

基于层次分析法的荔枝品类评价

周一辰¹ 李珈言²

(1.南头中学, 深圳 广东 518052, 2.杭州市萧山区第六高级中学, 杭州, 浙江 311261)

摘要: 本文以市面流行的若干品种作为研究对象, 利用层次分析法对其品质进行综合评价, 旨在构建一套科学、系统、可操作的基于 Analytic Hierarchy Process 的荔枝品种综合评价指标体系, 为荔枝的品质评价、消费者的选择等提供科学依据。通过查阅数据, 利用层次分析法, 从甜度、价格、口感、褐变率等方面对妃子笑、桂味、糯米糍进行综合比较与排序, 为消费者以及果商的选购提供科学依据。根据综合得分, 妃子笑最适于选择, 其次是桂味, 最后是糯米糍。

关键词: 荔枝; 综合评价; 层次分析法

DOI: doi.org/10.70693/rwsk.v1i10.1474

1、背景

荔枝 (*Litchi chinensis* Sonn.) 产于亚热带地区, 为栽培果树, 分布于福建、台湾地区、浙江、广东、广西、海南、四川、重庆等地。荔枝在历史上有“百果之王”等美称, 是中国文化底蕴最为深厚的果品之一。作为我国南方特色热带水果, 荔枝爽甜多汁、清甜而不腻, 深受广大消费者喜爱。

但是荔枝品种众多, 不同荔枝品种特性差异显著, 在风味特性、市场定位及储运适应性上存在系统性差异, 直接影响消费选择与产业效益。目前, 关于荔枝品种的选育与推广尚未形成兼顾全产业链需求的量化评价标准, 现有研究多集中于单一农艺性状分析, 优质商品果的经济价值需通过消费端接受度 (风味/外观)、生产端效益 (价格/产量)、供应链适应性 (贮运损耗) 等多维度集成体现。消费者面对不同品种的荔枝时, 常常难以抉择。

本研究以妃子笑、桂味、糯米糍三大主栽品种作为研究对象, 利用层次分析法对其品质进行综合评价, 旨在构建一套科学、系统、可操作的基于 AHP 的荔枝品种综合评价指标体系, 为荔枝的品质评价、消费者的选择等提供科学依据。

2、研究准备

研究现状。 现有研究多集中于单一农艺性状分析。朱永聪等^[1]研究了优新荔枝品种果实品质风味特征比较; 王银红等^[2]对四个荔枝品种采后低温贮藏品质指标差异分析及评价进行研究; 董晨等^[3]六个荔枝品种的挥发性香气成分比较分析等都对荔枝的单一性状进行了分析与比较, 可以科学准确地表现出各个方面对荔枝品质的影响, 但不够全面。

指标体系。 本次研究主要从四个直接影响人们对荔枝品类选择的因素来进行分析。

(1) 甜度。甜度是荔枝最核心的食用价值。荔枝的糖度 (可溶性固形物含量) 直接影响其风味吸引力, 也是品种差异的关键标志, 不同荔枝间的甜度可以根据总糖含量来进行比较。(2) 价格。价格是影响消费者和果商选购的重要因素之一。而荔枝不同品种之间价格差异巨大, 严重影响了消费者和果商的购买决策。(3) 口感。口感是消费者主要考虑的因素, 是物理性触觉体验, 是质地、结构、汁水、果核形态等的综合反馈, 直接影响到购买决策。(4) 褐变率。褐变率是生物体内褐变反应的程度, 在生物体中对衰老过程、环境适应和食物储存和加工等方面起着重要作用。荔枝是极不耐储的水果, 褐变率能直接反应荔枝的耐贮性。

研究方法。 常用的评价模型有层次分析法、Topsis 法、熵权法等。

熵权法在追求纯客观权重且数据本身能有效区分方案时是首选。但是存在对数据标准化要求高、无法处理不

作者简介: 周一辰 (2008—), 女, 高中, 南头中学;

李珈言 (2008—), 女, 高中, 杭州市萧山区第六高级中学;

