

高光效大豆光合速率与主要光合生理指标及农艺性状的关系

郑宝香^{1,2}, 满为群¹, 杜维广¹, 栾晓燕¹, 刘鑫磊¹, 马岩松¹

(¹黑龙江省农业科学院大豆研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086; ²东北农业大学, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要:为明确不同大豆品种叶片在3个关键的生殖生长时期4个主要光合生理指标对光合速率(P_n)的影响;明确高光效大豆品种的 P_n 高于低光效大豆品种的诸多影响因素;明确大豆叶片的 P_n 与几个农艺性状之间的密切关系。选用4个光合速率不同的大豆品种(两个高光效品种:黑农40、黑农41;一个中光效品种:黑农37;一个低光效品种:黑农26)于大豆的始荚期(R3)、始粒期(R5)、鼓粒期(R6)测定上述4个品种的光合速率(P_n)、气孔导度($Cond$)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、蒸腾速率(Tr),并且通过 P_n 、 Tr 的观察值推算出水分利用率($WUE = P_n/Tr$)。通过多元相关分析,研究了 $Cond$ 等光合生理指标对 P_n 的影响,以及光合速率与农艺性状的相关性。结果表明:不同光合能力的大豆品种叶片的 P_n 在R3、R5、R6期分别与 $Cond$ 、 Tr 呈极显著正相关;与 C_i 在3个生育时期大多呈微弱负相关;与 WUE 在R5期呈极显著正相关,在R3、R6期大多呈微弱正相关。但是,高光效品种在 P_n 与 $Cond$ 、 C_i 、 Tr 及 WUE 的相关性方面比低光效品种密切。R5期大豆叶片的 P_n 与收获指数呈正相关,但不同光合水平大豆品种的 P_n 与单株重、单株粒重的相关性存在差异。

关键词:大豆;高光效;光合生理指标;农艺性状;相关性

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2008)03-0397-05

Relationship Between Photosynthetic Rate, Main Photosynthetic Characteristics and Agronomic Characters for High Photosynthetic Efficiency Soybean

(ZHENG Bao-xiang^{1,2}, MAN Wei-qun¹, DU Wei-guang¹, LUAN Xiao-yan¹, LIU Xin-lei¹, MA Yan-song¹)

(¹Soybean Research Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, Heilongjiang; ²Northeast Agricultural University, Harbin 150086, Heilongjiang, China)

Abstract: Photosynthetic rate is one of major factors affecting crop yield. It is the base for soybean high photosynthetic breeding to characterize the correlation between photosynthetic and agronomic traits. The parameters of soybean photosynthetic characteristics(P_n , $Cond$, C_i and Tr) were determined by four different photosynthetic rate cultivars (two higher: Hei-nong 40, Hei-nong 41; one median: Hei-nong 37; one lower: Hei-nong 26) in R3, R5 and R6 stages. The results indicated that the P_n was positively correlated with $Cond$ and Tr in R3, R5 and R6 stages; it was little negative with C_i in three growth stages, a positively evident with WUE in R5 stage and a little negative in R3 and R6 stages. Results also showed that the P_n was more correlative closely with $Cond$, C_i , Tr and WUE in high photosynthetic efficiency cultivars than in lower ones. The correlative analysis between photosynthetic rate and main agronomic characters indicated that the P_n of leaf was positively correlated with harvest index in R5 stage, but the correlation between P_n and seed weight, yield per plant was different in different photosynthetic character varieties.

Key words: Soybean; High photosynthetic efficiency; Photosynthetic characteristics; Agronomic characters; Correlation

光合作用是绿色植物吸收光能,把 CO_2 和 H_2O 合成有机物,同时释放 O_2 的过程。作物生产的实质是光能驱动的一种生产体系^[1]。研究表明,作物干物质的90%~95%来自作物的光合作用,光合作用是作物产量形成的基础。由于受诸多因素的影响,

导致光合作用与产量的关系变得复杂化,有关光合速率与产量的关系有许多不同结论的报道^[2-9]。随着大豆产量的不断提高,人们逐渐开始关注大豆的光合速率^[10-11]、气孔导度、叶绿素含量^[12]等相关生理性状的研究。近年来国内外对作物光合速率、蒸

