



食品与发酵工业

Food and Fermentation Industries

ISSN 0253-990X, CN 11-1802/TS

## 《食品与发酵工业》网络首发论文

题目：基于主成分分析和聚类分析的湄潭翠芽游离氨基酸特性评价  
作者：彭琼瑶，刘玉倩，敖芳，杨琦宏，杨家干，牛素贞，宋勤飞  
DOI：10.13995/j.cnki.11-1802/ts.031976  
收稿日期：2022-04-18  
网络首发日期：2022-06-20  
引用格式：彭琼瑶，刘玉倩，敖芳，杨琦宏，杨家干，牛素贞，宋勤飞. 基于主成分分析和聚类分析的湄潭翠芽游离氨基酸特性评价[J/OL]. 食品与发酵工业. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.031976>



**网络首发：**在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

**出版确认：**纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

# 基于主成分分析和聚类分析的湄潭翠芽游离氨基酸特性评价

彭琼瑶<sup>1</sup>, 刘玉倩<sup>2</sup>, 敖芳<sup>1</sup>, 杨琦宏<sup>1</sup>, 杨家干<sup>3</sup>, 牛素贞<sup>1</sup>, 宋勤飞<sup>1</sup>✉

1. 贵州大学 茶学院, 贵州 贵阳, 550025

2. 遵义职业技术学院, 贵州 遵义, 563006

3. 遵义市种植业发展服务中心, 贵州 遵义, 563006

\*通信作者 宋勤飞, 讲师, 为通信作者, E-mail: song96@sina.com

**摘要** 为明确湄潭翠芽游离氨基酸 (free amino acid, FAA) 的组成、含量及其营养、风味特性, 以不同厂家的 33 份湄潭翠芽茶样为材料, 采用氨基酸自动分析仪及高效液相色谱测定游离氨基酸种类和含量, 通过滋味活性值 (taste activity value, TAV) 进行呈味特性评价、利用主成分分析和聚类分析进行综合评价。结果显示湄潭翠芽游离氨基酸总量在 36.933~59.201 mg/g, 均值为 45.923 mg/g。检测到的 18 种游离氨基酸含量在茶样间差异明显, 变异水平达到中等以上。茶氨酸 (theanine, Thea)、谷氨酸 (glutamic acid, Glu) 和天冬氨酸 (aspartic acid, Asp) 是湄潭翠芽中最主要的 3 种游离氨基酸。湄潭翠芽以非必需氨基酸 (non-essential amino acids, NEAAs) 含量最高, 其次为半必需氨基酸 (儿童必需氨基酸, child essential amino acids, CEAAAs), 必需氨基酸 (essential amino acids, EAAs) 含量最低。湄潭翠芽中游离氨基酸的呈味特性表现为鲜味氨基酸 > 苦味氨基酸 > 甜味氨基酸, Thea 是湄潭翠芽中最主要的呈味氨基酸, TAV 值均值为 315.61。Glu、Thea 含量与滋味评分具有显著正相关关系。通过主成分分析提取到 3 个主成分, 累积方差贡献率为 80.411%, 可代表湄潭翠芽中游离氨基酸的综合信息。游离氨基酸综合评分排名前 3 的茶样依次是 CY16、CY19 和 CY12。聚类分析将湄潭翠芽分为 3 类, 其游离氨基酸综合评分为第Ⅲ类 > 第Ⅱ类 > 第Ⅰ类, 较好地反映了不同湄潭翠芽间游离氨基酸的差异。

**关键词** 湄潭翠芽; 游离氨基酸; 滋味活性值; 主成分分析; 聚类分析

DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.031976

## Evaluation of free amino acid characteristics of Meitan cuiya based on principal component analysis and cluster analysis

PENG Qiongyao<sup>1</sup>, LIU Yuqian<sup>2</sup>, AO Fang<sup>1</sup>, YANG Qihong<sup>1</sup>, YANG Jiagan<sup>3</sup>, NIU Suzhen<sup>1</sup>, SONG Qinfei<sup>1</sup>✉

1. College of Tea Science, Guizhou University, Guiyang 550025, China

2. Zunyi Vocational and Technical College, Zunyi 563006, China

3. Zunyi Ministry Bureau of Agriculture and Rural Affairs, Zunyi 563006, China

**Abstract** This study was to clarify the composition, content, nutrition, and flavor characteristics of the free amino acid (FAA) in Meitan cuiya, 33 samples of Meitan cuiya from different manufacturers were used as materials. The types and contents of free amino acids were determined by an automatic amino acid analyzer (AAAA) and high performance liquid chromatography (HPLC). Then the flavor characteristics were evaluated by taste activity value (TAV). Principal component analysis (PCA) and cluster analysis (CA) were used for comprehensive evaluation. Results showed that the total free amino acids in Meitan cuiya ranged from 36.933mg/g to 59.201 mg/g, with an average of 45.923 mg/g. The contents of 18 kinds of free amino acids were significantly different among tea samples, and the variation level was above medium. Theanine (Thea), glutamic acid (Glu), and aspartic acid (Asp) were the three main free amino acids in Meitan cuiya. The content of non-

收稿日期: 2022-04-18

基金项目: 贵州大学大学生创新创业训练计划项目 (贵大 (国) 创字[2021]028); 贵州省科技厅计划项目 (黔科合 成果[2019]4273 号); 贵州省林业厅计划项目 (黔林科合[2019]09 号)

作者简介: 彭琼瑶, 本科生

网络首发时间: 2022-06-20 16:00:23 网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1802.TS.20220617.1906.010.html>

essential amino acids (NEAAs) was the highest, followed by semi-essential amino acids (CEAAs), and the content of essential amino acids (EAAs) was the lowest. The flavor characteristics of free amino acids in Meitan cuiya were umami amino acids > bitter amino acids > sweet amino acids. Thea was the most important flavor amino acid in Meitan cuiya, with a TAV mean value of 315.61. The content of Glu and Thea had a significant positive correlation with taste scores. Three principal components were extracted by principal component analysis, and the cumulative variance contribution rate was 80.411%, which could represent the comprehensive information of FAA in Meitan cuiya. The top three tea samples in the comprehensive score of free amino acids were CY16, CY19, and CY12. Meitan cuiya were divided into three categories by cluster analysis. The comprehensive score of free amino acids was class III > class II > class I, and it better reflected the difference in free amino acids among different Meitan cuiya.

