宋勤飞, 张明露, 赵伟, 等. 贵州出口红茶品质分析及综合评价 [J]. 食品工业科技, 2026, 47(8): 324−332. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025050108

SONG Qinfei, ZHANG Minglu, ZHAO Wei, et al. Quality Analysis and Comprehensive Evaluation of Guizhou Export Black Tea[J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(8): 324−332. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025050108

· 分析检测 ·

贵州出口红茶品质分析及综合评价

宋勤飞[1], 张明露[2], 赵　伟[1], 庄菊花[1], 牛素贞[3,*]

（1.贵州大学茶学院, 贵州 贵阳 550025;
2.贵州省绿色食品发展中心, 贵州 贵阳 550001;
3.贵州大学农业生物工程研究院, 贵州 贵阳 550025）

摘　要: 为客观评价贵州出口红茶品质，建立出口红茶质量评价体系，本研究以 21 款贵州出口红茶为材料，通过感官审评及理化指标检测明确其品质，结合相关分析、主成分分析和聚类分析筛选核心指标，采用熵权法确定熵值和权重，构建出口红茶质量评价体系。结果显示：贵州出口红茶感官各具特色，工夫红茶甜醇，显花果香；红碎茶浓醇，汤色红亮。出口红茶水分含量、总灰分、水溶性灰分占比及水浸出物含量均值分别为 6.20%、5.71%、63.63% 和 37.33%，符合国内外标准；但茶多酚含量均值为 8.45%，低于 9% 的标准限值。各理化指标间具有较强相关性；主成分分析提取出 3 个主成分，累计方差贡献率达到 70.686%；筛选出茶多酚、茶褐素、水溶性灰分占比、水分含量、水浸出物、总灰分共 6 项核心指标，其中水溶性灰分占比、水分含量和总灰分权重值分别为 22.078%、19.267% 和 18.428%，是影响贵州出口红茶质量的关键因子。综合评价表明贵州出口工夫红茶品质显著优于红碎茶，各类型质量排序为盘花型（CS）>条型（CL）>卷曲型（CC）>片茶（BF）>碎茶（BB），与感官审评结果一致，本研究为贵州出口红茶品质控制提供科学参考。

关键词: 贵州, 出口红茶, 品质, 熵权法, 综合评价

中图分类号: TS272.5　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1002−0306(2026)08−0324−09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2025050108

本文网刊:

Quality Analysis and Comprehensive Evaluation of Guizhou Export Black Tea

SONG Qinfei[1], ZHANG Minglu[2], ZHAO Wei[1], ZHUANG Juhua[1], NIU Suzhen[3,*]

（1.College of Tea Science, Guizhou University, Guiyang 550025, China;
2.Guizhou Green Food Development Center, Guiyang 550001, China;
3.Institute of Agro-Bioengineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China）

Abstract: To evaluate the quality of Guizhou export black tea and establish a comprehensive quality evaluation system, this study analyzed 21 Guizhou export black tea samples based on sensory evaluation and physical and chemical index determinations. Core indicators were identified through correlation, principal component, and cluster analyses. The entropy weight method was then used to determine their values and weights, ultimately constructing a quality evaluation system for export black tea. Results revealed that Guizhou export black tea had certain distinctive sensory characteristics. Specifically, Congou Black Tea was found to be characterized by its sweet and mellow taste with a flowery and fruity aroma, whereas Broken Black Tea had a distinct heavy and mellow flavor accompanied by bright red liquor. Based on analyses, this study obtained average values of 6.20%, 5.71%, 63.63%, and 37.33% for the moisture content, total ash, water-soluble ash ratio, and water extract of export black teas, respectively, all of which comply with both domestic and international standards. However, at 8.45%, the mean tea polyphenols content determined in this study falls below the standard limit of 9%.

收稿日期: 2025−05−14

基金项目: 贵州省科技计划项目（黔科合支撑 [2023] 一般 481, 黔科合中引地 [2023]009）; 国家重点研发计划子课题（2021YFD1200203-1）。

作者简介: 宋勤飞（1978−）, 女, 硕士, 讲师, 研究方向: 茶产品开发与品质控制, E-mail: song96@sina.com.cn。

*** 通信作者:** 牛素贞（1980−）, 女, 博士, 教授, 研究方向: 茶树种质资源挖掘与产品开发, E-mail: niusuzhen@163.com。

Moreover, strong correlations were detected between the physical and chemical indicators, and based on principal component analysis, three major components were identified with a cumulative variance contribution of 70.686%. In addition, six core quality indicators were screened out, tea polyphenols, theaflavins, water-soluble ash ratio, moisture content, water extract, and total ash, among which, water-soluble ash ratio (22.078%), moisture content (19.267%), and total ash (18.428%) emerged as key factors determining the quality of Guizhou export black tea. This comprehensive evaluation enabled the establishment that Guizhou Congou Black Tea had a significantly better quality compared to Brocken Black Tea. Consistent with the results of sensory evaluation, the following quality ranking for the different tea types was obtained: Spiral (CS)>long-shape (CL)>curly (CC)>fanning (BF)>broken (BB). These findings will provide a scientific reference for the quality control of export black tea in Guizhou.

Key words: Guizhou; export black tea; quality; entropy weight method; comprehensive evaluation

茶叶根据加工工艺和品质特征不同分为红茶、绿茶、黄茶、白茶、青茶（乌龙茶）和黑茶六类[1]。红茶作为全发酵茶，凭借丰富独特的风味和多元化的饮用方式深受各年龄段消费者喜爱，是全球消费量最大的茶类，占茶叶消费量的 75% 以上[2]。红茶品质受产地、品种、原料、加工工艺、加工技术等多种因素影响。消费者的口味偏好与市场动态反馈到红茶生产环节对原料选取、加工工艺等产生引导，也影响红茶产品品质。我国内销红茶主要为工夫红茶，其滋味甜醇、带花果甜香[3]；而国外传统红茶消费以滋味“浓强鲜”特征突出的红碎茶为主。目前红碎茶消费是国际红茶消费的主导，占到全球红茶消费量的 60.2%[4]。但随着茶叶贸易市场的发展和新茶饮等的兴起，国际红茶市场上，工夫红茶的占比也逐年提高。

国际市场上，我国红茶的品质不及斯里兰卡、肯尼亚、印度的红茶[5]。我国外销红茶的茶味、香气偏淡，鲜度较差[6]；出口的拼配红碎茶汤色红浓，香气欠纯，滋味偏淡欠醇，叶底欠匀亮[7]。同时国内出口 CTC（crush tear and curl, CTC）红碎茶加工时对萎凋程度控制不严格，导致品质不稳定，差异较大[8]。采用传统工艺制作的中小叶种红茶茶黄素含量相对较低，无法满足国际市场对于“浓、强、鲜”口感的追求[9−10]。但通过对红毛茶进行精制分级能够对口感进行细致的调整，稳定红茶品质，其中高级别茶叶通常具有更浓郁的香气和更柔和的口感[11]，这有助于提高出口红茶的质量。

