

# 茄子果萼色遗传研究

乔 军, 刘富中, 陈钰辉, 连 勇

(中国农业科学院蔬菜花卉研究所/国家作物细胞育种工程实验室, 北京 100081)

**摘要:**以绿色和紫色两个果萼颜色差异显著的茄子高代自交系为试验材料, 用比色板对果萼颜色进行分级赋值, 采用  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $F_1$ 、 $B_1$ 、 $B_2$  和  $F_2$  六世代联合分析法, 研究茄子果萼色性状遗传规律。结果表明:  $F_2$  分离群体果萼色级值呈单峰偏态分布, 说明茄子果萼色为多基因控制的数量性状; 茄子果萼色性状遗传符合两对加性-显性-上位性主基因+加性-显性-上位性多基因模型(E-0模型); 主基因遗传率较高, 为 96.82%, 可在育种早期进行选种。

**关键词:**茄子; 果萼色; 遗传; 数量性状

## Genetic Research on Fruit Calyx Color in Eggplant

QIAO Jun, LIU Fu-zhong, CHEN Yu-hui, LIAN Yong

(National Crop Cells Breeding Laboratory / Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

**Abstract:** The  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $F_1$ ,  $B_1$ ,  $B_2$ , and  $F_2$  generations derived from two eggplant inbred lines with green and purple fruit calyx colors were used to study the inheritance of eggplant fruit calyx color trait. The results indicated that the grade values of  $F_2$  plants showed a single peak and partial distribution. This demonstrated that the fruit calyx color was a quantitative trait controlled by multiple genes. The inheritance of this trait was in agreement with two additive-dominant-epistatic major gene + additive-dominant-epistatic polygene model (E-0 Model). The heritability of major gene was as high as 96.82%, indicating that this trait can be selected in early generations in breeding programs.

**Key words:** Eggplant; Fruit calyx color; Genetic; Quantitative characters

茄子 (*Solanum melongena* L.) 是我国重要的蔬菜作物<sup>[1]</sup>, 果萼色是茄子重要表型标记性状之一, 不同地区消费者对果萼色的喜好不同。研究茄子果萼色遗传规律, 对茄子商品品质育种, 丰富市场需求, 具有重要的理论和应用意义。

关于果萼颜色性状遗传研究鲜见报道。本试验采用盖钧益等<sup>[2]</sup>多世代联合的数量性状分离分析方法, 系统研究茄子果萼颜色性状遗传特点, 为揭示茄子果萼色遗传规律, 提高茄子商品品质育种效率提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于 2009-2010 年在中国农业科学院蔬菜

花卉研究所廊坊试验基地进行。试验材料为茄子高代自交系 114 和 111。114 果萼绿色、棒形果顶圆、果皮黑紫色, 111 果萼深紫色、棒形果顶顿尖、果皮黑紫色。2009 年在春、秋大棚进行杂交、回交和自交试验, 获得六世代遗传群体, 即  $P_1$  (亲本 1, 114)、 $P_2$  (亲本 2, 111)、 $F_1$ 、 $B_1$  ( $F_1 \times P_1$ )、 $B_2$  ( $F_1 \times P_2$ ) 和  $F_2$ 。2010 年六世代遗传群体同时定植于春露地, 不分离世代  $P_1$ 、 $P_2$  各种 1 行 (13 株),  $F_1$  种 2 行 (26 株), 分离世代  $B_1$ 、 $B_2$  各种 5 行 (65 株),  $F_2$  种 18 行 (234 株), 株行距为 60cm × 70cm, 高畦地膜覆盖, 常规栽培管理。茄子达到商品成熟时, 根据茄子种质资源描述规范<sup>[3]</sup>, 每株采收两个达到商品成熟、符合品系特征且发育正常的对茄, 于深色背景板上拍摄果萼照片, 室内进行比色分级。

收稿日期: 2011-01-12 修回日期: 2011-04-05

基金项目: 农业部园艺作物遗传改良重点开放实验室资助; 国家支撑计划 (2009BADB8B01)

