

数学模型在金花梨果实品质评价上的应用

张万琴^{1*}, 刘遵春¹, 包东娥¹, 廖明安²

(1. 河南科技学院, 河南新乡 453003; 2. 四川农业大学林学院园艺学院, 四川雅安 625014)

摘要: 采用层次分析法, 对金花梨及其 12 个变异单系的果实品质进行了综合评价, 明确了最优品种。以参评品种的糖酸比、总糖、总酸、可溶性固形物、vC、果形指数和单果重等 7 个因素为评价标准, 从品质的角度筛选出了表现优良的几个品系。

关键词: 金花梨; 层次分析法; 果实品质

中图分类号: S661.2

文献标识码: A

文章编号: 1004 1389(2006) 04 0188 04

Application of Mathematical Model in the Evaluation of Jinhua Pear Quality

ZHANG Wan qin^{1*}, LIU Zun chun¹, BAO Dong e¹ and LIAO Ming an²

(1. He'nan Institution of Sci Tech, Xinxiang He'nan 453003, China; 2. Sichuan Agriculture University, Ya'an Sichuan 625014, China)

Abstract: Using the Analytic Hierarchy Process, the fruit quality of Jinhua pear and its 12 variation strains were integratively evaluated, and the best variation strain was defined. Based on seven traits of Jinhua pear fruit quality (sugar acid ratio, total sugar, total acid, dissolved substance, vC, fruit shape index and fruit weight), several variation strains had been filtrated, which were fine.

Key words: Jinhua pear; Analytic Hierarchy Process; Fruit quality

金花梨是四川省梨的主栽品种, 富含蛋白质、脂肪、糖、维生素等多种人体所必需的营养成分。目前在四川省的金川、汉源、雅安、成都等地已大量栽培, 占四川省梨栽培总面积的 30% 以上^[1]。但是在大面积栽培过程中, 金花梨逐渐表现出结果偏迟、产量不稳定、品质下降等多种退化现象^[2], 急需对其进行提纯选优, 以满足生产的需要。品质评价是果品选优的重要环节, 以往多数采用对影响品质的各主要因素进行描述和打分相结合的办法来评价果实品质的优劣, 这种方法虽简单易行, 但由于打分标准不统一, 这往往会影响到果实品质构成因素在评价中的效果^[3]。本试验采用定性定量相结合的层次分析法, 通过构造两两比较的判断矩阵来确定不同因素对果实品质优劣影响的权重, 从而滤出了偶然因素决定的不同人认识上的差异。用此方法对金花梨及其 12 个

变异单系的果实品质进行综合评价, 使所得结果更加科学、可靠。

1 材料与方法

供试品种为金花梨中表现较好的 12 个单系 (J₁、J₃、J₄、J₅、J₆、J₈、J₁₀、J₁₃、J₁₄、J₁₅、J₁₆、J₁₈), 以金花梨作对照 (CK, 视为一个单系)。每个品种随机取 10 个果实作分析样品。用手持折光仪测可溶性固形物, 用斐林试剂滴定法测总糖含量, 用 2, 6 二氯酚 (2, 6 D) 法测 vC 含量, 用 NaOH 中和滴定法测总酸的含量。

2 建立数学模型

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, 简称 AHP) 是由美国学者萨蒂最早提出的一种定性与定量分析相结合的多目标评价决策方法。它把

收稿日期: 2005 12 19 修回日期: 2006 02 10

作者简介: 张万琴 (1963 -), 女, 河南新乡人, 副教授, 研究方向为应用数学。

* 通讯作者, 电话: 13937339637, E-mail: sxzwq@126.com

复杂问题分成若干组成因素, 又将这些因素按支配关系分组形成递阶层次结构, 然后将这些因素用两两比较的方法确定层次中诸因素的相对重要性, 再综合决策者的判断, 确定方案中相对重要性的总排序^[4]。

2.1 层次分析法步骤

2.1.1 建立递阶层次结构 根据对问题的了解和初步分析, 将研究对象所含因素按属性分组, 以形成不同层次。同一层次的因素作为准则, 对下一层次的某些元素起支配作用, 同时它又受上一层次元素支配, 这种从上到下的支配关系形成了一个递阶层次。

表 1 比例标度法及含义

Table 1 The proportion scale method and significance

标度(a_{ij})	含义
Normal scale	Significance
1	i 因素与 j 因素的影响相同
3	i 因素比 j 因素的影响稍重要
5	i 因素比 j 因素的影响明显重要
7	i 因素比 j 因素的影响强烈重要
9	i 因素比 j 因素的影响极端重要
2, 4, 6, 8	i 因素与 j 因素的影响之比在上述两个相邻等级之间
$\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \dots, \frac{1}{9}$	j 因素与 i 因素的影响之比为 $a_{ji}, a_{ji} = 1/a_{ij}$

