DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20251205001
引用格式: 贺玲, 徐俊, 戴崔云, 等. 基于主成分分析法评价昆明市宝洪茶绿茶品质指标[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(9): 344–350.
HE L, XU J, DAI CY, *et al*. Evaluation of quality indicators of *Camellia sinensis* cv Baohongcha. green tea in Kunming based on principal component analysis [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(9): 344–350. (in Chinese with English abstract).

基于主成分分析法评价昆明市宝洪茶绿茶品质指标

贺 玲[1*], 徐 俊[2], 戴崔云[1], 江 波[1], 蒋 露[1]

(1. 昆明市农产品质量安全中心, 昆明 650018; 2. 昆明市烤烟生产办, 昆明 650018)

摘 要: 目的 评价昆明市宝洪茶绿茶品质, 并明确其品质关键指标。**方法** 利用皮尔逊相关性分析、系统聚类分析和主成分分析法对昆明市主产区宜良县抽取的 31 批次样品中水浸出物、茶多酚、儿茶素、游离氨基酸(以谷氨酸计)、茶氨酸、咖啡碱、茶黄素、多糖(以葡萄糖计)、总黄酮(以芦丁计)等 9 项品质指标进行研究。**结果** 通过主成分分析法将 9 项单项测定指标综合成相互独立的两个指标 F1、F2, 两个指标的贡献率分别为 41.33%、15.20%, 累计贡献率为 56.53%, 并得出水浸出物、茶多酚、儿茶素、咖啡碱、茶氨酸和游离氨基酸 6 个品质指标为关键评价指标。**结论** 针对宝洪茶绿茶 6 个关键品质指标进行了深入剖析, 发现其指标数据整体较好, 形成宝洪茶汤色黄绿明亮、入口鲜爽回甘, 香气四溢的高香型绿茶特点, 建议进一步加强宝洪茶全产业链标准体系建立。

关键词: 宝洪茶; 绿茶; 品质; 主成分分析; 指标评价

Evaluation of quality indicators of *Camellia sinensis* cv Baohongcha. green tea in Kunming based on principal component analysis

HE Ling[1*], XU Jun[2], DAI Cui-Yun[1], JIANG Bo[1], JIANG Lu[1]

(1. *Kunming Agricultural Product Quality and Safety Center*, *Kunming* 650018, *China*;
2. *Kunming Office of Flue-cured Tobacco Production*, *Kunming* 650018, *China*)

ABSTRACT: Objective To evaluate the quality of *Camellia sinensis* cv Baohongcha. green tea in Kunming, and identify its key quality indicators. **Methods** A total of 9 quality indicators, including water extract, tea polyphenols, catechins, free amino acids (calculated as glutamic acid), theanine, caffeine, theaflavins, polysaccharides (calculated as glucose) and total flavonoids (calculated as rutin), were determined in 31 batches of *Camellia sinensis* cv Baohongcha. green tea samples collected from Yiliang County, the main producing area of Kunming. Pearson correlation analysis, hierarchical cluster analysis and principal component analysis were adopted for data analysis. **Results** The 9 individual indicators were integrated into 2 independent comprehensive components F1 and F2 by

收稿日期: 2025-12-05
第一作者/*通信作者: 贺玲(1983—), 女, 硕士, 高级农艺师, 主要研究方向为农产品质量安全监管、监测、风险评估、品质和标准研究工作。E-mail: 583910323@qq.com

principal component analysis. The contribution rates of F1 and F2 were 41.33% and 15.20%, respectively, with a cumulative contribution rate of 56.53%. The 6 key evaluation indicators were screened out, namely water extract, tea polyphenols, catechins, caffeine, free amino acids and theanine. **Conclusion** The 6 key quality indicators of *Camellia sinensis* cv Baohongcha. green tea are analyzed in depth. The results shows that the overall quality indicators of *Camellia sinensis* cv Baohongcha. tea are excellent, which endows the tea with typical characteristics of high-aroma green tea: Yellowish-green and bright liquor color, fresh and brisk taste with sweet aftertaste, and rich fragrance. It is suggested to further construct and optimize the standard system for the whole industrial chain of *Camellia sinensis* cv Baohongcha. tea.

