

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240702001

茶叶酸味特性研究进展

陈泉宾*

(福建省农业科学院茶叶研究所, 福州 350013)

摘要: 茶叶品质是其外形与内质的综合体现, 滋味是茶叶内质中的主要品质因子之一。有机酸作为茶叶中重要的呈味物质, 约占茶叶干物质总量的 3%, 是一些水解和氧化反应过程中碳氢化合物分解的中间产物, 其不同组分的含量差异及与其他滋味物质又存在互作关系, 直接影响茶叶的口感特性, 是影响茶叶品质主要因素之一。本文总结不同茶树品种鲜叶自身有机酸差异, 加工工艺、贮藏过程对茶叶有机酸含量及组分的影响, 重点介绍高效液相色谱法在茶叶有机酸检测中的应用; 提出今后的研究方向, 在乌龙茶烘焙过程中茶叶酸味与有机酸相关性、不同火功乌龙茶贮藏过程有机酸的变化及有机酸代谢通路等开展研究, 丰富茶叶有机酸的内容, 从代谢水平深入探讨, 阐明变化机理。为从业者开展茶叶产品质量控制及提升提供参考。

关键词: 茶叶; 酸味物质; 有机酸; 影响因素; 检测方法

Research progress on the sour taste characteristics of tea

CHEN Quan-Bin*

(Tea Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, China)

ABSTRACT: Tea quality is the comprehensive embodiment of its appearance and internal quality and taste is one of the main quality factors in tea internal quality. As an important flavor substance in tea, organic acid accounts for about 3% of the total dry matter of tea. It is an intermediate product of hydrocarbon decomposition in the process of hydrolysis and oxidation. The content difference of different components and the interaction with other flavor substances directly affect the taste characteristics of tea, which is one of the main factors affecting the quality of tea. This paper summarized the differences of organic acids in fresh leaves of different tea varieties, the effects of processing technology and storage process on the content and components of organic acids in tea leaves, and focused on the application of high performance liquid chromatography in the detection of organic acids in tea leaves. Put forward the future research direction. The correlation between tea sourness and organic acids during the baking process of Oolong tea, the changes of organic acids during the storage of Oolong tea with different fire powers and the metabolic pathways of organic acids were studied to enrich the content of organic acids in tea, and the mechanism of change was clarified from the metabolic level, so as to provided reference for practitioners to carry out quality control and improvement of tea products.

KEY WORDS: tea; sour taste substances; organic acids; influencing factors; detection method

基金项目: 福建省属公益类科研院所基本科研专项(2021R1029004)

Fund: Supported by the Basic scientific Research Projects of Public Welfare Research Institutes in Fujian Province (2021R1029004)

*通信作者: 陈泉宾, 高级农艺师, 主要研究方向为茶叶加工工程技术研究。E-mail: teacqb2004@163.com

*Corresponding author: CHEN Quan-Bin, Senior Agronomist, Tea Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, No.104, Pudan Road, Jinan District, Fuzhou 350013, China. E-mail: teacqb2004@163.com

0 引言

茶是全世界非常受欢迎的饮料之一, 茶叶品质是其外形与内质的综合体现^[1]。滋味是茶叶品质内质中的主要品质因子之一, 主要有涩味的茶多酚、芦丁、黄酮类, 苦味的咖啡碱和花青素, 鲜味的氨基酸、甜味的可溶性糖、酸味的可溶性酸、陈味的游离脂肪酸等^[2-3]。上述鲜爽味、苦味、涩味、甜味、酸味物质间存在复杂的相互作用, 影响茶叶滋味品质^[4-9]。有机酸作为茶叶酸味产生的物质基础, 一般仅占茶叶干重 3%, 作为一些水解和氧化反应过程中碳氢化合物分解的中间产物, 与其他滋味物质又存在互作关系, 从而影响茶叶的滋味品质^[10-11]。相比对茶叶涩味、苦味、鲜味及甜味的研究, 目前对酸味物质的研究较少。本文从茶叶中有机酸的组成、影响茶叶酸味的因素、测定方法等研究进展进行阐述, 为从业者开展茶叶产品质量控制及提升提供参考。

1 有机酸组成

喝茶时所感受到的酸味主要来自有机酸。广义上说, 凡含有羧基(—COOH)的有机化合物都可以叫做有机酸, 在研究工作中, 通常可分为挥发性酸、半挥发性酸和非挥发性酸, 因有些有机酸物质已各有归属, 如非挥发性化合物中氨基酸为蛋白质的基本组成而为一类, 抗坏血酸是维生素的一种, 没食子酸和绿原酸划归多酚类, 挥发性化合物如乙酸、丙酸、丁酸及己烯酸等。因此, 茶汤中有机酸物质一般分为两类: 一是二元羧酸和羟基多元羧酸, 如琥珀酸、苹果酸、柠檬酸等; 二是环状结构脂肪酸, 如奎尼酸、莽草酸等^[12], 这些有机酸物质对于茶叶风味的呈现至关重要。茶汤主要有有机酸物质风味特点见表 1。

