

# 不同品种榛子加工榛子露适宜性评价

周群星, 胡昊, 吕春茂\*, 孟宪军, 于艳奇  
(沈阳农业大学食品学院, 辽宁沈阳 110000)

**摘要:** 为了靶向利用榛子原料资源, 获得更高质量的榛子露产品。从榛子的四大栽培区(北部、中部、南部、干旱及半干旱)收集了共 21 份榛子样品, 按照相同工艺加工成榛子露植物蛋白饮料并测定其感官、理化与营养、加工品质三类指标。结合相关性、主成分分析筛选出榛子露的核心指标 5 项:  $b^*$ 、可溶性固形物、离心沉淀率、脂肪、蛋白质。层次分析确定核心指标权重依次为: 7.198%、10.916%、14.271%、27.657%、39.959%, 从而建立榛子露综合品质评价模型。在综合品质得分基础上通过聚类分析实现数据的最优分割。17 号(南部安徽辽榛 9 号)以 0.92 综合得分排序第一, 北部栽培区的辽榛 3 号表现较佳, 推荐加工榛子露, 干旱栽培区的榛子表现欠佳, 可做其它榛子深加工产品的考虑。上述结果可以为后续企业生产榛子露时, 在榛子原料品种选择和榛树选育上提供理论参考。

**关键词:** 榛子; 植物蛋白饮料; 相关性分析; 主成分分析; 加工适宜性评价

文章编号: 1673-9078(2024)02-213-220

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.2.0171

## Suitability Evaluation of Different Hazelnut Varieties for Hazelnut Milk Production

ZHOU Qunxing, HU Hao, LYU Chunmao\*, MENG Xianjun, YU Yanqi

(College of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110000, China)

**Abstract:** To obtain high-quality hazelnut milk through the efficient utilization of hazelnuts, a total of 21 hazelnut samples were collected from four main cultivation areas (north, central, south, arid, and semi-arid regions) and processed into hazelnut milk using standard processes and procedures. Three index types were determined (sensory, physicochemical and nutritional, and processing quality indices) and five core hazelnut milk indicators were selected by correlation and principal component analysis:  $b^*$ , soluble solids, centrifugal precipitation rate, fats, and proteins. An analytical hierarchy process determined that the weights of these core indicators, which were 7.198%, 10.916%, 14.271%, 27.657%, and 39.959%, respectively. Based on these results, a comprehensive hazelnut milk quality evaluation model was established, and based on the comprehensive quality scores, optimal data segmentation was achieved using cluster analysis. Sample no. 17 (Liaozhen no. 9 from Anhui in southern China) ranked first, with a comprehensive score of 0.92. Liaozhen no. 3 from the north also showed good performance and is recommended for hazelnut milk production. Hazelnuts grown in arid cultivation areas showed poor performances, and they should be considered for further processing to produce other hazelnut products. These results provide a reference for raw material selection and hazelnut cultivation for future hazelnut milk production.

**Key words:** hazelnut; plant-based protein beverage; correlation analysis; principal component analysis; processing suitability evaluation

引文格式:

周群星,胡昊,吕春茂,等.不同品种榛子加工榛子露适宜性评价[J].现代食品科技,2024,40(2):213-220.

ZHOU Qunxing, HU Hao, LYU Chunmao, et al. Suitability evaluation of different hazelnut varieties for hazelnut milk production [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(2): 213-220.

收稿日期: 2023-02-18

基金项目: 辽宁省重点研发计划项目(2020JH2/10200037)

作者简介: 周群星(1996-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 果蔬加工与营养科学, E-mail: sk5thingwork@163.com

通讯作者: 吕春茂(1970-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 果蔬加工与营养科学, E-mail: Syaulcm70@syau.edu.cn

榛子 (*Corylus avellana* L.)，世界“四大坚果”之一，富含多种营养素 (15% 粗蛋白、60% 脂肪、维生素、矿物质等)<sup>[1,2]</sup>。榛子在我国 22 个省区都有种植，多年来培育出众多新品种 (达维、玉坠、辽榛系列等)<sup>[3]</sup>，由于气候等多因素影响，各品种间存在一定的差异性。随着国民生活水平提升，人们对于食物的关注重心偏移到“健康、天然”上。榛子多作为传统的“炒货”销售，产品单一会对榛子产业的规模化形成一定的阻碍。若想进一步挖掘榛子资源的附加值，必须进行深加工处理，其中附加值较高的当数榛子露植物蛋白饮料。

榛子露植物性蛋白饮料相较于牛奶会减少 CO<sub>2</sub> 的排放量，对环境的负面影响小，避免了与宰杀动物相关的伦理问题。有益于“乳糖不耐症”人群、避免因动物蛋白摄入过多导致的“富贵病”等优点<sup>[4,5]</sup>。近年来，多种新生活方式又兴起 (如素食主义、蛋素食主义)<sup>[6,7]</sup>。多重原因导致日常饮用植物蛋白类饮料的消费者越来越多。植物蛋白饮料销量持续上涨，牛奶在西方国家的消费量逐年下降。植物蛋白类饮品备受消费者青睐，市场空前繁荣<sup>[8]</sup>。

