

# 番茄果实硬度遗传规律研究

何 艳 龙

(东北农业大学 园艺学院,黑龙江 哈尔滨 150030)

**摘 要:**番茄果实硬度是番茄重要商品性状之一,为了辅助选育高硬度番茄品种,该试验选用高硬度番茄品种‘14803’与低硬度番茄品种‘14630’构建了6个世代遗传群体,测量了 $P_1$ 、 $P_2$ 、 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $BC_1$ 、 $BC_2$ 的6个世代番茄果实的硬度,通过6个世代联合分析的方法,研究了番茄果实硬度的遗传规律。结果表明:番茄果实硬度遗传模型为1对加性-显性主基因+加性-显性-上位多基因混合遗传模型,番茄果实硬度的主基因加性效应、显性效应、势能比分别为17.146 8、0.873 1、0.050 9,加性效应为增效,显性效应为部分显性,主基因在 $BC_1$ 、 $BC_2$ 、 $F_2$ 中的遗传力分别为1.64%、1.45%、0.88%,多基因在 $BC_1$ 、 $BC_2$ 、 $F_2$ 中的遗传力分别为26.75%、69.05%、60.98%。

**关键词:**番茄;果实硬度;遗传规律;多世代联合分析

**中图分类号:**S 641.203.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)14-0017-06

番茄是一种重要的蔬菜作物,广泛分布于世界各地,被列为全世界产量最高的30种农作物之一<sup>[1]</sup>,在全球经济发展和食物供给中占有重要地位,也是我国最重要的蔬菜作物之一<sup>[2]</sup>。在当今蔬菜大流通格局下,番茄果实软、易裂果、货架期短等严重影响了番茄的运输及经济效益的提高<sup>[3]</sup>,因此耐储运就成了我国番茄育种者面临的重要问题<sup>[4]</sup>。在提高耐储运程度上,硬度是一个非常重要的指标<sup>[5]</sup>。它直接影响着果实的坚实度、货架期等,据报道,在纽约因机械损伤而损失的番茄果实高达11.4%~14.2%,硬度达不到的番茄只能降价销售<sup>[6]</sup>,严重影响番茄的经济效益。因此,研究番茄果实硬度的遗传规律,对加快高硬度番茄育种、提高育种准确性具有重要的意义。现采用高硬度番茄品种‘14803’与低硬度番茄品种‘14630’构建了6个世代遗传群体,测量了 $P_1$ 、 $P_2$ 、 $F_1$ 代各40株, $F_2$ 代380株, $BC_1$ 、 $BC_2$ 代各200株番茄果实的硬度,采用多世代联合分析法对番茄的果实硬度进行了遗传规律分析,以期高硬度番茄的选育奠定理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

以高硬度品种‘14803’为母本( $P_1$ ),低硬度品种‘14630’为父本( $P_2$ ),2014年6月在东北农业大学实习基

地杂交,得到 $F_1$ 种子,当年10月将种子送往海南加代得到 $F_2$ 、 $BC_1$ 、 $BC_2$ 3个世代。2015年3月在东北农业大学园艺试验站播种,成苗后移栽至东北农业大学实习基地。同年7—8月采集无机械损伤、无病虫害果实,测定番茄果实硬度。

### 1.2 项目测定

番茄果实硬度使用英国 StableMicro Systems 有限公司制造的质构仪(Texture Analyzer)进行测定,每株采3个果进行测量。

### 1.3 数据分析

根据盖均镒<sup>[7]</sup>所编著的《植物数量性状遗传体系》、孟凡奇<sup>[8]</sup>、GUO等<sup>[9]</sup>、童邵云<sup>[10]</sup>、程振家等<sup>[11-12]</sup>中的多世代联合的数量性状分离分析方法,对番茄果实硬度进行遗传规律分析。数据分析由南京农业大学章元明老师提供的新版多世代联合的数量性状分离分析软件SEA-G6分析<sup>[13-14]</sup>。

**1.3.1 遗传模型分类** 据盖均镒与章元明所述遗传模型分为五大类24种(表1)。1)1对主基因遗传模型(1MG):加性-显性模型(1MG-AD)、加性模型(1MG-A)、完全显性模型(1MG-EAD)、负向完全显性模型(1MG-AEND)。2)2对主基因遗传模型(2MG):加性-显性-上位性模型(2MG-ADI)、加性-显性模型(2MG-AD)、加性模型(2MG-A)、等加性模型(2MG-EA)、完全显性模型(2MG-AED)、等显性模型(2MG-EEAD)。3)多基因遗传模型(PG)加性-显性-上位性多基因模型(PG-ADI)、加性-显性多基因模型(PG-AD)。4)1对主基因+多基因混合遗传模型(MX1):1对加性-显性主基因+加性-显性-上位性多基因模型(MX1-AD-ADI)、1对加性-显性主基因+

**作者简介:**何艳龙(1988-),男,硕士研究生,研究方向为蔬菜育种。E-mail:heyalong152323@163.com。

**基金项目:**“十二五”国家科技计划资助项目(2012BAD02B02-7);国家自然科学基金资助项目(NSFC31272171)。

**收稿日期:**2016-04-14

加性-显性多基因模型(MX1-AD-AD)、1 对加性主基因+加性-显性多基因模型(MX1-A-AD)、1 对完全显性主基因+加性-显性多基因模型(MX1-EAD-AD)、1 对负向完全显性主基因+加性-显性多基因模型(MX1-AEND-AD)。5) 2 对主基因+多基因混合遗传模型(MX2): 2 对加性-显性主基因+加性-显性-上位性多基因模型(MX2-ADI-ADI)、2 对加性-显性-上位性主基因+加

