

苹果杂交 F_1 代丰产性状综合选择模式研究

王雷存,樊红科,赵政阳,高 华

(西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] **【目的】**分析苹果杂交后代单株产量与单果质量、坐果率、叶面积、干粗、果实发育期、叶绿素含量、净光合速率、百叶质量之间的关联程度。**【方法】**以“短枝富士”和“粉红女士”多年的性状平均表现和预期育种目标为基础,制订其杂交后代主要性状的分级标准,通过对 261 株短枝富士与粉红女士杂交 F_1 代单果质量、坐果率、叶面积、干粗、果实发育期、叶绿素含量、净光合速率和百叶质量等的调查,计算产量与各性状的相关程度,建立丰产性状的综合选择模式,并对该模式进行了验证。**【结果】**杂交后代单株产量与单果质量、坐果率、干粗、净光合速率、百叶质量显著相关;与叶面积、叶绿素含量、果实发育期相关性不显著。选取与单株产量相关性显著的 5 个性状,结合果树育种实际,建立了一套苹果杂交 F_1 代丰产性状综合评价的数量化模式。**【结论】**丰产性状综合选择模式在苹果育种实践中具有良好的实用性。

[关键词] 苹果;杂交 F_1 代;丰产性状;综合选择

[中图分类号] S661.103.2

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2010)07-0129-06

Study on comprehensive selection of hybrid seedlings characters of high yield breeding in apple

WANG Lei-cun, FAN Hong-ke, ZHAO Zheng-yang, GAO Hua

(College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】** This study was to find the relations between the hybrid individual yield (Y) and weight per fruit (X_1), fruit-setting rate (X_2), leaf area (X_3), stem fiber coarseness (X_4), fruit development period (X_5), chlorophyll content (X_6), photosynthetic rate (X_7), hundred leaf weight (X_8). **【Method】** Based on several years average characters and expected breeding goals of Duanzhifuji and Pinklady, the selective standards of each character were drawn up. According to the standards, by investigating the main characters of 261 hybrid seedling of Duanzhifuji and Pinklady, including weight per fruit, fruit-setting rate, leaf area, stem fiber coarseness, fruit development period, chlorophyll content, photosynthetic rate and hundred leaf weight etc the relations between the hybrid individual yields and the main characters were measured, and the selection model was proposed and tested. **【Result】** The results showed that there were significant relations at the 5% level between Y and X_1, X_2, X_4, X_7, X_8 ; there were significant relations at the 5% level between y and X_3, X_5, X_6 . The table for comprehensive evaluation consisting of the contingency ratio value added coefficient and linear comprehensive index P_j was established by analyzing the maize region test data. The weighted comprehensive selection indexes and a model of comprehensive selection of apple characters for high yield breeding were proposed. **【Conclusion】** The practice proved that this model

* [收稿日期] 2009-12-28

[基金项目] 国家现代农业技术体系专项(nycytx-08-01-03);国家科技支撑计划子专题(2006BAD01A1704-8)

[作者简介] 王雷存(1963—),男,陕西韩城人,副研究员,硕士,主要从事苹果新品种选育及配套栽培技术研究。

E-mail: wanglc0326@163.com

[通信作者] 赵政阳(1964—),男,陕西富平人,教授,博士生导师,主要从事苹果新品种选育及渭北旱地苹果优质高效栽培技术研究。

was useful for apple high yield breeding.

Key words: apple; hybrid progeny; high yield character; comprehensive selection

苹果育种的目标是在保证优质的前提下,尽量提高产量,这就要求必须明确构成产量性状的基本因素和这些因素对产量影响的大小及各性状间的相互关系^[1-3]。有关单个性状与产量的关系,Tyde-man^[4]研究认为,果树叶片栅状组织厚薄反映了品种类型间光合强度的差异,可以作为衡量丰产性的一个重要指标;Visser 等^[5]报道,苹果和梨实生苗的干径与其平均产量之间有明显的正相关关系,实生苗干径越粗,其平均产量越高;沙守峰等^[6]研究证明,凡叶片小、叶面波皱极大、叶缘不规则的实生苗,将来开花结果少,这类苗在种间杂交后代中较多,应及早淘汰。

