

# 茯砖茶感官特征分析及其产地判别模型构建研究

邓岳朝<sup>1,2</sup>, 邹卓扬<sup>1,2</sup>, 李月<sup>3</sup>,  
陈益能<sup>2</sup>, 周跃斌<sup>3</sup>, 沈程文<sup>3</sup>, 陈历清<sup>4</sup>, 方逵<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>湖南农业大学机电工程学院; <sup>2</sup>湖南农业大学信息与智能科学技术学院;

<sup>3</sup>湖南农业大学茶学教育部重点实验室, 长沙 410128; <sup>4</sup>安化县茶旅产业发展服务中心, 安化 413500

**摘要:**为客观准确地评价不同产地茯砖茶感官特征品质, 结合感官审评、化学组分检测、化学计量学等研究茯砖茶感官品质特征及不同产地茯砖茶判别模型构建。结果表明: 湖南、浙江、陕西等 19 个茯砖茶因原料物质基础的不同其感官品质有非常明显的差异。其中, 茯砖茶滋味得分 (taste score, TS) 与咖啡碱 (caffeine, CAF)、水浸出物 (water leachate, WL)、儿茶素 (catechin, CAT) 和表儿茶素 (epicatechin, EC) 呈现出显著相关性, 其相关系数 ( $P < 0.05$ ) 分别为 0.81、0.62、0.55、0.50。同时, 基于化学组分的主成分 (PCA) 表明, 前 4 个主成分的累计方差贡献率为 79.48%, 并以前 4 个主成分的线性回归方程和贡献率构建了茯砖茶感官品质综合评价模型与产地判别模型。正交偏最小二乘法判别分析 (OPLA-DA) 显示, 19 个不同产地的茯砖茶样品被明显地划分为 3 组, 评价模型对不同产地茯砖茶识别度较高。采用交叉验证法对模型进行验证, 模型对自变量的拟合指数 ( $R^2X$ ) 为 0.879, 对因变量的拟合指数 ( $R^2Y$ ) 为 0.992, 预测指数 ( $Q^2$ ) 为 0.53。经 OPLS-DA 共识别出 6 种预测变量重要性投影 (VIP) 值大于 1 的差异指标, 其中茶多酚 (tea polyphenols, TPP)、可溶性糖 (soluble sugar, SS)、CAF、WL 为茯砖茶感官特征标志性差异品质成分。结果表明, 应用感官审评、化学组分检测、化学计量学等方法可以实现茯砖茶感官特征及其不同产地茯砖茶的快速、准确判别, 同时也为茯砖茶感官特征及其不同产地判别提供一种新的参考方法。

**关键词:** 茯砖茶; 感官特征; 正交偏最小二乘法判别分析; 模型构建

中图分类号: TS272

文献标识码: A

文章编号: 1001-6880(2024)4-0622-11

DOI: 10.16333/j.1001-6880.2024.4.009

## Sensory characterisation of Fu brick tea and the construction of its origin discrimination model

DENG Yue-zhao<sup>1,2</sup>, ZOU Zhuo-yang<sup>1,2</sup>, LI Yue<sup>3</sup>,  
CHEN Yi-neng<sup>2</sup>, ZHOU Yue-bing<sup>3</sup>, SHEN Cheng-wen<sup>3</sup>, CHENG Li-qing<sup>4</sup>, FANG Kui<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>College of Mechanical and Electrical Engineering, Hunan Agricultural University; <sup>2</sup>School of Information and Intelligent Science and Technology, Hunan Agricultural University; <sup>3</sup>Key Laboratory of Ministry of Tea Science, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

<sup>4</sup>Anhua County Tea Tourism Industry Development Service Center, Anhua 413500, China

**Abstract:** In order to objectively and accurately evaluate the quality of sensory characteristics of Fu brick tea from different origins, combining sensory review, chemical component detection, chemometrics and other research on the sensory quality characteristics of the Fu brick tea from different origins and its discernment model construction. The results show that the sensory quality of 19 Fu brick tea from Hunan, Zhejiang and Shanxi has very obvious differences due to the different material bases of the raw materials. Among them, the taste score (TS) of Fu brick tea showed significant correlation with caffeine (CAF), water leachate (WL), catechin (CAT) and epicatechin (EC), with the correlation coefficients ( $P < 0.05$ ) of 0.81, 0.62, 0.55, and 0.50, respectively. Meanwhile, the principal component (PCA) based on chemical components showed that

the cumulative variance contribution of the first four principal components was 79.48%, and the linear regression equations and contribution of the first four principal components were used to construct the sensory quality evaluation model and the origin discrimination model of Fu brick tea. Oethogonal projections to latent structures discriminant analysis (OPLA-DA) showed that the 19 Fu brick tea samples from different origins were clearly divided into three groups, and the evaluation model had a high recognition degree for Fu brick tea from different origins. The model was validated using the cross-validation method and the model had a fit index ( $R^2X$ ) of 0.879 for the independent variable, ( $R^2Y$ ) of 0.992 for the dependent variable, and a predictive index ( $Q^2$ ) of 0.53. A total of six variance indicators with variable importance in projection (VIP) values greater than one were identified by OPLS-DA, among which caffeine, water leachate, tea polyphenols, and soluble sugars were the signature variance quality components of sensory characteristics of Fu brick tea. The results show that the application of sensory review, chemical component detection, chemometrics and other methods can achieve the rapid and accurate discrimination of the sensory characteristics of Fu brick tea from different origins, and at the same time, it also provides a new reference method for the discrimination sensory characteristics of Fu brick tea from different origins.