适宜的原料是生产优质产品的物质基础。适宜性评价在果蔬、动物源食品等领域都有涉及，国内外多名学者通过加工适宜性研究初步探索出了加工相关产品的专用品种<sup>[9-11]</sup>，目前关于榛子露的研究多集中在工艺优化、多原料复配榛子露研发上<sup>[12,13]</sup>，而有关加工榛子露专用榛子原料的研究未见报道。所以本文从全国范围内收集 21 份榛子样品，榛子品种涉及达维、玉坠、平欧 21 号、辽榛系列等多个品种，地区包括东北三省、河北、山西等省份。按相同工艺加工成榛子露，测定产品相关指标进行多元统计分析、构建数学模型。期望从中筛选出较适合生产榛子露的原料品种，以期为筛选生产榛子露专用榛子原料给出参考意见，并为企业加工和基地种植提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

在 2021 年 10 月榛子成熟期间，从榛子“四大栽培区”收集榛子样品 21 份。自然风干后用密封袋密封置 4 °C 冷库低温贮藏，随实验进展按需按量取用。产地及榛子品种等详细信息见表 1。

表 1 榛子样品详细信息

Table 1 Details of hazelnut samples

样品编号	栽培区	产地	榛子品种
1		辽宁铁岭	平榛
2			达维
3		黑龙江哈尔滨	玉坠
4			辽榛 3 号
5	北部	吉林长春	达维
6			平欧 21 号
7		辽宁本溪	达维
8		辽宁沈阳	辽榛 6 号
9			辽榛 5 号
10		辽宁大连	玉坠
11			辽榛 3 号
12	中部	辽宁营口	辽榛 3 号
13		山西晋中	辽榛 7 号
14			平欧 21 号
15		河北承德	达维
16	南部	江苏新沂	辽榛 2 号
17		安徽宿州	辽榛 9 号
18		新疆伊犁	玉坠
19	干旱		辽榛 3 号
20			辽榛 3 号
21		辽西	达维

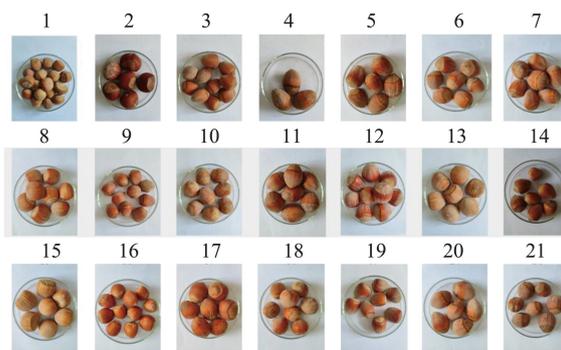


图 1 21 份榛子实验材料

Fig.1 21 hazelnuts experiment materials

### 1.2 主要药品与试剂

卡拉胶、瓜尔豆胶、蔗糖脂、单双脂肪酸脂、蔗糖酯、吐温 80，食品级，河南万邦化工科技有限公司；氢氧化钠，分析纯，国药集团化学试剂有限公司；石油醚，分析纯，沈阳西陇化工有限公司；牛血清蛋白，标准品，天津市致远化学试剂有限公

司; G-250 考马斯亮蓝, 色谱纯, 上海阿拉丁生化科技有限公司。

### 1.3 主要仪器与设备

JML-50 胶体磨, 浙江恒东科技有限公司; FSH-2A 均质机, 常州越新仪器制造有限公司; H3-18TR 离心机, 杭州旌斐仪器科技有限公司; TU-1810 紫外分光光度计, 北京普析通用仪器有限公司; M200P 酶标仪, 上海仪电物理光学仪器有限公司; 3 nh 色差仪, 深圳三恩时科技有限公司; 索氏提取器, 赛多利斯科学仪器有限公司; DHR-1 流变仪, 美国 TA 公司。

### 1.4 榛子露加工工艺

加工工艺流程参考李延辉等<sup>[14]</sup>的方法, 参数稍加调整: 室温条件下 (18~22 °C), 将一定量的榛子仁浸泡在水中 12 h 左右, 捞出沥干。采用 100 °C 的质量浓度为 1% (g/100 mL) 的 NaOH 热烫 1 min, 不断搅拌使榛子表皮与碱液充分接触, 捞出浸泡在冷水中, 手工去皮。将去除种皮的洁白榛子仁用 60 °C 温水磨浆 (料水比  $m/V=1:6$ ), 榛子原浆通过 200 目筛过滤除渣备用。干混白砂糖和稳定剂, 在榛子露原浆达到 60 °C 时加入, 充分搅拌。在榛子露原浆达到 70 °C 时加入乳化剂, 充分搅拌。升温至 80 °C, 在均质机中均质后将饮料灌装入瓶中。为了尽可能减少营养损失, 采取巴氏灭菌法灭菌 (90 °C, 15 s)。取出后自然冷却至室温, 放入冰箱 4 °C 下保存即可。