KEY WORDS: *Camellia sinensis* cv Baohongcha.; green tea; quality; principal component analysis; indicator evaluation

0　引　言

茶不仅是一种历史悠久的饮品, 其价值更在于独特的风味与健康属性。早在《神农本草经》中便有“神农尝百草, 日遇七十二毒, 得茶而解之”的记载。近年, 随着人们生活水平提高和科技的不断进步, 茶的保健功能与健康益处备受青睐。研究发现, 茶中富含的茶多酚、游离氨基酸、咖啡碱、茶氨酸、儿茶素等不仅是决定茶叶品质的主要成分, 而且还具有缓解高血压、肥胖病、糖尿病、痤疮、慢性炎症、焦虑与抑郁、运动性疲劳等功能, 并对肠道菌群具有调节作用[1–5]。

“宝洪茶”是云南少数高香型中小叶种茶, 系绿茶类传统名茶, 全县茶园面积近 1.3 万亩, 主要分布在宜良县海拔 1550~1750 m 之间宝洪寺四周宝洪山上, 林木交荫, 云雾重, 日照短, 漫射光多, 昼夜温差大, 土壤、矿物质含量丰富, 有利芽叶有效成分的形成和积累。“宝洪茶”汤色清亮、清香扑鼻、香高持久、滋味醇厚。

2023 年宝洪茶被列为昆明市茶产业重点培育品牌[6]。近年来, 其研究主要在产业发展、生产技术、气候条件等[7–9]方面, 然而, 其汤色黄绿明亮、入口鲜爽回甘, 香气四溢的高香型品质特征目前仍缺乏系统、量化的科学数据作为支撑, 这在一定程度上制约了其产业化发展。为助力宝洪茶产业的品牌打造和全产业链标准体系建立, 本研究近年对宝洪茶主要品质指标进行了深入评价, 以期为宝洪茶产业高质量发展和品牌提升提供数据支撑。

1　材料与方法

1.1　材料与试剂

样品来自昆明市宜良县匡远镇、北古城镇、马街镇等 3 个宝洪茶主产乡(镇), 具体见表 1。绿茶样品 31 批次, 其中散户 20 批次, 家庭农场(种植园)4 批次, 生产企业(合作社)7 批次。宝洪茶绿茶所用茶鲜叶采于清明节前后 5 d 内, 摘取一芽一叶或一芽两叶, 茶鲜叶在采摘后 12 h 内按照宝洪茶绿茶工艺精制而成。

表 1　采样分布
Table 1　Sampling distribution

乡(镇)	社区(村)	采样批次
宜良县匡远镇	宝洪社区(安家田村)	2
	宝洪社区(江头村)	5
	宝洪社区(大村子)	9
	永丰社区(宝洪寺村)	6
	永丰社区(万户庄)	2
	永丰社区(迤腊古村)	2
	永丰社区(新村)	2
宜良县马街镇	前卫村	1
	马家冲	1
宜良县北古城镇	陈家渡社区(陈家渡村)	1

儿茶素、表儿茶素、表没食子儿茶素、表没食子儿茶素没食子酸酯、表儿茶素没食子酸酯、没食子酸的混和标准物质(质量浓度为 1000 mg/L)、茶氨酸(纯度≥99%)、茶黄素(theaflavin, TF)(纯度 98.9%)、茶黄素-3-没食子酸酯(theaflavin-3-gallate, TF-3-G)(纯度 96.4%)、茶黄素-3’-没食子酸酯(theaflavin-3’-gallate, TF-3’-G)(纯度 99.6%)、茶黄素-3,3’-双没食子酸(theaflavin-3,3’-digallate, TFDG)(纯度 99.5%)混和标准物质、葡萄糖标准品(纯度 99.5%)、芦丁标准品(纯度 92.2%)(上海安谱璀世标准技术服务有限公司); 咖啡碱标准品(质量浓度为 1000 mg/L, 北京曼哈格生物科技有限公司); 茶多酚标准品(纯度≥99%, 上海麦克林生化科技股份有限公司); 甲醇、乙腈(色谱纯, 上海安谱实验科技股份有限公司)。

1.2　仪器与设备

GZX-9240MBE 鼓风电热恒温干燥箱(温控 120 ℃±2 ℃, 上海博讯医疗生物仪器股份有限公司);

ME204E/02 分析天平[精度 0.0001 g, 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司]; UV-1200 分光光度计(上海美谱达仪器有限公司); LC-20AD 高效液相色谱仪[紫外检测器, 岛津国际贸易(上海)有限公司]; Welchrom C_{18} 色谱柱[250 mm×4.6 mm, 5 μm, 月旭科技(上海)股份有限公司]; Unique-R40 功能超纯水系统(锐思捷水纯化技术有限公司)。

