DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20251219002
引用格式: 吴德涛, 李庆庆, 杨秀伟, 等. 基于中医理学的小叶苦丁茶加工工艺设计及品质评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(8): 339–346.
WU DT, LI QQ, YANG XW, *et al*. Processing technology design and quality evaluation of *Ligustrum robustum* based on traditional Chinese medicine science [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(8): 339–346. (in Chinese with English abstract).

基于中医理学的小叶苦丁茶加工工艺设计及品质评价

吴德涛, 李庆庆, 杨秀伟, 汤建华, 杨选辉, 邓宽平*
(遵义市农业科学研究院, 遵义 563100)

摘 要: 目的 基于中医理学原理, 探究盐水杀青与糖水去苦组合工艺对小叶苦丁茶品质的影响。**方法** 以余庆小叶苦丁茶为研究对象, 设计 3 种不同加工工艺, 以传统工艺 K1 为对照, 通过理化实验、质谱实验, 系统分析不同工艺对小叶苦丁茶品质的影响。**结果** 感官与色泽分析结果显示, K3 工艺可优化苦丁茶的口感与外观色泽, K2、K3 比 K1 视觉上呈现更均匀鲜亮的绿色; 理化检测发现, 该工艺会导致 K2 和 K3 苦丁茶浸出物总量分别减少 12.19%、19.60%。通过液相色谱-质谱技术进行差异代谢物分析, 共鉴定出 1282 种代谢物, 其中脂质及类脂质分子占比最高, 为 26.21%。进一步针对苦丁茶活性成分的靶向高效液相色谱法检测显示, K3 工艺使茶多酚含量降低到(8.51±0.07) g/100 g, 而与 K1 比, K3 工艺使阿克苷、咖啡碱含量分别略有提升。**结论** 盐水杀青与糖水去苦工艺能有效优化苦丁茶色泽品质, 并在控制茶多酚损失的同时, 实现女贞苷、阿克苷等关键活性成分的保留与提升, 为苦丁茶高品质加工工艺的研发提供关键技术支撑。

关键词: 小叶苦丁茶; 盐水杀青; 糖水去苦; 液相色谱-质谱法

Processing technology design and quality evaluation of *Ligustrum robustum* based on traditional Chinese medicine science

WU De-Tao, LI Qing-Qing, YANG Xiu-Wei, TANG Jian-Hua,
YANG Xuan-Hui, DENG Kuan-Ping*
(*Zunyi Academy of Agricultural Sciences*, *Zunyi* 563100, *China*)

ABSTRACT: Objective To explore the influence of a combined processing method of salt water steaming and sugar water debittering, based on the principles of traditional Chinese medicine, on the quality of *Ligustrum robustum*. **Methods** Taking *Ligustrum robustum* in Yuqing county as the research object, 3 kinds of different processing processes were designed, and the traditional process K1 was used as the control. The physical and

收稿日期: 2025-12-19
基金项目: 遵义市农业科学研究院农业科技创新服务能力建设项目(黔科合服企[2024]008-1 号); 遵义市农业科学研究院农业科技创新服务基础条件建设项目(黔科合服企[2024]008-2 号); 余庆小叶苦丁茶芽茶苦味改善工艺研究项目(遵农科财[2025]5 号)
第一作者: 吴德涛(1984—), 男, 农艺师, 主要研究方向为中药材栽培及加工工作。E-mail: 465886311@qq.com
***通信作者:** 邓宽平(1976—), 男, 硕士, 研究员, 主要研究方向为中药材品种选育及高产栽培技术研究。E-mail: 408367462@qq.com

chemical tests and mass spectrometry experiments were carried out to analyze the influence of different processing methods on the quality of *Ligustrum robustum*. **Results** The sensory and color analysis results showed that K3 process could optimize the taste and appearance of *Ligustrum robustum*. Compared with K1, K2 and K3 presented more uniform and bright green visually. However, physical and chemical tests revealed that this process led to a reduction of 12.19% and 19.60% in the total extract of K2 and K3 *Ligustrum robustum*, respectively. Using liquid chromatography-mass spectrometry, a total of 1282 metabolites were identified by differential metabolite analysis, among which the proportion of lipids and lipid molecules was the highest (26.21%). Further targeted high performance liquid chromatography detection of the active components of *Ligustrum robustum* showed that the K3 process reduced the content of tea polyphenols to (8.51±0.07) g/100 g, while compared with K1, K3 process increased the content of actoside and caffeine, respectively. **Conclusion** The water blanching and sugar water debittering process can effectively optimize the color and quality of *Ligustrum robustum*. While controlling the loss of tea polyphenols, it also retains and enhances key active components such as ligustrine glycosides and aktoside, providing key technical support for the research and development of high-quality processing techniques for *Ligustrum robustum*.

KEY WORDS: *Ligustrum robustum*; salt water blanching; sugar-water debittering; liquid chromatography-mass spectrometry