### 1.5 指标测定方法

每个指标同时做 3 组平行, 取 3 组平行的平均值为最终数据。

(1)  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ : 参考 Keenan 等<sup>[15]</sup>的方法。常温条件下, 使用色差仪测定。先利用黑板, 白板进行校正仪器, 称取 2 mL 榛子露样品于透明容器中, 平铺开, 放入便携式色差仪中盖上盖子, 按下测量键读取颜色数值, 记录所测的  $L^*$  值、 $a^*$  值、 $b^*$  值。

(2) pH: 用台式酸度计测量。将电极从保护液中取出, 用蒸馏水冲洗。将探头深入到榛子露中, pH 数值显示不变后记录数据, 进行下一个样品测定时, 用蒸馏水对探头反复冲洗至 pH 回到中值。

(3) 黏度: 采用 DHR-1 流变仪, 在 25 °C 室温条件下测定榛子露表观黏度, 取适量榛子露平铺在平面台上, 用硅油封边, 防止外流。参数设置: 夹

具为 40 mm 平行板, 珀尔帖板钢; 平衡时间 60 s, 持续时间 240 s, 剪切速度从 0.1~100.0  $s^{-1}$ , 每数量级点数 100。

(4) 透光率: 取用蒸馏水稀释 100 倍的榛子露样品, 在波长 750 nm 的情况下, 用紫外可见分光光度计测定透光率。透光率越小, 表示产品的稳定程度越好。

(5) 蛋白质含量测定: 采用考马斯亮蓝 G-250 的方法。以牛血清蛋白为标准品, 参考年国芳等<sup>[16]</sup>的方法绘制标准曲线、处理榛子露样品。根据样品在 595 nm 处的吸光值, 对照标准曲线确定各榛子露样品的蛋白质含量。

(6) 脂肪含量: 参照 GB/T 5009.6-2016, 索氏提取法<sup>[17]</sup>。

(7) 平均粒径: 参考栗昇<sup>[18]</sup>的方法。

(8) 可溶性固形物: 折光仪法。

(9) 离心沉淀率: 参考赵福利<sup>[19]</sup>的方法, 离心沉淀率按照公式 (1) 计算。

$$D = \frac{W_2 - W_0}{W_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

$D$ ——离心沉淀率, %;

$W_0$ ——10 mL 离心管质量, g;

$W_1$ ——10 mL 样品质量, g;

$W_2$ ——沉淀物与离心管总质量, g。

(10) 离心悬浮比: 将放置一段时间的样品, 分别精确称取上层及底层 10 g, 并在 3 000 r/min 离心 15 min, 然后称量其离心沉淀量, 计算离心悬浮比。离心悬浮比可以快速反映出整体颗粒悬浮分布的均匀性, 该值越高, 表明自然分层率越低, 饮料越稳定。离心悬浮比按照公式 (2) 计算。

$$E = \frac{X_1}{X_2} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

$E$ ——离心悬浮比;

$X_1$ ——上层沉淀量, g;

$X_2$ ——下层沉淀量, g。

(11) 稳定值: 参考徐嘉—<sup>[20]</sup>的方法。采用公式

(3) 计算稳定值。  $R \leq 1$ , 越接近 1, 稳定性越好。

$$R = \frac{A_{前}}{A_{后}} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

$R$ ——稳定值;

$A_{前}$ ——离心前的吸光度;  
 $A_{后}$ ——离心后的吸光度。

### 1.6 数据分析

利用 Excel 2021 汇总数据, 标准化处理, IBM SPSS 21 进行数据描述性、相关性、主成分分析。Origin 2021 制作相关性分析热图。利用 SPSS AU 在线网站进行层次分析, 确定指标权重。

## 2 结果与讨论

### 2.1 榛子露指标品质特性分析

表 2 榛子露评价指标测量值的分布情况

Table 2 Distribution of measured values of each index of hazelnut milk

指标	最小值	最大值	均值	中位数	标准差	变异系数/%
$X_1$	64.71	72.24	67.77	67.81	1.74	2.57
$X_2$	-1.38	-0.85	-1.13	-1.16	0.15	13.54
$X_3$	-0.83	3.18	1.32	1.38	0.81	61.53
$X_4$	6.54	7.00	6.71	6.71	0.12	1.77
$X_5$	6.90	8.80	7.73	7.73	0.53	6.88
$X_6$	13.6	20.7	16.4	15.9	1.80	11.03
$X_7$	82.00	97.33	90.20	92.70	5.10	5.65
$X_8$	89.17	98.89	93.33	94.37	2.85	3.06
$X_9$	58.35	70.14	62.66	62.39	2.23	3.55
$X_{10}$	0.50	0.88	0.68	0.68	0.11	16.22
$X_{11}$	1.01	1.56	1.32	1.33	0.14	10.70
$X_{12}$	1.27	7.80	2.91	2.37	1.76	60.42
$X_{13}$	1.04	2.16	1.44	1.34	0.28	19.60