红茶起源于中国，也是目前我国主要的出口茶类。2024 年，我国红茶出口量 2.48 万吨，占全国茶叶出口总量的 6.75%；出口额 1.72 万美元，占比 12.62%，是仅次于绿茶的第二大出口茶类[12]。贵州是我国茶园面积最大的省份，生产和出口红茶起步也较早。‘上隆红茶’在 20 世纪 80 年代就出口欧洲，上隆果茶场是当时贵州省唯一能生产红碎茶二套样的企业[13]。近年来，随着“遵义红”、“普安红”等优质红茶产品的出现，贵州红茶出口贸易也逐年增多。据《2024 世界与中国红茶产销情况解析》报告，2024 年贵州红茶出口量 911.67 吨、出口额 1370.57 万美元，双双位居全国第一。但目前针对贵州出口红茶品质的系统研究不足。

本研究以目前贵州出口红茶代表性产品为材料，通过感官审评及理化指标检测，并与国内、国际红茶标准进行对比，明确贵州出口红茶产品类别及其品质特征；同时通过多元数据处理方法筛选出口红茶核心指标，建立简单快捷的出口红茶评价体系，准确评价出口红茶品质，以期科学指导出口红茶的生产，提升出口红茶品质，优化产品与市场结构，增强红茶贸易综合效益。

1　材料与方法

1.1　材料与仪器

红茶茶样（2024 年）　共 21 款，由贵州省内从事

表 1　供试材料信息表

Table 1　Information of test materials

序号	编号	名称	来源	序号	编号	名称	来源
1	CC1	普安红	贵州习普生物科技有限公司	12	CS3	红宝石特级	贵州铜仁贵茶茶业股份有限公司
2	CC2	普安红	贵州习普生物科技有限公司	13	CS4	红宝石一级	贵州铜仁贵茶茶业股份有限公司
3	CC3	−	遵义七味茗香茶叶进出口有限公司	14	CS5	红宝石	贵州铜仁贵茶茶业股份有限公司
4	CC4	−	贵州梵锦茶业有限公司	15	BB1	颗粒红茶1号	遵义七味茗香茶叶进出口有限公司
5	CC5	−	贵州梵锦茶业有限公司	16	BB2	颗粒红茶2号	遵义七味茗香茶叶进出口有限公司
6	CL1	−	贵州习普生物科技有限公司	17	BB3	颗粒红茶3号	遵义七味茗香茶叶进出口有限公司
7	CL2	红毛峰	贵州习普生物科技有限公司	18	BF1	红片	贵州梵锦茶业有限公司
8	CL3	普安红	贵州习普生物科技有限公司	19	BF2	红片	贵州梵锦茶业有限公司
9	CL4	条形	遵义七味茗香茶叶进出口有限公司	20	BF3	红片	贵州梵锦茶业有限公司
10	CS1	红碧螺	贵州习普生物科技有限公司	21	BF4	红片	贵州梵锦茶业有限公司
11	CS2	红宝石一级	贵州铜仁贵茶茶业股份有限公司				

注：“−”表示该产品未命名。

出口红茶业务的 4 家重点企业提供，根据加工工艺和干茶外形不同分为 5 种类型，其中工夫红茶（Congou Black Tea, CBT）有 3 种类型：卷曲型（Congou black tea Curly, CC）5 款、条型（Congou black tea Long-shape, CL）4 款和盘花型（Congou black tea, Sprial, CS）5 款；红碎茶（Brocken Black Tea, BBT）包含两种类型：碎茶型（Brocken black tea Broken, BB）3 款和片茶型（Brocken Black Tea Fanning, BF）4 款，样品详细信息见表 1；没食子酸标准品（Gallic acid, GA, ≥99%）、茶氨酸标准品（Theanine, The, ≥99%）、咖啡碱标准品（Caffeine, CAF, ≥99%） 上海源叶生物科技有限公司；甲醇、福林酚、碳酸钠、十二水合磷酸氢二钠、磷酸二氢钾、茚三酮、氯化亚锡、碱式乙酸铅、盐酸、硫酸、蒽酮、葡萄糖、乙酸乙酯、正丁醇、乙醇、碳酸氢钠、草酸 均为分析纯，北京索莱宝科技有限公司。

H1850R 高速冷冻离心机 湖南湘仪仪器有限公司；UH5300 Hitachi 双光束分光光度计 日立（中国）有限公司；PL203 型电子分析天平 梅特勒-托利多仪器有限公司；DK-98-Ⅱ型电热恒温水浴锅 天津市泰斯特仪器有限公司；SX2-4-10A 箱式电阻炉 上海索阈试验设备有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 感官审评方法 组织 5 名具有高级评茶员及以上资格的评茶员按照 GB/T 23776-2018《茶叶感官审评方法》中红茶审评方法进行感官审评并评分。5 项审评因子外形、汤色、香气、滋味、叶底的评分分别按百分制，最后得分取 5 名评茶员的平均分。感官审评得分为各审评因子评分乘以各因子评分系数之和，其中工夫红茶感官审评得分=外形评分×25%+汤色评分×10%+香气评分×25%+滋味评分×30%+叶底评分×10%；红碎茶感官审评得分=外形评分×20%+汤色评分×10%+香气评分×30%+滋味得分×30%+叶底得分×10%。

1.2.2 理化指标测定方法 参考国际标准化组织红茶标准 ISO 3720:2011 《Black tea—Definition and basic requirements》和中国国家标准红茶相关产品标准 GB/T 13738.1-2017《红茶 第 1 部分：红碎茶》、GB/T 13738.2-2017《红茶 第 2 部分：工夫红茶》，并充分考虑国内外红茶加工方式和饮茶习惯的差异[14]，选取水分含量（Moisture content, MC）、总灰分（Total ash, TA）、水溶性灰分（Water-soluble ash, WA）、水浸出物（Water extractables, WE）、茶多酚（Tea polyphenols, TP）、可溶性糖（Soluble sugars, SS）、咖啡碱、游离氨基酸总量（Free amino acid, AA）、茶黄素（Theaflavins, TF）、茶红素（Thearubigins, TR）和茶褐素（Theabrownins, TB）共 11 个理化指标进行测定。

先用不锈钢研磨机磨碎少量茶样，弃去，再磨碎其余部分，磨碎茶样过 40 目筛后用于理化指标的测定。水分含量按 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》第一法直接干燥法进行；总灰分、水溶性灰分参照 GB5009.4-2016《食品安全国家标准食品中灰分的测定》第一法和第二法测定；水浸出物含量按 GB/T 8305-2013《茶 水浸出物测定》的方法进行测定；茶多酚含量采用 GB/T 8313-2018《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》中的福林酚比色法进行测定；咖啡碱含量按 GB/T 8312-2013《茶 咖啡碱测定》中第二法—紫外分光光度法测定；游离氨基酸总量按 GB/T 8314-2013《茶 游离氨基酸总量的测定》的方法进行测定。采用蒽酮比色法[15]测定可溶性糖含量；采用系统分析法[15]测定茶黄素、茶红素及茶褐素含量。每个指标重复测定三次，以平均值为最终值。