0 引 言

小叶苦丁茶为木犀科女贞属粗壮女贞加工制成的代用茶，主要产于我国西南及华南等地区。其中，贵州遵义余庆县被誉为“中国小叶苦丁茶之乡”，小叶苦丁茶已发展为当地的特色优势经济作物与支柱产业[1−2]。传统小叶苦丁茶加工工艺主要由萎凋、杀青、揉捻、干燥等工艺制成，外形条状紧结，叶形细小嫩匀。具有干茶绿、汤色绿、叶底绿的“三绿”典型品质特征，冲泡后汤色绿亮，嫩芽叶底翠绿、叶片鲜活。目前研究表明小叶苦丁茶含有多种微量物质，其多酚物质主要为咖啡酰奎宁酸类化合物及其衍生物，并且含有少量咖啡碱[3]；此外，小叶苦丁茶作为女贞属特色代用茶，其特征成分女贞苷、阿克苷等皂苷类化学成分，已被证实具有降血脂、降血糖、降血压和抗炎等药理活性[4]。另有研究表明，苦丁茶中皂苷表现出抗骨质疏松的能力，在功能性食品开发中具有良好应用潜力[5]。CHEN 等[6]的研究进一步发现苦丁茶可通过 PI3K/AKT 信号通路促进 MIN6 细胞增殖并提高胰岛素分泌水平，达到降低血糖的作用。目前对于苦丁茶的研究主要在生理功效与药理机制上，在加工方面侧重于有效物质和辅料的应用，如苦丁茶多酚能够增强肌原纤维蛋白分子间的相互作用和热稳定性[7]；利用苦丁茶发酵米酒，可以实现入口有米酒香味，后味伴随着苦丁茶的香气[8]。加工工艺对茶叶化学成分配制有显著的影响，已有研究发现在不同加工方式对云南大叶种茶中活性成分及多酚类物质间的相关性有显著差异[9]。苦丁茶中含有苷类物质致茶汤苦味厚重、适口性较差，通过特殊的加工方式去改善苦丁茶的口感而促进其应用的研究较少，所以减苦增香、提升饮用品质的加工技术研究具有重要的理论价值与实际应用意义。

从中医理学角度为苦丁茶加工技术提供思路与支撑的研究尚不多见。在陈凤[10]的研究中，对天麻进行盐水杀青，有效的降低酶的活性，而减少对天麻的不利影响。从中医理学角度来看，盐味咸，在五味中“咸属水”，对应中医五行中的“水”，与肾相应，故有软坚、引经入肾等作用；而糖(如蔗糖、蜂蜜等)味甘，在五味对应五行的理论中，甘属土，对应中医五行中的“土”，与脾相应[11−12]。盐水可以有效地降低茶叶中的农药并使茶叶颜色更亮同时降低茶叶的苦涩味[13]。糖水可能缓和苦丁茶的苦寒之性，盐水杀青克制苦丁茶中苦，而糖水起到中和盐水的作用。从食品加工的角度来看，苦丁茶的盐水杀青工艺可以促进苦味物质的溢出，蒸青时盐溶液随蒸汽冷凝附着叶片，通过渗透压初步打开细胞孔隙，加速后续苦味物质(如苦丁皂甙、黄酮)溶出[14−15]。糖水形成高渗透压环境，进一步促使细胞内苦味物质扩散至溶液，同时糖类可渗入叶片组织，可能赋予茶叶微甜风味。

有研究表明，高效液相色谱-质谱法(high performance liquid chromatography-mass spectrometry, HPLC-MS)可以有效且快速地判断茶叶品质和特征成分的差异，这是判断苦丁茶特征成分的重要方法[16]。HPLC-MS 利用高效液相色谱仪将样品中的各种成分进行分离，而后进入到质谱进行定性分析和定量分析[17]。再在此基础上利用主成分分析(principal components analysis, PCA)和正交偏最小二乘判别分析(orthogonal partial least-squares discrimination analysis, OPLA-DA)加工对苦丁茶化学成分的影响。综上，本研究基于中医理学的思路为苦丁茶加工提供新方式，对比盐溶液蒸青方式+糖水去苦方式与传统加工方式，探究

不同加工方式对苦丁茶化学成分的影响, 通过 HPLC-MS 检测其成分差异, 为苦丁茶的加工提供新思路, 提升苦丁茶的品质和市场竞争力, 助推苦丁茶产业高质量发展。

1　材料与方法

1.1　试　剂

2-氯-*L*-苯丙氨酸(内标标准物质)(色谱纯, 上海阿拉丁生化科技股份有限公司); 甲酸(色谱纯, 上海 TCI 化成工业发展有限公司); 乙腈、乙酸(色谱级, 美国 Thermo Fisher Scientific 公司); 阿克苷、女贞苷(色谱纯, 上海源叶生物科技有限公司); 咖啡碱(色谱纯, 四川维克奇生物科技有限公司); 乙醇、氧化镁、NaCl(分析纯, 中国医药集团有限公司)。

1.2　仪器与设备

EX125DZH 微量电子天平(120 g/0.1 mg, 美国 OHAUS 仪器有限公司); H1850-R 冷冻离心机(湖南湘仪实验室仪器开发有限公司); BE-2600 混匀仪(海门市其林贝尔仪器制造有限公司); MB-96 组织研磨器(浙江美壁仪器有限公司); Vanquish 超高效液相系统(配有 Thermo Orbitrap Exploris 120 质谱检测器, 美国 Thermo Fisher Scientific 公司); ACQUITY UPLC® HSS T3 色谱柱(2.1 mm×100 mm, 1.8 μm)(美国 Waters 公司); LC-20AT 高效液相色谱仪、ZORBAX StableBond C_{18} 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm)(美国 Agilent 公司); 5424R 低温离心机(德国 Eppendorf 生命科学公司); NR10QC Lab 色差仪(深圳三恩驰设备有限公司); 岛津 AQ-C_{18} 色谱柱(150 mm×4.6 mm, 5 μm)[中国岛津(上海)实验器材有限公司]。

1.3　实验方法

1.3.1　样品处理

本研究于 2025 年 4 月份在贵州省余庆县取样小叶苦丁茶青, 择选一芽两叶或四叶为加工原料。K1、K2、K3 表示 3 种工艺加工的苦丁茶编号。

K1: 高温 100 ℃, 蒸青 60~90 s; 冷水浸泡去苦, 茶:水=1:6 (g:mL); 时间 10~25 min, 烘箱 75 ℃烘干, 在烘干过程中进行揉捻, 直到变黏即可分散烘干至脆。