通讯作者: 周一辰

确定性,可能影响评估结果的准确性、将各属性视为独立指标,可能忽略重要信息等问题。

TOPSIS 法在权重已明确(无论来源是主观还是客观)且主要基于客观数据进行方案排序时非常有效且直观。但缺点是忽略指标间相互影响且对样本依赖性强。

层次分析法(Antalytic Hierarchy Process,AHP)可用于对无结构特性的系统评价以及多目标、多准则、多时期等的系统评价^[4]。将定性方法与定量方法有机地结合起来,使复杂的系统分解,能将人们的思维过程数学化、系统化,便于人们接受,且能把多目标、多准则又难以全部量化处理的决策问题化为多层次单目标问题,容易为决策者了解和掌握^[5]。当决策的核心价值在于整合人类智慧、处理复杂性和软性因素时,AHP 往往是更优的选择,故本文选取层次分析法进行研究与分析比较。

层次分析法步骤

步骤一、构建层次结构模型^[6]。该体系分为 3 层,分别为目标层(O)、准则层(B)和方案层(C)。

步骤二、构造判断(成对比较打分)矩阵。本次研究利用构建判断矩阵的方法,将各评价指标间的相对重要性进行量化对比。设某层有 n 个因素, $X=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, 要比较它们对上一层某一准则(或目标)的影响程度,确定在该层中相对于某一准则所占的比重^[7]。(即把 n 个因素对上层某一目标的影响程度排序)

上述比较是两两因素之间进行的比较,具体地,采用普遍使用的 1-9 标度法(表 1)评估指标间的相对重要性,用 a_{ij} 表示第 i 个因素相对于第 j 个因素的比较结果,并据此构建出比较判断矩阵。

表 1 1-9 标度法

尺度	含义
1	第 i 个因素与第 j 个因素的影响相同
3	第 i 个因素比第 j 个因素的影响稍强
5	第 i 个因素比第 j 个因素的影响强
7	第 i 个因素比第 j 个因素的影响明显强
9	第 i 个因素比第 j 个因素的影响绝对地强

2,4,6,8 表示第 i 个因素相对于第 j 个因素的影响介于上述两个相邻等级之间。根据 $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$, 不难定义以上各标度倒数的含义。由上述元素构成的矩阵

$$A = (a_{ij})_{n \times n} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

被称为成对比较矩阵。

步骤三、计算某一层下的排序结果及其一致性检验。

通过按行求和归一化法,得到每个因素的相对权重。为确保各指标权重值的科学可靠,必须对每个判断矩阵执行一致性检验。一致性反映的是逻辑思维的连贯性,即判断应具备传递性,例如,若甲远重要于乙,而乙仅略重要于丙,则甲必然重要于丙。否则,判断结果将自相矛盾,需重新评估。在一层中比较因素(即单一层),也必须进行一致性检验,可以判断这些“主观分”有没有自相矛盾。一致性指标 CI 的计算公式为:

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)} \quad (1)$$

其中 λ_{\max} 代表判断矩阵的最大特征值, n 是其阶数。当随机一致性比率 $CR = \frac{CI}{RI}$ 小于 0.1 时(RI 为随机一致性指标),表明该判断矩阵具有可接受的一致性。若 $CR > 0.1$,则必须修正判断值,直到检验通过为止。

步骤四、计算总得分(层次总排序)。确定某层所有因素对于总目标相对重要性的排序权值过程,称为层次总排序,从最高层到最低层逐层进行。

层次总排序的目标是确定某一层所有元素相对于最高层（目标层）的权重顺序。在获得准则层 B 层各元素的权重后，需将这些权重与该准则层 B 层自身对目标层 O 层的权重进行加权计算，从而得出方案层 C 层中所有元素对目标层 O 层的整体重要性排序。

具体计算方法是：将方案层对准则层的权重、准则层对目标层的权重进行综合，使用加权平均公式，计算方案层 C 层的层次总排序，并最终确定方案层对目标层的权重，从而确定各方案的优劣。