2.1.2 构造两两比较判断矩阵 针对上一层的某元素, 在下一层中两两元素进行相对重要性的

判断并将其量化, 从而构造矩阵形式, 即为判断矩阵。判断元素间重要程度的衡量尺度见表 1。

2.2 权重计算方法

2.2.1 计算权重 设 m 阶判断矩阵为:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \dots & a_{mm} \end{bmatrix} = A(a_{ij})$$

2.2.2 利用 MATLAB 数学软件 求矩阵的最大特征根 λ_{\max} 及对应的特征向量 $T = (t_1, t_2, \dots, t_m)$, 再对 T 进行归一化, 即求得指标 c_i 的权重系数 w_j :

$$w_j = t_j / \sum_{k=1}^m t_k, j = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

2.2.3 一致性检验 权重系数是否合理, 需要对判断矩阵进行一致性检验, 检验采用以下公式:

$$CI = (\lambda_{\max} - m) / (m - 1) \quad (2)$$

$$CR = CI / RI \quad (3)$$

式中: CR 为判断矩阵的随机一致性比率; m 为判断矩阵的阶数; CI 为判断矩阵的一般一致性指标; RI 为判断矩阵的平均随机一致性指标; RI 的具体值见表 2。

当随机一致性比率 $CR = CI / RI < 0.10$ 时, 则认为判断矩阵 A 具有较满意的一致性, 否则就应当重新调整判断矩阵 A , 直至具有满意的一致性。

2.2.4 层次排序及结果分析 在满足一致性的前提下, 进行层次排序, 根据分析目标做出选择。

表 2 1~15 阶矩阵 RI 值

Table 2 The 1~15 rank matrix RI value

m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	14	15
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.54	1.56	1.58	1.59

3 结果与分析

3.1 建立综合评价模型结构

根据表征金花梨果实品质指标的基本性质、指标之间的相互关联影响以及层次隶属关系, 建立如图 1 所示的金花梨变异单系综合评价模型结构图。该试验的层次结构分为三层: 第一层目标层(O)为果实品质综合排序; 第二层准则层(C)为影响果实品质的 m 个因子, 记为 $C = (c_1, c_2, \dots, c_m) = (\text{糖酸比}, \text{总糖}, \text{总酸}, \text{可溶固形物}, \text{vC}, \text{果形指数}, \text{单果重})$, $m = 7$; 第三层方案层(P)为 n 个品种, 记为 $P = (p_1, p_2, \dots, p_n) = (J_1, J_3, J_4, J_5, J_6, J_8, J_{10}, J_{13}, J_{14}, J_{15}, J_{16}, J_{18}, \text{CK})$, $n = 13$ 。

3.2 确定参考数列

供试金花梨各变异单系果实品质性状平均值见表 3。

3.3 构造判断矩阵及一致性检验

通过 c_i 与 c_j 两两比较, 构造判断矩阵 $A: A = (a_{ij})_{m \times m}$, a_{ij} 为 c_i 和 c_j 对目标 O 的影响程度之比。根据美国学者萨蒂等人提出的层次分析法理论, 按表 1 的方法来度量 a_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, m$), 其中 a_{ji} 取 a_{ij} 的倒数。在梨果实品质分析方面糖酸比最为重要, 总糖和总酸较为重要, 可溶性固形物和 vC 含量次之, 果形指数和单果重最弱。例如 $a_{17} = 5$, 表示糖酸比比果形指数对梨果实品质的影响明显重要, 所以 $a_{17} = 5$ 。

