

# 安吉白茶品质综合评价研究

徐珊珊<sup>1</sup>, 史星云<sup>2</sup>, 臧聪<sup>2</sup>, 郭良勇<sup>2</sup>, 王彩娟<sup>3</sup>, 龚淑英<sup>4</sup>, 柳丽萍<sup>2\*</sup>

[1. 双林镇公共事业服务中心, 湖州 313012; 2. 湖州市农业科学研究院(湖州市农业科技发展中心), 湖州 313000; 3. 湖州职业技术学院, 湖州 313000; 4. 浙江大学农业与生物技术学院, 杭州 310058]

**摘要:** **目的** 探明安吉白茶品质状况并构建安吉白茶品质评价体系。**方法** 以16份不同茶样为实验材料, 测定分析安吉白茶水分、游离氨基酸、没食子酸、生物碱和儿茶素类等16项指标, 通过相关性分析和主成分分析等方法评价不同茶样质量。**结果** 安吉白茶水分含量3.87%~6.78%, 游离氨基酸含量3.25%~6.62%, 没食子酸含量1.22~3.84 mg/g, 生物碱含量38.32~45.78 mg/g, 其中咖啡碱含量33.54~38.73 mg/g, 可可碱含量3.58~11.01 mg/g, 茶碱含量0.02~0.46 mg/g; 总儿茶素含量133.76~166.13 mg/g, 其中儿茶素没食子酸酯含量0.05~0.21 mg/g。16个品质指标变异系数为4.17%~97.87%, 其中游离氨基酸和茶碱等指标变异性较大, 变异系数在95%以上; 而咖啡碱、总儿茶素、表没食子儿茶素没食子酸酯和生物碱等指标变异性较小, 变异系数在10%以下。相关性分析表明, 安吉白茶品质指标间存在正相关或者负相关, 其中有39对指标间呈极显著相关( $P<0.01$ ), 18对指标间呈显著相关( $P<0.05$ )。主成分分析结果表明, 前5个主成分累计贡献率为85.176%。安吉白茶品质评价模型为 $F=0.391F_1+0.221F_2+0.156F_3+0.147F_4+0.085F_5$ , 其中综合排名前5位的茶样编号为10、9、11、13和4, 后5位的茶样编号为5、2、7、1和3。**结论** 基于本研究建立了安吉白茶品质评价模型, 采用主成分分析法可以评价安吉白茶品质, 该研究结果为安吉白茶的品质改善和质量评价体系的建立提供了理论依据。

**关键词:** 安吉白茶; 白叶1号; 主成分分析; 儿茶素

## Study on the comprehensive evaluation of the quality of Anjibaicha

XU Shan-Shan<sup>1</sup>, SHI Xing-Yun<sup>2</sup>, ZANG Cong<sup>2</sup>, GUO Liang-Yong<sup>2</sup>,  
WANG Cai-Juan<sup>3</sup>, GONG Shu-Ying<sup>4</sup>, LIU Li-Ping<sup>2\*</sup>

[1. Shuanglin Town Public Service Center, Huzhou 313012, China; 2. Huzhou Academy of Agricultural Sciences (Huzhou Agricultural Science and Technology Development Center), Huzhou 313000, China; 3. Huzhou Vocational & Technical College, Huzhou 313000, China; 4. College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Huzhou 310058, China]

**ABSTRACT: Objective** To explore the quality and construct the evaluation system of Anjibaicha. **Methods** The 16 indicators such as water content, free amino acids, gallic acid, alkaloid, and catechins of 16 distinct Anjibaicha samples were determined and then comprehensively evaluated by correlation and principal component analysis. **Results** Anjibaicha had a water content of 3.87%~6.78%, a free amino acid content of 3.25%~6.62%, a gallic acid content of 1.22~3.84 mg/g, an alkaloid content of 38.32~45.78 mg/g, including 33.54~38.73 mg/g of caffeine,

基金项目: 浙江省产业(茶叶)技术团队项目(2020CYTD03、2022CYTD03)

Fund: Supported by the Zhejiang Province Industrial (Tea) Technology Team Project (2020CYTD03, 2022CYTD03)

\*通信作者: 柳丽萍, 高级农艺师, 主要研究方向为茶树栽培与茶叶加工技术。E-mail: 784751320@qq.com

\*Corresponding author: LIU Li-Ping, Senior Agronomist, Huzhou Academy of Agricultural Sciences, No.768, Luwang Road, Wuxing District, Huzhou 313000, China. E-mail: 784751320@qq.com

3.58–11.01 mg/g of theobromine, and 0.02–0.46 mg/g of theophylline. The total amount of catechins were 133.76–166.13 mg/g, with catechin gallate accounting for 0.05–0.21 mg/g. The coefficient of variation for the 16 quality indices ranged from 4.17% to 97.87%. The indicators including free amino acids and theophylline had a coefficient of variation of over 95%, while the indicators such as caffeine, total catechins, epigallocatechin gallate, and alkaloids had a coefficient of variation below 10%. The correlation analysis revealed that the indicators of Anjibaicha were either positively or negatively correlated, with 39 pairs of indicators being very significantly correlated ( $P < 0.01$ ) and 18 pairs being significantly correlated ( $P < 0.05$ ). The principal component analysis revealed that the first 5 principal components of cumulative contributed rate was 85.176%. The mathematical model of comprehensive score was established for Anjibaicha samples by principal component analysis:  $F = 0.391F_1 + 0.221F_2 + 0.156F_3 + 0.147F_4 + 0.085F_5$ , and the tea samples with the highest numbers were 10, 9, 11, 13, and 4, while the samples with the lowest numbers were 5, 2, 7, 1 and 3. **Conclusion** Based on this study, it has established the quality evaluation model of Anjibaicha, and the principal component analysis method can be used to evaluate the quality of Anjibaicha. The study's findings provide a theoretical foundation for future Anjibaicha tea quality improvement and the establishment of a quality evaluation system.