设：准则层 B 层 m 个因素 B_1, B_2, \dots, B_m ，对总目标 O 层的排序为： b_1, b_2, \dots, b_m ，方案层 C 层 n 个因素对上层 B 层中因素为 B_j 的层次单排序为 $c_{1j}, c_{2j}, \dots, c_{nj} (j=1, 2, \dots, m)$ ，可得方案层 C 层的层次总排序为

$$C_1: b_1 c_{11} + b_2 c_{12} + \dots + b_m c_{1m}$$

$$C_2: b_1 c_{21} + b_2 c_{22} + \dots + b_m c_{2m}$$

...

$$C_n: b_1 c_{n1} + b_2 c_{n2} + \dots + b_m c_{nm}$$

即 C 层的第 n 个元素对总目标的权值为

$$\sum_{j=1}^m b_j c_{nj} \quad (2)$$

步骤五、层次总排序的一致性检验。为保证最终综合权重的科学合理，层次总排序结果同样需要接受一致性检验。设 C 层 C_1, C_2, \dots, C_n 对上层 (B 层) 中因素 $B_j (j=1, 2, \dots, m)$ 的层次单排序一致性指标为 CI_j ，随机一致性指为 RI_j ，则层次总排序的一致性比率为：

$$CR = \frac{b_1 CI_1 + b_2 CI_2 + \dots + b_m CI_m}{b_1 RI_1 + b_2 RI_2 + \dots + b_m RI_m} \quad (3)$$

当 $CR < 0.1$ 时，表明该总排序具有可接受的一致性，所获得的指标权重是有效的。

3、模型与求解

本研究的层次分析法模型（图 1）。准则层分别为甜度 (B_1)、价格 (B_2)、口感 (B_3) 和褐变率 (B_4)。方案层分别为妃子笑 (C_1)、桂味 (C_2)、糯米糍 (C_3)。妃子笑、桂味、糯米糍这三个荔枝品种是三大主栽品种，也是市面上最常见的品种，本次研究选取这三个品种进行比较与分析评价。

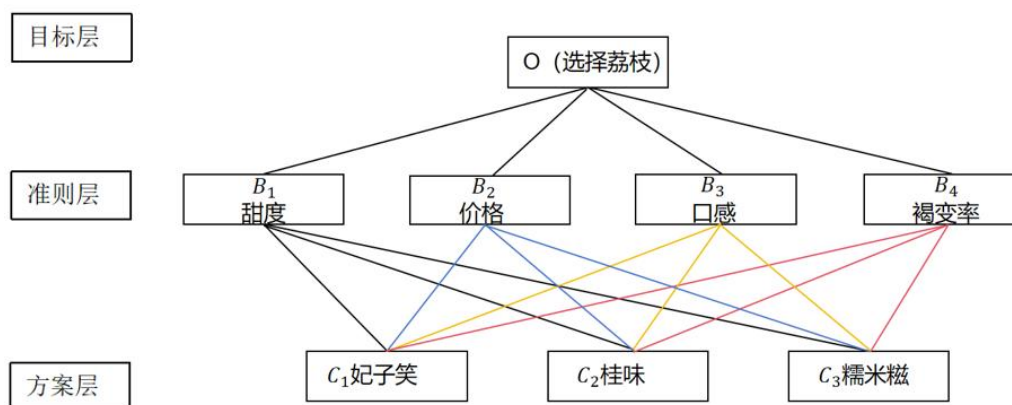


图 1 结构模型

通过甜度、价格、口感、褐变率间的重要程度比较获取比较判断矩阵（见表 2）

计算得 $\lambda_{\max} = 4.0818$, $CI = 0.0273$ ，由于判断矩阵阶数为 4，通过查表可得 $RI = 0.9$ ，则 $CR = \frac{CI}{RI} = 0.0303 < 0.1$ ，符合一致性检验要求。根据判断矩阵计算求解，可获取判断荔枝权向量 $\omega = (0.30, 0.46, 0.15, 0.09)^T$ 。根据分级因素权重向量，比较各因素权重高低，可得排序为价格 > 甜度 > 口感 > 褐变率。

