

基于熵权法和灰色关联分析的藤茶理化品质评价与分级应用

Evaluation and classification for physicochemical quality of vine tea on entropy method and grey relation analysis

张 敏^{1,2} 余 佶² 王琪琰² 张锦程²
 ZHANG Min^{1,2} YU Ji² WANG Qi-yan² ZHANG Jin-cheng²
 游湘淘^{1,2} 姚茂君^{1,2} 麻成金^{1,2}
 YOU Xiang-tao^{1,2} YAO Mao-jun^{1,2} MA Cheng-jin^{1,2}

(1. 吉首大学湖南省林产化工工程重点实验室, 湖南 张家界 427000;

2. 吉首大学茶叶科学研究所, 湖南 吉首 416000)

(1. Key Laboratory of Hunan Forest Products and Chemical Industry Engineering, Jishou University, Zhangjiajie, Hunan 427000, China; 2. Institute of Tea Science, Jishou University, Jishou, Hunan 416000, China)

摘要:以收集的 10 种藤茶样品为对象,测定 15 项藤茶相关理化品质指标,并通过变异分析、相关性分析与主成分分析确定茶汤的黄酮(A₁₁)、多酚(A₁₂)、可溶性糖(A₁₃)及亮度(A₅)4 项核心品质指标;在采用熵权法确定品质指标权重后,结合灰色关联度分析法,构建出藤茶理化品质评价模型为: $\varphi_i = \xi_{A_{11}} \times 0.181\ 1 + \xi_{A_{12}} \times 0.224\ 2 + \xi_{A_{13}} \times 0.415\ 4 + \xi_{A_5} \times 0.179\ 3$,且模型得分与感官评分拟合度达 0.822;根据模型得分运用聚类分析将藤茶样品分成 3 个级别。

关键词:藤茶;熵权法;灰色关联度;理化品质;评价模型

Abstract: Taking 10 kinds of vine tea samples collected as objects, 15 related physicochemical quality indexes of vine tea were measured. Four core indexes of tea infusion in flavonoids (A₁₁), polyphenols (A₁₂), soluble sugar (A₁₃), and brightness (A₅) were determined by variation analysis, correlation analysis, and principal component analysis. After that, the index weight was determined by the entropy method, and the grey correlation analysis was used to construct the evaluation model of the physicochemical quality: $\varphi_i (\text{modelscore}) = \xi_{A_{11}} \times 0.181\ 1 + \xi_{A_{12}} \times 0.224\ 2 + \xi_{A_{13}} \times 0.415\ 4 + \xi_{A_5} \times 0.179\ 3$, and the fitting degree between the model score and the sensory score is 0.822. Finally,

according to the score of the model, the vine tea samples were divided into three levels by cluster analysis.

Keywords: vine tea; entropy method; grey correlation analysis; physicochemical quality; evaluation model

藤茶作为一种药食两用资源,早见于《茶经》《草木便方》等古籍,应用历史悠久^[1]。藤茶是由显齿蛇葡萄(*Ampelopsis grossedentata* W. T. Wang)茎叶制作而成的代用茶,富含二氢杨梅素等黄酮类化合物,同时还有不逊于传统茶类的保健功效^[2],因此受到消费者的追捧。然而,藤茶由于缺乏完善的品质评价体系而产生了一系列负面影响,如无依据的高价格、产品混淆来提高利润等^[3],因此,需要建立质量评价方法和完善的评价体系来更好地控制藤茶质量,规范管理藤茶生产和销售市场,确保藤茶产业健康快速发展。

目前,对于藤茶质量评价研究主要是以干茶样中的黄酮化合物含量为基准来判断藤茶品质的优劣^[4-5],其缺乏全面性,且需要大量的样本提供数据支撑。在 2013 年新食品原料公告中已注释显齿蛇葡萄的食用部位为叶,且以冲泡为食用方式^[6],也就是以茶汤的方式饮用;这意味着研究者也需要从茶汤样品成分来关注茶品质。因此从衡量食品营养的角度,藤茶茶汤的理化指标也不应忽略。

熵权法是一种可用于多指标、多对象的科学客观赋权方法,其几乎不受人为意识因素的干扰,从而使得出的指标权重科学可信^[7-8]。灰色关联度分析^[9]可通过衡量因素间的关联程度来判断产品品质,其优点在于对数据

基金项目:2019 年湖南省永顺县人民政府莓茶产业专项;吉首大学研究生科研创新项目资助(编号:JGY201929)

