

基于 Q-Marker 理论的乌梅核心质量标志物筛选与质量评价

李 青¹, 崔峻松², 谭芊任², 马欣欣², 陈冰清², 郭梦兰¹, 张太坤², 肖政华^{3*}

1. 贵州中医药大学第二临床医学院, 贵州 贵阳 550025

2. 贵州中医药大学第二附属医院, 贵州 贵阳 550001

3. 贵州中医药大学, 贵州 贵阳 550025

摘 要: 乌梅 *Mume Fructus* (蔷薇科植物梅 *Prunus mume* 的干燥近成熟果实) 为药食同源常用中药。《中国药典》以枸橼酸为单一含量指标, 难以全面反映其酸涩收敛药性、炮制转化、肠道局部效应和安全边界。基于中药质量标志物 (quality marker, Q-Marker) 理论, 沿传统药性、炮制加工、肠道作用、安全控制和质量传递证据链, 系统梳理乌梅化学成分、药理效应、炮制变化及安全风险研究进展。在 Q-Marker 特有性、有效性、可测性、传递与溯源原则下, 将枸橼酸、苹果酸、奎尼酸、琥珀酸、5-羟甲基糠醛 (5-hydroxymethylfurfural, 5-HMF)、mumefural 和苦杏仁苷列为现阶段证据较充分且可用于标准转化的核心 Q-Marker。3-*O*-/4-*O*-/5-*O*-咖啡酰奎宁酸、咖啡酸、原儿茶酸、对香豆酸等成分可作为功效关联候选。总多酚 (鞣质) 含量可作为涩味质量属性的辅助表征参数。黄酮、三萜和多糖目前更适合作为待验证成分群, 不宜直接等同于可量化核心 Q-Marker。5-HMF、糠醛和 mumefural 可作为炮制过程化学标志物。色度、水分和浸出物属于过程质量表征指标, 应与化学标志物分层使用。苦杏仁苷、5-HMF 上限、重金属及二氧化硫残留应纳入安全控制。提出一核心、四类指标、多环节验证的质量评价思路, 为乌梅药材、饮片、炮制品及相关制剂的质量控制和标准升级提供参考。

关键词: 乌梅; 中药质量标志物; 质量评价; 有机酸; 5-羟甲基糠醛

中图分类号: R284 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2026)20-8102-11

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.20.014

Screening and quality evaluation of core quality markers of *Mume Fructus* based on Q-Marker theory

LI Qing¹, CUI Junsong², TAN Qianren², MA Xinxin², CHEN Bingqing², GUO Menglan¹, ZHANG Taikun², XIAO Zhenghua³

1. The Second Clinical Medical College, Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang 550025, China

2. The Second Affiliated Hospital of Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang 550001, China

3. Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang 550025, China

Abstract: Wumei (*Mume Fructus*, the dried near-ripe fruit of *Prunus mume*) is a commonly used medicinal and edible traditional Chinese medicine. The *Chinese Pharmacopoeia* currently uses citric acid as the sole quantitative marker, which cannot fully represent its sour-astringent and converging properties, processing-related transformation, intestinal local effects, and safety boundaries. Guided by quality marker (Q-Marker) theory, this review evaluates chemical constituents, pharmacological effects, processing changes, and safety risks of *Mume Fructus* through the evidence chain of traditional properties, processing, intestinal action, safety control, and quality transmission. According to the core principles of specificity, effectiveness, measurability, transfer, and traceability, citric acid, malic acid, quinic acid, succinic acid, 5-HMF, mumefural, and amygdalin are proposed as current core Q-Markers with relatively sufficient evidence and standard-conversion value. Defined phenolic acids including 3-*O*-, 4-*O*-, and 5-*O*-caffeoylquinic acids, caffeic acid, protocatechuic acid, and p-coumaric acid are retained as efficacy-associated candidates, while total polyphenol (tannin) content

收稿日期: 2026-06-22

基金项目: 省部共建中医湿证国家重点实验室贵阳 (GZSYSGYGZZ-2023008); 国家中医药管理局高水平中医药重点学科建设项目 (zyydxk-2023187); 贵州省高等学校中西医结合防治疾病转化医学重点实验室 (黔教技[2023]017 号); 贵州中医药大学中西医结合防治消化系统疾病科技创新人才团队建设项目 (贵中医 TD 合字[2023]001 号)

作者简介: 李 青 (1996—), 女, 博士研究生, 中西医结合防治消化系统疾病研究方向, E-mail: liqing@gzy.edu.cn

***通信作者:** 肖政华 (1977—) 男, 教授、博士生导师, 从事中西医结合防治消化系统疾病研究。E-mail: xiaozhenghua097@126.com

serves as an auxiliary characterization parameter for astringent quality attributes. Flavonoids, triterpenoids, and polysaccharides are treated as component groups requiring further verification rather than directly as quantitative core Q-Markers. 5-HMF, furfural, and mume-fural may serve as chemical processing markers, whereas colorimetric parameters, moisture, and extractive values are process-quality descriptors that should be stratified from chemical markers. Amygdalin, the upper limit of 5-HMF, heavy metals, and sulfur dioxide residues are used as safety control indicators. This review proposes a quality evaluation strategy based on one core, four indicator layers, and multi-stage verification for quality control and standard upgrading of *Mume Fructus* crude drugs, decoction pieces, processed products, and related preparations.

Key words: *Mume Fructus*; quality marker; quality evaluation; organic acids; 5-hydroxymethylfurfural

乌梅 *Mume Fructus* 是《中国药典》收载的常用药食同源中药，来源于蔷薇科植物梅 *Prunus mume* (Sieb.) Sieb. et Zucc. 的干燥近成熟果实，药典规定其炮制药材应低温干燥至色泽变黑，并以枸橼酸含量作为含量测定指标^[1]。乌梅味酸、涩，性平，入肝、脾、肺、大肠经，具有敛肺、涩肠、生津、安蛔等功效。在这一传统认识中，“酸”不仅是味觉描述，也对应有机酸富集的化学事实；“涩”则指向收敛、固涩、止泻、止血等功用特征。若仅以枸橼酸来评价乌梅，容易把酸味成分错误地作为其全部质量内涵，忽略炮制过程中的成分转化、肠道局部暴露成分及安全性风险。

中药质量标志物 (quality marker, Q-Marker) 理论强调，质量控制对象应与中药的生物属性、传统功效、现代效应、安全性、质量传递、可测可控性及标准提升价值相联系^[2-4]。最近的 Q-Marker 研究已从单纯的成分识别逐渐转向“成分-效应-传递-安全-标准应用”的综合评价路径^[5]。已有研究从 Q-Marker 理论和分析策略角度提出了中药质量标志物的发现与验证路径^[6-8]，乌梅相关综述也对其化学成分、药理作用及潜在 Q-Marker 进行了总结^[9]，但总体仍偏向成分-药理归纳，对炮制过程、肠道局部作用、安全控制和质量传递的证据整合仍不足。鉴于此，在既有研究基础上，围绕传统功效、炮制加工、肠道作用、安全控制和质量传递的多维证据链，按特有性、有效性、可测性、传递与溯源等原则筛选乌梅 Q-Marker。本文将相关指标分为核心 Q-Marker、功效关联候选、过程质量表征指标和安全控制指标，并明确黄酮、三萜、多糖等物质类别仅作为待验证成分群，不直接等同于现阶段可量化核心 Q-Marker，以期乌梅质量标准提升提供参考。