**Key words** Meitan cuiya; free amino acids; taste activity value; principal component analysis; cluster analysis

湄潭翠芽是以产于湄潭县境内及与湄潭县环境相似的周边地域的适制绿茶的中小叶茶树品种的鲜叶为原料加工而成,具有“嫩、鲜、香、浓、醇”品质特征的扁形绿茶(DB52/T 478—2018 湄潭翠芽茶),含有较高的茶多酚、咖啡碱、游离氨基酸等成分<sup>[1-2]</sup>,是我国扁形名优绿茶的典型代表,也是农业部地理标志保护农产品“贵州绿茶”的重要标志性产品之一。

游离氨基酸(free amino acid, FAA)可呈现酸、甜、苦、咸、鲜等多种味道,是影响食品风味的重要因素<sup>[3]</sup>,其含量和成分也是评价食品营养的关键指标<sup>[4-5]</sup>。游离氨基酸是茶叶重要的品质成分。不同茶类中游离氨基酸含量及构成差异较大。白茶游离氨基酸总量明显高于其他茶类<sup>[6]</sup>,Thea、Asp、天冬酰胺(Asn)和Glu被认为是其主要的鲜味贡献氨基酸<sup>[7]</sup>。黑茶的游离氨基酸含量较低<sup>[6,8]</sup>,且苦味氨基酸的比例较高<sup>[9]</sup>;而红茶中甜味氨基酸的含量较为突出<sup>[6,9]</sup>。蒙顶甘露<sup>[10]</sup>、南京雨花茶<sup>[11]</sup>、信阳毛尖<sup>[12]</sup>等绿茶茶汤鲜爽、香气高鲜的品质特征与其富含游离氨基酸,且Thea、Glu等鲜味氨基酸以及甜味氨基酸、具有花香的氨基酸组分比例较高密不可分。湄潭翠芽富含游离氨基酸,其含量显著高于孝感龙剑茶、龙井茶、大方茶及竹叶青茶等其他扁形绿茶<sup>[2]</sup>。但目前还未见对湄潭翠芽中游离氨基酸组成的系统研究,对湄潭翠芽游离氨基酸的营养特性和呈味特点也不清楚,这影响了对湄潭翠芽品质的科学评价,不利于湄潭翠芽的标准化生产。

本研究通过检测不同湄潭翠芽中游离氨基酸组成和含量,并采用滋味活性值(taste activity value, TAV)、主成分分析和聚类分析对游离氨基酸指标进行综合评价,以期明确湄潭翠芽游离氨基酸的组成及含量差异,为揭示游离氨基酸对湄潭翠芽品质的贡献、稳定和提升湄潭翠芽品质提供理论依据;同时为量化“贵州绿茶”品质、促进贵州绿茶产业可持续发展也有积极作用。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料为来自不同企业的33份湄潭翠芽。生产企业为贵州省湄潭县境内获得地理保护标志产品“湄潭翠芽”授权使用单位,所取样品为企业2021年度春季生产的特级或一级产品(表1)。

表1 湄潭翠芽茶样来源信息  
Table 1 Information of Meitan cuiya tea samples

序号	等级	企业名称	序号	等级	企业名称
CY1	特级	贵州湄潭兰馨茶业有限公司	CY18	特级	贵州省古马茶业有限公司
CY2	特级	贵州湄潭盛兴茶业有限公司	CY19	一级	贵州省湄潭县寒江雪茶业销售有限公司
CY3	一级	贵州省湄潭县栗香茶业有限公司	CY20	一级	贵州湄潭县添福茶业有限公司
CY4	一级	贵州湄潭四品君茶业有限公司	CY21	特级	贵州省湄潭县乐业科技有限公司
CY5	特级	贵州怡壶春生态茶业公司	CY22	一级	贵州省湄潭县聚丰茶业有限公司
CY6	特级	贵州阳春白雪茶业有限公司	CY23	一级	湄潭县银柜山茶业有限公司
CY7	特级	贵州琦福苑茶业有限公司	CY24	一级	贵州省湄潭县画春茶业有限公司
CY8	一级	贵州省湄潭县黔茗茶业有限责任公司	CY25	一级	贵州湄潭林圣茶业有限公司
CY9	特级	贵州高原春雪有机茶业有限公司	CY26	特级	湄潭县清水江茶叶公司

CY10 特级	贵州湄潭沁园春茶业有限公司	CY27 特级	湄潭县一品缘茶叶有限公司
CY11 一级	贵州省湄潭县银峰茶业有限责任公司	CY28 一级	贵州省湄潭县一丫翠片茶业有限公司
CY12 一级	贵州湄潭百道茶业有限公司	CY29 特级	贵州湄江良品茶业有限公司
CY13 特级	贵州贵福春茶业有限公司	CY30 一级	湄潭县周益茶叶公司
CY14 一级	贵州省湄潭县茂芸茶业有限公司	CY31 特级	湄潭县沁心富硒茶业有限公司
CY15 一级	贵州湄江源茶业有限公司	CY32 特级	湄潭县京贵茶树花产业发展有限公司
CY16 一级	贵州箐馨茶业有限公司	CY33 特级	贵州七茶有限公司
CY17 一级	贵州沃丰茶业有限公司		

## 1.2 主要仪器和试剂

Sykam S-433D 全自动氨基酸分析仪、Sykam 液相色谱仪系统 S-504, 德国赛卡姆公司; H1850R 高速冷冻离心机, 湖南湘仪仪器有限公司; Hitachi 双光束分光光度计 UH5300, 日立(中国)有限公司; GV-30L 超声振动仪, 深圳市够威科技有限公司。

H 型氨基酸混合标准液: 日本和光试剂公司。包含丙氨酸(Ala)、甘氨酸(Gly)、天冬氨酸(Asp)、精氨酸(Arg)、半胱氨酸(Cys)、谷氨酸(Glu)、组氨酸(His)、异亮氨酸(Ile)、赖氨酸(Lys)、亮氨酸(Leu)、甲硫氨酸(Met)、脯氨酸(Pro)、苯丙氨酸(Phe)、丝氨酸(Ser)、酪氨酸(Tyr)、苏氨酸(Thr)、缬氨酸(Val)等 17 种氨基酸。茶氨酸标准品(Thea,  $\geq 99\%$ ), 上海源叶生物科技有限公司。

## 1.3 试验方法

### 1.3.1 样品制备方法

按照《GB/T 8303—2013 茶 磨碎试样的制备及其干物质含量测定》将茶样磨碎后过 40 目筛后备用。

### 1.3.2 游离氨基酸总量的测定

采用《GB/T 8314—2013 茶 游离氨基酸总量的测定》的方法测定样品中游离氨基酸总量。

### 1.3.3 游离氨基酸组成和含量测定

准确称取 1 g 左右磨碎过筛茶样, 加入 50 mL 0.01 mol/L 盐酸溶液超声浸提 30 min; 摇匀后过滤, 准确吸取滤清于 2 mL 于离心管中, 加入 8% 磷基水杨酸 2 mL, 混匀, 静置 15 min 后于高速离心机 10 000 r/min 离心 10 min; 取上清液过 0.22  $\mu\text{m}$  滤膜于进样瓶后上氨基酸自动分析仪测试。

