

# 基于层次分析和熵值法的苹果杂交 F<sub>1</sub> 代果实性状综合选择模式研究

王雷存, 樊红科, 赵政阳, 王 飞, 高 华

(西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘 要:**以“富士”和“粉红女士”多年的果实性状平均表现和预期育种目标为基础,利用数学统计方法、层次分析法和熵值法对其杂交后代选择标准进行评价。结果表明:以果色、果型、风味作为选择的主要依据,确定了单果重、果形指数、果实硬度、糖酸比等 12 个适宜性评价指标,采用 5 级评分制对各指标进行量化分级,运用层次分析法和熵值法确定了各指标的综合权重,为苹果杂交 F<sub>1</sub> 代果实性状综合选择提出了一个完整的评价指标体系和数量化评价模型。

**关键词:**苹果;杂交 F<sub>1</sub> 代;综合选择;层次分析法;熵值法

**中图分类号:**S 661.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2011)21-0004-05

苹果育种是苹果产业化发展的前提和基础<sup>[1]</sup>。“小组合、大群体”的育种技术路线是当前苹果育种界比较认可的一种技术路线<sup>[2]</sup>。但是,面对庞大的杂交后代,如何进行综合选择成为亟需解决的首要问题。

苹果杂交后代综合选择的适宜性评价与多种因子有关,属于多指标评价系统。前人选择方法主要依靠育种人员的经验和主观意愿进行选择,多数采用定性分析,科学依据不足,说服力不强,缺少可行的定量分析。

**第一作者简介:**王雷存(1963-),男,陕西韩城人,硕士,副研究员,现主要从事苹果新品种选育及配套栽培技术研究工作。E-mail: wanglc0326@163.com。

层次分析法(AHP)是对一些较为复杂、较为模糊的问题作出决策的方法,特别适用于难以完全定量分析的问题,即是将复杂问题分解为多个组成因素,并将这些因素按支配关系进一步分解,按目标层、准则层、指标层排列起来,形成一个多目标、多层次的模型,形成有序的递阶层次结构。通过两两比较的方式确定层次中诸因素的相对重要性,然后综合评估主体的判断确定诸因素相对重要性的总顺序<sup>[3]</sup>。

**责任作者:**赵政阳(1964-),男,博士,教授,现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工作。

**基金项目:**陕西省科技攻关资助项目(2010K01-04-1);陕西省“13115”重大专项资助项目(2010ZDKG-69)。

**收稿日期:**2011-08-15

但是,层次分析法在建立判断矩阵时,只是将单个

## Research on the Reasonable Sampling Stage for Apple Leaf Nutrient Analysis

DU She-ni<sup>1,2</sup>, LI Man<sup>3</sup>, LI Ming-xia<sup>4</sup>, BAI Gang-shuan<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100; 3. Organism Project Development Limited Company, China Ocean University, Qingdao, Shandong 266071; 4. People's Government of Fugu County, Fugu, Shaanxi 719400)

**Abstract:** In order to determine a reasonable sampling stage for leaf nutrient analysis, Red Fuji apple trees in full productive stage had been as the sampling objects in Weibei Plateau of Shaanxi Province, and its leaves had been positioning collected in the growth stage of young fruit rapid growth stage, spring shoot ungrowth stage, flower bud differentiation stage, fruit expanding stage before harvest, harvest stage, and leaves nitrogen, phosphorus, potassium, calcium content had been analyzed respectively. The results showed that leaves nitrogen, phosphorus content decreased continuously, potassium content changed in 'anti-parabola', calcium content increased continuously from young fruit rapid growth stage to harvest stage. Through analyzed leaves nutrient contents at different growth stage, flower bud differentiation stage been received as a reasonable sampling stage for leaf nitrogen, phosphorus, calcium analysis, spring shoot ungrowth stage and harvest stage been received as reasonable sampling stage for calcium analysis.