K2: 高温 100 ℃, 0.01 g/mL NaCl 水溶液蒸青 60~90 s; 其余操作同 K1。

K3: 高温 100 ℃, 0.01 g/mL NaCl 水溶液蒸青 60~90 s; 0.05 g/mL 蔗糖水溶液浸泡去苦, 茶:蔗糖水溶液=1:6 (g:mL); 时间 10~25 min, 其余操作同 K1。

1.3.2　灰分、水分、水浸出物

灰分测定参考 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》; 水分测定参考 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; 水浸出物测定参考 GB/T 8305—2013《茶 水浸出物测定》。

1.3.3　感官与色泽检测

(1)色泽检测。色泽采用 Lab 检测, 对茶汤(茶叶:90 ℃水=1:10 (g:mL), 浸泡 4 min 过滤)和茶粉(茶叶研磨, 过 80 目筛)色泽进行分析。

(2)感官评价。参考 GB/T 23776—2018《茶叶感官评审方法》, 参考绿茶的评审方式进行评审。苦丁茶与水 1:50 (g:mL)、(90±5) ℃热水冲泡 4 min, 进行盲评。参考绿茶品质评语与各品质因子评分表从茶叶外形、汤色、滋味、香气进行打分。结合评分系数得到最终得分。

1.3.4　HPLC-MS 检测

样品前处理: 2-氯-*L*-苯丙氨酸作为内标物, 使用甲醇溶解, 配制成 4 mg/L 的 2-氯-*L*-苯丙氨酸的甲醇溶解物。精确称量适量样本于 2 mL 离心管中, 加入 600 μL 2-氯-*L*-苯丙氨酸的甲醇溶解物, 涡旋振荡 30 s; 加入钢珠, 放入组织研磨器中, 55 Hz 研磨 60 s; 室温超声 15 min; 最后 12000 r/min 4 ℃离心 10 min, 取上清液过 0.22 μm 膜过滤, 用于 HPLC-MS 检测待测[18]。

色谱条件[19]: 使用 ACQUITY UPLC® HSS T3 (2.1 mm×100 mm, 1.8 μm)色谱柱, 0.3 mL/min 的流速, 40 ℃的柱温, 进样量 2 μL。正离子模式, 流动相为 0.1%甲酸乙腈(B2)和 0.1%甲酸水(A2), 梯度洗脱程序为: 0~1.0 min, 10% B2; 1.0~5.0 min, 10%~98% B2; 5.0~6.5 min, 98% B2; 6.5~6.6 min, 98%~10% B2; 6.6~8.0 min, 10% B2。负离子模式, 流动相为乙腈(B3)和 5 mmol/L 甲酸铵水(A3), 梯度洗脱程序为: 0~1.0 min, 10% B3; 1.0~5.0 min, 10%~98% B3; 5.0~6.5 min, 98% B3; 6.5~6.6 min, 98%~10% B3; 6.6~8.0 min, 10% B3。

质谱条件[20]: 电喷雾离子源, 正负离子模式分别采集数据。正离子喷雾电压 3.50 kV, 负离子喷雾电压–2.50 kV, 鞘气 40 arb, 辅助气 10 arb。毛细管温度 325 ℃, 以分辨率 60000 进行一级全扫描, 一级离子扫描范围 *m*/*z* 100~1000, 并采用高能碰撞解离进行二级裂解, 碰撞能量为 30%, 二级分辨率为 15000, 采集信号前 4 离子进行碎裂, 同时采用动态排除去除无必要的二级质谱信息。

1.3.5　多　酚

参考 GB/T 8313—2018《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》, 采用福林酚法, 并以没食子酸作校正标准定量茶多酚。

1.3.6　女贞苷含量测定

样本提取: 取 0.1000 g 样本, 加入 1.5 mL 80%甲醇水溶液, 超声 30 min, 12000 r/min 离心 10 min, 取上清液, 用针头式过滤器过滤于带有内衬管的样品瓶内, 上机检测。

液相色谱条件: 岛津 AQ-C_{18} 色谱柱(150 mm×4.6 mm, 5 μm); 流动相 90%甲醇和水, 90%甲醇:水=60:40 (*V*:*V*), 等度

洗脱; 进样量 10 μL, 流速 1 mL/min, 柱温 35 ℃, 波长 224 nm。

1.3.7 阿克苷含量测定

样本提取: 取 0.1000 g 样本, 加入 1.5 mL 50%甲醇水溶液, 超声 20 min, 12000 r/min 离心 10 min, 取上清液, 用针头式过滤器过滤于带有内衬管的样品瓶内, 上机检测。

参考颜祥云等[21]的研究方法进行调整。液相色谱条件: 岛津 AQ-C_{18} 色谱柱(150 mm×4.6 mm, 5 μm); 流动相 A: 乙腈, B: 磷酸水 0.1%, A:B 为 30:70 (*V*:*V*), 等度洗脱; 进样量 10 μL, 流速 1 mL/min, 柱温 35 ℃, 波长 334 nm。

1.3.8 咖啡碱含量测定

参考 GB/T 8312—2013。样本提取: 称取约 0.0500 g 样本, 加入 0.25 g 氧化镁, 加入 10 mL 纯水, 超声提取 30 min, 静置分层后, 取上清液, 针头式过滤器过滤后待测。