表 1 茶汤主要有有机酸物质及风味特点
Table 1 Main organic acids and flavor characteristics of tea soup

名称	风味特点
柠檬酸	清爽的酸味, 随着时间的推移, 酸味会逐渐减弱
苹果酸	酸度较大, 但味道柔和, 稍微带有苦涩的味道
酒石酸	类似于葡萄的酸味
乙酸	适量的乙酸像青柠一般的清爽酸味
乳酸	酸味相对柔和, 呈轻微的涩味

2 有机酸影响因素

2.1 鲜叶

有机酸广泛存在于各种生物体细胞中, 对生物体有显著影响。茶叶中的酸味物质小部分是鲜叶所固有的, 茶树品种、生长期不同有机酸总量及组分存在一定差异。对

同一翠峰品种一芽一叶、二叶、三叶、四叶及不同品种龙井 43、鸠坑、黄金桂、云抗 10 号、福鼎 5 个茶树品种进行有机酸检测, 结果表明幼嫩鲜叶中的有机酸含量和种类明显在高于老叶; 大叶种绿茶中的 *L*-抗坏血酸、奎尼酸和草酸的含量明显高于中小叶种, 这可能是在不同时期不同品种所需营养物质的差异性导致^[13]。在茶树生长过程中, 通过根系分泌有机酸, 增强茶树对铝的耐受性, 降低土壤中铝的毒害作用^[14]。丝绵土茶鲜叶中有机酸的相对总量, 随着嫩度的降低呈现先上升再下降的趋势, 宜红早在麻梗二叶含量最高, 其他嫩度差异不明显。丝绵土茶、宜红早、福鼎大白、梅占、台茶 12 号及云南大叶种的绿茎二叶的有机酸含量品种间差异显著^[15]。‘中茶 108’‘中茶 302’‘中黄 1 号’‘龙井 43’‘中茗 7 号’‘鸠坑’和‘福鼎大毫茶’品种鲜叶按相同采摘标准、相同工艺制成的白茶, 各品种间有机酸的含量差异极显著, 白茶的有机酸组成特征与茶树品种有关^[16]。

2.2 加工工艺

不同加工工艺所制得茶类的有机酸含量和种类不同。在红茶加工过程, 经过萎凋、揉捻、发酵等工序后, 草酸、柠檬酸、琥珀酸、苹果酸等有机酸含量呈急剧增加趋势, 从鲜叶的 1.44% 增加到揉捻叶的 1.72%, 到干燥时含量有所降低; 在此过程中, 产生了大量的挥发性物质, 如醛、酮类物质, 参与了红茶香气的形成与转化^[17]。在白茶加工过程中, 有机酸组分含量呈递增趋势的有柠檬酸、没食子酸、草酸、咖啡酸、肉桂酸、乙酸等, 呈递减趋势的有绿原酸、对香豆酸, 而苯甲酸、水杨酸、阿魏酸、富马酸、抗坏血酸含量差异无明显变化规律^[18]。在紧压茶加工过程中, 不同产地变化相同, 发酵时间越长, 有机酸含量越小^[19]。在黑茶加工过程中, 茶样经渥堆后有机酸含量升高, “发花”过程中含量进一步上升, 干燥成品后的含量显著降低; 但也有研究与此相反, 黑茶“发花”后有机酸总含量下降, 其中苹果酸呈相同趋势, 琥珀酸含量则明显升高, 是发酵前的 8.42 倍^[20-22]。

同一茶类因产地原料品种、加工工艺等因素影响, 有机酸含量及组成也存在差异。对锡兰红茶、宁红、滇红、英红、祁红及石门红茶 6 个不同产地红茶样品进行测定, 结果表明不同产地共检出 11 种有机酸, 以草酸、乙酸为主要有机酸, 有机酸总量以云南凤庆滇红茶含量最高, 锡兰红茶最低, 各组分间以乳酸、乙酸含量相对差异较大, 其次为草酸和琥珀酸^[21]。对不同产地黑茶检测表明, 同一类别黑茶有机酸总量存在一定差异, 变异最大的是青砖, 最小的是普洱茶; 不同类别黑茶有机酸含量最高的是普洱茶, 最低的是六堡茶, 大部分含量在 2%~3%^[23]。对湖南、湖北、四川、云南产区共 55 个黑茶样本检测分析表明, 不同有机酸组分平均值中, 草酸为云南熟普最高, 奎尼酸为

湖南茯砖最高,琥珀酸为四川康砖最高,各地区黑茶的柠檬酸平均含量无显著差异^[24]。

不同茶类有机酸含量及种类存在差异。刘盼盼等^[13]对红茶、乌龙茶、绿茶、普洱茶检测表明,红茶中草酸和奎宁酸的含量明显高于绿茶,发酵程度越重,有机酸含量越高。施丽娟^[25]分析云南大叶种茶中绿茶、红茶、生普、熟普 4 类有机酸组分,结果表明,影响有机酸总量变化的主要成分是奎宁酸、苹果酸及柠檬酸。在 4 类茶叶中,红茶中有机酸含量最高,普洱熟茶中酒石酸及草酸则含量最高,其中酒石酸、琥珀酸、莽草酸等可用于区分 4 类茶叶的系列化学标志物。