**KEY WORDS:** Anjibaicha; Baiye No.1; principal component analysis; catechins

## 0 引言

茶树 [*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze] 是山茶科 (Theaceae) 山茶属 (*Camellia* L.) 的一种植物, 茶叶因其独特的色香味和功能而成为世界三大天然饮料之一。大量研究表明, 茶叶具有抗衰老、消炎、抗癌以及预防高血压、糖尿病、心血管病和肥胖症等作用<sup>[1-2]</sup>, 主要是因为其中含有儿茶素类、没食子酸 (gallic acid, GA)、咖啡碱 (caffeine, CAF) 等生物活性物质<sup>[3-5]</sup>, 在医疗保健、日化用品、功能食品以及饲料等方面具有广阔的开发和应用前景。

安吉是“绿水青山就是金山银山”理念的诞生地, 生态秀美, 其安吉白茶品质和影响享誉国内外, 深受消费者喜爱。从 GB/T 20354—2006《地理标志产品 安吉白茶》中可知, 安吉白茶主要是指以“白叶 1 号”茶树品种为原料加工而成的一类绿茶, 其汤色嫩绿明亮, 香气鲜嫩而持久, 滋味或鲜醇或馥郁, 清润干爽, 叶白脉翠。据统计, 安吉县安吉白茶产量为 2100 t, 产值为 32 亿元, 其品牌价值高达 48.45 亿元<sup>[6]</sup>。近年来, 随着安吉白茶品牌价值与影响力的提升和“白叶 1 号”品种种植规模的逐渐扩大, 关于安吉白茶和“白叶 1 号”的研究报道也越来越多, 主要集中在白化分子机制解析<sup>[7]</sup>、栽培特性<sup>[8]</sup>、加工工艺<sup>[9]</sup>、品质比较<sup>[10]</sup>、成分分析<sup>[11]</sup>、保健功能<sup>[12]</sup>和组学研究<sup>[13]</sup>等方面, 但针对评价安吉白茶品质评价及评价模型等方面的研究鲜有报道, 同时, 单纯的感官评审会被评审人喜好以及外界因素干扰, 而影响茶叶品质结果, 这在一定程度上阻碍了安吉白茶产业的高质量可持续发展。如何构建科学合理的安吉白茶品质评价体系是茶叶从业人员亟需解决的一个问题。近年来, 主成分分析也陆续在食品品质评价中广泛应用, 比

如面粉<sup>[14]</sup>、葡萄<sup>[15]</sup>、木薯<sup>[16]</sup>等。本研究以 16 份安吉白茶样品为研究对象, 比较分析安吉白茶中游离氨基酸 (free amino acid, FAA)、生物碱 (alkaloid, A) 和儿茶素组分等 16 项品质指标, 并采用描述性统计分析、相关性分析、主成分分析等对安吉白茶品质进行分析评价, 旨在为安吉白茶品质提升和质量评价体系建立提供理论基础, 为安吉白茶产业的可持续发展提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

#### 1.1.1 材料

本研究中所有茶样均来自于浙江省湖州市安吉县不同产区生产的安吉白茶, 原料均为春季采摘的一芽二叶, 品种为“白叶 1 号”, 共有 16 份样品, 分别编号为 1、2、3……15、16, 每份样品 3 次重复。茶叶加工工艺流程为: 鲜叶→摊青→杀青→理条→烘干。

#### 1.1.2 试剂

谷氨酸、GA、CAF、可可碱 (theobromine, TB)、茶碱 (theophylline, TP)、8 种儿茶素单体标准品 (纯度  $\geq 98\%$ , 上海源叶生物科技有限公司); 乙酸、乙腈等试剂 (色谱纯, 上海阿拉丁试剂公司); 磷酸氢二钠、磷酸二氢钾等试剂 (分析纯, 国药集团化学试剂有限公司)。

### 1.2 仪器设备

FA2204C 分析天平 (精度 0.0001 g, 上海精科天美科学仪器有限公司); HD-UV90 紫外可见分光光度计 (西安霍尔德仪器仪表有限公司); DZF-6020 电热恒温干燥箱 (上海一恒化学仪器有限公司); HH-1 电热恒温水浴锅 (上

海汗诺仪器有限公司); LC-10 高效液相色谱仪(株式会社岛津制作所); MS7-H550-Pro 磁力搅拌器(大龙兴创实验仪器股份公司); TM-D24UV 纯水/超纯水一体化机(美国默克密理博公司); Agilent TC-C<sub>18</sub> 柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm)(美国安捷伦科技有限公司)。

### 1.3 实验方法

样品中水分(water, W)含量的测定采用 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中的第一法:直接干燥法进行; FAA 的测定采用 GB/T 8314—2013《茶 游离氨基酸总量的测定》; 儿茶素组分、CAF、TB、TP 和 GA 含量测定参考范方媛等<sup>[17]</sup>方法进行, A 为 CAF、TB 和 TP 三者之和, 其具体方法如下, 采用高效液相色谱紫外检测方法, 色谱柱为 Agilent TC-C<sub>18</sub> 柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm), 检测波长 280 nm。流动相基本参数: 流动相 A 为乙腈:乙酸:水(6:1:193, V:V:V); 流动相 B 为乙腈:乙酸:水(60:1:139, V:V:V)。洗脱梯度: 流动相 B 起初浓度 20%, 35 min 时线性增加至 65%, 然后立马降到 20%, 持续 5~40 min 时结束, 其中流速为 1.0 mL/min, 柱温为 25°C, 进样量为 10 μL。

### 1.4 数据处理

数据用 Excel 2007 进行数据整理和分析, 并使用 SPSS 20.0 软件进行相关性和主成分分析, 其中相关性分析采用 Spearman 分析方法, 主成分分析前原始数据采用 ZScore 标准化法进行无量纲化处理, 然后进行主成分分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 安吉白茶主要品质指标分析

