

棕色、绿色和白色棉品系光合特性的比较

华水金, 袁淑娜, 赵向前, 张小全, 刘英新, 文国吉, 张海平, 王学德*

(浙江大学农业与生物技术学院, 杭州 310029)

摘要:比较了白色棉、棕色棉和绿色棉 3 个品系苗期、蕾期、初花期、盛花期、花后期和吐絮期 6 个时期植株叶片叶绿素 a 和 b 的含量、叶绿体希尔反应活力、 Ca^{2+} -APTase、 Mg^{2+} -ATPase 活性和净光合速率等光合指标及产量性状的差异。结果表明:白色棉子棉产量显著高于棕色棉,绿色棉最低。3 个材料的光合指标在植株盛花期差异最大,说明盛花期是影响棉花光合代谢的重要时期。与白色棉相比,棕色棉植株叶片的叶绿素含量低、叶绿体希尔反应活力弱、ATPase 活性弱,导致其净光合速率低,营养物质供应不足,是造成其产量低的生理原因之一。就绿色棉而言,叶片具有较高的叶绿素含量,其 ATPase 活性与白色棉相当;在盛花期,植株的净光合速率超过了白色棉,但仍未能获得高产,表明了影响绿色棉品系产量是由多方面因素造成的。

关键词:棕色棉;绿色棉;白色棉;产量;光合特性

中图分类号:S562 文献标识码:A

文章编号:1002-7807(2009)02-0121-06

Comparison of Photosynthesis in Brown, Green, and White Fiber Cotton Lines

HUA Shui-jin, YUAN Shu-na, ZHAO Xiang-qian, ZHANG Xiao-quan, LIU Ying-xin, WEN Guo-ji, ZHANG Hai-ping, WANG Xue-de*

(College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract: Colored fiber cotton usually yields less, though this phenomenon had been observed for long time. There were a few investigations about the reasons causing it. In order to give more information on the lower yield of colored fiber cotton, we measured several photosynthetic indexes such as leaf chlorophyll a and b content, Hill reaction activity, Ca^{2+} -APTase and Mg^{2+} -ATPase activity, and net photosynthesis rate as well as lint yield and yield components using three lines, which was white (XZ-003), brown (X008), and green fiber cotton (S029) as plant materials, at seedling, squaring, early flowering, middle flowering, late flowering, and boll opening stage. Result showed that the brown and green fiber cotton had lower lint yield, which was 33.7% and 41.9% lower than the white fiber cotton. The main differences among three materials existed in the middle flowering stage indicating its importance during photosynthesis. Compared to the white and green fiber cotton, brown fiber cotton had the lowest leaf chloroplast Hill reaction activity, Ca^{2+} -ATPase, and Mg^{2+} -ATPase activity particular in middle flowering stage. It also had the lowest net photosynthesis rate, which would result in the insufficient metabolism substrate supply. These results indicated a possibly physiological reason for low yield in brown fiber cotton. As for green fiber cotton, it had much higher chlorophyll content than white fiber cotton. Furthermore, it had similar activity of ATPase and higher net photosynthesis rate at middle flowering stage than white fiber cotton. However, despite of these advantages in photo-

收稿日期: 2008-07-20

作者简介: 华水金(1979-), 男, 博士, sjhual@163.com; * 通讯作者, xdwang@zju.edu.cn

基金项目: 国家“973”项目(2004 CB 11730502); 浙江省自然科学基金项目(Y306093); 浙江省科技项目(2008C22087)

synthesis, it still gained the lowest yield suggesting there were other reasons accounted for its reason.

