

苹果杂交后代果实性状遗传变异分析

刘振中¹, 樊红科², 高 华¹, 赵政阳¹

(1. 西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 陕西省农村科技开发中心, 陕西 西安 710054)

摘 要:以 216 株“富士”×“粉红女士”杂交 F₁ 代实生苗为试材, 对果实大小、果实形状、果实色泽、风味、成熟期等性状遗传表现进行了研究。结果表明: 苹果果皮表色遗传表现为简单的质量遗传, 红色遗传表现为多基因控制的数量遗传。果形表现了明显的趋中变异现象, 果实大小、可溶性固形物及含糖量呈退化的负向优势, 后代群体有劣变趋势。杂交后代果实分别呈现肉质变粗、质地变硬、果汁减少的趋势。双亲晚熟, 杂交后代未分离早熟类型, 表现双亲遗传优势。

关键词:苹果; 杂交后代; 果实; 遗传变异

中图分类号:S 661. 103. 6 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)05-0005-04

“富士”(‘Fuji’)和“粉红女士”(‘Pink Lady’)苹果是渭北黄土高原发展较快的晚熟引进品种。“富士”苹果肉质细脆、风味浓郁、内在品质优良, 而果实偏果现象严重, 导致外观品质较差, 商品性低。“粉红女士”苹果因果实为美丽的粉红色而得名, 果实高桩色艳, 外观品质优良。但由于果实偏酸, 风味和口感较差。将二者作为亲本杂交, 是获取亲本性状互补, 既具有“富士”内在品质, 又具有“粉红女士”外观品质的新品种的途径之一。西北农林科技大学苹果育种课题组将二者作为亲本杂交, 现已获得部分优系。为了总结育种经验, 提高杂交育种效率, 现整理部分杂交后代调查材料, 初步对其果实性状遗传作以分析, 旨在探讨亲本的育种价值。

掌握果树性状遗传的规律是进行果树杂交育种的前提和基础, 也是杂种实生苗早期鉴定、预先选择的理论基础^[1]。有关苹果果实性状的遗传变异研究已有过较多报道^[2-5], 但有关“富士”与“粉红女士”性状遗传的研究尚未见报道。现以短枝“富士”与“粉红女士”杂交的 F₁ 群体为试材, 对果实大小、形状、色泽、风味等性状的遗传变异进行研究, 旨在为苹果杂交育种中亲本的选择和选配提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验在西北农林科技大学白水苹果试验站进行, 亲本为短枝“富士”和“粉红女士”, 216 株的杂交 F₁ 群体于 2002 年 4 月进行有性杂交, 2003 年 5 月上旬按 1 m×2 m 的株行距将杂种苗定植于育种圃, 立地条件及管理措施一致, 2008 年杂种实生苗陆续开花坐果。

1.2 试验方法

调查项目测定参照文献[6]。2008~2010 年, 每年对测定项目进行调查, 连续重复 3 a。

在果实成熟期, 随机采摘树冠外围四周 20 个果实, 从中选取 10 个样品果称重, 计算平均单果重。采用目测方法观察果实形状、果皮颜色, 随后用游标卡尺直接测定果实纵横径, 用硬度计测定果实阳面胴部去皮果肉硬度。用 MC97202 型手持折光仪测定可溶性固形物含量(%), 采用氢氧化钠标准滴定法测定总酸含量(%), 用菲林试剂法测定全糖含量(%)[7]。果形指数: $F=a_1/a_2$, a_1 : 果实纵径, a_2 : 果实横径。剩余 10 个果实, 采后立即品尝鉴定果肉质、果肉粗细、风味。果实成熟期调查: 根据果实表色和底色的变化及果实质地等生理变化决定果实采收期。

1.3 数据统计分析

变异系数(C.V.): $C.V.=S/\bar{X} \times 100$ 。式中, S 为标准差, \bar{X} 为平均值。

广义遗传力是遗传方差在总的表现型方差中占的百分率, 由于亲本品种为无性系群体, 其表现型方差即为环境方差。因此, 广义遗传力(H^2)的计算公式为: $H^2=[V_H-1/2(V_{p1}+V_{p2})]/V_H \times 100\%$ 。

第一作者简介:刘振中(1965-), 男, 陕西渭南人, 副研究员, 现主要从事苹果育种研究工作。

基金项目:陕西省“13115”科技创新工程资助项目(2010ZDKG-69); 陕西省科技攻关资助项目(2010K01-04-1); 国家现代农业技术体系专项资助项目(CARS-28)。