1.3 数据处理

采用 SPSS23.0 对数据进行描述统计、方差分析、t 检验、聚类分析及数据的标准化；方差分析采用最小显著差异法（Least Significant Difference, LSD）；聚类分析采用组间连接方法，以平方欧式距离进行测量；采用 Origin2021 绘制相关性热图及主成分分析（Principal Component Analysis, PCA）；采用 SPSSRRO 进行熵值、权重值计算和综合评价。

2 结果与分析

2.1 贵州出口红茶感官品质分析

表 2 显示贵州出口红茶中工夫红茶的外形整体较为均匀。除部分原料较为粗老的茶样，如 CC5 梗叶断碎，色泽偏棕褐外，其余茶样条索或盘花紧结或较紧结，色泽也多表现为乌润、乌较润、较乌润等，符合 GB/T 13738.2-2017《红茶 第 2 部分：工夫红茶》对中小叶种工夫红茶的外观色泽要求。出口红碎茶形态为碎茶和片茶，其中碎茶色泽为黄棕土色，片茶色泽呈棕-棕褐-乌褐，与采用云南大叶种所制 CTC 红碎茶棕褐的色泽接近[16]。内质方面，贵州出口工夫红茶的汤色以橙红为主，亮度较高，仅 CL1、CS5 两个样品亮度较低。红碎茶汤色明显偏红，以红较亮为主，与国内海南、云南、广东等地大叶种所制红碎茶及斯里兰卡红碎茶“红亮”汤色相似[7]，可见红碎茶“轻萎凋，重揉切”的工艺使发酵更加充分均匀[17]，茶叶中茶红素与茶黄素比值更大，汤色更红。出口工夫红茶香型多样，呈现甜香、花香、火工香等，但有部分样品带有烟味、焦糊气、陈气等不良气味，推测与加工时的控温不当和储藏不规范有关。部分红碎茶热嗅时有明显青气，这可能是由于目前贵州红碎茶加工通常采用 CTC 工艺，其萎凋和发酵时间较短，加工温度相对较低，鲜叶中不饱和脂肪酸降解产物增多[18]，其产生的带青草气的成分保留量较大所致[19]。贵州出口工夫红茶滋味以甜醇为主，而出口红碎茶滋味偏浓醇，接近国外红茶所具有的浓强、较醇厚的滋味[20−22]。5 种类型贵州出口红茶感官审评得分均值大小为 CS（85.75）>CC（84.11）>CL（82.43）>BF（82.18）>BB（81.87），出口工夫红茶的感官审评得分高于出口红碎茶。

表 2　贵州出口红茶感官审评

Table 2　Sensory evaluation of Guizhou export black tea

类型	编号	外形	汤色	香气	滋味	叶底	得分
CBT	CC1	条索较紧尚卷、乌泛棕较润、多毫(86)	橙红亮(92)	甜香花香、高长(94)	甜尚醇、干涩(85)	芽叶细嫩完整、褐红较亮、稍硬(85)	88.20
	CC2	条较细较弯、乌润多毫、脱档(83)	橙红明艳(92)	甜香、略闷(82)	苦、生涩(80)	红黄带青张、较亮、较碎(82)	82.65
	CC3	条较弯、乌润多毫匀整(90)	橙红、明亮较艳(91)	甜香、薯香(88)	较甜醇(87)	芽头较肥软、红棕较亮、较匀整(84)	88.10
	CC4	条索较紧结较弯、较乌润、匀净(88)	橙红较亮(87)	甜香、有陈气(79)	较醇、带甜(86)	红棕较亮、较匀整、较硬(83)	84.55
	CC5	梗叶粗老断碎、棕褐尚润(75)	橙黄较亮(87)	带酵气、酸(72)	酸(78)	红褐尚亮、断碎、硬(82)	77.05
	CL1	条较紧结平伏、带梗乌泛褐显毫(87)	红褐较暗(80)	陈气(73)	较醇、带陈、带苦(82)	红褐较硬、带青张、较亮、较匀整(81)	80.70
	CL2	条索较紧结、乌泛棕较润、显毫(86)	橙红尚亮(84)	甜香、有烟气(83)	甜尚醇、粗涩、带烟味(81)	黄红带青褐较亮、短碎茎多、稍硬(80)	82.95
	CL3	条较碎、带茎梗乌较润显毫(83)	红浓较亮(88)	甜香、带火工香(87)	甜醇、带酸、带陈(83)	红褐尚亮、较硬、断碎(81)	84.30
	CL4	短条、花杂欠润、较碎(80)	橙红较亮(88)	甜香、带烟味(81)	较甜醇、略粗涩、带烟味(82)	红褐尚亮，较硬、断碎(81)	81.75
	CS1	盘花较紧结、乌褐润显毫、匀整(87)	橙红较亮(87)	焦糊气(75)	尚醇带甜、略酸、较苦焦糊味(76)	芽叶较软完整、黄褐泛青较亮、(84)	80.40
	CS2	盘花较紧结、较乌润、有毫(90)	橙红较亮(85)	花蜜香(90)	较醇和(86)	芽叶完整、较红尚亮、有花青叶(83)	87.60
	CS3	盘花重实较紧结、较乌、润、带毫(92)	橙红亮(91)	甜香带花香(92)	较浓醇、有花蜜味(90)	芽叶完整匀净、较红亮、有花青叶(83)	90.40
	CS4	盘花较紧结、较乌润、有毫(89)	橙红亮(91)	甜香带花香(92)	较浓尚醇、略苦(84)	芽叶完整、棕红较亮、有花青叶(82)	87.75
	CS5	盘花紧结、乌略泛褐、油润、匀(87)	红泛褐青、欠亮(73)	甜香、较平(87)	较醇、酸、带苦、带陈(78)	芽叶完整柔软，黄褐泛青，较亮(84)	82.60
BBT	BB1	颗粒状2~3 mm、黄棕土色(85)	黄橙略浑(78)	甜香、带淀粉味(84)	香甜、较平、略粗(75)	土黄较亮、匀齐(85)	81.00
	BB2	颗粒状1 mm、黄棕土色(83)	橙红、暗(75)	带淀粉味、较平、略粗(82)	醇和较厚、较甜，带粗带酸(82)	土黄较亮、匀齐(85)	81.80
	BB3	颗粒状0.1~0.2 mm、黄棕土色，较碎(80)	橙红尚亮(81)	清凉感、药香、酸甜韵(85)	药香味、甜带涩(83)	土黄较亮、较匀齐(83)	82.80
	BF1	片状1~2 mm、棕尚亮(78)	红略泛青、尚亮(80)	青气(75)	较醇、带青味(80)	黄褐尚亮、尚匀齐(81)	78.20
	BF2	片状2~3 mm、乌褐较亮(82)	橙红较亮(85)	青气(75)	较浓强(84)	黄褐尚亮、较匀齐(82)	80.80
	BF3	片状2~3 mm、棕褐尚亮(80)	红较亮(87)	甜香、花香(89)	较浓、醇正(85)	黄褐尚亮，尚匀齐(80)	84.90
	BF4	片状3~4 mm、乌褐较亮(82)	红浓较亮(89)	纯正、略带花香(84)	较浓、醇和回甘(87)	红褐较亮、尚匀齐(82)	84.80