作者简介: 乔军, 硕士, 主要从事茄子遗传育种研究。E-mail: sxdqtj886@126.com

通讯作者: 连勇, 研究员, 主要从事茄子遗传育种研究。E-mail: lianyong@mail.caas.net.cn

1.2 试验方法

1.2.1 果萼色性状采集与分级 果萼颜色性状采集:为最大限度减少人为视觉误差,于对茄商品成熟期集中拍照采集果萼色性状。

果萼色分级:根据供试材料亲本及  $F_2$  群体果萼颜色分离表现,为尽可能覆盖所有中间过渡色类型和便于统计分析,将茄子种质资源描述规范<sup>[3]</sup> 中绿、紫绿和紫色 3 类萼片颜色划分,拓宽为绿、杂绿、紫绿、杂紫和紫色 5 类,制定本试验果萼颜色比色板。对照比色板,将采集到的果萼色性状进行计算机界面目测比色,相近果萼色性状归类并赋值:1 = 绿色、2 = 杂绿、3 = 紫绿、4 = 杂紫、5 = 紫色(图 1),分类统计分析。

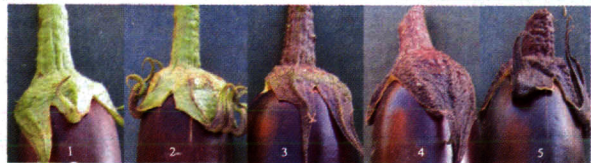


图 1 萼片色比色板  
Fig. 1 The calyx color board

1.2.2 统计分析方法 采用盖钧镒等<sup>[2]</sup> 多世代联合的数量性状分离分析方法 II—— $P_1$ 、 $F_1$ 、 $P_2$ 、 $B_1$ 、 $B_2$  和  $F_2$  联合分析方法分析试验数据,包括一对主基因(A)、两对主基因(B)、多基因(C)、一对主基因 + 多基因(D)和两对主基因 + 多基因(E),共 5 类 24 个遗传模型。通过极大似然估计法和 IECM 算法对混合分布中的有关成份分布参数作出估计,根据 AIC 准

则和适合检验选择最适模型,通过最小二乘法估计相应一阶和二阶遗传参数。统计分析选用南京农业大学章元明教授的多世代分离模型软件。

2 结果与分析

2.1 亲本及杂交后代的果萼色级值次数分布

2.1.1  $P_1$ 、 $P_2$  和  $F_1$  果萼色级值次数分布 由图 2 可以看出,亲本果萼色高度一致,亲本  $P_1$  表现为绿色,级值为 1;亲本  $P_2$  表现为紫色,级值为 5;  $F_1$  果萼色表现出一定程度的分离,果萼色倾向紫色亲本,但级值基本在 3 和 4 之间上下波动,平均值为 3.39,符合六世代分离试验要求。虽然  $F_1$  果萼色表现程度不同的杂色,但是回交时,所用  $F_1$  种株从未进行人工定向选择,以保证试验结果的可靠性。

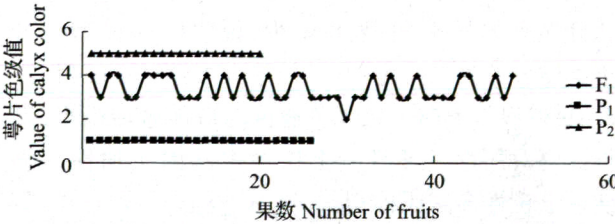


图 2 亲本及  $F_1$  萼片色级值分布  
Fig. 2 Distribution of the color calyx values in parents and  $F_1$  plants

2.1.2  $F_2$  果萼色级值次数分布 收获  $F_2$  群体果实时,不采收尚未达到商品成熟或是病虫害侵染的对茄,因此采收果实数为 435,比预定值 468 少,但符合分离试验要求。由图 3 可以看出  $F_2$  群体果萼色



图 3 部分  $F_2$  分离群体果萼色表现  
Fig. 3 The calyx color performance of  $F_2$  segregation population

出现明显分离,除了少数果萼为亲本颜色外,多数是亲本间的过渡色。果萼色级值次数呈单峰偏态分布(图4),说明茄子果萼色是数量性状,但不符合经典数量性状遗传,可能存在主基因和多基因的互作。