色谱条件: 十八烷基硅烷键合硅胶柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm);二极管阵列检测器; 检测波长: 280 nm, 流速: 1 mL/min; 柱温: 40 ℃; 自动进样, 进样量: 10 μL; 流动相: 甲醇:0.1%乙酸水溶液=60:40 (*V*:*V*), 等度洗脱。

1.4 数据处理

采用 R XCMS V3.12.0 软件包进行峰检测、峰过滤、峰对齐处理, 得到物质定量列表[22]。然后, 通过总峰面积归一化的方法实现数据校正, 消除系统误差。物质鉴定过程使用 Human Metabolome Database、Massbank、LipidMaps、mzclound、以及自建代谢物标准品数据库等谱图数据库进行检索比对(搜库), 得到代谢物定性结果[23]。采用 SIMCA-P 14.1 软件进行 PCA 和 OPLS-DA 分析, 将所有数据标准化后进行分析, R^2 和 Q^2 值分别用作模型拟合和可预测性的指标。并计算代谢物的变量投影重要性(variable importance in projection, VIP)值。将采用 SIMCA-P 14.1 内置的 Descriptive statistics 软件进行计算代谢物的差异倍数(fold change, FC)和每组代谢物的 *P* 值。将$|\log_2 FC| \geqslant 2$, $P<0.01$, VIP 值≥1.0 作为筛选关键特征成分的重要参考。其余分析采用 Excel 2016 和 IBM SPSS Statistics 26 进行数据处理和单因素方差显著性分析, Origin 2021 作图, 所得结果均为检测重复用平均值 ± 标准偏差(n=3)表示, 不同字母代表存在差异显著($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 3 种加工工艺小叶苦丁茶的理化指标

水分、灰分、浸出物是茶叶最基础和重要的理化指标[24–25]。参考贵州省地方标准 DB 52/T448—2023《贵州小叶苦丁茶》中描述的, 所有样品的水分、灰分、浸出物均符合小叶苦丁茶条形茶标准。从表 1 来看, 灰分无显著差异(P=0.267), 但是盐水蒸青 K2、K3 的水分和浸出物均显著小于清水杀青的 K1 ($P<0.05$)。可能是由于盐水蒸青的方式有效的提高茶青的物质浸出, 再经过冷浸导致茶叶组织细胞中的水分排出, 而内容物流失, 其浸出物也减少。尤其是经过糖水冷浸后的 K3 浸出物低于清水去苦的 K2, 较 K1, K2 和 K3 的苦丁茶浸出物总量分别减少了 12.19%、19.60%。

表 1 3 种加工工艺小叶苦丁茶粉理化指标

Table 1 Physicochemical indexes of *Ligustrum robustum* powder with 3 kinds of processing technologies

样品	灰分/%	水分/%	浸出物/%
K1	3.05±0.05^a	5.97±0.03^a	55.77±0.49^a
K2	2.86±0.09^a	4.66±0.05^b	48.97±0.88^b
K3	2.92±0.14^a	4.60±0.02^b	44.34±0.48^c

注: 同一列不同字母代表数据间存在显著性($P<0.05$), 下表同。

2.2 3 种加工工艺小叶苦丁茶色泽与感官分析

3 种加工工艺小叶苦丁茶茶粉。*L*、*a*、*b* 色泽分析可以对汤色和茶粉的表观颜色分析, 避免主观的影响, *L* 表示其明亮度, *a* 表示从负到正为从绿到红, *b* 表示从负到正为从蓝到黄[26]。从图 1 和表 2 来看, K2 与 K3 的颜色要比 K1 显著偏绿($P<0.05$), 可能是由于盐水蒸青对茶叶起到护色作用[27], 从表面看更为偏绿。此外 *b* 从 K1、K2 到 K3 逐渐显著偏黄($P<0.05$), 说明盐水杀青和糖水去苦, 对茶叶的黄蓝色度有影响。K1 与 K2、K3 比较发现, Δ*E* 大于 1, 表明可以从肉眼上看出茶叶之间的颜色差异。从表 3 来看, K1 的 *L* 和 *a* 与其他组存在差异, 比较明显的是 *b* 差异与茶粉差异一致均表现出盐水杀青和糖水去苦的样品偏黄, 说明盐水杀青和糖水去苦的方式对于茶汤颜色影响较小。



图 1 3 种加工工艺小叶苦丁茶茶粉

Fig.1 *Ligustrum robustum* powder with 3 kinds of processing technologies

表 2 3 种加工工艺小叶苦丁茶茶粉的 *L*、*a*、*b*

Table 2 *L*, *a*, *b* of *Ligustrum robustum* powder with 3 kinds of processing technologies

样品	*L*	*a*	*b*	Δ*E*
K1	27.91±0.35^a	0.83±0.06^a	18.99±0.42^a	对照为 0
K2	28.91±0.77^a	–0.93±0.07^b	17.29±0.74^b	2.59±0.01
K3	26.89±0.08^b	–0.94±0.05^b	14.55±0.42^c	5.32±0.04

表 3 3 种加工工艺小叶苦丁茶茶汤的 *L*、*a*、*b*

Table 3 *L*, *a*, *b* of *Ligustrum robustum* soup with 3 kinds of processing technologies

样品	*L*	*a*	*b*	感官评价
K1	26.29±0.06^b	0.40±0.03^a	–0.43±0.05^a	82.59±6.86^b
K2	26.49±0.01^a	0.33±0.03^a	–0.95±0.01^c	89.44±3.61^{ab}
K3	26.52±0.09^a	0.41±0.04^a	–0.82±0.04^b	90.31±2.15^a