**Key words:** apple tree; tree nutrition; sampling stage; leaf nutrient analysis

指标值进行比较,并没有考虑指标间的相互联系。熵值法是一种客观赋权法,它根据来源于客观体系的信息,通过分析各指标间的联系程度及指标所提供的信息量来客观地决定指标的权重,从而在一定程度上避免层次分析法存在的主观因素带来的偏差<sup>[4]</sup>。在已经确定育种目标的前提下,为了选择一个理论上最佳的选择模式,需要通过定量分析进行更准确地选择。现通过数学统计方法层次分析法(AHP)和熵值法对此进行了探索,以期为今后的育种工作提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验在西北农林科技大学苹果试验站杂交育种圃进行,试材为2002年短枝“富士”×“粉红女士”杂交的216株F<sub>1</sub>代实生苗,2003年5月上旬按1m×2m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 项目测定

调查项目测定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》<sup>[5-6]</sup>。根据果实表色和底色的变化及果实质地、风味和香气等生理变化决定果实成熟期。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(%),用费林试剂法测定全糖含量(%<sup>[7]</sup>)。糖酸比:K=S1/S2,S1:果实含糖量,S2:果实含酸量。果型指数:F=a1/a2,a1:果实横径,a2:果实纵径。剩余10个果实,采后立即品尝鉴定果肉质地、果肉粗细、风味、香气。

表1 果实性状评价指标及评分标准

评价指标 Evaluation indices	亲本 Parents		分级标准 Grading criteria				
	母本 Female parent	父本 Male parent	9 Nine	7 Seven	5 Five	3 Three	1 One
色泽 Color	浓红色 Deep red	粉红色 Soft red	粉红色 Soft red	鲜红色 Bright red	浓红色 Deep red	淡红色 Faint red	非红色 Not red
果形 Fruit shape	偏果严重 Partial fruit	高桩端正 High pile	高桩端正 High pile	高桩 High pile	中间型 Middle	偏平 Partial flat	偏果严重 Partial fruit
果形指数 Fruit shape index	0.88	0.93	>0.930	0.914~0.930	0.897~0.913	0.880~0.896	<0.88
大小 Size	大果型 Large fruit	小果型 Small fruit	大果型 Large fruit	中大型 Middle and large fruit	中果型 Middle fruit	中小型 Middle and small fruit	小果型 Small fruit
单果重 Single weight/g	272	175	>272	241~272	208~240	175~207	<175
光洁度 Smooth finish	平滑有光泽 Smooth and glossy	平滑有光泽 Smooth and glossy	平滑有光泽 Smooth and glossy	平滑无光泽 Smooth and un-glossy	中 Middle	粗糙有光泽 Rough and glossy	粗糙无光泽 Rough and un-glossy
果锈分布比例 Fruit rust ratio/%	无 No 0	轻 Light <5	无 No 0	轻 Light <5	中 Middle 5~10	较重 Severer 10.1~15	重 Severe >15.1
可溶性固形物含量 Soluble solid content/%	中 Middle 14.60	较低 Lower 12.50	高 High >17	较高 Higher 15.1~17.0	中 Middle 13.1~15.0	较低 Lower 11~13	低 Low <11
总糖含量 Totle sugar content/%	中 Middle 13.47	较低 Lower 11.28	高 High >16	较高 Higher 14.1~16.0	中 Middle 12.1~14.0	较低 Lower 10~12	低 Low <10
可滴定酸含量 Titratable acid content/%	低 Low 0.28	高 High 0.62	低 Low <0.28	较低 Lower 0.28~0.39	中 Middle 0.40~0.51	较高 Higher 0.52~0.62	高 High >0.62
风味 Flavor	酸甜 Acid and sweet	甜酸 Sweet and acid	甜 Sweety	酸甜 Acid and sweet	酸甜适中 Middle	甜酸 Sweet and acid	酸 Acid
糖酸比 Sugar acid ratio	48.11	18.19	>60.00	45.1~60.00	30.10~45.00	15.10~30.00	<15.00
质地 Texture	酥脆 Crisp fragrant	硬脆 Hard and brittle	硬 Hard	硬脆 Hard and brittle	中 Middle	酥脆 Crisp fragrant	软 Soft
硬度 Hardness	9.16	9.60	>9.66	9.51~9.65	9.26~9.50	9.01~9.25	9.00
肉质 Fleshy	中间型 Intermediate type	中间型 Intermediate type	细 Fine	中细 Middle fine	中 Middle	中粗 Middle rough	粗 Rough
果汁含量 Fruit juice content	高 High	高 High	高 High	中高 Middle high	中 Middle	中低 Middle low	低 Low
出汁率 Juice yield/%	74.6	72.1	>70	58~70	44~57	30~43	<30%