1.3 实验方法

按照 GB/T 8305—2013《茶 水浸出物测定》测定水浸出物; 按照 GB/T 8313—2018《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》测定茶多酚和儿茶素; 按照 GB/T 8314—2013《茶 游离氨基酸总量的测定》(以谷氨酸计)测定游离氨基酸总量; 按照 GB/T 23193—2017《茶叶中茶氨酸的测定 高效液相色谱法》测定茶氨酸; 按照 GB/T 8312—2013《茶 咖啡碱测定》测定咖啡碱; 按照 GB/T 30483—2013《茶叶中茶黄素的测定 高效液相色谱法》测定茶黄素。

按照《保健食品功效成分检测方法》(多糖以葡萄糖计)测定多糖。用该方法检测茶多糖时, 在加浓硫酸时需要垂直加入, 若苯酚变黄需要重结晶。

按照《保健食品理化及卫生指标检验与评价技术指导原则(2020 年版)》(总黄酮以芦丁计)测定总黄酮。用该方法检测总黄酮时, 超声时水温不易过高, 且超声完成后, 放置时间不能太短, 待上清液澄清、透明后才可取用。

1.4 数据处理

测定数据使用 Excel 2020 进行整理。使用 Pycharm 对数据进行相关性分析、主成分分析及聚类分析: 聚类分析采用系统聚类法, 聚类距离为欧式平方距离, 茶氨酸原测试数据在分析过程中转化为百分含量, 且所有数据应用时采用无量纲化处理。

2 结果与分析

2.1 宝洪茶绿茶品质指标分析

检测分析了 31 批次宝洪茶绿茶, 包括水浸出物、茶多酚、儿茶素、游离氨基酸总量(以谷氨酸计)、茶氨酸、咖啡碱、茶黄素、多糖(以葡萄糖计)、总黄酮(以芦丁计)的含量, 结果见表 2。9 项指标变异系数范围为 3.9%~28.0%, 其中水浸出物和咖啡碱, 变异系数较小, 表明品种和生产环境一致的情况下, 其含量受生产和加工方式转化影响较小; 茶氨酸、总黄酮和茶黄素变异系数高达 20%, 可能因其在绿茶中的含量较低, 种植环境、生产、加工、检测等因素都会导致测试结果差异性较大。游离氨基酸、茶氨酸等受采摘的嫩度、加工方式等因素的影响较大, 研究的样品来自不同种植、加工户, 其种植加工水平不同直接影响了含量的高低。

表 2 宝洪茶绿茶品质指标(%)

Table 2 Quality indicators of *Camellia sinensis* cv Baohongcha. green tea (%)

项目	最小值	最大值	均值	变异系数
水浸出物	41.6	51.1	48.2	3.9
茶多酚	15.1	27.2	19.6	10.1
儿茶素	10.5	16.4	13.8	10.7
游离氨基酸总量(以谷氨酸计)	1.7	3.1	2.4	16.3
茶氨酸	0.63	1.89	1.04	26.5
咖啡碱	4.0	4.8	4.3	4.6
茶黄素	0.015	0.040	0.022	28.0
多糖(以葡萄糖计)	1.11	2.79	2.28	15.8
总黄酮(以芦丁计)	0.132	0.322	0.188	23.8
茶多酚/游离氨基酸总量(酚氨比)	5.0	14.3	8.27	25.1

2.2 宝洪茶绿茶品质指标的相关性分析

为了研究宝洪茶绿茶水浸出物、茶多酚、儿茶素、咖啡碱等 9 项指标之间关系, 采用 Pearson 相关系数分析绿茶 9 项品质指标之间的相关性, 其结果见图 1, 水浸出物分别与茶多酚、咖啡碱, 茶多酚分别与儿茶素、咖啡碱, 游离氨基酸与茶氨酸之间具有显著相关性, 均呈显著正相关; 游离氨基酸与茶多酚, 茶氨酸与水浸出物、茶多酚, 多糖分别与水浸出物、儿茶素之间具有显著相关性, 均呈显著负相关。

