

doi: 10.12452/j.fxcxb.25101802

综合化学成分与感官评定建立藤茶质量分级模型

智童心^{1#}, 张朝阳^{2#}, 李高卫³, 李建勋^{4*}, 陈辉^{1*}

(1. 中国质量检验检疫科学研究院, 北京 100176; 2. 恩施土家族苗族自治州农业科学院, 湖北 恩施 445002;
3. 北京海光仪器有限公司, 北京 101300; 4. 中国农业科学院农产品加工研究所, 北京 100091)

摘要: 该研究构建了一种基于熵权TOPSIS模型的综合评价方法。通过测定藤茶中主要活性成分和滋味物质, 结合感官评价, 划分藤茶的质量等级并构建评价标准。以藤茶中二氢杨梅素及其异构体、杨梅素、杨梅苷、花旗松素、多酚、可溶性糖和游离氨基酸的含量及其感官评分为结果输入, 通过熵权法确定各评价指标的权重后, 采用灰色关联度分析进一步揭示了影响藤茶品质的重要因子。在综合得分基础上, 依据样品的相对贴近度(C_i)与排序百分比, 将藤茶质量划分为特级、一级、二级和三级4个等级, 分别约占总样品的5%、35%、35%和25%。所建立的质量评价体系融合了藤茶茶汤中的活性成分、滋味物质及感官特征, 实现了对藤茶品质的多维度量化评价。

关键词: 藤茶; 活性成分; 感官评定; TOPSIS; 分级

中图分类号: O657.7; TS207.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-4957(2026)04-0843-07

A Quality Grading Model for Vine Tea Based on Components and Sensory Evaluation

ZHI Tong-xin^{1#}, ZHANG Chao-yang^{2#}, LI Gao-wei³, LI Jian-xun^{4*}, CHEN Hui^{1*}

(1. Chinese Academy of Quality and Inspection & Testing, Beijing 100176, China; 2. Enshi Tujia and Miao Autonomous Prefecture Academy of Agricultural Science, Enshi 445002, China; 3. Beijing Haiguang Instrument Co., Ltd., Beijing 101300, China; 4. Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100091, China)

Abstract: The research aims to establish a comprehensive evaluation method for quality grading of vine tea (*Ampelopsis grossedentata*) based on the entropy-weighted TOPSIS model. The corresponding quality standards were developed by combining the major bioactive components and taste-related compounds in vine tea and sensory evaluation. Significant differences were observed in the contents of dihydromyricetin and its isomers, myricetin, myricitrin, and pinosylvin, as well as in sensory scores across samples. Using the entropy weight method, the weights of each evaluation indicator were calculated. Grey relational analysis was further applied to identify key factors influencing vine tea quality. The vine tea samples were classified into four quality grades—premium, grade I, grade II and grade III—based on their relative closeness (C_i) and ranking percentages, accounting for approximately 5%, 35%, 35% and 25% of total samples, respectively. The proposed quality evaluation system integrates the active constituents, taste-related compounds, and sensory characteristics of vine tea infusion, enabling a multidimensional and quantitative assessment of vine tea quality.

Key words: vine tea; bioactive compounds; sensory evaluation; TOPSIS; quality grading

藤茶 (*Ampelopsis grossedentata*), 又名莓茶、长寿藤、端午茶或茅岩莓茶, 属于葡萄科爬山虎属植物, 主要分布于我国长江以南湿润地区, 包括湖南、湖北、江西、贵州、四川及云南等省份。其最早作为少数民族传统药茶使用, 饮用历史悠久。藤茶可利用的部位包括叶片、藤须、芽和茎, 需经反复杀青、揉捻、堆放及烘干等复杂加工工艺, 最终形成表面带有一层白霜的特色茶品^[1]。

据《中华本草》记载, 藤茶具有清热解毒、活血通瘀、平肝降压等多种药理功能。研究证实, 藤

收稿日期: 2025-10-18; 修回日期: 2025-12-15

基金项目: 中国质检院基本科研业务费项目(2024JK007)

* 通讯作者: 李建勋, 博士, 副研究员, 研究方向: 食品农产品质量安全, E-mail: lijianxun@caas.cn

陈辉, 博士, 研究员, 研究方向: 食品农产品质量安全, E-mail: ciquichen@163.com

共同第一作者

网络首发日期: 2026-02-03

茶提取物具有抗炎、抗菌、抗高血压、调节血脂与血糖、肝脏和神经保护作用,以及显著的抗肿瘤活性^[2]。这些生理功能主要归因于其富含的黄酮类化合物。藤茶是目前已知黄酮类含量最高的植物之一,已鉴定出超过 20 种黄酮类化合物^[3]。除黄酮类化合物外,藤茶还富含酚酸、甾体、萜类、水溶性糖、脂肪酸及游离氨基酸等多种生物活性成分。