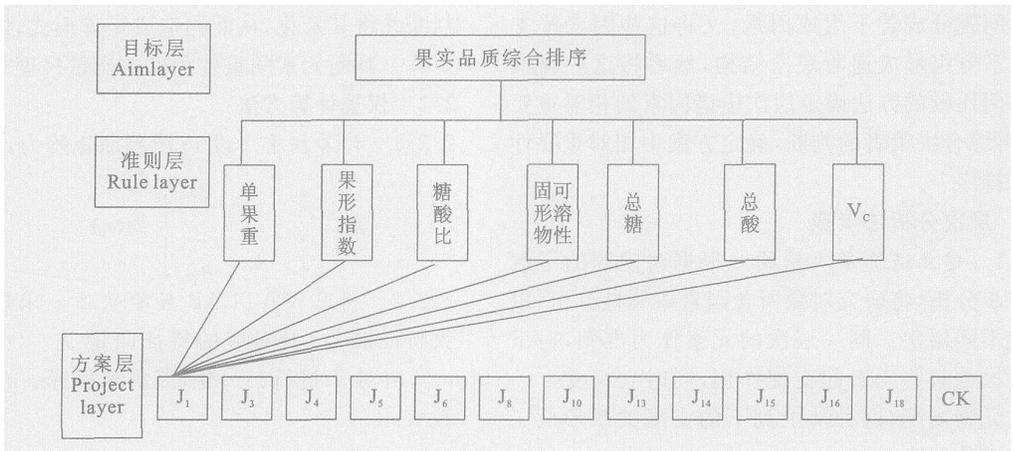


图 1 金花梨变异单系综合评价层次递阶结构图

Fig. 1 The integrative evaluation hierarchy chart of Jinhua pear variation strains

表 3 金花梨各变异单系果实品质性状平均值

Table 3 The mean of main quality traits for Jinhua pear variation strains

编号 Number	糖酸比 Sugar acid ratio	总糖 Total sugar / (g · 100g ⁻¹)	总酸 Total acid / %	可溶性固形物 TSS / %	vC (mg · 100g ⁻¹)	果形指数 Fruit shape index	单果重 Weight / g
J ₁	75.54	7.10	0.094	8.81	1.22	1.12	311.3
J ₃	71.52	7.08	0.099	8.45	1.34	1.16	286.3
J ₄	80.45	7.15	0.089	8.90	1.38	1.13	313.7
J ₅	66.45	7.11	0.107	8.29	1.10	1.13	288.7
J ₆	77.17	7.10	0.096	7.77	1.26	1.17	294.5
J ₈	64.55	7.10	0.110	8.78	1.07	1.07	261.0
J ₁₀	69.33	7.41	0.104	8.74	1.05	1.14	286.3
J ₁₃	77.83	7.16	0.092	8.59	1.21	1.15	293.5
J ₁₄	83.72	7.40	0.086	8.69	1.03	1.16	273.5
J ₁₅	53.33	6.72	0.126	7.67	0.98	1.14	264.9
J ₁₆	73.29	6.89	0.094	7.47	1.31	1.21	274.2
J ₁₈	76.56	7.12	0.093	9.36	1.39	1.18	263.0
CK	69.70	7.38	0.103	8.79	1.26	1.14	276.9

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 & 3 & 3 & 5 & 5 \\ 1/2 & 1 & 1 & 2 & 2 & 3 & 3 \\ 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1 & 1 & 2 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1 & 1 & 2 & 2 \\ 1/5 & 1/3 & 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1 & 1 \\ 1/5 & 1/3 & 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

利用 MATLAB 数学软件求矩阵的最大特征根 λ_{max} 和对应的特征向量 T, 其中 $\lambda_{max} = 7.0257$, $T = (0.720, 0.412, 0.412, 0.232, 0.232, 0.130, 0.130)$ 。

由式(2)得 $CI = (7.0257 - 7) / (7 - 1) = 0.004283$ 。

因矩阵 A 为 7 阶矩阵, $m = 7$, 查表 2 得 $RI = 1.32$, 由式(3)得 $CR = 0.004283 / 1.32 = 0.0032 < 0.10$, 所以矩阵 A 具有较满意的一致性。

3.4 特征向量的归一化处理及权重的计算

根据式(1)对特征向量 T 进行归一化处理,

得权重集合 $W = (w_1, w_2, \dots, w_m)$, 其中 $w_1 = t_1 / \sum_{i=1}^m t_i = 0.720 / (0.720 + 0.412 + 0.412 + 0.232 + 0.232 + 0.130 + 0.130) = 0.318$, 0.318 即为 c1 在目标衡量中的权重。同理得 $W = (0.318, 0.181, 0.181, 0.103, 0.103, 0.057, 0.057)$, 这 7 个数依次为糖酸比、总酸、总糖、可溶性固形物、vC、果形指数和单果重在目标衡量中的权重。

3.5 重新量化试验数据并计算综合得分

将第 i 个品种的 Cj 个因子的取值记为 b_{ij} , 把表 3 中的数据记为矩阵 B: $B = (b_{ij})_{n \times m}$ 。通过对数据的重新量化直接计算第 i 个品种在第 j 个准则中的得分, 得矩阵 D: $D = (d_{ij})_{n \times m}$, 其中 $d_{ij} = b_{ij} / \max\{b_{1j}, b_{2j}, \dots, b_{nj}\}$, 则 d_{ij} 即为第 i 个品种在第 j 个准则中的得分, 再根据前面的分析过程得矩阵 E: $E = D_{(n \times m)} \times W_{(m \times 1)} = (e_i)_{n \times 1}$, e_i 即为该品种的综合评比成绩^[3]。结果见表 4。