2.3 贮藏

在贮藏过程中,水分、温度、氧气等外界因素的差异会影响白茶、黑茶、乌龙茶的生化成分和感官品质^[26-31]。贮藏过程对茶叶中有机酸的含量及组成发生影响,福鼎白茶随贮藏年份的增加,有机酸呈现极显著下降趋势;政和白茶总体呈下降趋势;白茶有机酸各组分中,乙酸含量最高,其次是琥珀酸,富马酸最少^[32]。不同年份(1、5、10 年)青砖茶中,贮藏 5 年的青砖有机酸总量、草酸、奎宁酸、 α -酮戊二酸、乳酸、乙酸、柠檬酸、富马酸和没食子酸含量最高,苹果酸含量最低;酒石酸在 3 个年份中均未检出^[33]。黑毛茶存放过程,二级黑毛茶的酒石酸、乙酸、柠檬酸高于三级黑毛茶,苹果酸则明显低于三级黑毛茶;存放一年半后,二级黑毛茶中草酸含量降低幅度大于三级黑毛茶,柠檬酸含量则相反,乙酸、琥珀酸含量增加明显^[34]。存放 6 年的祁门一级红茶感官审评表明,香气、滋味显酸,口感品质明显不佳,有机酸检测表明,仅检测到的草酸、酒石酸、苹果酸、乙酸及柠檬酸 5 种,总量达 4.37%,超过了茶叶中有机酸含量 3% 水平^[35]。对当年新茶铁观音、存放 6、9、13、18、25、30 年的陈茶铁观音中 *L*-苹果酸、柠檬酸、*DL*-酒石酸、琥珀酸、抗坏血酸、富马酸、乙酸、甲酸、草酸、乳酸等 10 种有机酸检测表明,陈化过程中乌龙茶铁观音有机酸总量第 6 年最高,呈现“先升后降,再逐渐平稳”的趋势,乳酸、琥珀酸是主要有机酸组分,*DL*-酒石酸和富马酸含量极少,抗坏血酸均未检出;琥珀酸滋味活力值(taste activity value, TAV)始终高于 1,是铁观音陈化过程主要呈酸物质^[36]。

相同贮藏年限不同茶类,甚至同一茶类不同产品有机酸含量及组分存在较大差异。在 5 年、10 年陈茶中,工夫红茶、白牡丹和贡眉中奎宁酸含量最高,乌龙茶中苹果酸含量最高,马来酸含量最低;在乌龙茶中,5 年陈茶老枞水仙、大红袍苹果酸含量最高,金佛岩茶为酒石酸含量最高,乌龙茶的草酸含量低于红茶、白茶;白茶中牡丹的草酸含量略低贡眉,其余 5 种有机酸含量均高于贡眉,其中马来酸、奎宁酸和酒石酸的含量差异达极显著水平^[37]。

2.4 有机酸对茶叶滋味品质的影响

茶叶有机酸的含量及组分与其他物质互作影响滋味品质,对不同茶类的滋味的影响结果不同。在绿茶中,有机酸总量和草酸、苹果酸、乳酸和琥珀酸在名优绿茶与大宗绿茶中差异显著,名优绿茶的有机酸总量明显高于大宗绿茶,随着绿茶品质的下降,没食子酸、抗坏血酸、乳酸、柠檬酸、琥珀酸的含量亦下降;进一步对绿茶滋味与化学成分的相关性研究表明,茶汤中琥珀酸、乳酸、没食子酸与鲜味呈显著性正相关,没食子酸和抗坏血酸与甜味呈显著性正相关,草酸则是与苦味呈显著性正相关^[38]。绿茶茶汤发酵后有机酸总酸量升高,也有研究表明,在绿茶茶汤发酵过程中,乳酸含量升高,苹果酸含量则下降,这一过程增加了茶汤的鲜爽度^[39]。以白茶不同花色品种、不同年份样品作为研究对象,采用感官定量描述、线性尺度对茶汤滋味强度进行评定,将滋味属性得分与有机酸及其组分含量进行相关分析,结果表明,有机酸总量与茶汤的鲜味、甜味强度显著相关,苹果酸、乙酸、琥珀酸和富马酸与茶汤鲜味度达到显著正相关,琥珀酸、富马酸和有机酸总量对白茶茶汤的甜度影响较大^[32]。在红茶中,乳酸、乙酸、有机酸总量与甜、酸、苦、鲜、涩 5 个滋味属均有一定程度相关性,其中乳酸、乙酸与酸味都呈正相关^[40]。在普洱茶中,酒石酸、柠檬酸、有机酸总量均与其滋味得分呈显著性负相关^[41]。