性-显性多基因模型(MX2-ADI-AD)、2 对加性-显性主基因+加性-显性多基因模型(MX2-AD-AD)、2 对加性主基因+加性-显性多基因模型(MX2-A-AD)、2 对等加性主基因+加性-显性多基因模型(MX2-EA-AD)、2 对完全显性主基因+加性-显性多基因模型(MX2-AED-AD)、2 对等显性主基因+加性-显性多基因混合遗传模型(MX2-EEAD-AD)。

表 1

利用  $P_1, P_2, F_1, BC_1, BC_2, F_2$  世代联合分离分析的遗传模型

Table 1

The genetic model of  $P_1, P_2, F_1, BC_1, BC_2, F_2$  generation joint segregation analysis

模型代号 Model	成分分布个数 Number of components	独立参数个数 Number of parameter	一阶遗传参数 First order parameter	二阶分布参数 Second order parameter	约束条件数 Number of constraint
1MG-AD	10	4	$m, d, h$	$\delta^2$	—
1MG-A	10	3	$m, d, (h=0)$	$\delta^2$	1
1MG-EAD	8	3	$m, d(=h)$	$\delta^2$	—
1MG-AEND	8	3	$m, d(=-h)$	$\delta^2$	—
2MG-ADI	20	10	$m, d_a, d_b, h_a, h_b, I, j_{ab}, g_{ba}, l$	$\delta^2$	—
2MG-AD	20	6	$m, d_a, d_b, h_a, h_b, (I=j_{ab}=g_{ba}=l=0)$	$\delta^2$	4
2MG-A	20	4	$m, d_a, d_b, (h_a=h_b=0)$	$\delta^2$	5
2MG-EA	14	3	$m, d(=d_a=d_b), (h_a=h_b=0)$	$\delta^2$	3
2MG-AED	12	4	$m, d_a=h_b, d_b=h_b$	$\delta^2$	1
2MG-EEAD	10	3	$m, d(=d_a=d_b=h_a=h_b)$	$\delta^2$	1
PG-ADI	6	10	$m_1-m_6$	$\delta_{41}^2, \delta_{52}^2, \delta_{61}^2, \delta^2$	—
PG-AD	6	7	$m, [d], [h]$	$\delta_{41}^2, \delta_{52}^2, \delta_{61}^2, \delta^2$	3
MX1-AD-ADI	10	12	$m_1-m_6, d, h$	$\delta_{41}^2, \delta_{52}^2, \delta_{61}^2, \delta^2$	2
MX1-AD-AD	10	9	$m, d, h, [d], [h]$	$\delta_{41}^2, \delta_{52}^2, \delta_{61}^2, \delta^2$	5
MX1-A-AD	10	8	$m, d, (h=0), [d], [h]$	$\delta_{41}^2, \delta_{52}^2, \delta_{61}^2, \delta^2$	6
MX1-EAD-AD	8	8	$m, d=h, [d], [h]$	$\delta_{41}^2, \delta_{52}^2, \delta_{61}^2, \delta^2$	4
MX1-AEND-AD	8	8	$m, d=-h, [d], [h]$	$\delta_{41}^2, \delta_{52}^2, \delta_{61}^2, \delta^2$	4
MX2-ADI-ADI	20	18	$m_1-m_6, d_a, d_b, h_a, h_b, I, j_{ab}, g_{ba}, l$	$\delta_{41}^2, \delta_{54}^2, \delta_{61}^2, \delta^2$	6
MX2-ADI-AD	20	15	$m, d_a, d_b, h_a, h_b, I, j_{ab}, g_{ba}, l, [d], [h]$	$\delta_{41}^2, \delta_{54}^2, \delta_{61}^2, \delta^2$	9
MX2-AD-AD	20	11	$m, d_a, d_b, h_a, h_b, [d], [h]$	$\delta_{41}^2, \delta_{54}^2, \delta_{61}^2, \delta^2$	13
MX2-A-AD	20	9	$m, d_a, d_b, h_a=h_b=0, [d], [h]$	$\delta_{41}^2, \delta_{54}^2, \delta_{61}^2, \delta^2$	15
MX2-EA-AD	14	8	$m, d(=d_a=d_b, h_a=h_b=0), [d], [h]$	$\delta_{41}^2, \delta_{53}^2, \delta_{61}^2, \delta^2$	10
MX2-AED-AD	12	9	$m, d_a=h_a, d_b=h_b=1, [d], [h]$	$\delta_{41}^2, \delta_{54}^2, \delta_{61}^2, \delta^2$	7
MX2-EEAD-AD	10	8	$m, d_a=d_b=h_a=h_b, [d], [h]$	$\delta_{41}^2, \delta_{53}^2, \delta_{61}^2, \delta^2$	6