#### 2.1.1 水分含量与没食子酸

安吉白茶主要品质情况如表 1 所示, 16 份样品 W 含量分布在 3.87%~6.78% 范围内, 平均 W 含量为 4.74%, 其中 W 含量最低的为 8 号样品, 仅为 3.87%; 最高的为 11 号样品, 高达为 6.78%, 为 8 号的 1.75 倍; 也是唯一一个水分含量超过 6.5% 的样品, 由 GB/T 20354—2006 中可知, 安吉白茶水分含量要求不高于 6.5%, 所以该样品不符合此项要求, 水分过高时不宜长时间存放, 容易变质发霉。16 个茶样 GA 含量平均值为 1.60 mg/g, 其中 GA 含量最高的是 9 号, 为 3.84 mg/g, 而其他茶样含量均低于 1.7 mg/g, 说明 9 号样品的栽培管理水平、加工工艺或者周围小气候环境可能有利于 GA 的积累; 最低的是 6 号, 含量为 1.22 mg/g, 仅为 9 号样品的 31.77%。

#### 2.1.2 游离氨基酸

氨基酸是一类非常重要的化合物, 对茶叶的涩味、苦味和鲜味等滋味品质以及香气等方面有着至关重要的作用, 尤其是对绿茶品质<sup>[18-19]</sup>。现有研究表明, 茶叶中氨基酸有

28 种, 且以茶氨酸为主<sup>[20]</sup>。由表 1 可知, 安吉白茶中 FAA 含量为 3.25%~6.62%, 尤其是 4 号、5 号和 16 号含量均在 6% 以上, 2 号、3 号、9 号、10 号、11 号和 14 号 6 个样品的 FAA 含量均未达到 5%, 而 GB/T 20354—2006 要求安吉白茶游离氨基酸含量不低于 5%。推测茶样间 FAA 含量差异大的原因可能是栽培管理条件和加工工艺上存在差异, 因为 16 份茶样均来自于安吉区域内, 且品种均为‘白叶 1 号’, 生长条件和采摘时间基本一致。业内普遍认为氨基酸含量大于 5% 为高氨基酸茶叶<sup>[21]</sup>, 16 份样品游离氨基酸平均值为 5.19%, 只有 6 份样品含量低于 5%, 该结果基本与安吉白茶是高氨基酸含量相吻合<sup>[21]</sup>, ‘白叶 1 号’是一份选育高氨基酸茶树品种的理想材料。也有研究表明, 绿茶鲜味 70% 的贡献来自于氨基酸<sup>[19]</sup>, 安吉白茶呈现的鲜嫩香气与其高氨基酸含量分不开。茶叶中氨基酸含量除了自身遗传特性外, 还受土壤、温湿度、光照等环境条件以及栽培管理水平、采摘方式/时间、加工工艺和贮藏方法等因素影响<sup>[22-23]</sup>, 是多种因素共同作用的结果, 今后有必要对安吉白茶氨基酸组分以及各组分对其滋味、香气的影响等方面进一步深入研究。

#### 2.1.3 生物碱

茶叶中 A 不仅影响茶叶风味, 而且也是重要的功能物质之一。由表 1 可以看出, 安吉白茶中 A 含量平均为 41.99 mg/g, 其中 CAF 含量平均为 35.66 mg/g, 约占生物碱总量的 84.92%; TB 和 TP 平均含量分别为 6.17 mg/g、0.17 mg/g, 分别占 A 总量的 14.69%、0.39%; 该结果与之前 A 以 CAF 为主, TP 和 TB 含量相对较少的研究结果基本类似<sup>[17,24]</sup>。16 个样品中, A 含量最高的为 10 号(45.78 mg/g), 最低为 9 号(38.32 mg/g); TB 含量最高的是 6 号(11.01 mg/g), 也是唯一 TB 含量超过 10 mg/g 的样品, 含量最低的是 11 号(3.58 mg/g), 仅为 6 号的 32.52%; TP 含量最高的是 1 号(0.46 mg/g), 为 14 号的 23 倍, 含量最低的是 14 号(0.02 mg/g); CAF 含量最高的是 10 号(38.73 mg/g), 含量最低的是 5 号(33.54 mg/g)。研究表明, 人体在摄入合适剂量的 CAF 时, 对人体有缓解疲劳、利尿和兴奋神经等积极作用<sup>[25]</sup>, 同时, CAF 含量因其品种、温度、光照、季节、栽培措施以及加工工艺等因素而不同, 而茶树中的 CAF 主要分布在幼嫩的芽叶中<sup>[26]</sup>; 这也是安吉白茶中 CAF 含量相对较高的原因, 因为安吉白茶原材料采自于一芽一叶初展至一芽三叶。另外, 过多摄入 CAF 会对给人产生诸如失眠焦虑、心慌或血压升高等不利影响<sup>[27]</sup>。

#### 2.1.4 儿茶素类

茶叶中茶多酚是黄烷醇类、黄酮醇类、黄酮类和酚酸类等多种酚类物质的总称, 可以产生醇厚滋味, 其中以儿茶素类为主的黄烷醇类物质含量最高<sup>[28]</sup>。儿茶素类主要包括没食子儿茶素(gallocatechin, GC)、表没食子儿茶素(epigallocatechin, EGC)、儿茶素(catechin, C)、表儿茶素

(epicatechin, EC) 4 种非酯型儿茶素和表没食子儿茶素没食子酸酯(epigallocatechin gallate, EGCG)、没食子儿茶素没食子酸酯(gallocatechin gallate, GCG)、表儿茶素没食子酸酯(epicatechin gallate, ECG)、儿茶素没食子酸酯(catechin gallate, CG) 4 种酯型儿茶素。由表 1 可知, 从均值来看, 8 种儿茶素单体平均含量从高到底依次为 EGCG、EGC、ECG、EC、GC、GCG、C、CG。16 个样品中 8 种儿茶素总量(total catechins, TC)均值为 147.49 mg/g, 其中最高的是 9 号样品, 为 166.13 mg/g, 最低的是 3 号, 仅为 133.76 mg/g。16 个样品中 4 种酯型儿茶素含量的均值为 115.51 mg/g, 约占儿茶素总量的 78.16%; 其中含量最高的是 10 号, 为 129.54 mg/g, 含量最低的是 3 号, 为 105.44 mg/g。4 种非酯型儿茶素含量的均值为 31.98 mg/g, 其中含量最高的是 9 号, 为 41.55 mg/g, 含量最低的是 6 号, 为 26.85 mg/g。EGCG 含量范围在 86.82~107.52 mg/g 之间, 含量最高的为 10 号, 最低为 3 号; CG 是含量最低的儿茶素, 含量范围为 0.05~0.21 mg/g, 其中含量最高的为 1 号, 最低的为 8 号。EGCG 是儿茶素单体中含量最高的, 其含量高于信阳毛尖<sup>[29]</sup>、六安瓜片<sup>[30]</sup>、西湖龙井<sup>[31]</sup>和太平猴魁<sup>[32]</sup>等众多绿茶。现有研究表明, EGCG 具备抗癌、抗病毒和治疗心血管