随着藤茶市场关注度的不断提高,其已逐渐成为我国南方地区极具代表性的特色农产品。藤茶加工工艺相对复杂,且其品质易受采收时间、采收部位、加工方式及生长气候等多种因素影响。然而,目前市场上藤茶的质量分级仍主要依赖传统的主观经验判定方法,通常以外形、叶底、汤色、香气和滋味等感官属性进行区分^[4]。基于感官评定的分级方式缺乏客观依据,易受人为因素影响,难以实现产品质量的标准化控制。叶片中水溶性物质如黄酮类、生物碱、氨基酸及水溶性糖共同构成了藤茶的色泽和滋味。其中,黄酮类物质和可溶性糖的相互作用构成了茶汤的回甘和醇厚感,是衡量高品质茶叶的重要指标^[5]。游离氨基酸作为主要呈味物质之一,其在茶汤中的溶出量与茶汤滋味浓淡相关,较高的溶出量有助于突出茶汤的鲜爽特征,同样是评价茶叶质量的重要指标。整合这类成分指标用于茶叶品质评价,有助于消除在藤茶质量评价时由于主观因素导致的误差。基于熵权 TOPSIS 法与灰色关联度分析构建的多指标综合评价模型,具有理论清晰、操作简便和适应性强等优势。该模型以逼近理想解为基本原理,适用于多目标决策分析,与中医药的理论特点相契合。石依姗等^[6]通过测定藤茶黄酮类物质含量、叶片性状和灰分,建立了基于熵权 TOPSIS 的评价和分级模型。张敏等^[7]在熵权模型中引入了茶汤 pH 值和色泽,完善了该品质分级模型。然而,现有质量评价研究多聚焦于藤茶原料,忽略了冲泡过程中功能成分的释放效率;同时,大多数评价体系未涵盖茶饮的感官属性,难以反映消费者可感知的品质特征。

基于此,本研究旨在通过测定藤茶茶汤中关键功能成分的含量,结合专业感官评价指标,构建基于熵权 TOPSIS 的质量分级模型,为藤茶质量控制和科学分级提供更为全面、可靠的判别依据。

1 实验部分

1.1 材料与仪器

藤茶均采摘于 2023 年,采摘地为湖北省恩施土家族苗族自治州藤茶种植基地,选取嫩茎叶部位,随后采用传统藤茶加工工艺进行加工,包括鲜叶采摘、摊青、杀青、揉捻、堆放、烘干(图 1A);二氢杨梅素、杨梅素、杨梅苷、花旗松素、没食子酸标准品(纯度 \geq 98%,上海源叶生物科技有限公司);福林酚试剂(2 mol/L)、茚三酮(纯度 \geq 95%)、谷氨酸(纯度 \geq 99%)(上海源叶生物科技有限公司);所有有机溶剂均为国产分析纯。

Ultimate 3000 高效液相色谱仪(美国赛默飞世尔科技公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 茶汤的制备 取缩分后的茶样 50~100 g,置于评茶盘中,按照 GB/T 23776-2018^[8]审评其外形。取茶样 2.0 g 置于 150 mL 评茶杯中,注满沸水、加盖、计时,冲泡时间 4 min,依次等速滤出茶汤,留叶底于杯中(图 1B)。按汤色、香气、滋味的顺序逐项审评。

1.2.2 黄酮类物质的测定 藤茶中 4 种黄酮类物质采用高效液相色谱(HPLC)法测定,具体步骤如下:取二氢杨梅素及其异构体、杨梅素、杨梅苷和花旗松素标准品适量,置于 10 mL 容量瓶,加入无水乙醇溶解,超声 15 min 后定容至刻度。取 1 mL 茶汤,同法制备标准品溶液。样品溶液经 0.22 μ m 膜过滤后,采用 HPLC 测定。色谱条件为: C₁₈ 色谱柱(4.6 mm \times 250 mm, 5 μ m, 月旭科技股份有限公司),以甲醇(A)-0.1% 磷酸

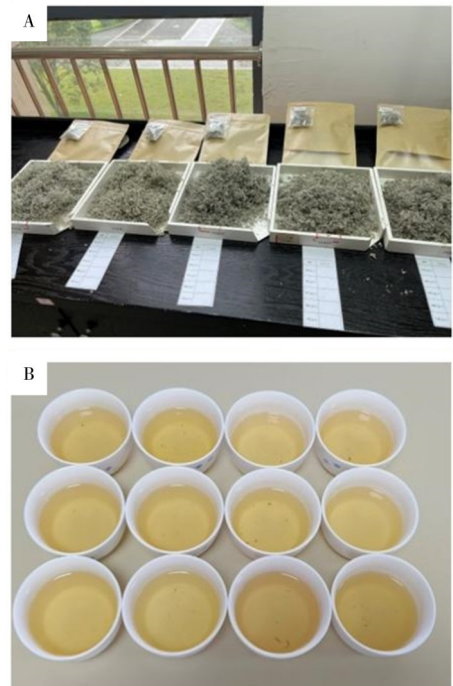


图 1 藤茶样品(A)和茶汤(B)

