

绿色棉遗传规律分析及其对产量和纤维品质的影响

范小平^{1,2}, 范博红², 徐子勤¹, 杨维才^{3*}

(1. 西北大学生命科学学院, 西安 710069; 2. 山西省农科院棉花研究所, 运城 044000;
3. 中国科学院遗传与发育生物学研究所, 北京 100101)

摘要:通过天然红叶绿色棉和绿叶白色棉的杂交, 统计分析 F_1, F_2 代叶与纤维色泽的遗传分离规律, 以及色素对纤维生长的影响。验证了红叶色素和绿色长绒色素性状是由两对位于两条染色体上, 由独立遗传的不完全显性基因控制; 而绿短绒为完全显性遗传, 并且与绿长绒性状位于同一染色体上, 由两对非等位基因控制, 其遗传距离为 1.26 cM。同时, t 测验统计分析结果显示, 绿纤维棉株的衣分和绒长极显著低于白色棉, 说明纤维中绿色色泽有阻碍棉花纤维生长发育作用; 红叶对铃重与铃数以及纤维长度和衣分都没有显著影响。因此, 在改良彩棉纤维色泽的同时要与提高纤维品质研究相结合, 达到共同提高的目的。

关键词:棉花; 红叶绿棉; 染色体; 基因; 纤维品质; 产量

中图分类号: S562.032 文献标识码: A

文章编号: 1002-7807(2009)01-0034-05

Inheritance of Red Leaf and Green Fiber in Cotton and Their Effects on Yield and Fiber Quality

FAN Xiao-ping^{1,2}, FAN Bo-hong², XU Zi-qin¹, YANG Wei-cai^{3*}

(1. College of Life Science, Northwest University, Xi'an 710069, China; 2. Institute of Cotton Research, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Yuncheng, Shanxi 044000, China; 3. Institute of Genetics and Developmental Biology, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: To provide insights into improvements in yield and fiber quality of colored cotton, the experiment for investigating the inheritance of naturally colored cotton was carried out. It was indicated by a comprehensive genetic analysis on natural red leaf, green lint and fuzz, traits of red leaf and green lint were controlled by one pair of genes incomplete in dominance on non-homologous chromosomes, respectively. Green fuzz was controlled by one pair of complete dominant gene and located at the same chromosome with green lint traits, and their genetics distance was 1.26 cM. The result showed that the lint and fiber length of green fiber plant was significantly less than that of white fiber plant analyzed by t tests, while red leaf had no significant influence on yield or fiber quality. It was suggested that green fiber gene played an important role in fiber quality. Therefore, combination studies of cellulose synthesis and color forming in fiber are necessary to improve fiber color and quality of colored cotton.

Key words: cotton; red leaf and green fiber; chromosome; gene; fiber quality; yield

天然彩棉色泽灰暗、种类缺乏的现状严重制约了彩棉的开发与利用。运用分子育种改良彩棉色泽与品质, 需要探讨其遗传规律作为理论基础。有关彩棉的遗传规律研究, Ware 等认为绿色纤维

性状由一对不完全显性基因控制^[1], 但也有实验结果认为绿色纤维性状可能是由多基因控制的数量性状遗传^[2]。绿色短绒与长绒遗传关系的研究结果也不尽相同, 有的认为二者是复等位基因^[3],

而有的则认为分别由一对非同源染色体上的一对基因控制^[4]。该实验所用品种不同,作为理论依据,首先探讨了其遗传规律。实验观察中发现,有红叶与绿色纤维性状完全分离现象,则对红叶的遗传规律也进行了分析。因为有色纤维对皮棉产量与品质有负效应^[5-6],进一步确定哪些性状受影响,对针对性改良棉纤维品质与色泽研究具有重要意义。因此,本文就这两方面内容做了统计分析与研究。