色谱条件: 色谱柱 LCA K07/Li, 柱温 38~74  $^{\circ}\text{C}$ , 梯度升温; 流动相 A: pH 2.9 柠檬酸锂溶液, 流动相 B: pH 4.2 柠檬酸锂溶液, 流动相 C: pH 8.0 柠檬酸锂溶液; 洗脱泵流速 0.45 mL/min, 衍生泵流速 0.25 mL/min, 进样体积 50  $\mu\text{L}$ , 分离程序 60 min。

### 1.3.4 茶氨酸含量测定

茶氨酸的测定参考《GB/T 23193—2017 茶叶中茶氨酸的测定 高效液相色谱法测定》。

### 1.3.5 湄潭翠芽感官审评方法

组织 9 名具有高级评茶员资格的人员按照《GB/T 23776—2018 茶叶感官审评方法》中绿茶审评方法进行湄潭翠芽感官审评, 重点考察滋味指标, 最终评分取平均值。

## 1.4 数据分析

### 1.4.1 数据统计

采用 Excel 2019 软件对数据进行统计整理。

### 1.4.2 游离氨基酸分类

按照《GB/T 32687—2016 氨基酸分类导则》中氨基酸营养学分类标准将氨基酸分为必需氨基酸(essential amino acids, EAAs)、半必需氨基酸(儿童必需氨基酸、child essential amino acids, CEAAAs)和非必需氨基酸(non essential amino acids, NEAAAs)。因 Thea 在结构上与 Glu 接近, 本研究将其归于 NEAAAs; 同时参考文献[13]进行呈味氨基酸分类。



### 1.4.3 TAV 分析

TAV 为呈味物质含量值与呈味物质滋味阈值的比值。其值越大,表示该物质对滋味贡献越大;TAV>1 时,表明该呈味物质对呈味有贡献,TAV<1,代表该氨基酸对呈味贡献不大<sup>[4]</sup>。各游离氨基酸滋味阈值参考文献[14]。

### 1.4.4 游离氨基酸的综合评价

采用 SPSS23.0 软件进行游离氨基酸相关性分析和主成分分析;利用 SPSS23.0 中系统聚类法对 33 份湄潭翠芽进行基于各游离氨基酸组分含量的聚类。

## 2 结果与分析

### 2.1 湄潭翠芽游离氨基酸总量

表 2 显示不同湄潭翠芽中游离氨基酸总量在 36.933~59.201 mg/g,平均值为 45.923 mg/g,变异系数为 10.129%,处于低变异水平,表明供试湄潭翠芽之间游离氨基酸总量差异变化不大。有 27 份湄潭翠芽游离氨基酸总量在 40~50 mg/g,占总量的 81.82%;CY13、CY21 及 CY11 等 3 份茶样游离氨基酸总量低于 40 mg/g;而 CY29、CY30 和 CY26 等 3 份茶样游离氨基酸总量高于 50 mg/g,尤其是 CY26,其含量达到了 59.201 mg/g 为所有茶样中的最高值。

表2 不同湄潭翠芽游离氨基酸总量  
Table 2 Total free amino acids in different Meitan cuiya

编号	含量/(mg·g <sup>-1</sup> )	编号	含量/(mg·g <sup>-1</sup> )	编号	含量/(mg·g <sup>-1</sup> )	编号	含量/(mg·g <sup>-1</sup> )
CY1	41.52±0.028	CY10	40.69±0.058	CY18	41.86±0.019	CY26	59.20±0.151
CY2	47.65±0.060	CY11	39.13±0.029	CY19	49.92±0.054	CY27	45.27±0.080
CY3	48.332±0.153	CY12	47.77±0.045	CY20	44.02±0.153	CY28	48.41±0.048
CY4	40.82±0.239	CY13	36.93±0.069	CY21	38.07±0.043	CY29	50.87±0.058
CY5	45.12±0.076	CY14	46.00±0.024	CY22	42.96±0.044	CY30	55.62±0.089
CY6	46.72±0.051	CY15	45.86±0.064	CY23	44.27±0.080	CY31	48.95±0.018
CY7	48.70±0.159	CY16	40.74±0.016	CY24	48.30±0.103	CY32	48.56±0.054
CY8	49.22±0.041	CY17	45.14±0.036	CY25	46.64±0.067	CY33	46.16±0.065
CY9	45.89±0.075						

### 2.2 不同湄潭翠芽游离氨基酸的组成与含量

本研究中共检测了湄潭翠芽中 18 种游离氨基酸,包括 17 种蛋白质氨基酸和 1 种非蛋白氨基酸—Thea(表 3)。各种氨基酸的含量均值排序为: Thea>Glu>Arg>Asp>Ser>Lys>Ala>Phe>Thr>His>Leu>Val>Ile>Gly>Tyr>Met>Cys。Thea、Glu 及 Asp 等 3 种氨基酸是湄潭翠芽中最主要的游离氨基酸,其含量占游离氨基酸总量的均值分别为 56.07%、10.61%和 4.36%。而 Cys 和 Met 是湄潭翠芽中含量最少的两种游离氨基酸。

不同湄潭翠芽中 18 种游离氨基酸含量的变异系数在 15.45%~134.31%,均值为 44.04%。其中 Gly、Thea、Glu、Asp、Ser、Thr、His 及 Ala 等 8 种氨基酸其变异系数在 15.48%~29.23%,属于中度变异;而余下的 10 种氨基酸在不同茶样间的变异系数在 41.20%~134.31%,属于高度变异,表明这 10 种氨基酸在不同湄潭翠芽之间的差异更加明显;尤其是 Met,其变异系数达到了 134.31%,为所有氨基酸中最大。

18 种游离氨基酸中含 Lys、Phe、Met、Thr、Val、Ile、Leu 等 7 种 EAAs,His、Arg 等两种 CEAAAs 及 Asp、Ser、Glu、Gly、Ala、Cys、Tyr、Pro、Thea 等 9 种非必需氨基酸 NEAAs。湄潭翠芽中的游离氨基酸以 NEAAs 为主,其含量在 20.95~40.35 mg/g,均值为 27.79 mg/g,占游离氨基酸总量的均值为 60.40%;其次为 CEAAAs,含量在 0.804~7.68 mg/g,均值为 2.68 mg/g,占游离氨基酸总量均值为 5.71%;而 EAA 含量最低,仅占游离氨基酸总量的 4.93%。

