

基因型差异对棉花光合产物生产和分配的影响及遗传改良研究

梁哲军, 赵海祯, 齐宏立, 王玉香, 聂安全

(山西省农科院棉花研究所, 山西运城 044000)

摘要:通过研究转双价基因(Cry1Ac+CpTI)、转单价基因(Cry1Ac)抗虫棉以及常规棉三种基因型棉花光合产物生产和积累分配规律表明,三种基因型棉花光合速率峰值均出现在蕾期和花期,但峰值差异不显著。转基因棉花(单价和双价)花前光合产物积累量降低是生物学产量降低的主要原因;花后光合产物输出率提高是转基因棉花维持产量的主要因素。转基因棉花大量花后光合产物束缚在铃壳中导致转基因棉花铃重较低。在转基因棉花育种中应加强花前光合产物积累量和花后光合产物棉铃有效利用率的选择。

关键词:棉花;基因型差异;光合性状;遗传改良

中图分类号:S562.01 **文献标识码:**A

文章编号:1002-7807(2005)01-0018-05

Studies on Genetic Improvement and Effects on Production and Distribution of Photosynthate among Different Genotypes of Cotton

LIANG Zhe-jun, ZHAO Hai-zhen, QI Hong-li, WANG Yu-xiang, NIE An-quan

(Cotton Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Yuncheng 044000, China)

Abstract: The genetic improvement and photosynthate characity of different genotypes of cottons were studied in 2001 and 2003. In this report, the fifteen cotton breeds were divided into three genotypes. The first was DGC(double gene cotton, transgenic Cry1Ac plus CpTI cotton), including sGK321, CCRI 41, CCRI 45, ZGK193, ZGK204. The second was SGC(single gene cotton, transgenic Bt cotton), including Jinmian-26, Jinmian-31, Jinmian-33, CCRI 32, CCRI 35. The last was common cotton(CC)including Jinmian-25, Jinmian-12, CCRI 35, CCRI 12, CCRI 23. The results showed that there were no great differences about max of photosynthesis (Pnmax) among three genotypes cottons. All of these Pnmax appeared in budding and flowering period. The correlation of photosynthesis and yield of cotton was not visible. The main action of photosynthesis for yield of cotton was not directly, it affected biomass of cotton to yield. The distributive rate of accumulation on source and sink organs were different in three genotypes of cotton. The effective utilization ratio (EUR) of photosynthate accumulated after anthesis(PAAA) was different in three genotypes of cotton, CC was biggest and SGC was smallest. The influence of yield by photosynthate accumulated before anthesis (PABA) was different in three genotypes of cotton, that was SGC>DGC>CC. The decreasing of biomass of SGC and DGC were mainly due to (PABA) decreased. The output rate of PAAA of SGC and DGC were higher than CC. But more PAAA was storied in the boll shell, which had important effect on increasing boll weight of SGC and DGC. At last, it was suggested that we should pay attention to PABA and boll weight in SGC and DGC breeding selection.

Key words: cotton; different genotypes; photosynthetic; genetic improvement

收稿日期:2004-05-17 作者简介:梁哲军(1973-),男,助理研究员

基金项目:山西省自然科学基金项目(20031089)

前人大量研究证明,光能利用率的提高是作物产量提高的必要条件之一。棉花产量形成所需的干物质 90%~95%都来源与光合作用所形成。棉花的光合性能主要包括光合面积、光合时间、光合速率、光合产物的消耗及运输分配五个方面^[1-3]。影响棉花光合作用的因素有许多方面,Pettigrew 等^[4]对陆地棉 18 个不同遗传型单叶二氧化碳交换速率(CER)研究表明,不同遗传型棉花光合能力有差别;张月娟^[5]用¹⁴C 示踪法测定指出,不同棉花品种各生育期的光合能力有明显差别;Ibrahim 等^[6]与 Karami 等^[7]研究认为不同棉花叶型之间,光合速率存在差异;Wellshelger^[8]研究表明,不同器官、不同部位光合速率也存在差异;另外,光照强度、温度、CO₂ 浓度、水分以及营养元素、病害均会影响到棉花的光合作用。本研究以不同基因型棉花的光合产物生产和分配差异为研究对象,为棉花在外源抗虫基因导入基础上的高光效、高产品种选育提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料