收稿日期:2011-12-26

式中, V_H 为杂种群体的表现型方差, V_{p1} 为母本表现型方差, V_{p2} 为父本表现型方差。所测数据及分离比例进行 χ^2 检验^[8]。

2 结果与分析

2.1 果实外观品质遗传分析

2.1.1 果皮表色遗传 由表 1 可知, 在 216 株杂种中, 红色 174 株, 占 80.56%, 非红色 42 株, 占 19.44%, 二者比例接近 4:1。说明果皮表色遗传表现为单基因控制的质量遗传, 红色对非红色显性。174 株红色杂交后代中, 浓红色 47 株, 粉红色 18 株, 109 株为中间过渡型。表明果皮红色遗传是多基因控制的数量遗传。由此可见, 苹果果皮表色的遗传是带有数量性状遗传特点的质量性状遗传。双亲着色均是片红, 后代也都是片红, 没有出现条红, 说明双亲和杂交后代中不存在条红基因或者条红性状是隐性基因控制, 双亲和后代不表现条红, 但也可能存在这种基因, 只是没有表达。

表 2

杂交后代果形表型分离

Table 2 Segregation of the fruit shape in different apple seedling progenies

| 亲本果形 Parents fruit shape | | 后代分离株数 Progenies segregation numbers/株 | | | 亲本果形指数 Parents fruit shape index | | 杂交后代果形指数 Progenies fruit shape index | | | |
|-----------------------------|------------------------|---|--------------|-----------------------|-------------------------------------|------------|---|----------------------------|---------------------|-----------|
| 母本 Female | 父本 Male | 扁圆 Flat-globular | 中间 Middle | 长圆 Oblong-globular | 母本 Female | 父本 Male | 亲中值 \bar{P} | 平均值±标准差 $\bar{x} \pm s$ | 变异系数 $\alpha/\%$ | 变异范围 R |
| 扁圆形 Flat-globular | 长圆形 Oblong-globular | 33 | 125 | 58 | 0.88 | 0.93 | 0.905 | 0.89±0.11 | 3.80 | 0.81~0.98 |

注: \bar{P} : 亲中值; $\bar{x} \pm s$: 平均值±标准差; α : 变异系数; R: 变异范围。

Note: \bar{P} means parents average value; $\bar{x} \pm s$ means average±standard deviation; α means coefficient of variation; R means variation range.

次, 杂交后代果形指数的变异系数较小, 为 3.80%。说明果形指数变异幅度小, 不便分组归类。

2.1.3 果实大小遗传 苹果果实大小是育种的一个重要性状。由表 3 可知, 杂交后代的平均果重较双亲平均

表 1 杂交后代果实表色表型分离

Table 1 Segregation of the fruit skin color in different apple seedling progenies

| 亲本 Parents | | 后代分离比例 Progenies segregation | |
|--------------|--------------|---|-------------|
| 母本 Female | 父本 Male | | |
| 红色 Red | 粉红色 Pink | 红色: 非红色 Red: Non red | 174: 42 |
| 片红 No-fringe | 片红 No-fringe | 片红: 条红 No-fringe: Fringe | 174: 0 |
| 深红色 Dark red | 粉红色 Pink | 浓红色: 中间色: 粉红色 Dark red: Middle: Pink | 47: 109: 18 |

2.1.2 果形遗传 由表 2 可知, 亲本“富士”果实为扁圆形, “粉红女士”呈长圆形, 杂交后代分离扁圆、长圆和中间类型的果型比例为 33:125:58, 表现了明显的趋中间变异现象, 后代出现父本果形明显, 并分离出一定的超亲型单株。说明选用果形高桩的“粉红女士”作亲本, 可以获得果形高桩的后代。杂交后代平均果形指数近于双亲果形指数的平均值, 呈正态分布, 趋于圆或近圆的中间类型的个体较多, 而趋向两级的个体较少。说明杂交后代果形指数具有数量性状遗传的基本特征。其

果重偏小, 而且极其明显, 说明小果的遗传优势强。杂交后代的广义遗传力为 56.3%, 说明每 100 g 果重遗传给杂交后代 56.3 g, 呈退化的负向优势。