疾病等多重功能<sup>[33-34]</sup>, 并且是发挥生理作用的主要儿茶素类物质<sup>[35-36]</sup>, 所以近年来茶树高含量 EGCG 新品种选育一直是茶树育种的焦点。

#### 2.1.5 变异系数

由表 1 可以看出, 各品质指标变异系数在 4.17%~97.87%, 其中 FAA 和 TP 变异系数均较高, 分别为 97.87% 和 96.35%, 为 16 个测定指标中变异系数排名前两位的, 说明不同茶样间 FAA 和 TP 含量存在差异, 最易受外界因素所影响, 而游离氨基酸是作为评价绿茶品质的一个重要指标, 所以在今后的栽培管理、加工制作等程序上应该最大限度地保持其游离氨基酸含量, 进而提高绿茶品质。其次为 W 和 GA, 二者变异系数在 65.0%左右; 然后为 TB 和 CG, 其变异系数在 35.0%左右; 最小的为 CAF, 仅为 4.17%, 说明栽培管理和加工过程中不易受外界因素影响, 要想开发低 CAF 含量的产品, 可以通过寻找特殊种质资源(低 CAF 含量品系)或者物理化学法去除 CAF 等方式, 但长期看选育低 CAF 含量的茶树品种是最为安全、有效和方便的方式; 其他指标变异系数均在 19.0%以下。综上可知, 安吉白茶品质指标中 FAA 和 TP 等指标变异性较大, 而 CAF、TC、EGCG 和 A 等指标变异性较小。

表 1 安吉白茶品质指标分析  
Table 1 Analysis on the quality indexes of Anjibaicha

序号	W	FAA	GA	A	CAF	TB	TP	TC	GC	EGC	C	EC	EGCG	GCG	ECG	CG
1	4.39	5.46	1.60	41.18	37.03	3.69	0.46	135.24	2.58	18.55	1.08	5.27	88.76	1.97	16.82	0.21
2	4.10	4.75	1.35	41.44	35.37	5.69	0.38	137.87	2.23	18.79	1.06	5.59	91.05	2.44	16.53	0.18
3	4.27	4.26	1.61	40.64	36.33	3.86	0.45	133.76	2.70	18.76	1.29	5.58	86.82	1.80	16.63	0.18
4	5.19	6.62	1.57	44.14	36.07	7.71	0.36	145.20	2.36	19.01	1.03	5.56	97.18	2.69	17.18	0.19
5	4.56	6.12	1.32	41.73	33.54	7.88	0.31	145.09	2.35	20.90	1.19	6.38	94.79	2.23	17.11	0.14
6	4.67	5.84	1.22	44.82	33.77	11.01	0.04	143.69	2.06	18.28	1.00	5.52	97.40	2.21	17.07	0.15
7	4.72	5.88	1.30	40.93	35.43	5.46	0.04	151.78	2.47	29.20	1.77	7.23	91.99	1.81	17.25	0.06
8	3.87	5.14	1.49	44.90	35.56	9.29	0.05	142.76	2.39	19.34	1.39	5.23	94.64	2.21	17.51	0.05
9	4.12	4.48	3.84	38.32	33.84	4.44	0.04	166.13	2.58	31.19	1.14	6.64	102.79	2.42	19.28	0.09
10	5.25	3.25	1.61	45.78	38.73	7.00	0.05	165.40	2.14	26.14	1.59	6.00	107.52	2.30	19.64	0.07
11	6.78	3.32	1.50	39.88	36.25	3.58	0.05	151.26	2.19	24.64	1.38	5.44	97.52	2.19	17.8	0.10
12	4.39	5.77	1.40	40.87	35.34	5.49	0.04	149.44	2.26	27.56	1.59	6.32	92.39	1.81	17.45	0.06
13	5.53	5.70	1.43	41.84	35.15	6.66	0.03	145.58	2.09	19.79	1.13	5.72	96.26	2.46	18.00	0.13
14	5.02	4.49	1.23	41.49	34.49	6.98	0.02	151.37	2.14	24.76	1.27	6.55	97.12	2.03	17.36	0.14
15	4.49	5.73	1.48	43.18	38.58	4.36	0.24	147.43	2.02	22.43	1.29	6.04	95.60	1.88	17.98	0.19
16	4.75	6.15	1.68	40.76	35.05	5.55	0.16	147.78	2.01	20.61	1.34	5.50	98.01	1.91	18.23	0.17
均值	4.74	5.19	1.60	41.99	35.66	6.17	0.17	147.49	2.29	22.50	1.28	5.91	95.62	2.15	17.62	0.13
变异系数	69.04	97.87	60.13	4.74	4.17	33.31	96.35	5.94	9.20	18.31	16.99	9.45	5.16	12.43	4.83	40.02