**Key words:** Fu brick tea; sensory characteristics; oethogonal projections to latent structures discriminant analysis; model construction

茯砖茶属黑茶类,以三、四级黑毛茶为原料,经过筛分、汽蒸、渥堆、压制、发花和干燥等工序加工而成<sup>[1]</sup>。近年来,随着人们对黑茶的健康品饮理念逐渐增强,茯砖茶因其独特风味品质和出色健康功效受到了广大消费者的关注和喜爱。研究表明,茶叶对降脂减肥<sup>[2]</sup>、抗癌细胞增殖<sup>[2,3]</sup>、抗菌消炎<sup>[4]</sup>、调节糖脂代谢<sup>[3-5]</sup>、抗精神疾病<sup>[6]</sup>等有诸多功效。

“菌香醇和”是茯砖茶感官特征不同于其他茶类的主要区别,也是在“发花”工序独特的湿热作用下鲜叶原料中化学物质转化的结果。茶叶汤色、滋味和香气等是评价茶叶品质的主要指标,是影响茶叶经济效益的重要因素。Zheng等<sup>[7]</sup>研究表明,不同产地茯砖茶感官特征具有非常明显的差异,湖南茯砖茶感官特征香气属性以花果香、木香为主,陕西茯砖茶感官特征香气属性以烘烤香为主,浙江茯砖茶感官特征香气属性以青草香属性为主。Shen等<sup>[8]</sup>对湖南茯砖茶感官品质特征与内含成分进行分析,表明茯砖茶感官品质的优劣与其内含成分含量高低具有相关性。Xu等<sup>[9]</sup>对不同品种大佛龙井茶的汤色与滋味属性特征进行研究,表明不同品种大佛龙井茶的感官滋味成分含量差异显著,氨基酸(amino acids, AA)与鲜度呈显著正相关,咖啡碱(caffeine, CAF)、表没食子儿茶素(epigallocatechin, EGC)、表没食子儿茶素没食子酸酯(epigallocatechin gallate, EGCG)等与其苦、涩度呈显著正相关,与甜度呈显著负相关。其中,茶叶滋味是指茶汤中的多酚类、生物碱类、氨基酸类、碳水化合物类等水溶性呈味物质对人体感官味觉综合作用的结果,是决定茶叶风味品质的关键因子<sup>[7]</sup>。茯砖茶产业快速发

展,其产销量与市场占有率不断提高,湖南、陕西、浙江是茯砖茶的主要生产产区,茶叶具有明显的地域特色和品质特征,对茯砖茶感官特征品质和不同产地茯砖茶品质差异进行建模研究具有一定的研究意义和研究价值。

茯砖茶感官特征品质化学研究近年来受到茶学工作者高度关注,但相比绿茶、红茶、乌龙茶类等相关研究还相对较少。本研究以湖南、陕西、浙江三地茯砖茶为研究对象,利用人工感官审评、化学成分检测和化学计量学等方法对19个茯砖茶样进行系统研究,旨在全面了解和认识茯砖茶感官特征成分的物质基础差异和构建不同产地茯砖茶的判别模型,为茯砖茶的科学评价提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

19个茯砖茶样品由浙江、陕西、湖南三地有代表性的茶叶生产企业提供,供试茯砖茶样品信息如表1所示。

### 1.2 实验仪器

BS224S 电子天平(梅特勒托利多仪器上海有限公司);DSY-2-8 电热恒温水浴锅(北京国华医疗器械厂);101-3AB 电热鼓风干燥箱(天津市泰斯特仪器有限公司);UV-2550 型紫外分光光度计(日本岛津公司);Agilent ECOSIL-C<sub>18</sub> 色谱柱(4.6 mm × 150 mm)、Agilent 1260 高效液相色谱仪(美国 Agilent 公司)。

### 1.3 实验试剂

色谱级乙酸(批号:Q/12HB 4053-2017,纯度≥99.8%)购于天津市科密欧化学试剂有限公司;色

表 1 供试茯砖茶样品的主要信息

Table 1 Main information of the test Fu brick tea samples

样品 Sample	品名 Name	产地 Source	规格 Norm(g)	生产年份 Production year
Z1	浙江茯砖茶	浙江茶叶企业	400	2018年
Z2	浙江茯砖茶	浙江茶叶企业	1 000	2020年
Z3	浙江茯砖茶	浙江茶叶企业	1 000	2019年
Z4	浙江茯砖茶	浙江茶叶企业	1 000	2021年
Z5	浙江茯砖茶	浙江茶叶企业	800	2022年
Z6	浙江茯砖茶	浙江茶叶企业	450	2020年
S7	熠盛茶业(五福临门)	陕西熠盛茶业公司	500	2021年
S8	汇源茶业(陕云官茶)	陕西汇源茶业公司	400	2018年
S9	金叶茶业(泾阳茯砖)	陕西金叶茶业公司	400	2021年
S10	盛丰茶业(泾阳茯砖茶)	陕西盛丰茶业公司	500	2022年
S11	泾昌盛茶业(泾河号子)	陕西泾昌盛茶业公司	800	2018年
S12	泾阳蔓子茯茶业(泾阳茯砖)	陕西泾阳蔓子茯茶业	800	2019年
H13	怡清源茶业(精制茯砖)	湖南安化怡清源茶业茶厂	700	2019年
H14	白沙溪(御品茯茶)	湖南安化白沙溪茶业茶厂	500	2021年
H15	白沙溪(御品茯茶)	湖南安化白沙溪茶业茶厂	400	2020年
H16	碧丹溪茶业(青云茯茶)	湖南安化碧丹溪茶业茶厂	1 000	2020年
H17	同积丰茶业(品云台)	湖南安化同积丰茶业茶厂	1 000	2020年
H18	一盏云茶业(红茯)	湖南安化一盏云茶业茶厂	500	2022年
H19	六品金福茶业(手筑茯砖)	湖南安化六品金福茶业茶厂	1 000	2018年