苹果的丰产性状是由许多独立遗传的性状所组成极其复杂的综合性状决定的,如生长势、分枝角度、成枝力、萌芽率、花芽形成能力、叶面积及其同化效能等^[7]。而且性状间彼此关联,交互作用,关系复杂,其结果难以在实践中应用,更不能对苹果丰产性状的综合选择提出全面的指导性建议。到目前为止,有关苹果丰产性状综合选择的研究较少,更未曾使之指标化、数量化。为此,本研究尝试利用改进列联表法,以“短枝富士”与“粉红女士”杂交 F₁ 代实生苗为试材,依据杂交亲本产量高低和预期育种目标,对杂交后代丰产性状的综合评价及其预测进行了探索,根据与丰产性有关的几个性状对产量的贡献大小及性状本身与高产性状聚合几率的高低,建立了一个适应苹果丰产性状综合评价的数量化模式,以期苹果育种工作提供参考。

1 材料与方法

1.1 材 料

试验在西北农林科技大学苹果试验站杂交代育种圃进行,试材为 2002 年“短枝富士”×“粉红女士”杂交的 261 株 F₁ 代实生苗,栽植密度 1 m×2 m,2008 年挂牌标记,常规管理。试验亲本资料取自 2005—2009 年试验站观察记录积累的数据。

1.2 测定项目

2009-08,随机选择每个单株新梢第 7~9 片叶,用 CI-310 型光合测定仪在晴天 10:00—12:00 和 14:00—15:00 测量叶片的净光合速率(P_n),用叶绿素仪测定叶绿素(Chl)含量。10 月份每个单株随机采集 100 枚叶片,测定百叶质量,用叶面积仪测定叶

面积^[8]。在果实成熟期,对所有果实称质量,计算单株产量。选取 10 个典型果实,称质量,计算平均单果质量。调查记录终花期至果实成熟期的天数。作为果实发育天数。干粗统一在离地面 20 cm 处用游标卡尺测定。坐果率指标的测定主要参考国际遗传资源研究所编制的果树种质资源评价系统和《果树种质资源描述符——记载项目及评价标准》^[9-10]进行。

1.3 丰产性状综合选择模式的建立方法

将单株产量记作 Y_j ,影响产量的其他性状记作 $X_i(i=1,2,3,\cdots,8)$,其中 X_1 为单果质量, X_2 为坐果率, X_3 为叶面积, X_4 为干粗, X_5 为果实发育期, X_6 为叶绿素含量, X_7 为净光合速率, X_8 为百叶质量,统计自变量 X_i 和因变量 Y_j 在各级别同时出现的频率 n_{ij} ,得 3×3 列联表,见表 1。

表 1 3×3 列联表
Table 1 3×3 contingency table

X	Y			$\Sigma n_{i\cdot}$
	1	2	3	
1	n_{11}	n_{12}	n_{13}	$n_{1\cdot}$
2	n_{21}	n_{22}	n_{23}	$n_{2\cdot}$
3	n_{31}	n_{32}	n_{33}	$n_{3\cdot}$
$\Sigma n_{\cdot j}$	$n_{\cdot 1}$	$n_{\cdot 2}$	$n_{\cdot 3}$	N

根据表 1 结果,依改进列联表法的计算程序,分别计算出 X_i 与 Y_j 的相关程度(卡方 χ^2 ,随机系数 C), X_i 和 Y_j 在各个级别聚合的可能性大小(列联比 θ_{ij}),以及 X_i 性状加权选择指数(P_{ij}),将各 X_i 性状所属级别的 P_{ij} 线性综合值 P_j 作为各性状综合选择的数量化标准。用所分析材料的 P_j 值比建立起一个综合评判的模式或尺度。计算公式如下:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \frac{\left(n_{ij} - \frac{n_i \times n_j}{N}\right)^2}{\frac{n_i \times n_j}{N}} \quad (1)$$

$$C = \sqrt{\frac{\chi^2}{N + \chi^2}} \quad (2)$$

$$\theta_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_i} + \frac{n_{ij}}{n_j} \quad (3)$$