2.2 最优遗传模型的选择与检验

以  $P_1$ 、 $F_1$ 、 $P_2$ 、 $B_1$ 、 $B_2$  和  $F_2$  六个世代群体的果萼色级值为基础,应用多世代分离模型软件计算出 5 类 23 个遗传模型的  $AIC$  值(表1),其中  $AIC$  值较小的 3 个遗传模型分别是 E-0、E-1 和 E-4。

根据多世代联合的数量性状分离分析原则,茄子果萼色遗传最优模型应从 E-0、E-1 和 E-4 等 3 个  $AIC$  较小的模型中选出。适合性检验(表2)结果表明:E-1 和 E-4 模型分别有 24 和 23 个统计量达到显著差异水平,而 E-0 模型仅有 17 个统计量达到显著差异水平,数量最少,说明 E-0 模型与分离群体分布虽有一定偏差,但绝大多数适合,可以用 E-0 模型作为茄子果萼色遗传的最佳遗传模型,即符合两对加性-显性-上位性主基因+加性-显性-上位性多基因模型。

2.3 最适模型的遗传参数估计

表3是茄子果萼色遗传的最佳遗传模型——E-0 模型的一阶遗传参数和二阶遗传参数。

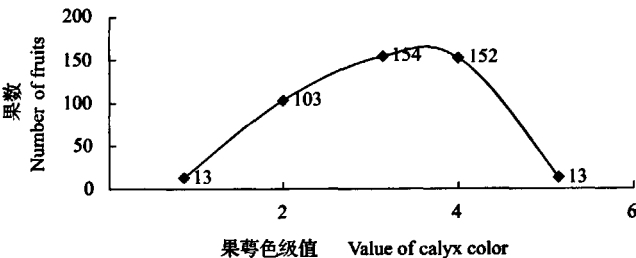


图4  $F_2$  萼片色级值分布图

Fig.4 Distribution of fruit calyx color values in  $F_2$  plants

表2 遗传模型的适合性检验

Table 2 The test for goodness-of-fit about genetic model

模型 Model	群体 Population	$U_1^2$	$U_2^2$	$U_3^2$	$\chi^2_w$	$D_n$
E-0	$P_1$	0.000(1.0000)	2.031(0.1541)	32.500(0.0000)**	2.1667**	0.5000**
	$P_2$	4.492(0.0341)*	3.085(0.0790)	232.072(0.0000)**	4.3638**	0.5840**
	$F_1$	0.000(1.0000)	1.562(0.2113)	25.000(0.0000)**	1.6667**	0.5000**
	$B_1$	0.440(0.5070)	0.266(0.6060)	0.257(0.6125)	0.8695**	0.1997**
	$B_2$	0.053(0.8180)	0.248(0.6188)	1.208(0.2717)	2.0357**	0.2823**
	$F_2$	0.917(0.3383)	0.163(0.6868)	28.311(0.0000)**	3.9246**	0.2007**

控制茄子果萼色遗传的两对主基因加性效应( $d_a$ 、 $d_b$ )分别为-1.248和-0.248,表现为负向效应, $d_a$ 和 $d_b$ 存在时具有使果萼偏向绿色变的作用,两对主基因均呈部分显性。第1对主基因的显性效应( $h_a$ )为-0.252,显性度( $h_a/d_a$ )为0.202,呈正向不完全显性;第2对主基因的显性效应( $h_b$ )和显性度( $h_b/d_b$ )分别为-0.252和1.016,呈正向完全显性。分析结果表明两对主基因的效应均以加性效应为主,且第1对主基因占主导地位。

表1 遗传模型的  $AIC$  值比较

Table 1 The  $AIC$  compete in models comparison of  $AIC$  values in generic models

模型 Model	$AIC$	模型 Model	$AIC$
A-1	1976.86	D-0	1647.78
A-2	2011.88	D-1	1645.33
A-3	2194.64	D-2	1643.33
A-4	2163.29	D-3	1858.20
B-1	1673.74	D-4	1836.76
B-2	1707.92	E-0	1324.32
B-3	2082.63	E-1	1332.03
B-4	1767.20	E-2	1729.27
B-5	2159.31	E-3	1699.00
B-6	2157.31	E-4	1211.59
C-0	1857.55	E-5	1867.00
C-1	1863.43		