注：括号中数字为茶样各审评因子对应的评分。

2.2　贵州出口红茶理化指标分析

茶叶水分含量直接影响茶叶品质，同时也决定着茶叶的货架期长短。表 3 显示贵州出口红茶(包含工夫红茶和红碎茶)水分含量为 4.11%~8.04%，均值 6.29%。工夫红茶中除样品 CL3 外，其余样品水分含量均达到 GB/T 13738.2-2017《红茶 第 2 部分：工夫红茶》中水分≤7% 的规定。出口工夫红茶和红碎茶的水分含量间没有显著差异。

贵州出口红茶总灰分、水溶性灰分占比的均值分别为 5.71% 和 63.63%，均符合 ISO 3720:2011《Black tea—Definition and basic requirements》和 GB/T 13738.1-2017《红茶 第 1 部分：红碎茶》、GB/T 13738.2-2017《红茶 第 2 部分：工夫红茶》的规定。工夫红茶总灰分、水溶性灰分占比均显著高于红碎茶($P<0.05$)。这可能与目前贵州的出口工夫红茶主要是一芽一叶、一芽二叶等较幼嫩原料生产，其矿质元素含量更高[23]，而红碎茶生产原料主要为一芽三四叶及以上的成熟叶片，矿质元素含量较低有关。

水浸出物含量即茶叶中可溶于水的物质总量，其高低直接影响茶汤滋味的浓淡，是决定茶叶品质的重要因子。ISO 3720:2011《Black tea—Definition and basic requirements》、GB/T 13738.1-2017《红茶 第 1 部分：红碎茶》和 GB/T 13738.2- 2017《红茶 第 2 部分：工夫红茶》中对红茶水浸出物含量的要求分别为 ≥32%、≥28%~36%(四六级~特级)、≥32%~34%(中小叶~大叶)。贵州出口红茶水浸出物含量为 26.53%~43.55%，均值为 37.33%(表 3)，除样品 BB1 水浸出物含量仅有 26.53%，低于 GB/T 13738.1-2017《红茶 第 1 部分：红碎茶》的规定外，其余样品均符合要求。此外有 5 款工夫红茶和 3 款红碎茶的水浸出物含量超过 40%，其原因在于贵州独特的高海拔、低纬度、寡日照的地理气候环境促进了茶叶内含物质的积累。

茶多酚是构成红茶茶汤浓度和滋味的重要因子，也是红茶产品标准的测定指标。从表 3 可知贵州出口红茶茶多酚的含量偏低，均值为 8.45%；有

表 3 贵州出口红茶理化指标含量

Table 3 Contents of physical and chemical indexes in Guizhou export black tea

理化指标	出口红茶(BT)			出口工夫红茶(CBT)			出口红碎茶(BBT)		
	变幅	均值	变异系数(%)	变幅	均值	变异系数(%)	变幅	均值	变异系数(%)
水分(%)	4.11~8.04	6.29^{a}	14.90	4.11~8.04	6.20^{a}	15.26	5.41~7.89	6.47^{a}	14.92
总灰分(%)	4.64~6.66	5.71^{ab}	9.67	4.64~6.66	5.92^{a}	8.98	4.86~5.85	5.31^{b}	6.59
水溶性灰分占比(%)	46.81~77.35	63.63^{b}	14.58	58.31~77.35	69.20^{a}	7.27	46.81~55.97	52.49^{c}	7.29
水浸出物(%)	26.53~43.55	37.33^{a}	13.18	32.05~43.05	38.21^{a}	9.00	26.53~43.55	35.57^{a}	19.80
茶多酚(%)	4.43~17.37	8.45^{ab}	29.26	6.26~17.37	9.68^{a}	35.48	4.43~7.69	6.00^{b}	20.39
可溶性糖(%)	1.75~3.74	2.64^{a}	39.71	1.75~3.61	2.48^{a}	24.19	2.4~3.74	2.96^{a}	13.81
咖啡碱(%)	1.20~4.57	3.26^{a}	22.08	2.75~4.57	3.80^{a}	12.10	1.2~3.26	2.18^{b}	33.15
氨基酸(%)	2.71~4.65	3.48^{a}	16.13	2.84~4.65	3.59^{a}	16.21	2.71~3.88	3.25^{a}	14.63
茶黄素(%)	0.16~0.45	0.30^{ab}	23.37	0.16~0.45	0.33^{a}	22.86	0.21~0.3	0.26^{b}	13.15
茶红素(%)	2.73~5.82	4.06^{a}	18.77	3.29~5.82	4.27^{a}	15.07	2.73~4.68	3.62^{a}	23.09
茶褐素(%)	5.27~14.16	8.66^{ab}	26.50	5.27~14.16	9.40^{a}	26.14	6.18~8.29	7.20^{b}	11.90

注: 同行不同字母表示差异显著(P<0.05), 表8同。

8 款(占比 57.14%)工夫红茶、7 款红碎茶(占比 100%)样品茶多酚含量低于限量值 9%, 尤其是红碎茶茶多酚含量均值只有 6%, 最大值也只有 7.69%。

贵州出口红茶可溶性糖、咖啡碱、氨基酸、茶黄素、茶红素及茶褐素含量的均值分别为 2.64%、3.26%、3.48%、0.30%、4.06% 和 8.66%, 各指标在样品间的变异系数均大于 15%, 达到中等变异水平, 表明这些指标在样品间的差异较大。工夫红茶咖啡碱、茶黄素和茶褐素含量均显著高于红碎茶。这与两类红茶加工原料嫩度和工艺不同有关。咖啡碱含量通常随新梢成熟而降低[24]; 以一芽二叶原料加工的红茶茶黄素及其组分含量高于其他嫩度原料[25−26]。因此以一芽一二叶为主要原料的贵州出口工夫红茶其咖啡碱和茶黄素含量高于原料更加成熟的出口红碎茶。茶褐素是一类呈暗褐色、含有大量羟基, 羧基和烷基的高聚物, 其形成除与茶黄素、茶红素的氧化有关外, 还与多酚的聚合及与氨基酸、糖类等物质的偶联聚合有关[27]。红茶加工过程中发酵时间长、高温、缺氧通常会增加茶褐素的积累[28]。相比红碎茶加工, 工夫红茶揉捻时细胞破碎程度小, 发酵时间长, 细胞内部更容易处于缺氧状态, 多酚类物质的聚合反应更强烈, 导致形成更多的茶褐素。