注:  $X_1$ :  $L^*$  值,  $X_2$ :  $a^*$  值,  $X_3$ :  $b^*$  值,  $X_4$ : pH 值,  $X_5$ : 可溶性固形物,  $X_6$ : 离心沉淀率(%),  $X_7$ : 离心悬浮比(%),  $X_8$ : 稳定值(%),  $X_9$ : 透光率(%),  $X_{10}$ : 蛋白质(g/100 mL),  $X_{11}$ : 脂肪(g/100 mL),  $X_{12}$ : 平均粒径( $\mu\text{m}$ ),  $X_{13}$ : 黏度(mPa·s), 下同。

从表 2 中可以看出, 样品的  $a^*$ 、 $b^*$ 、离心沉淀率、蛋白质、脂肪、平均粒径、黏度的变异系数均大于 10%, 表明指标在样品间有较大差异, 即说明了所选取样品的广泛性。再对比指标的均值和中位数, 发现指标的两数值都十分接近, 其中, pH、可溶性固形物、蛋白质的两数值相等, 即表明存在较少的异常数据。结合上述分析两点, 说明了所选取样品的普遍性和独立性<sup>[21]</sup>。



图 2 榛子露

Fig.2 Hazelnut milk

### 2.2 榛子露综合品质评价模型的建立

#### 2.2.1 榛子露指标间相关性分析

相关性分析是指对两个或多个具备相关性的变量元素进行分析, 从而衡量两个变量因素的相关密切程度。它要求相关性的元素之间需要存在一定的联系或者概率。质量是一个综合性概念, 是多因素共同作用的结果<sup>[22]</sup>。为实现对榛子露多角度、全方面的综合评价, 选取了感官品质 ( $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ )、理化与营养品质 (pH 值、可溶性固形物、蛋白质、脂肪、平均粒径、黏度)、加工品质 (离心沉淀率、离心悬浮比、稳定值、透光率) 三方面指标。由于指标选取较多及指标间存在共线关系<sup>[23]</sup>, 首先对指标进行相关性分析, 为后续指标筛选提供理论基础, 结果如图 3 所示。

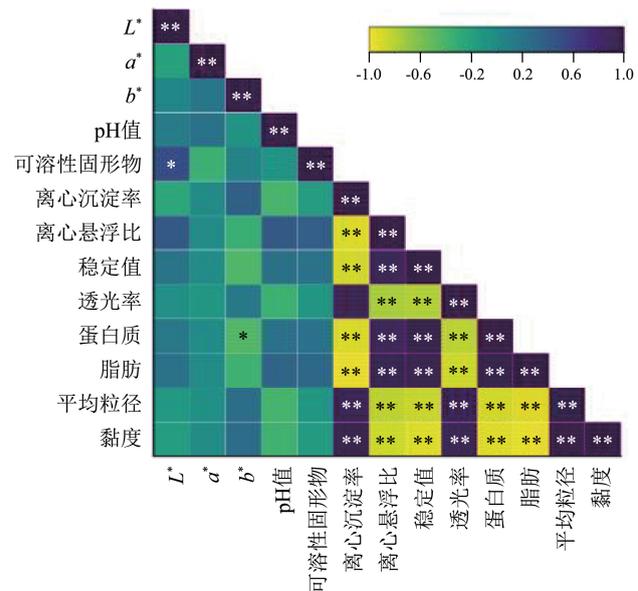


图 3 产品指标相关性分析热图

Fig.3 Heat map of correlation analysis of hazelnut milk index

注: \* 表示  $P < 0.05$ , \*\* 表示  $P < 0.01$ 。

感官指标中的  $L^*$  与可溶性固形物呈显著正相关, 相关系数为 0.514 ( $P < 0.05$ )。  $b^*$  与蛋白质呈显著负相关, 相关系数为 -0.450 ( $P < 0.05$ )；加工品质指标的离心沉淀率与离心悬浮比、稳定值、蛋白质、脂肪都呈显著负相关, 相关系数依此是 -0.918、-0.890、-0.910、-0.954 ( $P < 0.01$ )；而与透光率、平均粒径、黏度呈显著正相关, 相关系数依此是 0.904、0.913、0.948 ( $P < 0.01$ )；理化与营养指标中的蛋白质与脂肪呈显著正相关, 平均粒径与黏度呈显著正相关。蛋白质、脂肪与平均粒径、黏度两两都呈显著负相关, 相关系数依此为 -0.874、-0.924、-0.912、-0.956 ( $P < 0.01$ )。

### 2.2.2 主成分分析

榛子各指标间存在着相互影响, 简单的相关性分析难以直接反映出产品品质与指标间的关系。为了简化模型, 需要对指标进行取舍, 筛选出包含信息多、涵盖范围广的核心指标。主成分分析结果如表 3 所示。从表 3 中可以看出累积方差贡献率逐渐减小, 前 3 个主成分的累计方差贡献率达到 82.00%  $> 80\%$ , 即其所含信息占总体信息的 82.00%<sup>[24]</sup>；且特征值都大于 1<sup>[25]</sup>, 主成分选取的两个原则均满足。碎石图表示的信息是所提取因子数与其他剩余因子的区别度 (图 4), 斜率与区别度成正比。碎石图的走势也很好的表明了表 3 方差累积贡献率的情况。