常规棉品种为中棉所 12、晋棉 12、中棉所 23、晋棉 25、中棉所 35,简称 CC。转 Bt(CryIAc) 基因品种为晋棉 26、晋棉 31、中棉所 32、美棉 33B,晋棉 33 简称 SGC。转双价基因(CryIAc+

CpTI)抗虫棉品种为 sGK321、中棉所 41、中棉所 45、ZGK193、ZGK204 简称 DGC。试验材料由山西省棉花所品种室和中国农科院棉花所生物技术中心提供。

1.2 试验方法

试验于 2001—2003 年在山西省棉花研究所进行,每个品种设 1 个处理,共 13 个处理。小区面积 33.3 m²,6 行区,田间小区采用单因素随机区组排列,4 次重复,留苗密度为每公顷 6 万株,播期为 4 月 8 日,播后地膜覆盖。

1.3 调查和测定方法

1.3.1 光合产物积累量测定。于棉花 7、11、16、20 叶、吐絮期每个处理取 5 株长势一致棉花,110℃杀青 10 min 后烘干,测定根、茎、叶、生殖器官干重。

1.3.2 光合性状测定。使用美国产 CI-310 便携式光合测定系统,于棉花 7、11、16、20 叶,吐絮期采用开路系统,每个处理连续测量 20 株棉花倒 4 叶光合指标。

1.3.3 花后光合产物向棉铃输出率测定。于棉花见花期,每个处理选取 10 株棉花,对当日花进行逐日挂牌,标明开花期。吐絮期单铃采收,晒干称重,将全生育期内棉铃每隔 10 d 合并为一组,测定不同时期的铃重、衣分、铃壳重。

表 1 基因型差异对棉花光合产物与产量性状的影响

Table 1 The effects of Photosynthate and yield characters among different genotypes of cotton

处理	品种	净光合速率			花前光合			皮棉产量 /(kg·hm ⁻²)	
		最大值 /(μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	产量因素	衣分	产物	花后光合产物	输出率		
			单铃重 /g	单株铃数 /铃	/%	积累量 /(kg·hm ⁻²)	积累量 /(kg·hm ⁻²)	/%	
CC	中棉所 12	28.3	4.6	12.4	38.8	4620.8	7071.4	64.3	2339.3
	晋棉 12	26.8	4.8	12.6	39.2	4332.1	7658.3	66.5	2317.9
	中棉所 23	26.5	4.8	11.8	39.1	4657.1	7776.0	69.8	2198.0
	晋棉 25	30.2	5.0	14.3	39.1	4987.8	8978.3	66.4	2814.5
	中棉所 35	27.1	4.6	10.9	37.8	4125.5	7372.1	64.2	2372.9
SGC	美棉 33B	26.4	4.2	10.6	38.1	4261.8	7684.5	69.9	2038.6
	晋棉 26	24.3	4.3	11.2	37.4	3666.2	7632.6	71.2	2296.6
	晋棉 31	25.3	4.2	11.4	37.4	3897.8	7496.2	78.4	2122.2
	晋棉 33	29.1	4.6	12.3	38.9	4257.2	8675.4	73.4	2682.0
	中棉所 32	25.4	4.3	11.6	37.8	3687.9	7976.4	78.7	2067.7
DGC	sGK321	26.6	4.6	11.4	38.4	3876.4	7896.7	75.2	2062.2
	中棉所 41	29.2	4.8	12.8	39.8	4321.2	8398.9	76.2	2680.9
	中棉所 45	28.6	4.6	11.9	39.6	4136.8	7679.6	75.5	2187.3
	ZGK193	28.1	4.7	12.0	39.3	4111.5	7991.7	75.6	2310.1
	ZGK204	27.3	4.6	11.8	38.6	4263.4	7756.6	74.5	2216.8

1.3.4 农艺性状测定。小区收获后,测定单铃重,衣分、单株铃数及小区产量。

1.3.5 棉铃有效利用率。花后光合产物棉铃有效利用率=花后光合产物输出率 \times [单铃子棉重/(单铃铃壳重+单铃子棉重) \times 100%]