收稿日期:2008-01-07

作者简介:郑宝香(1981-),女,硕士研究生,研究方向为大豆遗传育种。

通讯作者:满为群,研究员。E-mail:manweiqun@163.com。

腾速率和水分利用效率的研究十分活跃,主要集中在小麦、玉米等禾本科植物上^[13-16]。随着光合性状测定仪器的不断改进,越来越多不同领域的学者把光合生理指标的研究与产量提高联系起来。其中不乏把光合速率,气孔导度等光合生理指标进行相关性的研究,这在大豆、小麦、水稻等大田作物中研究较多^[17-21],其中在大豆高光效育种方面杜维广等曾做过研究^[22-23]。

通过对高光效、中光效、低光效大豆品种在不同生育时期光合速率及主要光合生理指标的测定,进行相关性分析,探讨高光效和低光效大豆品种光合速率与主要光合生理指标之间的关系及两者的差异;并探讨光合速率与主要农艺性状之间的关系,以期对大豆的高光效育种提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

供试材料为黑龙江省农业科学院大豆研究所育成的光合效率不同的 4 个品种。2 个高光效品种:黑农 40(HN40),黑农 41(HN41);1 个中光效品种:黑农 37(HN37);1 个低光效品种:黑农 26(HN26)。

试验于 2007 年在黑龙江省农业科学院大豆研究所试验田进行,采用随机区组设计,小区行长 6 m,行距 70 cm,株距 15 cm,各品种 2 行区,3 次重复。

表 1 各品种不同生育时期光合速率与主要光合生理指标的相关系数
Table 1 Correlation coefficient between Pn and main photosynthetic physiological index
for different varieties in different growth stages

光合生理指标 Photosynthetic index	生育时期 Growth stage	黑农 26 Heinong 26	黑农 37 Heinong 37	黑农 40 Heinong 40	黑农 41 Heinong 41
气孔导度 <i>Cond</i>	始荚期 R3	0.456 **	0.216	0.533 **	0.526 *
	始粒期 R5	0.384	0.606 **	0.589 **	0.717 **
	鼓粒期 R6	0.338	0.690 **	0.786 **	0.792 **
胞间 CO ₂ 浓度 <i>Ci</i>	始荚期 R3	0.061	-0.287	-0.231	-0.497 **
	始粒期 R5	-0.026	-0.603 *	-0.374	-0.898 **
	鼓粒期 R6	-0.216	0.350	0.174	0.352
蒸腾速率 <i>Tr</i>	始荚期 R3	0.256	0.535 *	0.540 *	0.478 **
	始粒期 R5	0.417 *	0.597 **	0.546 **	0.678
	鼓粒期 R6	0.786 **	0.633 *	0.780 **	0.749 **
水分利用率 <i>WUE</i>	始荚期 R3	0.258	0.493 **	0.353	0.189
	始粒期 R5	0.747 **	0.859 **	0.643 **	0.919 **
	鼓粒期 R6	0.338	0.152	-0.044	0.028

3 个生育时期 *Pn* 与 *Ci* 的关系大部分呈负相关,且在 R5 期黑农 37、黑农 41 负相关达显著水平,

1.2 测定项目与方法

采用美国 Licor 公司生产的 Li-6400 便携式光合测定仪,采用 LED 红蓝光源,叶室内光强控制在 1500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,叶室温度控制在 25℃,分别在大豆的始荚期(7 月下旬)、始粒期(8 月初)、鼓粒期(8 中旬)对每个品种的各个重复随机抽取 10 株(共计 120 株),于晴好天气的上午 9:00 ~ 11:00 测定上数第 3 片功能叶片主要的光合生理指标(光合速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度、蒸腾速率),并采用 Fischer and Turner 的方法计算水分利用率($WUE = Pn/Tr$)。

10 月 1 号收获已测定光合生理指标的植株,于室内进行农艺性状(单株重、单株粒重)的考察,并计算出表观收获指数(表观收获指数 = 单株粒重/成熟植株地上部单株重)。