作者简介:张敏,女,吉首大学在读硕士研究生。

通信作者:麻成金(1963—),男,吉首大学教授,硕士。

E-mail: machengjin368@126.com

收稿日期:2020-10-07

前处理要求较低,工作量较少,从而备受建模研究者的青睐^[10-11]。因此,试验拟基于熵权法与灰色关联度分析,通过变异分析、相关性分析与主成分分析筛选出核心品质指标后,构建出藤茶理化品质评价模型,并运用聚类分析对藤茶产品进行分级,以期对藤茶产品质量评价提供参考依据,推动藤茶市场的质量管理与控制。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 试验仪器

紫外—可见分光光度计:UV2550型,日本岛津公司;
电子天平:JA2003型,上海舜宇恒平科学仪器有限公司;
水分测定仪:XY-100MW型,常州幸运电子仪器有限公司;

超声波清洗机:SY2200-T型,上海声源超声波仪器设备有限公司;

电热恒温鼓风干燥箱:GZX-9246MBE型,上海博迅仪器有限公司;

pH计:PHS-3s型,上海雷磁仪器有限公司;

低速大容量离心机:TBL-40B型,上海安亭科学仪器厂。

1.1.2 试验材料

藤茶样品:收集于湖南、湖北、贵州、广西、广东等当地较出名的产品(表1);

二氢杨梅素:纯度 $\geq 98\%$,贵州苗药生物技术有限公司;

茶多酚标准品:江苏永健医药有限公司;

L-谷氨酸标准品:合肥博美生物技术有限公司;

考马斯亮蓝 G250:天津光复精细化工研究所;

无水乙醇、没食子酸、福林酚试剂、葡萄糖、萘酚、茚三酮等:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 方法

1.2.1 藤茶样品处理 藤茶干样进行含水量、水浸出物、干茶黄酮、干茶多酚、干茶总糖的测定;藤茶茶汤经冲泡后过滤保温,测定茶汤亮度、色度(黄度、绿度)、浑浊度及pH指标;稀释后测定茶汤黄酮、茶汤多酚、茶汤可溶性

糖、可溶性蛋白质及游离氨基酸含量,茶汤现配现测。按茶水比($m_{\text{藤茶}}:V_{\text{水}}$)1:50(g/mL),用90℃蒸馏水冲泡5 min制备茶汤。同时为减少因冲泡面积导致的成分浸出差异影响,将藤茶干样碾碎过筛40目备用。

藤茶干茶黄酮、多酚及总糖提取参照梁琨等^[12]的方法。

1.2.2 藤茶品质指标测定方法

(1)含水量:使用XY-100MW型水分测定仪(120℃)测定。

(2)水浸出物含量:按GB/T 8305—2013执行。

(3)黄酮含量:参照秦亚茹等^[13]的方法。

(4)多酚:按GB/T 8313—2018执行。

(5)总糖和可溶性糖:采用萘酚比色法^[14]。

(6)可溶性蛋白质:采用考马斯亮蓝 G250法^[15]。

(7)游离氨基酸:采用茚三酮比色法^[16]。

(8)茶汤pH:采用pH计测定。

(9)茶汤亮度、色度(黄度、绿度)及浑浊度:参照张霞等^[17]的方法,亮度、黄度、绿度和浑浊度的测定波长分别为480,400,500,680 nm。

1.2.3 藤茶理化品质评价模型的构建 将所测数据经Excell初步整理后,采用SPSS 25.0进行变异分析、相关性分析及主成分分析筛选核心藤茶品质指标,再用下列方法进行计算处理。

(1)熵权法确定指标权重:根据熵权法理论,假设在 m 个评价样本和 n 项指标,对所对应的数值先按式(1)进行规范化处理:

$$f_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_{1 \leq j \leq n}(x_{ij})}{\max_{1 \leq j \leq n}[x_{ij} - \min_{1 \leq j \leq n}(x_{ij})]}, \quad (1)$$

式中:

f_{ij} ——规范化处理后的值;

x_{ij} ——第 i 个评价样本的第 j 个指标的值。

数据标准化是为了消除变量间的量纲关系以更好地进行比较。再按式(2)进行标准化(即无量纲化)处理:

$$z_{ij} = \frac{f_{ij}}{\sum_{i=1}^m f_{ij}}, \quad (2)$$

式中:

z_{ij} ——标准化后的变量值。

对于第 j 个指标的熵值 H_j 按式(3)计算^[18]:

$$H_j = -k \sum_{i=1}^m z_{ij} \ln z_{ij}, (j = 1, 2, \dots, n)。 \quad (3)$$

其中 $k = \frac{1}{\ln m}$,保证 $0 \leq H_j \leq 1$,当 $z_{ij} = 0$ 时,

$z_{ij} \ln z_{ij} = 0$ 。

由式(4)可得该指标权重:

$$\omega_j = \frac{1 - H_j}{n - \sum_{j=1}^n H_j}, (j = 1, 2, \dots, n)。 \quad (4)$$