续表

模型 Model	群体 Population	$U_1^2$	$U_2^2$	$U_3^2$	${}_nW^2$	$D_n$
E-1	P <sub>1</sub>	4.088(0.0432) *	9.978(0.0016) **	23.084(0.0000) **	2.5073 **	0.6145 **
	P <sub>2</sub>	4.692(0.0303) *	3.076(0.0795)	237.310(0.0000) **	4.4184 **	0.5873 **
	F <sub>1</sub>	0.767(0.3813)	4.202(0.0404) *	23.120(0.0000) **	1.7305 **	0.5565 **
	B <sub>1</sub>	0.064(0.8003)	0.464(0.4958)	3.043(0.0811)	0.8357 **	0.1698 **
	B <sub>2</sub>	7.278(0.0070) **	5.816(0.0159) *	0.642(0.4228)	2.6309 **	0.3659 **
	F <sub>2</sub>	5.259(0.0218) *	14.350(0.0002) **	39.326(0.0000) **	4.4757 **	0.2432 **
E-4	P <sub>1</sub>	24.166(0.0000) **	21.709(0.0000) **	0.162(0.6877)	4.1805 **	0.7783 **
	P <sub>2</sub>	1.562(0.2114)	3.326(0.0682)	147.246(0.0000) **	3.4268 **	0.5213 **
	F <sub>1</sub>	39.823(0.0000) **	54.010(0.0000) **	24.560(0.0000) **	4.9853 **	0.9073 **
	B <sub>1</sub>	9.821(0.0017) **	8.641(0.0033) **	0.144(0.7045)	1.6438 **	0.2526 **
	B <sub>2</sub>	14.029(0.0002) **	10.043(0.0015) **	3.350(0.0672)	3.0790 **	0.3810 **
	F <sub>2</sub>	0.710(0.3993)	0.004(0.9471)	12.460(0.0004) **	3.7617 **	0.2017 **

$U_1^2$ 、 $U_2^2$ 、 $U_3^2$ 为均匀性检验统计量;  ${}_nW^2$ 为Smirnov检验统计量;  $D_n$ 为Kolmogorov检验统计量; 括号中数字代表相应概率。\*表示0.05水平上差异显著; \*\*表示0.01水平上差异显著

$U_1^2$ 、 $U_2^2$ 、 $U_3^2$  are the statistic of Uniformity test;  ${}_nW^2$  is the statistic of Smirnov test;  $D_n$  is the statistic of Kolmogorov test; Corresponding figures in parentheses represent the probability. \* indicates the different significance at  $P < 0.05$  level. \*\* indicates the different significance at  $P < 0.01$  level

表3 6个世代联合分析的果萼色性状的遗传参数估计

Table 3 Estimated genetic parameters of fruit calyx color traits by joint analysis of six generations

一阶遗传参数 First order genetic parameter	估计值 Estimate	二阶遗传参数 Second order genetic parameter	估计值 Estimate		
			B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>
$m_1$	3.246	$\sigma_p^2$	1.199	0.421	0.814
$m_2$	3.636	$\sigma^2$	0.026	0.026	0.026
$m_3$	4.253	$\sigma_{mg}^2$	0.530	0.152	0.789
$m_4$	3.697	$\sigma_{pg}^2$	0.643	0.243	0
$m_5$	3.785	$h_{mg}^2(\%)$	44.20	36.08	96.84
$m_6$	2.978	$h_{pg}^2(\%)$	53.65	57.81	0
$d_a$	-1.248				
$d_b$	-0.248				
$h_a$	-0.252				
$h_b$	-0.252				
$i$	-0.749				
$j_{ab}$	0.248				
$j_{ba}$	-0.752				
$l$	0.256				