1.3 数据分析

统计过程在 SPSS 11.5 下完成。

2 结果与分析

2.1 大豆品种间 *Pn* 与主要光合生理指标的多元相关分析

由表 1 中看出,选定光合速率差异显著的品种,其 *Pn* 与 *Cond* 等光合生理指标之间的相关水平在不同生育时期存在显著差异。

高光效品种黑农 40、黑农 41 的 *Pn* 与 *Cond* 的相关性均随生育时期发展而呈增强趋势,而低光效品种黑农 26 则随生育时期发展呈降低趋势。

R3 和 R6 期黑农 26 的 *Pn* 与 *Ci* 之间正负相关性与黑农 40、黑农 41 所表现的恰好相反。

4 个品种的 P_n 与 Tr 之间的相关性在 3 个生育时期呈增强趋势,且 R3、R5 期黑农 40、黑农 41 的正相关水平均高于黑农 26,只是在 R6 期黑农 26 与黑农 40 接近而略高于黑农 41。

P_n 与 WUE 之间的相关性在不同生育时期不同品种间差距较大,其共性是 3 品种 P_n 与 WUE 均在 R5 期表现出较高正相关水平。而 R6 期黑农 26 的 P_n 与 WUE 之间的相关性远大于黑农 40、黑农 41。

由此可见,高光效品种与低光效品种的 P_n 与主要光合生理指标的相关性在 3 个生育时期都存在差异。

2.2 不同生育时期大豆叶片 P_n 与其它光合生理指标的多元相关分析

不同生育时期 4 个大豆品种的光合生理指标统计结果见表 2。可以看出,大豆叶片不同生育时期 P_n 、 $Cond$ 等光合生理指标的变异程度不同。 P_n 、 $Cond$ 、 C_i 在 R6 期的变异系数大于其它两个时期,而 Tr 和 WUE 则在 R3 期的变异系数最大。

表 2 不同生育时期 P_n 、 $Cond$ 、 C_i 、 Tr 、 WUE 的变异程度
Table 2 Variance of P_n 、 $Cond$ 、 C_i 、 Tr and WUE in the soybean leaf at different growth stages

光合生理指标 Photosynthetic index	时期 Growth stage	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV
光合速率 P_n	R3	16.58	2.98	17.99
	R5	18.65	1.92	10.30
	R6	14.73	2.78	18.88
气孔导度 $Cond$	R3	0.39	0.13	31.94
	R5	0.75	0.17	23.02
	R6	0.29	0.12	41.70
胞间 CO_2 浓度 C_i	R3	260.51	23.43	8.99
	R5	269.51	11.59	4.30
	R6	242.68	24.75	10.20
蒸腾速率 Tr	R3	3.66	1.00	27.32
	R5	5.78	0.51	8.85
	R6	3.97	0.92	23.07
水分利用率 WUE	R3	4.77	1.19	24.95
	R5	3.24	0.34	10.47
	R6	3.77	0.54	14.44

通过对 3 个生育时期大豆叶片主要的光合生理指标进行多元相关分析(表 3),结果表明,大豆叶片的 P_n 在 R3、R5、R6 期分别与 $Cond$ 、 Tr 达到极显著正相关水平,并且随着生育时期的发展, $Cond$ 、 Tr 与 P_n 表现的相关性水平愈加显著。大豆叶片的 P_n 与 $Cond$ 在 R3、R5、R6 3 个生育时期均达极显著水平($r = 0.604 \sim 0.765$)。 P_n 与 Tr 在 R3、R5 期的极显著水平($r = 0.386, r = 0.403$)低于 R6 期所达到的极显著水平($r = 0.752$)。 P_n 与 WUE 在 R3、R5 期分别达极显著正相关。 P_n 与 C_i 在 3 个时期均呈现负相

关水平。

由此可见,与大豆叶片 P_n 关系最密切的是 $Cond$ 和 Tr 两个光合生理指标, WUE 次之, C_i 与 P_n 的相关性比较小。

表 3 大豆叶片始荚期、始粒期、鼓粒期 P_n 与主要光合生理指标的多元相关分析

Table 3 Multianalysis among P_n and the main photosynthetic traits at R3, R5, R6 stage

生育时期 Growth stage	相关系数 Pearson Correlation			
	气孔导度 Cond	胞间 CO_2 浓度 C_i	蒸腾速率 Tr	水分利用率 WUE
始荚期 R3	0.604 **	-0.038	0.386 **	0.294 **
始粒期 R5	0.614 **	-0.065	0.403 **	0.645 **
鼓粒期 R6	0.765 **	-0.056	0.752 **	0.150