表 3

杂交后代果实大小表型分离

Table 3 Segregation of the fruit size in different apple seedling progenies

| 亲本果实大小 Parents fruit size | | 后代分离株数 Progenies segregation numbers/株 | | | 亲本单果重 Parents single fruit weight/g | | 杂交后代单果重 Progenies single fruit weight/g | | | | 广义遗传力 $H^2/\%$ |
|------------------------------|--------------|---|---------------|--------------|---|---------------------------------------|--|----------------------------|---------------------|-------------|-------------------|
| 母本 Female | 父本 Male | 大果形 Large | 中间型 Middle | 小果形 Small | 母本 Female 平均值±标准差 $\bar{x} \pm s$ | 父本 Male 平均值±标准差 $\bar{x} \pm s$ | 亲中值 \bar{P} | 平均数±标准差 $\bar{x} \pm s$ | 变异系数 $\alpha/\%$ | 变异范围 R/g | |
| 大型果 Large | 小型果 Small | 75 | 83 | 58 | 272±16.34 | 175±11.02 | 223.5 | 151±13.64 | 34.26 | 66~307 | 56.3 |

注: \bar{P} : 亲中值; $\bar{x} \pm s$: 平均值±标准差; α : 变异系数; R: 变异范围; H^2 : 广义遗传力; 下表同。

Note: \bar{P} means parents average value; $\bar{x} \pm s$ means average±standard deviation; α means coefficient of variation; R means variation range; H^2 means broad heritability; the same as follows.

2.2 果实内在品质遗传分析

2.2.1 可溶性固形物及糖酸遗传 果实含酸量变异系数与广义遗传力均较大, 呈正向遗传优势, 后代出现酸类型个体多。果实含糖量和可溶性固形物广义遗传力与变异系数较小, 呈退化的负向优势, 后代群体有劣变趋势。表 4 中杂交后代平均值低于亲中值, 也能证明这一点。但是 3 个性状在后代群体中均存在一定数量的

超亲类型, 有高糖含量的单株出现, 通过株选的方式可以获得酸甜适口的优系。

2.2.2 硬度遗传 果实硬度是果实质地的直接反映。由表 5 可知, 亲本果实硬度差异很小, 后代变异系数较小, 为 8.66%, 变异幅度 8.54~11.37 kg/cm²。杂种平均值明显高于亲中值, 后代广义遗传力 114.08%, 出现明显的正向遗传优势, 说明后代群体果实质地有偏硬遗

表 4 杂交后代果实可溶性固形物及糖酸表型分离

Table 4 Segregation of the fruit soluble solid content,sugar and acidity in different apple seedling progenies

| 性状 Characters | 亲本含量 Parents content/% | | | 杂交后代 Seedling progenies | | | 广义遗传力 H^2 /% | 后代分离株数 Progenies segregation numbers/株 | | |
|-------------------------------------|---------------------------|------------|------------------|----------------------------|------------|-------------|-------------------|---|---------------|-----------|
| | 母本 Female | 父本 Male | 亲中值 \bar{P} | 平均数+标准差 $\bar{x}\pm s$ | 变异系数 /% | 变异范围 R/% | | 低 Low | 中间型 Middle | 高 High |
| 可溶性固形物含量 Soluble solid content/% | 14.60 | 12.50 | 13.55 | 12.47+1.69 | 15.68 | 9.70~18.26 | 97.8 | 53 | 124 | 39 |
| 含糖量 Sugar content/% | 13.47 | 11.28 | 12.38 | 12.03+2.29 | 14.27 | 8.61~17.35 | 96.2 | 49 | 131 | 36 |
| 含酸量 Acidity content/% | 0.28 | 0.62 | 0.45 | 0.41+0.17 | 34.65 | 0.10~1.22 | 102.6 | 41 | 146 | 29 |

传倾向。松脆型品种“富士”与硬脆型品种“粉红女士”杂交,在 216 株杂交后代中,34 株表现为松脆,占 15.74%,97 株表现为硬脆,占 44.91%,85 株表现为中间

型占 39.35%。说明亲代硬脆型性状在子代中具有较高的重现性,在后代中出现的比例大。

表 5 杂交后代果实硬度表型分离

Table 5 Segregation of the fruit firmness in different apple seedling progenies

| 亲本 Parents | | 后代分离株数 Progenies segregation numbers/株 | | | 亲本硬度 Parents hardness/kg·cm ⁻² | | | 杂交后代硬度 Progenies hardness/kg·cm ⁻² | | | 广义遗传力 H^2 /% |
|---------------|------------|---|---------------|------------|--|------------|------------------|--|---------------------|-------------------------------|-------------------|
| 母本 Female | 父本 Male | 松脆 Crisp | 中间型 Middle | 硬脆 Hard | 母本 Female | 父本 Male | 亲中值 \bar{P} | 平均数+标准差 $\bar{x}\pm s$ | 变异系数 α /% | 变异范围 R/kg·cm ⁻² | |
| 松脆 Crisp | 硬 Hard | 34 | 85 | 97 | 9.16 | 9.60 | 9.38 | 10.24+2.51 | 8.66 | 8.54~11.37 | 114.08 |