表3 不同湄潭翠芽游离氨基酸组成及含量统计  
Table 3 Statistics free amino acids composition and content of different Meitan cuiya

类别	氨基酸	变幅/(mg·g <sup>-1</sup> )	极差/(mg·g <sup>-1</sup> )	均值/(mg·g <sup>-1</sup> )	标准差	CV/%
必需氨基酸 EAAs	Lys	0.216~0.898	0.683	0.472	0.201	42.52
	Phe	0.087~0.938	0.851	0.402	0.262	65.13
	Met	0.006~0.461	0.455	0.066	0.088	134.31
	Thr	0.255~0.647	0.392	0.385	0.09	23.48
	Val	0.037~0.617	0.58	0.275	0.166	60.39
	Ile	0.086~0.472	0.386	0.255	0.105	41.2
	Leu	0.106~0.717	0.611	0.354	0.167	47.12
	合计	1.030~4.159	3.129	2.209	0.956	43.3
半必需氨基酸 CEAAs	His	0.224~0.723	0.499	0.375	0.106	28.28
	Arg	0.554~6.953	6.399	2.307	1.085	47
	合计	0.804~7.676	6.872	2.682	1.178	43.92
非必需氨基酸 NEAAs	Asp	1.081~3.154	2.074	1.996	0.373	18.66
	Ser	0.471~1.213	0.742	0.773	0.172	22.21
	Glu	2.819~7.629	4.81	4.873	0.881	18.08
	Gly	0.158~0.343	0.185	0.224	0.035	15.45
	Ala	0.182~0.755	0.573	0.447	0.131	29.23
	Cys	0.004~0.129	0.125	0.035	0.028	80.23
	Tyr	0.000~0.465	0.465	0.195	0.102	52.13
	Pro	0.102~0.869	0.767	0.308	0.159	51.58
	Theanine	13.701~28.297	14.596	18.937	2.976	15.72
	合计	20.949~40.351	19.401	27.789	3.929	14.14

2.3 不同湄潭翠芽呈味氨基酸分析

根据不同氨基酸的呈味特性，可将检测到的湄潭翠芽中 18 种游离氨基酸分为甜味氨基酸（sweet amino acid, SAA），包含 Thr、Ser、Ala、Met、Cys、Pro 及 Gly 等 7 种，苦味氨基酸（bitter amino acid, BAA），含 Ile、Leu、Val、His、Arg、Lys、Tyr 及 Phe 等 8 种，鲜味氨基酸（umami amino acid, UAA），包括 Asp、Glu、Thea 等 3 种（表 4）。不同湄潭翠芽中，鲜味氨基酸含量在 19.003~37.639 mg/g，占到呈味氨基酸总量的 71.37%~85.46%，表明湄潭翠芽中呈味氨基酸以鲜味氨基酸为主，3 种鲜味氨基酸均值大小为 Thea>Glu>Asp。其次是苦味氨基酸，含量在 2.398~9.771 mg/g，占呈味氨基酸总量的 8.97%~20.07%。甜味氨基酸的含量最低，仅占到呈味氨基酸总量的 5.32%~9.31%，其均值大小为 Ser>Ala>Thr>Pro>Gly>Met>Cys。鲜味氨基酸在不同湄潭翠芽间的变异系数 14.72%，属于低变异，表明茶样间鲜味氨基酸差异不明显；而甜味氨基酸和苦味氨基酸的变异系数分别为 18.80%和 29.38%，均达到中等变异，说明这两类氨基酸在茶样间差异较明显。不同湄潭翠芽呈味氨基酸的组成模式相似（图 1）。33 份茶样中，CY26 的呈味氨基酸含量明显高于其他茶样，而 CY4 呈味雷达图轮廓最靠近内侧，其呈味氨基酸含量最低。

表4 不同湄潭翠芽呈味氨基酸含量统计  
Table 4 Statistics of taste-active amino acids content in different Meitan cuiya

编号	甜味氨基酸 SAA		苦味氨基酸 BAA		鲜味氨基酸 UAA	
	含量/(mg·g <sup>-1</sup> )	占比/%	含量/(mg·g <sup>-1</sup> )	占比/%	含量/(mg·g <sup>-1</sup> )	占比/%
变幅	1.487~3.889	5.32~9.31	2.398~9.771	8.97~20.07	19.003~37.639	71.37~85.46
极差	2.402	3.99	7.373	11.1	18.635	14.09
均值	2.239	6.88	4.636	14.13	25.806	78.98
CV/%	18.08	14.97	29.38	22.22	14.72	4.80

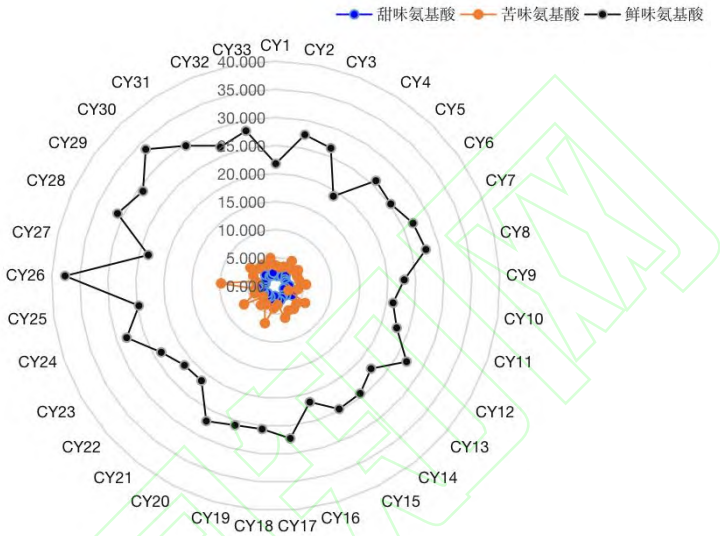


图 1 不同湄潭翠芽呈味氨基酸雷达图  
Fig.1 Radar chart of taste-active amino acids in different Meitan cuiya