其中, $0 \leq \omega_j \leq 1$ 且 $\sum_{j=1}^n \omega_j = 1$,计算可得该项指标的权重。

表 1 藤茶样品编号及产地

Table 1 Number and origin of vine tea

样品编号	产地	类型
T-N1	贵州梵净山	嫩叶型
T-N2	湖北恩施	嫩叶型
T-N3	湘西永顺	嫩叶型
T-L4	广东连州	成叶型
T-N5	湖南张家界	嫩叶型
T-N6	湘西龙山	嫩叶型
T-N7	湖南凤凰	嫩叶型
T-L8	广西柳州	成叶型
T-L9	湖南郴州	成叶型
T-N10	湖南张家界	嫩叶型

(2) 原始评价矩阵的构成:根据所确定的核心指标确定藤茶评价品质指标体系,依据所对应的数据构成原始评价矩阵 $\mathbf{R} = (x_{ij})_{m \times n}$ 及参考数列:

假设在 m 个评价样本和 n 项指标中, x_{ij} 表示第 i 个对象的第 j 个指标数据,原始评价矩阵为:

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1j} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{i1} & \cdots & x_{ij} \end{bmatrix} \quad (1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n) \quad (5)$$

由此,令 X_0 为理想方案,对应设定比较数列 $X_0 = (x_{01}, x_{02}, \cdots, x_{0j}, \cdots, x_{0n})$ 。

(3) 评价矩阵的标准化及转化:将 x_{ij} 按式(2)进行标准化处理,所得矩阵:

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} Z_0 \\ \vdots \\ Z_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{01} & \cdots & z_{0j} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ z_{i1} & \cdots & z_{ij} \end{bmatrix} \quad (1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n) \quad (6)$$

理想方案 X_0 数列经标准化后,得到理想评价数列 $Z_0 = (Z_{01}, Z_{02}, \cdots, Z_{0j}, \cdots, Z_{0n})$ 。

按式(7)进行转化, $\nabla i(j)$ 为第 i 个样品第 j 个指标的无量纲化处理的测量值与理想评价数列中对应值的绝对值差:

$$\nabla i(j) = \frac{|Z_i - Z_0|}{|z_{ij} - z_{0j}|}, i = 1, 2, \cdots, m, j = 1, 2, \cdots, n. \quad (7)$$

(4) 关联系数及加权关联度的计算:关联系数^[19]由

式(8)可得,之后将由经 1.2.2(1)确定的指标权重值 ω 代入式(9)中,可得出各样品的加权关联度。

$$\xi i(j) = \frac{\min_i \min_j \nabla i(j) + \epsilon \max_i \max_j \nabla i(j)}{\nabla i(j) + \epsilon \max_i \max_j \nabla i(j)}, \quad (8)$$

$$\varphi_i = \sum_{j=1}^n \omega_j \times \xi i(j), \quad (9)$$

式中:

$\xi i(j)$ ——关联系数;

ϵ ——分辨系数,通常取 0.5;

φ_i ——第 i 个样品的灰色关联度。

1.2.4 藤茶感官评价 选取经过相关感官培训的合格评价员 9 名组成评茶小组。由于藤茶目前缺少感官评价标准,因此,在采纳相关专家意见及文献信息调研后,设立并分配了相关感官评价指标及评分权重,即外形(30 分)、汤色(10 分)、香气(25 分)、滋味(25 分)和叶底(10 分)共 100 分。最终的感官评价得分为去掉小组数据最高分和最低分后所得平均值。

1.2.5 藤茶产品的分级 以各样品的加权关联度为对象,采用 SPSS 25.0 系统聚类分析,并结合藤茶属性及关联度排序进行分级。

2 结果与分析

2.1 藤茶品质描述性分析

分别对 10 个藤茶样品的各指标进行 3 次平行试验测定,经统计及整理后,得出各指标数据差异分析(见表 2)。含水量和茶汤 pH 的变异系数分别为 6.30% 和 3.00% ($<10\%$),说明该指标数据在 10 个样本中差异程度小;其他品质指标中茶汤可溶性糖的变异系数可达 84.80%,其次是茶汤黄酮变异系数为 39.60%,从变异系数可看出这 10 种藤茶样品的品质指标差异较为显著。