## 2 结果与分析

### 2.1 评价指标筛选及量化分级

目前,筛选指标的方法主要有频度分析法、理论分析法和专家咨询法等<sup>[8]</sup>。该试验采取3种方法的综合,即首先采取频度分析法,全面收集有关苹果性状评价的相关资料及研究文献,选取其中使用频度较高的指标;同时结合亲本性状及育种目标进行分析、比较综合,在此基础上,采用专家咨询法对指标进行调整,如果有1/2的专家认为某项指标不重要,该指标即被淘汰,有1/3的专家认为某项指标不重要,则将其并入性质相近的指标中,经过第2轮专家咨询,直到2/3的专家认同,列入指标体系,形成苹果杂交

后代综合评价指标体系。该试验根据亲本性状,在调查研究基础上,采用5级评分制对选择指标实行量化分级,每个指标确定相应的评分标准,对于难以量化的指标先进行定性评比,然后进行量化处理(表1)。

### 2.2 数学模型的建立

筛选出来的指标在综合评价时的作用是不均等的,各指标的贡献大小可以通过采用层次分析法和熵值法确定权重来表达。

由表2可知,整个评价指标体系分3层,目标层A:为综合评价;准则层(C1、C2),包括评价的二大方面,即外观品质和内在品质;指标层(P1、P2、...、P12):隶属于上一个层次,是对综合评价有意义的性状指标。

表2 苹果果实性状评价指标层次结果

苹果果实性状综合评价 A The evaluation of apple fruit trait A												
目标层 Target layer	外观品质 C1 Exterior quality C1						内在品质 C2 Inner quality C2					
指标层 Index layer	色泽 P1 Color	果形 P2 Fruit shape	大小 P3 Size	光洁度 P4 Smooth finish	果锈 P5 Fruit rust	可溶性固形物 P6 Soluble solid	总糖 P7 Totle suger	可滴定酸 P8 Titratable acid	糖酸比 P9 Sugar acid ratio	硬度 P10 Hardness	肉质 P11 Fleshy	果汁含量 P12 Fruit juice content

构造判断矩阵采用1~9比率标度法<sup>[9]</sup>对以上层次模型构造判断矩阵(表3)。矩阵 $C_{ij}$ 表示相对于A而言, $C_i$ 和 $C_j$ 的相对重要性。通常取1、2、...、9及它们的倒数作为标度,其标度含义见表4。

表3 判断矩阵

A	$C_1$	$C_2$	...	$C_n$
$C_1$	$C_{11}$	$C_{12}$	...	$C_{1n}$
$C_2$	$C_{21}$	$C_{22}$	...	$C_{2n}$
M	M	M		M
$C_n$	$C_{n1}$	$C_{n2}$	...	$C_{nn}$

表4 标度及含义

标度 Scale	含义 Concept
1	2个指标相比,具有同等重要程度 Both indexes are equally importance
3	2个指标相比,1个指标比另1个指标稍微重要 For the comparison of two indexes,one is slight importance than the other
5	2个指标相比,1个指标比另1个指标明显重要 For the comparison of two indexes,one is obvious importance than the other
7	2个指标相比,1个指标比另1个指标非常重要 For the comparison of two indexes,one is more importance than the other
9	2个指标相比,1个指标比另1个指标极端重要 For the comparison of two indexes,one is extremely important than the other
2,4,6,8	取上述两相邻判断的中值 Taken the adjacent judged median

任何判断矩阵都应满足

$$C_{ij} = 1/C_{ji} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n).$$

判断矩阵中的指标数值根据表1的判断决策打分,得出目标层A相对于准则层 $C_1$ 、 $C_2$ , $C_1$ 、 $C_2$ 相对于 $P_i$ 的判断矩阵。通过矩阵分析计算特征向量(W)及特征根 $\lambda_{max}$ 。由此计算出各指标的权重值,形成评价的基础。