2.4 不同湄潭翠芽游离氨基酸滋味活性值（TAV）分析

不同湄潭翠芽中 18 种呈味氨基酸的 TAV 值存在较大差异（表 5）。Thr、Ser、Pro、Gly、Ile、Leu、Val 及 Tyr 等 8 种呈味氨基酸的 TAV 值在所有湄潭翠芽茶样中均小于 1，表明这些氨基酸对湄潭翠芽的滋味没有贡献。Met 和 Phe 的 TAV 值都分别只有 1 份材料大于 1，即 CY12 和 CY4；Ala 的 TAV 值除在 CY12、CY17、CY24、CY26、CY30 等 5 份茶样中大于 1 外，在其余茶样中均小于 1；有 10 份茶样中 Cys 的 TAV 值小于 1；Lys 的 TAV 值在 14 份茶样中大于 1，在 19 份茶样中小于 1。可见，即使同一种呈味氨基酸，在不同的茶样中对滋味的贡献也不尽相同。所有茶样中 TAV 均大于 1 的氨基酸有 His、Arg、Asp、Glu 和 Thea 等 5 种，表明这些呈味氨基酸对所有供试湄潭翠芽的滋味均有贡献。尤其鲜味氨基酸中的 Thea，TAV 均值为 315.61，是湄潭翠芽滋味的主要影响因子。





表7 湄潭翠芽呈味氨基酸与感官滋味评分相关性  
Table 7 Correlation between taste amino acids and sensory taste scores of Meitan cuiya

	TAA	SAA	BAA	UAA	His	Arg	Asp	Glu	Thea
滋味评分	0.599**	0.271	0.143	0.618**	0.589**	0.476**	0.059	0.574**	0.611**

2.6 不同湄潭翠芽游离氨基酸相关性分析

33 份湄潭翠芽茶样中 18 种游离氨基酸之间表现出一定的相关性（图 2）。Cys、Thr、Ile、Tyr、Phe、Pro、Val、Lys、Leu 等氨基酸之间，Gly、Ser、His、Arg、Thea、Glu、Ala 等氨基酸之间均有互为正相关的关系，且相关系数较高。Cys、Thr、Ile、Tyr、Phe、Pro、Val、Lys、Leu 与 Asp、Gly、Ser、His、Arg、Thea、Glu、Ala 等氨基酸之间表现为负相关，尤其两种鲜味氨基酸 Glu、Thea 与 5 种苦味氨基酸 Tyr、Phe、Val、Lys、Leu 等的相关性达到了显著或极显著水平。大多数氨基酸之间的相关系数绝对值大于 0.3，表明相关性较强，可通过主成分分析对湄潭翠芽游离氨基酸进行综合评价。

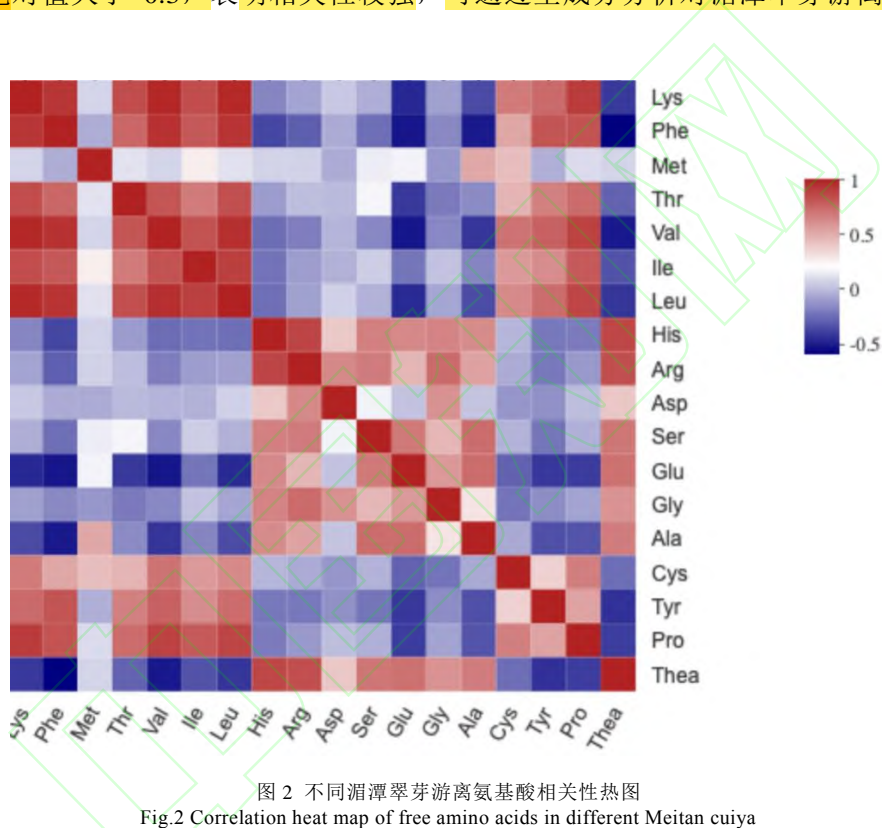


图2 不同湄潭翠芽游离氨基酸相关性热图  
Fig.2 Correlation heat map of free amino acids in different Meitan cuiya

2.7 不同湄潭翠芽游离氨基酸的主成分分析

对 33 份湄潭翠芽的 18 种游离氨基酸进行主成分分析，以特征值大于 1 进行提取。前 3 个主成分的累计方差贡献率已达到 80.428%（表 8），说明这 3 个主成分可代表不同湄潭翠芽游离氨基酸的大部分信息。18 种游离氨基酸在 3 个主成分上的载荷值和影响方向不同（表 9）。第一主成分的方差贡献率为 46.853%，为 3 个主成分中最大值，表明第一主成分对湄潭翠芽的游离氨基酸品质影响最大。Phe、Thr、Val、Ile、Leu、Cys、Tyr、Pro、Lys、Glu、Ala、Thea 等 12 种氨基酸在第一主成分上具有较高的载荷，包含了绝大多数 NEAAs、BAA 和 SAA 的信息；除 Glu、Ala、Thea 等 3 种氨基酸外，其余 9 种氨基酸的载荷值为正值，表明第一主成分值越大时，这些氨基酸的含量越高。第二主成分的方差贡献率为 23.364%，其中具较高载荷且为正相关的氨基酸主要为 His、Arg 等两种 BAA 及 Ser、Gly 等 2 种 SAA。第三主成分的的方差贡献率为 10.211%，主要反映的是 Met 和 Asp 等两种氨基酸的信息。