2.3　小叶苦丁茶 HPLC-MS 分析

2.3.1　总体成分分析

总体成分分析共鉴定出 1282 种代谢成分，其中正离子 776 种，负离子 506 种。按照化合物类型可分为 11 类，脂质及类脂质分子 336 个(26.21%)，有机杂环化合物 182 个(14.20%)，有机氧化合物 163 个(12.71%)，有机酸及其衍生物 144 个(11.23%)，有机氮化合物 17 个(1.33%)，烃类化合物 2 个(0.16%)，生物碱及其衍生物 26 个(2.03%)，木脂素、新木脂素及相关化合物 21 个(1.64%)，核苷、核苷酸及其类似物 25 个(1.95%)，苯衍生物 141 个(10.99%)，苯丙素类和聚酮类化合物 225 个(17.55%)。说明小叶苦丁茶中含有的脂质及类脂分子多，有研究表明苦丁茶中的挥发油具有抗氧化、抑菌及消炎的功效[28]。从图 2 可以看出，正负离子模式下，含有氨基、羟基、羧基等化合物的响应。苦丁茶在正离子模式下的响应强度高，集中于 0~5 min，而负离子则在 5~10 min，要低于正离子模式。说明正离子可电离的化合物(生物碱、醇类)相对含量更高。

2.3.2　不同加工工艺样品间的多元统计分析

根据不同加工的 PCA 结果可知，图 3A 来看，PCA 结果表明，K1、K2、K3 分散较开，说明加工工艺对代谢物差异具有较大影响，产生较为显著的差异。为了更好地对该模型进行评价，使用经典的 OPLS-DA 分析。从图 3B 可以看出，表现出与 PCA 同样的结果，区分明显。OPLS-DA 模型的 Q^2 描述了模型的预测能力[29]。该模型的 Q^2 为 0.960，表明模型预测能力较好。总的来说，盐水杀青和糖水去苦的工艺对苦丁茶的代谢产物有较大影响。

2.3.3　差异代谢物筛选与分析

通过对不同加工工艺的苦丁茶进行非靶向代谢组学的分析，筛选其差异代谢物，剖析其加工过程中代谢物的变化规律。LI 等[30]对藤茶品质形成的品质进行分析，确定了 15 种关键代谢物，更好的评价加工对茶叶的影响。为探究各组之间的差异代谢，本研究对组间进行的对比筛选，以$|\log_2 FC| \geqslant 2$，$P<0.01$，VIP$\geqslant$1.0 作为组间差异代谢物的筛选条件。从图 4 可以看出，将 K1/K2 进行比较筛选，共筛选出 153 个得到注释的差异代谢物，K1/K3 筛选出 96 个差异代谢物，K2/K3 筛选出 96 个的差异代谢物，且 K1/K3 与 K2/K3，筛选出来的物质一模一样。说明 K1 和 K2 在与 K3 比较时，被显著改变的代谢物种类完全一致。这意味着 K3 的加工工艺可能触发了一条或多条特定的代谢通路变化，而这一变化是 K1 和 K2 工艺都未触发(或反向触发)的，导致 K3 与前两者形成了清晰的“代谢组分水岭”。说明糖水冷浸去苦处理对苦丁茶加工影响较大。结合 PCA 和 OPLS-DA 的得分图来看，K3 与 K1 和 K2 的差异影响同一批代谢物，但是 K1 与 K2 二者之间的代谢组可能存在差异。

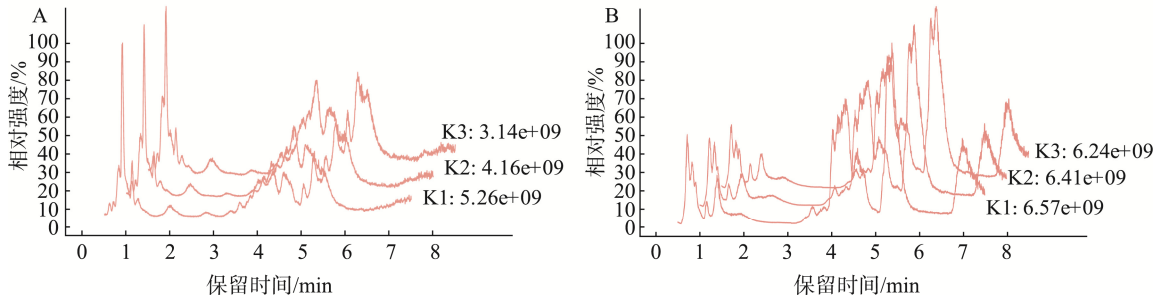


图 2　3 种加工工艺小叶苦丁茶正离子(A)和负离子(B)的总离子色谱图

Fig.2　Total ion chromatogram of positive ions (A) and negative ions (B) in 3 kinds of processing technologies of *Ligustrum robustum*

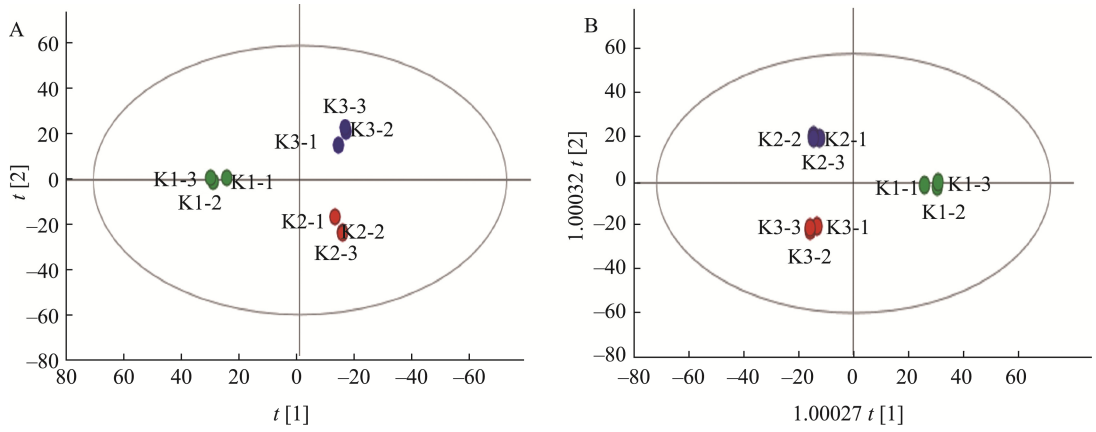


图 3　PCA (A)和 OPLS-DA (B)得分图

Fig.3　Score plot of PCA (A) and OPLS-DA (B)