表 2 藤茶品质指标变异分析结果

Table 2 Difference analysis of quality indexes of vine tea

品质指标	符号	单位	均值	标准差	极小值	极大值	变异系数/%
含水量	A ₁	%	12.40	0.78	10.95	13.72	6.30
水浸出物	A ₂	%	31.69	5.86	22.09	41.17	18.50
茶汤亮度	A ₃		1.29	0.24	0.91	1.83	18.60
黄度	A ₄		2.11	0.46	1.37	2.88	21.90
绿度	A ₅		0.76	0.14	0.55	1.16	19.00
浑浊度	A ₆		0.59	0.13	0.38	0.94	21.70
茶汤 pH	A ₇		5.43	0.16	5.23	5.69	3.00
干茶黄酮	A ₈	%	29.12	3.08	24.45	36.06	10.60
干茶多酚	A ₉	%	22.01	2.48	17.66	26.09	11.30
干茶总糖	A ₁₀	%	14.84	4.65	8.82	23.85	31.30
茶汤黄酮	A ₁₁	mg/mL	2.56	1.02	0.93	3.97	39.60
茶汤多酚	A ₁₂	mg/mL	2.48	0.37	1.89	2.84	14.80
茶汤可溶性糖	A ₁₃	mg/mL	0.19	0.16	0.04	0.59	84.80
可溶性蛋白质	A ₁₄	mg/mL	0.31	0.04	0.26	0.37	12.50
游离氨基酸	A ₁₅	mg/mL	0.22	0.05	0.12	0.30	23.80

2.2 藤茶品质指标相关性分析

对 15 个藤茶品质指标进行相关分析(表 3),结果表明,含水量与干茶总糖、可溶性蛋白质,水浸出物与茶汤黄酮、游离氨基酸,茶汤亮度与黄度、绿度、浊度、干茶多酚、可溶性蛋白质,黄度与绿度,绿度与浊度、可溶性蛋白质,浊度与藤茶茶汤的可溶性蛋白质、游离氨基酸,茶汤 pH 与干茶黄酮、游离氨基酸,藤茶干样黄酮与游离氨基酸,干茶多酚与茶汤黄酮、游离氨基酸,干茶总糖与茶汤可溶性糖,藤茶茶汤黄酮与游离氨基酸,茶汤多酚与茶汤可溶性糖以及可溶性蛋白质与游离氨基酸呈极显著正相关($P<0.01$);水浸出物、干茶多酚、茶汤黄酮与干茶总糖及茶汤可溶性糖,茶汤多酚与绿度、浊度、可溶蛋白质、游离氨基酸,干茶黄酮与茶汤多酚、茶汤可溶性糖,以及茶

汤可溶性糖与游离氨基酸呈极显著负相关($P<0.01$);含水量与茶汤绿度、浑浊度,水浸出物与浊度,茶汤绿度与游离氨基酸,茶汤 pH 与可溶性蛋白质以及干茶黄酮与茶汤黄酮、可溶性蛋白质呈显著正相关($P<0.05$);茶汤 pH、茶汤黄酮与茶汤多酚和茶汤总糖与游离氨基酸呈显著负相关($P<0.05$)。由于指标数量较多且彼此存在较强相关性而相互影响,从而使评价结果存在偏差,因此可通过主成分分析法提取主要代表指标,达到降维效果。

2.3 藤茶综合品质主成分分析

由表 4 可知,前 4 个主成分共累计 84.357% 的贡献率,且特征值均 >1 ,表明前 4 个主成分能够包括 15 个品质指标的绝大部分内容。主成分分析所得的因子权重中,第 1 主成分中主要包含了水浸出物、浑浊度、干茶黄

表 3 藤茶品质指标相关性分析
Table 3 Correlation analysis of vine tea quality index

品质指标	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈
A ₁	1.000							
A ₂	-0.148	1.000						
A ₃	0.235	0.026	1.000					
A ₄	0.129	-0.169	0.911 **	1.000				
A ₅	0.398 *	0.204	0.867 **	0.606 **	1.000			
A ₆	0.388 *	0.396 *	0.696 **	0.367 *	0.951 **	1.000		
A ₇	-0.081	0.023	-0.204	-0.276	-0.146	-0.101	1.000	
A ₈	0.064	0.215	-0.028	-0.128	0.103	0.119	0.477 **	1.000
A ₉	-0.308	0.421 *	0.495 **	0.440 *	0.326	0.279	0.158	0.033
A ₁₀	0.484 **	-0.782 **	-0.043	0.013	-0.055	-0.146	0.156	-0.198
A ₁₁	-0.235	0.578 **	0.166	0.153	0.180	0.224	0.097	0.416 *
A ₁₂	0.044	-0.256	-0.236	-0.002	-0.476 **	-0.509 **	-0.377 *	-0.641 **
A ₁₃	0.264	-0.761 **	0.062	0.209	-0.091	-0.237	-0.418 *	-0.556 **
A ₁₄	0.493 **	-0.102	0.480 **	0.358	0.569 **	0.498 **	0.430 *	0.444 *
A ₁₅	0.024	0.583 **	0.227	-0.011	0.404 *	0.502 **	0.637 **	0.473 **
品质指标	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	A ₁₄	A ₁₅	
A ₁								
A ₂								
A ₃								
A ₄								
A ₅								
A ₆								
A ₇								
A ₈								
A ₉	1.000							
A ₁₀	-0.525 **	1.000						
A ₁₁	0.545 **	-0.720 **	1.000					
A ₁₂	-0.033	0.210	-0.397 *	1.000				
A ₁₃	-0.521 **	0.702 **	-0.804 **	0.482 **	1.000			
A ₁₄	0.031	0.275	0.122	-0.507 **	-0.136	1.000		
A ₁₅	0.535 **	-0.376 *	0.586 **	-0.597 **	-0.781 **	0.521 **	1.000	