2.8 不同湄潭翠芽游离氨基酸的综合评价

以上述 3 个主成分对应方差 $F$ 的相对贡献率作为权重，对各主成分得分进行加权求和，由评价函数 $F=0.583F_1+0.291F_2+0.127F_3$  计算出不同湄潭翠芽的游离氨基酸综合得分（表 10）。综合得分为正值表示茶样的游离氨基酸综合质量高于均值，其中 Phe、Thr、Val、Ile、Leu、Cys、Tyr、Pro、Lys、His、Arg、Ser、Gly 及 Met 等 14 种正向氨基酸的含量高于平均值，而 Glu、Ala、Thea 和 Asp 等 4 种负向氨基酸的含量低于平均值，其数值越大，表明与均值差异越大。33 份湄潭翠芽茶样的综合得分在（-2.15）~3.62，其中有 13 份茶样综合评分为正值，表明这 13 份材料的游离氨基酸综合质量高于平均。CY16 的综合得分为 3.62，为所有茶样中最高，其游离氨基酸综合质量最好；而 CY17 的游离氨基酸质量最差，综合评分最低，仅为-2.15。

表8 湄潭翠芽游离氨基酸特征值及贡献率  
Table 8 Eigenvalue of the principal components and cumulative contribution rates about free animo acid in Meitan cuiya

成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	总计	方差百分比	累积/%	总计	方差百分比	累积/%
1	8.434	46.853	46.853	8.434	46.853	46.853
2	4.205	23.364	70.217	4.205	23.364	70.217
3	1.838	10.211	80.428	1.838	10.211	80.428

表9 湄潭翠芽游离氨基酸主成分载荷矩阵及系数  
Table 9 Principal component load matrix and coefficient of free animo acid in Meitan cuiya

游离氨基酸	主成分 1		主成分 2		主成分 3		游离氨基酸	主成分 1		主成分 2		主成分 3	
	载荷	系数	载荷	系数	载荷	系数		载荷	系数	载荷	系数	载荷	系数
Phe	.941	.112	.170	.040	-.135	-.073	Ser	-.382	-.045	.747	.178	.205	.112
Met	.033	.004	.271	.064	.757	.412	Glu	-.694	-.082	.425	.101	.242	.132
Thr	.754	.089	.412	.098	.058	.032	Gly	-.394	-.047	.632	.150	-.456	-.248
Val	.943	.112	.290	.069	-.034	-.019	Ala	-.585	-.069	.508	.121	.541	.295
Ile	.778	.092	.420	.100	.127	.069	Cys	.616	.073	.325	.077	.396	.215
Leu	.902	.107	.387	.092	-.053	-.029	Tyr	.764	.091	.149	.035	-.096	-.052
His	-.540	-.064	.724	.172	-.083	-.045	Pro	.833	.099	.353	.084	.001	.000
Arg	-.457	-.054	.796	.189	-.248	-.135	Thea	-.731	-.087	.592	.141	-.045	-.025
Asp	-.183	-.022	.452	.108	-.618	-.336	Lys	.906	.107	.399	.095	-.058	-.031

表10 湄潭翠芽游离氨基酸主成分因子得分及综合评分  
Table 10 Principal component scores and comprehensive assessment of free animo acid in Meitan cuiya

茶样	综合得分 F	排名	茶样	综合得分 F	排名	茶样	综合得分 F	排名	茶样	综合得分 F	排名
CY1	1.11	9	CY10	1.04	10	CY18	-0.90	19	CY26	-0.06	14
CY2	-2.09	32	CY11	-1.47	24	CY19	3.46	2	CY27	-0.68	17
CY3	-1.76	30	CY12	3.20	3	CY20	-1.33	23	CY28	-1.59	27
CY4	2.79	4	CY13	2.41	5	CY21	0.95	11	CY29	-2.04	31
CY5	-0.36	15	CY14	0.78	12	CY22	-0.82	18	CY30	-1.74	29
CY6	0.17	13	CY15	1.16	8	CY23	2.31	7	CY31	-1.48	25
CY7	-1.09	21	CY16	3.62	1	CY24	-1.25	22	CY32	-1.51	26
CY8	-1.60	28	CY17	-2.15	33	CY25	-0.41	16	CY33	-1.02	20

2.9 不同湄潭翠芽的聚类分析

将湄潭翠芽 18 种游离氨基酸数据标准化后，采用 Ward 法、区间选择欧式距离进行聚类分析。

结果显示在欧式距离 8.0 处可将 33 份茶样分类 3 类（图 3）。第 I 类包含 CY2、CY3、CY5、CY7、CY8、CY11、CY17、CY18、CY20、CY22、CY24、CY25、CY27、CY28、CY29、CY30、CY31、CY32、CY33 等 19 份，其游离氨基酸综合值为  $(-0.36) \sim (-2.15)$ ，均低于平均值；第 II 类为 CY26，F 值为 -0.06；第 III 类由 CY1、CY4、CY6、CY9、CY10、CY12、CY13、CY14、CY15、CY16、CY19、CY21 及 CY23 等 13 份茶样组成，游离氨基酸综合值 F 在  $0.17 \sim 3.62$ ，均大于平均值。

3 个类别在游离氨基酸总量的均值上表现为第 II 类 > 第 I 类 > 第 III 类；结合主成分分析结果可知第 II 类茶样中游离氨基酸的含量贡献主要是来自处于次要地位的第二主成分上的氨基酸，而第 III 类茶样中游离氨基酸含量主要来自处于主成分 1 上的关键氨基酸。在游离氨基酸的营养价值上，第 III 类材料具有最高的 EAA 含量，而 CEAA 和 NEAA 的含量较低；第 II 类茶样 CEAA 含量极显著高于其他两类。3 个类别在呈味氨基酸的含量上表现也有差异。第 II 类的 BAA 和 UAA 含量是所有茶样中最高值；其 SAA 含量也高于第 I 类材料，仅低于第 III 类材料中的 CY12。第 I 类材料 SAA 和 BAA 含量均最低。