1.3.2 遗传模型的选择 盖均镒与章元明的方法是根据极大对数似然函数值构造的 AIC 值和模型的适合性检验来确定最适遗传模型。AKAIKE 根据熵最大原理(principle of entropy maximization), 将熵与最大似然数关系公式中的一部分定义为 AIC 值, 熵最大原理在这里的应用是选择 AIC 值最小的模型为最适模型。然而, 遗传模型扩展到 2 对主基因+多基因混合模型时, 最适模型并不一定是 AIC 值最小的遗传模型, 而要结合适合性检验、亲本与子代间的表现来综合考虑。盖均镒与章元明的方法中适合性检验包括均匀性检验、Smirnov 检验和 Kolmogorov 检验, 共 5 个统计量、 $U_1^2, U_2^2, U_3^2$  (均匀性检验)  $nW^2$  (Smirnov 检验)、 $D_n$  (Kolmogorov 检验), 然后将选择统计量达到显著水平个数最少的模型作为最优模型。

1.3.3 遗传参数的估计 最适模型确定后, 根据最适模型的各成分分布参数计算该模型的遗传参数。遗传参数包括一阶遗传参数和二阶遗传参数 2 类, 一阶遗传参数可通过一阶分布参数与二阶遗传参数的关系由最小二乘法进行估计, 二阶遗传参数通过分离群体的表型方

差由主基因方差组分、多基因方差组分和误差方差组分 3 种构成以进行相应的估计。

## 2 结果与分析

### 2.1 6 个世代次数分布

6 个世代的次数分布见图 1, 母本  $P_1$  硬度较高, 父本  $P_2$  硬度较低,  $F_1$  代硬度介于二者之间, 且偏向于母本  $P_1$ , 硬度在各分离时代中表现为单峰分布或多峰分布, 具有主基因+多基因的遗传特征, 可以进行下一步分析。

### 2.2 最适模型的选择

使用章元明老师提供的软件对五大类 24 种遗传模型进行了分析, 各模型的极大对数似然值与 AIC 值如表 2 所示, 选取最小 AIC 值及与最小 AIC 值比较接近的遗传模型作为备选最适模型。AIC 值最小的为 MX1-AD-ADI, 与其接近的有 2MG-ADI、MX2-ADI-AD、PG-ADI, 将这 4 个遗传模型选为备选模型。对 4 种备选模型进行适合性检验, 检验结果见表 3。可知 MX1-AD-ADI 和 MX2-ADI-ADI 2 个模型中 5 个统计量均不显著,

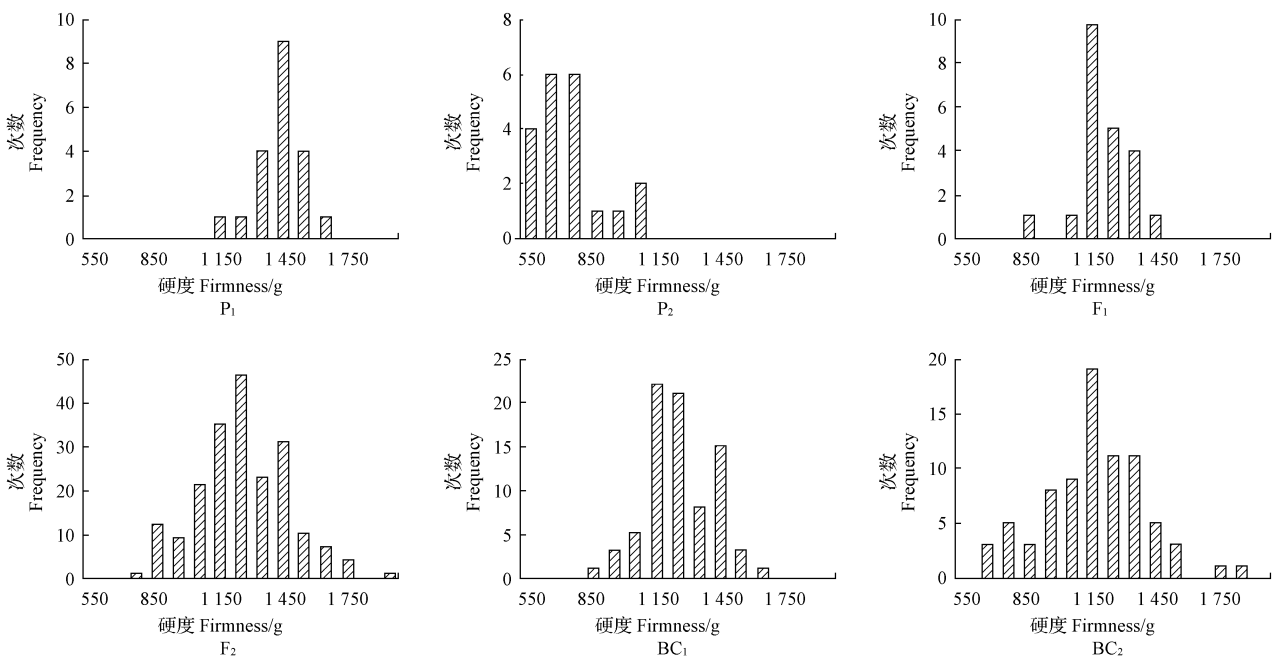


图 1 6 世代群体次数分布

Fig.1 Frequency distribution of tomato fruit firmness in six generations

2MG-ADI 和 PG-ADI 模型中 5 个统计量各有 2 个和 3 个显著,所以排除 2MG-ADI 和 PG-ADI 模型,其它 2 个模型中,MX1-AD-ADI 模型 AIC 值最小,所以此模型为最适模型,即番茄果实硬度的模型为 1 对加性-显性主基因+加性-显性-上位多基因混合遗传模型。