表2 荔枝比较判断矩阵

指标	甜度	价格	口感	褐变率
甜度	1	1/2	3	3
价格	2	1	3	4
口感	1/3	1/3	1	2
褐变率	1/3	1/4	1/2	1

同理,对于妃子笑、桂味、糯米糍三个品种分别就他们的甜度、价格、口感、褐变率进行比较,其中,从甜度来看,总糖含量以桂味(168.39.3) g/kg 最高,糯米糍(154.5±6.3) g/kg 次之,妃子笑(152.2±7.3) g/kg 最低^[1]。在价格上,据网络平台,妃子笑 3.5 至 6.5 元一斤,桂味 15 至 25 元一斤,糯米糍 8 至 15 元一斤。妃子笑果肉脆嫩多汁,核中等大小,桂味果肉爽脆清甜带桂花香,核较小,糯米糍果肉软糯如糍粑,汁水丰盈,核极小。从褐变率来看,妃子笑的褐变指数为 2.250,桂味的褐变指数为 2.417,糯米糍的褐变指数为 4.267^[2]。所以妃子笑更耐储存。比较后得到两两比较矩阵:

$$\text{甜度}BB_1=\begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{3} & 3 \\ 3 & 1 & 5 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{5} & 1 \end{bmatrix}, \text{价格}BB_2=\begin{bmatrix} 1 & 9 & 5 \\ \frac{1}{9} & 1 & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{5} & 3 & 1 \end{bmatrix}, \text{口感}BB_3=\begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ 3 & 1 & 1 \\ 3 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \text{褐变率}BB_4=\begin{bmatrix} 1 & 3 & 9 \\ \frac{1}{3} & 1 & 7 \\ \frac{1}{9} & \frac{1}{7} & 1 \end{bmatrix}$$

对成对比较矩阵 BB_1 、 BB_2 、 BB_3 、 BB_4 可以求层次单排序以及层次总排序的权向量并进行一致性检验,结果如下:

表3 计算层次单排序以及层次总排序的权向量并进行一致性检验表

k	1	2	3	4
ω_{k1}	0.26	0.75	0.142	0.65
ω_{k2}	0.63	0.07	0.429	0.30
ω_{k3}	0.11	0.18	0.429	0.05
λ_k	3.002	3.001	3	3.081
CI_k	0.001	0.0005	0	0.040
RI_k	0.58	0.58	0.58	0.58
CR_k	0.0017	0.0009	0	0.0698

由表3可得,各判断矩阵的CR值均小于0.1,通过一致性检验,说明上述指标的单排序权重结果是可以被接受的。

计算层次总排序权值可得,妃子笑的综合得分为0.5028,桂味的综合得分为0.31255,糯米糍的综合得分为0.18465。对层次总排序进行一致性检验,得 $CR \approx 0.064 < 0.1$,故层次总排序通过一致性检验。比较得分做出决策,妃子笑是第一选择,其次是桂味,最后是糯米糍。排序为妃子笑>桂味>糯米糍。妃子笑胜在成本低且易储存;桂味强于它独特的风味,甜度与口感的得分都很高,但败于高流通成本;糯米糍受制于供应链脆弱性,它褐变率远高于其他两个品种。

4、结论

本研究基于层次分析法构建了涵盖甜度、价格、口感、褐变率四大指标的荔枝品种综合评价体系,由数据可知,妃子笑价格最实惠且易储存,是供应链的最优解,桂味和糯米糍风味佳却存在价格高昂和不易储存的弊端,对妃子笑、桂味、糯米糍进行量化对比,实现了对妃子笑、桂味、糯米糍的综合评价,发现妃子笑的综合得分最高,其次是桂味,最后是糯米糍。此方法有助于消费者进行决策和对荔枝的品质评价,推动消费者与果商进行更理智的采买。