谱级甲醇(批号:20220321,纯度 $\geq 99.8\%$ )、色谱级乙腈(批号:20220826,纯度 $\geq 99.8\%$ )、硫酸亚铁( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,批号:20220504,纯度 $\geq 99\%$ )、磷酸二氢钾( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,批号:20220105,纯度 $\geq 99.5\%$ )、磷酸氢二钠( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ,批号:20220414,纯度 $\geq 99.0\%$ )、碳酸钠( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,批号:KDHKM10,纯度 $\geq 99.8\%$ )、2%茚三酮(批号:20220803,纯度 $\geq 95\%$ )、氯化亚锡( $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,批号:2201032,纯度 $\geq 98\%$ )、谷氨酸(批号:20220302,纯度 $\geq 98.5\%$ )、碱式乙酸铅(批号:20210816,纯度 $\geq 98.5\%$ )、4.5 mol/L 硫酸(批号:20220321,纯度 $\geq 95\%$ )、0.01 mol/L 盐酸(批号:20211209,纯度 $\geq 95\%$ )、蒽酮(批号:20220109,纯度 $\geq 98\%$ )均购于国药集团化学试剂有限公司。

#### 1.4 茶叶主要生化成分分析方法

茶多酚含量测定参照 GB/T 8313-2018 茶叶中茶多酚和儿茶素含量的检测方法<sup>[10]</sup>;游离氨基酸测定参照 GB/T 8314-2013 游离氨基酸总量的测定方法<sup>[11]</sup>;咖啡碱含量测定参照 GB/T 8312-2013 咖啡

碱测定的方法<sup>[12]</sup>;水浸出物含量测定参照 GB/T 8305-2013 水浸出物测定方法<sup>[13]</sup>;可溶性糖含量的测定采用硫酸蒽酮比色法。

#### 1.5 茯砖茶感官审评分析

由湖南农业大学茶学教育部重点实验室的3名已取得《评茶员》国家职业资格证书的审评专家进行茯砖茶样品审评。根据 GB/T 23776-2018《茶叶感官审评方法》<sup>[14]</sup>中黑茶的审评方法和要求对19个茯砖茶样品进行分析。称取供试茯砖茶样品各5.0 g,分别置于250 mL毛茶审评杯中,注满沸水,加盖浸泡2 min,按冲泡次序依次等速将茶汤沥入评茶碗中,用于审评汤色与滋味;留叶底于杯中,审评香气。然后第2次注入沸水,加盖浸泡5 min,按冲泡次序依次等速将茶汤沥入评茶碗中,按先汤色,香气,后滋味、叶底的顺序逐项审评。汤色结果以第1次为主要依据,香气、滋味以第2次为主要依据。

#### 1.6 数据分析

采用 Excel 2019 对化学组分含量数据进行统计分析,采用 IBM Spss Statistics 22.0 对数据进行方差

分析,  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。SIMCA 14.1 进行 PCA 和 OPLA-DA 分析, 并由 Origin 2018 进行绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 茯砖茶样品感官审评分析

感官审评结果如表 2 中所示, 湖南、浙江、陕西的茯砖茶感官品质有非常明显的差异, 在干茶外形方面, 茯砖茶的形状、净度、整碎度等方面差异不大, 但在干茶原料、含梗、发花等方面差异明显。Z1、Z2、Z4、Z6 和 H16 号茯砖茶样品原料粗老, 含梗较多; Z 系列样品发花较少, S 系列样品发花较均匀, H 系列样品发花欠均匀。在内质汤色方面, 湖南、浙

江、陕西茯砖茶汤色橙黄尚亮或橙红稍亮。在内质香气方面, Z1、Z3、S8、S9 和 S10 号样品带有菌香, Z2、Z4 和 Z5 号样品粗味明显, 带有陈香; S7 和 S11 号样品略有粗味, 稍带异味; H14 和 H16 号样品有菌花香带有高火味, H15 和 H18 号样品有菌香带有烟味。在内质滋味方面, Z 系列样品滋味平淡, 粗味明显, 略微酸; S 系列样品滋味醇和, 带有菌花味, 稍带陈香, 略有回甘; H 系列样品带有菌香, 稍带陈味, 略有甜味。不同产地茯砖茶样品因原料物质基础的差异而形成了不同的感官表现, 滋味醇和、有菌花香, 带有陈香、木香, 略带回甘、甜味等风味品质, 是优质茯砖茶感官特征的主要体现。

表 2 19 个茯砖茶样品的感官审评结果

Table 2 Sensory evaluation results of 19 Fu brick tea samples

样品 Sample	外形 Shape		汤色 Soup colour		香气 Aroma		滋味 Taste		叶底 Base of the leaf	
	评语 Comment	评分 Rating	评语 Comment	评分 Rating	评语 Comment	评分 Rating	评语 Comment	评分 Rating	评语 Comment	评分 Rating
Z1	砖面平整、棱角分明, 紧压度高, 发花较少, 含梗	88	橙黄较亮	87	有木香, 带有菌香	85	尚厚, 较醇, 微酸	80	较粗老	80
Z2	砖面平整, 紧压度过高, 含梗多, 粗老, 发花较少	84	黄褐不亮	83	粗味明显, 带陈香	82	粗味明显, 滋味平淡	78	粗老, 摊片	76
Z3	砖面平整, 带有黄片, 紧压度适中, 有发花	83	橙黄尚亮	86	带有菌香	82	粗味明显, 滋味平淡	78	较粗老	80
Z4	砖面平整, 紧致, 含梗多, 发花较少	82	黄褐尚亮	84	粗老, 带陈香	83	滋味尚纯和	79	粗老, 无韧性	78
Z5	砖面平整, 棱角较分明, 有金花	84	橙黄较亮	87	粗老, 带陈香	84	粗味明显, 滋味平淡	79	粗老	75
Z6	发花不均匀, 四周少, 原料粗老	90	橙黄	89	带微酸	85	微酸, 带有菌花味	89	尚均匀, 粗老	87
S7	砖面规整, 净度高, 有金花	95	橙黄较亮	90	略有粗味	86	有陈香, 较醇和	92	略粗老, 较有韧性	91
S8	砖面欠匀整, 四周发花较少	92	橙黄尚亮	89	有菌香	87	有陈香, 较醇和, 有回甘	93	略粗老, 较有韧性	91
S9	砖面紧致较平整, 有发花	90	橙红稍暗	86	带有菌香	91	醇和, 带有菌花味	90	嫩度高, 尚有韧性	89
S10	金花茂盛, 发花均匀	92	橙红稍暗	86	菌香明显	92	醇和, 带菌花味	90	嫩度尚可, 尚有韧性	88
S11	砖面平整, 金花尚均匀, 干茶棕红色, 条索尚均匀	92	橙黄稍亮	89	有菌香, 略带有异味	89	较醇和, 带有菌花味	92	略粗老, 匀度较差	87