1.3.6 数据分析方法和软件^[9-10]。

2 结果与分析

2.1 基因型差异对棉花光合产物生产能力的影

2.1.1 基因型差异对棉花光合生产速率的影响。

由图 1 可以看出,3 种基因型棉花全生育期净光合速率(Pn)均呈现“M”型,并且蕾期峰值高于花期峰值。常规棉(CC)Pn 值前期增长比较快,在 7 叶期时平均比转单价(SGC)、双价(DGC)基因抗虫棉高 30.9%和 22.4%。在 11 叶期达到第一峰值(3 种基因型峰值平均数差异不显著),盛蕾后逐渐下降,开花后慢慢回升,盛花期再次达到峰值(差异不显著),以后逐渐回落。吐絮期后 SGC-Pn 和 DGC-Pn(表示双价转基因抗虫棉净光合速率,依此类推)值下降较 CC 快,到 9 月 15 日,CC-Pn 值比 SGC-Pn 和 DGC-Pn 高 107.3%和 51.8%。在相同基因型品种间,净光合速率也存在差异,并且部分差异达到极显著,如 CC 中晋棉 25 与中棉所 35,SGC 中晋棉 33 与 33B-Pnmax 值差异达到极显著。

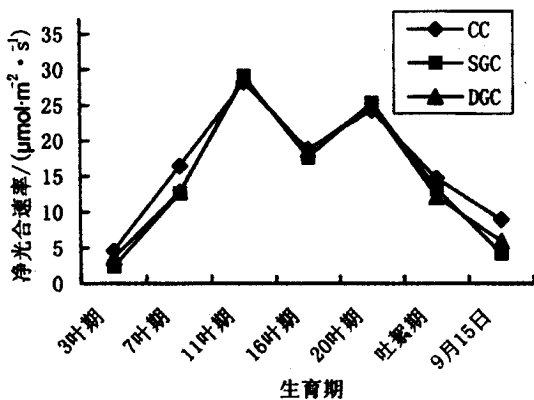


图 1 不同基因型棉花光合速率差异分析

Fig. 1 The difference of Pn among different genotypes of cotton

2.1.2 基因型差异中净光合速率与产量性状贡献效应分析。分析 3 种基因型棉花净光合速率峰值(花前与花后)与皮棉产量直接相关性(表 2)均达不到显著,但与花前、花后光合产物积累量相关达到极显著($r_1=0.8463^{**}$, $r_2=0.9031^{**}$)。分

别计算不同基因型棉花开花前后净光合速率峰值对皮棉产量贡献效应,花前效应表现为:SGC>DGC>CC,花后效应表现为 CC>DGC>SGC,但是在累计效应值上,三种基因型棉花表现差异不明显,单价棉略高于其他两种棉花。以上分析说明净光合速率峰值对皮棉产量贡献主要是间接效应,它是通过影响光合产物积累量的高低来表达对皮棉产量贡献率的大小。

表 2 不同基因型净光合速率峰值与皮棉产量效应分析

Table 2 The effects of Pnmax to yield among different genotypes of cotton

处理	直接效应	花前效应	花后效应	累计效应
CC	0.4063	0.0996	0.5811	0.6810
SGC	0.4813	0.1299	0.5507	0.6807
DGC	0.4947	0.0999	0.5723	0.6719

2.2 基因型差异对棉花光合产物分配的影响

2.2.1 不同基因型棉花光合产物在不同器官的分配差异。

由图 2 可知,不同基因型存在明显差异,CC 营养器官分配率为 66.4%,SGC 营养器官分配率 60.8%,DGC 营养器官分配率为 61.6%。在营养器官之间分配也存在差异,其中 CC 根器官光合产物分配率比 SGC 和 DGC 高 21.1%,和 8.9%,在叶器官分配率比 SGC 和 DGC 高 25.4%和 16.3%,而分配在茎器官的比率基本相同。从以上分析可知,常规棉与转基因棉花光合产物分配差异主要表现在“源”上。转基因棉花整体相对常规棉表现为“小源”“大库”。