表 4 因子载荷矩阵
Table 4 Factors load matrix

品质指标	主成分			
	1	2	3	4
A ₁	-0.004	0.619	0.363	-0.397
A ₂	0.651	-0.430	-0.281	-0.416
A ₃	0.510	0.755	-0.335	0.196
A ₄	0.281	0.695	-0.427	0.407
A ₅	0.641	0.710	-0.112	-0.187
A ₆	0.685	0.542	-0.064	-0.383
A ₇	0.312	-0.283	0.699	0.462
A ₈	0.534	-0.216	0.553	0.007
A ₉	0.624	-0.078	-0.488	0.472
A ₁₀	-0.563	0.536	0.528	0.158
A ₁₁	0.741	-0.361	-0.221	0.057
A ₁₂	-0.683	-0.020	-0.424	0.125
A ₁₃	-0.787	0.569	-0.044	0.035
A ₁₄	0.506	0.527	0.559	0.151
A ₁₅	0.870	-0.157	0.271	0.090
特征值	5.380	3.596	2.449	1.228
贡献率/%	35.865	23.973	16.329	8.190
累计/%	35.865	59.838	76.167	84.357

酮、干茶多酚、干茶总糖、茶汤黄酮、茶汤多酚、茶汤可溶性糖及游离氨基酸的信息;第 2 主成分主要包含了含水量、茶汤亮度、黄度与绿度的信息;第 3 主成分主要包含了茶汤 pH 和茶汤可溶性蛋白质的信息,第 4 主成分对品质指标的贡献率较小。

根据上述内容筛选核心品质指标,以变异系数>10%为适宜选择条件^[20],剔除含水量和茶汤 pH 两项指标,再按照主成分载荷矩阵值≥0.66 作为依据^[21],第 1 主成分筛选出茶汤浊度、茶汤黄酮、茶汤多酚、茶汤可溶性糖和游离氨基酸 5 项指标;第 2 主成分筛选出茶汤亮度、黄度及绿度 3 项指标。其中根据相关性分析结果,第 1 主成分中茶汤黄酮与浊度、游离氨基酸均呈显著正相关,与茶汤多酚、茶汤可溶性糖呈显著负相关,又考虑到黄酮是藤茶的主要功能成分,许多研究者^[5,22-23]将黄酮含量作为藤茶品质判断的标准,因此茶汤黄酮选为核心品质指标之一;在茶汤多酚、茶汤可溶性糖及游离氨基酸 3 个指标中,茶汤多酚与茶汤可溶性糖呈极显著正相关,游离氨基酸呈极显著负相关,茶汤可溶性糖与游离氨基酸呈极显著负相关,由于茶汤多酚一直是茶品质检验中的重要指标^[24],选择茶汤多酚作为核心品质指标之一;同时在征求评价小组与专家意见时,建议加入茶汤可溶性糖作为核心品质指标之一。第 2 主成分中茶汤亮度与茶汤黄度、茶汤绿度都是集中于茶汤汤色的指标,且茶汤亮度与黄度、绿度是呈极显著正相关的,因此可将茶汤亮度作为

代表指标。综上所述,筛选出茶汤黄酮、茶汤多酚、茶汤可溶性糖及茶汤亮度 4 个指标作为藤茶品质评价的核心指标。

2.4 熵权法确定藤茶的核心指标权重

在对茶汤黄酮、茶汤多酚、茶汤可溶性糖及茶汤亮度 4 项核心指标的样本数据进行规范化处理、无量纲化后,进行各藤茶核心品质指标熵值的计算(表 5),并最终得出熵权。经求解得出,茶汤黄酮、茶汤多酚、茶汤可溶性糖及茶汤亮度的权重分别为 0.181 1,0.224 2,0.415 4,0.179 3。