Fig. 1 The sample(A) and soup(B) of vine tea

溶液(B)为流动相。梯度洗脱:0~15 min, 25%~35% A; 15~23 min, 35%~50% A; 23~25 min, 50%~25% A; 25~30 min, 25% A。检测波长:0~21 min, 290 nm; 21~30 min, 255 nm。流速1 mL/min, 柱温30 °C, 进样量10 μL, 各物质的理论塔板数应不低于5 000。

茶汤中黄酮类物质含量的计算公式如下:

$$C = P2 \times \frac{C1 \times 10}{P1 \times 1000}$$

其中, C 为茶汤样品中黄酮类物质的质量浓度(mg/mL), $C1$ 和 $P1$ 分别为标准品的质量浓度(μg/mL)和峰面积, $P2$ 为茶汤样品的峰面积。

1.2.3 多酚含量的测定 取茶汤1 mL至100 mL容量瓶中, 蒸馏水定容至刻度, 参照GB/T 8313-2018^[9]测定。采用福林酚法测定茶汤中多酚含量, 使用70%甲醇水在70 °C水浴中提取茶汤中多酚, 提取1 h后, 离心取上清液, 将上清液与10%福林酚混合后, 加入7.5% Na₂CO₃溶液, 在765 nm下测定吸光度, 以没食子酸标准品制作标准曲线测定多酚的含量。

1.2.4 可溶性糖含量的测定 可溶性糖含量采用蒽酮比色法进行测定^[10]。取茶汤5 mL, 加20 mL无水乙醇, 混匀静置24 h以上, 5 000 r/min离心5 min, 沉淀用2 mL蒸馏水溶解, 取1 mL进行测定。

1.2.5 游离氨基酸含量的测定 游离氨基酸含量按照GB/T 8314-2013^[11]测定。采用茚三酮比色法, 将茶汤与2%茚三酮溶液混合后沸水浴加热15 min, 在570 nm下测定吸光值, 以谷氨酸标准品制作标准曲线测定茶汤中游离氨基酸的含量。

1.2.6 相关性分析 茶汤理化指标与感官评价指标之间的相关性在R Studio(版本4.3.2)中采用spearman进行相关性分析。仅显示相关性系数 $r > 0.3$, $p < 0.05$ 的结果。相关性由红色到蓝色表示, 红色表示正相关, 蓝色表示负相关, 相关性大小由颜色深浅和被填充的饼图面积共同展示, 正相关为顺时针填充, 负相关为逆时针填充。

1.2.7 感官评定 藤茶感官审评根据2023年制定发布的团体标准《藤茶感官审评方法》(T/CAI 040-2023)^[12]进行。首先进行茶叶外形审评, 随后茶汤的制备同“1.2.1”所示, 按汤色、香气、滋味和叶底的顺序对茶汤进行评分。外形包括干茶的形状、嫩度、色泽、整碎和净度; 汤色包括颜色种类与色度、明暗度、清浊度等; 香气审评包括其类型、浓度、纯度、持久性; 滋味则是茶汤的浓淡、醇涩、纯异、回甘等; 最后叶底观察其嫩度、长度、色泽和匀整度。评审方法和评定参照GB/T 23776-2018^[8]规定进行, 茶样的总评分结果以各项因子得分与相应评分系数相乘后累积得到。

1.2.8 藤茶品质评价模型的建立 基于石依姗等^[6]描述的方法建立TOPSIS模型。首先采用藤茶中二氢杨梅素及其异构体、杨梅素、杨梅苷、花旗松素、多酚、可溶性糖、游离氨基酸含量和感官评定中外形、汤色、香气、滋味和叶底评分建立初始化决策矩阵。随后, 对矩阵进行归一化处理, 并计算评价指标的信息熵。根据熵值计算各指标权重, 将各权重与归一化矩阵相乘, 计算加权标准化矩阵, 并确定正理想解($R+$)和负理想解($R-$); 最后, 计算每个评价对象与正理想解和负理想解之间的欧几里得距离($D+$, $D-$), 计算相对贴近度(C_i)并对样本进行排序, 得到最终的TOPSIS综合评价结果。

1.2.9 各指标灰色关联度的计算 各指标间的相互关系通过灰色关联度进行分析, 该分析方法在数据量小、信息不完整时具有优势。计算流程包括采用Z-score标准化参考序列和比较序列、计算每个指标与参考序列的绝对差, 以及计算灰色关联系数 $G1$ 和灰色关联度 $G2$ 。 $G1$ 和 $G2$ 均在0~1之间, 数值越接近于1, 说明该指标上两个序列的关联性越强。通常关联度小于0.4时, 表明该指标并非品质评价的关键指标。

$$G2_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta_{\min} + \rho \times \Delta_{\max}}{|Z_{0i} - Z_{ij}| + \rho \times \Delta_{\max}}$$

$$\Delta_{\min} = \min_{i,j} |Z_{0i} - Z_{ij}|$$

$$\Delta_{\max} = \max_{i,j} |Z_{0i} - Z_{ij}|$$

其中, $G2_j$ 表示第 j 个指标的灰色关联度; Z_{0i} 表示参考序列的第 i 个样本的标准化值; Z_{ij} 表示第 j 个比较序列在第 i 个样本的标准化值; ρ 表示为分辨系数, 取0.5; n 则为样本总数。