$m_1 \sim m_6$ : 6个世代群体果形指数平均值;  $d_a$ : 第1主基因加性效应;  $d_b$ : 第2主基因加性效应;  $h_a$ : 第1主基因显性效应;  $h_b$ : 第2主基因的显性效应;  $i$ : 2个主基因之间的加性×加性互作效应;  $j_{ab}$ : 2个主基因之间的加性×显性互作效应;  $j_{ba}$ : 2个主基因之间的显性×加性互作效应;  $l$ : 2个基因之间的显性×显性互作效应。  $\delta_p^2$ : 表型方差;  $\delta^2$ : 误差方差;  $\delta_{mg}^2$ : 主基因方差;  $\delta_{pg}^2$ : 多基因方差;  $h_{mg}^2$ : 主基因遗传率;  $h_{pg}^2$ : 多基因遗传率

$m$ : mean of graduation;  $d_a$ ,  $d_b$ : major gene additive effect;  $h_a$  and  $h_b$ : major gene dominant effect;  $i$ : epistatic effect of additive × additive;  $l$ : epistatic effect of dominant × dominant;  $j_{ab}$ : effect of additive × dominant;  $j_{ba}$ : effect of dominant × additive;  $\delta_p^2$ : phenotypic variance;  $\delta^2$ : error variance;  $\delta_{mg}^2$ : main gene variance;  $\delta_{pg}^2$ : multigenes variance;  $h_{mg}^2$ : major gene heritability;  $h_{pg}^2$ : polygene heritability

万方数据



在上位性作用中两主基因的显性 $\times$ 加性( $j_{ba}$ )和加性 $\times$ 加性( $i$ )互作效应较大,加性 $\times$ 显性( $j_{ab}$ )和显性 $\times$ 显性( $l$ )互作效应一般。主基因遗传率( $h_{mg}^2$ )在 $B_1$ 、 $B_2$ 和 $F_2$ 世代中分别是44.20%、36.08%和96.84%,说明果萼色的选择效率在 $F_2$ 中最高, $B_1$ 和 $B_2$ 中相对较低; $B_1$ 和 $B_2$ 的多基因遗传率( $h_{pg}^2$ )较高,分别为53.65%、57.81%, $F_2$ 多基因遗传率为0,可以不考虑多基因的影响。

### 3 讨论

近年来,随着消费者需求的不断提高,果实外观品质育种逐渐成为热点<sup>[3-6]</sup>,其中果实器官颜色由于是重要的表型性状,且可能是抗性或株型的连锁标记性状而倍受育种家的关注,积极研究其遗传规律<sup>[7-9]</sup>。果萼作为重要商品表型标记性状之一,在果菜类作物中只有茄子,茄子果萼可以食用并受到许多消费者的喜爱。我国传统茄子地方品种紫色果皮品种果萼基本为紫色,绿色和白色果皮品种果萼为绿色,近年来引进的国外茄子品种出现大量的绿萼黑紫色果皮品种,丰富了消费市场,同时也给育种者提出了更高的商品质量要求。目前关于果萼颜色遗传研究罕见报道,本实验室通过紫萼片品系和绿萼片品系的正反交,对茄子果萼遗传做过初步分析<sup>[10]</sup>。本试验则较为系统地分析研究了茄子果萼色遗传特征,希望能为进一步深入揭示茄子果萼色遗传规律,加快茄子商品外观品质育种进程提供理论依据。

植物器官色泽遗传研究的关键是色泽的确定和相似群体的分类。色彩色差仪是色泽采集中使用效果很好的仪器,本实验室在茄子果色遗传研究中曾使用<sup>[11]</sup>。然而色彩色差仪对被测物表面光滑度有严格要求,茄子果萼表面凹凸不平,光线强度分布不均,无法正常测量,目前果萼色采集只能进行目测方法。本试验为了尽可能减少环境和人为因素的影响,采用高分辨率数码相机拍照,将采集到的果萼色性状照片进行计算机界面目测比色、分类和赋值,然后进行统计分析,获得了良好的效果。

庞文龙<sup>[10]</sup>通过紫萼片品系和绿萼片品系的正反交试验观察到, $F_1$ 果萼色均为紫绿色,没有母本效应,认为控制茄子萼片色遗传的为核基因,这与本试验的结果基本一致。在本试验中 $F_1$ 果萼色有不同程度的变化, $F_2$ 群体果萼存在大量的过渡颜色,且存