2.5 灰色关联度分析

2.5.1 构建理想藤茶样本 依据藤茶的特征成分与品质的关系,确定各核心指标的理想值 Z₀。见表 6,其中茶汤黄酮含量为正向指标越高越好;茶汤多酚、茶汤可溶性糖和茶汤亮度为中性指标取平均值。

2.5.2 灰色关联度的计算 将标准化处理后的指标数据,再通过式(4)计算绝对值差,之后根据式(5)得出各样品对应指标的关联系数,基于熵权法确定的指标权重,代入式(6)中计算出各样品的加权灰色关联度(即模型得分):

$$\varphi_i = \xi_{A_{11}} \times 0.181\ 1 + \xi_{A_{12}} \times 0.224\ 2 + \xi_{A_{13}} \times 0.415\ 4 + \xi_{A_3} \times 0.179\ 3, \quad (10)$$

式中:

φ_i —— 加权灰色关联度(即模型得分);

$\xi_{A_{11}}$ —— 茶汤黄酮的关联系数;

$\xi_{A_{12}}$ —— 茶汤多酚的关联系数;

$\xi_{A_{13}}$ —— 茶汤可溶性糖的关联系数;

ξ_{A_3} —— 茶汤亮度的关联系数。

按照加权关联度即模型得分越大越靠近理想样品的原则,由表 7 可知,模型得分最高的是样品 T-N7(0.864 8)产自湖南凤凰的凤凰雪茶,最小的是 T-L8(0.601 9)产自广西柳州的广西藤茶。

表 5 核心指标的熵值及熵权结果
Table 5 Entropy value and entropy weight of core index

核心指标	熵值	熵权
茶汤黄酮	0.889 1	0.181 1
茶汤多酚	0.862 7	0.224 2
茶汤可溶性糖	0.745 5	0.415 4
茶汤亮度	0.890 2	0.179 3

表 6 核心指标理想值
Table 6 Ideal value of core index

茶汤黄酮/ (mg · mL ⁻¹)	茶汤多酚/ (mg · mL ⁻¹)	茶汤可溶性糖/ (mg · mL ⁻¹)	茶汤亮度
3.950	2.477	0.191	1.292

表 7 藤茶的加权关联度

Table 7 Weighted relevance of vine tea

样品编号	加权关联度	排名
T-N7	0.864 8	1
T-N6	0.843 6	2
T-N3	0.789 7	3
T-N5	0.755 1	4
T-N10	0.740 7	5
T-L4	0.734 5	6
T-N1	0.704 7	7
T-N2	0.676 4	8
T-L9	0.647 9	9
T-L8	0.601 9	10

2.6 模型验证

为验证由熵权法和灰色关联度分析得出的藤茶理化品质评价模型的准确性,采用感官审评对藤茶的感官品质进行评价后,对模型得分(x)与感官评分(y)结果进行回归分析拟合(图 1),得到线性方程 $y = 72.226x + 26.796$, $R^2 = 0.822$,模型得分与感官评分拟合度高,表明利用茶汤黄酮、茶汤多酚、茶汤可溶性糖及茶汤亮度建立的模型适用于藤茶的品质评价。

2.7 藤茶产品的分级

以各藤茶样品的加权灰色关联度(即模型得分)为对象,采用系统聚类分析进行分类,根据谱系图结果(图 2),将其分为 3 个藤茶产品级别,即欧式距离为 10 时,分别将 T-N3、T-L4、T-N5 和 T-N10 聚为第 1 组;T-N6 和 T-N7 聚为第 2 组;T-N1、T-N2、T-L8 和 T-L9 聚为第 3 组。根据各样品的加权灰色关联度,可将产品等级分为 3 个级别(表 8),为使综合分析更加简单直观,对产品等级进行划分,并参考得分平均值作为等级中位数划分得分范围,分别为一级(1.00~0.80)、二级(0.80~0.70)、三级(0.70~0.60)。因此可采用该模型的得分进行产品分级,从而为藤茶产品的质量控制提供参考。

3 结论

以收集的 10 种藤茶样品为对象,分别以藤茶干茶样

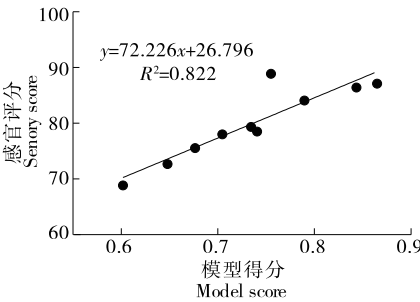


图 1 藤茶模型得分与感官评分验证

Figure 1 Fitness test for sensory and model of vine tea

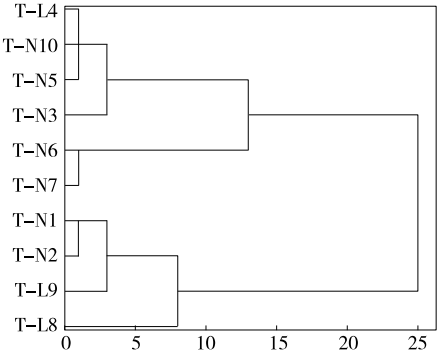


图 2 模型得分树状图

Figure 2 Dendrogram of model score

表 8 藤茶分级结果

Table 8 Grading result of vine tea ($n = 10$)