$$P_{ij} = C \times \theta_{ij} \quad (4)$$

$$P_j = C_1 \theta_{1j} + C_2 \theta_{2j} + \cdots + C_m \theta_{mj} \quad (5)$$

式中: m 为变量的个数。

1.4 数据处理

改进列联表法的计算结果用 SPSS 11.5 软件进行分析^[11]。

2 结果与分析

2.1 苹果杂交 F₁ 代单株产量的田间统计

对 261 份苹果杂交 F₁ 代单株产量进行分级统计。性状分级标准采用等距离分级法,将各性状的取值从小(低)到大(高)进行排序,共分成 9 级,统计各

级的单株数,绘制各性状取值的分布直方图。由图 1 可以看出,杂交后代单株产量差异很大,变异幅度为 0~43.71 kg,通过对数据进行 χ^2 测验^[12]($\chi^2=11.90<\chi^2_{0.05}=12.59$),可知 F₁ 代产量分布符合偏正态分布规律,其产量有降低的遗传趋势,但也出现了少量的丰产单株,为选育高产品种提供了条件。

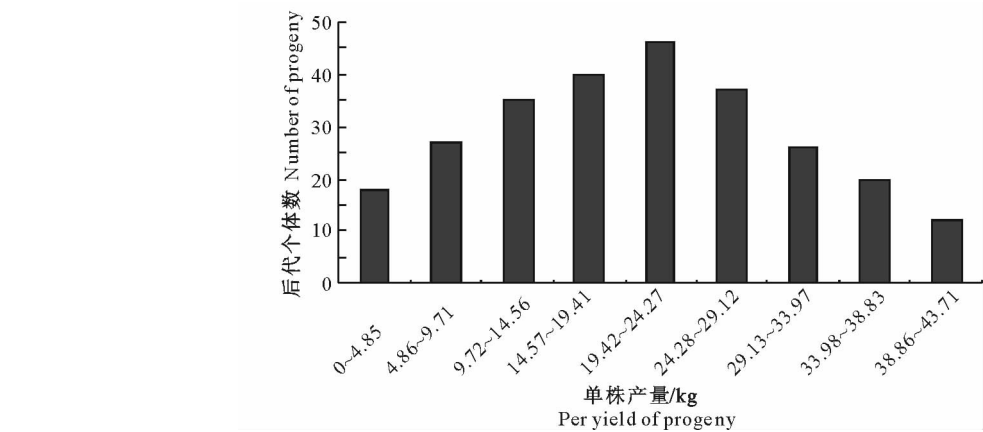


图 1 苹果单株产量在杂交 F₁ 代群体中的分布
Fig. 1 Distribution of per yield in F₁ progeny hybrids of apple

2.2 苹果各性状的分级

将选作统计分析的各性状均划分为 3 个级别,Y 级记作 $j=1,2,3$;X 级记作 $i=1,2,3$ 。分级标准依据亲本结果确定其上下限,大于上限定为 1 级,视为预期育种目标;小于下限定为 3 级,与育种目标差距较大;介于上下限之间定为 2 级。分级标准见表 2。

由于在育种实际工作中,难以获得与杂交亲本同龄的对照亲本,假设亲本中亲值与杂交后代群体

平均值相同(即假设杂交后代不出现趋中变劣现象,在这种理想条件下,构建数学模型),根据公式(1)和(2)对亲本历年产量表现及杂交后代产量平均值进行校正换算。

$$P_1=2K\bar{P}/(K+1)。(6)$$

$$P_2=2\bar{P}/(K+1)。(7)$$

式中: P_1 为短枝富士平均产量, P_2 为粉红女士平均产量, $\bar{P}$ 为中亲值, K 为双亲平均产量比值。

表 2 苹果各性状的分级标准

变量 Character	P_1	P_2	$\bar{P}$	K	1 级 Grade 1	2 级 Grade 2	3 级 Grade 3
Y/kg	14.28	18.36	16.32	0.78	>18.36	$14.28\sim18.36$	<14.28
X_1/g	138.25	98.14	118.20	1.41	>138.25	$98.14\sim138.25$	<98.14
$X_2/\%$	47.28	65.13	56.21	0.73	>65.13	$47.28\sim65.13$	<47.28
X_3/cm^2	18.71	13.26	15.98	1.32	>18.71	$13.26\sim18.71$	<13.26
X_4/cm	6.52	5.49	6.01	1.19	>6.52	$5.49\sim6.52$	<5.49
X_5/d	195.00	218.00	206.50	0.89	>218	$195\sim218$	<195
$X_6/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	0.779	0.706	0.74	1.10	>0.779	$0.706\sim0.779$	<0.706
$X_7/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	0.724	0.708	0.72	1.02	>0.724	$0.708\sim0.724$	<0.708
X_8/g	0.811	0.654	0.73	1.24	>0.811	$0.654\sim0.811$	<0.654