Key words: brown fiber cotton; green fiber cotton; white fiber cotton; yield; photosynthesis

棉花是重要的纤维作物之一。目前,生产上大面积种植的棉花纤维颜色主要为白色。因此,在纺织工业上往往需要通过化学染色的方法使纤维着色后加工成具有各种色彩的棉成品。在棉花品种资源中,存在着具有纤维带有天然色彩的种质资源^[1]。由于彩色棉纤维发育过程中色素的积累和显色,故可省去纤维化学染色的工艺程序,可节约人力、物力和财力。具有更为重要意义的是可以通过减少在染色过程中某些有毒化学物质的应用,降低环境污染的风险。因此,彩色棉在棉花育种中具有特殊的应用价值。

近年来,国内虽有系列彩色棉新品种的育成和推广^[2-3],然而,彩色棉在生产过程中仍有一些问题尚未得到完全解决。较为突出的有:1)彩色棉色彩单调。目前报道较多的为棕色棉和绿色棉。过去,不少学者对彩色棉纤维颜色的遗传进行了较多的研究,试图为彩色棉纤维的色彩改良提供理论依据。然而,不同学者所得到的研究结果不完全一致^[4-5]。这可能与所进行的试验中采用的彩色棉材料不同,即遗传背景不一致有关。因此,彩色棉在纤维色彩改良方面的进展不大。2)产量低和品质差。尽管育种者利用杂种优势原理,采用杂交育种的方式改良彩色棉取得了很大的成就^[6-7],但是,引起彩色棉产量低和品质差的机理所知甚少。在棉花生长发育过程中,植株的光合作用与棉花的产量密切相关^[8-9]。光合作用的产物是植株各器官包括棉花纤维发育的重要物质基础之一,为各种代谢活动提供了原料。目前,有关彩色棉植株的光合特性的生理基础方面的报道不多。为此,本研究通过比较白色棉、棕色棉和绿色棉不同生育期植株叶片叶绿素含量、净光合速率、叶绿体希尔反应活力和叶绿体 ATPase 活性等光合指标,旨在从光合生理角度分析彩色棉与白色棉光合特性的差异,从而为造成彩色棉与白色棉产量性状差异的原因提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验以棕色棉(X008)、绿色棉(S029)和白色棉(XZ-003)品系为植物材料。白色棉、棕色棉和绿色棉3个材料具有相对一致的遗传背景。即:

以徐州142为轮回亲本,通过4~5次回交和2次自交获得。试验于本校试验农场进行。棉花于4月20日播种,5月10日移栽。种植密度为3.00万株·hm⁻²,小区面积为16.6m²。3个植物材料为3个试验处理,采用随机区组设计,3次重复。栽培措施与一般棉田管理相同。于棉株生育后期调查单铃铃数。同时,每小区收取正常吐絮铃50个,考察单铃重。子棉分3次收获,子棉产量按3次分收量的总和计。

取样按棉花的生长发育时期分苗期(移栽后20d)、蕾期(移栽后40d)、初花期(移栽后55d)、盛花期(移栽后65d)、花后期(移栽后80d)和吐絮期(移栽后95d)六个时期。

1.2 测定项目和方法

1.2.1 叶绿素含量的测定。参照文献^[10]的方法,取适量倒4叶剪碎,以丙酮:无水乙醇:水(4.5:4.5:1)混合液法提取叶绿素后,在紫外-可见分光光度计(日本岛津UV-2450)上比色定量。结果以mg·g⁻¹鲜重表示。

1.2.2 叶绿体希尔反应活力测定。参照上海植物生理学会所著的方法^[11],取适量倒4功能叶片提取叶绿体。叶绿体希尔反应活力采用Fe(CN)₆⁴⁻比色法进行。结果以μmol·mg⁻¹·h⁻¹表示。

1.2.3 叶绿体偶联因子ATPase活力测定。叶绿体的提取方法同叶绿体希尔反应活力,叶绿体类囊体膜Mg²⁺-ATPase和Ca²⁺-ATPase的激活和反应方法参照上海植物生理学会^[11]所著方法进行。结果以单位时间内叶绿素的ATPase活力以μmol·mg⁻¹·h⁻¹表示

1.2.4 叶片净光合速率的测定。选择天气晴好、光照充足的上午(8:30—11:30),用LiCOR-6400便携式光合测定仪进行光合作用相关指标测定。光强设为1300lx。每个小区随机取3株完全展开的功能叶片测定净光合速率(net photosynthetic rate, Pn),然后求得3株棉花测定值的平均数。