续表 2(Continued Tab. 2)

样品 Sample	外形 Shape		汤色 Soup colour		香气 Aroma		滋味 Taste		叶底 Base of the leaf	
	评语 Comment	评分 Rating	评语 Comment	评分 Rating	评语 Comment	评分 Rating	评语 Comment	评分 Rating	评语 Comment	评分 Rating
S12	砖面平整,金花明显尚均匀,表面带有黄条	91	橙黄较亮	90	带有菌香	90	纯正,有菌香味	91	黄褐色,嫩度较高,有韧性	90
H13	发花不均匀,松紧度较高	83	橙黄明亮	90	粗气明显	82	平淡,带有菌香	82	较粗老	84
H14	金花均匀,砖面紧压度过高	91	橙黄较亮	90	带有高火味,有菌花香	87	带有陈味	88	原料较嫩	91
H15	发花颗粒较小,原料较碎	92	橙黄较亮	90	有菌香,带有烟味	86	带有陈味	88	尚均匀,原料较粗	89
H16	原料较粗老,含梗,有金花	80	橙黄明亮	91	有高火味,有菌花香	91	有菌花味	91	尚均匀,略粗老	90
H17	松紧度过高,有发花	91	橙红略暗	87	陈气明显	88	带有陈味	85	尚均匀,原料较粗老	89
H18	发花不均匀,砖面平整	89	橙红稍暗	86	有菌香,带有烟味	86	有菌花味,带甜味	90	原料较嫩	90
H19	原料较嫩,发花尚可,尚均匀	91	橙红较暗	84	有陈气	80	醇和,有菌花味	89	原料较嫩	90

## 2.2 茯砖茶感官滋味评分与化学组分分析

根据感官审评专家对茯砖茶茶汤滋味进行评分,然后使用化学方法对茯砖茶内含成分进行测定,结果见表 3。

由表 3 可知,茯砖茶的滋味得分(taste score, TS)最大值为 93,最小值为 78,均值为 87,样品之间滋味得分差距较大,表明样品之间差异性明显,具有较好的试验性。茶汤中的黄烷醇类、氨基酸类、生物碱类、茶多酚类、糖类等内含物种类和含量上的差异造成了各不相同的滋味特征。茯砖茶中的 11 种内含成分含量较高的为茶多酚(tea polyphenols, TPP)、可溶性糖(soluble sugar, SS)、水浸出物(water leachate, WL)、AA、CAF、EGCG 和 EGC;含量较低的

内含成分为儿茶素(catechin, CAT)、表儿茶素(epicatechin, EC)、表儿茶素没食子酸酯(epigallocatechin, ECG)和没食子儿茶素没食子酸酯(gallocatechingallate, GCG)。茯砖茶中的物质成分含量高低对茶汤滋味的形成具有非常重要的作用,不同的物质成分含量对影响茯砖茶茶汤特征滋味的贡献度具有非常明显的差异<sup>[15]</sup>。菌香、醇和是茯砖茶感官的主体特征,形成其特征的关键是“发花”工序,主要是通过控制一定的温湿度条件促使优势微生物大量生长繁殖,在微生物酶和湿热作用下,使茶叶内含成分的组成和比例发生变化,从而形成茯砖茶特有的感官滋味品质风格<sup>[16]</sup>。

表 3 茯砖茶的主要内含成分测定结果

Table 3 Determination of the main internal components of Fu brick tea

指标 Index	最小值 Min	最大值 Max	平均值 Average	标准偏差 Standard deviation
TS	78	93	87	5
EGC 质量分数 EGC mass fraction(%)	0.011	0.167	0.064	0.039
CAT 质量分数 CAT mass fraction(%)	0.003	0.065	0.020	0.019
EC 质量分数 EC mass fraction(%)	0.002	0.080	0.024	0.028
EGCG 质量分数 EGCG mass fraction(%)	0.003	0.165	0.084	0.044
GCG 质量分数 GCG mass fraction(%)	0.002	0.068	0.026	0.018

续表 3 (Continued Tab. 3)

指标 Index	最小值 Min	最大值 Max	平均值 Average	标准偏差 Standard deviation
ECG 质量分数 ECG mass fraction (%)	0.004	0.078	0.030	0.017
AA 质量分数 AA mass fraction (%)	0.980	1.230	1.092	0.064
CAF 质量分数 CAF mass fraction (%)	2.370	6.400	4.668	1.237
TPP 质量分数 TPP mass fraction (%)	0.620	6.420	4.611	1.481
SS 质量分数 SS mass fraction (%)	2.030	5.400	3.848	0.832
WL 质量分数 WL mass fraction (%)	22.380	33.360	29.381	3.452

为进一步阐明影响茯砖茶感官滋味特征成分的具体差异,更加直观地看到茯砖茶中的化学组分与感官滋味属性之间的显著性差异( $P < 0.05$ ),采用 Origin 2022 对这些化合物进行相关性作图分析。如