2.3 苹果关联度分析

按表 2 标准对 261 个杂交 F₁ 代各有关性状进行统计,计算其列联比 θ_{ij} ,得到 8 个 3×3 列联表,其中单果质量与产量的 3×3 列联表见表 3,再分别计算各表 χ^2 值及随机系数 C 值,检验差异显著性,具体计算结果见表 4。

表 3 苹果单果质量与产量的 3×3 列联表

Table 3 Average weight and yield 3×3 contingency table				
X	Y			$\Sigma n_{i.}$
	1	2	3	
1	3	19	17	39
2	28	64	23	115
3	13	43	51	107
$\Sigma n_{.j}$	44	126	91	261

以单果质量为例,其计算过程如下。

卡方测验:

$$\chi^2 = \frac{\left(3 - \frac{44 \times 39}{261}\right)^2}{\frac{44 \times 39}{261}} + \dots + \frac{\left(51 - \frac{91 \times 107}{261}\right)^2}{\frac{91 \times 107}{261}} = 18.23;$$

随机系数:

$$C = \sqrt{\frac{18.23}{261 + 18.23}} = 0.26。$$

表 4 苹果各性状的 χ^2 和 C 值计算结果

Table 4 χ^2 and C value of every character

项目 Item	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
χ^2	18.20**	17.60**	9.10	19.50**	4.70	5.40	21.80**	12.30*
C	0.26	0.21	0.18	0.28	0.13	0.15	0.31	0.21

注: $\chi^2_{0.01} = 13.14$; $\chi^2_{0.05} = 8.78$; * . 为显著相关, ** . 为极显著相关。

Note: $\chi^2_{0.01} = 13.14$; $\chi^2_{0.05} = 8.78$; * . Means significant coefficient; ** . Means highly significant coefficient.

结果表明,单果质量、坐果率、干粗、叶片净光合速率均与产量极显著相关关系,百叶质量与产量呈显著相关,而果实发育期、叶绿素含量、叶面积与产量相关性不显著。根据各 X 性状与产量 Y 的 χ^2 检验结果,选取与产量相关性显著的 5 个性状建立选择模式。

2.4 苹果丰产性状综合选择模式的建立

以单果质量为例,演示计算列联比 θ_{ij} 和加权选择指数 P_{ij} 的过程。

计算列联比 θ_{ij} :

$$\theta_{11} = \frac{3}{44} + \frac{3}{39} = 0.15,$$

$$\theta_{33} = \frac{51}{91} + \frac{51}{107} = 1.04。$$

计算加权选择指数 P_{ij} :

$$P_{11} = C \times \theta_{11} = 0.26 \times 0.15 = 0.04,$$

$$P_{33} = C \times \theta_{33} = 0.26 \times 1.04 = 0.27。$$

其余类推,自变量的加权选择指数 P_{ij} 见表 5。

表 5 苹果丰产性状综合选择的加权选择指数

Table 5 Weighted comprehensive selection indexes of apple high yield breeding character

性状 Character	级别 Grade	Y 各级的 P_{ij} Grade of P_{ij}			性状 Character	级别 Grade	Y 各级的 P_{ij} Grade of P_{ij}		
		Y_1	Y_2	Y_3			Y_1	Y_2	Y_3
X_1	1	0.04	0.17	0.16	X_7	1	0.09	0.16	0.18
	2	0.23	0.28	0.12		2	0.24	0.28	0.14
	3	0.11	0.19	0.27		3	0.11	0.30	0.04
X_2	1	0.06	0.18	0.14	X_8	1	0.17	0.11	0.27
	2	0.21	0.19	0.31		2	0.03	0.14	0.26
	3	0.15	0.22	0.01		3	0.27	0.21	0.18
X_4	1	0.10	0.17	0.20	$\Sigma P_{i \cdot}$	1	0.46	0.79	0.95
	2	0.04	0.16	0.24		2	0.75	1.05	1.07
	3	0.28	0.12	0.23		3	0.92	1.04	0.73
					$\Sigma P_{\cdot j}$		2.13	2.88	2.75