2 结果与分析

2.1 彩色棉地上部干物质和产量性状表现

白色棉、棕色棉和绿色棉子棉产量与产量构

成方面存在着显著的差异(表 1)。棕色棉(X008)和绿色棉(S029)品系的子棉产量分别比白色棉品系(XZ-003)降低了 33.7%和 41.9%。在绿色棉、棕色棉和白色棉品系这 3 个材料中,绿色棉的产量构成因子显著地低于棕色棉和白色棉品系。绿色棉单株铃数与白色棉之间相差达 4 个之多,其单铃重仅为白色棉的 78.1%。由此可见,绿色棉的产量性状表现最差。棕色棉的产量性状介于白色棉和绿色棉品系之间。就三者的茎和叶片的干重而言,绿色棉品系则显著地高于白色棉。棕色棉品系的茎和叶片的干重最低,比绿色棉降低了 18.6%。绿色棉具有较高的地上部分干物重,说明其营养生长较为旺盛。

2.2 彩色棉叶片叶绿素含量

图 1 为白色棉、棕色棉和绿色棉品系在植物各生长阶段叶片中叶绿素含量的变化结果。图中结果表明,从幼苗期至吐絮期,无论叶绿素 a 或叶

绿素 b 均表现为绿色棉品系具有较高的含量,棕色棉品系则较低(叶绿素 a 和 b 始终比绿色棉品系少约 $200 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $50 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 鲜重左右),白色棉品系则介于两者之间。绿色棉品系叶片中较高的叶绿素含量暗示着其亦具有较高的光合速率。此外,绿色棉和棕色棉品系叶片中的叶绿素 a 含量在盛花期达到峰值,随后则可能因为植株的衰老,叶片中的叶绿素逐渐分解导致含量迅速降低。白色棉品系叶片中的叶绿素 a 含量则从现蕾至盛花期变化甚微,但从盛花期开始,含量也迅速降低。绿色棉品系叶片中的叶绿素 b 含量与叶绿素 a 含量在生育期内变化趋势类似;棕色棉品系从苗期至开花后期叶绿素 b 含量呈缓慢上升趋势,随后降低;白色棉品系则在现蕾期叶绿素 b 含量较高值后,随后降低。白色棉、棕色棉和绿色棉品系在盛花期具有较高的叶绿素含量暗示着该时期可能是棉花光合作用较为重要的时期。

表 1 白色棉和天然彩色棉产量性状比较

Table 1 Comparison of yield and yield composition among white fiber cotton, brown fiber cotton, and green fiber cotton

棉花类型	茎和叶干重/($\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$)	株铃数/个	铃重/g	衣分/%	子棉产量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)
白色棉	112.93b	19.83a	4.79a	39.72a	2788.06a
棕色棉	105.86c	17.00b	3.93b	35.81b	1849.66b
绿色棉	130.01a	15.00c	3.74c	32.75c	1620.30c