2.3 宝洪茶绿茶品质指标的主成分分析

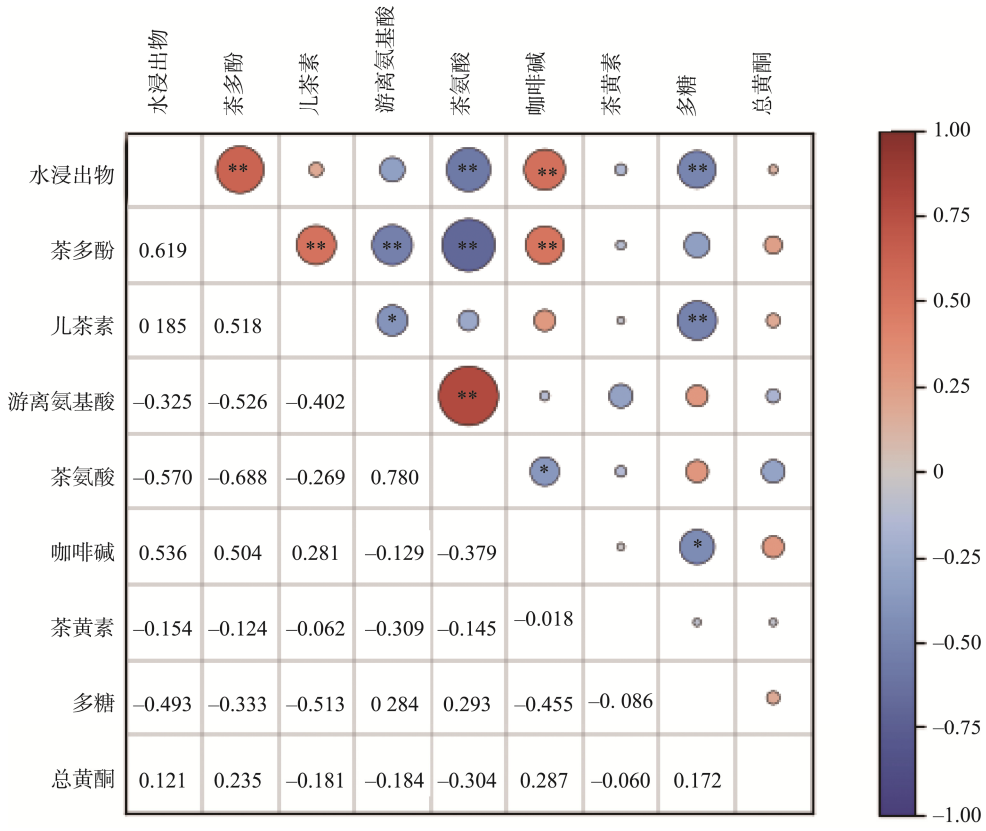
利用主成分分析法对宝洪茶绿茶 9 项品质指标进行分类简化, 得到 2 个主成分, 详见表 3。9 项品质指标可分为 2 类主成分, 其中主成分 1 的贡献率为 41.33%, 主要指标为水浸出物、茶多酚、茶氨酸、咖啡碱; 主成分 2 的贡献率为 15.20%, 主要指标为游离氨基酸、茶黄素。这两项主成分能够代表指标的大部分信息, 综合反映了宝洪茶绿茶品质特征。

2.4 宝洪茶绿茶品质指标的聚类分析

采用系统聚类法, 对宝洪茶绿茶 9 项指标进行聚类分析, 结果见图 2。由图 2 可得, 各项指标在聚类过程中逐渐合并, 当欧氏距离为 1 时, 9 项指标聚为 4 类, 水浸出物为一类, 茶多酚和儿茶素为一类, 游离氨基酸、咖啡碱和多糖为一类, 茶氨酸、茶黄素和总黄酮为一类。

2.5 宝洪茶绿茶品质指标综合评价

根据 9 项指标相关性分析和聚类结果, 并结合主成分分析, 把多个指标降维成少数几个综合指标, 可简化为水浸出物、茶多酚、儿茶素、咖啡碱、茶氨酸和游离氨基酸这 6 项指标作为宝洪茶品质评价标准关键指标。



注: *表示具有显著差异, $P<0.05$, **表示具有极显著差异, $P<0.01$。

图 1　各指标的相关系数

Fig.1　Correlation coefficients of each indicator

表 3　各指标的特征值和累积贡献率

Table 3　Eigenvalues and cumulative contribution rates of each indicator

项目	主成分 1 (F1)	主成分 2 (F2)
水浸出物	0.385	–0.267
茶多酚	0.445	0.074
儿茶素	0.313	0.084
游离氨基酸	–0.365	–0.506
茶氨酸	–0.431	–0.299
咖啡碱	0.334	–0.324
茶黄素	0.018	0.643
多糖(以葡萄糖计)	–0.311	0.216
总黄酮(以芦丁计)	0.166	0.076
特征值	3.844	1.414
贡献率/%	41.33	15.20
累积贡献率/%	41.33	56.53