3 有机酸的检测方法

茶叶中有机酸检测分析的方法主要有滴定法^[42-43]、毛细管电泳法^[44-45]、离子色谱法^[46-47]、原子吸收法^[10-11]、气相色谱法^[48]、高效液相色谱法^[49-51]等,不同方法各有其优缺点。高效液相色谱法具有准确、稳定以及重复性好的特点。近年来丁玲等^[52]、陆敏等^[53]、袁玲等^[54]、何水平等^[55]、王丽丽等^[56]采用此方法检测紧压茶、绿茶、白茶、红茶等各类茶叶中有机酸,对影响茶叶有机酸分离的主要因素进行了研究,实验考察了检测波长、流动相、柱温和流速对有机酸分离效果的影响,结果表明,该方法适用于各类茶叶中有机酸的分离、鉴定与含量测定。

丁玲等^[52]建立紧压茶中 10 种有机酸的检测方法,该方法回收率达到 92.5%~101.3%,相对标准差 0.62%~2.73%,各种有机酸浓度与高效液相色谱仪峰面积的线性相关系数大于 0.94,具有较高的准确度和精确度。各有机酸组分含量分别为草酸 6.79 mg/g、 α -酮戊二酸 2.99 mg/g、*D*-苹果酸 4.62 mg/g、*L*-苹果酸 8.57 mg/g、乳酸 7.65 mg/g、乙酸 10.78 mg/g、柠檬酸 5.02 mg/g、琥珀酸 1.64 mg/g、丙酮酸 0.29 mg/g、抗坏血酸 2.90 mg/g。陆敏等^[53]建立毛尖绿茶中 7 种有机酸的检测方法,回收率在 95.6%~102.5%之间,具有良好的精密性、稳定性和较高的回收率。各有机酸的

含量为草酸 5.1 mg/g、苹果酸 4.1 mg/g、抗坏血酸 4.2 mg/g、乳酸 6.4 mg/g、柠檬酸 6.8 mg/g。袁玲等^[54]建立茯砖茶样品中 11 种有机酸的检测方法, 该方法回收率达 90.12%~105.74%, 相对标准偏差小于 1.80%, 线性相关系数大于 0.998, 具有较高的准确度和精密性。各有机酸组分及含量分别为草酸 7.50 mg/g、酒石酸 0.29 mg/g、丙酮酸 1.07 mg/g、苹果酸 0.25 mg/g、抗坏血酸 0.25 mg/g、 α -酮戊二酸 0.30 mg/g、乳酸 11.94 mg/g、乙酸 29.05 mg/g、柠檬酸 2.12 mg/g、富马酸 0.03 mg/g、琥珀酸 1.34 mg/g。何水平等^[55]建立白茶中草酸、苹果酸、抗坏血酸、乳酸、乙酸、柠檬酸、琥珀酸、富马酸等 8 种有机酸的检测方法, 回收率达到 91.63%~103.34%, 相对标准差为 0.45%~2.34%, 线性相关系数大于 0.9997。对白毫银针、白牡丹、寿眉样品进行有机酸含量测定, 结果表明, 乙酸是主要有机酸, 分别占不同产品总量的 32.8%、46.5%、42.5%。白毫银针、白牡丹、寿眉有机酸的总量、乳酸、乙酸、柠檬酸、琥珀酸、富马酸随着鲜叶等级的降低而呈下降趋势, 苹果酸的含量则随着等级的降低而有所增加。王丽丽等^[56]建立茶叶中草酸、D/L-酒石酸、甲酸、L-苹果酸、抗坏血酸、乳酸、乙酸、柠檬酸、琥珀酸、富马酸等 10 种有机酸的检测方法, 回收率为 97%~116%, 相对标准偏差小于 1%, 相关系数均在 0.9995 以上, 该方法的线性关系、精密性和重复性良好。对各茶样检测表明, 有机酸总量最高是红茶, 白茶次之, 乌龙茶的有机酸含量最低。刘文静等^[37]建立茶叶中草酸、酒石酸、苹果酸、柠檬酸、鸡纳酸、乙酸、乳酸、马来酸、琥珀酸、奎尼酸检测方法, 平均回收率为 90.0%~96.5%, 相对标准偏差小于等于 2.1%, 相关系数均在 0.9990 以上。对各陈茶样品检测表明, 乙酸、乳酸、柠檬酸、琥珀酸 4 种均未检出, 马来酸含量均最低。此外, YU 等^[57]利用超高效液相色谱-质谱联用技术建立了奎宁酸、柠檬酸、苹果酸、没食子酸 4 个有机酸的定量方法, 并应用于红茶样本中有机酸的检测, 揭示了红茶生产过程中有机酸的动态变化。施丽娟^[25]基于液相色谱-串联质谱法定量分析技术, 针对 17 个有机酸类成分, 开发了一种高灵敏度、高特异性的靶向定量分析方法。并将该方法应用于绿茶、红茶、生普、熟普 4 类云南大叶种茶中有机酸类成分的分析。