注:同一列数字后面不同小写字母表示显著性差异达 5% 水平。

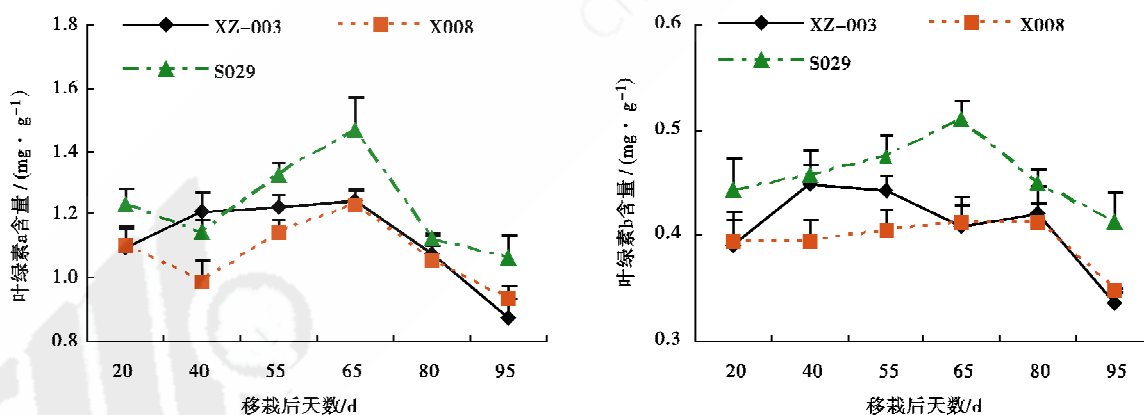


图 1 白色棉、棕色棉和绿色棉品系不同生育期叶片叶绿素 a 和叶绿素 b 含量的变化

Fig. 1 Dynamics of leaf chlorophyll a and chlorophyll b content at different developmental stages in white-fiber cotton, brown-fiber cotton, and green-fiber cotton

2.3 彩色棉叶片叶绿体希尔反应活力

叶绿体希尔反应活力是反映植株叶片叶绿体活性的重要指标之一。叶绿体是植物进行光合作用的场所,因此,其活性的高低是植物叶片光合生理活性强弱的重要反馈。从不同生育期棉花叶片的叶绿体希尔反应活力比较(图 2),白色棉、棕色棉和绿色棉品系在苗期、现蕾期和初花期的活力差异不大,但在盛花期迅速升高,各自比初花期增

加了约 5 倍、1.8 倍和 2.8 倍,之后因植株衰老,叶片中的叶绿体希尔反应活力快速降低。就基因型之间而言,白色棉、棕色棉和绿色棉品系叶片的叶绿体希尔反应活力的差异在苗期、现蕾期、初花期和吐絮期差异不明显,但在盛花期和花后期则表现为白色棉品系远高于绿色棉品系,棕色棉品系最低。在盛花期,绿色棉品系的活力为白色棉品系的 53.6%,棕色棉品系的活力仅为绿色棉品

系的 65.6%，与叶绿素含量类似。该结果说明了在盛花期是引起彩色棉与白色棉光合生理差异的关键时期。

2.4 彩色棉叶片 Mg^{2+} -ATPase 和 Ca^{2+} -ATPase 活性

图 3 结果表明,白色棉、棕色棉和绿色棉品系叶片中的 ATPase 活力在棉花发育的不同生育期的变化趋势与叶片叶绿体希尔反应活力相似:均在盛花期表现出显著的差异。在盛花期,白色棉品系叶片中的 Mg^{2+} -ATPase 活性比绿色棉品系高了 21.1%,而绿色棉品系的活性则比棕色棉品系高了 61.9%。就 Ca^{2+} -ATPase 活性而言,在盛花期白色棉和绿色棉品系叶片中的活性很接近,但棕色棉品系远比白色棉和绿色棉品系低。

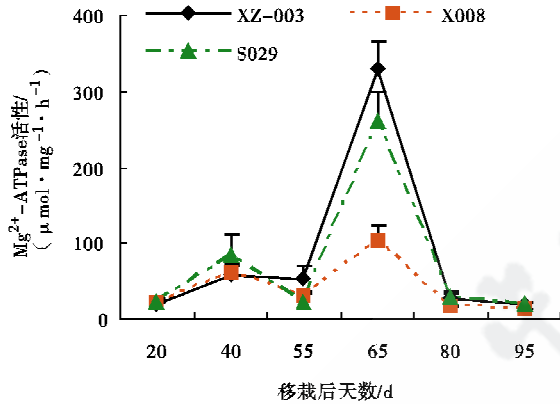


图 3 白色棉、棕色棉和绿色棉品系不同生育期叶绿体 Mg^{2+} -ATPase 和 Ca^{2+} -ATPase 活性的变化

Fig. 3 Dynamics of chloroplast Mg^{2+} -ATPase 和 Ca^{2+} -ATPase activity at different developmental stages in white-fiber cotton, brown-fiber cotton, and green-fiber cotton