1 乌梅药材属性与现行质量评价的关键矛盾

乌梅在历代方药中多用于久咳、久泻、久痢、虚热消渴及蛔厥腹痛等病证，其核心药性可概括为

“酸涩收敛”。从现代化学看，乌梅果实富含枸橼酸、苹果酸、奎尼酸、琥珀酸等有机酸，且含酚酸、黄酮、三萜、多糖、氨基酸、核苷、挥发性成分及苦杏仁苷^[9-15]。这些成分既有原植物和成熟度来源，也受到干燥、烟熏、炒炭、去核取肉等加工环节的影响，因此乌梅质量并非单一的成分高低问题，而是药材来源、炮制工艺、成分转化、效应指向和安全阈值共同作用的结果。

现行药典以枸橼酸含量作为主要控制指标，枸橼酸含量高、可测性好，且与乌梅“味酸”高度相关^[11,16]。但枸橼酸并非乌梅特有成分，在山楂、木瓜、覆盆子等多种酸味药材或食品中也广泛存在^[11]。同时，不同品种、产地、采收期和加工方式也会显著改变有机酸的组成比例，仅控制枸橼酸难以识别熏制、烘制、炭制和不同产区样品间的质量差异^[12-13,17-19]。因此，乌梅质量评价的关键矛盾在于传统功效指向多维成分和多环节传递，而标准控制仍偏向单一的基础酸性指标。

2 乌梅基础质量属性及功效关联成分

酸味药性是基础质量属性，即有机酸是其最直接的物质基础，主要包括枸橼酸、苹果酸、奎尼酸、琥珀酸、酒石酸、富马酸等有机酸。例如，曹富等^[11]对 5 种有“味酸”药性的蔷薇科果实类药材进行测定，发现乌梅的 pH 最低、可滴定总酸较高，且有机酸谱能较好地解释酸味药性的物质基础。单测定不同海拔、不同采收期的乌梅样品，发现枸橼酸、苹果酸含量存在差异，提示有机酸谱不仅反映药性，也可用于产地与采收质量评价^[12]。采用超高效液相色谱-四极杆飞行时间串联质谱 (ultra-performance liquid chromatography-quadrupole time-of-flight tandem mass spectrometry, UPLC-QTOF-MS/MS) 结合液相色谱-串联质谱 (liquid chromatography-tandem mass spectrometry, LC-MS/MS) 和化学计量学方法，进一步证实不同加工

品中的 11 种有机酸含量差异明显^[13], 可作为区分加工方式和评价内在质量的基础指标。

然而, 乌梅评价不能只看“总酸”或单一枸橼酸峰。不同加工方法的乌梅超高效液相色谱 (ultra-performance liquid chromatography, UPLC) 特征图谱及模式识别研究表明, 炮制方式会改变样品的整体化学轮廓, 模式识别可辅助区分不同加工品^[19-20]。反相高效液相色谱 (reversed-phase high-performance liquid chromatography, RP-HPLC) 测定结果也表明, 不同炮制品及不同部位中枸橼酸含量存在差异, 说明去核、取肉、炒制等处理环节会影响基础指标的转移和保留^[21]。因此, 枸橼酸虽适合作为基础必测指标, 但更合理的应是把枸橼酸、苹果酸、奎尼酸等有机酸谱与特征图谱结合, 用于识别来源、加工和部位差异。

涩味与收敛是质量属性的候选方向。鞣质和总多酚含量可作为乌梅涩味及收敛质量属性的辅助表征参数。涩味多与多酚类化合物的蛋白结合能力有关, 能从感官和药性两个层面连接味涩与收敛、涩肠等传统功效。例如, 杨琳琳等^[20]在乌梅炭炮制终点研究中将鞣质纳入内在质量指标, 发现其与色度、水分、水溶性浸出物及枸橼酸等指标共同反映炮制过程变化。关于多阶段加工的研究也提示^[18], 总多酚、总黄酮和抗氧化能力会随加工条件变化而改变。需要指出的是, 鞣质是多酚类化合物中能与蛋白质结合的一类物质, 总多酚的测定范围更广泛, 两者并非等同; 比色法测定的总多酚和鞣质易受其他还原性成分的干扰, 方法特异性有限。因此, 总多酚和鞣质含量可作为涩味质量属性的辅助表征参数, 但均属于类别层级的总量指标, 其具体单体组成、蛋白结合能力、批间波动范围及与涩肠止泻效应的剂量-效应关系仍需进一步验证, 目前不宜直接等同于明确成分层级的 Q-Marker 候选。

从成分存在到效应关联来看, 乌梅功效相关成分需要区分具体成分与物质类别。现有证据较明确的对象包括 3-O-/4-O-/5-O-咖啡酰奎宁酸、咖啡酸、原儿茶酸、对香豆酸等酚酸类成分, 这些成分具有抗氧化、抗炎和肠道黏膜保护潜力, 且在干燥过程中可发生降解或转化^[17,22]。黄酮类中的芦丁、槲皮素、山柰酚及其苷类, 三萜类中的齐墩果酸和熊果酸, 以及多糖类成分, 虽具有抗炎、抗氧化、免疫调节或肠道菌群调节等研究基础^[9-10,23-27], 但目前多为类别或代表成分层面的证据。由于其乌梅特征

性、炮制稳定性和体内或肠道局部暴露证据仍不充分, 本文将其作为待验证成分群, 不直接列为现阶段核心 Q-Marker。

3 炮制加工: 从经验黑化到质量控制

乌梅加工的传统要求是“低温干燥, 至色变黑”。色变虽可作为经验性判别, 但黑化程度并不等同于最佳质量。随着炒制时间延长, 乌梅炭样品颜色逐渐加深, 水分、水溶性浸出物、枸橼酸、鞣质等内在指标与 L^* 、 a^* 、 b^* 、 E^* 等色度值显著相关, 40~50 min 更适宜作为乌梅炭炮制终点范围^[20], 提示颜色可作为工艺终点的可视化线索, 但必须与内在成分、药效及安全指标联合判断。

在既有乌梅化学成分和药理作用研究基础上, 进一步关注加工过程成分群, 有助于完善乌梅质量评价的过程控制维度。乌梅由青梅或近成熟果实经干燥变黑而成, 干燥、湿热、烟熏、炒炭等过程会引起水分迁移、褐变反应、糖酸转化、酚酸降解及糠醛类生成^[17-19,28]。比较原果与炮制品后发现^[17], 挥发性和非挥发性成分均发生显著变化, 原品、乌梅肉和乌梅炭可在正交偏最小二乘判别分析 (orthogonal partial least squares-discriminant analysis, OPLS-DA) 模型中明显分区。温湿度控制能显著影响乌梅褐变程度、抗氧化能力、总多酚、总黄酮及枸橼酸含量^[18]。

从 Q-Marker 研究角度看, 炮制过程至少产生 3 类证据。一是原有基础成分的保留或下降, 如枸橼酸、苹果酸等有机酸在部分加工中降低; 二是酚酸、咖啡酰奎宁酸类等发生降解转化, 形成更易检测并可能参与抗炎作用的小分子酚酸; 三是褐变相关成分如 5-羟甲基糠醛 (5-hydroxymethylfurfural, 5-HMF)、糠醛、5-甲基糠醛和 mume-fural (乌梅醛) 生成^[17-18,22,28-31]。比较青梅、乌梅及不同提取物发现^[22], 干燥后 mume-fural 和苦杏仁苷含量增加, 咖啡酰奎宁酸类及香豆酰蔗糖酯类发生转化, 并筛选出枸橼酸、3-O-/5-O-/4-O-咖啡酰奎宁酸、咖啡酸、原儿茶酸、对香豆酸等与抗炎活性和加工过程相关的质量标志物候选。