等级	藤茶编号	得分平均值
一级	T-N7	$0.854\ 2 \pm 0.010\ 6$
	T-N6	
	T-N3	
	T-N5	
二级	T-N10	$0.755\ 0 \pm 0.021\ 4$
	T-L4	
	T-N1	
	T-N2	
三级	T-L9	$0.657\ 7 \pm 0.038\ 0$
	T-L8	

与茶汤样为类别,测定了包括干茶黄酮、干茶多酚等 15 项藤茶相关理化品质指标,并先后通过变异分析中的变异系数初选指标、相关性分析判定关联性到主成分分析筛选主要指标,以藤茶品质特性与专家指导建议最终确定了茶汤黄酮、茶汤多酚、茶汤可溶性糖及茶汤亮度 4 项核心指标;在采用熵权法确定品质指标权重后,结合灰色关联度分析法构建出藤茶理化品质评价模型: $\varphi_i = \xi_{\Lambda_{11}} \times 0.181\ 1 + \xi_{\Lambda_{12}} \times 0.224\ 2 + \xi_{\Lambda_{13}} \times 0.415\ 4 + \xi_{\Lambda_3} \times 0.179\ 3$ 。根据模型得分运用聚类分析可将藤茶样品分成 3 个级别。该方法仅通过熵权法赋权,就能较好地避免人为主观因素的干扰,使评价结果更贴合实际;同时,相对于干茶样需进行前处理和成分提取,该法仅需测定茶汤指标便可更简单快捷地完成评价。但是由于冲泡条件会很大程度影响成分的浸出情况^[24],因此,还需优化冲泡条件使数据更稳定可信。

参考文献

[1] 石依姗, 肖凌, 裴晶, 等. 中国特色民族药材藤茶的资源调查[J]. 中药材, 2020(5): 1 078-1 082.
[2] 冯涵, 李娜, 王华林, 等. 藤茶中黄酮类成分的功效研究进展[J]. 公共卫生与预防医学, 2018, 29(1): 82-86.
[3] 王婉莹. 藤茶传统药理学及抗氧化活性的初步研究[D]. 北