## 2.2 相关性分析

茶叶品质是 FAA、A、GA、糖类、儿茶素类、有机酸等多种成分共同作用的结果,他们之间表现为协同、抑制或者加和效应<sup>[22]</sup>。有研究表明,EGCG 对 EGC 和 EC 回甘有抑制效应,而 EGC 对 EC 回甘有增强效应<sup>[37]</sup>,同时 CAF 对 EGCG 的涩味具有增强效应<sup>[38]</sup>。由表 2 可以看出,安吉白茶品质指标间存在正相关或者负相关。其中有 39 对指标间呈极显著相关( $P<0.01$ ),尤其是 TC 与 EGC、CG,CG 与 C、EGCG,GCG 与 TB 以及 C 与 EGCG 之间相关系数均在 0.76 以上;18 对指标间呈显著相关( $P<0.05$ )。以上说明安吉白茶品质指标间有较

强的相关性,可以通过主成分分析法研究安吉白茶品质指标间的复杂关系。

## 2.3 主成分分析

目前,茶叶质量评价中感官审评是常用的评价方法,但因评审人喜好和外界环境等因素影响其客观公平性<sup>[39]</sup>。主成分分析法是运用降维思想,把多个指标变换为少数几个综合指标的分析过程,综合指标即为主成分,且各主成分间所含信息互不重复<sup>[40]</sup>。如表 3 所示,对安吉白茶 16 个品质指标进行主成分分析,根据特征值大于 1 的原则,总共提取了 5 个主成分,累计方差贡献率 85.176%,包含了安吉白茶的大部分品质性状信息。

表 2 安吉白茶品质指标间相关性分析  
Table 2 Correlation analysis on the quality indices of Anjibaicha

指标	W	FAA	GA	A	CAF	TB	TP	TC	GC	EGC	C	EC	EGCG	GCG	ECG	CG
W	1															
FAA	-0.337*	1														
GA	-0.205	-0.217	1													
A	0.185	-0.320*	-0.176	1												
CAF	-0.137	0.323*	-0.314*	-0.394**	1											
TB	-0.277	0.197	-0.115	0.233	-0.310*	1										
TP	-0.358*	-0.095	0.398**	-0.081	-0.334*	0.433**	1									
TC	0.127	-0.309*	0.494**	-0.035	-0.318*	-0.589**	0.105	1								
GC	0.134	-0.231	-0.152	0.305*	-0.203	-0.446**	0.013	0.616**	1							
EGC	-0.085	0.054	0.216	-0.240	-0.11	-0.379**	0.118	0.792**	0.486**	1						
C	0.348*	-0.311*	0.386**	0.071	0.274	-0.583**	-0.445**	0.423**	0.089	0.161	1					
EC	0.177	-0.022	0.253	-0.178	0.382**	-0.002	-0.09	-0.184	-0.550**	-0.233	0.456**	1				
EGCG	0.211	-0.376**	0.568**	0.239	-0.077	-0.556**	-0.258	0.583**	0.294*	0.229	0.875**	0.199	1			
GCG	-0.062	0.298*	-0.151	0.127	-0.183	0.769**	-0.028	-0.661**	-0.690**	-0.426**	-0.363*	0.058	-0.444**	1		
ECG	-0.026	0.110	-0.465**	0.360*	0.713**	-0.063	-0.369**	-0.403**	-0.019	-0.324*	0.288	0.262	0.054	-0.031	1	
CG	0.270	-0.360*	0.531**	0.032	-0.012	-0.679**	-0.197	0.823**	0.404**	0.554**	0.860**	0.190	0.883**	-0.596**	-0.045	1

注: \*和\*\*分别表示在 0.01 和 0.05 水平上显著相关。

表 3 各主成分特征值、方差贡献率和累计方差贡献率  
Table 3 Eigen values, contribution rates and cumulative contribution rates of each principal component

主成分	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	5.325	33.287	33.287
2	3.017	18.857	52.144
3	2.119	13.247	65.391
4	2.009	12.558	77.949
5	1.156	7.227	85.176

由安吉白茶品质指标主成分载荷矩阵(表 4)可知,第 1 主成分反映了原始信息量的 33.287%,主要包含 TC、EGC、ECG、TP、EGCG 和 CG 等代表性指标,其载荷绝对值均在 0.74 以上,其中 TC 载荷值最大,为

0.963,EGC、ECG 和 EGCG 也均有正载荷量,说明 TC 等 4 个指标对第 1 主成分有正的贡献;而 TP 和 CG 具有较大的负载荷量,其对第 1 主成分有负的贡献。第 2 主成分反映了原始信息量的 18.857%,主要包含 A 和 TB 等代表性指标,其载荷值均在 0.76 以上,对第 2 主成分有正的贡献。第 3 主成分反映了原始信息量的 13.247%,主要包含 GA 和 C 等代表性指标,其载荷绝对值均在 0.70 以上,其中 GA 有正载荷量,对第 3 主成分有正的贡献,而 C 则相反。第 4 主成分反映了原始信息量的 12.558%,主要包含 CAF 等代表性指标,其载荷值为 0.782,对第 4 主成分有正的贡献;第 5 主成分反映了原始信息量的 7.227%,主要包含 W 等代表性指标,其载荷值为-0.653,对第 5 主成分有负的贡献。

表 4 主成分载荷矩阵  
Table 4 Principal component load matrix

指标	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4	主成分 5
W	0.286	0.264	-0.169	0.465	-0.653
FAA	-0.431	0.098	-0.009	-0.583	-0.026
GA	0.463	-0.318	0.766	0.050	0.193
A	-0.114	0.787	-0.315	0.019	0.480
CAF	0.026	0.027	-0.386	0.782	0.387
TB	-0.067	0.764	-0.042	-0.572	0.169
TP	-0.782	-0.273	0.204	0.311	0.196
TC	0.963	0.103	0.158	0.032	0.032
GC	-0.167	-0.673	0.297	-0.052	0.393
EGC	0.879	-0.406	-0.022	-0.111	-0.030
C	0.567	-0.304	-0.700	-0.017	0.158
EC	0.577	-0.410	-0.100	-0.447	-0.055
EGCG	0.755	0.543	0.255	0.151	0.037
GCG	0.041	0.577	0.645	0.039	-0.011
ECG	0.839	0.203	0.210	0.270	0.172
CG	-0.747	0.013	0.272	0.318	-0.171