需要强调的是, 5-HMF 在乌梅质量评价中具有双重属性。一方面, 5-HMF 是热加工和美拉德反应的重要产物, 可反映炮制温湿度、褐变程度和贮藏变化; 另一方面, 食品科学研究已将其列为热加工质量和潜在安全风险指标^[28-31]。因此, 乌梅标准提升不宜简单追求 5-HMF 含量越高越好, 未来应基于多

批次炮制样品、药效模型和毒理暴露数据探索合理区间,即低于工艺识别下限可能提示炮制不足,过高则可能提示过度加热或潜在安全风险增加。

4 药理效应应回到传统功效主线

以乌梅传统功效主线为框架,可将现有药理证据按“敛肺止咳、涩肠止泻、生津止渴、安蛔止痛”四大临床使用场景进行归位与重构。如乌梅敛肺止咳与抗炎、抗过敏、免疫调节及气道炎症模型相关;涩肠止泻与肠道炎症、菌群失衡、乳糖酶活性、短链脂肪酸和肠屏障相关;生津止渴与有机酸、抗氧化及糖脂代谢相关;安蛔止痛则与有机酸抑菌、肠道微环境调节及配伍效应相关^[22-23,32-44]。这种重构有助于避免药理作用越多越好的罗列,而将效应证据落实到药性和临床使用场景。

有机酸是乌梅酸味和基础效应的主要物质基础。总有机酸提取物显示抗氧化活性,有机酸还可通过核因子-红细胞 2 相关因子 2 (nuclear factor erythroid 2-related factor 2, Nrf2)/抗氧化反应元件 (antioxidant response element, ARE) 等通路减轻氧化应激损伤^[23,32]。研究发现,乌梅提取物可影响李斯特菌细胞膜和 DNA 合成,枸橼酸可抑制肺炎克雷伯菌生长及荚膜多糖生物合成,乌梅与黄连、五味子等配伍也表现出抗菌协同作用^[33-35]。这些证据支持有机酸谱用于解释酸味属性、抗氧化和部分抗菌作用,但不足以单独解释涩肠止泻中的肠道菌群调节、黏膜屏障保护和炎症免疫调节,也不足以解释苦杏仁苷相关的功效与安全边界。因此,乌梅功效关联评价还需结合酚酸、鞣质/多酚、多糖及苦杏仁苷等指标,并区分单味、药对和复方证据^[22,36-40,43]。

鉴于乌梅涩肠止泻等传统功效及现有肠炎、菌群和肠屏障相关研究基础,肠道局部暴露与效应关联是后续乌梅质量评价中需要重点强化的证据层之一。乌梅丸在 TNBS 结肠炎大鼠中可改善炎症状态并影响细胞因子水平,乌梅水煎物在实验性溃疡性结肠炎小鼠中也显示抗炎作用^[36-37]。例如, Liu 等^[22]把乌梅成分、抗结肠炎活性和候选 Q-Marker 进行了关联;系统药理学和实验验证乌梅-黄连药对作用,可降低肿瘤坏死因子- α (tumor necrosis factor- α , TNF- α)、白细胞介素-8 (interleukin-8, IL-8)、IL-17 并升高 IL-4,作用与丝裂原激活蛋白激酶 1 (mitogen-activated protein kinase 1, MAPK1) 等炎症免疫相关靶点有关^[38]。方剂层面,乌梅散可改善

菌群失调性腹泻小鼠乳糖酶活性和菌群多样性^[39],乌梅丸可调节 2 型糖尿病模型大鼠的肠道菌群、炎症因子和短链脂肪酸^[43],张崇豪等^[40]基于菌群人源化 UC 模型揭示乌梅丸加减对 Th17/Treg 平衡和肠道菌群具有调节作用。从肠道生态学角度看,菌群失衡、炎症驱动的菌群改变、短链脂肪酸-GPCR 信号、Toll 样受体介导的肠道稳态维持以及黏膜屏障完整性均与炎症性肠病和慢性腹泻密切相关^[45-52]。这为乌梅涩肠止泻功效的现代效应解释提供了机制参照,也提示乌梅的 Q-Marker 评价不应只依赖入血成分,还应重视肠腔局部暴露、菌群代谢和肠黏膜屏障相关证据。

但乌梅丸、乌梅散及乌梅-黄连药对研究不能完全等同于单味乌梅证据。乌梅丸为复方,含黄连、黄柏、干姜、细辛、附子、桂枝、人参、当归、蜀椒等多味药;乌梅-黄连药对中的黄连小檗碱类成分对肠炎、菌群和炎症因子的贡献也不可忽视。因此,乌梅药效证据宜区分为单味乌梅证据、乌梅相关配伍证据和乌梅复方证据。复方或药对研究可提示乌梅临床应用场景和潜在效应方向,但用于支持单味乌梅 Q-Marker 时仍需谨慎。

苦杏仁苷的证据提示“功效-安全”双重评价的必要性。例如,在结肠炎模型中,苦杏仁苷可减轻炎症、氧化应激、肠上皮凋亡和铁死亡,并调节肠道菌群结构^[53]; Shi 等^[54]的综述也指出苦杏仁苷具有多种药理潜力,但其氰苷属性存在安全边界问题。此外,关于桃仁等蔷薇科种仁挥发油及苦杏仁苷水解产物抗溃疡性结肠炎作用的研究也提示氰苷类或其转化产物可能参与肠道效应。因此,苦杏仁苷更适合定位为安全控制指标兼待验证效应候选^[55]。

5 质量评价技术与“鲜果-药材-饮片-煎液-肠道/体内”传递链

乌梅质量评价技术已从单指标高效液相色谱 (high-performance liquid chromatography, HPLC) 逐步扩展到指纹图谱、UPLC-QTOF-MS/MS、气相色谱-质谱联用 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)、超高效液相色谱-串联质谱 (ultra-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, UPLC-MS/MS)、电感耦合等离子体质谱 (inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS) 及化学计量学。比如, Wang 等^[13]鉴定了不同加工方式乌梅中的 41 个化合物,并同时测定

11 个有机酸,可较快反映不同加工样品的主成分差异。Li 等^[14]建立超高效液相色谱-四极杆线性离子阱串联质谱 (ultra-performance liquid chromatography-quadrupole linear ion trap tandem mass spectrometry, UPLC-QTRAP-MS/MS) 方法,对 12 批不同干燥方式样品中 47 个活性成分进行主成分分析 (principal component analysis, PCA) 综合评价,为多成分一致性评价提供了方法学基础。通过超快速液相色谱-串联质谱 (ultra-fast liquid chromatography-tandem mass spectrometry, UFLC-MS/MS) 比较氨基酸和核苷^[15],显示不同品种乌梅可通过 PCA、OPLS-DA 和逼近理想解排序法 (technique for order preference by similarity to ideal solution, TOPSIS) 区分质量差异,提示辅助营养成分也可用于药食同源属性评价。