2.3 贵州出口红茶理化指标相关性分析

贵州出口红茶理化指标间存在一定的相关性(图 1)。除可溶性糖与水溶性灰分占比、水浸出物含量、咖啡碱、茶褐素呈负相关, 茶黄素与水分、水浸出物呈负相关外, 其余指标间均表现为正相关关系, 说明指标之间具有协同作用。其中总灰分与茶多酚、氨基酸、茶黄素和茶红素的相关性达到了显著(P<0.05)水平, 与咖啡碱、茶褐素的相关性达到了极显著(P<0.01)水平。茶叶中总灰分(矿物质)含量与土壤培肥和茶树吸收能力呈正比, 其含量越高表明土壤肥力和茶树吸肥能力越强。推测茶树大量吸收土壤矿质元素时也促进了对 C、N 等元素的吸收, 提高了茶叶中茶多酚、氨基酸等物质的含量。茶多酚含量与咖啡碱、氨基酸含量呈极显著(P<0.01)正相关, 与茶红素含量呈显著(P<0.05)正相关, 这与对云南红茶的研究结果相似[29]。绝大部分指标间相关系数的绝对值大于 0.3, 表明指标间相关性较强, 可进行主成分分析。

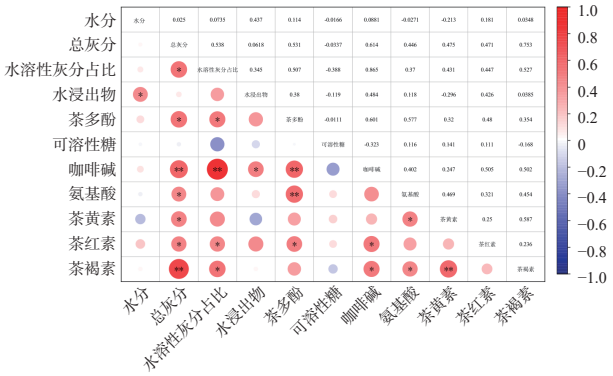


图 1 贵州出口红茶理化指标相关性热图

Fig.1 Correlation heat map of physical and chemical indicators in Guizhou export black

注: “*”、“**”分别表示相关性达到显著(P<0.05)和极显著(P<0.01)水平。

2.4 贵州出口红茶理化指标主成分分析

对贵州出口红茶的 11 个理化指标进行主成分分析, 以特征值>1 进行主成分提取, 共提取出 3 个主成分, 方差贡献率分别为 40.869%、17.589% 和 12.228%, 累积方差贡献率达到 70.686%(表 4), 能够代表贵州出口红茶的主要信息。由各理化指标的载荷矩阵(表 5)可知, 除可溶性糖外, 其余指标与 PC1 均呈正相关关系, 且总灰分、水溶性灰分占比、咖啡碱、茶多酚、氨基酸、茶红素、茶褐素等 7 个指标在 PC1 上具有较高载荷, 说明 PC1 代表的是这 7 个指标的信息。PC2 主要代表的是水分、水浸出物含量及茶黄素含量的信息。PC3 上载荷最高的指标是可溶性糖含量。

表 4　特征值、方差贡献率及累积方差贡献率

Table 4　Principal component analysis eigenvalues, variance contribution rate and cumulative variance contribution rate

主成分	特征值	方差贡献率(%)	累积方差贡献率(%)
1	4.496	40.869	40.869
2	1.935	17.589	58.458
3	1.345	12.228	70.686
4	0.831	7.555	78.241
5	0.672	6.107	84.348
6	0.496	4.511	88.859
7	0.397	3.607	92.467
8	0.366	3.325	95.792
9	0.283	2.576	98.368
10	0.102	0.928	99.296
11	0.077	0.704	100.000

表 5　理化指标因子载荷矩阵

Table 5　Load matrix of physical and chemical indicators

理化指标	主成分		
	PC1	PC2	PC3
水分	0.120	0.606	0.266
总灰分	0.805	−0.240	−0.006
水溶性灰分占比	0.832	0.133	−0.336
水浸出物	0.380	0.796	0.178
可溶性糖	−0.165	−0.304	0.854
咖啡碱	0.857	0.261	−0.226
茶多酚	0.756	0.098	0.253
氨基酸	0.649	−0.265	0.298
茶黄素	0.541	−0.683	0.059
茶红素	0.638	0.223	0.392
茶褐素	0.732	−0.331	−0.202

以 PC1、PC2 构建 PCA 得分图(图 2)。由图 2 可知，贵州出口红碎茶(BBT)中碎茶类(BB)、片茶类(BF)离散程度较大，表明两种外形红碎茶理化指标差异显著。3 种外形的出口工夫红茶(CBT)中，除部分卷曲形(CC)与条形(CL)样品分散距离较大外，其他工夫红茶的聚合程度较高，说明外形不同的工夫红茶在理化指标方面并没有明显差异。此外红碎茶中片茶类(BF)与工夫红茶的聚合程度较高，尤其是与卷曲形(CC)、盘花状(CS)工夫红茶的聚集度极大，说明三者在理化指标上更为接近。

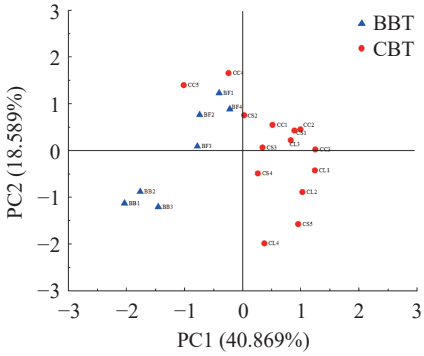


图 2　贵州出口红茶 PCA 得分

Fig.2　PCA score of Guizhou export black tea

2.5　贵州出口红茶质量评价核心指标的筛选

为进一步确定核心评价指标，采用组间联接的方法对贵州出口红茶的理化指标进行系统聚类，在平方欧式距离 5 处 11 个指标被分为 3 类(图 3)。第 I 类中除茶多酚外，均为一般性检测指标；第 II 类包括了水溶性灰分占比、水分、水浸出物等 3 个指定检测指标和 1 个一般性检测指标氨基酸；第 III 类只有 1 个指标，即总灰分。