2.5.1　宝洪茶绿茶水浸出物评价

茶叶中水浸出物是能被热水浸泡出的物质，也是能被人体有效吸收的物质，含量一般在 30%~50%，主要包括水溶性糖、水溶性茶多酚及其氧化物、咖啡碱、游离氨基酸、水化果胶等茶汤的主要呈味物质[10–13]。水浸出物含量的高低，反映了茶叶营养功能成分的丰度，标志着茶汤的厚薄、滋味的浓强程度，从而在一定程度上反映了茶叶品质的优劣。宝洪茶绿茶水浸出物平均含量 48.2%，比 GB/T 14456.3—2016《绿茶 第 3 部分：中小叶种绿茶》特级~二级茶含量要求(36%)要高出 33.9%，变异系数为 3.9%，说明宝洪茶绿茶水浸出物含量高且变化小，同时，高水浸出物也体现宝洪茶绿茶营养功能成分丰富，茶汤饱满、滋味浓郁且稳定。

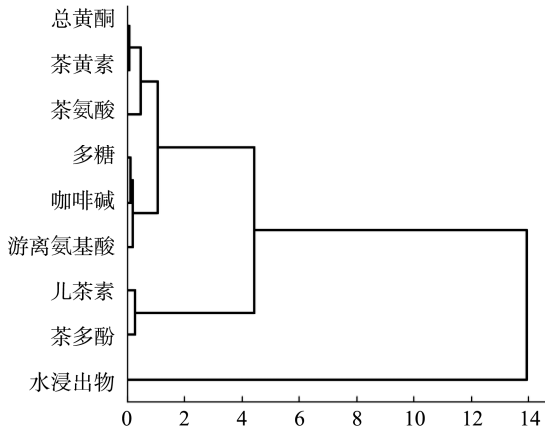


图 2　各品质指标聚类分析

Fig.2　Cluster analysis of each quality indicators

2.5.2 宝洪茶绿茶茶多酚和儿茶素评价

茶多酚以涩味为主的物质,在水浸出物中所占比重最大, 是茶叶中味感最强烈的, 也是决定茶汤浓度的主要物质, 对茶叶品质的影响较为复杂。有研究表明[14], 茶多酚超过一定限度后便会对茶叶品质带来消极影响, 含量在20%以内时, 茶汤滋味得分与其含量表现为显著的正相关关系, 含量在 22%左右时达到顶峰, 在 20%~24%以内仍维持茶汤浓度、醇度和鲜爽度的和谐统一, 而当茶多酚含量进一步增加时, 尽管茶汤浓度加大, 但鲜醇度降低, 苦涩味开始形成并逐渐加重, 因味感所产生的质变, 使其相关关系发生了逆转。宝洪茶绿茶样品中茶多酚平均含量为19.6%, 均达到 GB/T 14456.3—201 含量要求(≥13%), 且含量在 18%~22%之间的占 83.9%, 该范围的含量有利于高品质绿茶形成。

儿茶素是茶叶多酚类物质的主体成分, 约占茶多酚总量的 60%~80%[15], 是绿茶品质与功效的灵魂物质, 是呈现鲜爽和苦涩风味、茶汤色泽的主要物质。宝洪茶绿茶的31批次样品中, 儿茶素的平均含量为13.8%, 均达到GB/T 14456.3—2016 含量要求(≥8%)。儿茶素占茶多酚总量的均值为 70.6%, 且百分含量在该范围的占 83.8%。宝洪茶中茶多酚和儿茶素含量的有机协调, 造就了宝洪茶汤色黄绿明亮、鲜爽回甘的特性。

2.5.3 宝洪茶绿茶咖啡碱评价

咖啡碱是茶叶中重要的滋味物质, 一般含量在2%~5%, 对绿茶滋味品质形成具有积极作用[16–17]。据研究表明[14,18–20], 咖啡碱对绿茶品质形成在逆转阈值3.8%~4.5%范围内, 茶叶品质随着咖啡碱含量增高而提高, 当超过这个范围时, 其他协调成分(如氨基酸、儿茶素)不足以平衡时, 过高的咖啡碱含量会直接导致苦味过重, 绿茶品质就会下降。宝洪茶绿茶的 31 批次样品中, 咖啡碱的测试值为 4.0%~4.8%, 其中 87%样品咖啡碱的含量均在有利于提高绿茶品质范围, 咖啡碱含量范围适中, 与茶氨酸、茶多酚等物质有机协调作用下触发了宝洪茶绿茶“回甘生津, 口齿留香”良好口感。