- 京: 北京协和医学院, 2014: 28-48.
- [4] 吴佳, 叶文卉, 卢宗元, 等. 藤茶不同部位指纹图谱及其差异研究[J]. 天然产物研究与开发, 2020, 32(9): 1 507-1 514.
- [5] 李颖硕, 张晓栋, 杨楠楠, 等. 指纹图谱结合一测多评模式在前胡质量评价中的应用[J]. 时珍国医国药, 2019, 30(7): 1 557-1 560.
- [6] 关于批准显齿蛇葡萄叶等 3 种新食品原料的公告(2013 年第 10 号)[J]. 中国食品添加剂, 2014(1): 225-226.
- [7] WANG Yu-min, RAN Wei-jin. Comprehensive eutrophication assessment based on fuzzy matter element model and monte carlo-triangular fuzzy numbers approach[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019, 16(10): 1 769.
- [8] CHEN Jia-bo, WANG Yan-jie, LI Fa-yun, et al. Aquatic ecosystem health assessment of a typical sub-basin of the Liao River based on entropy weights and a fuzzy comprehensive evaluation method[J]. Scientific Reports, 2019, 9: 14045.
- [9] YANG Ying-jie, LIU Si-feng. Grey systems: Theory and application[J]. Grey Systems Theory & Application, 2011, 4 883(4): 44-45.
- [10] LI Yuan-yao, HUANG Jin-song, JIANG Shui-hua, et al. A web-based GPS system for displacement monitoring and failure mechanism analysis of reservoir landslide [J]. Scientific Reports, 2017, 7(1): 17171.
- [11] WANG Ling-ling, YANG Lu-can, XIONG Feng, et al. Nitrogen fertilizer levels affect the growth and quality parameters of astragalus mongolica[J]. Molecules (Basel, Switzerland), 2020, 25(2): 381.
- [12] 梁琨, 邱岚, 吕廷红. 梵净山野生藤茶主要有机成分研究[J]. 安徽农学通报, 2018, 24(21): 31-33.
- [13] 秦亚茹, 张友胜, 张凯, 等. 藤茶总黄酮检测方法的对比研究[J]. 现代食品科技, 2019, 35(12): 302-309, 188.
- [14] 张述伟, 宗营杰, 方春燕, 等. 蒽酮比色法快速测定大麦叶片中可溶性糖含量的优化[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(7): 196-200.
- [15] 聂昌宏, 郑欣, 阿依居来克·卡得尔, 等. 考马斯亮蓝法检测不同乳中乳清蛋白含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(5): 1 138-1 142.
- [16] 刘长姣, 杨越越, 王妮, 等. 茛三酮比色法测定秋葵中氨基酸含量条件的优化[J]. 中国食品添加剂, 2018(1): 187-193.
- [17] 张霞, 许云霞, 杨朝东. 绿茶茶水放置过程中主要呈味物质动态变化研究[J]. 长江大学学报(自科版), 2015, 12(21): 50-54, 58.
- [18] 李百川, 李鑫, 赵余, 等. 基于熵权法的葡萄酒评价模型[J]. 酿酒科技, 2014(7): 36-38.
- [19] 马文霞, 倪玉洁, 谢倩, 等. 鲜食百香果果实品质综合评价模型的建立及应用[J]. 食品科学, 2020, 41(13): 53-60.
- [20] 杭雅文, 武威, 张蓓茜, 等. 弱筋小麦品质指标的相关性分析及筛选[J]. 麦类作物学报, 2020, 40(3): 320-327.
- [21] 赵雅, 王博思, 赵明富. 基于光谱技术的茶叶品质参数茶多酚含量快速检测方法研究[J]. 半导体光电, 2018, 39(4): 591-594.
- [22] 黄建华, 谢思敏, 彭清华, 等. 基于感官审评与 HPLC-DAD 法不同月份藤茶质量研究[J]. 中国野生植物资源, 2020, 39(4): 7-10.
- [23] 冯淳, 张妮, 周大颖, 等. HPLC 测定显齿蛇葡萄叶中 4 种黄酮类化合物的含量[J]. 食品工业科技, 2018, 39(24): 240-245.
- [24] 陈亮, 余估, 游湘淘, 等. 冲泡条件对湘西黄金茶生物活性成分及其抗氧化活性的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(8): 183-188.

(上接第 113 页)

- [20] BROOME Steven R. Liquid distribution and falling film wetting in dairy evaporators[D]. Christchurch: University of Canterbury, 2005: 101-102.
- [21] AUSMUS Doug. HTRI design manual [M]. Navasota: Heat Transfer Research, Inc., 1997: B4.5-2.
- [22] 林纪方, 王同文. 计算冷凝平均膜传热系数的一个普遍关联式[J]. 化工学报, 1983, 34(4): 353-362.
- [23] ADIB Tarif Ali, VASSEUR Jean. Bibliographic analysis of predicting heat transfer coefficients in boiling for applications in designing liquid food evaporators[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 87(2): 149-161.
- [24] LAMBERT Julien, GOSSELIN Louis. Sensitivity analysis of heat exchanger design to uncertainties of correlations[J]. Applied Thermal Engineering, 2018, 136: 531-540.
- [25] PALLUOTTO Lorella, DUMONT Nicolas, RODRIGUES Pedro, et al. Assessment of randomized quasi-monte carlo method efficiency in radiative heat transfer simulations[J]. Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, 2019, 236: 106570.
- [26] HASSAN Azarkisha, MOHSEN Rashki. Reliability and reliability-based sensitivity analysis of shell and tube heat exchangers using Monte Carlo Simulation [J]. Applied Thermal Engineering, 2019, 159: 113842.
- [27] 侯思尧, 李永光, 陈思静. 利用主客观集成赋权法的多目标威胁评估[J]. 电讯技术, 2019, 59(8): 956-961.
- [28] ZHU Xiao-chen, NIU Da-peng, WANG Xu, et al. Comprehensive energy saving evaluation of circulating cooling water system based on combination weighting method[J]. Applied Thermal Engineering, 2019, 157: 113735.
- [29] BIJU V G, PRASHANTH C M. Friedman and wilcoxon evaluations comparing svm, bagging, boosting, k-nn and decision tree classifiers[J]. Journal of Applied Computerence Methods, 2017, 9(1): 23-47.
- [30] GOMZÁLEZ Sergio, GARCÍA Salvador, SER Javier Del, et al. A practical tutorial on bagging and boosting based ensembles for machine learning: Algorithms, software tools, performance study, practical perspectives and opportunities[J]. Information Fusion, 2020, 64: 205-237.