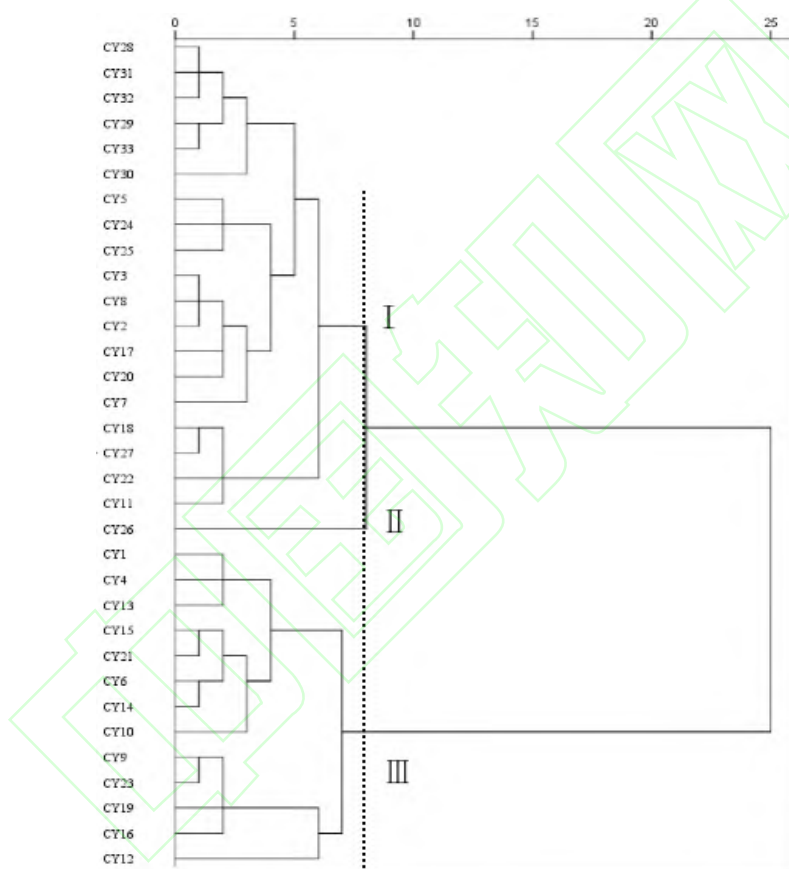


图 3 不同湄潭翠芽的聚类图  
Fig.3 Cluster analysis of different Meitan cuiya

### 3 讨论与结论

游离氨基酸是决定茶叶品质的重要因素，其含量和组成影响着茶叶滋味和香气<sup>[15]</sup>，对茶叶新鲜度和醇厚度也有贡献<sup>[16]</sup>。本研究中，湄潭翠芽游离氨基酸均值为  $45.923 \text{ mg/g}$ ，与桂安辉等<sup>[2]</sup>、郭建军等<sup>[17]</sup>所测湄潭翠芽游离氨基酸含量有差异，其原因可能是茶青原料及加工参数不同所致。据报道，贵州绿茶游离氨基酸平均含量为  $5.61\%$ ，有  $75.89\%$  的茶样氨基酸含量在  $4\% \sim 6\%$ <sup>[18]</sup>。本研究中有 30 份（占比  $90.91\%$ ）的湄潭翠芽游离氨基酸总量大于  $40 \text{ mg/g}$ ，表明湄潭翠芽属于贵州绿茶中高氨基酸型茶叶产品<sup>[19]</sup>。

湄潭翠芽中 NEAAs 含量最高，其次为 CEAA，EAAs 含量最低。尽管 Thea 不属于是 EAAs，但

其具有保护神经细胞、提高认知能力,调节情绪、安神助眠等功能<sup>[20]</sup>,是一种重要的功能性氨基酸。湄潭翠芽中含量较高且同属 NEAAs 的 Glu 是重要的神经递质<sup>[21]</sup>,Asp 能减少血液中的氮和二氧化碳含量,消除疲劳<sup>[22]</sup>。可见湄潭翠芽除可为人体提供少量 EAAs 外,其游离氨基酸的营养价值主要是通过以 Thea、Glu、Asp 等为代表的 NEAAs 来实现。

本研究中检测到湄潭翠芽中 18 种游离氨基酸均为呈味氨基酸,且以鲜味氨基酸为主,占到总氨基酸含量的 71.37%~85.46%,其次为苦味氨基酸,甜味氨基酸的含量最低,这与其他绿茶<sup>[6,10-12]</sup>中的研究结果相似。同时各氨基酸之间还表现出一定正相关或负相关,说明各呈味氨基酸除直接表现其滋味属性外,亦可通过氨基酸之间的相互协同或抵消来影响滋味。

绿茶茶汤中氨基酸含量与滋味的鲜、醇、甘爽等特征密切相关,尤其对鲜度的影响大<sup>[23]</sup>。谷氨酸被认为是茶滋味的主要贡献者<sup>[11,24]</sup>,其浓度与鲜味呈线性关系<sup>[25]</sup>。茶氨酸、琥珀酸、没食子酸等通常是作为鲜味物质的增强剂<sup>[24]</sup>。按呈味氨基酸 TAV 值>1 的标准进行判断,湄潭翠芽中对滋味贡献最大的氨基酸主要来自于鲜味氨基酸中的 Thea、Glu、Asp 及苦味氨基酸中的 His 和 Arg。突出的鲜味氨基酸为湄潭翠芽带来了极高的“鲜”度,而 His、Arg 等苦味氨基酸与咖啡碱、茶多酚等协同作用产生生津“爽”口的感觉,从而构成了湄潭翠芽鲜爽、鲜醇的滋味特征。本研究中感官审评结果也显示滋味评分与游离氨基酸总量、Thea、Glu、His、Arg 等有显著正相关关系。

主成分分析通过降维,将相互关联的多个指标简化为少数几个综合指标(主成分),能更好地反应原始变量的信息,被广泛运用于食品中游离氨基酸组分分析<sup>[4,6]</sup>中。湄潭翠芽 18 个游离氨基酸指标中提取出了 3 个主成分,其中主成分 1 的方差贡献率最大,主要代表的是 EAAs 和 NEAAs 中的 12 种氨基酸。依据主成分分析获得的 33 份湄潭翠芽游离氨基酸综合品质高低为 CY16>CY19>CY12>CY4>CY13>CY9>CY23>CY15>CY1>CY10>CY21>CY14>CY6>CY26>CY5>CY25>CY27>CY22>CY18>CY33>CY7>CY24>CY20>CY11>CY31>CY32>CY28>CY8>CY30>CY3>CY29>CY2>CY17。同时聚类分析将 33 份茶样聚为了 3 类,其中第 I 类和第 II 类游离氨基酸综合值均低于平均值,而第 III 类高于均值,与主成分分析结果基本一致。