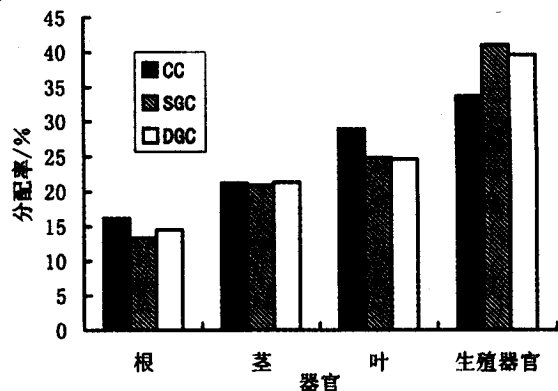


图 2 不同基因型棉花光合产物在各器官的分配差异

Fig. 2 The difference of distribution of photosynthate among different genotypes of cotton

2.2.2 不同基因型棉花花后光合产物棉铃利用

率差异分析。由图 3 可知,3 种基因型棉花花后光合产物向棉铃输出速率随着铃期的后延均保持下降趋势,这可能由于后期温度下降导致花后光合产物转移速率降低的缘故。但是在整个生育期花后不同基因型棉花光合产物转移速率差异并不显著,这与徐立华等研究认为由于花后光合产物转移速率低于常规棉不同。在研究中还发现,棉

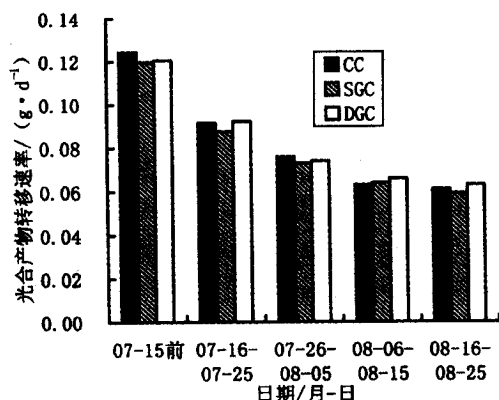


图 3 不同基因型棉花花后光合产物输出速率

Fig. 3 The rate of PAAA among different genotypes of cotton

2.3 不同基因型棉花光合产物生产与分配的重要性分析及遗传改良

2.3.1 开花前后光合产物对经济产量的作用分析。表 3 表明,3 种基因型棉花花前光合产物积累量对皮棉产量相关性均不显著,但花后光合产物积累量对皮棉产量相关达到极显著。说明棉花花前光合产物主要用于棉花生长所必须的根、茎、叶器官的形成和发育,对棉花皮棉产量的作用主要是通过其他途径而产生的间接作用。而花后光合产物主要用于经济器官的构成和发育。在三种基因型棉花花前光合产物对皮棉总效应值为:SGC>DGC>CC,即花前光合产物积累量越小对皮棉产量总效应值越大。

表 3 不同基因型棉花开花前后光合产物对棉花产量的影响
Table 3 The effect of PABA and PAAA to yield among different genotypes of cotton

处理	花前光合产物对皮棉产量贡献			花后光合产物对皮棉贡献率
	直接效应	间接效应	累计效应	直接效应
CC	0.2458	0.5850	0.7911	0.9386**
SGC	0.2698	0.5213	0.8308	0.9768**
DGC	0.2448	0.5726	0.8174	0.9842**

2.3.2 光合产物生产与分配的相对重要性及遗传改良。设表 1 所列 7 个产量因素分别为 X_1 - X_7 ,以 3 种基因型棉花在这 7 个性状上的表现对

花基因型不同花后光合产物棉铃利用率不同(图 4)。花后光合产物铃壳分配率表现为:CC<DGC<SGC;花后光合产物棉铃有效利用率表现为:SGC<DGC<CC。即常规棉花后光合产物棉铃有效利用率最高,其次是转双价基因抗虫棉,再次是转单价基因抗虫棉。

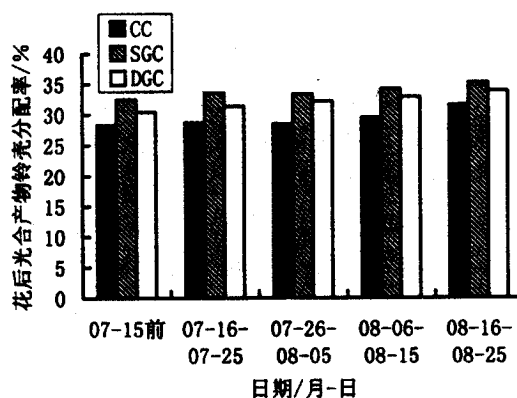


图 4 不同基因型棉花花后光合产物棉铃利用率差异

Fig. 4 The difference of PAAA utilization efficiency among different genotypes of cotton