2.2.1 用AHP法确定各指标主观权重( $\omega_i$ ) 判断矩阵A-C(相对于总目标而言,各准则层之间相对重要性的比较)。 $\lambda_{max} = 2.0391, CI = 0.0391, RI = 0.00, CR = 0 < 0.10$ (表5)。

表5 1~11阶RI值

A	$C_1$	$C_2$	W
$C_1$	1	1/7	0.1129
$C_2$	7	1	0.2634

判断矩阵 $C_1$ - $P_1 \sim 5$ (相对于外观品质而言,各指标之间相对重要性的比较)。 $\lambda_{max} = 5.4016, CI = 0.1004, RI = 1.12, CR = 0.0896 < 0.10$ (表6)。

表6 1~11阶RI值

$C_1$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	W
$P_1$	1	7	9	4	1/3	0.3942
$P_2$	1/7	1	5	3	1/2	0.1356
$P_3$	1/9	1/5	1	2	2	0.2177
$P_4$	1/4	1/3	1/2	1	5	0.0816
$P_5$	3	2	1/2	1/5	1	0.0453

判断矩阵 $C_2$ - $P_6 \sim 12$ (相对于内在品质而言,各指标之间相对重要性的比较)。 $\lambda_{max} = 7.6153, CI = 0.1026, RI = 1.32, CR = 0.0777 < 0.10$ (表7)。

表 7 1~11 阶 RI 值

Table 7 The RI value of 1~11 grades

C2	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	W
P6	1	1/5	1/7	1/6	5	1/7	3	0.0651
P7	5	1	1/9	1/5	3	1/6	1/5	0.0832
P8	7	9	1	1/8	1/4	1/7	1/3	0.1907
P9	6	5	8	1	7	1/5	2	0.3274
P10	1/5	1/3	4	1/7	1	1/2	3	0.0428
P11	7	6	7	5	2	1	1/5	0.1545
P12	1/3	5	3	1/2	1/3	5	1	0.0311

利用同一层次中所有层次单排序的结果,通过 APH 计算即二级指标 P 相对于总指标 A 的权重向量(表 8),通过公式(1)进行一致性检验:

$$CR = \frac{\sum_{i=1}^n a_i CI_i / \sum_{i=1}^n a_i RI_i}{\frac{0.1129 \times 0.1004 + 0.2634 \times 0.1026}{0.1129 \times 1.12 + 0.2634 \times 1.32}} \quad (1),$$

$$= 0.0809 < 0.10.$$

说明总排序的结果具有满意的一致性。权重  $\omega_i = \{0.2245, 0.1641, 0.0974, 0.0433, 0.0371, 0.0162, 0.0324, 0.0503, 0.0677, 0.0412, 0.1046, 0.0185\}$  可作为果实性状综合评价最终的决策依据。

表 8 各指标主观权重

Table 8 The subjective weight of each index

层次	C1	C2	权重
P	0.1129	0.2634	$\omega_i$
P1	0.3942	—	0.2245
P2	0.1356	—	0.1641
P3	0.2177	—	0.0974
P4	0.0816	—	0.0433
P5	0.0453	—	0.0371
P6	—	0.0651	0.0162
P7	—	0.0832	0.0324
P8	—	0.1907	0.0503
P9	—	0.3274	0.0677
P10	—	0.0428	0.0412
P11	—	0.1545	0.1046
P12	—	0.0311	0.0185

2.2.2 用熵值法确定各指标客观权重( $\theta_i$ ) 熵值法是通过以下 4 个步骤确定各指标权重:建立初始指标数据矩阵;指标数据矩阵标准化;计算评价指标熵值;指标熵值向权重值的转换。根据表 1 评分标准,得到各杂交后代单项评价结果。由于评价指标的数值具有不同的量纲和数量级,没有可比性,需要做标准化处理,可以直接采用归一处理法对原始值进行标准化,见公式(2)。指标熵值计算见公式(3)。指标熵值向权重值的转换见表 8。

$$P_{ij} = r_{ij} / \sum_{j=1}^n r_{ij} \quad (2),$$

式中: $P_{ij}$  = 原始指标标准化值; $r_{ij}$  = 原始指标分值; $i = 1, 2, \dots, m$ , 表示评价指标的个数; $j = 1, 2, \dots, n$ , 表示评价杂交后代的个数。