本研究未引入大众评价维度,使得研究结论的评价结果存在一定主观性;此外,模型未覆盖部分典型应用场景,有待进一步完善。后续研究可在本研究基础上,整合模糊综合评价法^[8]、多准则决策分析^[9]、聚类分析^[10]等综合评价方法对模型进行升级,进而为供应链创新与育种导向优化提供理论支撑,最终实现荔枝风味品质与产业经济效益的协同提升。

参考文献:

- [1] 朱永聪,崔子霄,徐晗,等. 优新荔枝品种果实品质风味特征比较[J]. 中国食品学报,2023,23(06):327-338.DOI:10.16429/j.1009-7848.2023.06.033.
- [2] 王银红,张珮,江靖,等.四个荔枝品种采后低温贮藏品质指标差异分析及评价[J].食品工业科技,2019,40(22):288-293+299.DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2019.22.050.
- [3] 董晨,李金枝,王弋,等.六个荔枝品种的挥发性香气成分比较分析[J].南方农业,2024,18(05):8-12.DOI:10.19415/j.cnki.1673-890x.2024.05.002.
- [4] 刘舒,马正兵,于晓丽.基于层次分析法的不同种源桃金娘观赏价值综合评价[J/OL].热带农业科学,1-6[2025-07-18].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1038.s.20250709.0910.004.html>.
- [5] 黄彬惠.基于层次分析法的风力发电场安全综合评价方法研究[J].电气技术与经济,2025,(06):288-290+294.
- [6] 吴汪友,刘伟,姚钟华.一种层次混合量化苹果品质分级的研究[J].中国南方果树,2023,52(01):152-156.DOI:10.13938/j.issn.1007-1431.20220434.
- [7] 荆海峰,丁俊杰.基于层次分析法的水利测雨雷达选址研究[J/OL].水利水电快报,1-10[2025-07-26].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1142.TV.20250725.1449.004.html>.
- [8] Kumar L ,Sleiti K A.An integrated SWOT-fuzzy AHP-fuzzy TOPSIS analysis of various hydrogen energy storage options[J].International Journal of Hydrogen Energy,2025,155150344-150344.
- [9] Marhavilas K P,Delianidis N,Koulinas G, et al.SAFETY ASSESSMENT BY AMALGAMATING MCDM/AHP, HAZOP, DECISION RISK-MATRICES' ANALYSIS, AND FTA, THROUGH A SAFETY'S COLOR-MAPPING VISUALIZATION – APPLICATION TO INDUSTRIAL AND TECHNOLOGICAL SYSTEMS [J].Safety Science,2025,191106941-106941.
- [10] Luo H,Tang J,Zeng Z, et al.Metabolic dynamics of litchi pericarp and pulp during browning: Unraveling differential profiles through temporal clustering and untargeted metabolomics[J].Food Chemistry: Molecular Sciences,2025,11100277-100277.

Litchi category evaluation based on hierarchical analysis method

Zhou Yichen¹, Li Jiayan²

¹ Nantou High School, Shenzhen, Guangdong; ²Xiaoshan 6th High School, Hangzhou, Zhejiang

Abstract: This study selects several popular varieties in the market as the research subjects and utilizes the Analytic Hierarchy Process (AHP) to comprehensively evaluate their qualities, aiming at constructing a set of scientific, systematic, and operable comprehensive evaluation index system of litchi varieties based on the Analytic Hierarchy Process, which will provide a scientific basis for the evaluation of litchi's quality and the selection of the consumers. By reviewing the data and utilizing the hierarchical analysis method, we made a comprehensive comparison and ranking of Feizixiao, Guiwei, and Nuomizhi in terms of sweetness, price, taste, and browning rate, which provides a scientific basis for consumers as well as fruit merchants to choose and buy. According to the comprehensive score, Feizixiao is the most suitable choice, followed by Guiwei, and finally, Nuomizhi.

Keywords: litchi; comprehensive evaluation; hierarchical analysis method