皮棉产量进行逐步回归,得回归方程:

$$Y = -2204.8 + 341.11X_2 + 119.47X_3 + 67.93X_4 + 0.13X_5 + 1.52X_6 + 11.8X_7 \quad (R = 0.8965, F > F_{0.01})$$

其中, Y =皮棉产量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$); X_2 =单铃重(g); X_3 =单株铃数(个); X_4 =衣分(%); X_5 =花前光合产物积累量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$); X_6 =花后光合产物积累量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$); X_7 =花后光合产物输出率(%).回归结果进一步表明,在不同基因型棉花中,铃重作为皮棉产量的主导因素而发挥作用。但是铃重是一个复杂的因素,它与棉铃的发育,花后光合产物的积累与输出率以及棉铃利用率等多个因素密切相关。同时,花前光合产物积累量进入方程,说明在转基因棉花育种过程中,花前光合产物的生产已经开始影响经济产量。因此在转基因棉花育种中应加强铃重与花前光合产物的遗传改良研究。

3 讨论

前人研究大多认为,棉花经济产量主要来源于花后光合产物的积累和输出,因此在实际应用中比较注重棉花花后光合产物的形成与积累。在本研究中转基因棉花花前光合产物积累量低于常规棉,导致生物学产量降低,并且花前光合产物积

累量越低,体现在经济产量的总效应值越高。转基因棉花花后光合产物输出率明显高于常规棉,确保了转基因棉花的产量形成。赵海祯等研究认为即使在较为适宜的源库平衡状态下,花后所形成的光合产物也不能完全迅速的转移至库器官,只能最大程度调节向库器官的输出率。在本研究中提出花后光合产物棉铃实际利用率,进一步说明了这个问题。因此转基因棉花光合产物生产与分配的遗传改良中,应加强花前光合产物积累量和花后光合产物棉铃有效利用率的选择。

陈松等研究认为转 Bt 基因抗虫棉生育后期 Bt 毒蛋白有增加的趋势,并且 Bt 毒蛋白不易被蛋白酶水解,因而转换速率低于其他蛋白,造成光合产物转移速率低于常规棉。在本研究中,转双价和转单价基因抗虫棉花后光合产物铃壳分配率均高于常规棉,导致花后光合产物棉铃实际利用率降低的现象。是否由于外源基因蛋白阻碍了营养物质的流转,进一步影响到棉株体内一系列的生理新陈代谢,但目前尚没有具体数字证实,需要进一步的研究。

参考文献:

- [1] 陈 松. Bt 毒蛋白 ELISA 检测方法及抗虫棉 Bt 毒蛋白表达量的时空变化[J]. 南京农业大学学报, 1999,6(3):68-72.
- [2] 赵海祯,梁哲军,齐宏立,等. 转 Bt 基因抗虫棉源库关系及调控效应研究[J]. 华北农学报,2003,18(2):1-4.
- [3] 张月娟. 鄂棉 14、鄂棉 16 及鄂荆 1 号光合性能的研究[J]. 湖北农业科学,1994(3):14-17.
- [4] 孙济中,陈布圣. 棉作学 [M]. 北京:中国农业出版社,1998.
- [5] PETTIGROW W T. Leaf gas exchange parameters vary among cotton genotypes[J]. Crop sci, 1994,34:700-705.
- [6] KALAMANI A. Initiation of callus and plant regeneration in cotton (*G. hirsutum* L.) Madras[J]. Agri J, 1994,81(11):579-580.
- [7] IBRAHIM M E. Early vegetative growth of cotton as influenced by leaf type[J]. Crop Sci, 1994, 21: 639-643.
- [8] WELSCHELGER S D. Photosynthetic and respiratory activity of fruiting from within the cotton canopy [J]. Plant physiol,1990,95:403-409.
- [9] 朱 军. 遗传模型分析方法 [M]. 北京:中国农业出版社,1997.
- [10] 张全德,胡秉民. 农业试验统计模型和 BASIC 程序 [M]. 杭州:浙江科学技术出版社,1984. ●
- [1] 陈 松. Bt 毒蛋白 ELISA 检测方法及抗虫棉 Bt 毒