2.4 品质评价模型建立

前 5 个主成分累计方差贡献率为 85.176%, 可以反映出安吉白茶品质的大部分性状信息, 所以, 可以用前 5 个主成分来构建安吉白茶品质模型。各主成分线性关系式如下, 式中  $X_1 \sim X_{16}$  为原始变量 W、FAA、GA、TA.....ECG 和 CG 标准化后的值,  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 、 $F_4$  和  $F_5$  分别表示前 5 个主成分的得分。

$$F_1=0.124X_1-0.187X_2+0.201X_3-0.050X_4+\dots+0.364X_{15}-0.324X_{16}$$

$$F_2=0.152X_1+0.056X_2-0.183X_3+0.453X_4+\dots+0.117X_{15}+0.007X_{16}$$

$$F_3=0.116X_1-0.006X_2+0.526X_3-0.216X_4+\dots+0.144X_{15}+0.187X_{16}$$

$$F_4=0.328X_1-0.411X_2+0.035X_3+0.013X_4+\dots+0.191X_{15}+0.224X_{16}$$

$$F_5=-0.607X_1-0.024X_2+0.179X_3+0.447X_4+\dots+0.160X_{15}-0.159X_{16}$$

由于各主成分贡献率不同, 应综合考虑各因子对其影响, 以每个主成分的相对方差贡献率为权重进行计算得

分, 即  $F$  值(表 5)。 $F$  值的表达式为:  $F=0.391F_1+0.221F_2+0.156F_3+0.147F_4+0.085F_5$ 。主成分分析结果中综合得分愈高表明安吉白茶品质越好, 反之则相反。16 个茶样综合得分从高到底排序为: 10>9>11>13>4>8>15>6>16>14>12>5>2>7>1>3。张贱根等<sup>[41]</sup>以 8 种上犹名优绿茶为材料, 运用主成分分析方法构建了犹名优绿茶品质评价方法, 其评价结果与感官审评结果不一致, 这主要是因为理化指标之间的细微差别审评人员很难区分; 同时, 雷亚兰等<sup>[42]</sup>和张丽等<sup>[43]</sup>也采用主成分分析法分别建立了宝庆桂丁绿茶和洞庭碧螺春品质评价模型, 这说明运用主成分分析方法评价绿茶品质是可行的。运用主成分分析可以很好地反映出安吉白茶间品质差异性, 是科学、客观和合理的, 也剔除了人为因素干扰。由此可知, 采用主成分分析法对安吉白茶品质综合评价是可行的, 该结果为安吉白茶品质评价、茶叶加工利用提供理论依据。但本研究未进行茶样的感官审评, 为了使评价系统更完善, 下一步应将理化指标分析和感官审评相结合进行安吉白茶品质综合评价分析, 将更科学合理。

表 5 16 份样品综合评价得分与排序  
Table 5 Score and ranking of comprehensive evaluation of 16 samples

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
得分	-0.57	-0.36	-0.71	0.11	-0.34	-0.05	-0.41	0.07	0.91	1.30	0.31	-0.31	0.14	-0.04	0.02	-0.04
排序	15	13	16	5	12	8	14	6	2	1	3	11	4	10	7	9

### 3 结 论

本研究通过对 16 份安吉白茶茶样的 16 项品质指标进行测定与分析, 运用相关性分析和主成分分析法对安吉白茶品质指标进行简化和降维, 并建立了安吉白茶品质评价模型。采用该评价模型可以很好地区分不同茶样间的差异性, 说明主成分分析法用于评价安吉白茶品质是可行的。本研究结果为安吉白茶质量评价体系建立、品质提升提供了一定理论参考。

