施水平下,各品种在不同生育时期叶片的叶色值变化趋势基本一致,普通品种和高蛋白品种均在鼓粒盛期达到峰值,高油品种在鼓粒初期达到峰值。

施肥处理和品种 × 肥力的交互作用在大豆生长发育前期对叶色值影响较大,出苗后 42 ~ 77 d (分枝期至结荚期) 叶片的叶色值在施肥处理间 ( $P = 0.0275$ )、施肥处理与品种的交互作用间 ( $P = 0.0477$ ) 均有显著差异;这表明追施尿素会对大豆生长发育前期的叶色值产生显著影响。

同类品质基因型品种在各施肥处理下叶色值

变化趋势一致,高蛋白、高油和普通品种在不同生育时期叶片的叶色值变化均呈单峰曲线,图 3 为苗期追施尿素各处理下的叶色值动态变化。从整个生育期叶色值变化来看,在相同水平施肥处理下,鼓粒期之前高蛋白品种叶色值略低于普通品种和高油品种,但鼓粒初期以后叶色值上升迅速,达峰值后,各品种叶色值下降速率为普通品种 > 高油品种 > 高蛋白品种。在不同施肥水平下,普通品种和高油品种叶色值上升速率均为  $N_2 > N_1 > N_0$ ,下降速率均为  $N_0 > N_1 > N_2$ ;高蛋白品种叶色值上升速率为  $N_2 > N_0 > N_1$ ,下降速率为  $N_0 > N_2 > N_1$ 。结果表明,追施氮肥有利于增加大豆叶片的叶色值。

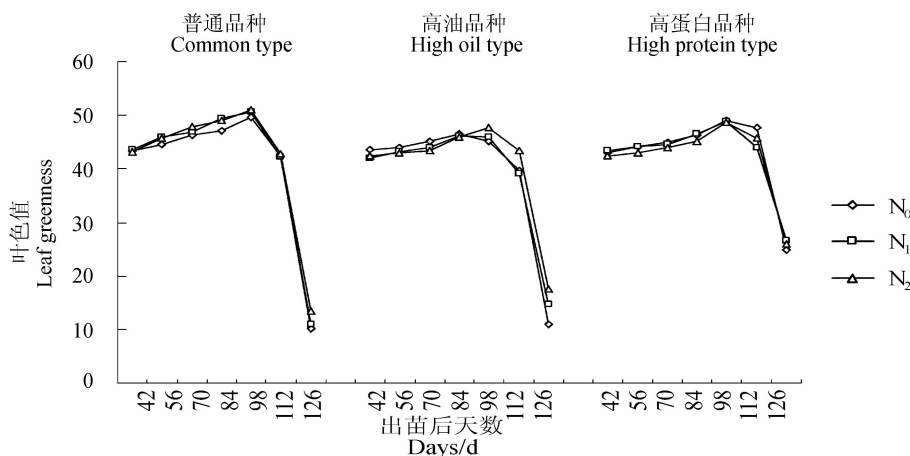


图3 不同生育时期品质基因型大豆叶片的叶色值变化

Fig. 3 Dynamics of leaf greenness of soybean cultivars with quality genotypes at different growth stages

### 2.4 氮肥对不同品质基因型大豆干物质积累的影响

不同施肥处理下,各品种单株干物质积累均呈“S”型曲线。大豆成熟时,单株干物质积累量高蛋白品种最高,平均为 114.5 g,普通品种次之(81.36 g),

高油品种最低(70.82 g)。随着施肥量的增加,单株干物质积累量也增大, $N_2$  处理下平均为 91.65g,  $N_1$  处理为 88.24 g,不施肥时为 86.90 g。相关性分析结果表明,高油品种的单株干物质积累量与尿素施用量

呈显著正相关( $r=0.98^*$ )。

成熟时单株干物质积累量在施肥处理间( $P=0.0026$ )、品种间( $P=0.0001$ )、施肥 $\times$ 品种交互作用( $P=0.0043$ )均达极显著差异水平。施肥会对单株干物质积累产生显著影响,不同品种对施肥水平的反应不同。

同类品质基因型品种在各施肥处理下单株干物质积累变化趋势一致,根据动态取样结果,用 Logistic 方程进行了动态模拟(表 2),结果表明,单株干物质积累平均速率以高蛋白品种最大,普通品种次之,高油品种最小。与不施肥处理相比,施肥处理会提高单株干物质积累平均速率和最终干物质积累量。

全生育期的单株干物质最大积累速率、平均积累速率和最大积累速率出现天数在施肥处理间、品种类型间、施肥 $\times$ 品种交互作用均达极显著差异水平( $P<0.0001$ )。可见,施肥水平会对干物质积累速率和最大积累速率出现天数产生显著影响,不同品种对施肥水平的反应不同。