2.5 彩色棉叶片净光合速率

棉花叶片净光合速率的高低与其产量密切相关。图 4 表明,在苗期,绿色棉品系叶片的净光合

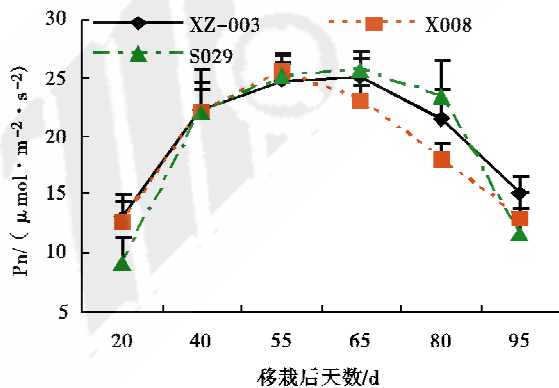


图 4 白色棉、棕色棉和绿色棉品系不同生育期净光合速率的变化

Fig. 4 Dynamics of Pn at different developmental stages in white-fiber cotton, brown-fiber cotton, and green-fiber cotton

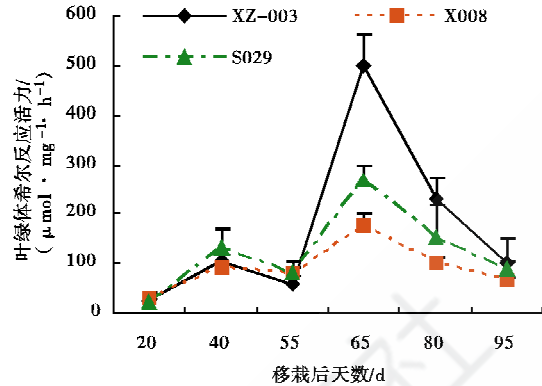
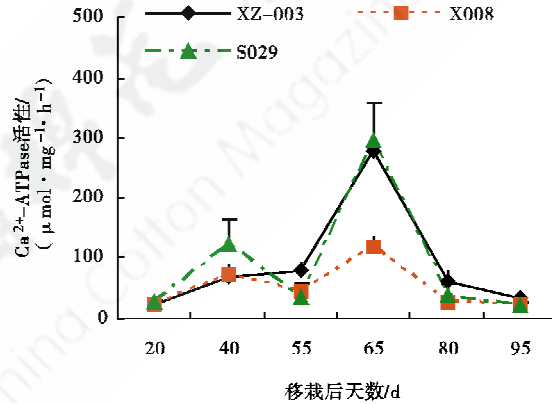


图 2 白色棉、棕色棉和绿色棉品系不同生育期叶绿体希尔反应活力的变化

Fig. 2 Dynamics of chloroplast Hill reaction activity at different developmental stages in white-fiber cotton, brown-fiber cotton, and green-fiber cotton



速率较低,而棕色棉和白色棉品系的叶片净光合速率接近。在现蕾期和初花期,3 种基因型棉花植物的净光合速率差异非常小,但在盛花期和花后期 2 阶段绿色棉品系植株的净光合速率超过白色棉,为最高,棕色棉品系叶片的净光合速率最低。该结果表明,绿色棉植株的光合性能比较强,而棕色棉则相对较弱。

3 讨论

光合作用是植物最重要的生理代谢之一。棉花基因型之间光合效率存在着显著的差异^[12]。本研究结果亦表明:白色棉、棕色棉和绿色棉 3 个材料的光合特性存在着明显的差异。总体而言,棕色棉的光合性能比白色棉和绿色棉差,主要表现之一为叶片叶绿素含量低。Pettigrew 在比较 8 个棉花基因型的光合效率时 2 个鸡脚叶基因型比正常叶高,此结果可能与鸡脚叶基因型棉花具