表 3 各主成分的特征值与方差贡献

Table 3 Eigenvalue and cumulative contribution of evaluation factors

成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	总计	方差百分比/%	累计/%	总计	方差百分比/%	累计/%
1	7.66	58.91	58.91	7.69	58.91	58.91
2	1.78	13.67	72.58	1.78	13.67	72.58
3	1.22	9.42	82.00	1.22	9.42	82.00
4	0.87	6.71	88.71			
5	0.63	4.87	93.58			
6	0.41	3.19	96.77			
7	0.19	1.47	98.24			
8	0.12	0.89	99.13			
9	0.06	0.42	99.55			
10	0.03	0.23	99.78			
11	0.02	0.14	99.93			
12	0.01	0.04	99.97			
13	0.00	0.03	100			

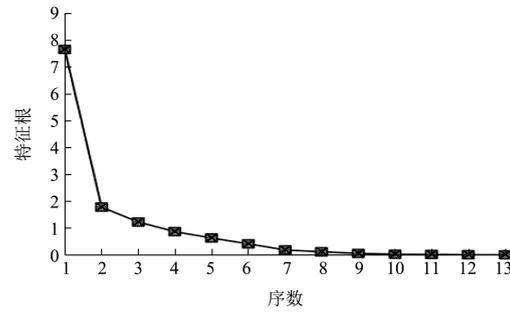


图 4 碎石图

Fig.4 Scree plot

经旋转处理后, 各变量载荷值在不同主成分上趋向于两极分化, 可更好的观察出解释变量与各主成分之间的关系。载荷值越大, 表明对该主成分越重要<sup>[26]</sup>(表 4)。核心评价指标的筛选应遵循: 指标具备相对的独立性; 有一定的变异系数<sup>[27]</sup>。此外, 基于前三个主成分构建了主成分三维载荷图 (图 5)。

表 4 主成分因子载荷矩阵

Table 4 Principal component factor loading matrix

指标	主成分		
	第一主成分	第二主成分	第三主成分
$X_1$	0.13	0.83	0.09
$X_2$	0.04	-0.41	0.68
$X_3$	-0.44	0.27	0.59
$X_4$	0.37	0.01	0.60
$X_5$	0.13	0.84	-0.19
$X_6$	-0.97	-0.11	-0.08
$X_7$	0.90	0.33	0.07
$X_8$	0.95	0.08	-0.11
$X_9$	-0.89	0.01	-0.20
$X_{10}$	0.96	0.05	-0.14
$X_{11}$	0.98	0.15	-0.02
$X_{12}$	-0.94	-0.02	-0.14
$X_{13}$	-0.98	-0.07	-0.10

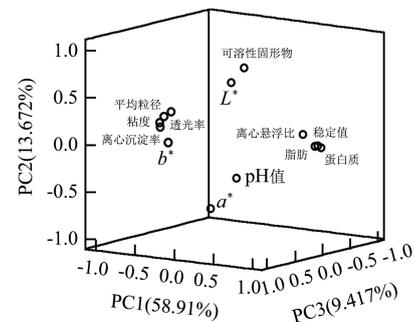


图 5 主成分因子三维载荷图

Fig.5 Three-dimensional loading diagram of principal component factors

第一主成分包括离心沉淀率、离心悬浮比、稳定值、透光率、蛋白质、脂肪、平均粒径、黏度。特征值为 7.66, 方差贡献 58.91%, 包含理化与营养、加工品质的多个指标。榛子露作为植物蛋白饮料其核心评价指标是蛋白质、脂肪含量丰富度。加之离心沉淀率与平均粒径、黏度呈显著正相关、与蛋白质、脂肪呈显著负相关。因此, 选取离心沉淀率、蛋白质、脂肪作为第一主成分的代表指标。

第二主成分包括  $L^*$ 、可溶性固形物, 方差贡献率为 13.67%。 $L^*$  与可溶性固形物在 0.05 水平上显著正相关。可溶性固形物是指液体或流体食品中所有溶于水的化合物的总称。包括糖、酸、维生素、矿物质等。故选取可溶性固形物代表第二主成分。

第三主成分包括  $a^*$ 、 $b^*$ 、pH, 方差贡献率为 9.417%。各榛子露样品 pH 值浮动幅度不大, 维持在一个相对稳定的趋势, 变异系数小于 10%。 $b^*$  与蛋白质在 0.05 水平显著负相关。为全方位评价榛子露, 选取指标要尽可能全面覆盖, 可以代表绝大多数信息。且上述第一、二主成分选取的代表指标中不含感官评价指标, 最终确定第三主成分指标为  $b^*$ 。