在果萼颜色分布不均现象,按照茄子种质资源描述规范<sup>[12]</sup>中绿、紫绿和紫色3类萼片颜色划分会产生较大的误差。因此,庞文龙在此分类基础上得出的茄子果萼色遗传属于质量性状遗传的结论,值得商榷。

本试验以绿色和紫色两个果萼颜色差异显著的茄子高代自交系试验材料,在绿、紫绿和紫色3类茄子果萼色划分的基础上,增加了杂绿和杂紫两种表现型,细化了分类标准,有利于更精确的遗传统计分析。利用主基因与多基因混合的遗传分析方法对6个世代进行联合分析,能够更好地解释果萼色性状的遗传机制。研究结果表明:茄子 $F_1$ 果萼色为中间色倾向于紫色亲本,紫色对绿色部分显性;果萼色级值次数呈单峰偏态分布是数量性状;茄子果萼色遗传符合两对加性-显性-上位性主基因+加性-显性-上位性多基因模型,两对主基因的效应均以加性效应为主,且第1对主基因占主导地位,在 $F_2$ 世代中遗传率( $h_{mg}^2$ )最高(96.84%)。主基因遗传率高说明以主基因遗传为主<sup>[13]</sup>,对茄子果萼色性状的改良在 $F_2$ 进行选择,效果最好。

### 参考文献

- [1] 刘富中,连勇,陈钰辉,等.“十五”期间我国茄子遗传育种研究进展[J].中国蔬菜,2006(3):31-34
- [2] 盖钧镒,章元明,王建康.植物数量性状遗传体系[M].北京:科学出版社,2003
- [3] 刘政国,龙明华,秦荣耀,等.苦瓜主要品质性状的遗传变异、相关和通径分析[J].广西植物,2005(5):426-430
- [4] 曹齐卫,张卫华,王志峰,等.山东黄瓜地方品种资源果实外观品质的评价[J].植物遗传资源学报,2009,10(4):578-582
- [5] 韩立德,盖钧镒,邱家驹,等.菜用大豆感官品质性状遗传变异及品质育种目标性状分析[J].植物遗传资源学报,2003,4(1):16-20
- [6] 赵习平,马之胜,宣立锋,等.杏杂交后代果实性状的遗传变异研究[J].河北农业科学,2005,9(1):28-31
- [7] 刘建新,孟凡娟,王冠.彩色番茄果色形成初探[J].农业科技通讯,2009(7):67-70
- [8] 黎炎,李文嘉,王益奎,等.节瓜果皮颜色遗传规律的研究[J].北方园艺,2007(10):14-15
- [9] 薛林宝,吴雪霞,陈建林.甜椒果实颜色遗传研究[J].园艺学报,2005,32(3):513-515
- [10] 庞文龙.茄子果形、果色及果萼性状的遗传研究[D].北京:中国农业科学院蔬菜花卉研究所,2008
- [11] 庞文龙,刘富中,陈钰辉,等.茄子果色性状的遗传研究[J].园艺学报,2008,35(7):979-986
- [12] 李锡香,朱德麟.茄子种质资源描述规范和数据标准[M].北京:中国农业出版社,2006:17-18
- [13] 程海涛,杨宏楠,王建强,等.利用 $F_{2,3}$ 家系分析梗稻矮生性遗传[J].华北农学报,2010,25(2):64-68

## 茄子果萼色遗传研究

作者: [乔军](#), [刘富中](#), [陈钰辉](#), [连勇](#), [QIAO Jun](#), [LIU Fu-zhong](#), [CHEN Yu-hui](#), [LIAN Yong](#)  
作者单位: [中国农业科学院蔬菜花卉研究所/国家作物细胞育种工程实验室](#), 北京, 100081  
刊名: [植物遗传资源学报](#)   
英文刊名: [Journal of Plant Genetic Resources](#)  
年, 卷(期): 2011(5)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_zwyczyxb201105023.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zwyczyxb201105023.aspx)