2.5.4 宝洪茶绿茶游离氨基酸和茶氨酸评价

游离氨基酸是绿茶鲜爽味的主要呈味物质, 其含量直接影响茶叶的滋味、香气和整体品质。茶叶中含有多种氨基酸, 其中茶氨酸是茶科植物特有的氨基酸, 是绿茶鲜爽滋味的主要来源, 可缓解茶的苦涩味, 增强其甜味, 是构成茶叶品质的重要成分之一[21]。绿茶游离氨基酸总量大于 2.5%为优质, 2.0%~2.5%为中等品质, 小于 2.0%为普通绿茶[22]。参照上述绿茶游离氨基酸总量品质划分标准(>2.5%为优质), 31 批次宝洪茶绿茶样品的游离氨基酸占干重范围在 1.7%~3.1%, 其中本研究中有 16 批次样品(占51.6%)达到优质水平, 7 批次(22.6%)为中等水平, 普通绿茶占 25.8%。据 KANEKO 等[23]研究表明, 茶氨酸的呈味阈值约为 0.06%, 且在茶叶中含量大于 0.8%时鲜味感知显著增强。31 批次宝洪茶绿茶样品的茶氨酸占干重范围在0.63%~1.89%, 其中 87%的样品在 0.8%及以上, 其含量有利于呈现宝洪茶绿茶的鲜甜口感。

2.5.5 宝洪茶绿茶酚氨比评价

酚氨比(茶多酚/氨基酸比值)是衡量绿茶品质的关键生化指标之一、直接影响茶汤的鲜爽度、苦涩度、醇厚度等感官特征。不同酚氨比范围对应不同的品质风格, 优质绿茶通常在此比值上达到平衡。同类研究[15,24–26]指出酚氨比在 8~12 之间是优质绿茶理想范围,此时茶汤鲜爽协调, 苦涩适中; 若酚氨比大于 15, 茶汤苦涩明显; 若酚氨比小于 6, 则滋味偏淡, 鲜爽但缺乏醇厚度。31 批次宝洪茶绿茶样品酚氨比在 5.0~14.3 之间, 仅两个样品酚氨比小于 6, 宝洪茶绿茶中 93.5%的样品品尝具有茶汤鲜爽协调的滋味。

3 讨论与结论

宝洪茶是昆明市茶产业重点培育品牌, 通过科学、系统的评估来建立健全品质指标体系, 实现宝洪茶绿茶品质的快速、可观、数字化评价, 是提升茶产品质量和特色品质的前提, 也是产品分等分级, 品质溢价和宣传的基础, 对于提高该品牌的消费者认可度和市场占有率具有重要意义。

主成分分析法已广泛用于果蔬、食品品质的综合评价[27–30]。本研究共采集宝洪茶绿茶样品 31 批次, 测定 9 项品质成分指标, 通过相关性分析、聚类分析和主成分分析对营养指标进行了简化, 确定了宝洪茶综合品质指标, 筛选出水浸出物、茶多酚、儿茶素、咖啡碱、游离氨基酸和茶氨酸作为关键品质评价指标; 通过主成分分析法将 9 项单项测定指标综合成两个相互独立的综合指标 F1、F2, 两个指标的贡献率分别为 41.33%、15.20%, 累计贡献率为56.53%。

同时, 针对宝洪茶绿茶 6 个关键品质指标进行了深入剖析, 为未来宝洪茶种植和加工提供指导方向。茶叶色香味的本质是“品种潜力+环境诱导+工艺转化”的协同结果, 综合来看, 宝洪茶绿茶 6 个关键品质指标数据整体较好, 这些成分的有机协调, 形成了宝洪茶汤色黄绿明亮、入口鲜爽回甘, 香气四溢的高香型绿茶特点, 这与良好品种和优质生产环境是分不开的。但部分样品存在关键指标(如茶氨酸)含量偏低或酚氨比超出理想范围的情况, 如有些绿茶样品中茶氨酸和游离氨基酸总量偏低, 除去种植环境影响外, 主要影响可能来自种植、鲜叶采摘和加工环节等方面, 茶鲜叶采摘嫩度、萎凋时间长短、杀青温度速度控制等方面均会直接影响绿茶口感鲜度, 为确保品控的稳定性, 促进茶产业高质量发展, 建议进一步加强宝洪茶全产业链

标准体系建立, 并抓好全程质量控制技术人员技术提升。

参考文献

[1] 权雅文, 王畅, 王林峰, 等. 饮茶对血压影响的荟萃分析与系统评价[J]. 中华高血压杂志, 2023, 31(12): 1218–1227.
QUAN YW, WANG C, WANG LF, *et al.* Meta-analysis and ystematic eview on the effect of tea consumption on blood pressure [J]. Chinese Journal of Hypertensio, 2023, 31(12): 1218–1227.

[2] LIU Z, GAO L, CHEN Z, *et al.* Leading progress on genomics health benefits and utilization of tea resources in China [J]. Nature, 2019, 566(7742): 15–19.