4 结束语

滋味是茶叶品质内质中的主要品质因子, 主要有涩味、苦味、鲜味、甜味、酸味, 各种滋味物质相互作用, 影响茶叶滋味品质。有机酸作为茶叶酸味产生的物质基础, 与其他滋味物质存在互作关系, 同时又作为一些水解和氧化反应过程中碳氢化合物分解的中间产物, 影响茶的风味品质。相比对茶叶涩味、苦味、鲜味及甜味的研究, 对酸味物质的研究较少。目前, 国内外对茶叶有机酸的研究主要侧重于红茶、黑茶、白茶初制加工、贮藏过程的有机酸

酸种类及含量的变化; 在测定方法上, 目前主要采用高效液相色谱法测定有机酸。有关有机酸与茶叶品质的相关性鲜有系统研究, 在茶叶精制烘焙对有机酸的影响尚未见相关报道。

第一, 精制烘焙是茶叶加工过程中的一道重要工序, 尤其是乌龙茶, 如武夷岩茶通过烘焙, 分为轻火、中火、足火。在茶叶烘焙中茶汤滋味和香气易出现酸味, 有机酸的代谢与这种酸味现象是否具有相关性值得进一步探究。第二, 近年来, 白茶市场上掀起了一股“老白茶热”, 乌龙茶也提出陈年乌龙茶, 不同火功的乌龙茶贮藏过程有机酸种类、含量及代谢产物变化值得研究, 这对进一步探明乌龙茶的贮存与保健具有重要意义。第三, 有机酸作为一些水解和氧化反应过程中碳氢化合物分解的中间产物, 这些代谢产物与茶叶品质的相关性开展系统研究, 从代谢水平深入探讨, 从而阐明变化机制。

参考文献

- [1] 刘奇, 欧阳建, 刘昌伟, 等. 茶叶品质评价技术研究进展[J]. 茶叶科学, 2022, 42(3): 316-330.
LU Q, OU YJ, LUI CW, *et al.* Research progress of tea quality evaluation technology [J]. Tea Sci, 2022, 42(3): 474-483.
- [2] 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 Res Dev, 2022, 43(11): 189-197.
- [3] 岳翠男, 王治会, 毛世红, 等. 茶叶主要滋味物质研究进展[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(1): 219-224.
YUE CN, WANG ZH, MAO SH, *et al.* The main taste substances in tea research progress [J]. Food Res Dev, 2017, 38(1): 219-224.
- [4] 杨悦, 华再欣, 张海伟, 等. 定量描述分析在茶汤滋味评定中的应用[J]. 食品质量安全检测学报, 2015, 6(5): 1619-1625.
YANG Y, HUA ZX, ZHANG HW. Application of quantitative descriptive analysis (QDA) method in sensory evaluation of tea infusion taste [J]. J Food Saf Qual, 2015, 6(5): 1619-1625.
- [5] 李琴, 冉乾松, 刘忠英. 茶汤滋味物质滋味表征研究进展[J]. 农业与技术, 2022, 42(12): 22-25.
LI Q, RAN QS, LIU ZY. Research progress on taste characterization of tea soup taste substances [J]. Agric Technol, 2022, 42(12): 22-25.
- [6] 刘忠英, 杨婷, 戴宇樵, 等. 基于分子感官科学的茶叶滋味研究进展[J]. 食品工业科技, 2021, 42(4): 337-343, 355.
LIU ZY, YANG T, DAI YQ, *et al.* Research progress of tea taste based on molecular sensory science [J]. Sci Technol Food Ind, 2021, 42(4): 337-343, 355.
- [7] XU YQ, ZHANG YN, CHEN JX, *et al.* Quantitative analyses of the bitterness and astringency of catechins from green tea [J]. Food Chem, 2018, 258: 16-24.
- [8] 郭颖, 陈琦, 黄峻榕, 等. 茶叶滋味与其品质成分的关系[J]. 茶叶通讯, 2015, (3): 13-15.
GUO Y, CHEN Q, HUANG JR, *et al.* The tea flavor quality and its ingredients [J]. J Tea Commun, 2015, (3): 13-15.
- [9] 程焕, 贺玮, 赵镭, 等. 红茶与绿茶感官品质与其化学组分的相关性[J]. 农业工程学报, 2012, (S1): 375-380.
CHENG H, HE W, ZHAO L, *et al.* Correlation between sensory attributes