与  $N_0$  处理相比,  $N_1$  处理和  $N_2$  处理会使各品种大豆单株干物质最大积累速率出现日期提前,以高蛋白品种提前天数最多,分别为 8 d 和 12 d。从最终干物质积累量看,施氮对高油品种干物质增长量影响最显著,与不施肥处理相比,少施肥( $N_1$ )和多施肥( $N_2$ )处理下高油品种干物质质量分别增长了 9.3% 和 13.5%。

表 2 不同品质基因型品种大豆干物质积累动态方程及参数

Table 2 Dynamic equations and parameters of dry matter accumulation of soybean cultivars with quality genotypes

品质基因型	品 种	肥力水平	动态方程	相关系	平均积累速率	最大积累速率
Quality genotype	Cultivar	Fertilizer level	Dynamic equation	数 (-R)	ACR/g $\cdot$ plant $\cdot$ d $^{-1}$	MCR/g $\cdot$ plant $\cdot$ d $^{-1}$
普通品种 Common type	铁丰 31 Tiefeng 31	$N_0$	$W=64.2/(1+153.0e^{-0.067t})$	0.987**	0.60	1.08
		$N_1$	$W=76.6/(1+1023.9e^{-0.108t})$	0.966**	0.64	2.07
		$N_2$	$W=92.1/(1+184.3e^{-0.077t})$	0.978**	0.73	1.77
	铁丰 33 Tiefeng 33	$N_0$	$W=84.9/(1+396.3e^{-0.088t})$	0.986**	0.69	1.87
		$N_1$	$W=67.1/(1+152.4e^{-0.069t})$	0.989**	0.59	1.15
		$N_2$	$W=90.4/(1+205.8e^{-0.075t})$	0.992**	0.72	1.70
高油品种 High-oil type	沈农 12 Shengnong 12	$N_0$	$W=64.4/(1+176.1e^{-0.068t})$	0.990**	0.64	1.09
		$N_1$	$W=62.7/(1+160.1e^{-0.066t})$	0.990**	0.71	1.03
		$N_2$	$W=54.8/(1+81.1e^{-0.053t})$	0.970**	0.45	0.73
	辽豆 14 Liaodou 14	$N_0$	$W=52.3/(1+71.8e^{-0.050t})$	0.976**	0.43	0.65
		$N_1$	$W=49.7/(1+65.0e^{-0.048t})$	0.979**	0.46	0.60
		$N_2$	$W=85.2/(1+153.9e^{-0.070t})$	0.980**	0.76	1.50
高蛋白品种 High-protein type	辽豆 16 Liaodou 16	$N_0$	$W=146.2/(1+220.7e^{-0.074t})$	0.992**	1.01	2.71
		$N_1$	$W=112.5/(1+552.9e^{-0.092t})$	0.984**	1.03	2.60
		$N_2$	$W=110.4/(1+912.7e^{-0.105t})$	0.969**	0.87	2.88
	永伟 6 号 Yongwei 6	$N_0$	$W=107.5/(1+212.0e^{-0.073t})$	0.992**	0.87	1.97
		$N_1$	$W=114.5/(1+270.1e^{-0.089t})$	0.947*	0.87	2.55
		$N_2$	$W=100.8/(1+2022.3e^{-0.135t})$	0.989**	0.94	3.40

3 结论与讨论

尿素是大豆追肥的常用氮肥之一。相关研究表明,苗期追施氮素可提高叶绿素含量<sup>[10]</sup>,增加大豆叶面积和干物质<sup>[11-12]</sup>,尤其对高油大豆干物质积累影响明显<sup>[13]</sup>。结果表明,不同品质基因型大豆

叶面积指数与尿素施用量呈极显著正相关,高油大豆单株干物质积累量与尿素施用量呈极显著正相关。不同品质基因类型品种叶面积指数、叶色值和光合速率变化均呈单峰曲线,干物质积累呈“S”型曲线,这与傅天明、郑丕尧等<sup>[14-15]</sup>的研究结果一致。

花期至鼓粒初期大豆的叶面积指数、光合速率和叶色值在施肥处理间均达到显著差异水平,干物质积累自鼓粒期起在施肥处理间差异达到极显著,全生育期的干物质最大积累速率和平均积累速率在施肥处理间、品种 $\times$ 肥力互作间均达极显著差异水平,可见苗期追施尿素对大豆生长前期的叶面积指数、光合速率和叶色值变化有较大影响,对鼓粒期的干物质积累也有明显作用。