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m \ln P_{ij} \quad (3),$$

式中: $E_j$  = 第  $j$  项指标的信息熵; $k$  (常数) =  $1/\ln n$ ;  $i = 1, 2, \dots, m$ , 表示评价指标的个数; $j = 1, 2, \dots, n$ , 表示评

价杂交后代的个数。

$$\theta_i = (1 - E_i) / \sum_{j=1}^n (1 - E_j) \quad (0 \leq \theta_i \leq 1) \quad (4),$$

式中: $\theta_i$  = 第  $j$  项指标的权重; $i = 1, 2, \dots, m$ , 表示评价指标的个数; $j = 1, 2, \dots, n$ , 表示评价杂交后代的个数。

由于熵值法计算复杂,故采用 Matlab 软件进行编程实现计算,得到杂交后代果实性状评价的熵权。 $\theta_i = \{0.0431, 0.1089, 0.1679, 0.0940, 0.0377, 0.0692, 0.0754, 0.0812, 0.0456, 0.0536, 0.1443\}$ 。

2.2.3 计算综合权重( $\lambda_i$ ) 熵权体现了在决策的客观信息中指标的评价作用大小,是客观的权重。而在决策过程中,主观权重可以反映决策者对决策指标的偏好。通过层次分析法得到  $m$  个指标的主观权重( $\omega_i$ ),结合熵权( $\theta_i$ ),按照公式(5)得到杂交后代果实性状选择的综合权重( $\lambda_i$ )(表 9)。

$$\lambda_i = \theta_i \omega_i / \sum_{j=1}^n \theta_j \omega_j \quad (5),$$

式中: $i = 1, 2, \dots, m$ , 表示评价指标的个数; $j = 1, 2, \dots, n$ , 表示评价杂交后代的个数。

表 9 评价指标综合权重

Table 9 The comprehensive weight of evaluated index

评价指标	$\omega_i$	$\theta_i$	$\lambda_i$
P1	0.2245	0.1942	0.1135
P2	0.1641	0.1056	0.0941
P3	0.0974	0.0577	0.0308
P4	0.0433	0.0816	0.0216
P5	0.0371	0.0453	0.0237
P6	0.0162	0.0651	0.0133
P7	0.0324	0.0832	0.0254
P8	0.0503	0.1907	0.0847
P9	0.0677	0.3274	0.1543
P10	0.0412	0.0428	0.0294
P11	0.1046	0.1545	0.0846
P12	0.0185	0.0311	0.0084

2.2.4 综合评价及排序 采用线性加权综合法(SAW),计算杂交后代的综合评价价值见公式(6):

$$Y_j = \sum_{i=1}^m (\lambda_i r_{ij}) \quad (6),$$

式中: $Y_j$  = 第  $j$  个杂交后代综合评价价值; $r_{ij}$  = 原始指标分值; $i = 1, 2, \dots, m$ , 表示评价指标的个数; $j = 1, 2, \dots, n$ , 表示评价杂交后代的个数。根据综合评价价值  $Y_j$  进行适宜性排序(表 10)。

表 10 杂交后代综合得分值及其排序

Table 10 The comprehensive value and sequence of hybrid offsprings

综合排序	$Y_j$	杂交后代编号
Comprehensive sequencing		The number of hybrid offsprings
1	5.026	26
2	5.024	78
3	5.016	142
.	.	.
.	.	.
.	.	.
214	0.011	55
215	0.009	11
216	0.004	204

### 3 结论与讨论

苹果杂交后代果实性状综合选择的适宜性评价与多种因子有关,属于多指标评价系统,为便于操作和计算,评价模型采用线性加权综合法(SAW)进行综合评价<sup>[10-11]</sup>。确定参评因子的权重主要有2种方式,一是数学计算,一般采用回归分析法、主成分分析法、层次分析法、模糊综合评价法、相关分析法、灰色系统方法<sup>[12-13]</sup>;二是利用专家知识系统。刘玉莲等<sup>[14]</sup>利用数学计算对樱花品种园艺学性状进行了综合评价;陈仲芳等<sup>[15]</sup>利用层次分析法综合评价了湖北省部分桂花品种。试验尝试利用层次分析法和熵值法相结合确定综合权重,将216个杂交后代排序选择,结果基本上与专家意见、实地调查结果相一致。既体现决策者的主观判断,又能反映客观的决策信息。