果育种实践中具有一定的实用性和可靠性,在提高选择准确性的同时,还可以在最初阶段淘汰 2、3 级。

表 6 苹果 9 个杂交后代的单株产量、性状级别及 $P_{.j}$ 值

Table 6 Yield,grade of characters and $P_{.j}$ value of nine hybrids

杂交后代 Hybrid	单株产量/kg Yield	性状归属 Grade of characters					P_1	P_2	P_3
		X_1	X_2	X_4	X_7	X_8			
1	42.62	1	1	2	2	1	0.55	0.90	0.95
2	35.14	1	1	1	2	2	0.47	0.94	0.90
3	30.57	1	2	1	1	2	0.47	0.83	1.11
4	25.93	2	2	1	1	2	0.66	0.94	1.07
5	20.08	2	2	2	1	2	0.60	0.93	1.11
6	15.66	2	2	2	2	2	0.75	1.05	1.07
7	10.42	2	3	2	2	2	0.69	1.08	0.77
8	5.16	3	3	3	3	2	0.68	0.97	0.81
9	2.84	3	3	3	3	3	0.92	1.04	0.73

3 结论与讨论

3.1 苹果杂交后代丰产性状综合选择指标的筛选

变异系数的大小,反映了品种的固有特征及生物产品的个体差异范围^[13]。产量是数量性状,由数目较多、效应微弱、易受环境因素影响的微效基因控制。由于数量性状本身以及与环境互作的复杂性,在育种过程中往往很难准确判断各表型性状与单株产量以及各性状间的相互关系。但当群体足够大时,各性状的表现仍然能够代表某一群体的变异情况^[14]。本研究结果表明,杂交后代单株产量呈偏正态分布,符合概率分级的条件;变异幅度较大,适宜进行改进列联表法综合选择。

本研究假设亲本亲中值与杂交后代群体平均值相同,对亲本历年产量表现及杂交后代产量平均值进行了换算校正,将亲本实生苗作为对照。这是依据杂交后代单株产量呈偏正态分布,符合概率分级的条件而设定的。这在苹果育种研究中是一种很好的尝试,但是否科学合理,还需要通过更大更广泛的数据资料分析来进一步验证。

本试验结果表明,应以单果质量、坐果率、干粗、叶片净光合速率和百叶质量作为与产量相关性显著的 5 个性状建立选择模式;果实发育期、叶绿素含量、叶面积与产量相关性不显著。一般认为,果实发育期与产量呈正相关关系,即果实发育期越长,产量越高,但本研究结果中二者没有相关性。这是由于受渭北黄土高原地区特殊的自然生态条件限制,苹果果实的发育期大于 202 d,该区气温下降迅速,光照不足,导致苹果树体光合作用下降,增产效能有限,故二者没有相关关系。叶绿素含量和叶面积与产量也无相关关系,与这 2 个指标在杂交后代群体中变异幅度较小有关。

苹果遗传背景复杂,杂交育种周期长,树体所占的面积大,遗传物质高度异质结合,对于杂交后代进行丰产筛选时,当对个性状不能直接选择或者选择效果很差时,可以借助与之相关的另一性状来达到选择的目的^[15]。若在果树的童期,某性状的遗传相关显著,则可进行早期选择。本研究结果表明,干粗、叶片净光合速率与产量呈极显著相关,田间调查快捷、直观,可以作为早期选择的一个有效指标。百叶质量与产量相关性显著,但能否成为早期选择一个理想的指标,还需进行深入研究分析。在实践中,如果将上述 3 个性状结合起来进行综合早期选择,将更有应用价值。