有比正常叶型叶片叶绿素含量高 13% 有关^[13]。叶绿素含量低,表明棕色棉叶片中的光合色素含量少,而光合色素具有捕获光能的作用^[14-15]。一旦叶绿体所捕获的光能降低,容易导致将光能转化为化学能的能量基础减少,引起叶绿体后续的一系列反应减弱,包括叶绿体希尔反应^[16]。棕色棉叶片的叶绿体活性(包括希尔反应活力及 ATPase 活性)比白色棉和绿色棉品系低,最为突出地表现在盛花期。叶绿体生理活性弱,显然,植株的光合速率会受到不利影响。在盛花期,大量花朵开放,是棉铃形成的重要时期^[17]。若此阶段,光合速率不高,能量物质(碳水化合物)生产能力较弱,营养生长不旺,不利于产量的形成。杨铁钢等研究认为,当棉花营养生长较弱时,其表现方式为棉铃脱落,而不像禾本科植物以秕粒或降低粒重的方式进行^[18]。显然,对于棉铃而言,无论是降低铃重还是棉铃数目,均会对最终的子棉产量造成不良影响。

与棕色棉相比,绿色棉植株的光合性能较强。绿色棉叶片中的叶绿素 a 和 b 含量远超过棕色棉和白色棉,而且叶绿体的 ATPase 活性和净光合速率也比较高,与白色棉接近。由此可见,绿色棉植株的光合性能并不比白色棉差。然而,绿色棉的实际产量却连棕色棉都不如。显然,这说明了引起绿色棉产量低的生理原因不仅只有光合作用。绿色棉品系不仅光合性能较强,且其地上部分干重也显著地高于白色棉和棕色棉品系,说明绿色棉品系的营养生长比较旺盛。旺盛的营养生长会使植株枝繁叶茂,容易造成棉田荫蔽严重,影响到中下部蕾铃的发育,不利于绿色棉的高产^[18]。然而,这仅仅是可能的原因之一,由于影响棉花产量的因素较多,比如棉花基因型之间的蕾铃脱落率的差异是决定其最终铃数的产量因子之一,又如纤维细胞中碳水化合物向纤维素转化的能力比较弱等。这都是有可能影响到其产量形成的原因。因此,对于彩色棉的低产除植株的光合特性角度外尚需要从多方面考虑。只有综合考虑彩色棉棉花植株和纤维发育过程中与白色棉的生理生化和分子生物学的差异,才能更加全面系统地揭示他们之间的差别,从而为进一步提高彩色棉的产量和品质奠定基础。

参考文献:

- [1] KOHEL R J. Genetic analysis of fiber color variants in cotton[J]. *Crop Science*, 1985, 25(5): 793-797.
- [2] 张家宪, 刘伟, 胡言. 彩色棉皖棉 38 和皖棉 39 简介[J]. *中国棉花*, 2006, 33(6): 14.
ZHANG Jia-xian, Liu Wei, Hu Yan. Simple introduction of colored cotton lines: Wannian 38 and Wannian 39[J]. *China Cotton*, 2006, 33(6): 14.
- [3] 张林水, 吴霞, 上官小霞, 等. 天然彩色棉新品种——运彩绿-1[J]. *中国棉花*, 2007, 34(12): 18-22.
ZHANG Lin-shui, Wu Xia, Shangguan Xiao-xia, et al. New variety for naturally colored cotton-Yuncaiyu-1[J]. *China Cotton*, 2007, 34(12): 18-22.
- [4] 邱新棉, 周文龙, 李茂松, 等. 天然彩色棉纤维色素的遗传基础形成及湿处理色素变化规律的研究[J]. *中国农业科学*, 2002, 35(6): 610-615.
QIU Xin-mian, Zhou Wen-long, Li Mao-song, et al. Study on the genetics and production of fiber pigments and color deviation after wetting process of naturally colored cotton[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(6): 610-615.
- [5] 石玉真, 杜雄明, 刘国强, 等. 天然有色纤维和短绒色泽遗传分析[J]. *棉花学报*, 2002, 14(4): 242-248.
SHI Yu-zhen, Du Xiong-ming, Liu Guo-qiang, et al. Genetic analysis of naturally colored lint and fuzz of cotton[J]. *Cotton Science*, 2002, 14(4): 242-248.
- [6] 曹新川, 何良荣, 蔡臻伟, 等. 彩色棉与海岛棉种间 F₁ 杂种优势分析[J]. *棉花学报*, 2003, 15(3): 191-192.
CAO Xin-chuan, He Liang-rong, Cai Zhen-wei, et al. The analysis of interspecific heterosis of the colorful cotton (*G. hisutum*) × *G. barbadense*[J]. *Cotton Science*, 2003, 15(3): 191-192.
- [7] 赵向前, 王学德. 细胞质雄性不育彩色棉的杂种优势利用和制种研究[J]. *棉花学报*, 2005, 17(1): 8-11.
ZHAO Xiang-qian, Wang Xue-de. Studies on the heterosis and seed production of hybrid between cytoplasmic male sterile lines and restoring lines in colored cotton [J]. *Cotton Science*, 2005, 17(1): 8-11.
- [8] BAUER P J, Frederick J R, Bradow J M, et al. Canopy photosynthesis and fiber properties of normal- and late-planted cotton [J]. *Agronomy Journal*, 2000, 92(3): 518-523.
- [9] 徐文修, 牛新湘, 边秀举. 新疆棉花光温生产潜力估算与分析[J]. *棉花学报*, 2007, 19(6): 455-460.
XU Wen-xiu, Niu Xin-xiang, Bian Xiu-ju. The calculations and analyses on thermal production potential of cotton in Xinjiang [J]. *Cotton Science*, 2007, 19

- (6):455-460.
- [10] LICHTENTHALER H K. Chlorophylls and carotenoids; Pigments of photosynthetic biomembranes [J]. *Methods in Enzymology*, 1987, 148: 350-382.
- [11] 上海植物生理学会. 植物生理学实验手册[M]. 上海: 上海科技出版社, 1985: 87-125.
Association for Shanghai Plant Physiology. Handbook of plant physiological experiment [M]. Shanghai: Shanghai Sci-Tech Press, 1985: 87-125.
- [12] WELLS R, Meredith J W R, Williford J R. Canopy photosynthesis and its relationship to plant productivity in near-isogenic cotton lines differing in leaf morphology[J]. *Plant Physiology*, 1986, 82(3): 635-640.
- [13] PETTIGREW W T. Cotton genotypic variation in the photosynthetic response to irradiance [J]. *Photosynthetica*, 2004, 42(4): 567-571.
- [14] LEUTWILER L S, Meyerowitz E M, Tobin E M. Structure and expression of three light-harvesting chlorophyll a/b-binding protein genes in *Arabidopsis thaliana* [J]. *Nucleic Acids Research*, 1986, 14(10): 4051-4064.
- [15] KARLIN-NEUMANN G A, Sun Lin, Tobin E M. Expression of light-harvesting chlorophyll a/b-protein genes is phytochrome-regulated in etiolated *Arabidopsis thaliana* seedlings[J]. *Plant Physiology*, 1988, 88(4): 1323-1331.
- [16] DICKMANN D I. Chlorophyll, ribulose-1,5-diphosphate carboxylase, and Hill reaction activity in developing leaves of *Populus deltoids* [J]. *Plant Physiology*, 1971, 48(2): 143-145.
- [17] JONES M A, Wells R, Guthrie D S. Cotton response to seasonal patterns of flower removal; II. growth and dry matter allocation [J]. *Crop Science*, 36(3): 639-645.
- [18] 杨铁钢, 谈春松, 郭红霞. 棉花营养生长和生殖生长关系研究[J]. *中国棉花*, 2003, 30(7): 13-16.
YANG Tie-gang, Tan Chun-song, Guo Hong-xia. Relationship between vegetable and reproductive growth of cotton [J]. *China Cotton*, 2003, 30 (7): 13-16. ●