图 1 所示,相关性图中的横、纵坐标代表不同化学组分和滋味得分,红色表示化合物含量之间相关性越高,蓝色表示化合物含量之间正相关性越低。

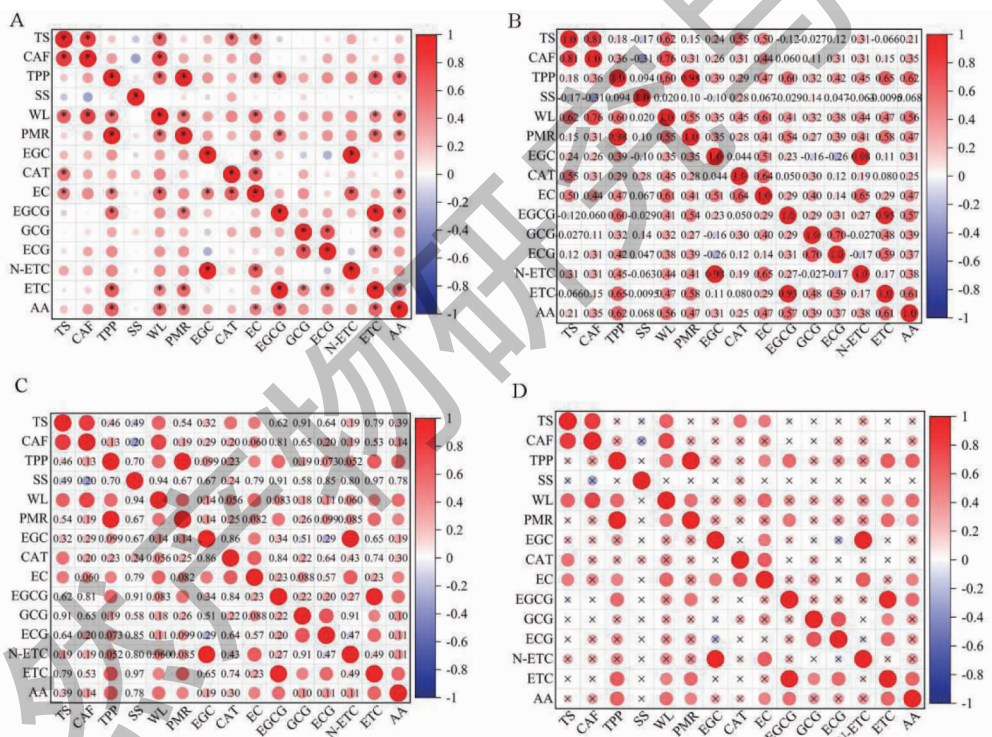


图 1 茯砖茶感官滋味特征组分相关性图

Fig. 1 Correlation plot of sensory flavour profile components of Fu brick tea

注: A、B、C、D 分别为一般标记图、相关系数图、 $P$  值图、重要标记图。N-ETC: 非酯型儿茶素; ETC: 酯型儿茶素; PMR: 酚氨比。Note: A, B, C, and D are general labelling plots, correlation coefficients,  $P$ -values, and significant labelling plots respectively. N-ETC: Non-ester catechins; ETC: Ester catechins; PMR: Phenolamine ratio.

茯砖茶 TS 与 CAF 呈显著正相关( $P < 0.05$ ), 其相关系数达到 0.81。CAF 是甲基黄嘌呤生物碱, 是茶叶中最主要的嘌呤生物碱和重要的苦味呈味物质, 对茶叶的风味品质具有重要贡献<sup>[17]</sup>。CAF 是茶汤苦味的主要贡献者, 参与茶叶品质形成, 茯砖茶发

花过程中, 甲基黄嘌呤生物碱属杂环含氮化合物, 环状结构比较稳定, 难以破坏, 微生物对于这类杂环含氮化合物的利用能力较低<sup>[18]</sup>。茯砖茶加工过程中, 由于配糖化作用, 糖苷难以氧化, 黄酮苷在高温高湿作用下易发生水解, 将糖基释放, 有利于降低茯砖茶

的苦涩味;同时,黄酮类氧化产物还可与 CAF 形成络合物<sup>[18]</sup>,反应过程中形成的物质有助于增加茯砖茶茶汤滋味的醇和度。

茯砖茶 TS 与 WL 呈显著正相关( $P < 0.05$ ),其相关系数达到 0.62。WL 是茶叶水溶性物质的总和,以多酚类及其氧化产物聚合物为主体,还含有 AA、CAF、SS 等多种物质。在茯砖茶加工过程中,微生物生长需要营养成分,容易消耗部分茯砖茶中的 WL;同时在湿热作用下,少量水溶性物质之间相互作用转化成难溶性物质,使得其 WL 含量相对下降,另一方面,水解反应也使难溶性大分子物质如多糖类物质转化为水溶性的小分子物质,使得 WL 的含量增加,增加了茶汤的浓度<sup>[16]</sup>。显然,茯砖茶加工过程中 WL 含量的变化同水溶性物质和难溶性物质之间的相互转化是密切相关的,WL 中的各成分在茯砖茶加工过程中发生的氧化、聚合、水解、酯化、分解等反应为茯砖茶独特的口感滋味以及香气品质的形成奠定了物质基础。

茯砖茶 TS 与 CAT 和 EC 呈显著正相关( $P < 0.05$ ),其相关系数分别为 0.55、0.50。CAT 属于黄酮醇类化合物,是茶叶最主要的多酚类化合物,约占 TPP 总量的 60%~80%,其口感上主要表现为苦涩味,且滋味强度均随浓度的升高而增加。Li<sup>[19]</sup>等研究表明,茶汤苦味和涩味的强度和多酚类成分的总含量呈正相关。Zhang 等<sup>[20]</sup>研究表明,N-ETC 是茶汤苦味的主要贡献者,而 ETC 是主要的涩味成分。由于 CAT 的部分氧化和异构化使 CAT 各组分的比例发生变化,这种变化有利于减轻茶汤的苦涩味,使得茯砖茶滋味更为醇和<sup>[19]</sup>。Fu 等<sup>[16]</sup>研究表明,在湿热作用下,ETC 的水解和 CAT 的非酶促氧化是茯