1 材料和方法

1.1 材料

由山西棉花所品种资源室提供的红叶绿絮308,叶、茎秆为深红色、棉纤维为绿色的自交纯系作为父本,普通绿叶白色纤维 Coker 312 作为母本进行杂交。

1.2 制取杂交种

在 Coker 312 开花前一天去雄。第二天取红叶绿絮花粉授粉,挂上标签,标明父母本和杂交日期。成熟后,单铃同标签一并收起。

1.3 F₁ 代的选取

将一个杂交棉桃的 F₁ 代种子 20 粒全部种下,观察记录棉叶色泽表型;成熟时记录长绒及短绒颜色并单株收取。

1.4 F₂ 代的种植及调查

从 F₁ 代棉株中的同一株上收获的 200 粒种子,全部播种于一块营养均衡、管理一致的棉田。F₂ 代蕾期调查登记棉叶的色泽表型;成熟吐絮后观察记录长绒及短绒的色泽,收取并记录单株铃数,然后分别称铃重、测绒长、计算衣分。

1.5 卡方适合度检验法

利用卡方统计检验法^[7]检验 F₂ 代棉株色泽的分离比。计算公式为: $\chi^2 = \sum(O-E)^2/E$ 。其中:O 为观察值,E 为标准值。

1.6 成组数据平均数比较的假设测验

测量与计算 F₂ 代棉株的单株铃数、铃重、绒长与衣分。运用成组数据平均数比较的假设测验^[8],在棉叶为红色时,对绿棉与白棉之间的单株铃数、铃重、纤维长度、衣分进行差异显著性 t 检验;以及纤维为绿色时,对红叶与绿叶棉株之间的单株铃数、铃重、纤维长度、衣分的差异进行显著性 t 检验。

2 结果与分析

2.1 绿色长绒、短绒和红叶的色泽性状均为显性遗传

F₂ 代如表 1 所示,红叶相对绿叶性状的比例 122:29 接近 3:1,卡方值为 2.704,小于假设二者具有显著差异的概率值 3.84,因此 3:1 成立,红叶对绿叶为显性;绿色长绒与白色长绒的分离比,绿色短绒与白色短绒的分离比,经卡方适合度计算,卡方值均小于 3.84,符合 3:1 分离规律,说明绿色长绒相对于白色长绒、绿色短绒相对于白色短绒都为显性性状。同时,F₁ 代 20 株的绿色长绒色泽性状与红叶性状都表现为父母本的中间色,绿色短绒则为均一深绿色,没有出现中间色,因此,红叶相对于绿叶、绿色长绒相对于白色长绒均为不完全显性遗传,而绿色短绒则由一对显性基因控制。

2.2 红叶与绿色长绒、短绒间的遗传关系

表 2 统计结果表明,红叶绿棉、红叶白棉、绿叶绿棉和绿叶白棉间的观察值的比例符合双因子杂合体自交所预期的 9:3:3:1,经计算卡方值小于 $P_{0.05} = 7.81$,差异不显著,说明红叶和绿绒性状按孟德尔的自由组合规律遗传,由两对位于不同染色体上的非等位基因控制。绿色短绒的遗传方式与长绒相似。

表 1 F₂ 代棉株色泽表型统计结果

Table 1 The statistic results of colored phenotype in F₂ generation

项目	长绒		短绒			总合	比例	χ^2
	绿色+浅绿色	白色	绿色	浅绿色	白色			
红 叶	85	37	87	0	35	122	3	2.704
绿 叶	21	8	21	0	8	29	1	
观察值	106	45	108	0	43	151		
期望值	113.25	37.75	113.25		37.75	151		
比 例	3	1	3	:	1			
卡 方	0.4640	1.3923	0.2434		0.7301			
和	1.8563 < $P_{0.05} = 3.84$		0.9735 < $P_{0.05} = 3.84$					

表2 F₂代红叶与绿棉色素性状遗传统计结果
Table 2 The genetic result statistics of red leaf and green fiber in F₂ generation