#### 参考文献

- ZHANG QL, ZHANG JQ, ZHANG J, *et al.* Antimicrobial effect of tea polyphenols against foodborne pathogens: A review [J]. *J Food Protect*, 2021, 84(10): 1801–1808.
- WU MR, WU XB, ZHU JX, *et al.* Selenium-enriched and ordinary green tea extracts prevent high blood pressure and alter gut microbiota composition of hypertensive rats caused by high-salt diet [J]. *Food Sci Hum Well*, 2022, 11(3): 738–751.
- 陆昌琪, 毛世红, 童华荣, 等. 儿茶素及其衍生物合成研究进展[J]. *食品科学*, 2018, 39(11): 316–326.  
LU CQ, MAO SH, TONG HR, *et al.* Catechins and derivatives synthesis and pharmacological activity research progress [J]. *Food Sci*, 2018, 39(11): 316–326.
- 王绍梅, 李晓君, 宋文明, 等. 普洱茶中没食子酸及其改善饮食诱导的糖脂代谢紊乱研究进展[J]. *茶叶科学*, 2020, 40(4): 431–440.  
WANG SM, LI XJ, SONG WM, *et al.* Research progress of gallic acid in Puer tea and its improvement of diet induced glucose and lipid metabolism disorder [J]. *J Tea Sci*, 2020, 40(4): 431–440.
- 王蔚, 郭雅玲. 茶功能性成分对肺癌作用机制的研究进展[J]. *中草药*, 2017, 48(17): 3654–3661.  
WANG W, GUO YL. Research progress in mechanisms of functional components in tea on lung cancer [J]. *Chin Tradit Herb Drugs*, 2017, 48(17): 3654–3661.
- 章婧. 安吉白茶入选 2022 年全国农业生产“三品一标”典型案例名单[N]. *安吉新闻*, 2022-11-08(3).  
ZHANG J. Anjibaicha was selected into the list of typical cases of “three products and one standard” of national agricultural production in 2022 [N]. *Anji News*, 2022-11-08(3).
- LI CF, XU YX, MA JQ, *et al.* Biochemical and transcriptomic analyses reveal different metabolite biosynthesis profiles among three color and developmental stages in ‘Anji Baicha’ (*Camellia sinensis*) [J]. *BMC Plant Biol*, 2016, 16(1): 195.
- HUANG S, ZUO T, ZHENG X, *et al.* Foliar application of glycinebetaine and Zn fertilizer improves both the apparent and functional qualities of albino tea [*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze] [J]. *Food Funct*, 2021, 12(19): 9476–9485.
- 张金玉, 李美凤, 邵秋艳, 等. 不同厌氧时间对绿茶和红茶加工品质的影响[J]. *茶叶学报*, 2021, 62(2): 78–84.  
ZHANG JY, LI MF, GAO QY, *et al.* Effect of anaerobic treatment time on quality of green and black teas [J]. *Acta Tea Sin*, 2021, 62(2): 78–84.
- 郭桂义, 严佩峰, 文宏, 等. 安吉白茶与信阳群体种信阳毛尖茶化学成分和品质的比较[J]. *食品科技*, 2010, 35(6): 118–121.  
GUO GY, YAN PF, WEN H, *et al.* Comparison of chemical components and organoleptic quality of Xinyang Maojian tea made by Anjibaicha and the Xinyang community variety [J]. *Food Sci Technol*, 2010, 35(6): 118–121.
- 石亚丽, 白艳, 马婉君, 等. 安吉白茶挥发性成分及关键呈香成分分析[J]. *食品科学*, 2022, 43(20): 261–268.  
SHI YL, BAI Y, MA WJ, *et al.* Analysis of volatile components and key aroma-active compounds of Anjibaicha [J]. *Food Sci*, 2022, 43(20): 261–268.
- 张文君, 杨思霞, 李纬, 等. 安吉白茶与不同储存年份茯砖茶对老龄小鼠脾淋巴细胞增殖功能的影响[J]. *湖南中医杂志*, 2019, (7): 151–164.  
ZHANG WJ, YANG SX, LI W, *et al.* Effect of Anji white tea versus Fuzhuan tea with different storage years on the proliferative function of spleen lymphocytes in elderly mice [J]. *Hunan J Tradit Chi Med*, 2019, (7): 151–164.
- CHEN X, YU H, ZHU J, *et al.* Widely targeted metabolomic analyses of albino tea germplasm ‘Huabai 1’ and ‘Baiye 1’ [J]. *All Life*, 2021, 14(1): 530–540.
- 唐春红, 游欢, 赵久毅, 等. 基于主成分分析对 3D-全麦粉与普通全麦粉品质的比较研究[J]. *食品研究与开发*, 2022, 43(9): 23–31.  
TANG CH, YOU H, ZHAO JY, *et al.* Comparison of the quality of 3D-whole wheat flour and common whole wheat flour based on principal component analysis [J]. *Food Res Dev*, 2022, 43(9): 23–31.
- 史星雲, 王莉, 金勤生, 等. 不同葡萄品种果实品质差异性分析与评价[J]. *中国南方果树*, 2022, 51(4): 140–145, 150.  
SHI XY, WANG L, JIN QS, *et al.* Analysis and evaluation of fruit quality difference among different grape varieties [J]. *South Chin Fruits*, 2022, 51(4): 140–145, 150.
- CHIOMA NJ, TRINITAS E. Principal component analysis of nutritional quality of 43 cassava varieties [J]. *J Mod Math Stat*, 2009, 3(1): 22–24.
- 范方媛, 杨晓蕾, 龚淑英, 等. 闷黄工艺因子对黄茶品质及滋味化学组分的影响研究[J]. *茶叶科学*, 2019, 39(1): 63–73.  
FAN FY, YANG XL, GONG SY, *et al.* The effect of technological factors on yellow tea quality and taste-chemical constituents in the yellowing process [J]. *J Tea Sci*, 2019, 39(1): 63–73.
- 姚佳, 陈开琴, 何志云, 等. 野生甜茶中氨基酸成分分析及营养评价[J]. *生物化工*, 2021, 7(4): 78–81.  
YAO J, CHEN KQ, HE ZY, *et al.* Amino acid analysis and nutritional evaluation for wild sweet tea [J]. *Biol Chem Eng*, 2021, 7(4): 78–81.
- ZHANG L, CAO QQ, GRANATO D, *et al.* Association between chemistry and taste of tea: A review [J]. *Trends Food Sci Technol*, 2020, 101: 139–149.
- 夏静, 李布青. 用生理体液法测定茶叶中的游离氨基酸[J]. *茶业通报*, 1990, 2: 27–29.  
XIA J, LI BQ. Determination of free amino acids in tea by physiological body fluid method [J]. *J Tea Business*, 1990, 2: 27–29.
- 方开星, 姜晓辉, 秦丹丹, 等. 高氨基酸和高茶氨酸茶树资源筛选[J]. *核农学报*, 2019, 33(9): 1724–1733.  
FANG KX, JIANG XH, QIN DD, *et al.* Selection of tea germplasm with high contents of amino acid and theanine [J]. *J Nucl Agri Sci*, 2019, 33(9): 1724–1733.
- 韦雅杰, 高彦祥. 茶汤滋味物质及其调控研究进展[J]. *食品研究与开*