砖茶中 CAT 总量减少的最主要途径,茯砖茶中 CAT 的氧化聚合,减少了粗涩味,增加其滋味的醇和,对改善茯砖茶滋味品质有积极效应。

从图 1 中还可以看出,PMR、AA、TPP、WL、EC、EGCG、ETC 等成分间呈显著正相关( $P < 0.05$ ),彼此间相互起正向作用,共同影响着茯砖茶茶汤滋味品质的形成。除上述成分外,AA 与茯砖茶 TS 相关关系较大,为 0.21,但二者间并不呈显著相关( $P > 0.05$ ),可能是在茯砖茶加工过程中,由于高温、高湿和高压的条件下,茯砖茶透气性差,发生了化学反应和转化,使得 AA 的含量逐渐降低,AA 的这种变化规律与茯砖茶滋味特征成分的形成有密切关系<sup>[19]</sup>。

### 2.3 基于 PCA 的茯砖茶感官滋味品质综合评价及模型构建

PCA 是采用线性转换将原始多数变量转换成新的少数变量的模式识别分析方法,可降低数据的维度和复杂性。从表 4 可知,PC1~PC4 前 4 个主成分的累计贡献率达到 79.48%,根据 PCA 原理,前 4 个主成分就可以基本解释 11 个变量中大部分化学信息。第 1 主成分解释了总变异信息的 42.35%,主要综合了 WL、AA、TPP、EGC 和 EGCG 的信息,这些是影响茯砖茶茶汤浓度和口感的重要因素。第 2 主成分包含了原始信息的 13.81%,其大小主要是由 CAF、SS、CAT 和 EC 等内含成分决定。第 3 主成分包含了原始信息的 13.02%,其大小主要由 GCG 和 ECG 等 ETC 决定。第 4 主成分包含了原始信息的 10.31%,主要增加了感官滋味综合评价模型的信息表达量,使模型更全面反映不同产地茯砖茶感官滋味综合品质。

表 4 各主成分的特征向量和方差贡献率

Table 4 Eigenvectors and variance contribution of each principal component

品质指标 Quality index	PC1	PC2	PC3	PC4
WL	0.502	0.647	0.194	0.333
AA	0.752	0.274	0.239	0.039
CAF	0.201	0.562	0.114	0.721
TPP	0.800	0.302	0.183	0.004
SS	0.023	0.243	0.063	-0.831
EGC	0.854	0.127	0.026	0.196
CAT	0.005	0.874	0.095	-0.208
EC	0.281	0.807	0.118	0.010
EGCG	0.826	-0.048	0.170	-0.082

续表 4(Continued Tab. 4)

品质指标 Quality index	PC1	PC2	PC3	PC4
GCG	0.140	0.227	0.887	-0.131
ECG	0.263	0.036	0.888	0.128
初始特征值 Initial eigenvalue	4.658	1.519	1.432	1.134
方差贡献率 Variance contribution rate	42.349	13.812	13.016	10.307
累计方差贡献率 Cumulative variance contribution rate	42.349	56.161	69.177	79.484

采用 PCA 分别计算出不同产地的茯砖茶感官滋味品质综合评价得分和各主成分得分,对不同产地茯砖茶样品的感官滋味品质进行综合评价分析。由表 5 可知,S8、S10、S12、H15、H16 和 H17 号茯砖茶样品综合评价得分明显高于其他茯砖茶样品,同时茯砖茶样品的感官审评得分也较高,在整体滋味方面表现突出;而 Z2、Z3、Z4、Z5、S11、H13 和 H18

号茯砖茶样品的综合评价得分相对较低,在整体滋味方面表现较差。由表 5 可知,PCA 方法对所测茯砖茶样品感官滋味品质评价时,存在一些茯砖茶样品感官滋味品质评价得分不一致的现象,较难区分这些茯砖茶样品的感官滋味品质差异,同时不同产地茯砖茶样品无法得到有效区分,且评价模型也难以较好地区分各茯砖茶样品的感官滋味特征成分。

表 5 不同产地茯砖茶滋味品质感官审评和模型评价

Table 5 Sensory review and model evaluation of the taste quality of Fu brick tea from different origins

样品 Sample	模型评价 Model evaluation				综合得分 Aggregate score	感官审评 Sensory evaluation	
	PC1	PC2	PC3	PC4		感官特征 Sensory feature	得分 Score
Z1	0.631	-0.511	0.727	-0.378	0.470	较醇和、带微酸	80
Z2	-0.476	-1.552	1.126	-0.140	-1.041	滋味淡、带粗味	78
Z3	0.293	-1.127	-0.626	-1.183	-2.643	滋味淡、带粗味	78
Z4	0.265	-1.284	0.496	-0.570	-1.093	尚纯和	79
Z5	-0.492	-0.760	-0.825	-1.402	-3.480	滋味淡、带粗味	79
Z6	-0.390	2.008	0.930	-1.931	0.616	菌花味、带微酸	89
S7	-0.190	0.241	-0.464	0.541	0.129	陈香,较醇和	92
S8	-0.602	1.225	2.866	0.660	4.148	陈香,较醇和,有回甘	93
S9	0.219	1.784	-1.125	-0.222	0.656	醇和,带菌花味	90
S10	0.190	0.308	0.155	0.509	1.162	醇和,带菌花味	90
S11	-0.844	0.662	-0.823	-0.206	-1.211	较醇和,带菌花味	92
S12	2.381	-0.626	0.206	0.341	2.302	纯正,带菌香味	91
H13	-0.768	-0.547	-0.043	-1.310	-2.668	滋味淡,带菌香	82
H14	0.665	-0.099	-0.146	0.195	0.616	带陈味	88
H15	1.484	0.002	0.005	0.803	2.294	带陈味	88
H16	1.038	1.201	-1.515	0.462	1.186	带菌花味	91
H17	-0.223	-0.060	0.316	0.810	0.843	带有陈味	85
H18	-2.111	-0.484	-1.062	0.676	-2.981	有菌花味,带甜味	90
H19	-1.070	-0.381	-0.199	2.345	0.695	醇和,有菌花味	89