2.3 遗传参数估计

在确定最适模型后,根据盖均镒的方法<sup>[14-16]</sup>,通过植物数量性状遗传体系多世代分析软件计算出各模型

分布参数值,根据分布参数与遗传参数之间的数量关系和约束条件,计算出各模型的遗传参数,从而进行遗传分析<sup>[8,17-19]</sup>。模型分布参数如表 4 所示,一阶遗传参数与二阶遗传参数如表 5 所示,可知,番茄果实硬度的主基因加性效应为 17.146 8,显性效应为 0.873 1,势能比为 0.050 9,主基因在 BC<sub>1</sub>、BC<sub>2</sub>、F<sub>2</sub> 中的遗传力分别为 1.64%、1.45%、0.88%,多基因在 BC<sub>1</sub>、BC<sub>2</sub>、F<sub>2</sub> 中的遗传力分别为 26.75%、69.05%、60.98%。

表 2 五大类 24 种遗传模型下的极大似然函数值和 AIC 值

Table 2 AIC value and Max-likelihood-value of 24 genetic models in five categories

模型代号 Model	极大似然函数值 Max-likelihood-value	AIC 值 AIC value	模型代号 Model	极大似然函数值 Max-likelihood-value	AIC 值 AIC value
1MG-AD	-2 827.639 8	5 663.279 7	MX1-AD-ADI	-2 789.291 6	5 602.583 2
1MG-A	-2 843.095 0	5 692.190 1	MX1-AD-AD	-2 819.043 6	5 656.087 3
1MG-EAD	-2 827.770 8	5 661.541 6	MX1-A-AD	-2 817.776 7	5 651.553 4
1MG-AEND	-2 870.397 8	5 746.795 5	MX1-EAD-AD	-2 823.052 5	5 662.105 1
2MG-ADI	-2 791.400 6	5 602.801 1	MX1-AEND-AD	-2 810.059 3	5 636.118 6
2MG-AD	-2 820.386 0	5 652.772 0	MX2-ADI-ADI	-2 787.899 4	5 611.798 9
2MG-A	-2 921.965 2	5 851.930 4	MX2-ADI-AD	-2 787.357 5	5 604.715 0
2MG-EA	-2 839.116 0	5 684.232 1	MX2-AD-AD	-2 823.037 7	5 668.075 3
2MG-AED	-2 828.145 1	5 664.290 2	MX2-A-AD	-2 805.565 6	5 629.131 3
2MG-EEAD	-2 828.145 0	5 662.290 0	MX2-EA-AD	-2 821.891 1	5 659.782 2
PG-ADI	-2 795.323 6	5 610.647 2	MX2-AED-AD	-2 823.047 8	5 664.095 5
PG-AD	-2 824.025 3	5 662.050 7	MX2-EEAD-AD	-2 823.046 6	5 662.093 1

3 结论与讨论

有学者指出,经济植物的主要性状大多是数量性状,因此数量性状遗传研究对植物育种尤为重要<sup>[20-21]</sup>。王建康等<sup>[22]</sup>、盖钧镒等<sup>[23]</sup>在 ELKIND、莫惠栋和姜长鉴等人的基础上,提出了单个世代的数量性状分离分析

法,但是在不同分离世代结果间有差异,由此提出了联合多个分离世代的联合分析法。此方法已经在棉子、绿豆、甘蓝、甜瓜、黄瓜、烟草等多种作物上得到应用<sup>[8,12,17,24-28]</sup>。