高油品种在  $N_1$  及  $N_2$  处理下 LAI 明显高于  $N_0$  处理,高蛋白品种与普通品种 LAI 在  $N_1$  处理下较高;高施肥( $N_2$ )处理会使大豆品种的叶色值上升速率提高,并使光合速率峰值出现延迟,均以高蛋白品种的影响效果最为明显;施肥处理下会使大豆品种的单株干物质最大积累速率出现日期提前,以高蛋白品种提前天数最多。从最终干物质积累量看,施氮对高油品种干物质影响最大。

## 参考文献

- [1] 董钻.大豆产量生理[M].北京:中国农业出版社,2000:11. (Dong Z. Soybean yield physiology[M]. Beijing: Agricultural Press, 2000:11.)
- [2] 曹翠玲,李生秀.氮素形态对作物生理特性及生长的影响[J].华中农业大学学报,2004,23(5):581-586. (Cao X L, Li S X. Effect of N form on crop physiological characteristics and growth [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2004, 23(5): 581-586.)
- [3] 戴建军,赵久明,姜伯文.钴肥对大豆根瘤固氮及产量影响的初报[J].东北农业大学学报,1999,30(2):128-131. (Dai J J, Zao J M, Jiang B W. The effect of cobalt on symbiotic nitrogen fixation of soybean [J]. Journal of Dongbei Agricultural University, 1999, 30(2): 128-131.)
- [4] 孙继颖,高聚林,吕小红.施氮量对大豆抗旱生理特性及水分利用效率的影响[J].大豆科学,2007,26(4):517-522. (Sun C P, Gao J L, Lu X H. The effects of nitrogen on physiological indexes of drought tolerance and water use efficiency in soybean [J]. Soybean Science, 2007, 26(4): 517-522.)
- [5] Evans. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of  $C_3$  plants[J]. Oecologia, 1989, 78(1): 9-19.
- [6] 赵力汉,吴春胜,郭午.施氮对大豆生长发育的影响[J].吉林农业大学学报,1993,15(1):12-16. (Zao L H, Wu C S, Guo W. Effect of Fertilizing nitrogen on the growth and development of soybean [J]. Journal of Jilin Agricultural University, 1993, 15(1): 12-16.)
- [7] 倪丽,章建新,金加伟,等.氮肥施用对高产大豆根系、干物质积累及产量的影响[J].新疆农业大学学报,2004,27(2):36-39. (Nei L, Zang J X, Jin J W, et al. Effect of nitrogen on root system, dry matter accumulation and yield of high yield soybean [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2004, 27(2): 36-39.)
- [8] Taylor R S. Nitrogen application increases yield and early dry matter accumulation in late-planted soybean [J]. Crop Science, 2005, 45: 854-858.
- [9] Peterson T A, Varvel G E. Crop yield as affected by rotation and nitrogen rate in soybean [J]. Agronomy Journal, 1989, 81: 727-731.
- [10] 陈成榕.不同大豆品种对氮肥反应的差异[J].中国油料,1992(2):48-50. (Chen C R. Differential response of soybean to nitrogen [J]. Oil Crop of China, 1992(2): 48-50.)
- [11] 才艳,郑殿峰,冯乃杰,等.氮肥施用量对大豆生长动态及干物质积累的影响[J].黑龙江八一农垦大学学报,2007,19(2):13-16. (Cai Y, Zheng D F, Feng N J, et al. Effect of nitrogen fertilizer on growth tendency, dry matter accumulation and distribution in soybean [J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 2007, 19(2): 13-16.)
- [12] 王政,高瑞凤,李文香,等.氮磷钾肥配施对大豆干物质积累及产量的影响[J].大豆科学,2008,27(4):588-592. (Wang Z, Gao R F, Li W X, et al. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer combined application on dry matter accumulation and yield of soybean [J]. Soybean Science, 2008, 27(4): 588-592.)
- [13] 冯丽娟,朱洪德,于洪久.栽培措施对高油大豆产量及品质性状的影响[J].中国油料作物学报,2008,30(2):206-211. (Feng L J, Zhu H D, Yu H J. Environmental effect on yield and quality of high-oil soybean [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2008, 30(2): 206-211.)
- [14] 傅天明,郑丕尧,王瑞舫.夏大豆生育期间光合特性的研究[J].中国农业科学,1991,24(5):30-36. (Fu T M, Zheng P R, Wang R F. Studies on the photosynthetic characteristics of summer-sown soybean during all growing season [J]. Scientia Agricultura Sinica, 1991, 24(5): 30-36.)
- [15] 郑丕尧,傅天明,王瑞舫.夏大豆植株的光合性能研究[J].中国油料,1991(1):33-37. (Zheng P R, Fu T M, Wang R F. Studies on the photosynthetic performance of plants in summer-sown soybean [J]. Oil Crop of China, 1991(1): 33-37.)