2.2.3 风味遗传 由表 6 可知,杂交后代分离与母本相同的类型 37 株;中间型 92 株,与父本相同的类型 87 株,与表 4 中含酸量分离结果不相一致。调查中后代分离的酸甜适中类型虽然较少,但为选择酸甜类提供了可能。说明风味偏酸的“粉红女士”与风味酸甜的“富士”杂交能获得酸甜适中的杂交后代,所以,在杂交育种时为选育甜酸适度风味浓郁的类型,亲本之一必须有此性状。

2.2.4 肉质遗传 由表 6 可知,216 株杂交后代中有 28 株的后代肉质表现为细腻,46 株表现为粗糙,142 株表现为中间型。杂交后代分离出肉质细、粗类型,并出现明显的趋中变异。说明苹果果实肉质表现为多基因控制的数量性状。大量中间型个体的出现说明杂交后代肉质中间类型具有明显选择优势,“富士”与“粉红女士”杂交获得肉质与双亲肉质相同的后代概率高,可增加后代群体优选率,提高育种效果。

表 6 杂交后代果实风味和果实肉质表型分离

Table 6 Segregation of the fruit flavor and flesh in different apple seedling progenies

| 果实风味 Fruit flavor | | | | | 果实肉质 Fruit succulent | | | | |
|-------------------|---------|--|------------|--------|----------------------|----------|--|------------|----------|
| 亲本 Parents | | 后代分离株数 Progenies segregation numbers/株 | | | 亲本 Parents | | 后代分离株数 Progenies segregation numbers/株 | | |
| 母本 Female | 父本 Male | 酸甜 Sour-sweet | 中间型 Middle | 酸 Sour | 母本 Female | 父本 Male | 细腻 Delicious | 中间型 Middle | 粗糙 Rough |
| 酸甜 Sour-sweet | 酸 Sour | 37 | 92 | 87 | 中 Middle | 中 Middle | 28 | 142 | 46 |

2.3 出汁率遗传分析

果实果汁的多少对果实品质具有重要影响,果汁多,口感好。由表 7 可知,双亲果实出汁率分别为 74.6%和 72.1%,杂交后代果实平均出汁率比亲中值低,变异系数小,广义遗传力为 98.24%。由于双亲果实

出汁率相近,杂交后代果实出汁率变异幅度小。216 株杂交后代中,有 21 株表现为少,114 株表现为中,81 株表现为多。说明出汁率在 65%~75%之间的杂交后代比重较高,“富士”与“粉红女士”杂交,出现出汁率较高的比例相对来说较高。

表 7 杂交后代果实出汁率表型分离

Table 7 Segregation of the fruit juice rate in different apple seedling progenies

| 亲本 Parents/% | | 后代分离株数 Progenies segregation numbers/株 | | | 亲本出汁率 Fruit juice rate of parents/% | | | 杂种出汁率 Fruit juice rate of seedling progenies/% | | | 广义遗传力 H^2 /% |
|-----------------|------------|---|-------------|------|--|------------|------------------|---|------------------|-----------|-------------------|
| 母本 Female | 父本 Male | <65.0% | 65.0%~75.0% | >75% | 母本 Female | 父本 Male | 亲中值 \bar{P} | 平均数+标准差 $\bar{x}\pm s$ | 变异系数 α | 变异范围 R | |
| 65.0~75.0 | 65.0~75.0 | 21 | 114 | 81 | 74.6 | 72.1 | 73.35 | 65.3+4.28 | 8.45 | 64.7~76.2 | 98.24 |

2.4 果实成熟期遗传分析

根据果实表色和底色的变化及果实质地等生理变化,把杂交后代分为早熟(8 月份以前成熟采收者)、中熟(8 月上旬至 9 月下旬成熟采收者)、晚熟(10 月上旬以后

成熟采收者)3 种类型。由表 8 可知,双亲晚熟,其杂交后代未出现早熟类型,分离的中熟类型只有 41 株,多数为晚熟。说明熟期相同的晚熟品种间杂交,其杂种接近于亲本,后代亦晚熟。

表 8 杂交后代果实成熟期表型分离

Table 8 Segregation of the fruit maturation in different apple seedling progenies

| 杂交后代株数 Progenies numbers/株 | 亲本成熟期 Parents fruit maturation | | 后代分离株数 Progenies segregation numbers/株 | | |
|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|---|--------------------|---------------------|
| | 母本 Female | 父本 Male | 早熟 Early-maturing | 中熟 Mid-maturing | 晚熟 Late-maturing |
| 216 | 10 中旬 Mid-October | 11 月上旬 Early-November | 0 | 41 | 175 |