番茄果实硬度是番茄的重要性状之一,严重影响果

表 3

最适遗传模型适合性检验

Table 3

Test for goodness of fit

模型代号 Model	群体 Population	$U_1^2$	$U_2^2$	$U_3^2$	nW <sup>2</sup>	Dn
MX1-AD-ADI	P <sub>1</sub>	0.037 1(0.847 3)	0.000 0(0.997 4)	0.576 4(0.447 7)	0.082 9(>0.05)	0.034 3(>0.05)
	P <sub>2</sub>	0.259 6(0.610 4)	0.411 4(0.521 3)	0.350 6(0.553 8)	0.131 8(>0.05)	0.039 3(>0.05)
	F <sub>1</sub>	0.038 8(0.843 8)	0.003 0(0.956 4)	0.296 6(0.586 0)	0.055 8(>0.05)	0.041 2(>0.05)
	F <sub>2</sub>	0.053 0(0.818 0)	0.114 1(0.735 6)	0.211 2(0.645 8)	0.074 4(>0.05)	0.004 0(>0.05)
	BC <sub>1</sub>	0.058 2(0.809 4)	0.047 1(0.828 2)	0.004 4(0.947 2)	0.116 7(>0.05)	0.008 7(>0.05)
	BC <sub>2</sub>	0.012 4(0.911 2)	0.002 0(0.964 3)	0.373 1(0.541 3)	0.094 3(>0.05)	0.010 9(>0.05)
2MG-ADI	P <sub>1</sub>	0.282 6(0.595 0)	0.124 5(0.724 2)	0.419 4(0.517 2)	0.113 0(>0.05)	0.037 0(>0.05)
	P <sub>2</sub>	4.313 1(0.037 8) *	3.283 0(0.070 0)	0.633 2(0.426 2)	0.606 5(<0.05) *	0.026 2(>0.05)
	F <sub>1</sub>	0.134 2(0.714 2)	0.050 5(0.822 3)	0.270 5(0.603 0)	0.066 4(>0.05)	0.038 0(>0.05)
	F <sub>2</sub>	0.144 6(0.703 8)	0.089 7(0.764 5)	0.075 3(0.783 7)	0.049 9(>0.05)	0.003 5(>0.05)
	BC <sub>1</sub>	0.222 3(0.637 3)	0.276 0(0.599 3)	0.075 9(0.782 9)	0.110 3(>0.05)	0.015 9(>0.05)
	BC <sub>2</sub>	0.089 7(0.764 6)	0.288 7(0.591 0)	0.979 5(0.322 3)	0.077 5(>0.05)	0.012 5(>0.05)
MX2-ADI-AD	P <sub>1</sub>	0.013 3(0.908 2)	0.100 6(0.751 1)	0.675 9(0.411 0)	0.075 7(>0.05)	0.031 5(>0.05)
	P <sub>2</sub>	0.705 8(0.400 9)	0.823 0(0.364 3)	0.140 7(0.707 5)	0.190 2(>0.05)	0.037 0(>0.05)
	F <sub>1</sub>	0.299 9(0.583 9)	0.441 3(0.506 5)	0.287 5(0.591 8)	0.076 2(>0.05)	0.057 7(>0.05)
	F <sub>2</sub>	0.054 0(0.816 2)	0.026 6(0.870 3)	0.061 1(0.804 7)	0.045 5(>0.05)	0.004 6(>0.05)
	BC <sub>1</sub>	0.001 3(0.971 1)	0.001 0(0.974 3)	0.072 3(0.788 0)	0.065 3(>0.05)	0.006 4(>0.05)
	BC <sub>2</sub>	0.004 8(0.944 6)	0.127 1(0.721 4)	1.339 4(0.247 1)	0.095 9(>0.05)	0.012 3(>0.05)
PG-ADI	P <sub>1</sub>	0.037 1(0.847 3)	0.000 0(0.997 4)	0.576 4(0.447 7)	0.082 9(>0.05)	0.034 3(>0.05)
	P <sub>2</sub>	0.259 6(0.610 4)	0.411 4(0.521 3)	0.350 6(0.553 8)	0.131 8(>0.05)	0.039 3(>0.05)
	F <sub>1</sub>	0.038 8(0.843 8)	0.003 0(0.956 4)	0.296 6(0.586 0)	0.055 8(>0.05)	0.041 2(>0.05)
	F <sub>2</sub>	0.052 9(0.818 1)	0.114 7(0.734 8)	0.215 3(0.642 6)	0.074 5(>0.05)	0.004 0(>0.05)
	BC <sub>1</sub>	12.14 3(0.000 5) *	10.381 0(0.001 3) *	0.370 0(0.543 0)	1.366 3(<0.05) *	0.033 6(>0.05)
	BC <sub>2</sub>	0.108 7(0.741 6)	0.236 1(0.627 0)	0.444 2(0.505 1)	0.094 4(>0.05)	0.010 6(>0.05)

注: \* 代表 0.05 显著水平,  $U_1^2$ 、 $U_2^2$ 、 $U_3^2$  为均匀性检验, nW<sup>2</sup> 为 Smirnov 检验, Dn 为 Kolmogorov 检验,  $U_1^2$ 、 $U_2^2$ 、 $U_3^2$  后括号中的数字为概率水平, nW<sup>2</sup>、Dn 后括号中的数字为显著性标准。

Note: \* indicates 5% significant level,  $U_1^2$ 、 $U_2^2$ 、 $U_3^2$  are the tests of homogeneity, nW<sup>2</sup> is Smirnov test, Dn is Kolmogorov test. Numbers in brackets behind  $U_1^2$ 、 $U_2^2$ 、 $U_3^2$  are probability levels, Numbers in brackets behind nW<sup>2</sup>、Dn are significant criteria.

表 4

MX1-AD-ADI 模型成分分布的极大似然估计

Table 4

Max-likelihood-value of distribution parameters of MX1-AD-ADI model

参数 Parameter	估计值 Estimation value	参数 Parameter	估计值 Estimation value	参数 Parameter	估计值 Estimation value	参数 Parameter	估计值 Estimation value
$\mu_1$	1 437.729 7	$\mu_{42}$	1 253.107 6	$\mu_{62}$	1 257.576 2	$\sigma_5^2$	57 886.465 0
$\mu_2$	1 201.829 7	$\mu_{51}$	1 163.770 8	$\mu_{63}$	1 239.556 4	$\sigma_6^2$	45 045.418 8
$\mu_3$	729.033 3	$\mu_{52}$	1 145.751 0	$\sigma^2$	17 331.539 6		
$\mu_{41}$	1 269.381 2	$\mu_{61}$	1 273.849 9	$\sigma_4^2$	23 807.298 9		