2.3 始粒期不同光合速率大豆品种 P_n 与主要农艺性状的相关性分析

选定 2 个具有光合能力差异的代表性品种(低光效品种黑农 26,高光效品种黑农 40),将其室内考察的主要农艺性状与 R5 期 P_n 进行相关性分析(表 4,表 5)。结果表明,不同品种 P_n 与收获指数相关系数差异不大,黑农 40 略高一些(0.423);而 P_n 与单株重、单株粒重的相关系数在黑农 40 与黑农 26 间差距较大, P_n 与黑农 40 的单株重、单株粒重的正相关水平明显高于黑农 26,说明与产量关系密切的单株重、单株粒重在高光效、低光效品种间差异显著,进而说明 P_n 与产量高低关系密切。

从表 4、表 5 还可以看出,高光效、低光效品种

表 4 R5 期黑农 26 叶片的光合速率与主要农艺性状的相关分析

Table 4 Correlation analysis between P_n and the main agronomy traits of Heinong 26 at R5 stage

	光合速率 P_n	单株重 Weight per plant	单株粒重 Seed weight per plant	收获指数 Harvest index
光合速率 P_n	1			
单株重 Weight of per plant	0.271	1		
单株粒重 Seed weight of perplant	0.045	0.872 **	1	
收获指数 Harvest index	0.420	-0.303	0.196	1

的单株重与单株粒重均呈极显著正相关,黑农 40 的单株粒重与收获指数表现出显著正相关。

表 5 R5 期黑农 40 叶片的光合速率与主要农艺性状的相关分析

Table 5 Correlation analysis between P_n and the main agronomy traits of Heinong 40 at R5 stage

	光合速率 P_n	单株重 Weight per plant	单株粒重 Seed weight per plant	收获指数 Harvest index
光合速率 P_n	1			
单株重 Weight of per plant	0.499	1		
单株粒重 Seed weight of per plant	0.534	0.928 **	1	
收获指数 Harvest index	0.423	0.359	0.644 *	1

** 表 1% 差异显著水平, * 表 5% 差异显著水平。
** Correlation is significant at the 0.01 level(2-tailed), * Correlation is significant at the 0.05 level(2-tailed).

3 讨论

3.1 不同大豆品种叶片光合速率与主要光合生理指标的相关性

采用黑龙江省推广面积较大的 4 个光合速率差异显著的品种为研究对象,对不同生育时期的光合生理指标进行相关分析,可以看出高光效与低光效品种间光合速率差异显著,而且光合速率与主要光合生理指标间相关性存在差异。根据以往对不同品种大豆叶片进行的解剖学分析可知,叶片厚度、栅栏组织数目、叶绿体数目、气孔数量及木质部导管数目均是高光效品种(黑农 40、黑农 41)高于低光效品种(黑农 26)^[1]。研究发现,对于不同大豆品种光合速率与主要光合生理指标的相关性表明,高光效品种比低光效品种更加密切,从而说明,大豆叶片表观光合性状的差异能够反应出内部生理结构的差异,在大豆高光效育种中,除继续将群体单叶 P_n 作为选择指标外,对 $Cond$ 和 Tr 两个光合生理指标的选择也会导致 P_n 的增益,可作为高光效育种的光合生理指标之一。

光合速率与气孔导度、蒸腾速率的相关性较大,说明它们是影响光合速率的重要因素,这与崔世友等^[24],及 Hervé 等^[19]的研究结果基本一致。尽管光合速率与胞间 CO_2 浓度在 3 个时期大多呈现不显著负相关,但从生理生态的角度来看,光合与蒸腾分别是 CO_2 和 H_2O 通过叶片气孔的内外物质交换过程,因此,叶片的气孔行为对光合与蒸腾都产生直接影响^[20]。从光合速率,蒸腾速率及水分利用率在不同生育时期的高低水平可以看出,水分利用率是光合

速率与蒸腾速率共同作用的结果,单独提高光合速率或者降低蒸腾速率都不能有效地提高水分利用率。因此,要提高水分利用率需从提高光合速率和降低蒸腾速率两个方面进行,光合速率的提高可以通过育成高光效品种,改善株型,增大叶面积、比叶重、光合势及筛选叶绿素含量比较高的品种等方法实现;在降低蒸腾速率方面由于气孔是蒸腾作用水分散失的主要途径,所以使气孔关闭可以降低蒸腾速率,但气孔的关闭也必然同时限制 CO_2 的进入,并不利于提高水分利用率,所以不能通过关闭气孔的方法实现水分利用率的提高,可以考虑从温度,湿度等环境因素去考虑。光合速率与水分利用率在 R5 期表现出显著正相关,而到 R6 期却表现不出明显的正相关,这可能与叶片生育后期光合速率显著降低,而气孔导度变化不大有关,生长发育后期水分供应不足可能是影响 WUE 的又一个主要原因。