## 参考文献

- [1] 罗冬兰, 黎晓燕, 曹森, 等. 贵州不同种类茶叶的几种抗氧化成分及其抗氧化能力分析[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(17): 35-41. LUO D L, LI X Y, CAO S, et al. Comparison on several antioxidant components and activity for different kinds of Guizhou tea[J]. Food Research and Development, 2019, 40(17): 35-41.
- [2] 桂安辉, 高士伟, 叶飞, 等. 不同产地扁形绿茶的品质成分差异分析[J]. 食品工业科技, 2020, 41(20): 218-223; 229. GUI A H, GAO S W, YE F et al. Differential analysis of quality components of flat green tea from different producing areas[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(20): 218-223; 229.
- [3] 李学贤, 张雪, 童灵, 等. 游离氨基酸改善作物风味品质综述[J]. 中国农业大学学报, 2022, 27(4): 73-81. LI X X, ZHANG X, TONG L, et al. Summary of free amino acids to improve crop flavor quality[J]. Journal of China Agricultural University, 2022, 27(4): 73-81.
- [4] 陈守一, 罗昌国, 王红林, 等. 贵州晚熟李的氨基酸组成及营养价值评价[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(24): 34-40. CHEN S Y, LUO C G, WANG H L, et al. Amino acid composition and nutritional value evaluation of late mature plums in Guizhou[J]. Food Research and Development, 2021, 42(24): 34-40.
- [5] 卢冉, 王炳智, 田英姿. 不同品种杏仁氨基酸组成分析及综合评价[J]. 食品科学, 2021, 42(24): 229-235. LU R, WANG B Z, TIAN Y Z. Analysis and comprehensive evaluation of amino acid compositions of apricot seed kernels from different cultivars[J]. Food Science, 2021, 42(24): 229-235.
- [6] 陈思彤, 赵峰, 王淑燕, 等. 基于 AQC 衍生和液质联用的茶叶游离氨基酸分析[J]. 南方农业学报, 2019, 50(10): 2278-2285. CHEN S T, ZHAO F, WANG S Y, et al. Analysis of free amino acids in tea based on AQC derivation with liquid chromatography-mass spectrometry[J]. Journal of Southern Agriculture, 2019, 50(10): 2278-2285.
- [7] 陈勤操. 代谢组学联合蛋白组学解析白茶的品质形成机理[D]. 武汉: 华中农业大学, 2019. CHEN Q C. Study on formation mechanism of white tea characteristics based on metabolomics and proteomics analysis[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2019.
- [8] 陈雯雯, 张君岱, 宋莹, 等. 青砖茶与其他几种代表性黑茶品质比较分析[J]. 茶叶通讯, 2020, 47(2): 308-312. CHEN W W, ZHANG J D, SONG Y, et al. Comparative analysis on the quality of Qing brick tea and other representative dark teas[J]. Tea Communication, 2020, 47(2): 308-312.
- [9] 银霞, 张曙光, 黄静, 等. 湖南红茶特征滋味化学成分研究[J]. 茶叶科学, 2019, 39(2): 150-158. YIN X, HANG S G, HUANG J, et al. Study on the chemical constituents of Hunan black tea[J]. Journal of Tea Science, 2019, 39(2): 150-158.



- [10] 刘东娜, 郑晓娟, 卿钰, 等. 蒙顶山茶游离氨基酸总量及组分的测定分析[J]. 四川农业大学学报, 2012, 30(2): 190-194; 209.  
LIU D N, ZHENG X J, QIN Y, et al. Analysis of free amino acid content and its components in various Mengding tea[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2012, 30(2): 190-194; 209.
- [11] 艾仄宜, 穆兵, 李松, 等. 不同茶树品种雨花茶适制性评价及其呈味特征研究[J]. 中国农学通报, 2021, 37(13): 115-121.  
AI Z Y, MU B, LI S, et al. Suitability evaluation and taste characteristics of Yuhua tea processed by different tea varieties[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2021, 37(13): 115-121.
- [12] 崔继来, 周洁, 周倩倩, 等. 信阳毛尖茶品质成分分析[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 2022, 35(2): 259-268.  
CUI J L, ZHOU J, ZHOU Q Q, et al. The quality compounds analysis of Xinyang Maojian tea[J]. Journal of Xinyang Normal University, 2022, 35(2): 259-268.
- [13] YU Z M, YANG Z Y. Understanding different regulatory mechanisms of proteinaceous and non-proteinaceous amino acid formation in tea (*Camellia sinensis*) provides new insights into the safe and effective alteration of tea flavor and function[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2020, 60(5): 844-858.
- [14] KATO H. Role of free amino acids and peptides in food taste[M]. Flavor Chemistry. Washington, DC: American Chemical Society, 1989: 158-174.
- [15] 祁丹丹. 基于代谢组学的绿茶滋味的研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2016.  
QI D D, Study of the taste quality of green tea based on metabolomics analysis[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2016.
- [16] WANG K, RUAN J. Analysis of chemical components in green tea in relation with perceived quality, a case study with Longjing teas[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2009, 44: 913-920.
- [17] 郭建军, 周艺, 王小英, 等. 贵州不同产区代表绿茶的品质特征及香气组分分析[J]. 食品工业科技, 2021, 42(5): 78-84; 92.  
GUO J J, ZHOU Y, WANG X Y, et al. Analysis of quality features and aroma components in Guizhou representative green tea[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(5): 78-84; 92.
- [18] 李俊, 蔡滔, 周雪丽, 等. 贵州绿茶品质分析研究[J]. 中国茶叶, 2017(7): 22-26.  
LI J, CAI T, ZHOU X M, et al. Study on the quality of green tea in Guizhou[J]. China Tea, 2017(7): 22-26.
- [19] 赵华富, 周顺珍, 王家伦, 等. 贵州绿茶品质状况综合评价[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(1): 172-175. ZHAO H F, ZHOU S Z, WANG J L, et al. Comprehensive evaluation on the quality conditions of Guizhou green tea[J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2021, 49(1): 172-175.
- [20] DUYGU T, NEVIN S. L-theanine, unique amino acid of tea, and its metabolism, health effects, and safety[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2017, 57(8): 1 681-1 687.
- [21] OLEA F. Up-regulation and localization of asparagine synthetase in tomato leaves infected by the bacterial pathogen *Pseudomonas syringae*[J]. Plant and Cell Physiology, 2004, 45(6): 770-780.
- [22] ZHAO J. Induction of *Arabidopsis* tryptophan pathway enzymes and camalexin by amino acid starvation, oxidative stress, and an abiotic elicitor[J]. The Plant Cell, 1998, 10(3): 359-370.
- [23] 陈美丽, 唐德松, 张颖彬, 等. GC-MS 结合化学计量学对茶叶品质的判别研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2013, 39(1): 84-91.  
CHEN M L, TANG D S, ZHANG Y B, et al. Study on the tea quality evaluation using GC-MS coupling chemometrics[J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Sciences), 2013, 39(1): 84-91.
- [24] KANEKO S, KUMAZAWA K, MASUDA H, et al. Molecular and sensory studies on the umami taste of Japanese green tea[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2006, 54(7): 2 688-2 694.
- [25] 刘盼盼, 邓余良, 尹军峰, 等. 绿茶滋味量化及其与化学组分的相关性研究[J]. 中国食品学报, 2014, 14(12): 173-181.  
LIU P P, DENG Y L, YIN J F, et al. Quantitative analysis of the taste and its correlation research of chemical constituents of green tea[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2014, 14(12): 173-181.