注:  $\mu_1 \sim \mu_3$  为  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $F_1$  的分布平均数,  $\mu_{41}$ 、 $\mu_{42}$  为  $BC_1$  的成分分布平均数,  $\mu_{51}$ 、 $\mu_{52}$  为  $B_2$  成分分布平均数,  $\mu_{61}$ 、 $\mu_{62}$ 、 $\mu_{63}$  为  $F_2$  的成分分布平均数,  $\sigma^2$  为环境方差,  $\sigma_4^2$ 、 $\sigma_5^2$ 、 $\sigma_6^2$  分别为  $BC_1$ 、 $BC_2$ 、 $F_2$  的表型方差。

Note:  $\mu_1 \sim \mu_3$  are the distribution mean of  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $F_1$ ,  $\mu_{41}$ 、 $\mu_{42}$  are the distribution mean of  $BC_1$ ,  $\mu_{51}$ 、 $\mu_{52}$  are the distribution mean of  $BC_2$ ,  $\mu_{61}$ 、 $\mu_{62}$ 、 $\mu_{63}$  are the distribution mean of  $F_2$ ,  $\sigma^2$  is the environmental variance,  $\sigma_4^2$ 、 $\sigma_5^2$ 、 $\sigma_6^2$  is the phenotypic variance of  $BC_1$ 、 $BC_2$ 、 $F_2$ .

表 5

MX1-AD-ADI 模型的遗传参数估计

Table 5

Estimation value of genetic parameters

一阶遗传参数 First-order parameter	估计值 Estimation value	二阶遗传参数 Second-order parameter	估计值 Estimation value	估计值 Estimation value	估计值 Estimation value
$m_1$	1 420.582 9	$\sigma_{mg}^2$	396.975 9	850.183 5	399.230 8
$m_2$	1 200.956 6	$h_{mg}^2$	1.64%	1.45%	0.88%
$m_3$	746.180 1	$\sigma_{pg}^2$	6 475.759 3	40 554.925 5	27 713.879 2
$m_4$	1 252.234 5	$h_{pg}^2$	26.75%	69.05%	60.98%
$m_5$	1 162.897 8	$\sigma_p^2$	23 807.298 9	57 886.465 0	45 045.418 8
$m_6$	1 256.703 1	$\sigma_g^2$	17 331.539 6	17 331.539 6	17 331.539 6
d	17.146 8				
h	0.873 1				
$R_p$	0.050 9				

注: d 为加性效应, h 为显性效应,  $R_p$  为显性度 (h/d),  $\sigma_{mg}^2$  为主基因方差,  $\sigma_{pg}^2$  为多基因方差,  $\sigma_p^2$  为表型方差,  $\sigma_g^2$  为环境方差,  $h_{mg}^2$  为主基因遗传力,  $h_{pg}^2$  为多基因遗传力。

Note: d represents additive effect, h represents dominant effect,  $R_p$  represents the degree of dominance,  $\sigma_{mg}^2$  represents the major gene variance,  $\sigma_{pg}^2$  represents the polygene variance,  $\sigma_p^2$  represents phenotypic variance,  $\sigma_g^2$  represents the environmental variance,  $h_{mg}^2$  represents the heritability of major gene,  $h_{pg}^2$  represents the heritability of polygenes.

实的耐贮运性,货架期等。前人也有诸多研究,在表型方面,李景富等<sup>[29]</sup>、杨永政等<sup>[30]</sup>、毛秀杰等<sup>[31]</sup>、关法春<sup>[32]</sup>、万塞罗等<sup>[33]</sup>、罗静等<sup>[34]</sup>、穆欣<sup>[35]</sup>等研究了番茄果实硬度与其它形状相关性,表明番茄果实硬度与果肉硬、可溶性固形物、果形指数、果肉厚、纵径、心室数、黏度、横径、单果质量等多个性状相关。

在遗传方面,赛特(1966)研究认为,番茄果实硬度表现为1对基因控制,软果为显性。日本学者门马信二(1982)研究认为,番茄硬果为隐性性状, $F_2$ 分离比1:3。爱尔瓦兹(1978)则认为,番茄果实的硬度是受1个以上的基因控制的。FARKAS(1987)的研究发现,硬度性状至少受4对基因控制,并且认为该性状符合加性-显性模型,上位效应不显著。FALLUJI(1982)对果皮的硬度遗传研究表明,杂交后代趋向双亲的中亲值,加性效应为0.24,显性效应为0.14,且上位效应不显著<sup>[1]</sup>。王富<sup>[6]</sup>研究认为,番茄果实硬度性状的遗传符合加性-显性模型,以加性效应为主,上位效应不显著,杂种一代的硬度值居于双亲之间,杂种优势明显存在,高硬度为不完全显性。GUO等<sup>[9]</sup>番茄硬度的遗传符合1对主基因控制的加性-显性模型,主基因加性、显性及显性度分别为: $d=17.37$ , $h=-7.96$ , $h/d=-0.46$ ,加性效应为增效,显性效应为负向不完全显性;主基因效应在 $BC_1$ 、 $BC_2$ 和 $F_2$ 3个世代的遗传率分别为88.59%、45.81%、85.62%。