3 结论与讨论

该研究通过表型遗传分析表明,苹果果皮表色的遗传是带有数量性状遗传特点的质量性状遗传,果皮表色遗传表现为单基因控制的质量遗传,红色对非红色显性,果皮红色遗传是多基因控制的数量遗传,这与前人报道的研究结果一致^[9-12]。果型和果实肉质表现趋中变异现象,果实质地有偏硬遗传倾向,果实大小呈退化的负向优势。杂交后代明显地表现果实大小性状的衰退。出现这一现象的主要原因是因为果重受微效多基因控制,由于亲本品种均是具有较高的基因累加效应和互作效应,随着有性过程非加性效应解体之故^[2]。

果实酸性状呈正向遗传优势,可溶性固形物及含糖量呈退化的负向优势,而杂交后代风味分离结果与果实含酸量分离结果存在差异。这是由于果实的风味是一个人为主观定性判断,而果实含酸量分级是一个定量客观机械评价,含酸量低的后代风味不一定酸甜适口,含酸量高的后代风味也不一定酸,因此,导致杂交后代风味分离结果与果实含酸量分离结果存在差异^[11-13]。果实出汁率和成熟期表现双亲遗传优势,双亲果实出汁率高,后代出现出汁率高的比重大。双亲晚熟,杂交后代

成熟期接近于亲本。苹果是异花授粉的多年生植物,多具有自交不亲和的特点,目前应用的栽培品种都是高度杂合体,具有较大的基因非加性效应,给杂交后代的遗传变异预测带来一定的困难^[2],还需要通过分子标记技术进行基因型遗传分析。

参考文献

- [1] 沈德绪. 果树育种学[M]. 2版. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [2] 景士西, 吴录平, 李宝江, 等. 果树遗传变异的特点初探[J]. 遗传, 1995, 17(1): 40-44.
- [3] 过国南, 郭兆年, 阎淑芝, 等. 苹果杂交后代经济性状的遗传变异分析[J]. 果树科学, 1994, 11(2): 71-75.
- [4] 陈照峰, 陈延惠. 苹果主要经济性状遗传动态的研究[J]. 河南农业大学学报, 1997, 31(3): 238-243.
- [5] 李宝江, 景士西, 丁玉英, 等. 苹果糖酸遗传和选择研究[J]. 遗传学报, 1994, 21(2): 147-154.
- [6] 蒲富慎. 果树种质资源描述符-记载项目及评价标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 1990: 78-79.
- [7] 郝再彬, 苍晶, 徐仲. 植物生理试验[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004.
- [8] 林杰斌, 陈湘, 刘明德. Spss11 统计分析实务设计宝典[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2002: 230-244.
- [9] 盛炳成, 俞明亮. 苹果果皮色泽的遗传研究[J]. 果树科学, 1993, 10(4): 17-20.
- [10] 薛智德, 张广军, 刘增文, 等. 苹果果实着色研究动态[J]. 西北林学院学报, 1995, 10(增): 180-185.
- [11] 刘志, 伊凯, 王冬梅, 等. 富士苹果果实外观品质性状的遗传[J]. 果树学报, 2004, 21(6): 505-511.
- [12] Brown A B. The inheritance of shape, size and season of ripening in progenies of the cultivated apple [J]. Euphytica, 1980(9): 327-337.
- [13] 刘志, 伊凯, 王冬梅, 等. 富士杂交后代果实内在品质性状的遗传[J]. 果树学报, 2004, 21(2): 95-102.

Analysis on the Genetic Variation of Fruit Characters in Apple Hybrids

LIU Zhen-zhong¹, FAN Hong-ke², GAO Hua¹, ZHAO Zheng-yang¹

(1. College of Horticulture, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100; 2. Rural Science and Technology Development Center of Shaanxi, Xi'an, Shaanxi 710054)

Abstract: Taking 216 hybrid F₁ seedlings of 'Fuji' × 'Pink Lady' as test materials, the genetic variation performance of fruit size, shape, color, flavor, maturity and other characters were studied. The results showed that the inheritance of fruit skin color was simple qualitative heredity and the red showed quantitative heredity which was controlled by many genes. The inheritance trends of fruit shape appeared distinct central variation. The fruit size, soluble solid content and soluble sugar content tended to be less than parental mean, which cling the fruit quality of progenies was poor. The hybrids showed coarser flesh, firmer texture, less juice and smaller core size.

Key words: apple; hybrid; fruit; genetic variation