然而, Q-Marker 不是能测到的成分清单,而是要能贯通质量传递。乌梅质量传递至少包括 5 个环节,分别是鲜果品种和成熟度决定初始酸糖、酚酸、鞣质/多酚和甾苷基础;干燥和炮制决定褐变、酚酸降解、5-HMF 和 mumeifural 形成;饮片和制剂制备

决定水煎、醇提或配伍条件下成分释放;肠道局部暴露决定涩肠止泻和菌群调节效应;经肠道吸收的入血成分及其代谢产物决定系统性抗炎、免疫调节和安全风险^[6-8,12-13,17,22,38-40,43]。因此,乌梅质量评价不应仅关注药材端的基础成分检测,还需考虑成分在加工、制剂和体内过程中的传递与转化,因此应扩展为“生产加工-制剂制备-效应部位暴露”的链式评价。乌梅传递链及关键证据如图 1 和表 1 所示。

在这一链条中,枸橼酸、苹果酸、奎尼酸和琥珀酸可作为有机酸谱的基础必测成分,5-HMF 和 mumeifural 可作为炮制过程化学标志物,苦杏仁苷可作为安全边界成分。3-O-/4-O-/5-O-咖啡酰奎宁酸、咖啡酸、原儿茶酸、对香豆酸等可作为功效关联候选,总多酚(鞣质)含量可作为涩味质量属性的辅助表征参数。色度、水分和浸出物用于过程质量表征,不与化学 Q-Marker 混为一类。黄酮、三萜及多糖的现有证据多停留在物质类别或代表成分层面,可作为后续研究储备,不直接列入现阶段核

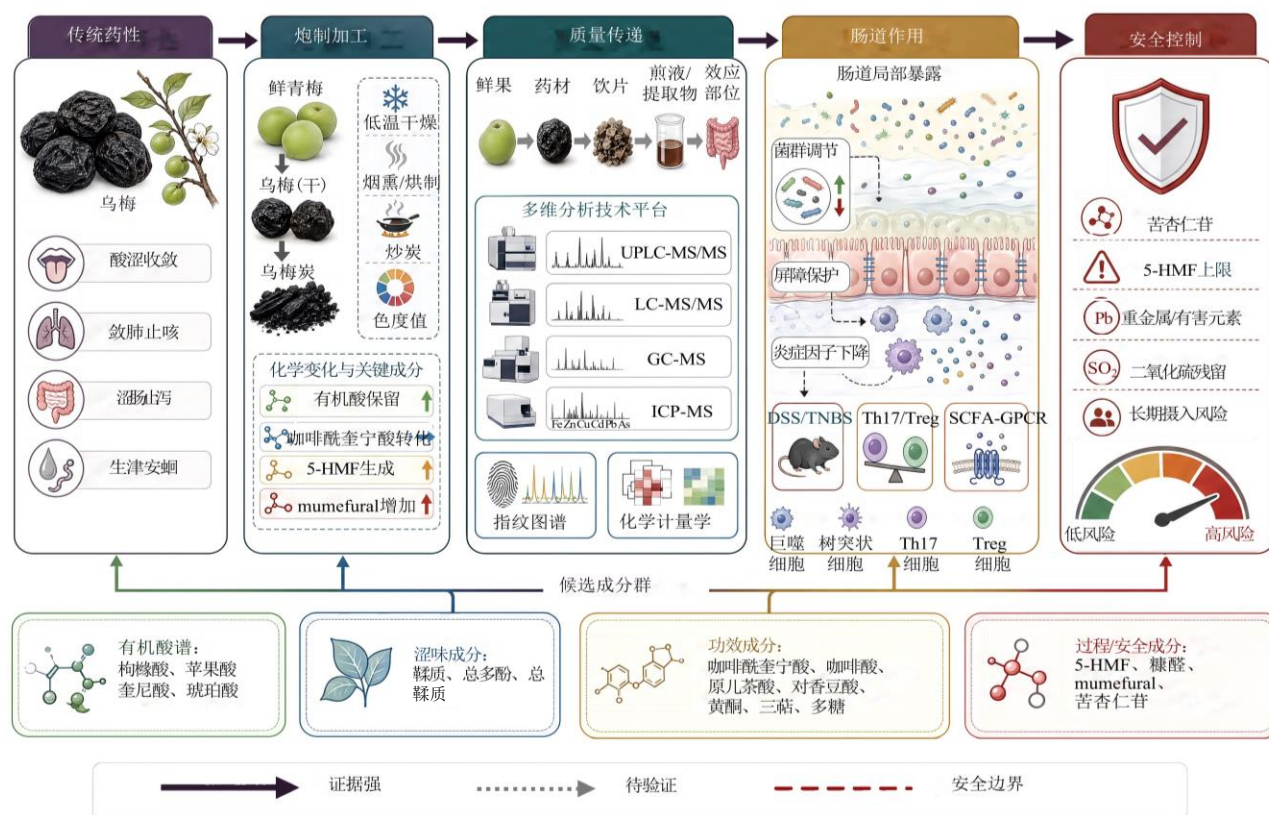


图 1 乌梅 Q-Marker “传统药性-炮制加工-肠道作用-安全控制-质量传递”证据链示意图

Fig. 1 Schematic illustration of “traditional medicinal properties-processing-intestinal effects-safety control-quality transfer” evidence chain for quality markers (Q-Markers) of *Mume Fructus*

表 1 乌梅质量传递链及关键证据缺口

Table 1 Quality transfer chain of *Mume Fructus* and key evidence gaps

传递环节	已有证据	关键缺口	质量评价启示
鲜果-药材	有机酸、酚酸、褐变成分存在差异	品种、成熟度、采收期系统研究不足	建立资源与采收质量数据库
药材-饮片/炮制品	有机酸、色度、鞣质、5-HMF 等随加工变化	炮制终点与药效、安全关联不足	建立过程控制指标组合
饮片-煎液/提取物	多成分可测方法已建立	水煎转移率、配伍影响研究不足	关注制剂制备条件下的成分释放
煎液-肠道局部	肠炎、菌群、屏障相关药效研究较多	肠腔暴露浓度和菌群代谢产物研究不足	强化肠道局部暴露 Q-Marker 评价
肠道-系统暴露	个别药理和代谢研究提示系统效应	血药浓度、组织分布和长期安全暴露不足	区分局部效应与系统效应标志物

心 Q-Marker。换言之，乌梅 Q-Marker 体系不是取消枸橼酸，而是将其纳入可测、可传递、可溯源的核心成分组合，再与功效候选和安全限度共同形成分层质量控制网络。

6 基于 Q-Marker 理论的乌梅候选标志物分类

6.1 筛选、候选标志物分类原则

结合 Q-Marker 理论和技术指南，本文按以下原则筛选乌梅候选质量标志物。第一，特有性，指标应能反映乌梅药材、炮制品或特定加工过程的质量差异，而不是常见成分的简单罗列。第二，有效性，指标应与酸涩收敛药性、肠道相关效应或安全风险存在明确证据联系。第三，可测性，指标应具有可重复的定量检测方法。第四，传递与溯源，指标应能在药材、饮片、炮制品、煎液、肠道局部或体内过程中追踪。第五，标准转化价值，指标应能服务于质量分级、过程控制或安全限度设定^[2-4,6-8]。据此，本文将现阶段证据较充分的具体成分锁定为核心 Q-Marker，并将证据不足的物质类别降级为待验证成分群，筛选路径如图 2。