1.3 数据处理

所有指标均测定 3 个平行($n=3$), 结果以平均值表示。数据分析基于 Python 3.0, 在 Jupyter Notebook(版本 6.5.7)环境中完成。 $p<0.05$ 视为存在显著差异。

2 结果与讨论

2.1 茶汤中成分指标分析

采用“1.2.1”方法制备藤茶茶汤样品。52 个藤茶茶汤中黄酮类化合物的含量如表 1 所示, 二氢杨梅素为 4 种黄酮类化合物中含量最高的成分, 其质量浓度为 2.11~3.76 mg/mL, 异构体质量浓度为 0.31~0.58 mg/mL, 二者平均含量比约为 6.67:1。推算得到, 1 g 藤茶经标准冲泡后可以浸出 181.5~325.5 mg 的二氢杨梅素。夏绪红等^[13]报道了我国 4 个产地的干藤茶中二氢杨梅素含量为 212~362 mg/g, 其结果与本研究相似但略高, 这可能由于少部分二氢杨梅素未在茶汤中浸出导致。二氢杨梅素因优异的抗氧化性能而备受关注, 研究证实其具有抗炎活性, 可有效缓解肠道炎症^[14]。杨梅苷和杨梅素的质量浓度在藤茶样品中差异较大, 分别为 8.23~79.33 $\mu\text{g/mL}$ 和 11.39~54.53 $\mu\text{g/mL}$, 花旗松素则为 18.08~85.62 $\mu\text{g/mL}$ 。张朝阳等^[15]报道了商业化藤茶产品在不同冲泡时间下杨梅苷、杨梅素和花旗松素的质量浓度分别为 43.66~55.98 $\mu\text{g/mL}$ 、22.49~55.36 $\mu\text{g/mL}$ 和 30.51~47.92 $\mu\text{g/mL}$ 。本研究所收集的藤茶样品中黄酮类含量差异更明显, 表明所收集样品的品质差异覆盖性更全面。

表 1 藤茶评级指标 TOPSIS 模型的初始化决策矩阵

Table 1 Initialization decision matrix of TOPSIS model for grading indexes of vine tea

编号	二氢杨梅素/($\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)	二氢杨梅素异构体/($\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)	杨梅素/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	杨梅苷/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	花旗松素/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	多酚/($\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)	可溶性糖/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	游离氨基酸/($\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)	外形评分	汤色评分	香气评分	滋味评分	叶底评分
1	3.14	0.47	37.46	26.70	18.08	3.24	22.41	0.20	91.43	90.00	92.64	87.57	89.86
2	3.29	0.48	21.23	16.03	31.93	3.35	20.16	0.15	94.64	91.71	94.86	93.79	94.79
3	3.27	0.48	19.28	14.81	22.03	3.39	19.29	0.17	91.14	87.86	87.57	86.00	91.07
4	3.02	0.43	15.43	10.74	52.25	2.95	23.29	0.22	95.79	95.00	95.93	95.07	96.71
5	3.05	0.45	11.39	8.23	35.59	2.93	14.91	0.23	87.86	93.71	93.07	89.14	93.00
6	3.20	0.45	21.51	18.73	29.64	3.02	23.66	0.16	94.36	93.21	94.14	93.29	92.07
7	2.90	0.44	21.41	28.57	42.94	2.80	11.79	0.22	90.21	93.07	91.29	88.07	93.14
8	2.99	0.44	12.86	21.99	53.97	2.98	25.41	0.27	90.14	94.57	93.07	89.50	91.07
9	3.56	0.53	26.84	10.92	32.97	3.53	23.54	0.19	93.07	80.00	80.50	80.14	92.79
10	3.25	0.49	29.29	25.07	26.30	3.12	23.16	0.19	94.00	91.00	91.64	90.21	94.14
11	2.93	0.45	16.77	16.26	34.96	2.90	17.41	0.20	87.14	92.00	93.07	87.86	89.93
12	2.19	0.33	25.97	67.29	19.96	2.38	13.79	0.22	84.00	93.36	94.43	89.00	91.50
13	3.49	0.56	22.07	26.72	30.06	3.27	19.41	0.22	94.43	94.29	94.07	92.07	92.71
14	3.13	0.48	26.75	17.96	32.62	2.87	23.79	0.21	91.71	95.00	93.79	84.43	94.14
15	3.37	0.53	23.84	27.49	34.88	3.04	21.04	0.17	91.21	93.14	89.00	89.43	95.21
16	3.13	0.47	25.25	21.52	37.37	2.95	19.04	0.17	96.00	91.00	93.64	92.00	93.86
17	2.97	0.45	32.07	34.85	23.87	2.84	20.54	0.19	91.93	80.00	81.07	79.00	85.93
18	2.91	0.44	16.21	13.43	45.34	2.67	18.29	0.19	93.93	90.57	94.00	88.86	93.21
19	3.03	0.46	20.21	18.27	31.77	3.19	20.04	0.19	90.00	90.00	89.57	87.00	90.93
20	3.10	0.48	33.92	23.51	23.94	3.28	22.04	0.18	94.93	87.07	92.93	90.43	91.93
21	2.78	0.43	25.47	40.68	34.43	3.01	20.79	0.16	90.79	90.93	94.14	90.86	89.00
22	2.95	0.44	16.97	25.66	50.39	2.99	17.54	0.19	92.07	93.14	94.14	90.43	91.00
23	3.76	0.58	28.15	30.55	42.97	3.18	24.16	0.14	94.21	93.00	93.29	93.00	93.00
24	2.82	0.42	12.60	21.34	42.73	2.90	21.66	0.27	89.71	94.50	95.00	92.00	90.57
25	3.23	0.49	26.26	23.18	25.23	2.97	16.66	0.20	93.07	84.00	89.07	86.36	91.00
26	3.41	0.51	36.89	20.88	40.76	3.02	16.91	0.15	93.64	82.86	85.21	89.36	92.50
27	3.14	0.48	21.38	17.88	32.50	2.96	13.29	0.17	92.93	92.86	93.64	90.14	93.00
28	2.11	0.31	23.47	46.26	23.43	2.02	10.66	0.17	87.93	93.29	89.43	89.00	91.86
29	3.32	0.50	29.10	25.03	25.43	3.16	18.29	0.19	93.00	88.14	90.36	91.00	90.00
30	3.07	0.43	21.51	21.99	40.77	3.05	23.04	0.17	93.57	93.57	94.14	92.93	92.43
31	3.03	0.47	19.78	34.68	52.76	3.17	23.29	0.26	95.71	94.79	95.00	95.21	94.00
32	3.19	0.48	35.51	31.65	65.54	3.35	27.91	0.22	94.36	89.29	91.93	90.71	92.93
33	2.80	0.41	12.35	20.50	46.21	2.87	21.29	0.27	89.64	95.93	95.00	94.50	94.00
34	2.95	0.43	13.25	21.93	46.84	2.88	21.04	0.21	93.00	95.29	94.93	94.36	93.07