- 发, 2022, 43(11): 189–197.
- WEI YJ, GAO YX. Taste-related compounds in tea infusion and the regulation: A review [J]. *Food Rese Dev*, 2022, 43(11): 189–197.
- [23] XU JL, WU LQ, TONG BX, *et al.* Magnesium supplementation alters leaf metabolic pathways for higher flavor quality of oolong tea [J]. *Agriculture*, 2021, 11(2): 120.
- [24] 黄创盛, 龚淑英, 范方媛, 等. 白茶树种品种‘中白 1 号’加工不同茶类适制性研究[J]. *茶叶*, 2019, 2: 69–74.
- HUANG CS, GONG SY, FAN FY, *et al.* Study on processing suitability of albino tea cultivar “Zhongbai 1” [J]. *J Tea*, 2019, 2: 69–74.
- [25] JODRA P, LAGO RA, SANCHEZ OJ, *et al.* Effects of caffeine supplementation on physical performance and mood dimensions in elite and trained-recreational athletes [J]. *J Int Soc Sports Nutr*, 2020, 17: 2.
- [26] ASHIHARA H, KUBOTA H. Patterns of adenine metabolism and caffeine biosynthesis in different parts of tea seedlings [J]. *Physiol Plantarum*, 1986, 68: 275–281.
- [27] ROBERTSON D, FRÖLICH JC, CARR RK, *et al.* Effects of caffeine on plasma renin activity, catecholamines and blood pressure [J]. *New Eng J Med*, 1978, 298: 181–186.
- [28] WANG DX, YAN XQ, WU YQ, *et al.* Up-regulation of the gap junction intercellular communication by tea polyphenol in the human metastatic lung carcinoma cell line [J]. *Cancer Ther*, 2012, 3(1): 64–70.
- [29] 张洁, 陈思敏, 任小盈, 等. 22 种不同来源信阳毛尖茶的分类比较[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(23): 34–40.
- ZHANG J, CHEN SM, REN XY, *et al.* Classification and comparative analysis of 22 Xinyang Maojian teas with various origins [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2021, 42(23): 34–40.
- [30] 江俞蓉, 刘思彤, 高静, 等. 六安瓜片拉老火‘起霜’的形成机制及其对茶叶品质的影响[J]. *茶叶科学*, 2018, 38(5): 487–495.
- JIANG YR, LIU ST, GAO J, *et al.* The mechanism of frost-like powder and its effects on Liu’anguapian tea quality [J]. *J Tea Sci*, 2018, 38(5): 487–495.
- [31] 石伊凡, 吴连成, 石元值. 基于生化成分与矿质元素的龙井茶产地溯源研究[J]. *浙江农业科学*, 2017, 58(9): 1541–1545.
- SHI YF, WU LC, SHI YZ. Study on the origin of Longjing tea based on biochemical composition and mineral elements [J]. *J Zhejiang Agric Sci*, 2017, 58(9): 1541–1545.
- [32] 高薇, 王秀, 李见春, 等. 基于 HPLC 指纹图谱与多元统计分析的太平猴魁产地判别方法[J]. *轻工学报*, 2022, 37(1): 33–39.
- GAO W, WANG X, LI JC, *et al.* Origin discrimination of Taiping Houkui based on HPLC fingerprints and multivariate statistical analysis [J]. *J Light Ind*, 2022, 37(1): 33–39.
- [33] LI F, QASIM S, LI D, *et al.* Updated review on green tea polyphenol epigallocatechin-3-gallate as a cancer epigenetic regulator [J]. *Semin Cancer Biol*, 2021, 83: 335–352.
- [34] GUO R, ZHOU FM, SU CJ, *et al.* Epigallocatechin-3-gallate attenuates acute and chronic psoriatic itch in mice: Involvement of antioxidant, anti-inflammatory effects and suppression of ERK and Akt signaling pathways [J]. *Biochem Biophys Res Commun*, 2018, 496(4): 1062–1068.
- [35] DAI W, RUAN C, ZHANG Y, *et al.* Bioavailability enhancement of EGCG by structural modification and nano-delivery: A review [J]. *J Funct Foods*, 2020, 65: 103732.
- [36] 徐瓦珍, 刘昌伟, 王阔飞, 等. 表没食子儿茶素没食子酸酯纳米化研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(6): 255–262.
- XU WZ, LIU CW, WANG KF, *et al.* Advances in epigallocatechin gallate nanotechnology [J]. *J Food Saf Qual*, 2023, 14(6): 255–262.
- [37] ZHANG YN, YIN JF, CHEN JX, *et al.* Improving the sweet aftertaste of green tea infusion with tannase [J]. *Food Chem*, 2016, 192: 470–476.
- [38] YIN JF, ZHANG YN, DU QZ, *et al.* Effect of Ca<sup>2+</sup> concentration on the tastes from the main chemicals in green tea infusions [J]. *Food Res Int*, 2014, 62: 941–946.
- [39] 马林龙, 刘艳丽, 曹丹, 等. 不同茶树品种(系)的绿茶滋味分析及评价模型构建[J]. *农业工程学报*, 2020, 36(10): 277–286.
- MA LL, LIU YL, CAO D, *et al.* Analysis and evaluation model for the taste quality of green tea made from various cultivars or strains [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2020, 36(10): 277–286.
- [40] 粟婕, 邵培基. 主成分分析法在上市公司盈利能力评价中的应用[J]. *电子科技大学学报: 社会科学版*, 2007, 9(2): 12–14.
- LI J, SHAO PJ. The application of principal components analysis method in evaluation of listed companies profit gaining ability [J]. *J Univ Electron Sci Technol China (Soc Sci Ed)*, 2007, 9(2): 12–14.
- [41] 张贱根, 刘均华, 刘知远, 等. 基于相关性和主成分分析的上犹名优绿茶品质评价[J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(3): 285–292.
- ZHANG JG, LIU JH, LIU ZY, *et al.* Quality analysis of Shangyou famous green tea based on correlation and principal component analysis [J]. *J Food Saf Qual*, 2023, 14(3): 285–292.
- [42] 雷亚兰, 周志梅, 李瑾, 等. 基于主成分分析和聚类分析方法评价宝庆桂丁绿茶品质特性[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(6): 269–277.
- LEI YL, ZHOU ZM, LI J, *et al.* Quality analysis of Baoqing Guiding green tea based on principal component and cluster analysis [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2022, 43(6): 269–277.
- [43] 张丽, 刘文静, 刘腾飞, 等. 基于主成分分析法建立洞庭碧螺春质量评价模型[J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(7): 15–22.
- ZHANG L, LIU WJ, LIU TF, *et al.* Modeling for quality evaluation of Dongting Biluochun tea based on principal component analysis [J]. *Food Res Dev*, 2018, 39(7): 15–22.

(责任编辑: 于梦娇 张晓寒)

## 作者简介



徐珊珊, 硕士, 农艺师, 主要研究方向为园艺作物栽培与加工技术。  
E-mail: tetemama2016@163.com



柳丽萍, 高级农艺师, 主要研究方向为茶树栽培与茶叶加工技术。  
E-mail: 784751320@qq.com