育种目标不同,亲本选择不同,评价的目的不同,对每个指标的评分标准及重视程度也就不同,评价结果就会有所差异。因此在评价中要根据亲本的特征、实地调查杂交后代性状变异幅度,建立自己的性状选择标准。刘龙昌等<sup>[16]</sup>和韦新良等<sup>[17]</sup>在研究植物品种综合评价方法时,均建立了自己的评价标准。在苹果育种上,Visser T等<sup>[18]</sup>对杂交后代果实性状评价选择做了研究。试验采用层次分析法和熵值法将复杂的品种评价工作归结为简单的数字比较,在苹果杂交后代果实性状评价上,既体现了双亲果实性状的优点,又将外观品质和内在品质有机结合,定性指标和定量指标有机结合,使评价模式简单易行,一目了然,避免了主观不一致性的影响,使结果更趋客观,证明了此模型应用于杂交后代果实性状综合评价是适用的。

### 参考文献

- [1] 束怀瑞. 苹果学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996.
- [2] Brown S, Maloney K. Recent Advances in Apple Breeding, Genetics and New Cultivars[J]. New York: Fruit Quarterly, 2005, 13(1): 3-5.
- [3] Saaty T L. The Analytic Hierarchy Process [M]. New York: McGraw-Hill Inc, 1980.
- [4] 王靖, 张金锁. 综合评价中确定权重向量的几种方法比较[J]. 河北工业大学学报, 2001, 50(2): 52-57.
- [5] Secretariat IBPGR. Peach Descriptors [M]. Rome: IBPGR, 1984: 301.
- [6] 蒲富慎. 果树种质资源描述符 [M]. 北京: 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] 吕香亭. 综合评价指标筛选方法综述 [J]. 合作经济与科技, 2009 (6): 54.
- [9] 赵焕臣, 许树柏. 层次分析法 [M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [10] 苏为华. 多指标综合评价理论与方法问题研究 [D]. 厦门: 厦门大学, 2000.
- [11] 余华银, 李超, 黄萍. 熵值法在 Excel 中的 VBA 实现 [J]. 统计与分析, 2004(3): 12-14.
- [12] 郭亚军. 综合评价理论、方法及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2007: 16-18.
- [13] 许树柏. 实用决策方法-层次分析法原理 [M]. 天津: 天津大学出版社, 1986.
- [14] 刘玉莲, 殷学波. 樱花品种园艺学性状的综合评价 [J]. 江苏农学院学报, 1996, 17(2): 39-43.
- [15] 陈仲芳, 张霖, 尚富德. 利用层次分析法综合评价湖北省部分桂花品种 [J]. 园艺学报, 2004(6): 825-828.
- [16] 刘龙昌, 尚富德, 向其柏. 植物品种综合评价方法-以桂花为例 [J]. 河南大学学报(自然科学版), 2003, 33(1): 15-17.
- [17] 韦新良, 马俊, 刘恩斌, 等. 生态景观林树种选择适宜性评价技术研究 [J]. 西北林学院学报 2008, 23(6): 207-212.
- [18] Visser T, Verhaegh J 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.

## Study on Comprehensive Selection of Fruit Characters in Apple Progenys by the Method of Analytic Hierarchy Process and Entropy

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

(College of Horticulture, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100)

**Abstract:** Based on the several year average characters and expected breeding goals of 'Fuji' × 'Pinklady', the selective standards of filial generation were evaluated by the method of analytic hierarchy process and entropy. The results showed that a set of twelve characters for selection such as weight of single fruit, index of fruit shape, firmness and so on, were formulated as the suitability indicators of hybrids. A five-graded method was adopted to quantitatively evaluate each index of hybrid and hierarchic analysis as well as adopted to determine weight of each index. A set of indices as well as quantitative model for evaluating the fruit characters of hybrids were developed. The practice proved that this model was useful for apple breeding.

**Key words:** apple; hybrid progeny; comprehensive selection; analytic hierarchy process; entropy method