根据上述原则，现阶段可优先锁定的乌梅核心 Q-Marker 为枸橼酸、苹果酸、奎尼酸、琥珀酸、5-HMF、mumefural 和苦杏仁苷。枸橼酸、苹果酸、奎尼酸和琥珀酸代表有机酸谱，直接关联味酸药性和药典枸橼酸控制基础，并可反映产地、采收和加工差异^[11-13,16]。5-HMF 和 mumefural 具有炮制传递特征，可反映干燥、褐变、炒炭和贮藏过程^[17-18,22,28-31]。苦杏仁苷具有明确可测性和安全边界意义，可用于药食同源使用场景下的风险控制^[53-55]。总多酚（鞣质）含量可作为涩味质量属性的辅助表征参数，但

其属于类别层级的总量指标而非明确的单一成分，具体单体组成和量效关系仍需验证，目前不宜直接列为 Q-Marker 候选。

6.2 功效关联候选

功效关联候选应尽量落实到可检测的具体成分。现有证据支持将 3-O-/5-O-/4-O-咖啡酰奎宁酸、咖啡酸、原儿茶酸和对香豆酸列为较明确的酚酸类候选^[10,13,22,30]。这些成分的变化与抗结肠炎活性和炮制转化有关，适合作为功效质量评价和后续机制验证的重点^[22]。芦丁、槲皮素、山柰酚、金丝桃苷、齐墩果酸和熊果酸等可作为黄酮或三萜类代表成分记录，但其在乌梅中的特征性、炮制稳定性、肠道或体内暴露量与效应剂量关系仍需补充。多糖目前以中性多糖、酸性多糖及单糖组成等层面报道为主，结构-效应关系尚不足以支撑其作为单体化核心 Q-Marker。因此，黄酮、三萜和多糖在本文中调整为待验证成分群，不再直接列为现阶段核心 Q-Marker。

6.3 炮制过程标志物

炮制过程的化学标志物以 5-HMF、糠醛、5-甲基糠醛和 mumefural 为代表。色度值、水分、浸出物等属于物理性状或常规检查项，更适合作为过程质量表征指标，不宜与上述化学标志物并列为同一类 Q-Marker。5-HMF、糠醛和 mumefural 可反映干燥、褐变、炒炭和贮藏过程中的质量传递，其中 mumefural 在干燥后增加并与抗炎 Q-Marker 筛选研究相关，5-HMF 则兼有工艺识别和潜在安全风险属性^[17-18,20,22,28-31]。因此，炮制过程标志物的标准定位不应是单纯的越高越好，而应建立与工艺充分性、

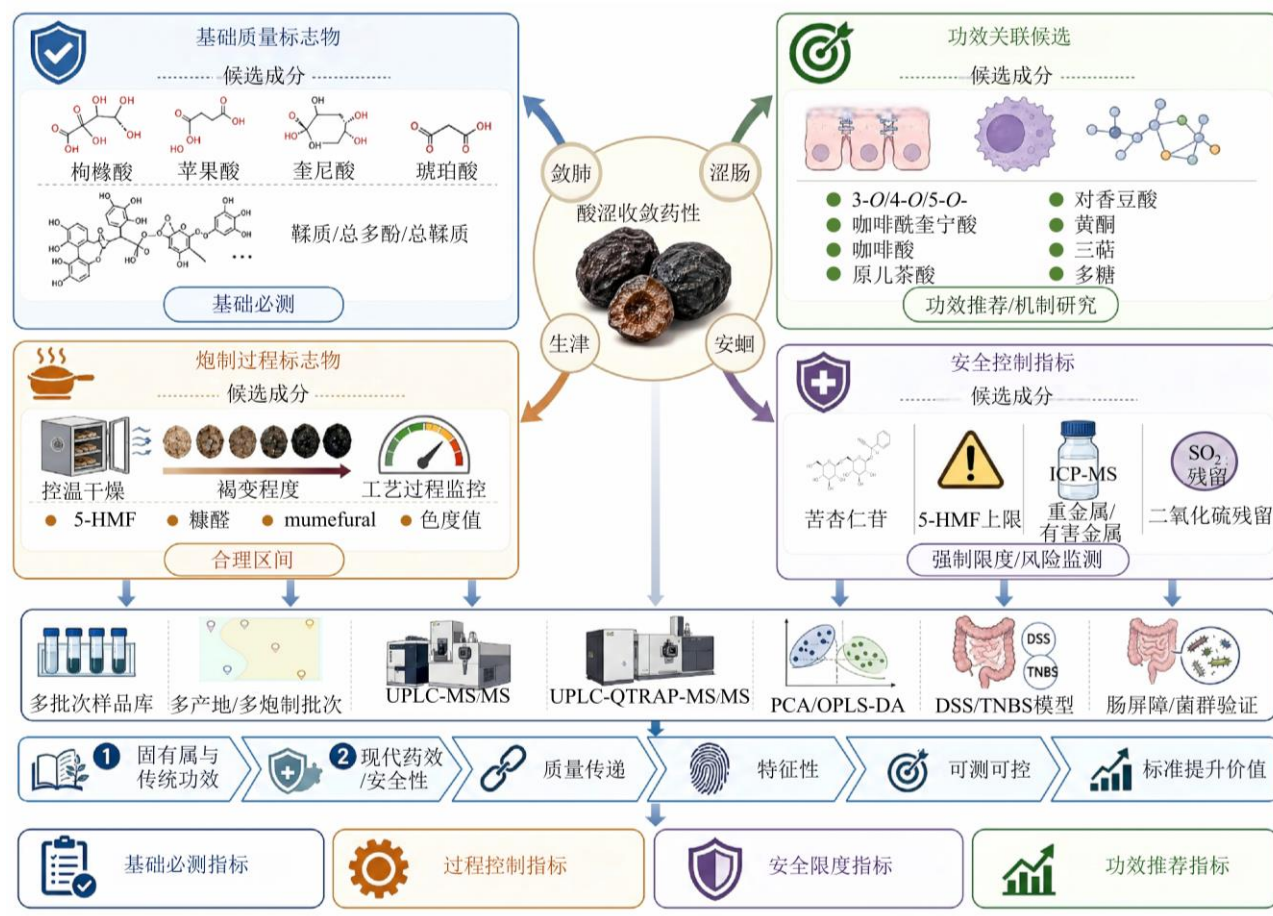


图 2 Q-Marker 筛选路径

Fig. 2 Q-Marker screening pathway

成分保留和安全上限相匹配的合理区间。色度可作为终点判断的辅助指标, 应与化学指标分层使用。

6.4 安全控制指标

指标包括苦杏仁苷、5-HMF 上限、重金属及有害元素、二氧化硫残留等。其中, 苦杏仁苷虽有肠道抗炎和菌群调节研究基础, 但氰苷属性决定其必须优先纳入安全边界; 5-HMF 既可表征热加工, 也需防止过度加热导致风险增加; 重金属、有害元素和二氧化硫残留则直接关系药食同源中药长期使用安全^[10,28-31,53-56]。安全控制指标可能未必贡献主要药效, 但能作为药食同源中药长期使用风险控制的重要组成部分。

7 乌梅候选 Q-Marker 证据

基于 Q-Marker 理论, 结合乌梅传统药性、现代药效、炮制加工、质量传递和安全控制证据, 本文将乌梅相关指标分为核心 Q-Marker、功效关联候选、过程质量表征指标和安全控制指标。核心 Q-Marker 重点锁定枸橼酸、苹果酸、奎尼酸、琥珀