- and chemical components of black and green tea [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2012, (S1): 375–380.
- [10] 周宇飞, 徐帅, 杨益欢, 等. 茶叶中有机酸对茶品质的影响及其检测方法研究进展[J]. *食品科技*, 2021, 46(5): 254–259.
ZHOU YF, XU S, YANG YH, *et al.* Research progress on the effect of organic acids on tea quality and their detection methods in tea [J]. *Food Sci Technol*, 2021, 46(5): 254–259.
- [11] 何水平, 郭春芳, 孙云. 茶叶有机酸的研究进展[J]. *亚热带农业研究*, 2015, (1): 63–67.
HE SP, GUO CF, SUN Y. Research progress of organic acids in tea [J]. *Subtropical Agric Res*, 2015, (1): 63–67.
- [12] 谭和平, 叶善蓉, 陈丽, 等. 茶叶中有机酸的测试方法概述[J]. *中国测试技术*, 2008, 34(6): 77–80.
TAN HP, YE SR, CHEN L, *et al.* Determination overview of organic acids in tea [J]. *China Meas Test*, 2008, 34(6): 77–80.
- [13] 刘盼盼, 钟小玉, 许勇泉, 等. 茶叶中有机酸及其浸出特性研究[J]. *茶叶科学*, 2013, 33(5): 405–410.
LIU PP, ZHONG XY, XU YQ, *et al.* Study on organic acids contents in tea leaves and its extracting characteristics [J]. *Tea Sci*, 2013, 33(5): 405–410.
- [14] LI D, SHU Z, YE X, *et al.* Cell wall pectin methyl-esterification and organic acids of root tips involve in aluminum tolerance in *Camellia sinensis* [J]. *Plant Phy Biochem*, 2017, 119(7): 265–274.
- [15] 刘旋. 土壤、原料对姊归丝绵茶丝及品质成分的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2021.
LIU X. Effect of soil and raw material on the silk and quality composition of simian tea in zigui county [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2021.
- [16] 谢晨昕, 林雨, 胡文娇, 等. 白茶滋味与色泽化学特征的品种差异[J]. *现代食品科技*, 2024, 40(8): 1–10.
XIE CX, LIN Y, HU WJ, *et al.* Difference of color and taste chemistry of white tea between cultivars [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2024, 40(8): 1–10.
- [17] 赵和涛. 红茶加工中有机酸代谢及对茶叶香气形成的影响[J]. *茶叶通讯*, 1993, (1): 25–27.
ZHAO HT. Effect of organic acid metabolism and tea aroma formation in black tea processing [J]. *J Tea Commun*, 1993, (1): 25–27.
- [18] TUKHVATSHI N, MARA T, 张轩, 等. 白茶加工过程中有机酸组分含量分析[J]. *福建茶叶*, 2019, 41(3): 11–12.
TUKHVATSHI N, MARA T, ZHANG Q, *et al.* Analysis of organic acid components in white tea processing [J]. *Fujian Tea*, 2019, 41(3): 11–12.
- [19] 屠幼英, 梁慧玲, 陈暄, 等. 紧压茶儿茶素和有机酸的组成分析[J]. *茶叶*, 2002, 28(1): 22–24.
TU YY, LIANG HL, CHEN X, *et al.* Analysis of catechins and organic acids in compressed teas [J]. *J Tea*, 2002, 28(1): 22–24.
- [20] 常秋. 散茶发花加工过程中化学成分变化的研究[D]. 南昌: 江西农业大学, 2013.
CHANG Q. Studies on variations of chemical composition in the process of fungi growing of loose tea [D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2013.
- [21] 李适, 龚雪, 刘仲华, 等. 冠突散囊菌对茶叶品质成分的影响研究[J]. *菌物学报*, 2014, 33(3): 713–718.
LI S, GONG X, LIU ZH, *et al.* The qualitative component conversion in dark tea after colonization of *Eurotium cristatum* strains [J]. *Mycosystema*, 2014, 33(3): 713–718.
- [22] 张静, 蒋华军, 刘仲华, 等. 亲水性 C₁₈ 硅胶反相色谱柱同时分离测定红茶中的有机酸[J]. *食品安全质量检测学报*, 2014, 5(8): 2476–2481.
ZHAN J, JIANG HJ, LIU ZH, *et al.* Simultaneous separation and determination of organic acids in black tea by high performance liquid chromatography using polar-enhanced C₁₈ column [J]. *J Food Saf Qual*, 2014, 5(8): 2476–2481.