[3] 欧阳建, 周方, 卢丹敏, 等. 茶多糖调控肥胖作用研究进展[J]. 茶叶科学, 2020, 40(5): 565–575.
OUYANG J, ZHOU F, LU DM, *et al.*Research progress on the regulation of obesity by tea polysaccharides [J]. Journal of Tea Science, 2020, 40(5): 565–575.

[4] 刘冬敏, 黄建安, 刘中华, 等. 茶及其多酚类化合物调节肥胖及并存症的研究进展[J]. 基因组学与应用生物学, 2019, 39(12): 5603–5615.
LIU DM, HUANG JAN, LIU ZH, *et al.* Research progress of tea and its polyphenols in regulating obesity and comorbidities [J]. Genomics and Applied Biology, 2019, 39(12): 5603–5615.

[5] 曾鸿哲, 黄翔翔, 禹利君, 等. “金花散茶”及“金花菌粉”对被动吸烟小鼠肺组织 JAK2/STAT3 炎性及磷酸化蛋白表达的影响[J]. 茶叶科学, 2020, 40(2): 165–172.
ZENG HZ, HUANG XX, YU LJ, *et al.* Effects of ‘golden flower loose tea’ and ‘golden flower fungal powder’ on the expression of JAK2/STAT3 inflammatory and phosphorylated proteins in lung tissue of passive smoking mice [J]. Journal of Tea Science, 2020, 40(2): 165–172.

[6] 昆明市人民政府办公室关于印发《昆明市农业现代化三年实施方案(2022—2024 年)》的通知[EB/OL]. (2023-02-03) [2025-11-23]. https://www.km.gov.cn/c/2023-02-13/4670103.shtml
Notice of the Kunming Municipal People’S Government Office on issuing the three-year implementation plan for agricultural modernization in Kunming (2022—2024) [EB/OL]. (2023-02-03) [2025-11-23]. https://www.km.gov.cn/c/2023-02-13/4670103.shtml.

[7] 王莹, 李秋杭. 宜良县宝洪茶气候品质评价分析[J]. 现代农业科技, 2025(18): 94–98.
WANG Y, LI QH. Research progress on the mechanism of natural tea components in alleviating acne [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2025(18): 94–98.

[8] 毛桂梅. 宝洪茶繁育技术[J]. 云南农业, 2020(8): 50–51.
MAO GM. Propagation technology of Baohong tea [J]. Yunnan Agriculture, 2020(8): 50–51.

[9] 沈雪梅, 沈晓进. 宝洪茶在昆明茶产业中的地位及发展探讨[J]. 云南农业科技, 2008(3): 62–64.
SHEN XM, SHEN XJ. Discussion on the status and development of Baohong tea in Kunming’s tea industry [J]. Yunnan Agricultural Science and Technology, 2008(3): 62–64.

[10] 官已青, 伯年国, 王藤, 等. 普洱市普洱熟茶品质分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(15): 256–263.
GUAN YQ, BO NG, WANG T, *et al*. Analysis of quality of ripe Pu-erh tea in Pu’er City [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(15): 256–263.

[11] 谢文钢, 黄福涛, 韩楠, 等. 古蔺牛皮茶主要生化成分分析及绿茶品质初探[J]. 食品工业科技, 2014, 35(22): 343–348.
XIE WG, HUANG FT, HAN N, *et al.* Analysis of main biochemical components and preliminary study on green tea quality of Gulian Niupi tea [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(22): 343–348.

[12] 李琴, 张征, 韦晓芳, 等. 不同产区云南大叶种晒青茶生化成分分析[J]. 食品安全导刊, 2023(16): 109–112.
LI Q, ZHANG Z, WEI XF, *et al.* Analysis of biochemical components in Yunnan Dayezhong sun-dried green tea from different producing regions [J]. Journal Food Safety Guide, 2023(16): 109–112.

[13] 郭灿, 杨婷, 何萍, 等. 16 份贵州名优绿茶生化成分分析[J]. 茶叶通讯, 2022, 49(4): 485–490.
GUO C, YANG T, HE P, *et al*. Analysis of biochemical components of 16 famous and high-quality green teas from Guizhou [J]. Tea Communication, 2022, 49(4): 485–490.

[14] 蔡彬彬. 锌元素对茶叶香气物质代谢的影响[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2020.
CAI BB. Effect of zinc element on metabolism of aroma substances in tea [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2020.

[15] 宛晓春. 茶叶生物化学第三版[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
WAN XC. Tea biochemistry 3rd ed [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003.