对 4 个供试品种分别进行光合速率与光合生理指标的相关性分析与综合品种所进行各生育时期的分析相一致,但是在相关程度上存在着高光效品种高于低光效品种的趋势。

对光合速率等主要的光合生理指标进行偏相关分析的结果与多元分析结果一致,证明各性状之间的相互关系并不受其它性状的影响。

3.2 不同品种大豆叶片光合速率与主要农艺性状的相关性

尽管不同品种的光合速率与单株重、单株粒重、收获指数均呈现不显著正相关,但品种间差异还是比较显著的。黑农 40 的光合速率与单株重、单株粒重的正相关性要明显高于黑农 26,收获指数的相关系数也略高于黑农 26。说明光合速率与产量形成是密切相关的。在大豆的营养生长阶段,高的光合速率往往有助于大豆植株的营养生长,而植株在进入生殖生长以后,地上部的营养生长能够充分地转化为生殖生长,从而协调源库间的转化,有助于提高大豆的产量。

试验结果表明品种间光合速率与产量因素的单株重、单株粒重、收获指数呈现正相关,而且其相关程度高光效品种大于低光效品种,从品种间的光合速率差异可以作为比较产量的高低的一个重要指标,也佐证了以往的一些光合速率与产量呈正相关的报道^[2,4,6-9]。

4 结论

大豆光合速率与蒸腾速率、气孔导度存在显著正相关;与胞间 CO_2 浓度在不同生育时期呈现不同

相关;与水分利用率呈正相关。主要光合生理指标间的相关性在高光效与低光效品种间差距较大。光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度在鼓粒期变异程度最大;蒸腾速率和水分利用率在始荚期表现最大程度变异。光合速率与单株重、单株粒重、收获指数均表现正相关,但高光效品种的光合速率与农艺性状相关性比低光效品种更为密切。