表 4 试验数据重新量化数据表

Table 4 The new data chart of the experimental data

品种权重 Variety power scale	糖酸比 Sugar acid ratio	总糖 Total sugar ($\mu\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$)	总酸 Total acid/ $\%$	可溶性 固形物 TSS/ $\%$	vC ($\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$)	果形指数 Fruit shape index	单果重 Weight /g	综合得分 Ingrate score
J ₁	0.902	0.958	0.915	0.941	0.878	0.926	0.992	0.979
J ₃	0.854	0.955	0.869	0.903	0.964	0.959	0.913	0.955
J ₄	0.960	0.965	0.966	0.951	0.993	0.934	1	1.026
J ₅	0.794	0.960	0.804	0.886	0.791	0.934	0.920	0.900
J ₆	0.922	0.958	0.896	0.830	0.906	0.967	0.939	0.974
J ₈	0.771	0.958	0.782	0.938	0.770	0.884	0.832	0.882
J ₁₀	0.828	1	0.827	0.934	0.755	0.942	0.913	0.926
J ₁₃	0.930	0.966	0.935	0.918	0.871	0.950	0.936	0.990
J ₁₄	1	0.999	1	0.928	0.741	0.959	0.872	1.019
J ₁₅	0.637	0.907	0.683	0.819	0.705	0.942	0.844	0.789
J ₁₆	0.875	0.930	0.915	0.798	0.942	1	0.874	0.953
J ₁₈	0.915	0.961	0.925	1	1	0.975	0.838	0.999
CK	0.833	0.996	0.835	0.939	0.906	0.942	0.883	0.943

3.6 综合排序

由表 4 中综合得分得表 5, 由表 5 可知各品种按品质优劣排序依次为: J₄、J₁₄、J₁₈、J₁₃、J₁、J₆、J₁₆、J₃、CK、J₁₀、J₅、J₈、J₁₅。其中 J₄、J₁₄、J₁₈ 和 J₁₃ 表现较

好, 具有较高的经济价值, 可在四川省大面积推广, 而 J₁₀、J₅、J₈、J₁₅ 表现较差, 可给予淘汰或作为授粉树。

表 5 综合排序表

Table 5 The integrative compositor chart

品种 Variety	J ₄	J ₁₄	J ₁₈	J ₁₃	J ₁	J ₆	J ₁₆	J ₃	CK	J ₁₀	J ₅	J ₈	J ₁₅
得分 Score	1.03	1.02	1.00	0.99	0.98	0.97	0.95	0.95	0.94	0.93	0.90	0.88	0.79
排序 Taxis	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

4 讨论

4.1 果品品质评价和评选以往都是以人们的经验为基础进行评议, 由于评选中非定量因素较多, 且各因素的相对重要性不等, 因此评议时往往出现不同的人得出不同结果的现象。笔者采用定性与定量相结合的层次分析法, 通过构造两两比较的判断矩阵来确定不同因素对果实品质好坏的影响的权重, 滤出偶然因素决定的不同人认识上的差异, 从而使对数据的分析更加合理、更加科学。

4.2 在试验数据中, 各因素的取值单位不一样, 为合理计算各因素的综合成绩, 采用定性与定量相结合的方法: 即取其值与其它品种中该因素的最大值的比值作为该值的定性描述, 同时也可作为其定量描述, 从而使所有因素都有统一的度量单位。该方法准确直观地反映出参评因素的特征, 直接表现出不同单系的优劣, 简单实用。

4.3 通过对金花梨及其 12 个变异单系果实品质的层次分析可以看出, J₄、J₁₄、J₁₈ 和 J₁₃ 表现最好, 可以大面积推广, 而 J₁₀、J₅、J₈、J₁₅ 表现较差, 可给予淘汰。

参考文献:

- [1] 张志鹏主编. 四川梨志[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1991.
- [2] 吕秀兰, 廖明安, 王永清. 干热地区金花梨生产主要问题及无公害栽培技术[J]. 北方园艺, 2001(6): 28~29.
- [3] 弓成林, 郭爱民, 汪小伟, 等. 灰色关联度和层次分析法在葡萄品质评价上的应用[J]. 西南农业学报, 2002(1): 79~82.
- [4] 舒卫萍, 崔远来. 层次分析法在灌区综合评价中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2005(6): 109~111.
- [5] 韩中庚. 数学建模方法及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.