(续表1)

编号	二氢杨梅素/(mg·mL ⁻¹)	二氢杨梅素异构体/(mg·mL ⁻¹)	杨梅素/(μg·mL ⁻¹)	杨梅苷/(μg·mL ⁻¹)	花旗松素/(μg·mL ⁻¹)	多酚/(mg·mL ⁻¹)	可溶性糖/(μg·mL ⁻¹)	游离氨基酸/(mg·mL ⁻¹)	外形评分	汤色评分	香气评分	滋味评分	叶底评分
35	3.16	0.47	26.77	18.94	38.76	3.20	19.79	0.14	94.07	92.00	91.07	89.50	93.93
36	3.45	0.51	54.53	24.78	31.43	3.15	23.29	0.14	97.00	94.71	93.93	93.71	96.79
37	2.83	0.42	27.34	14.78	40.09	2.80	19.41	0.18	92.93	94.00	94.00	91.07	92.07
38	3.16	0.44	27.69	15.13	34.27	2.82	20.29	0.14	95.00	89.14	90.43	89.21	94.00
39	3.02	0.44	25.26	20.51	39.02	3.04	18.41	0.13	94.00	96.00	95.00	94.14	95.00
40	3.37	0.49	50.64	20.25	31.05	3.43	30.66	0.13	93.57	82.00	84.00	87.21	91.64
41	3.03	0.47	43.73	79.33	39.86	2.94	22.66	0.23	91.64	90.50	88.00	90.71	88.00
42	3.33	0.49	17.31	13.71	66.44	3.12	21.91	0.14	94.79	95.00	92.36	89.36	94.00
43	3.02	0.45	28.52	18.83	44.64	3.07	17.04	0.18	92.00	87.00	88.29	90.14	86.86
44	2.76	0.41	22.09	22.48	85.62	2.72	22.79	0.14	90.00	81.00	82.00	75.00	89.00
45	3.36	0.50	40.17	13.90	53.35	3.28	18.79	0.12	95.07	88.14	81.71	85.86	93.86
46	3.12	0.45	22.79	31.91	36.09	2.81	24.04	0.14	93.86	94.14	94.00	94.14	94.29
47	3.13	0.48	20.27	23.34	40.22	3.24	20.29	0.17	89.50	92.00	91.79	91.43	91.00
48	2.66	0.39	21.18	44.05	31.41	2.85	17.79	0.16	88.50	90.07	90.00	89.93	87.00
49	2.81	0.44	32.18	79.13	40.22	2.72	16.54	0.27	93.86	84.14	86.36	89.43	89.00
50	3.16	0.51	26.01	53.73	21.49	2.98	21.54	0.22	89.21	93.00	94.14	93.14	93.50
51	2.70	0.42	18.61	26.39	25.44	2.62	19.16	0.16	92.50	94.00	93.71	92.86	95.00
52	3.24	0.52	32.30	52.98	45.06	3.18	22.16	0.27	94.64	90.00	92.93	92.79	92.14