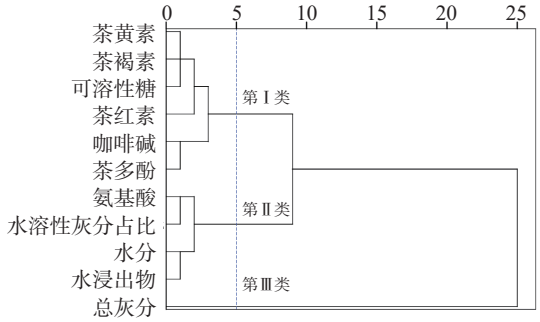


图 3　贵州出口红茶理化指标系统聚类谱系

Fig.3　Systematic clustering of physicochemical indexes in Guizhou export black tea

结合各指标的相关性、主成分分析载荷因子对 3 类指标进行筛选。第 I 类指标中可溶性糖与其余指标的相关性都不显著，可剔除；茶多酚与咖啡碱、茶红素之间呈显著或极显著正相关，且茶多酚是指定检测指标，可以用茶多酚代替咖啡碱和茶红素；茶黄素仅与茶褐素呈极显著($P<0.01$)正相关，茶褐素在主成分上的载荷以及在样品间的变异系数均大于茶黄素，表明其在不同样品间的离散程度更高，数据中的个体差异大，故以茶褐素作为替代指标。第 II 类指标中氨基酸与其余指标均无显著相关性，故剔除；其余 3 个指标均为指定检测指标，应保留。第 III 类指标的总灰分也为指定检测指标，应保留。最终确定茶多酚、茶褐素、水溶性灰分占比、含水量、水浸出物、总灰分共 6 个指标为贵州出口红茶品质评价的核心指标。

2.6　贵州出口红茶品质综合评价

熵权法利用信息熵的定义，通过计算某一指标的信息熵来评估该指标的离散程度；通过计算各个品质指标权重，可以为多指标综合评价提供依据，也使评价结果更加客观。目前该方法已广泛运用于茶叶[30−31]、中草药[32]、果树[33] 及食品[34−35] 的质量综合评价中。

上述 6 个指标对红茶品质的影响方向不同。通常认为总灰分、水溶性灰分占比、水浸出物含量越高，茶叶品质越好，即这 3 个指标为正向指标；而水分、茶褐素和茶多酚含量越高，对红茶品质的负面影响越大，将其设为负向指标[36]。为消除各指标不同影响方向以及指标数据不同量纲对评价结果的影响，对 6 个核心指标数据进行规范化和无量纲处理，得

到标准化数据(表 6),以此为基础计算各项指标的熵值和权重(表 7),并获得样品综合评分(表 8)。

表 6 贵州出口红茶核心理化指标数据标准化

Table 6 Standardization of core physical and chemical indexes in Guizhou export black tea

样品编号	总灰分	水溶性灰分占比	水浸出物	水分	茶多酚	茶褐素
CC1	0.758	0.566	0.630	0.395	0.453	0.512
CC2	0.568	0.801	0.953	0.387	0.000	0.854
CC3	0.507	0.830	0.723	0.376	0.241	0.417
CC4	0.437	0.967	0.917	0.442	0.858	0.764
CC5	0.000	0.377	0.971	0.391	0.797	1.000
CL1	0.953	0.698	0.849	0.634	0.352	0.000
CL2	1.000	0.713	0.541	0.346	0.465	0.480
CL3	0.908	0.707	0.637	0.000	0.654	0.306
CL4	0.747	0.519	0.460	1.000	0.791	0.384
CS1	0.789	0.766	0.654	0.565	0.496	0.627
CS2	0.448	0.809	0.883	0.419	0.822	0.626
CS3	0.664	0.786	0.489	0.322	0.835	0.632
CS4	0.436	0.725	0.580	0.853	0.777	0.765
CS5	0.632	1.000	0.324	0.417	0.783	0.130
BB1	0.110	0.105	0.000	0.617	0.990	0.897
BB2	0.187	0.064	0.206	0.649	1.000	0.893
BB3	0.448	0.000	0.188	0.669	0.913	0.835
BF1	0.342	0.278	0.913	0.037	0.820	0.660
BF2	0.207	0.288	0.923	0.228	0.870	0.723
BF3	0.424	0.266	0.487	0.312	0.748	0.784
BF4	0.596	0.300	1.000	0.286	0.809	0.687

从表 7 可知,贵州出口红茶各理化指标的权重不同。在不考虑红茶类型的情况下,水溶性灰分占比、水分、总灰分的权重值分别为 22.078%、19.267% 和 18.428%,是权重排名前三的指标,表明这 3 个指标是决定贵州出口红茶品质的主要因子;而茶多酚对出口红茶品质的影响最小,权重仅占 11.390%。各指标对于贵州出口工夫红茶和红碎茶品质影响的权重值大小分别为:水浸出物>茶褐素>水分>水溶性灰分占比>茶多酚>总灰分,茶褐素>水浸出物>总灰分>茶多酚>水溶性灰分占比>水分。可见水浸出物和茶褐素对两类红茶品质的影响较大,排名都在前三;但水分对出口工夫红茶品质的影响要远大于对红碎茶的影响,这与两类红茶工艺不同导致其在含水量控制上的差异有关。红碎茶由于揉切工序,其外形更细碎,干燥时水分散失更加均匀;而工夫红茶揉捻时因细胞破损程度差异较大导致干燥时走水不均匀,其水分含量差异也较大,从而对品质造成较大的影响。

通过熵权法对贵州出口红茶品质进行综合评分,如表 8 所示,得分排名前 5 的样品全部为工夫红茶,依次是 CC4、CS4、CS1、CL4 和 CS2;而红碎茶中除 BF4 得分排名第 11 位外,其余 6 个样品得分位于最后 6 位。不同外形工夫红茶样品间得分均值以及两种外形红碎茶间得分均值接近,无显著差异;但工夫红茶的得分均明显高于红碎茶。5 种类型出口红茶的品质高低依次为 CS>CL>CC>BF>BB,工夫红茶综合品质高于红碎茶。各类型出口红茶得分的变异较小,最大的变异为 CC 类型,其变异系数为 13.06%,也属于弱变异范围,说明目前贵州出口红茶中同一类型的样品间品质较为均匀,这对实现出口红茶的标准化生产具有积极意义。

表 7 贵州出口红茶核心理化指标信息熵、信息效用值及权重

Table 7 Information entropy, utility value and weight of core physical and chemical indexes in Guizhou export black tea

理化指标	出口红茶(BT)			出口工夫红茶(CBT)			出口红碎茶(BBT)		
	信息熵值	信息效用值	权重(%)	信息熵值	信息效用值	权重(%)	信息熵值	信息效用值	权重(%)
总灰分	0.950	0.050	18.428	0.957	0.043	13.205	0.837	0.163	17.843
水溶性灰分占比	0.940	0.060	22.078	0.949	0.051	15.590	0.862	0.138	15.044
水浸出物	0.958	0.042	15.301	0.933	0.067	20.590	0.833	0.167	18.225
水分	0.947	0.053	19.267	0.946	0.054	16.706	0.868	0.132	14.398
茶多酚	0.969	0.031	11.390	0.951	0.049	15.142	0.856	0.144	15.748
茶褐素	0.963	0.037	13.537	0.939	0.061	18.767	0.828	0.172	18.742