酸、5-HMF、mumeifural 和苦杏仁苷。水分、水溶性浸出物和色度等常规或物理性状指标单独列出, 见表 2。

Q-Marker 筛选不仅应关注成分的可测性, 还应同时判断特有性、有效性、传递与溯源价值。为明确乌梅不同功效方向下的主要效应基础和质量评价重点, 本文基于传统功效、现代效应、相关成分和证据来源对现有研究进行归纳, 见表 3。

乌梅质量评价应以酸涩收敛药性为核心, 重点关注枸橼酸、苹果酸、奎尼酸、琥珀酸、5-HMF、mumeifural、苦杏仁苷等可测具体成分, 以及总多酚(鞣质)和酚酸类候选指标在敛肺、涩肠、生津和安蛔等功效中的差异化贡献。黄酮、三萜和多糖仅作为待验证成分群, 后续仍需加强单味乌梅的效应验证、暴露研究和质量传递研究。

8 乌梅质量标准提升的“一核心、四类指标、多环节验证”构想

基于上述证据, 建议乌梅质量标准可采用“一

表 2 乌梅核心 Q-Marker、功效候选与常规质量控制指标的证据分层及标准定位
 Table 2 Evidence stratification and positioning within quality standards of core Q-Markers, efficacy-related candidates, and routine quality control indicators for *Mume Fructus*

类别	指标或成分 层级	代表成分或指标	质量属性	主要证据	建议用途
核心 Q-Marker	有机酸谱	枸橼酸、苹果酸、奎尼酸、琥珀酸	酸味药性物质基础；基础质量属性	与味酸药性、产地和采收差异、加工品差异相关，枸橼酸已为药典指标	基础必测成分组合，建议由单一枸橼酸扩展为有机酸谱评价
酸涩属性辅助 表征参数	总多酚（鞣质）	鞣质、总多酚	涩味与收敛属性辅助表征参数	与涩味、收敛属性及乌梅炭炮制内在质量相关，但方法特异性和量效关系仍需验证	与有机酸谱联合评价酸涩质量属性，作为辅助表征参数，不列为 Q-Marker 候选
功效关联候选	酚酸/咖啡酰奎宁酸类	3-O-/4-O-/5-O-咖啡酰奎宁酸、咖啡酸、原儿茶酸、对香豆酸	抗炎、抗氧化及加工传递相关指标	具有抗结肠炎活性和炮制转化证据，是功效关联较明确的具体成分	功效推荐指标和重点验证对象
待验证成分群	黄酮类代表成分	芦丁、槲皮素、山柰酚、金丝桃苷等	抗炎、抗氧化和代谢调节相关成分	药理活性基础较多，但乌梅特征性、炮制稳定性和暴露证据不足	研究储备，不列为现阶段核心 Q-Marker
待验证成分群	三萜类代表成分	齐墩果酸、熊果酸等	抗炎、细胞保护等潜在功效成分	具有一定药理基础，但含量、传递性及量效关系证据不足	研究储备，不列为现阶段核心 Q-Marker
待验证成分群	多糖类	中性多糖、酸性多糖及单糖组成	免疫调节、菌群调节和肠屏障保护候选	与涩肠止泻和肠道局部作用方向一致，但结构-效应关系不足	肠道效应研究储备，不列为现阶段核心 Q-Marker
炮制过程化学标志物	褐变/热加工产物	5-HMF、糠醛、5-甲基糠醛、mumefural	炮制、褐变和干燥转化指标	可反映干燥、炒炭、褐变和贮藏过程；5-HMF 兼具安全风险属性	建立合理区间或上限控制
过程质量表征指标	物理性状与常规检查项	色度、水分、水溶性浸出物	炮制终点和外观与内在质量关联指标	与乌梅炭颜色变化及枸橼酸、鞣质等内在指标相关	辅助判断炮制终点，不作为化学 Q-Marker
安全控制核心指标	苦杏仁苷	苦杏仁苷及其水解相关产物	安全边界指标，兼具潜在肠道效应	有肠炎和菌群调节研究基础，但氰苷属性带来安全风险	安全限度指标，兼效应候选
安全控制指标	外源性风险指标	重金属、有害元素、二氧化硫残留等	药食同源安全控制指标	直接关系长期使用安全，检测方法成熟	强制安全限度指标

5-HMF 兼具炮制过程标志物和安全风险指标属性，宜采用合理区间或上限控制；色度为物理性状或过程表征指标，用于辅助判断炮制终点，不作为化学 Q-Marker。

5-HMF serves both as a marker for the processing procedure and an indicator for safety risks; thus, it should be controlled within a reasonable range or by an upper limit. Color is a physical property or process characterization indicator used to assist in judging the processing endpoint and shall not be regarded as a chemical Q-Marker.

核心、四类指标、多环节验证”的思路。一核心指以酸涩收敛药性和质量传递为主线。4 类指标包括核心 Q-Marker、功效关联候选、过程质量表征指标和安全控制指标。其中，核心 Q-Marker 以枸橼酸、苹果酸、奎尼酸、琥珀酸、5-HMF、mumefural 和苦杏仁苷为现阶段优先成分。功效关联候选以 3-O-/5-O-/4-O-咖啡酰奎宁酸、咖啡酸、原儿茶酸、对香豆酸等为重点，总多酚（鞣质）含量可作为涩味属性的辅助表征参数。芦丁、槲皮素、山柰酚、金丝桃苷、齐墩果酸、熊果酸和多糖类成分可作为研究储备，不直接列入现阶段核心 Q-Marker。过程质量表征指标包括色度值、水分和水溶性浸出物。安全控制指标包括 5-HMF 上限、重金属、有害元素及二氧化硫残留^[10-14,16-18,20,22,28-31,53-56]。验证环节上，可先

表 3 基于传统功效重构的乌梅药理效应与证据链
Table 3 Pharmacological effects and evidence chains of *Mume Fructus* reconstructed based on traditional therapeutic functions

传统功效	现代效应重构	相关成分（群）	证据来源类型	质量评价启示
敛肺止咳	气道炎症、抗过敏、免疫调节	有机酸谱、黄酮类代表成分、苦杏仁苷	单味及配伍研究为主	有机酸谱可解释酸味和部分基础效应，黄酮类代表成分需进一步验证
涩肠止泻	肠炎改善、菌群调节、乳糖酶活性、屏障保护	有机酸谱、酚酸类、鞣质/多酚、多糖、苦杏仁苷	单味、药对及复方证据并存	应建立肠道局部暴露 Q-Marker 链条，并区分核心成分和待验证成分群
生津止渴	酸味刺激、抗氧化、糖脂代谢调节	有机酸谱、黄酮类代表成分、三萜类代表成分	单味及复方研究	有机酸谱与代谢效应可联合评价，黄酮和三萜仍需单味乌梅证据
安蛔止痛	肠道微环境、抑菌、配伍调节	有机酸、酚酸、挥发性成分	抑菌、配伍研究	适合与菌群和抑菌活性联合验证