该试验使用6个世代,采用多世代联合分析法,结果显示番茄果实硬度遗传模型为1对加性-显性主基因+加性-显性-上位多基因混合遗传模型,番茄果实硬度的主基因加性效应为17.1468,显性效应为0.8731,势能比为0.0509,加性效应为增效,显性效应为部分显性,主基因在 $BC_1$ 、 $BC_2$ 、 $F_2$ 中的遗传力分别为1.64%、1.45%、0.88%,多基因在 $BC_1$ 、 $BC_2$ 、 $F_2$ 中的遗传力分别为26.75%、69.05%、60.98%,与前人的研究有所不同。

植物数量遗传研究在植物育种上有诸多应用,如植物种质资源主要经济性状遗传变异和育种利用潜力的研究、育种群体遗传变异特点和选择潜力的估计以及育种方案的选用、亲本配合力与杂种品种及家系品种选育、轮回选择群体改良与种质创新、选择方法与育种策略、育种试验布局和品种的稳定性与适应范围等。该试验研究了番茄硬度的遗传规律,以期高硬度番茄育种奠定理论基础。

### 参考文献

- [1] 李景富. 中国番茄育种学[M]. 北京:中国农业出版社,2011.
- [2] 齐乃敏,杨少军,朱龙英,等. 番茄主要品质性状的遗传研究进展[J]. 上海农业学报,2006(4):140-143.
- [3] 熊自立,张海利,吴伟华,等. 硬果型番茄延期采收及耐贮性试验初探[J]. 长江蔬菜,2010(2):48-50.
- [4] 杜永臣. 番茄育种研究主要进展[C]. 全国蔬菜遗传育种学术讨论会,2002.
- [5] BRASHLYANOVA B, ZSIVANOVITS G, GANEVA D. Texture quality of tomatoes as affected by different storage temperatures and growth habit [J]. Emirates Journal of Food and Agriculture, 2014, 26(9):750-756.

- [6] 王富. 番茄果实硬度遗传和相关的研究[D]. 北京:东北农业大学,1991.
- [7] 盖钧镒. 植物数量性状遗传体系[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [8] 孟凡奇. 棉子含油量多世代遗传分析[D]. 武汉:华中农业大学,2013.
- [9] GUO J, ZHENG J Q, ZU Y X, et al. Study on inheritance mechanism of tomato fruit firmness[J]. Agricultural Science & Technology, 2013(8):1109-1111.
- [10] 董邵云. 黄瓜果皮光泽性状的遗传机制与基因定位[D]. 北京:中国农业科学院,2013.
- [11] 程振家,王怀松,张志斌,等. 甜瓜白粉病抗性遗传机制研究[J]. 江苏农业科学,2006(6):224-225.
- [12] 程振家. 甜瓜(*Cucumis melo* L.)白粉病抗性遗传机制及抗病基因 AFLP 分子标记研究[D]. 南京:南京农业大学,2006.
- [13] 曹锡元,刘兵,章元明. 植物数量性状分离分析 Windows 软件包 SEA 的研制[J]. 南京农业大学学报,2013(6):1-6.
- [14] 章元明,盖钧镒. 数量性状分离分析中分布参数估计的 IECM 算法[J]. 作物学报,2000,26(6):699-706.
- [15] 盖钧镒. 植物数量性状遗传体系的分离分析方法研究[J]. 遗传,2005(1):130-136.
- [16] 盖钧镒. 植物数量性状遗传研究-主基因-多基因遗传体系分离分析方法[J]. 科学中国人,2003(11):46-48.
- [17] 张兴伟,王志德,刘艳华,等. 植物数量性状“主基因+多基因”混合遗传模型及其在烟草上的应用[J]. 中国烟草学报,2013(3):41-44.
- [18] 刘兵. 植物数量性状分离分析 Windows 软件包 SEA 的研制[D]. 南京:南京农业大学,2013.
- [19] 李河南. 大豆产量相关性状的遗传分析[D]. 南京:南京农业大学,2009.
- [20] 朱捷. 植物数量性状遗传分离分析法的拓展[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2009.
- [21] 章元明,盖钧镒,戚存扣. 数量性状分离分析的精确度及其改善途径[J]. 作物学报,2001,27(6):787-793.
- [22] 王建康,盖钧镒. 数量性状主-多基因混合遗传的  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $F_1$ 、 $F_2$  和  $F_{2:3}$  联合分析方法[J]. 作物学报,1998,24(6):651-659.
- [23] 盖钧镒,章元明,王建康. QTL 混合遗传模型扩展至2对主基因+多基因时的多世代联合分析[J]. 作物学报,2000,26(4):385-391.
- [24] 刘长友,范保杰,曹志敏,等. 利用混合线性模型分析绿豆主要农艺性状的遗传及相关性[J]. 作物学报,2012,38(4):624-631.
- [25] 段有德. 甘蓝型黄籽油菜种皮色泽的主基因+多基因遗传研究[D]. 重庆:西南农业大学,2004.
- [26] 唐家友. 甘蓝型油菜自交不亲和和保持性的遗传分析及其连锁分子标记[D]. 武汉:华中农业大学,2008.
- [27] 董邵云,苗哈,张圣平,等. 黄瓜果皮光泽性状的遗传分析及基因定位研究[J]. 园艺学报,2013,40(2):247-254.
- [28] 林婷婷,王立,张琳,等. 不结球白菜叶绿素含量的主基因+多基因混合遗传分析[J]. 南京农业大学学报,2014(5):34-40.
- [29] 李景富,李鹏. 影响蕃茄产量的主要农艺性状间相关及通径分析[J]. 东北农学院学报,1985(2):59-64.
- [30] 杨永政,梁燕. 樱桃番茄主要农艺性状与产量的相关及通径分析[J]. 北方园艺,2006(3):1-2.
- [31] 毛秀杰,王巨媛,孙铭,等. 不同光照条件下番茄主要性状的变化及相关分析[J]. 中国农学通报,2006(12):95-98.
- [32] 关法春. 番茄粘稠度配合力分析及与其它性状相关的研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2006.
- [33] 万赛罗,李翔,梁伍七,等. 番茄果实硬度与相关性状间的相关及通径分析[J]. 中国园艺文摘,2009(4):32-34.
- [34] 罗静,田丽萍,张超,等. 加工番茄果实硬度与相关性状间的分析[J]. 中国农学通报,2011(28):217-220.
- [35] 穆欣. 番茄果实硬度相关性状及遗传规律的研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2004.