在风味物质方面,茶汤的甜味和鲜味主要由可溶性糖和游离氨基酸决定^[16],而多酚类物质则对苦涩味具有显著贡献,三者的含量对茶汤的苦涩和回甘有显著影响。多酚、可溶性糖和游离氨基酸的质量浓度分别为2.02~3.43 mg/mL、10.66~30.66 μg/mL和0.13~0.27 mg/mL。不同样品间成分含量的显著差异,表明可能对藤茶茶汤的滋味特征及其感官质量产生重要影响。

2.2 茶汤成分指标与感官评价之间相关性分析

对52个藤茶茶汤品质相关指标进行相关性分析(图2),结果显示,二氢杨梅素及其异构体、多酚、杨梅素和可溶性糖的含量与干茶的外形评分呈正相关,其中二氢杨梅素的相关性最强, $r > 0.6$ 。从外观评分维度来看,优质干茶的外形应具备条索完整宽展、软硬适中、色泽均匀明亮、夹杂物少等特征。藤茶茶叶在揉捻环节中细胞结构被破坏,胞内二氢杨梅素得以释放,并在后续晾晒和烘干过程中从茶叶表面析出,形成一层独特的白色结晶物,即“白霜”,赋予藤茶鲜明的表面色泽和观感特征。这一结果表明,茶样中二氢杨梅素含量的高低可能在一定程度上影响其外观品质。与本研究结果类似,文献同样报道了茶外观品质的改善伴随着可溶性糖含量的增加^[17-18]。此外,研究还发现杨梅素含量与茶汤汤色呈显著负相关。Dai等^[19]发现杨梅素在加热条件下可促进表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)发生氧化褐变反应,从而导致茶汤颜色加深。该机制为杨梅素含量与汤色之间的负相关关系提供了潜在解释。

2.3 基于熵权的TOPSIS模型的综合质量评价分析

熵权法是一种基于信息熵计算权重的评价方法,信息熵值越小,表明该指标在样本间的差异性越大,提供的信息越多,因而赋予更高的权重,从而在多指标评价中有效减少人为主观性干扰。TOPSIS模型是一种常用的多属性决策分析方法,通过计算各样本与正理想解和负理想解的欧氏距离,以相对贴适度表征样本综合质量。本研究中的各指标均为正向指标(即数值越大代表质量越优),正理想解则取各样本中该指标的最大值。 D_+ 表示样本到正理想解的欧氏距离,反映该样本与“理论最优”状态接

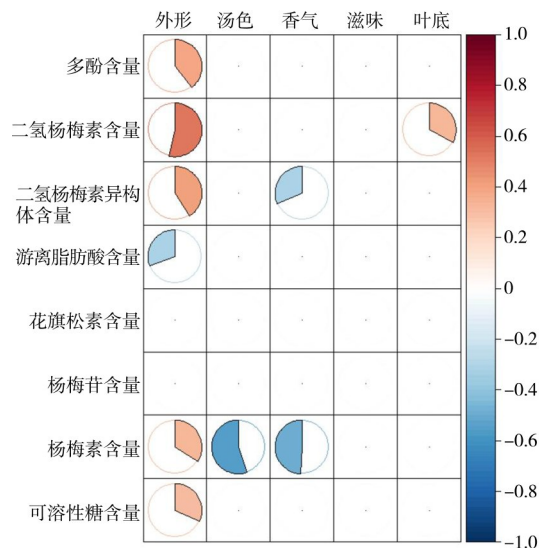


图2 相关性分析

Fig. 2 The correlation analysis

近程度,数值越小,说明样本越接近理想最优状态。 $D-$ 数值越大则代表样本越远离理论最劣状态。 C_i 表示样品的综合质量,数值越接近1表明样品质量越优。

藤茶样品的质量综合排序如表2所示。样品的 $D+$ 值在0.12~0.26之间, $D-$ 值在0.09~0.25之间。 C_i 值范围为0.27~0.67,整体呈现良好的梯度分布,未出现极端高值或低值,表明熵权TOPSIS模型在本研究中具有较好的区分度与适用性,可作为藤茶质量分级的有效工具。