参考文献

- [1] 杜维广,郝乃斌,满为群. 大豆高光效育种[M]. 北京:中国农业出版社,2007:43-51. (Du W G, Hao N B, Man W Q. Soybean breeding for high photosynthetic efficiency[M]. Beijing: Agricultural Press, 2007:43-51.)
- [2] Evans L T. From leaf photosynthesis to crop productivity[M]//Murata N. Research in Photosynthesis, Vol. IV. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1992:587-593.
- [3] Gifford R M. Barriers to increasing crop productivity by genetic improvement in photosynthesis[M]//Biggins J. Progress in Photosynthesis Research, Vol. IV. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers, 1987:377-383.
- [4] 杜维广,王育民,谭克辉. 大豆品种(系)间光合活性的差异及其与产量的关系[J]. 作物学报,1982,8(2):131-134. (Du W G, Wang Y M, Tan K H. Relationship between photosynthetic characteristics and yields in different cultivars[J]. Acta Agronomica Sinica, 1982, 8(2):131-135.)
- [5] 许大全,沈允钢. 光合作用与作物产量[M]. 北京:科学出版社,1992. (Xu D Q, Shen Y G. Photosynthesis and yield[M]. Beijing: Science Press, 1992.)
- [6] Peng S, Krig D P, Ciria F S. Leaf photosynthetic rate is correlated with biomass and grain production in grain sorghum lines[J]. Photosynthesis Research, 1991, 28:1-7.
- [7] 胡昌浩. 高产夏玉米群体光合速率与产量关系研究[J]. 作物学报,1993,19:63-69. (Hu C H. Research between photosynthetic rate and yield in corn[J]. Acta Agronomica Sinica, 1993, 19:63-69.)
- [8] Jiang G M, Hao N B, Bai K Z, et al. Chain correlation between variables of gas exchange and yield potential in different winter wheat cultivars[J]. Photosynthetica, 2000, 38:227-232.
- [9] 刘合芹,蒋高明,牛书丽. 光合作用与作物产量之间的关系-作物光能利用效率与调控[M]. 济南:山东科学技术出版社,2004. (Liu H Q, Jiang G M, Niu S L. Relationship between photosynthesis and yield [M]. Shandong Technology Press, Jinan, 2004.)
- [10] Ojima K R. Studies on the seed production of soybean. VIII The ability of photosynthesis of F_3 lines having different photosynthesis in their F_2 generations[J]. Proceeding of the Crop Science Society of Japan, 1969, 39: 440-445.
- [11] Buttery D A, Buzzell R I. Some differences between soybean cultivars observed by growth analysis[J]. Canada. Journal of Plant Science, 1972, 52:13-20.
- [12] Morrison M J, Voldeng H D, Cober E R. Physiological changes from 58 years of genetic improvement of short-season soybean cultivars in Canada[J]. Agronomy Journal, 1999, 91: 685-689.
- [13] 殷毓芬,张存良,姚凤霞. 冬小麦不同品种叶片光合速率与气孔导度等性状之间关系的研究[J]. 作物学报,1995,21(5):561-567. (Yin Y F, Zhang C L, Yao F X. Relationship between photosynthetic rate and stoma conductance in different winter wheat varieties [J]. Acta Agronomica Sinica, 1995, 21(5):561-567.)
- [14] Evans L T, Dunstones R L. Some physiological aspects of evolution in wheat[J]. Australian Journal of Biological Sciences, 1970, 23:725-7411.
- [15] Muratay O A. Varietal difference in the rate of photosynthesis of plant and its relation to dry matter production[J]. Proceeding of the Crop Science Society of Japan, 1965, 33:454-4591.
- [16] Janardhan K V, Murty K S, Rawlo S. Path coefficient analysis and heritability of photosynthetic rate and associated leaf characters in rice varieties[J]. Indian Journal of Plant Physiology, 1983, 26(2):168-1761.
- [17] 胡茂龙,张迎信,孔令娜,等. 水稻光合作用及相关生理性状的 QTL 分析[J]. 作物学报,2007,33(2):183-188. (Hu M L, Zhang Y X, Kong L N, et al. Quantitative trait locus for photosynthesis and its related physiological traits in rice[J]. Acta Agronomica Sinica, 2007, 33(2):183-188.)
- [18] 薛香,吴玉娥. 小麦旗叶性状与光合特性的相关性分析[J]. 陕西农业科学,2007,4:22-23. (Xue X, Wu Y E. Correlation analysis between flag leaf and photosynthetic characteristics in wheat[J]. Shanxi Agricultural Science, 2007, 4:22-23.)
- [19] Delphine H, Francoise F, Ericka F B. QTL analysis of photosynthesis and water status traits in sunflower(*Helianthus annuus* L.) under greenhouse Conditions[J]. Journal of Experimental Botany, 2001, 52: 1857-1864.
- [20] 上官周平. 冬小麦对有限水分高效利用的生理机制[J]. 应用生态学报,1999,10(5):567-569. (Shangguan Z P. Physiological mechanism of highly efficiency use of limited water supply by winter wheat[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1999, 10(5):567-569.)
- [21] 游明安,盖钧镒,马育华,等. 大豆叶片光合速率与气孔导度、叶肉导度的关系[J]. 作物学报,1995,21(2):145-149. (You M A, Gai J Y, Ma Y H, et al. Relationship among photosynthetic rate and stoma conductance, leaf flash conductance in soybean [J]. Acta Agronomica Sinica, 1995, 21(2):145-149.)
- [22] 郝乃斌,杜维广. 高光效大豆光合特性的研究[J]. 大豆科学,1989,8(3):283-286. (Hao N B, Du W G. Research of photosynthetic characteristic for high photosynthetic efficiency soybean [J]. Soybean Science, 1989, 8(3):283-286.)
- [23] 杜维广,张桂茹,满为群,等. 大豆高光效品种(种质)选育及高光效育种再探讨[J]. 大豆科学,2001,20(2):110-114. (Du W G, Zhang G R, Man W Q. Development of soybean cultivars (Germplasm) with high photosynthetic efficiency (HPE) and redis-cussion of breeding for HPE[J]. Soybean Science, 2001, 20(2):110-114.)
- [24] 崔世友,喻德跃. 大豆光合性状 QTL 的初步定位[J]. 大豆科学,2007,26(1):6-10. (Cui S Y, Yu D Y. QTL Mapping of photosynthetic traits in soybean [J]. Soybean Science, 2007, 26(1):6-10.)