- [23] 雷雨. 我国不同类别黑茶品质差异的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2010.
LEI Y. A study on the quality differences various dark teas in China [J]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2010.
- [24] 常睿, 马梦君, 罗理勇, 等. 基于生化成分构建不同地区黑茶分类模型[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(11): 91–98.
CHANG R, MA MJ, LUO LY, *et al.* Construction of a model for classifying dark teas from different areas based on biochemical components [J]. *Food Ferment Ind*, 2019, 45(11): 91–98.
- [25] 施丽娟. 云南大叶种茶的酚类和有机酸类成分质谱定量分析与滋味特征研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2022.
SHI LJ. Quantitative analysis and taste characteristics of phenols and organic acids in Yunnan large-leaf tea by mass spectrometry [J]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2022.
- [26] 谢克孝, 王志华, 张宁宁, 等. 不同年份白茶饼主要化学成分及感官品质变化与通径分析[J]. *中国食品学报*, 2024, 24(1): 252–262.
XIE KX, WANG ZH, ZHANG NN, *et al.* Principal component analysis and path analysis of main chemical components and sensory quality of white tea in different years [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2024, 24(1): 252–262.
- [27] 黄维, 张灵枝, 张嘉琳, 等. 不同贮藏年份政和白茶的香气特征与挥发性成分分析[J]. *茶叶科学*, 2023, 43(5): 667–680.
HUANG W, ZHANG LZ, ZHANG JL, *et al.* Analysis of aroma characteristics and volatile components of Zhenghe white tea with different storage years [J]. *Tea Sci*, 2023, 43(5): 667–680.
- [28] 滕翠琴, 李锦锋, 庞月兰, 等. 不同陈化年份传统工艺六堡茶品质差异研究[J]. *安徽农业科学*, 2024, 52(7): 174–177, 199.
TENG CQ, LI JF, PANG YL, *et al.* Study on the quality difference of traditional process liupao tea in different aging years [J]. *Anhui Agric Sci*, 2024, 52(7): 174–177, 199.
- [29] 李适, 谌滢, 傅冬和, 等. 不同年份茯砖茶感官品质研究[J]. *茶叶科学*, 2016, 36(5): 500–504.
LI S, SHEN Y, FU DH, *et al.* Organoleptic quality analysis of Fuzhuan brick teas in different storage years [J]. *Tea Sci*, 2016, 36(5): 500–504.
- [30] 宋晓月, 吴志锋, 邱慕涛, 等. 不同年份武夷岩茶水仙主要滋味物质分析与感官评价[J]. *食品与机械*, 2024, 40(6): 170–175, 191.
SONG XY, WU ZF, QIU MT, *et al.* Analysis of main taste substances and sensory evaluation of Shuixian Wuyi rock tea narcissus in different years [J]. *Food Mach*, 2024, 40(6): 170–175, 191.
- [31] 郑淑琳, 吴伟伟, 姚喆赫, 等. 不同贮藏年份武夷水仙茶主要生化成分及感官品质分析[J]. *食品科技*, 2022, 47(1): 93–98.
ZHENG SL, WU WW, YAO ZH, *et al.* Analysis on main biochemical components and sensory quality of Wuyi Shuixian Tea with different storage years [J]. *Food Sci Technol*, 2022, 47(1): 93–98.
- [32] 何水平. 白茶有机酸及其体外抑菌效果研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2016.
HE SP. Study on white tea organic acids and its antibacterial effect *in vitro* [J]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2016.
- [33] 唐飞, 艾于杰, 张善明, 等. 不同年份青砖茶改善小鼠胃肠道功能的研究[J]. *华中农业大学学报*, 2018, 37(1): 82–88.
TANG F, AI YJ, ZHANG SM, *et al.* Effect of storage time of dark brick tea improving gastrointestinal function in mice [J]. *J Huanzhong Agric Univ*, 2018, 37(1): 82–88.
- [34] 谢娇枚. 黑毛茶存放过程中品质化学研究[D]. 长沙: 湖南农业大学,