表2 藤茶质量评分排序

Table 2 Ranking of quality scores of vine tea

Sample number	$D+$	$D-$	C_i	Ranking	Sample number	$D+$	$D-$	C_i	Ranking
41	0.12	0.25	0.67	1	15	0.21	0.13	0.38	27
49	0.15	0.24	0.62	2	20	0.22	0.14	0.38	28
52	0.13	0.22	0.62	3	45	0.24	0.14	0.38	29
32	0.15	0.19	0.55	4	30	0.22	0.13	0.37	30
31	0.18	0.19	0.53	5	48	0.22	0.13	0.37	31
12	0.19	0.20	0.52	6	16	0.22	0.13	0.37	32
50	0.18	0.19	0.51	7	37	0.23	0.13	0.37	33
36	0.21	0.20	0.49	8	39	0.24	0.14	0.37	34
8	0.21	0.18	0.46	9	29	0.22	0.13	0.36	35
33	0.22	0.18	0.45	10	26	0.23	0.13	0.36	36
24	0.22	0.17	0.43	11	17	0.23	0.12	0.35	37
13	0.21	0.16	0.43	12	47	0.22	0.12	0.35	38
23	0.21	0.15	0.42	13	5	0.26	0.14	0.35	39
4	0.23	0.17	0.42	14	35	0.23	0.12	0.35	40
7	0.20	0.15	0.42	15	18	0.24	0.13	0.34	41
1	0.21	0.15	0.41	16	51	0.24	0.12	0.34	42
21	0.20	0.14	0.41	17	6	0.24	0.12	0.34	43
14	0.22	0.15	0.41	18	43	0.22	0.12	0.34	44
40	0.23	0.16	0.40	19	25	0.23	0.12	0.34	45
34	0.22	0.15	0.40	20	2	0.25	0.12	0.34	46
10	0.21	0.14	0.40	21	27	0.24	0.12	0.33	47
22	0.21	0.14	0.39	22	11	0.24	0.12	0.33	48
46	0.22	0.14	0.39	23	19	0.24	0.11	0.32	49
28	0.22	0.14	0.39	24	38	0.24	0.11	0.32	50
44	0.24	0.15	0.39	25	9	0.25	0.12	0.31	51
42	0.24	0.15	0.39	26	3	0.26	0.09	0.27	52

2.4 各指标灰色关联系数及灰色关联度分析

灰色关联度用于衡量各评价指标与理想状态之间的接近程度,反映样本在该指标上的表现与最优水平的一致性。 G_2 值越高,表明该指标数值越接近理想状态,对总体质量的贡献越大。各评价指标的 G_2 均在0.7以上,从大到小依次为多酚含量、游离氨基酸含量、杨梅苷含量、二氢杨梅素含量、可溶性糖含量、杨梅素含量、汤色、香气和叶底评分,最低的是花旗松素含量和外形评分,表明各项指标与藤茶综合质量具有较高的关联性,能够较好地反映样品间的质量差异。其中,多酚类物质、游离氨基酸、杨梅苷、二氢杨梅素及可溶性糖的高 G_2 值显示出它们在藤茶质量评价中的关键作用。该结果表明,藤茶质量的形成在较大程度上依赖于功能性化学成分的积累。

2.5 质量分级

采用相对贴近度指标对样品进行分级划定。根据样本 C_i 值从高到低的排序结果,参考整体得分的分布情况,并参照我国现行绿茶产品标准GB/T 14456.2-2018^[20],将藤茶样品划分为4个级别,分别为特级、一级、二级和三级,对应其百分比分布分别为样本的前5%、6%~40%、41%~75%和剩余25%,该分位数分级方法保证了优质茶叶的稀缺性,兼顾了中等品质样品的主体分布,符合市场茶叶的实际质量分布规律。不同等级的藤茶分级如表3所示。与本研究结果类似,周丹等^[21]采用TOPSIS和 C_i 对凉茶进行评分, C_i 值在0.2~0.7之间, C_i 高于0.5的样本被认为品质较好。本研究中所采用模型在综合评价过程中充分整合了藤茶茶汤中的关键化学成分与感官属性评分,克服了传统分级方法中以经验判断为主、评价指标单一的问题,提升了分级的科学性与客观性。同时,等级划分明确、区间划定清晰,为实际生产与流通环节提供了可操作性强的指导依据,具备较强的行业推广潜力。

表3 藤茶分级结果
Table 3 The results of vine tea grading

分级	藤茶编号	C_i
特级(3)	41, 49, 52	> 0.6
一级(17)	32, 31, 12, 50, 36, 8, 33, 24, 13, 23, 4, 7, 1, 21, 14, 40, 34	0.4~0.6
二级(18)	22, 46, 28, 44, 42, 15, 20, 45, 30, 48, 16, 37, 39, 29, 26, 17, 47	0.35~0.4
三级(14)	5, 35, 18, 51, 6, 43, 25, 2, 27, 11, 19, 38, 9, 3	< 0.35

3 结 论

本研究通过熵权TOPSIS综合化学指标(二氢杨梅素及其异构体、杨梅素、杨梅苷、花旗松素、多酚、可溶性糖和游离氨基酸)与感官评分(茶外形、汤色、滋味、香气和叶底),构建了一套科学、系统的藤茶品质分级方法,通过分析指标权重实现客观评价,克服了藤茶传统评价主观性较强的局限。基于样本综合评分及 C_i 划分的分级标准将藤茶样品合理分为特级、一级、二级和三级4个等级,具有良好的实用性与可推广性,为支撑藤茶产业的高质量发展提供了理论依据和方法支持。该构建思路未来可拓展至中药材、功能性食品及果蔬加工品等质量评价和分级研究,为农产品品质分级提供了可量化的评价方法。