综上所述, 将榛子露的综合评价指标简化为离

心沉淀率、蛋白质含量、脂肪含量、可溶性固形物、 $b^*$ , 五项。

### 2.2.3 核心指标层次分析

各评价指标的品质特性差异明显, 应先判断指标属性为正向、中性、还是反向的<sup>[28]</sup>, 继而确定评价指标的理想值  $X_0$  (表 5)。离心沉淀率为反向指标, 值越小表示产品越稳定; 中性指标只有可溶性固形物; $b^*$ 、脂肪、蛋白质是正向指标, 值越大越好。为消除指标间不同量纲及数量级的影响, 对核心指标数据进行正向化、归一化处理<sup>[29]</sup>。标准化结果如表 5 所示。

利用层次分析法中的 1~9 比例标度法, 对筛选出的 5 项核心评价指标 ( $b^*$ 、可溶性固形物、离心沉淀率、脂肪、蛋白质) 构建 5 阶判断矩阵进行层次分析研究 (表 6), 分析得到特征向量分别为 0.360、0.546、0.714、1.383、1.998; 权重对应的分别是: 7.198%、10.916%、14.271%、27.657%、39.959%。除此之外, 该判断矩阵通过了合理满意一致性检验 ( $CR < 0.1$ )<sup>[27]</sup>, 综合上述分析得到榛子露综合品质评价模型:  $Y = 0.07198b^* + 0.10916 \times \text{可溶性固形物} + 0.14271 \times \text{离心沉淀率} + 0.27657 \times \text{脂肪} + 0.39959 \times \text{蛋白质}$ 。

表 5 理想值和核心评价指标标准化处理结果

Table 5 Ideal value and core evaluation index standardized processing results

样品编号	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_{10}$	$X_{11}$	样品编号	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_{10}$	$X_{11}$
$X_0$ 理想值	3.18	7.73	13.6	0.88	1.56	11	0.36	0.53	0.82	0.65	0.77
1	0.73	0.50	0.70	0.52	0.63	12	0.53	0.01	0.85	0.94	0.91
2	0.00	1.00	1.00	0.97	0.96	13	0.67	0.63	0.61	0.32	0.40
3	0.39	0.94	0.67	0.48	0.61	14	0.54	0.42	0.48	0.63	0.55
4	0.65	1.00	0.68	0.48	0.63	15	1.00	0.75	0.15	0.05	0.21
5	0.57	0.79	0.76	0.65	0.77	16	0.47	0.54	0.44	0.19	0.37
6	0.55	0.04	0.75	0.63	0.76	17	0.35	0.73	1.00	1.00	0.99
7	0.52	0.50	0.33	0.17	0.35	18	0.26	0.76	0.00	0.00	0.00
8	0.56	0.33	0.62	0.35	0.41	19	0.56	0.23	0.48	0.31	0.39
9	0.73	0.87	0.31	0.09	0.27	20	0.72	0.85	0.67	0.46	0.58
10	0.52	0.81	0.67	0.43	0.55	21	0.57	0.60	0.72	0.62	0.74

表 6 层次分析和一致性检验结果

Table 6 Analytic hierarchy process and consistency test results

项目	$b^*$	可溶性固形物	离心沉淀率	脂肪	蛋白质	特征值	权重 ( $W_i$ )
$b^*$	1	1/2	1/2	1/3	1/5	0.360	0.07198
可溶性固形物	2	1	1/2	1/3	1/3	0.546	0.10916
离心沉淀率	2	2	1	1/3	1/3	0.714	0.14271
脂肪	3	3	3	1	1/2	1.383	0.27657
蛋白质	5	3	3	2	1	1.998	0.39959

$\lambda_{max}=5.141, CI=(\lambda_{max}-n)/(n-1)=0.035, RI=1.120, CR=CI/RI=0.032 < 0.1$

### 2.3 榛子原料适宜性分类

将样品相关指标数据标准化处理后代入模型，计算综合品质得分（表 7）。由于榛子原料品质与榛子露产品质量有显著正相关性，榛子露综合品质评价结果可以作为评价不同品种榛子加工榛子露适宜性评价标准<sup>[30,31]</sup>。

表 7 榛子露综合品质得分及排序

Table 7 Comprehensive quality score and ranking of hazelnut milk

样品编号	榛子露综合品质得分	排序	样品编号	榛子露综合品质得分	排序
1	0.59	9	12	0.79	3
2	0.90	2	13	0.44	14
3	0.59	10	14	0.56	12
4	0.62	7	15	0.25	20
5	0.71	4	16	0.33	17
6	0.61	8	17	0.92	1
7	0.30	18	18	0.10	21
8	0.42	15	19	0.37	16
9	0.30	19	20	0.58	11
10	0.55	13	21	0.66	6
11	0.67	5			

表 8 榛子样品加工适宜性分类

Table 8 Classification of processing suitability of hazelnut samples

适宜性	数量	样品名称
适宜	8	2号北部黑龙江达维、4号北部黑龙江辽榛3号、5号北部吉林达维、6号北部吉林平欧21号、11号中部辽宁大连辽榛3号、12号中部辽宁营口辽榛3号、17号南部安徽辽榛9号、21号干旱辽西达维
基本适宜	7	1号辽宁铁岭平榛、3号北部黑龙江玉坠、8号北部辽宁沈阳辽榛6号、10号中部辽宁大连玉坠、13号中部山西辽榛7号、14号中部山西平欧、20号干旱辽西辽榛3号
不适宜	6	7号北部辽宁本溪达维、9号北部辽宁沈阳辽榛5号、15号中部河北达维、16号南部江苏辽榛2号、18号干旱新疆玉坠、19号干旱新疆辽榛3号