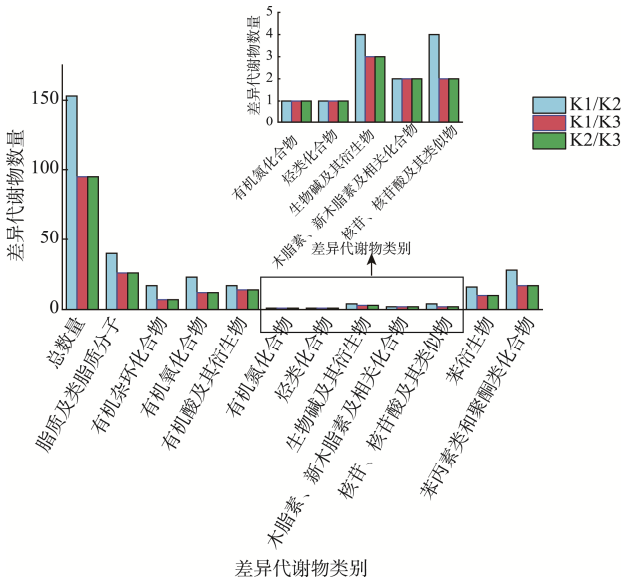


图 4 组间差异代谢物数量

Fig.4 Number of differential metabolites between groups

多酚含量少表明苦丁茶不适合用于发酵。K2 盐水杀青工艺，可以使苦丁茶茶多酚更容易渗透出来导致其含量的显著降低(P<0.05)，而 K3 糖水去苦工艺对于苦丁茶茶多酚含量影响差异不大。总体看 K3 工艺使茶多酚含量降低到(8.51±0.07) g/100 g,。有研究表明杀青对茶多酚含量有显著影响[31]。一种苦丁茶属于女贞属，不属于茶属，其含有的女贞苷是一种环烯醚萜苷类化合物，是女贞属植物的核心活性成分之一。从图 5A 可以看出，盐水杀青对女贞苷的含量有显著增加作用(P<0.05)，糖水去苦无显著差异。阿克苷是可以从叶子中分离得到的苯丙苷类化合物，在神经保护和胰岛素抵抗上有作用[32]。阿克苷表现出与女贞苷同样的趋势，但是糖水去苦对阿克苷有一定程度的降低。从图 5B 来看，苦丁茶咖啡碱含量含量较低，仅为绿茶的 1%，甚至更低。与沈强等[33]的表述一致。盐水杀青对于苦丁茶的咖啡碱含量有显著影响。而咖啡碱的含量低使得苦丁茶的食用人群上更加广泛。

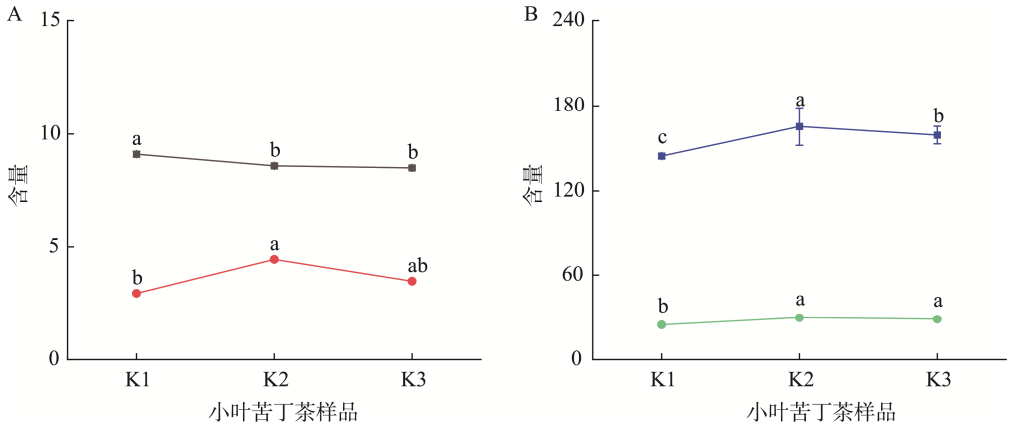
2.4 活性成分定量分析

对苦丁茶中的有效成分进行色谱法定量分析，包括茶多酚、女贞苷、阿克苷、咖啡碱。如表 4 所示，其标准曲线的 r^2 均大于 0.999，表明拟合效果好。如图 5A 所示，3 种加工工艺小叶苦丁茶的茶多酚含量范围在(8.51±0.07)~(9.11±0.12) g/100 g 之间，是绿茶茶多酚含量的一半，其茶

表 4 活性成分的标准曲线方程

Table 4 Standard curve equation of active ingredient

化学成分	标准曲线方程	线性范围/(μg/mL)	r^2
没食子酸	Y=0.0143X+0.0123	10~80	0.9988
女贞苷	Y=11349X–822.10	20~100	0.9991
阿克苷	Y=3750.6X–1677.2	200~1000	0.9990
咖啡碱	Y=33134X–2904.2	10~100	0.9998