## 2.4 基于 OPLS-DA 的茯砖茶感官滋味特征分析及其评价模型建立

因此,为有效避免 PCA 中的一些不足,更加科学准确地评价不同产地茯砖茶的感官滋味品质。对不同产地茯砖茶感官滋味化学组分进行(见图 2B)

分析,结果显示,19 份茯砖茶样品被明显分成 3 组,以编号 Z1 ~ Z6 号茯砖茶样品为类别 1,聚集在 OPLS-DA 得分图纵坐标轴右侧,以编号 S7 ~ S12 号茯砖茶样品为类别 2,聚集在 OPLS-DA 得分图第 3 象限,以编号 H13-H19 号茯砖茶样品为类别 3,主要



聚集在 OPLS-DA 得分图的第 2 象限。

同时,采用交叉验证法对模型进行验证,共筛选出了 3 个主成分,模型对自变量拟合指数 ( $R^2X$ ) 为 0.879,因变量拟合指数 ( $R^2Y$ ) 为 0.992,模型预测指数 ( $Q^2$ ) 为 0.53, $R^2$  和  $Q^2$  超过 0.5 表示模型拟合结果可接受。经过 200 次置换检验,如图 2C 所示, $Q^2$  回归线与纵轴的相交点小于 0,说明模型不存在过拟合,模型验证有效,认为该结果可用于茯砖茶感官

滋味产地鉴别分析。为进一步找出对结果起贡献作用的变量,不同感官滋味化学组分对区分不同产地茯砖茶的贡献率,根据  $P < 0.05$  且  $VIP > 1$  的标准, $VIP$  值的大小代表了各品质成分对模型贡献率的大小,值越大贡献越大,筛选出了 6 种不同产地茯砖茶感官特征的差异性指标,分别为 TS、WL、CAF、TPP、PMR、SS,可以作为区分不同产地茯砖茶样品的标志性成分。

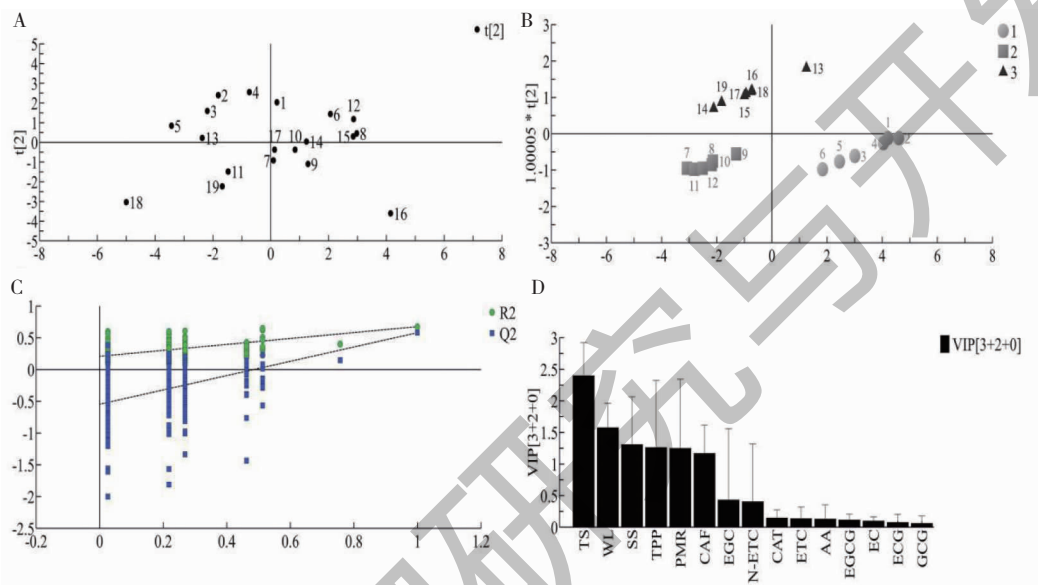


图 2 不同产地茯砖茶感官特征品质 PCA 和 OPLS-DA 的模型信息

Fig. 2 Modelling information of PCA and OPLS-DA for sensory characteristic qualities of Fu brick tea from different origins  
注:A:PCA 得分图;B:OPLS-DA 得分图;C:OPLS-DA 模型置换验证图;D:OPLS-DA 模型 VIP 图。Note:A:PCA score plot;B:OPLS-DA score plot;C:OPLS-DA model replacement validation plot;D:OPLS-DA model VIP plot.