若从整体来看，所有样品综合得分在 0.1~0.92 之间，极值差高达 0.80。综合得分大于 0.6 的有 8 份参试样品，0~0.6 范围内的有 13 份参试样品。排序前 10 的参试样品中，来自北部栽培区的样品占了 60% 的比例。涉及到的榛子品种有 6 种，其中多为辽榛 3 号。由此可见，加工榛子露的榛子原料要从北部栽培区选取，品种建议采用辽榛 3 号。这与李亮等<sup>[32]</sup>的研究结果类似。排名后 10 的样品中，中部、南部、干旱栽培区占据了 80%，仅有的 4 份干旱地区的榛子样品有 3 份在最后 10 名中。并且，排序最后的是 18 号干旱新疆玉坠，综合得分较低。因此不建议采用干旱地区的榛子原料加工榛子露产品。排序后 10 的榛子品种还较为混乱，平欧、达维、玉坠、辽榛 2、3、5、6、7 号都有所涉及。出现上述这种情况的原因，可能还是要归根于栽培区的气候环境等因素。

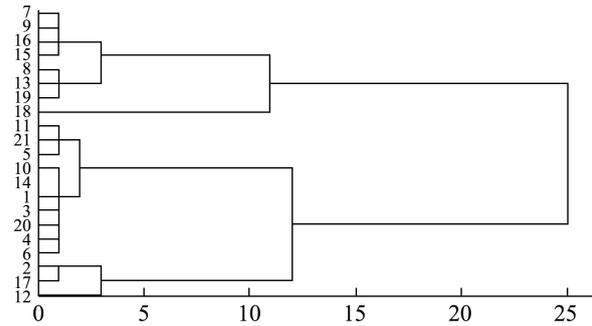


图 6 聚类分析树状图

Fig.6 Cluster analysis tree graph

首先仅以综合品质得分排序来看。17 号（南部安徽辽榛 9 号）以 0.92 得分排序第一。4、5、6、11、21 号榛子样品综合得分均大于 0.6，适合制备榛子露。1、3、8、10、13、14、20 样品的综合得分在 0.4~0.6 范围内，也基本满足制备榛子露的基本需求，7、9、15、16、18、19 得分不足 0.4，在这里不建议加工制备榛子露，可进行其它深加工产品的候补原料品种（表 8）。

为区别各榛子原料加工榛子露的适宜性，在榛子露综合品质得分基础上进行 K-均值聚类分析（图 6）。在欧式距离为 10 时，样品被划分为四类，7、8、9、13、15、16、19 号为第 I 类群，18 号单独为第 II 类群，第 III 类群有 10 个样品，第 IV 类群包括 2、12、17 号。综合聚类分析的最优分割等多方信息考量下<sup>[33]</sup>，给出榛子加工榛子露适宜性评价建议（表 8）。建议选用北部栽培区的辽榛 3 号加工榛子露产品，不建议选用干旱栽培区的榛子原料加工榛子露，可作为其他榛子深加工产品的考虑，如榛子油、榛子面条等。

### 3 结论

结合相关性、主成分分析将榛子露的 13 项评价指标简化为离心沉淀率、蛋白质含量、脂肪含量、可溶性固形物、 $b^*$ ，5 项。层析分析确定各指标权

重为： $b^*$  (7.198%)，可溶性固形物 (10.916%)，离心沉淀率 (14.271%)，脂肪 (27.657%)，蛋白质 (39.959%)。得到榛子露综合品质评价模型： $Y=0.071\ 98\times b^*+0.109\ 16\times$  可溶性固形物  $+0.142\ 71\times$  离心沉淀率  $+0.276\ 57\times$  脂肪  $+0.399\ 59\times$  蛋白质。南部安徽辽榛9号(17号)以0.92综合得分排序第一，通过聚类分析确定综合得分值的最优分割，结合多方信息，最终推荐北部栽培区的辽榛3号作为加工榛子露的原料，干旱栽培区的榛子原料不建议制备榛子露，可做其它榛子深加工产品的考虑。