2013.
XIE JM. Studies on the chemical quality of raw dark tea during storage [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2013.
- [35] 谢娇枚, 罗敏燕, 刘易凡, 等. 陈年祁门红茶品质分析[J]. 湖南农业科学, 2012, (11): 100-102, 105.
XIE JM, LUO MY, LIU YF, *et al.* Quality analysis for aged keemun black tea [J]. Hunan Agric Sci, 2012, (11): 100-102, 105.
- [36] 莫润明, 林海燕, 陈金发, 等. 陈香型铁观音陈化过程中特征有机酸变化分析[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(20): 21-27.
MO RM, LIN HY, CHEN JF, *et al.* Variation of characteristic organic acids during aging process of old Tieguanyin tea [J]. Food Res Dev, 2021, 42(20): 21-27.
- [37] 刘文静, 傅建伟, 何明燕. 福建 3 类陈年老茶有机酸组分及含量比较分析[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(20): 224-229.
LUI WJ, FU JW, HE MY. Comparative analysis of organic acid components and content of three kinds of aged tea in Fujian [J]. Jiangsu Agric Sci, 2020, 48(20): 224-229.
- [38] 刘爽, 杨婷, 谭俊峰, 等. 绿茶滋味定量描述分析及其化学成分的相关性研究[J]. 中国农学通报, 2014, 30(24): 40-46.
LUI S, YANG T, TAN JF, *et al.* Quantitative descriptive analysis and correlation between chemical components [J]. Chin Agric Bull, 2014, 30(24): 40-46.
- [39] 李雯雯, 陈雄, 宋姗姗, 等. 绿茶茶汤发酵过程中理化性质及香气成分变化分析[J]. 香料香精化妆品, 2019, (3): 12-16.
LI WW, CHEN X, SONG SS, *et al.* Analysis of the changes of physicochemical properties and aroma components of green tea during fermentation [J]. Flavour Frag Cosmet, 2014, 30(24): 40-46.
- [40] 毛世红. 基于风味组学的工夫红茶品质分析与控制研究[D]. 重庆: 西南大学, 2018.
MAO SH. Quality analysis and control of congou black tea based on sensomics [D]. Chongqing: Southwest University, 2018.
- [41] 吕海鹏, 张悦, 杨婷, 等. 普洱茶滋味品质化学成分分析[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(2): 178-183.
LU HP, ZHANG Y, YANG T, *et al.* The main flavor compounds of Pu-erh tea [J]. Food Ferment Ind, 2016, 42(2): 178-183.
- [42] KOCH W, KUKULA-KOCH W, KOMSTA L, *et al.* Green tea quality evaluation based on its catechins and metals composition in combination with chemometric analysis [J]. Molecules, 2018, 23(7): 1689-1707.
- [43] 朱旭君, 杨平平, 徐仁扣, 等. 茶树中总有机酸的自动电位滴定仪测定方法[J]. 茶叶科学, 2014, 34(6): 572-576.
ZHU XJ, YANG PP, XU RK, *et al.* A method for determination of total organic acids in tea plant with automatic Potentiometric titration [J]. Tea Sci, 2014, 34(6): 572-576.
- [44] MIRASOLI M, GOTTI R, DIFUSCO M, *et al.* Electronic nose and chiral-capillary electrophoresis in evaluation of the quality changes in commercial green tea leaves during a long-term storage [J]. Talanta, 2014, 129(21): 32-38.
- [45] 王清萍. 毛细管电泳在茶叶有效成分分离检测中的应用[D]. 福州: 福州大学, 2010.
WANG QP. Application of capillary electrophoresis in separation and detection of effective components in tea [D]. Fuzhou: Fuzhou University, 2010.
- [46] 许丽, 周光明, 余娜, 等. 电导检测离子排斥色谱法测定绿茶中的没食子酸[J]. 食品科学, 2011, 32(18): 253-255.
XU L, ZHOU GM, YU N, *et al.* Determination of gallic acid in green tea by ion exclusion chromatography with conductivity detection [J]. Food Sci, 2011, 32(18): 255.
- [47] 章剑扬, 刘新, 车金水, 等. 快速溶剂萃取-离子色谱法测定茶叶中的有机酸[J]. 化学分析计量, 2012, 21(1): 43-45.
ZHANG JY, LIU X, CHE JS, *et al.* Determination of organic acid in tea by accelerated solvent extraction-ion chromatography [J]. Chem Anal Met, 2012, 21(1): 43-45.
- [48] SHIRAI N. Gas chromatographic analysis of organic acids in Japanese green tea leaves [J]. J Oleosci, 2019, 68(12): 1271-1277.
- [49] JIA SS, WANG Y, HU J, *et al.* Mineral and metabolic profiles in tea leaves and flowers during flower development [J]. Plant Phy Biochem, 2016, 106(9): 316-326.
- [50] ALASALVAR C, TOPAL B, SERPEN A, *et al.* Flavor characteristics of seven grades of black tea produced in Turkey [J]. J Agric Food Chem, 2012, 60(25): 6323-6332.
- [51] FENG Z, LI Y, LI M, *et al.* Tea aroma formation from six model manufacturing processes [J]. Food Chem, 2019, 285(2): 347-354.
- [52] 丁玲, 屠幼英, 陈晓敏. 高效液相色谱测定紧压茶中有机酸条件研究[J]. 茶叶, 2005, 31(4): 224-227.
DING L, TU YY, CHEN XM. Simultaneous determination of various organic acids in compressed tea by high performance liquid chromatography [J]. J Tea, 2005, 31(4): 224-227.
- [53] 陆敏, 张绍岩, 于宏伟, 等. 绿茶毛尖中有机酸的高效液相色谱分析[J]. 广东农业科学, 2012, 39(2): 86-87.
LU M, ZHANG SY, YU HW, *et al.* Analysis of organic acids in Maojian green tea by high performance liquid chromatography [J]. Guangdong Agric Sci, 2012, 39(2): 86-87.
- [54] 袁玲, 黄建安, 龚志华, 等. 茯砖茶有机酸反相高效液相色谱分析方法建立及其应用[J]. 中国农学通报, 2011, 27(30): 246-252.
YUAN L, HUANG JAN, GON ZH, *et al.* Study on development and application technology of analysis method for organic acid in fu-brick tea by RP-HPLC [J]. Chin Agric Sci Bull, 2011, 27(30): 246-252.
- [55] 何水平, 郭春芳, 孙云, 等. 白茶中的有机酸高效液相色谱分析方法的建立[J]. 中国茶叶加工, 2015, (3): 37-42.
HE SP, GUO CF, SUN Y, *et al.* Determination of organic acids in white tea by HPLC method [J]. China Tea Process, 2015, (3): 37-42.
- [56] 王丽丽, 杨军国, 林清霞, 等. 高效液相色谱-二极管阵列检测器法测定茶叶中 10 种有机酸含量[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2019, 45(1): 47-53.
WANG LL, YANG JG, LIN QX, *et al.* Determination of 10 organic acid contents in tea using high performance liquid chromatography-diode array detector [J]. J Zhejiang Univ (Agric Life Sci), 2019, 45(1): 47-53.
- [57] YU F, CHEN C, CHEN SN, *et al.* Dynamic changes and mechanisms of organic acids during black tea manufacturing process [J]. Food Control, 2021, 132: 108535.

(责任编辑: 蔡世佳 于梦娇)

作者简介



陈泉宾, 高级农艺师, 主要研究方向为茶叶加工工程技术研究。

E-mail: teacqb2004@163.com