参考文献:

- [1] Zhang Y Q, Wang T T, Wu S S, Zhang Z H, Zhang Y, Liu Q, Guo Y X, Guan H N, Wang D X, Dong R X, Jiang H. *Trends Food Sci. Technol.*, **2025**, 159: 104939.
- [2] Carneiro R C V, Ye L, Baek N, Teixeira G H A, O'Keefe S F. *J. Funct. Foods*, **2021**, 76: 104317.
- [3] Zhang Q, Zhao Y, Zhang M, Zhang Y, Ji H, Shen L. *J. Pharm. Anal.*, **2021**, 11(5): 555-563.
- [4] Zhang J L, Li Q Q, Zhang C Y, Fan C L, Li J X, Zhang Z J. *Microchem. J.*, **2025**, 209: 112796.
- [5] He S, Deng X, Han Y, Gong Z, Wang J, Tao X, Tong H, Chen Y. *Food Chem.*, **2023**, 429: 136992.
- [6] Shi Y S, Wan Q, Wang Q L, Wang W Q, Fang J G. *Chin. Tradit. Herb. Drugs*(石依姗, 万青, 汪秋兰, 王文清, 方建国. 中草药), **2022**, 53(17): 5504-5512.
- [7] Zhang M, Yu J, Wang Q Y, Zhang J C, You X T, Yao M J, Ma C J. *Food Mach.* (张敏, 余佶, 王琪琰, 张锦程, 游湘淘, 姚茂君, 麻成金. 食品与机械), **2021**, 37(1): 186-192.
- [8] GB/T 23776-2018. Methodology for Sensory Evaluation of Tea. National Standards of the People's Republic of China (茶叶感官审评方法. 中华人民共和国国家标准).
- [9] GB/T 8313-2018. Determination of Total Polyphenols and Catechins Content in Tea. National Standards of the People's Republic of China (茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法. 中华人民共和国国家标准).
- [10] Zhang S W, Zong Y J, Fang C Y, Huang S H, Li J, Xu J H, Wang Y F, Liu C H. *Food Res. Dev.* (张述伟, 宗营杰, 方春燕, 黄赛华, 李静, 许建华, 王亦菲, 刘成洪. 食品研究与开发), **2020**, 41(7): 196-200.
- [11] GB/T 8314-2013. Tea—Determination of Free Amino Acids Content. National Standards of the People's Republic of China (茶 游离氨基酸总量的测定. 中华人民共和国国家标准).
- [12] T/CAI 040-2023. Methodology for Sensory Evaluation of Tengcha. Association Standards of the People's Republic of China (藤茶感官评审方法. 中华人民共和国团体标准).
- [13] Xia X H, Liu Q L, Tao X Q. *Anhui Agric. Sci. Bull.* (夏绪红, 刘庆兰, 陶小庆. 安徽农学通报), **2024**, 30(1): 73-77.
- [14] Wang N, Yan P P, Liu D, Wu L J, Zhang F X, Tang F, Guo L W, He B. *Chin. J. Vet. Drug* (王宁, 闫普普, 柳丹, 吴利军, 张付贤, 汤峰, 郭利伟, 何斌. 中国兽药杂志), **2025**, 59(2): 32-42.
- [15] Zhang C Y, Chen F, Huang Z H, Chen E, Zhang Q, Cui Q M. *J. Shandong Agric. Univ.: Nat. Sci. Ed.* (张朝阳, 陈芳, 黄忠浩, 陈娥, 张强, 崔清梅. 山东农业大学学报: 自然科学版), **2024**, 55(5): 767-773.
- [16] Kocadagli T, Ozdemir K S, Gokmen V. *Food Res. Int.*, **2013**, 53(2): 720-725.
- [17] Gong J S, Hu X J, Peng C X, Zhou H J. *Spectrosc. Spectral Anal.*, **2010**, 30(7): 1960-1964.
- [18] Zhang H, Zhang Y, Chambers E, Dai Q. *Radiat. Phys. Chem.*, **2020**, 170: 108597.
- [19] Dai Q Y, He Y Y, Ho C T, Wang J, Wang S J, Yang Y, Gao L P, Xia T. *J. Food Sci. Technol.*, **2017**, 54(9): 2919-2928.
- [20] GB/T 14456.2-2018. Green Tea—Part 2: Dayezhong Green Tea. National Standards of the People's Republic of China (绿茶 第2部分: 大叶种绿茶. 中华人民共和国国家标准).
- [21] Zhou D, Xu J Y, Zhang L Y, Zhang X Q. *Front. Pharm. Sci.* (周丹, 徐俊燕, 张乐怡, 张晓芹. 药学前沿), **2023**, 26(12): 499-509.

(责任编辑: 丁 岩)