项目	长绒株数	短绒株数	期望值	期望比例	长绒	短绒
红叶绿棉	85	87	84.94	9	0.0000	0.0500
红叶白棉	37	35	28.31	3	3.2811	1.9454
绿叶绿棉	21	21	28.31	3	2.3387	2.3387
绿叶白棉	8	8	9.44	1	0.2336	0.2336
χ^2					5.8534	4.5677

注:df=3, P_{0.05}=7.81。

从表3观察值可以看出,两种亲本配子绿长绒短绒型和白长绒白短绒型多于两种非亲本配子型的绿长绒白短绒和白长绒绿短绒型。推测长绒与短绒的绿色色素基因位于同一条染色体上。运用最大可能性法计算重组率^[9]:

$$p=1-k^{1/2}$$

$$k=(1-p)^2=\{(a-2b-2c-d)+[(a-2b-2c-d)^2-4n(-2d)]^{1/2}\}/2n$$

a代表绿长绒绿短绒;b代表绿长绒白短绒;c代表白长绒绿短绒;d代表白长绒白短绒;n为F₂代的总个体数;p为重组值。

根据表3数据计算,k=0.9749, p=0.0126, Rf=1.26%。标准误Se=0.0091。

结果表明,绿色长绒与绿色短绒性状是由位于一条染色体上的两个基因控制,其重组值为1.26%,在遗传图中位点间的遗传距离为1.26 cM。

2.3 绿棉对棉花子棉产量与纤维品质性状的影响

运用统计学中成组数据平均数比较的假设测验计算分析F₂代的几组不同表型棉株:红叶绿棉,绿叶绿棉,红叶白棉和绿叶白棉,结果如表4。在红叶条件下,绿棉纤维长度和衣分的t值都极显著地低于白棉纤维;而在绿叶条件下,绿棉纤维的衣分显著低于白棉,纤维长度之间没有显著差异。其它如单株铃数和铃重,无论在红叶还是绿叶条件下,绿棉与白棉之间没有显著差异。

2.4 红叶对棉花子棉产量与纤维品质性状的影响

同样F₂代中,绿棉或白棉的情况下,比较红叶与绿叶对棉铃生长与纤维伸长的影响,结果如表5。无论在绿棉还是白棉情况下,红叶对棉株的结实率、铃重、纤维长度和衣分的t值都小于P_{0.05}=1.989或2.086,说明棉株的红叶对棉株的子棉产量与皮棉品质性状的影响没有显著差异。

表3 F₂代绿色长绒与短绒的遗传关系统计结果

Table 3 The segregation statistics result of green lint and green fuzz in F₂ generation

项目	绿长绿短绒	绿长白短绒	白长绿短绒	白长白短绒	合计	Rf
实际值	106	0	2	43	151	1.26 %
期望值	84.94	28.31	28.31	9.44	151	
χ^2	5.2216	28.31	24.4513	119.3086	177.2715 > P _{0.05} =7.81	

表4 绿色纤维对子棉产量与纤维品质性状影响的统计结果

Table 4 The statistic results of affection of green fiber on fiber quality and yield

性状	红叶绿长绿短绒 H_Gl_Gs_(x ₁)				红叶白长白短绒 H_glglgsgs(x ₂)			绿叶绿长绿短绒 hhGl_Gs_(x ₁)				绿叶白长白短绒 hhglglgsgs(x ₂)		
	\bar{x}_1	\bar{x}_2	S ₁	S ₂	t	df	t _{0.01}	\bar{x}_1	\bar{x}_2	S ₁	S ₂	t	df	t _{0.05}
铃数	5.12	5.32	2.6726	2.7037	-0.3202	93	2.638	3.81	5.83	1.6008	3.7103	-1.8197	20	2.086
铃重	3.11	3.54	0.8290	0.9255	-2.7108			2.66	3.28	0.4993	3.6723	0.0461		
绒长	23.99	26.17	1.9714	3.2756	-3.9393**			23.43	23.38	2.1272	1.6714	0.0498		
衣分	27.50	33.56	4.6833	3.0202	-6.0263**			26.70	33.38	4.2260	3.2233	-3.4893*		