### 3 讨论与结论

采用感官审评、化学组分检测和化学计量学等方法,对不同产地的茯砖茶样品感官特征成分进行分析。结果表明,不同产地茯砖茶样品感官滋味特征成分在种类上相似,而含量上差异显著,且具有明显的产地特征。本研究表明,CAF、TPP、WL 是影响不同产地茯砖茶感官滋味特征差异的主要因素。Chang 等<sup>[21]</sup>研究表明 ECG、EGC、CAT 对辨别不同产地黑茶感官特征具有重要作用。Song 等<sup>[22]</sup>研究表明不同产地红茶感官特征差异明显,其主要原因是受红茶茶汤内含成分的种类和含量所影响。

茯砖茶的 TS 与 CAF、WL、CAT、EC 呈现出显著相关,其相关系数 ( $P < 0.05$ ) 分别为 0.81、0.62、0.55、0.50。基于茯砖茶感官滋味特征成分进行 PCA,前 4 个主成分的累计方差贡献率为 79.48%,

并以前 4 个主成分的线性回归方程和贡献率构建了茯砖茶滋味品质综合评价模型与产地判别模型,模型识别准确度一般。为此,采用 OPLS-DA 进行建模,结果显示,19 个不同产地的茯砖茶样被明显地划分为 3 组,且评价模型对不同产地茯砖茶识别度较高。采用交叉验证法对模型进行验证,模型对自变量的拟合指数 ( $R^2X$ ) 为 0.879,对因变量的拟合指数 ( $R^2Y$ ) 为 0.992,预测指数 ( $Q^2$ ) 为 0.53。经 OPLS-DA 共识别出 6 种  $VIP$  值大于 1 的差异成分,其中 CAF、WL、TPP、SS 为茯砖茶感官滋味特征成分的标志性差异品质指标。

Li 等<sup>[4]</sup>研究结果表明,PCA 难以将不同茶类进行辨别,而 OPLS-DA 识别准确度较高,这是因为 OPLS-DA 可将正交信号校正方法与 PLS 进行结合,可以滤除与研究对象无关的噪音。与 PCA 相比,

OPLS-DA 不仅能实现样品的差异鉴别,还能获得样品差异的特征标记物,有利于对不同产地样品的快速识别和特征性差异成分的筛选。Wang 等<sup>[23]</sup>研究表明 EGCG、CAT、TPP 等成分与青砖茶感官特征品质密切相关,同时对青砖茶感官特征品质模型具有重要影响。

本研究对茯砖茶感官滋味特征成分进行分析,为辨别湖南、浙江、陕西茯砖茶的品质特点提供理论参考。结果表明,应用感官审评、化学组分分析和化学计量学等方法分析不同产地茯砖茶感官滋味特征品质是可行的,可以实现茯砖茶感官滋味特征品质的快速、准确评价。但本实验也存在一些不足之处,实验样本量采集不够,需扩大样本的多样性等问题。同时本课题组在后续的研究中,将结合茯砖茶感官特征等级差异、HS-SPME-GC-MS、光谱分析等技术,为不同产地茯砖茶感官特征品质的科学评价提供理论依据。

#### 参考文献

- 1 Wan XC. Tea Biochemistry:3rd Edition(茶叶生物化学:第三版)[M]. China Agricultural Press,2008:268-274.
- 2 Shao SX,Xu MT,Lin YP,et al. Differential analysis of aroma components of Huangguanyin Oolong tea from different geographical origins using electronic nose and headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry [J]. Food Sci(食品科学),2023,44:232-239.
- 3 Fan FY,Yang XL,Gong SY,et al. Study on yellow tea taste characteristic and contribution of taste-chemical compositions to taste quality based on partial main cultivated cultivars in Zhejiang Province[J]. J Zhejiang Univ: Agric Life Sci(浙江大学:农科版),2019,45:443-451.
- 4 Li YD,Zhang YY,Peng Z,et al. The difference of quality components of Fuzhuan tea and Qianliang tea based on the orthogonal partial least squares discriminant analysis model [J]. J Food Safe Qual(食品安全质量检测学报),2017,8:4382-4387.
- 5 Tang YY,Yu MY,Yu LJ,et al. Effects of Eurotium cristatum LJSC. 2005 on the quality of primary dark tea, a major part of Fu tea[J]. J Tea Sci(茶叶科学),2022,42:851-862.
- 6 Wang H,Wang W,Liu YF,et al. Active compounds from Camellia sinensis and their agonistic activity on melatonin receptors[J]. Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发),2022,34:1021-1026.
- 7 Zheng XX,Hong X,Jin YL,et al. Characterization of key aro-

- ma compounds and relationship between aroma compounds and sensory attributes in different aroma types of Fu brick tea [J]. Food Chem,2022,13:100248.
- 8 Shen CW,Deng YZ,Zhou YB, Research of quality features and aroma components in Hunan Fu brick tea[J]. J Tea Sci(茶叶科学),2017,37:38-48.
- 9 Xu PC,Fan FY,Lu DB, et al. Infusion color and taste characteristic of Dafo Longjing tea processed from different cultivars[J]. J Zhejiang Univ: Agric Life Sci(浙江大学:农科版),2017,43:317-328.
- 10 State Market Regulatory Administration, Standardization Administration of the People's Republic of China. Determination of total polyphenols and catechins content in tea(茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法):GB/T 8313—2018[S]. Beijing:China Standard Publishing Company,2019:1-9.
- 11 General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Tea determination of free amino acids content(茶游离氨基酸总量的测定):GB/T 8314—2013[S]. Beijing:China Standard Publishing Company,2013:1-5.
- 12 General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Tea determination of caffeine content(茶咖啡碱测定):GB/T 8312—2013[S]. Beijing:China Standard Publishing Company,2013:1-8.
- 13 General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Tea determination of water extracts content(茶水浸出物测定):GB/T 8305—2013[S]. Beijing:China Standard Publishing Company,2013:1-4.
- 14 General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Methodology for sensory evaluation of tea(茶叶感官审评方法):GB/T 23776—2018[S]. Beijing:China Standard Publishing Company,2018:1-28.
- 15 Fan FY,Tang GZ,Gong SY,et al. Typical yellow tea taste characteristic and its related taste-chemical compositions [J]. Sci Agric Sin(中国农业科学),2020,53:371-382.
- 16 Fu DH,Liu ZH,Huang JA,et al. Variations of components of Fuzhuan tea during processing [J]. Food Sci(食品科学),2008,29:64-67.
- 17 Hollman PCH, Arts ICW. Flavonols, flavones and flavanols-nature, occurrence and dietary burden[J]. J Sci Food Agric,2000,80:1081-1093.