注：不同字母代表存在差异显著(P<0.05)。茶多酚含量单位为 g/100 g，女贞苷含量单位为 mg/g，阿克苷含量单位为 mg/g，咖啡碱含量单位为 μg/g。

图 5 小叶苦丁茶样品中不同物质含量

Fig.5 Content of different substances in the *Ligustrum robustum* sample

3 结 论

本研究采用基于中医理学的盐水杀青与糖水去苦工艺加工苦丁茶，并从多维度对不同加工工艺的产品进行系统评价。结果表明，K3 工艺可显著改善苦丁茶的感官品质与色泽，使得苦丁茶的颜色更绿，但会导致其浸出物总量减少。HPLC-MS 差异代谢物分析显示，K3 工艺(盐水杀青-糖水去苦)与 K1 和 K2 的差异代谢物数量和类别一致；进一步靶向色谱检测发现，在苦丁茶已知活性成分中，该工艺仅降低茶多酚含量，而阿克苷及咖啡碱含量均略有提升。盐水杀青与糖水去苦工艺可有效提升苦丁茶综合品质，

为后续苦丁茶加工工艺的研发与应用提供了重要参考。后续可以对小叶苦丁茶工艺影响差异代谢物的机制和代谢通路研究, 结合分析活性成分与感官品质之间的关联性分析。

参考文献

[1] 王丹阳. 贵州省余庆县茶产业品牌传播策略研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2022.
WANG DY. Research on brand communication strategy of tea industry in Yuqing County [D]. Guiyang: Guizhou University, 2022.

[2] 徐才真. 贵州省遵义市茶文旅融合发展研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2024.
XU CZ. Study on the integrated development of tea culture tourism in Zunyi City [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2024.

[3] 孙怡, 张鑫, 张文芹, 等. 苦丁茶冬青苦丁茶中多酚类物质的分离纯化与结构解析[J]. 食品科学, 2011, 32(11): 60–63.
SUN Y, ZHANG X, ZHANG WQ, *et al*. Purification and structural identification of polyphenols in kudingcha [J]. Food Science, 2011, 32(11): 60–63.

[4] WU H, CHEN YL, YU Y, *et al*. Ilex latifolia *Thunb* protects mice from HFD-induced body weight gain [J]. Scientific Reports, 2017, 7(1): 14660.

[5] SUZUKI M, TSUCHIYA A, NGUYEN TTM, *et al*. Isolation and identification of anti-osteoclastogenesis active compounds from *Ilex kaushue* leaves [J]. Food Research International, 2025, 221(P1): 117184.

[6] CHEN M, HUANG L, XIONG Q, *et al*. The extracts of small-leaved kudingcha as potential modulators of *β*-cells for the therapy of type 2 diabetes mellitus [J]. Journal of Functional Foods, 2025, 130: 106922.

[7] 高浩祥, 陈南, 曾维才. 苦丁茶多酚对油炸蛋白食品品质的影响及机制[J]. 食品科学, 2025, 46(14): 64–71.
GAO HX, CHEN N, ZENG WC. Effects and mechanism of *Ligustrum robustum* (rxob.) blume polyphenols on the quality of fried protein foods [J]. Food Science, 2025, 46(14): 64–71.

[8] 王芙蓉, 赵益梅, 李靖, 等. 苦丁茶米酒的发酵工艺条件优化[J]. 中国酿造, 2023, 42(2): 205–209.
WANG FR, ZHAO YM, LI J, *et al*. Optimization of fermentation process conditions for Chinese bitter tea rice wine [J]. China Brewing, 2023, 42(2): 205–209.

[9] 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 Q, SHAO JL, YIN BL, *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.

[10] 陈凤. 天麻鲜切片加工工艺及质量标准研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2024.
CHEN F. Study on the processing technology and quality standard of *Gastrodia elata* Bl. fresh slices [D]. Xianyang: Northwest A&F University, 2024.

[11] 苏颖. 《黄帝内经素问》译注[M]. 北京: 中国中医药出版社, 2022.
SU Y. Translation of *Huangdi's internal classic question* [M]. Beijing: China Traditional Chinese Medicine Press, 2022.

[12] 严灿, 吴丽丽. 中医基础理论[M]. 北京: 中国中医药出版社, 2019.
YAN C, WU LL. Basic theory of traditional Chinese medicine [M]. Beijing: China Traditional Chinese Medicine Press, 2019.

[13] 安徽省新旭堂茶业有限公司. 一种茶叶加工工艺的制作方法: 中国, CN201710660297.8 [P]. 2017-08-04.
Anhui Xinxutang Tea Industry Co., Ltd,. A preparation method of tea processing technology: CN201710660297.8 [P]. 2017-08-04.

[14] HUI JY, YING Y, FENG JY, *et al*. Bitterness and astringency of tea leaves and products: Formation mechanism and reducing strategies [J]. Trends in Food Science & Technology, 2022(123): 130–143.

[15] 肖文军, 杨伟丽, 龚志华. 苦丁茶鲜叶加工技术研究[J]. 湖南农业大学学报, 2000(4): 278–281.
XIAO WJ, YANG WL, GONG ZH. Processing techniques of fresh leaves of *Ilex Kudincha* C.J.T seng [J]. Journal of Hunan Agricultural University, 2000(4): 278–281.

[16] 张明, 李熠桓, 方惟依, 等. 茶叶主要化学成分的检测方法及应用研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(22): 175–183.
ZHANG M, LI YH, FANG WY, *et al*. Research progress on the detection methods and application of main chemical components in tea [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(22): 175–183.