注:H_代表HH或Hh,为红叶;hh为绿叶;Gl_表示GlGl或GlgL,为绿色长绒;glgl为白长绒;Gs_表示GsGs或Gsgs,为绿色短绒;gsgs为白色短绒;下同。

表5 红叶对子棉产量与纤维品质性状影响的统计结果

Table 5 The statistic results of affection of red leaf on fiber quality and yield

性状	红叶绿长绿短绒 H_Gl_Gs_(x ₁)				绿叶绿长绿短绒 hhGl_Gs_(x ₂)			红叶白长白短绒 H_glglgsgs(x ₁)				绿叶白长白短绒 hhglglgsgs(x ₂)		
	\bar{x}_1	\bar{x}_2	S ₁	S ₂	t	df	t _{0.01}	\bar{x}_1	\bar{x}_2	S ₁	S ₂	t	df	t _{0.05}
铃数	5.12	3.81	2.6726	1.6008	1.8885	84	1.989	5.32	5.83	2.7037	3.7103	-1.8197	29	2.086
衣分	27.50	26.70	4.6833	4.226	0.6270			33.56	33.38	3.0202	3.2233	0.1300		
铃重	3.11	3.52	0.8290	0.4993	-1.9214			3.52	3.28	0.9255	3.6723	0.3043		
绒长	23.99	23.43	1.9714	2.1272	1.0159			26.10	23.38	3.2756	1.6714	2.0167		

3 讨论

3.1 绿色长绒、短绒以及红叶的遗传规律

张秉贤等认为棉纤维中绿色基因是由多基因遗传。在该实验中如果是多基因遗传, F_2 代中居中间型的为多数, 比表现为完全显性与完全隐性性状的株数少, 应少于 $1/16$, 即为 10 株左右; 但白长绒全隐性表型有 45 株, 占到总株数的四分之一, 与显性绿色长绒数量比接近 $1:3$, 因此符合一对不完全显性遗传规律, 这个结果与 1936 年 Ware 等的研究结果相符。但是邱新棉等^[10]的研究结果认为, 绿色纤维性状由一对不完全显性主效基因控制, 并受若干微效基因修饰。对于同一棉株来说, 上、中、下各部位棉铃的棉纤维颜色略有差别。然而在该实验中, 同一株的棉絮未出现明显的差异。另外红叶相对绿叶性状为不完全显性遗传, 与 1933 年 Killough 等^[11]的研究结果相符。

表 2 结果表明红叶与绿棉性状是由位于两条染色体上的两对基因控制, 并按自由组合遗传规律遗传。遗传统计结果与我们所观察到的表型一致, 有红叶白棉(暂定名为) $H_glglgsgs$ 和绿叶绿棉 $hh\ Gl_Gs$ 出现, 并且比例符合自由组合遗传规律。红叶绿棉分离现象的分析以前未见报道。

Kohel 对 Florida 野生棉的研究认为, 绿色短绒与绿色长绒基因属复等位基因。复等位基因是一组作用相互类似, 影响同一器官的形状和性质的基因^[12]。谈家桢在研究异色瓢虫鞘翅色斑的遗传时发现, 互为等位的基因, 子一代出现镶嵌现象, 子二代分离比为 $1:2:1$ 。而该实验中, 若为复等位基因, 作为镶嵌现象应该有绿长绒白短绒 Gl_gsgs : 绿长绒绿短绒 Gl_Gs : 白长绒绿短绒 gl_glGs 为 $1:2:1$ 的分离, 但实际观察数据中出现明显的偏离现象, 与亲本表型相同的绿长绒绿短绒 Gl_Gs 类型偏多, 重组类型白长绒绿短绒 gl_glGs 151 株中仅有 2 株, 另一重组类型绿长绒白短绒 Gl_gsgs 没有观察到, 有可能由于群体数量不够大, 而这一现象由实验数据推测更接近于连锁基因的重组。因此, 将 F_2 代四种性状通过自交法中最大可能性法计算重组率, R_f 为 1.26% 。标准误为 0.0091 , 结果表明, 绿色长绒 Gl 与绿色短绒 Gs 性状是由位于同一条染色体上的两对基因控制。石玉真等^[4]运用绿棉与多个白棉品种杂交, F_2 代结果同样发现, 没有绿长绒白短绒 Gl_gsgs 的重组现象, 但白长绒绿短绒 gl_glGs 的比例很高, 占到 $3/16$ 。这种现象有可能在区分绿色与白色长绒时有误差。因为在实际调查中发现, 绿色