[16] 陈然, 孟庆佳, 刘海新, 等. 不同种类茶叶多酚及生物碱含量特点分析[J]. 食品科技, 2018, 43(5): 72–76.
CHEN R, MENG QJ, LIU HX, *et al.* Analysis of polyphenol and alkaloid content characteristics in different types of tea [J]. Food Science and Technology, 2018, 43(5): 72–76.

[17] FU ZP, CHEN LY, ZHOU SJ, *et al.* Analysis of differences in the accumulation of tea compounds under various processing techniques, geographical origins and harvesting seasons [J]. Food Chemistry, 2024, 430: 137.

[18] 柴云峰, 梁思辰, 李文燕, 等. 清香型安溪铁观音乌龙茶的理化品质特征分析[J]. 农产品质量与安全, 2025, 136(8): 64–67.
CHAI YF, LIANG SC, LI WY, *et al.* Analysis of physicochemical quality characteristics of Qingxiang Anxi Tieguanyin oolong tea [J]. Quality and Safety of Agro-products, 2025, 136(8): 64–67.

[19] 彭影琦, 陈琪, 苑晓春, 等. 基于主成分分析的绿茶滋味类型判别模型建立[J]. 食品科学, 2022, 43(10): 206–212.
PENG YQ, CHEN Q, YUAN XC, *et al*. Establishment of a discriminant model for green tea taste types based on principal component analysis [J]. Food Science, 2022, 43(10): 206–212.

[20] 刘建军, 陈猛, 罗影, 等. 春季不同时期绿茶品质化学成分研究[J]. 食

品研究与开发, 2022, 43(16): 147–153.
LIU JJ, CHEN M, LUO Y, *et al.* Study on chemical components of green tea quality in different spring periods [J]. Food Research and Development, 2022, 43(16): 147–153.

[21] 张建勇, 江和源, 崔宏春, 等. 茶叶功能成分与新型食品开发[J]. 湖南农业科学, 2011, 40(3): 104–108.
ZHANG JY, JIANG HY, CUI HC, *et al*. The functional components of tea and the exploitation of new type food [J]. Hunan Agricultural Sciences, 2011, 40(3): 104–108.

[22] 施兆鹏. 茶叶审评与检验[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.
SHI ZP. Tea evaluation and inspection [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2010.

[23] KANEKO S, KUMAZAWA K, MASUDA H, *et al.* Molecular and sensory studies on the umami taste of Japanese green tea [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(7): 2688–2694

[24] 陈宗懋. 中国茶叶大辞典[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2000.
CHEN ZM. The comprehensive dictionary of Chinese tea [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2000.

[25] 杨芳, 张惠芬, 谢文钢, 等. 云南主产茶区绿茶品质成分分析及综合评价[J]. 食品工业科技, 2023, 44(2): 267–276.
YANG F, ZHANG HF, XIE WG, *et al*. Analysis and comprehensive evaluation of quality components of green tea from main tea-producing regions in Yunnan Province [J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(2): 267–276.

[26] 赵佐平, 付静, 岳思羽, 等. 陕南茶园茶叶品质分析及重金属含量现状评估[J]. 农业工程学报, 2020, 36(16): 201–211.
ZHAO ZP, FU J, YUE SY, *et al.* Analysis of tea quality and assessment of heavy metal content status in tea plantations of southern Shaanxi Province [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(16): 201–211.

[27] 费丹, 周瑶敏, 谢敏, 等. 基于主成分和灰色关联度分析对弋阳大禾谷营养品质的综合评价[J]. 农产品质量与安全, 2025, 133(2): 35–40.
FEI D, ZHOU YM, XIE M, *et al.* Comprehensive evaluation of the nutritional quality of Yiyang Dahe grain based on principal component and grey relational analysis [J]. Quality and Safety of Agro-products, 2025, 133(2): 35–40.

[28] PATRAS A, BRUNTON NP, DOWNEY G, *et al*. Application of principal component and hierarchical cluster analysis to classify fiuits and vegetables commonly consumed in lreland based on in vitro antioxidant activity [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2011, 24(2): 250–256.

[29] XU M, LI J, YIN J, *et al*. Color and nutritional analysis of ten different purple sweet potato varieties cultivatedin China via principal component analysis and cluster analysis [J]. Foods, 2024, 13(6): 904.

[30] NESRINE M, MANEL M, KHAOULA S, *et al*. Nutritional value phytochemical composition, and antioxidant activities of *Phoenix dactrlifera* L: Comparison between fleshes and seeds of Tunisian and Algerian varieties [J]. Chemistry Afica, 2023, 6(5): 2471–2482.

(责任编辑: 韩晓红 安香玉)