### 参考文献

- [1] 张冬妍,付聪聪,李丹丹,等.基于近红外光谱的榛子蛋白质无损检测模型[J].激光与光电子学进展,2023, 60(1): 401-407.
- [2] ZHAO J, WANG X, LIN H, et al. Hazelnut and its by-products: A comprehensive review of nutrition, phytochemical profile, extraction, bioactivities and applications [J]. Food Chem, 2023, 413: 135576.
- [3] 侯东梅,梁锁兴.榛子新品种——晋榛3号[J].中国果业信息,2022,39(7):65.
- [4] 闫宗伟.植物蛋白饮料的营养状况及未来发展[J].现代食品,2021,16:101-103.
- [5] BOCKER R, SILVA E K. Innovative technologies for manufacturing plant-based non-dairy alternative milk and their impact on nutritional, sensory and safety aspects [J]. Future Foods, 2022, 5: 100098.
- [6] CLAY N, SEXTON A E, GARNETT T, et al. Palatable disruption: the politics of plant milk [J]. Agric Human Values, 2020, 37(4): 945-962.
- [7] JANSSEN M, BUSCH C, RODIGER M, et al. Motives of consumers following a vegan diet and their attitudes towards animal agriculture [J]. Appetite, 2016, 105: 643-651.
- [8] 周子萸.龙头业绩大增新玩家入局植物蛋白饮料[N].中国商报,2021-08-27(006).
- [9] 赵改名,李珊珊,崔文明,等.夏南牛不同部位加工特性及牛肉干加工适宜性评价(英文)[J].食品科学,2021, 42(23):80-89.
- [10] 王阳,佟伟,王文辉,等.不同烤梨品种加工适宜性评价[J].保鲜与加工,2021,21(3):61-68.
- [11] YU H, LIU H, ERASMUS S W, et al. An explorative study on the relationships between the quality traits of peanut varieties and their peanut butters [J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 151.
- [12] SEN L, OKUR S. Effect of hazelnut type, hydrocolloid concentrations and ultrasound applications on physico-chemical and sensory characteristics of hazelnut-based milks [J]. Food Chem, 2022, 402: 134288.
- [13] ATALAR I. Functional kefir production from high pressure homogenized hazelnut milk [J]. Lwt, 2019, 107: 256-263.
- [14] 李延辉,郑凤荣,牛长鑫.榛子乳饮料加工工艺及其稳定性研究[J].食品研究与开发,2009,30(7):103-106.
- [15] KEENAN D F, VALVERDE J, GORMLEY R, et al. Selecting apple cultivars for use in ready-to-eat desserts based on multivariate analyses of physico-chemical properties [J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 48(2): 308-315.
- [16] 年国芳,郭超男,徐建宗,等.新疆制干辣椒品质综合评价及加工适宜性分析[J].食品工业科技,2023,44(4):317-325.
- [17] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.GB 5009.6-2016,食品中脂肪的测定[S].
- [18] 栗昇,孙鹏.花生蛋白肽对核桃乳贮藏稳定性的影响[J].粮食与油脂,2021,34(3):58-61.
- [19] 赵福利.燕麦品种品质与燕麦发酵乳加工适宜性研究[D].北京:中国农业科学院,2016.
- [20] 徐嘉一.苹果味榛子露复合饮料的研制[D].沈阳:沈阳农业大学,2018.
- [21] SONG M, XU H, XIN G, et al. Comprehensive evaluation of actinidia arguta fruit based on the nutrition and taste: 67 germplasm native to Northeast China [J]. Food Science and Human Wellness, 2022, 11(2): 393-404.
- [22] 杨炳南,张小燕,赵凤敏,等.不同马铃薯品种的不同加工产品适宜性评价[J].农业工程学报,2015,31(20):301-308.
- [23] 沈月,高美须,杨丽,等.中国主栽青辣椒品种鲜切加工适宜性评价[J].农业工程学报,2016,32(S2):359-368.
- [24] GRANATO D, SANTOS J S, ESCHER G B, et al. Use of principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA) for multivariate association between bioactive compounds and functional properties in foods: A critical perspective [J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, 72: 83-90.
- [25] GANOPOULOS I, MOYSIADIS T, XANTHOPOULOU A, et al. Morpho-physiological diversity in the collection of sour cherry (*Prunus cerasus*) cultivars of the Fruit Genebank in Naoussa, Greece using multivariate analysis [J]. Scientia Horticulturae, 2016, 207: 225-32.
- [26] 张小燕,赵凤敏,兴丽,等.不同马铃薯品种用于加工油炸薯片的适宜性[J].农业工程学报,2013,29(8):276-283.
- [27] 李丽.速冻草莓品质评价体系的建立研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2016.
- [28] 宋梦婷.不同软枣猕猴桃种质资源营养、风味和贮藏品质的评价[D].沈阳:沈阳农业大学,2022.
- [29] 石禀坤,李衍素,闫妍,等.应用层次分析法的优质番茄品种综合评价研究[J].蔬菜,2022,382(10):9-16.
- [30] 聂继云,毋永龙,李海飞,等.苹果品种用于加工鲜榨汁的适宜性评价[J].农业工程学报,2013,29(17):271-278.
- [31] 闫鹏,韩立群,刁永强,等.新疆野苹果加工制汁适宜性评价研究[J].新疆农业科学,2016,53(1):135-141.
- [32] 李亮,王玺,张占英.山西省榛子产业竞争力评价[J].湖北植保,2021,6:1-5.
- [33] 王可.不同部位青海高原型牦牛肉加工特性与加工适宜性研究[D].郑州:河南农业大学,2020.