表 8 贵州出口红茶品质综合评价得分及排名

Table 8 Scores and rankings of the comprehensive evaluation of the quality in Guizhou export black tea

编号	得分	排名	编号	得分	排名	编号	得分	排名	编号	得分	排名	编号	得分	排名
CC1	0.56	12	CL1	0.62	6	CS1	0.66	3	BB1	0.40	21	BF1	0.45	19
CC2	0.62	7	CL2	0.61	9	CS2	0.66	5	BB2	0.44	20	BF2	0.48	16
CC3	0.54	13	CL3	0.54	14	CS3	0.61	8	BB3	0.46	18	BF3	0.46	17
CC4	0.72	1	CL4	0.66	4	CS4	0.69	2				BF4	0.57	11
CC5	0.53	15												
均值	0.59[a]			0.61[a]			0.64[a]			0.43[b]			0.49[b]	
变异系数(%)	13.06			8.35			7.00			7.25			10.69	

3 结论

贵州出口红茶包括工夫红茶和红碎茶。出口工夫红茶甜醇、花香、果香突出;红碎茶滋味浓醇、汤色红亮,各具特色。除个别样品外,贵州出口红茶水

分含量、总灰分、水溶性灰分占比、水浸出物含量均符合国内外红茶相关标准；但所采样的贵州出口红茶茶多酚含量总体略低于标准限量值。基于贵州出口红茶 11 项理化指标的多变量统计分析筛选出茶多酚、茶褐素、水溶性灰分占比、水分含量、水浸出物含量、总灰分共 6 个核心指标，熵权法赋权结果显示水溶性灰分占比、水分含量、总灰分是影响贵州出口红茶品质的关键因子；利用核心指标构建的综合评价体系显示贵州出口红茶中工夫红茶品质明显优于红碎茶，各类型出口红茶品质高低为 CS>CL>CC>BF>BB，与感官审评结果一致。本研究建立的出口红茶评价体系具有可行性和准确性，适用于贵州出口红茶质量综合评价，研究结果也为贵州出口红茶品质控制提供科学参考。

© The Author(s) 2026. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

参考文献

［1］ Tea -Classification of tea types. ISO 20715：2023［S］.［2023-03］. https://www.iso.org/standard/75419.html.

［2］ ZHANG Liang, HO Chitang, ZHOU Jie, et al. Chemistry and biological activities of processed *Camellia sinensis* teas a comprehensive review［J］. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2019, 18：1474−1495.

［3］ 刘明丽，蒋宾，刘跃云，等. 我国三大工夫红茶品质特征的研究进展［J］. 食品工业，2024, 45(10)：232−238. ［LIU Mingli, JIANG Bin, LIU Yueyun, et al. Research progress on quality characteristics of three congou black tea in China［J］. The Food Industry, 2024, 45(10)：232−238.］

［4］ 袁国凤，杨晓晶. 全球一体化下我国红茶产业稳步前行［N］. 中国食品报，2025-02-12(7)：1−3. ［YUAN Guofeng, YANG Xiaojing. China’s Black tea industry steadily advances in the context of global integration［N］. China Food News, 2025-02-12(7)：1−3.］

［5］ 许咏梅，施云峰. 中国红茶出口国际市场的竞争力比较分析—中国与斯里兰卡、印度、肯尼亚、印度尼西亚等国的比较［J］. 茶叶，2018, 44(4)：183-186. ［XU Yongmei, SHI Yunfeng. Comparative analysis of the exporting competitiveness of China's black tea in the international market—comparison with Sri Lanka, India, Kenya, Indonesia［J］. Journal of Tea, 2018, 44(4)：183-186.］

［6］ 许咏梅，林坚，苏祝成. 中国外销茶叶质量的国际比较［J］. 农业质量标准，2007(3)：8−10. ［XU Yongmei, LIN Jian, SU Zhucheng. International comparison of tea quality for export in China［J］. Agricultural Quality and Standards, 2007(3)：8−10.］

［7］ 王汉生. 我国红碎茶与斯里兰卡红碎茶比较分析［J］. 茶叶科学，1997, 17(2)：207−211. ［WANG Hansheng. Comparison of broken black teas manufactured by China and by Sri *Lanka*［J］. Journal of Tea Science, 1997, 17(2)：207−211.］

［8］ 王伟伟，江和源，江用文，等. 不同萎凋时间对 CTC 红碎茶品质的影响［J］. 中国农学通报，2016, 32(4)：129−135. ［WANG Weiwei, JIANG Heyuan, JIANG Yongwen, et al. Effect of withering time on CTC black tea quality［J］. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(4)：129−135.］

［9］ 李家贤，黄华林，何玉媚. 高茶黄素品种鲜叶化学组分与红茶品质特征指标研究［J］. 广东农业科学，2008, 35(8)：105−106,111. ［LI Jiaxian, HUANG Hualin, HE Yumei. Study on chemical components of fresh leaves of high theaflavin varieties and quality characteristics of black tea［J］. Guangdong Agricultural Sciences, 2008, 35(8)：105−106,111.］

［10］ 王康儒. 中小叶种茶区红茶良种选育工作实践体会［J］. 茶叶通讯，1981, 8(1)：13−17. ［WANG Kangru. Practical experience in breeding of improved varieties of black tea in middle and small leaf tea planting areas［J］. Tea Communication, 1981, 8(1)：13−17.］

［11］ 童杰文，喻新坤，李美勤，等. 出口红茶精制分级后品质成分分析［J］. 农业与技术，2025, 45(4)：52−55. ［TONG Jiewen, YU Xinkun, LI Meiqin, et al. Analysis of quality components of export black tea after refining and grading［J］. Agriculture and Technology, 2025, 45(4)：52−55.］

［12］ 尤星宇，冷杨，霍春悦，等. 2024 年中国茶叶进出口贸易情况简析［J］. 中国茶叶，2025, 47(3)：14−19. ［YOU Xingyu, LENG Yang, HUO Chunyue, et al. A brief analysis of tea import and export trade in China in 2024［J］. China Tea, 2025, 47(3)：14−19.］

［13］ 李应祥. 贵州茶叶发展现状及对策探讨［J］. 贵州农业科学，2008, 36(1)：142−144. ［LI Yingxiang. Current situation of tea development and its countermeasures in Guizhou［J］. Guizhou Agricultural Sciences, 2008, 36(1)：142−144.］

［14］ 何榕. 红茶主要贸易国标准比对研究［J］. 热带农业科学，2023, 43(11)：134−140. ［HE Rong. Comparative research on black tea standards in major trading countries［J］. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2023, 43(11)：134−140.］

［15］ 张正竹. 茶叶生物化学实验教程［M］. 2 版. 北京：中国农业出版社，2021：40−42,48−53. ［ZHANG Zhengzhu. Tea biochemistry experiment course［M］. 2nd ed. Beijing：China Agriculture Press, 2021：40−42,48−53.］

［16］ 肖巧梅，张晓宇，王娟，等. 不同规格 CTC 红碎茶理化与香气成分比较［J］. 现代食品科技，2023, 39(3)：262−271. ［XIAO Qiaomei, ZHANG Xiaoyu, WANG Juan, et al. Comparison of physicochemical and aroma components of CTC broken black teas with different specifications［J］. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(3)：262−271.］

［17］ ULLAH M R, ROY P C. Effect of withering on the polyphenol oxidase level in the tea leaf［J］. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1982, 33(5)：492−495.