DOI:10.11937/bfyy.201614005

## 不同鲜食葡萄品种品质差异性分析

孔繁超<sup>1</sup>, 梁银丽<sup>1,2</sup>, 高德凯<sup>1</sup>, 朱帅蒙<sup>2</sup>, 安小娟<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

**摘 要:**以陕西西安郊区温室与露地不同葡萄品种为试材, 综合评定了果实品质指标(可溶性糖、可溶性蛋白质、维生素 C、可溶性固形物、可滴定酸、白藜芦醇、原花青素), 以期为筛选适宜陕西西安郊区栽培的优良鲜食葡萄品种提供参考依据。结果表明: 从不同品种筛选方面, 温室品种“夏黑”“户太 8 号”综合品质优良, 其次是“红芭拉蒂”和“金优 2 号”; 露地品种“夏黑”“红芭拉蒂”综合品质较优, 其次是“着色香”“佛雷”。从品质表现筛选方面, 温室品种“户太 8 号”和“红芭拉蒂”风味较优, “红芭拉蒂”和“夏黑”营养价值较优, “夏黑”和“金优 2 号”的口感较好, “夏黑”的活性物质较高; 露地品种“着色香”和“金手指”风味较好, “红芭拉蒂”营养价值较高, “户太 8 号”“着色香”的口感较好, 其次是“佛雷”, “佛雷”和“夏黑”活性物质含量较高。从成熟期筛选方面, 早熟和中熟品种优于晚熟和极早熟品种。从栽培方式来看, 直插优于嫁接, 砧木对品质有一定影响。

**关键词:**鲜食葡萄; 品种; 品质**中图分类号:**S 663.1 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0009(2016)14-0022-04

葡萄是一种含有较高的营养价值的水果, 除含有蛋白质、可溶性糖、维生素 C 等多种营养成分外, 还包含白

**第一作者简介:**孔繁超(1989-), 女, 硕士研究生, 研究方向为农业生态。E-mail: kfch2016@163.com.

**责任作者:**梁银丽(1957-), 女, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为植物生理生态。E-mail: liangyl@ms.iswc.ac.cn.

**基金项目:**“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2014BAD14B006); 陕西省科学院科技计划资助项目(2014k-03)。

**收稿日期:**2016-02-14

藜芦醇和原花青素 2 种次生代谢产物<sup>[1]</sup>。因此, 鲜食葡萄及葡萄制品对人体健康很有益处。葡萄是我国重要的落叶果树种类之一, 其适应性强、结果早、效益高<sup>[2]</sup>。截至 2015 年 4 月中国葡萄种植总面积达约 86.70 万  $\text{hm}^2$ , 其中只有约 10% 为酿酒葡萄, 鲜食葡萄种植面积占据了更大比重。

葡萄作为一种广泛栽培的果树, 不同品种间生态适应性差异较大, 不同生态环境下其生长性状及品质表现不同。目前我国葡萄种植及加工产业蓬勃发展, 鲜食葡

## Study on Genetic Law of Fruit Firmness of Tomato

HE Yanlong

(College of Horticulture, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030)

**Abstract:** The fruit firmness is one of the important commercial traits of tomato. In order to assist the selective breeding of tomato varieties with higher fruit firmness,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $BC_1$  and  $BC_2$  six population which were developed from an intraspecific cross between two kinds of tomato with great different hardness ‘14803’ and ‘14630’ was analyzed. The fruit firmness of the six generation were measured. The inheritance of tomato fruit firmness were studied using combination analysis of six generations. The results showed that the heredity of tomato fruit firmness was consistent with the additive-dominant model controlled by one pair of major genes and additive-dominance-epistasis model controlled by polygene; the additive effect (d), dominant effect (h) and potential ratio (h/d) of major genes were 17.146 8, 0.873 1 and 0.050 9, respectively. Additive effect showed positive additive effect and dominant effect performed partial dominance. The heritability of major gene effect in  $BC_1$ ,  $BC_2$ ,  $F_2$  generation were 1.64%, 1.45%, 0.88%, respectively. The heritability of polygene gene effect in  $BC_1$ ,  $BC_2$  and  $F_2$  generation was 26.75%, 69.05%, 60.98%, respectively.

**Keywords:** tomato; the fruit firmness; inheritance; combination analysis