3.2 选择模式评价

研究苹果杂交苗主要性状对产量作用的大小及其相互间的关系,对苹果丰产选择具有重要意义。对于苹果杂交后代,仅依靠一两个指标来评价一个个体丰产性的优劣、定其取舍,常因群体数量多,而造成偏差,给选择带来困难;选择过少,恐优良基因实生苗漏掉;选择过多,会给以后的复选、管理带来沉重的负担,造成事倍功半的后果。本研究通过改进列联表法构建的模式化选择方法,是一种进行丰产性状综合选择较为合理的方法,该方法综合了与产量有关的各主要性状,依据其对产量贡献的大小及性状本身与高产性状聚合的几率,建立一个综合评价尺度,并使之数量化、标准化。产量是多基因控制的数量性状,其影响因子十分复杂,在本研究中考虑的因子可能还不够全面,如生长势、成枝力、萌芽率、花芽形成能力等。因此作者建议,将本研究建立的选择方法与传统的选择理论、育种经验结合应用,可能会收到更好的效果。

3.3 选择模式的应用

不同的生态类型区可以利用自己多年的试验结

果,分别建立各自的性状综合选择标准,以便对本生态区的苹果育种进行指导。且模式并非是一个僵化的框架,宜看作一个动态的系统。对于各性状年度间的消长变化,可根据对照历年表现适当调整分级标准再查表计算,以求评价客观。

[参考文献]

[1] 束怀瑞. 苹果学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1996.
Shu H R. Apple science [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1996. (in Chinese)

[2] 沈德绪. 果树育种学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
Shen D X. Fruit breeding science [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995. (in Chinese)

[3] 伊 凯, 沙守峰, 刘 志, 等. 我国苹果育种的回顾与展望 [J]. 果树学报, 2005, 22(专刊): 17-19.
Yi K, Sha S F, Liu Z, et al. Retrospect and expectation on Chinese apple breeding [J]. Journal of Fruit Science, 2005, 22 (Suppl.): 17-19. (in Chinese)

[4] Tydeman H M. The inheritance of time of leaf break and leaf fall in seedling apples [J]. Ann Rep East Malling Res Sta, 1962; 58-63.

[5] Visser T, Verhaegh J. Inheritance and selection of some fruit characters of apple the relation between leaf and selection of some fruit pH as a basis for preselection [J]. Euphytica, 1978.

[6] 沙守峰, 伊 凯, 刘 志, 等. 苹果杂种树叶片在预选中的应用 [J]. 北方果树, 2004(3): 4-5.
Sha S F, Yi K, Liu Z, et al. Study on leaves of apple hybrid trees used in preselection [J]. Northern Fruits, 2004(3): 4-5. (in Chinese)

[7] 李鹏丽, 申凤莲, 毛永民, 等. 果树性状遗传规律研究进展 [J]. 河北农业大学学报, 2003, 26(5): 53-56.
Li P L, Shen F L, Mao Y M, et al. The review of studies on genetic development of fruit tree trait [J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2003, 26(5): 53-56. (in Chinese)

[8] 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.
Hao Z B, Cang J, Xu Z. Plant physiological experiment [M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 2004. (in Chinese)

[9] IBPGR. Secretariat. Apple descriptors [M]. Rome: IBPGR.

[10] 蒲富慎. 果树种质资源描述符 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1990: 78-79.
Pu F S. Characteristics descriptive criteria of fruit germplasm resources [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1990: 78-79. (in Chinese)

[11] 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.
Lin J B, Chen X, Liu M D. Statistical analysis and practical design of SPSS11 [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2002: 230-244. (in Chinese)

[12] 盖钧镒. 试验统计方法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 137-140.
Gai J Y. Experimental statistical methods [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2005: 137-140. (in Chinese)

[13] 王力荣, 朱更瑞, 方伟超. 桃种质资源若干植物学数量性状描述指标探讨 [J]. 中国农业科学, 2005, 38(4): 770-776.
Wang L R, Zhu G R, Fang W C. The evaluating criteria of some botanical quantitative characters of peach genetic resources [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(4): 770-776. (in Chinese)

[14] Brown A B. The inheritance of shape, size and season of ripening in progenies of the cultivated apple [J]. Euphytica, 1980(9): 327-337.

[15] 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.
Jing S X, Wu L P, Li B J, et al. Preliminary study on genetic characteristics of fruit plants [J]. Hereditas, 1995, 17(1): 40-44. (in Chinese)