［18］ OWUOR P O, MUNAVU R M, MURITU J W. The effects of pruning and altitude on the fatty acid composition of tea (*Camellia sinensis* L.) shoots［J］. Tropical Science, 1990, 30：299−306.

［19］ DEB S, JOLVIS POU K R. A review of withering in the processing of black tea［J］. Journal of Biosystems Engineering, 2016, 41(4)：365−372.

［20］ 韦正林. 印度三大名茶［J］. 世界农业，1994(9)：31. ［WEI Zhenglin. Three famous teas of India［J］. World Agriculture, 1994(9)：31.］

［21］ 陈素芹，罗龙新，彭永华，等. 锡兰红茶产区及市场研究锡兰红茶产区及市场研究［J］. 饮料工业，2011, 14(8)：11−13. ［CHEN Suqin, LUO Longxin, PENG Yonghua, et al. Research on production areas and markets of Ceylon Black Tea［J］. Beverage Industry, 2011, 14(8)：11−13.］

［22］ 黄建琴. 不同加工方式祁红与肯尼亚、斯里兰卡红茶品质成分比较研究［J］. 中国茶叶加工，2003(1)：16−18. ［HUANG Jianqin. Comparison of constituents of Keemen black tea by different processings with black teas from Kenya and Sri Lanka［J］. China Tea Processing, 2003(1)：16−18.］

［23］ 宋亚康，张群峰，张洁，等. 茶毫氨基酸组成及矿质元素分析

[J]. 茶叶科学, 2017, 37(4): 339−346. [SONG Yakang, ZHANG Qunfeng, ZHANG Jie, et al. Study on amino acids composition and mineral elements of tea hairs[J]. Journal of Tea Science, 2017, 37(4): 339−346.]
[24] 宛晓春, 夏涛. 茶树次生代谢[M]. 北京: 科学出版社, 2015: 66. [WAN Xiaochun, XIA Tao. Secondary metabolism of tea plant[M]. Beijing: Science Press, 2015: 66.]
[25] 王伟伟, 施莉婷, 苏威, 等. 不同嫩度鲜叶加工工夫红茶对品质和内含成分的影响[J]. 食品科技, 2018, 43(9): 128−133. [WANG Weiwei, SHI Liting, SU Wei, et al. Effect of different fresh tea leaves on quality and component contents of black tea processing[J]. Food Science and Technology, 2018, 43(9): 128−133.]
[26] 陈春林, 梁明志, 田易萍, 等. 高茶黄素大叶种红碎茶的研制[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(13): 5947−5948,5951. [CHEN Chunlin, LIANG Mingzhi, TIAN Yiping, et al. Initial research on brand-name high theaflavin big-leaf broken black tea[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2013, 41(13): 5947−5948,5951.]
[27] 杨贤强, 王岳飞, 陈留记. 茶多酚化学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2003: 99. [YANG Xianqiang, Wang Yuefei, Chen Liuji. Tea polyphenol chemistry[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2003: 99.]
[28] 刘忠英, 潘科, 沈强, 等. 茶褐素的组成结构与功能活性研究进展[J]. 食品工业科技, 2017, 38(5): 396−400. [LIU Zhongying, PAN Ke, SHEN Qiang, et al. Research progress in composition structure and functional activity of Theabrownin[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(5): 396−400.]
[29] 李倩, 邵金良, 尹本林, 等. 不同加工方式的云南大叶种茶生物活性成分差异分析[J]. 食品工业科技, 2025, 46(18): 37−46. [LI Qian, SHAO Jinliang, YIN Benlin, et al. Difference analysis of bioactive components of Yunnan large-leaf tea by different processing technologies[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(18): 37−46.]
[30] 徐启林, 刘昕璐, 邓黄燕, 等. 安吉白茶品质综合评价及分级方法研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(2): 25−34. [XU Qilin, LIU Xinlu, DENG Huangyan, et al. Research on the comprehensive quality evaluation and grading methods of Anji white tea quality[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(2): 25−34.]
[31] WANG Zhihui, YANG Puxiang, PENG Hua, et al. Comprehensive evaluation of 47 tea [*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze] germplasm based on entropy weight method and grey relational degree[J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2021, 68(8): 3257−3270.
[32] 李国超, 卢慧娟, 姬生国. 基于熵权法和灰色关联度分析法的夏枯草质量评价[J]. 中国药房, 2022, 33(24): 2995−2998,3004. [LI Guochao, LU Huijuan, JI Shengguo. Quality evaluation of *Prunella vulgaris* based on entropy weight method and grey correlation degree analysis method[J]. China Pharmacy, 2022, 33(24): 2995−2998,3004.]
[33] 孙博位, 王梦琦, 秦红艳, 等. 88 份软枣猕猴桃种质资源果实品质分析与综合评价[J]. 果树学报, 2025, 42(4): 765−774. [SUN Bowei, WANG Mengqi, QIN Hongyan, et al. Comprehensive evaluation of fruit quality of 88 accessions of *Actinidia arguta* germplasm resources based on principal component analysis and correlation analysis[J]. Journal of Fruit Science, 2025, 42(4): 765−774.]
[34] 赵雪, 丛中笑, 孙华军, 等. 市售调味面制品品质评价体系的建立与应用[J]. 食品科学, 2025, 46(8): 25−33. [ZHAO Xue, CONG Zhongxiao, SUN Huajun, et al. Establishment and application of a quality evaluation system for commercial flavored extruded noodles[J]. Food Science, 2025, 46(8): 25−33.]
[35] 杨军林, 杨少娟, 吴成, 等. 基于熵权法结合模糊数学法评价贮藏期高温大曲综合品质及其后熟机理[J]. 食品科学, 2025, 46(9): 48−62. [YANG Junlin, YANG Shaojuan, WU Cheng, et al. Combing the entropy weight method with fuzzy mathematics for assessing the quality and post-ripening mechanism of high-temperature daqu during storage[J]. Food Science, 2025, 46(9): 48−62.]
[36] 李晶. 福建红茶品质特征研究与综合评价[D]. 福州: 福建农林大学, 2023. [LI Jing. Research and comprehensive evaluation of quality characteristics of Fujian black tea[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2023.]