[17] 陈梅春, 陈善明, 马秋梅, 等. 基于广泛靶向代谢组学的武夷肉桂加工过程代谢物的动态变化[J]. 食品科学, 2025, 46(8): 221–234.
CHEN MC, CHEN SM, MA QM, *et al*. Dynamics change of metabolites during the manufacturing process of wuyi rougui tea (*Camellia sinensis cv*. Rougui) revealed by widely targeted metabolomics analysis [J]. Food Science, 2025, 46(8): 221–234.

[18] VASILEV N, BOCCARD J, LANG G, *et al*. Structured plant metabolomics for the simultaneous exploration of multiple factors [J]. Scientific Reports, 2016, 6: 37390.

[19] ZELENA E, DUNN WB, BROADHURST D, *et al*. Development of a robust and repeatable UPLC-MS method for the long-term metabolomic study of human serum [J]. Analytical Chemistry, 2009, 81(4): 1357–1364.

[20] WANT EJ, MASSON P, MICHOPOULOS F, *et al*. Global metabolic profiling of animal and human tissues via UPLC-MS [J]. Nature Protocols, 2013, 8(1): 17–32.

[21] 颜祥云, 毛忠华, 黄文新, 等. HPLC 同时测定裸花紫珠叶中金石蚕苷、阿克苷和木犀草苷含量[J]. 哈尔滨医科大学学报, 2017, 51(2): 127–130.
YAN XY, MAO ZH, HUANG WX, *et al*. Simultaneous determination of poliumoside, acteoside and luteolin in the leaves of *C. nudiflora* by HPLC [J]. Journal of Harbin Medical University, 2017, 51(2): 127–130.

[22] NAVARRO-REIG M, JAUMOT J, GARCÍA-REIRIZ A, *et al*. Evaluation of changes induced in ricemetabolome by Cd and Cu exposure using LC-MS with XCMS and MCR-ALS data analysisstrategies [J]. Analytical

and Bioanalytical Chemistry, 2015, 407(29): 8835–8847.

[23] ABDELRAZIG S, SAFO L, RANCE GA, *et al*. Metabolic characterisation of *Magnetospirillum gryphiswaldense* MSR-1 using LC-MS-based metabolite profiling [J]. RSC Advances, 2020, 10(54): 32548–32560.

[24] 刘凯利. 茯砖茶中“金花菌”的分离及发酵特性研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2017.
LIU KL. Separation of “Junhua fungi” from fuzhuan tea and their fermentation character analysis [D]. Xi’an: Shaanxi University of Science and Technology, 2017.

[25] 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/OL]. 食品工业科技, 2025. [2025-7-24]. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2025050108
SONG QF, ZHANG ML, ZHAO W, *et al*. Quality analysis and comprehensive evaluation of guizhou export black tea [J/OL]. Science and Technology of Food Industry, 2025. [2025-7-24]. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2025050108

[26] 尹旭敏, 曾小峰, 商桑, 等. 基于 Lab 色空间分析塔罗科血橙果酒陈酿中色泽的变化[J]. 南方农业, 2020, 14(1): 45–49.
YIN XM, ZENG XF, SHANG S, *et al*. Color change of taroko blood orange wine in aging based on lab color space [J]. South China Agriculture, 2020, 14(1): 45–49.

[27] 周湘, 李思敏. 甜豆护色保脆条件优化及冻藏品质研究[J]. 广东轻工职业技术学院学报, 2022, 21(5): 25–30.
ZHOU X, LI SM. Study on the optimization of color and crisp preservation conditions and frozen storage quality of sweet soybean [J]. Journal of Guangdong Industry Polytechnic University, 2022, 21(5): 25–30.

[28] 梁伟, 周涛, 谭琪明, 等. 苦丁茶加工挥发油中活性成分初探[J]. 化学研究与应用, 2025, 37(9): 2817–2823.
LIANG W, ZHOU T, TAN QM, *et al*. Preliminary study on active components in volatile oil from Kudingcha processing [J]. Chemical Research and Application, 2025, 37(9): 2817–2823.

[29] 赵洁, 李富荣, 刘雯雯, 等. 基于非靶向代谢组学的六堡茶关键特征成分分析[J]. 食品科学, 2024, 45(22): 154–163.
ZHAO J, LI FR, LIU WW, *et al*. Non-targeted metabolomics analysis of key characteristic components in liudong tea [J]. Food Science, 2024, 45(22): 154–163.

[30] LI Q, ZHANG C, WANG H, *et al*. Study of metabolites dynamic variation during vine tea (*Ampelopsis grossedentata*) processing by untargeted metabolomics [J]. Industrial Crops & Products, 2024, 219: 119053.

[31] 黄少漫, 冯婉莹, 李洪燕. 不同制茶工艺与时间对茶叶中茶多酚含量影响的研究[J]. 饮料工业, 2013, 16(3): 26–28.
HUANG SM, FENG WY, LI HY. Study on the effect of different tea processing technology and time on the content of tea polyphenols in tea [J]. Beverage Industry, 2013, 16(3): 26–28.

[32] XIAO YS, REN Q, WU LH. The pharmacokinetic property and pharmacological activity of acteoside: A review [J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2022, 153: 113296.

[33] 沈强, 司辉清, 于洋. 苦丁茶化学成分研究进展[J]. 茶业通报, 2010, 32(1): 21–24.
SHEN Q, SI HQ, YU Y. Research progress on chemical constituents of kuding tea [J]. Journal of Tea Business, 2010, 32(1): 21–24.

(责任编辑: 蔡世佳 韩晓红)