长绒在 F_2 代的表现表现为深浅不一的连续性性状, 有一些较浅绿色纤维, 有的仅有一缕为绿色, 或者仅有接近种皮处为绿色的长绒, 但仅从外观看, 有可能被判断为白色长绒。另外, 他认为绿色纤维显性性状的表现受短绒颜色隐性基因的抑制这一观点令人质疑, 因为基因互作的类型中起抑制作用的基因必须是显性^[9]。

3.2 红叶与绿棉中色素对棉花纤维的影响

刘进元等人认为棉花纤维长度与重量之间为遗传负相关^[13]; 与白棉相比, 仍存在重量潜力不高, 纤维长度短的现状^[14], 本实验结果证实了这一点, 表 4 结果可以看出, 无论红叶还是绿叶条件下, 绿棉的纤维长度极显著地低于白棉, 在绿叶的条件下绿棉的绒长也极显著地低于白棉, 说明绿色色素在纤维中的积累显著地阻碍了纤维的发育与伸长。因为色素在纤维发育过程中, 竞争纤维素合成所需底物碳水化合物^[15], 不仅纤维素含量低于白棉^[16]; 而且绿棉结晶度 71.5% 低于白棉纤维的 80.1% ^[17], 另外, 彩棉纤维的伸长期与次生壁增厚期的重叠期仅有 $3\sim 4$ d, 而白棉的重叠期有 7 d, 棉花纤维强度与细度等指标与该重叠期成正相关^[18], 导致了绿棉纤维发育生长差于白棉。绿棉对单株铃数和铃重的影响不显著。

在红叶对铃重、铃数和纤维长度、重量的影响分析中发现(表 5), 无论绿棉还是白棉情况下, 红叶对棉铃的结实率、铃重、衣分和绒长都没有显著影响, 因为红叶的叶绿素含量接近于绿叶, 只是同化效率低于绿棉 20% , 而导致净光合效率略低于绿叶^[19]。因此绿棉纤维中绿色色素的存在, 是导致纤维品质与产量降低的主要因素。

红叶与绿棉色泽性状由两对位于两条染色体上、独立遗传的不完全显性基因控制; 绿色短绒则为完全显性遗传, 并且与绿色长绒性状位于同一染色体, 由两对非等位基因控制, 其遗传距离为 1.26 cM。绿棉绒长与衣分极显著低于白棉, 因此需要传统育种与分子育种密切结合^[20], 探索纤维素与色素在纤维中的合成, 达到彩棉色泽创新与纤维品质共同促进的彩棉发展目标。

致谢:

感谢中科院遗传与发育生物学研究所程祝宽研究员对本文遗传分析的悉心指导。

参考文献:

[1] WARE J O. Inheritance of lint colours in upland cot-

- ton[J]. The American Society of Agronomy Journal, 1932, 24: 550-562.
- [2] 张秉贤, 王国祥. 彩色棉纤维色素遗传特性简报[J]. 中国棉花, 2000, 27(6): 25-28.
ZHANG Bing-xian, Wang Guo-xiang. Report of genetics characteristic of colored fiber[J]. China Cotton, 2000, 27(6): 25-28.
- [3] KOHEL R J. Genetic analysis of fiber color variants cotton[J]. Crop Science, 1985, 85: 793-797.
- [4] 石玉真, 杜雄明, 刘国强, 等. 天然有色棉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.
- [5] HARLAND S C. The genetics of cotton; Part XIV. the inheritance of brown lint in new world cottons [J]. Journal of Genetics, 1935, 31: 27-37.
- [6] 耿军义, 王国印, 翟学军, 等. 陆地棉有色纤维基因遗传及其对产量和品质的影响[J]. 棉花学报, 1998, 10(6): 307-311.
GENG Jun-yi, Wang Guo-yin, Zhai Xue-jun, et al. Effects on colored fiber gene on economic properties of upland cotton and analysis of its inheritance[J]. Cotton Science, 1998, 10(6): 307-311.
- [7] WEIGEL D, Glazebrook J. *Arabidopsis*[M]. New York; Cold Spring Harbor Laboratory Press, 2002: 44-46.
- [8] 李春喜, 王志和, 王文林. 生物统计学[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2000: 50-52.
LI Chun-xi, Wang Zhi-he, Wang Wen-lin. Biologic statistics[M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2000: 50-52.
- [9] 杨业华. 普通遗传学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 66-67.
YANG Ye-hua. General genetics[M]. Beijing: High Education Press, 2000: 66-67.
- [10] 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.
- [11] KILLOUGH D T, Horlacher W R. The inheritance of virescent yellow and red plant colors in cotton[J]. Genetics, 1933, 18: 329-334.
- [12] 刘祖洞. 遗传学[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 1990: 97-99.
LIU Zu-dong. Genetics[M]. 2nd ed. Beijing: High Education Press, 1990: 97-99.
- [13] 刘进元, 赵广荣, 李 骥. 棉花纤维品质改良的分子工程[J]. 植物学报, 2000, 42(10): 991-995.
LIU Jin-yuan, Zhao Guang-rong, Li Ji. Molecular engineering on quality improvement of cotton fiber [J]. Acta Botanica Sinica, 2000, 42(10): 991-995.
- [14] 邱新棉, 俞碧霞, 朱乾浩. 天然彩色棉育种初报[J]. 中国棉花, 2000, 27(1): 28-29.
QIU Xin-mian, Yu Bi-xia, Zhu Qian-hao. First report on breeding of natural colored cotton[J]. China Cotton, 2000, 27(1): 28-29.
- [15] HUA Shui-jin, Wang Xue-de, Yuan Shu-na, et al. Characterization of pigmentation and cellulose synthesis in colored cotton fibers [J]. Crop Science, 2007, 47: 1540-1546.
- [16] 梅士英. 纺织新材料及染整加工特性[J]. 染整技术, 2005(11): 1-5.
MEI Shi-ying. Characteristics of weaving new materials and yarn-dyed manufacture [J]. Yarn-dyed Technology, 2005(11): 1-5.
- [17] 陈 英, 宋心远, 刘书芳. 彩色棉中色素对纤维微结构的影响[J]. 印染, 2004(6): 4-6.
CHEN Ying, Song Xin-yuan, Liu Shu-fang. Effect of coloring material on microstructure of naturally colored cotton[J]. Printed, 2004(6): 4-6.
- [18] 董合忠. 陆地棉与海岛棉纤维发育的比较研究: II. 棉纤维的伸长、加厚和纤维品质[J]. 北京农业大学学报, 1990, 16(2): 137-141.
DONG He-zhong. Comparing study on fiber development of land cotton and sea island cotton: II. cotton fiber elongation, secondary wall thickening and fiber quality [J]. Acta of Beijing Agricultural University, 1990, 16(2): 137-141.
- [19] 潘学标. 不同叶色基因型棉花的一些光合特性比较[J]. 植物生理学通讯, 1989(5): 20-23.
PAN Xue-biao. Comparison of some photosynthetic characteristics between different cotton genotypes with various leaf colors[J]. Plant Physiology Communications, 1989(5): 20-23.
- [20] 邱新棉. 天然彩色棉研究进展与发展前景[J]. 棉花学报, 2004, 16(4): 249-254.
QIU Xin-mian. Research progress and prospects on naturally-colored cotton[J]. Cotton Science, 2004, 16(4): 249-254. ●