建立多批次药材、不同产地、不同炮制方式样品库，采用 UPLC-MS/MS 或 UPLC-QTRAP-MS/MS 实现枸橼酸、苹果酸、奎尼酸等有机酸及咖啡酸、咖啡酰奎宁酸、芦丁、槲皮素、苦杏仁苷等多类成分的同步测定^[13-14]；同步采用色度值、水分、水溶性浸出物、总多酚、总鞣质、5-HMF 和 mumefural 监测炮制终点^[18,20-22]；再以肠炎、菌群失调性腹泻、肠屏障模型等验证成分群与涩肠止泻效应的关联^[22,36-40]。最终标准可采取基础必测成分、过程表征指标、安全限度指标和功效推荐指标的分层策略，使不同证据强度的指标承担相应质量控制功能。

此外，标准落地还应区分不同用药形态。乌梅药材应重点关注有机酸谱、总多酚（鞣质）、苦杏仁苷及安全残留；乌梅肉应关注有机酸转移率、苦杏仁苷降低情况及水煎释放；乌梅炭应关注色度等过程表征指标，以及 5-HMF、糠醛、鞣质变化和枸橼酸保留率；乌梅相关制剂则应关注水煎转移率、配伍稳定性、肠道暴露和安全边界。通过分品类、分工艺、分用途建立指标体系，可提高质量控制的针对性和可执行性。

9 局限性与展望

本文存在以下局限性。第一，Q-Marker 候选主要基于已发表文献的系统调研和人工判断，未采用网络药理学、分子对接等计算工具进行系统验证。第二，核心 Q-Marker 和分层体系尚属理论框架，缺少多批次、多产地样品的实验验证数据，定量阈值有待后续确定。第三，功效关联候选的证据多来源于复方或药对研究，单味乌梅的独立效应证据仍然

有限。第四，质量传递的讨论多基于文献推断，尚未涉及系统的体内药动学或肠道暴露量实测数据。此外，当前领域还面临多中心样品研究不足，效应验证偏重单一炎症指标、炮制过程标志物的安全阈值尚未建立、以及药食同源属性下特殊人群安全评价仍薄弱等问题。

未来研究可从以下路径推进：建立乌梅药材和炮制品的多维质量数据库，统一记录产地、品种、采收期、加工方式、色度、含水量及多成分谱；开展以肠道局部暴露为核心的效应研究，重点关注有机酸谱、总多酚（鞣质）、酚酸、多糖和苦杏仁苷在肠道菌群及黏膜屏障中的作用；构建过程质量表征、化学标志物和安全限度相结合的标准。只有把传统药性、炮制过程、肠道效应、安全控制和质量传递连成证据链，乌梅 Q-Marker 研究才能从成分预测走向标准落地。

10 结语

乌梅 Q-Marker 研究应以酸涩收敛药性为主线。现阶段可优先纳入核心 Q-Marker 的成分包括枸橼酸、苹果酸、奎尼酸、琥珀酸、5-HMF、mumefural 和苦杏仁苷。3-O-4-O-5-O-咖啡酰奎宁酸、咖啡酸、原儿茶酸、对香豆酸等可作为功效关联候选，总多酚（鞣质）含量可作为涩味属性的辅助表征参数。黄酮、三萜和多糖应作为待验证成分群。色度、水分和浸出物用于过程质量表征，5-HMF 上限、重金属和二氧化硫残留应作为安全控制指标。围绕核心 Q-Marker、功效关联候选、过程质量表征指标和安全控制指标建立证据分层，有助于把传统药性、现

代效应、加工传递和风险控制整合为可测、可控、可追溯的质量评价体系。为乌梅药材、饮片、炮制品及相关制剂的标准提升提供参考。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 靳雅珂, 张颖, 柯鑫, 等. 基于熵权法结合层次分析法和反向传播神经网络优选乌梅肉炮制工艺 [J]. 中草药, 2026, 57(10): 3753-3763.
- [2] 中华中医药学会《中药质量标志物研究技术指南》编写组. 中药质量标志物研究技术指南 [J]. 中草药, 2025, 56(7): 2249-2252.
- [3] Zhang T J, Bai G, Liu C X. Innovation theory, technical methods and industrial application of quali Chinese medicine [J]. *Chin Herb Med*, 2025, 17(1): 84-86.
- [4] 刘昌孝, 陈士林, 肖小河, 等. 中药质量标志物(Q-Marker): 中药产品质量控制的新概念 [J]. 中草药, 2016, 47(9): 1443-1457.
- [5] 雷艳, 张傲雪, 王旭瑞, 等. 基于“成分-毒性-物质基础”的夹竹桃质量标志物(Q-Marker)预测分析 [J]. 中草药, 2025, 56(18): 6842-6851.
- [6] Ren J L, Zhang A H, Kong L, *et al.* Analytical strategies for the discovery and validation of quality-markers of traditional Chinese medicine [J]. *Phytomedicine*, 2020, 67: 153165.
- [7] Zhang T J, Bai G, Han Y Q, *et al.* The method of quality marker research and quality evaluation of traditional Chinese medicine based on drug properties and effect characteristics [J]. *Phytomedicine*, 2018, 44: 204-211.
- [8] He J, Feng X C, Wang K, *et al.* Discovery and identification of quality markers of Chinese medicine based on pharmacokinetic analysis [J]. *Phytomedicine*, 2018, 44: 182-186.
- [9] 杨亚焱, 王瑞, 钱程程, 等. 乌梅化学成分、药理作用研究进展及质量标志物预测 [J]. 中成药, 2023, 45(5): 1583-1588.
- [10] Gong X P, Tang Y, Song Y Y, *et al.* Comprehensive review of phytochemical constituents, pharmacological properties, and clinical applications of *Prunus mume* [J]. *Front Pharmacol*, 2021, 12: 679378.
- [11] 曹富, 况作品, 谢晓梅, 等. 5 种有“味酸”药性的蔷薇科果实类药材中水溶性有机酸的测定与分析 [J]. 北京中医药大学学报, 2017, 40(7): 578-584.
- [12] 群培, 翟雪, 金乾, 等. UPLC 法测定不同海拔及不同采收期乌梅中枸橼酸和苹果酸 [J]. 中成药, 2019, 41(6): 1338-1343.
- [13] Wang R, Cheng H, Yang Y T, *et al.* Ultra high performance liquid chromatography with quadrupole time-of-flight tandem mass spectrometry and liquid chromatography with tandem mass spectrometry combined with chemometric analysis as an approach for the quality evaluation of *Mume Fructus* [J]. *J Sep Sci*, 2022, 45(11): 1884-1893.
- [14] Li N N, Yue J Y, Wang R. Determination of multiple active components in mume fructus by UPLC-MS/MS [J]. *Metabolites*, 2025, 15(5): 312.
- [15] Ou J M, Wang R, Li X L, *et al.* Comparative analysis of free amino acids and nucleosides in different varieties of mume fructus based on simultaneous determination and multivariate statistical analyses [J]. *Int J Anal Chem*, 2020, 2020: 4767605.
- [16] 中国药典 [S]. 四部. 2020.
- [17] Wang S R, Wei S J, Zhu Y M, *et al.* Comparative investigation of the differences in chemical compounds between raw and processed *Mume Fructus* using plant metabolomics combined with chemometrics methods [J]. *Molecules*, 2022, 27(19): 6344.
- [18] Gao L, Zhang H, Wang H, *et al.* Quality evaluation and browning control in the multi-stage processing of *Mume Fructus* (Wumei) [J]. *Foods*, 2024, 13(2): 272.
- [19] 李昕, 王瑞, 李肖莉, 等. 不同加工方法乌梅 UPLC 特征图谱及模式识别研究 [J]. 中国中医药信息杂志, 2020, 27(11): 76-81.
- [20] 杨琳琳, 辛洁萍, 李千, 等. 乌梅炭炮制过程中颜色与内在质量的相关性及其炮制终点研究 [J]. 中国药房, 2023, 34(3): 289-293.
- [21] 孙全, 吴文辉, 徐冲, 等. RP-HPLC 法测定乌梅不同炮制品及不同部位中枸橼酸含量 [J]. 亚太传统医药, 2019, 15(6): 71-73.
- [22] Liu Z H, Peng Y, Ma P, *et al.* An integrated strategy for anti-inflammatory quality markers screening of traditional Chinese herbal medicine *Mume Fructus* based on phytochemical analysis and anti-colitis activity [J]. *Phytomedicine*, 2022, 99: 154002.
- [23] 邓婉婷, 管淑玉, 李瑶, 等. 乌梅总有机酸的提取优化工艺及其抗氧化活性研究 [J]. 广东药学院学报, 2015, 31(2): 171-175.
- [24] 曾文彬, 李铭杰, 朱秋花, 等. 齐墩果酸对荷淋巴瘤小鼠的抑瘤作用 [J]. 中国临床药理学杂志, 2020, 36(18): 2865-2868.
- [25] 陈伟妍, 刘春英. 熊果酸对胃癌细胞株 MGC-803 凋亡和自噬的调控及其作用机制 [J]. 中国肿瘤生物治疗杂志, 2019, 26(6): 638-643.
- [26] Zang Y Q, Zhang L P, Igarashi K, *et al.* The anti-obesity and anti-diabetic effects of kaempferol glycosides from unripe soybean leaves in high-fat-diet mice [J]. *Food Funct*, 2015, 6(3): 834-841.
- [27] Russo M, Spagnuolo C, Tedesco I, *et al.* The flavonoid

- quercetin in disease prevention and therapy: Facts and fancies [J]. *Biochem Pharmacol*, 2012, 83(1): 6-15.
- [28] 宫瑞泽, 霍晓慧, 张磊, 等. 美拉德反应对中药品质的影响及调控研究进展 [J]. *中草药*, 2019, 50(1): 243-251.
- [29] 温超, 王紫梦, 石星波, 等. 食品中丙烯酰胺与 5-羟甲基糠醛的研究进展 [J]. *食品科学*, 2015, 36(13): 257-264.
- [30] Anese M, Manzocco L, Calligaris S, *et al*. Industrially applicable strategies for mitigating acrylamide, furan, and 5-hydroxymethylfurfural in food [J]. *J Agric Food Chem*, 2013, 61(43): 10209-10214.
- [31] Michalak J, Gujska E, Czarnowska M, *et al*. Effect of storage on acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural contents in selected processed plant products with long shelf-life [J]. *Plant Foods Hum Nutr*, 2016, 71(1): 115-122.
- [32] 代天, 杨萍, 邹勇, 等. 乌梅有机酸对缺氧/复氧心肌细胞氧化应激损伤的影响及其机制 [J]. *现代医学*, 2021, 49(1): 28-33.
- [33] 耿飞, 王伟, 周涛. 乌梅提取液对李斯特菌的抑菌机理 [J]. *食品科学*, 2011, 32(15): 88-93.
- [34] Lin T H, Huang S H, Wu C C, *et al*. Inhibition of *Klebsiella pneumoniae* growth and capsular polysaccharide biosynthesis by fructus mume [J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2013, 2013: 621701.
- [35] Kwon H A, Kwon Y J, Kwon D Y, *et al*. Evaluation of antibacterial effects of a combination of *Coptidis Rhizoma*, *Mume Fructus*, and *Schizandrae Fructus* against *Salmonella* [J]. *Int J Food Microbiol*, 2008, 127(1/2): 180-183.
- [36] Liu L, Yuan S F, Sun Y, *et al*. The possible mechanisms of Fructus Mume pill in the treatment of colitis induced by 2, 4, 6-trinitrobenzene sulfonic acid in rats [J]. *J Ethnopharmacol*, 2009, 126(3): 557-564.
- [37] 何爱明, 王乙林, 林世明. 乌梅水煎物对实验性溃疡性结肠炎小鼠的作用 [J]. *药学实践杂志*, 2012(5): 357-360.
- [38] Yang Y T, Qian C C, Wu R, *et al*. Exploring the mechanism of the *Fructus Mume* and *Rhizoma Coptidis* herb pair intervention in ulcerative colitis from the perspective of inflammation and immunity based on systemic pharmacology [J]. *BMC Complement Med Ther*, 2023, 23(1): 11.
- [39] 苗小雨, 王亚静, 赵鑫, 等. 乌梅散对菌群失调性腹泻小鼠肠道乳糖酶活性及菌群多样性的影响 [J]. *中国实验方剂学杂志*, 2023, 29(4): 33-42.
- [40] 张崇豪, 马沛广, 刘华琛, 等. 基于菌群人源化模型探究乌梅丸加减对湿热瘀阻证溃疡性结肠炎 Th17/Treg 平衡及肠道菌群的调节作用 [J]. *中国实验方剂学杂志*, 2025, 31(20): 86-93.
- [41] 陈浩彬, 林才志. 乌梅丸治疗大肠相关性疾病的研究进展 [J]. *中国实验方剂学杂志*, 2023, 29(1): 250-257.
- [42] 王双瑛, 杨子婧, 孟宇航, 等. 乌梅丸古今文献分析 [J]. *中国中药杂志*, 2022, 47(14): 3956-3962.
- [43] 周国佩, 吴帆, 朱金华, 等. 乌梅丸对 2 型糖尿病模型大鼠肠道菌群、炎症因子及短链脂肪酸的影响 [J]. *中国实验方剂学杂志*, 2020, 26(10): 8-15.
- [44] 王小婷, 蒋国政, 王海滨, 等. 乌梅肉提取物抗腹泻作用研究 [J]. *中国现代应用药学*, 2016, 33(4): 407-410.
- [45] Rowland I, Gibson G, Heinken A, *et al*. Gut microbiota functions: Metabolism of nutrients and other food components [J]. *Eur J Nutr*, 2018, 57(1): 1-24.
- [46] Zeng M Y, Inohara N, Nuñez G. Mechanisms of inflammation-driven bacterial dysbiosis in the gut [J]. *Mucosal Immunol*, 2017, 10(1): 18-26.
- [47] Rakoff-Nahoum S, Paglino J, Eslami-Varzaneh F, *et al*. Recognition of commensal microflora by toll-like receptors is required for intestinal homeostasis [J]. *Cell*, 2004, 118(2): 229-241.
- [48] Sun M M, Wu W, Liu Z J, *et al*. Microbiota metabolite short chain fatty acids, GPCR, and inflammatory bowel diseases [J]. *J Gastroenterol*, 2017, 52(1): 1-8.
- [49] Dalile B, Van Oudenhove L, Vervliet B, *et al*. The role of short-chain fatty acids in microbiota-gut-brain communication [J]. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol*, 2019, 16(8): 461-478.
- [50] Macia L, Tan J, Vieira A T, *et al*. Metabolite-sensing receptors GPR43 and GPR109A facilitate dietary fibre-induced gut homeostasis through regulation of the inflammasome [J]. *Nat Commun*, 2015, 6: 6734.
- [51] Qiu P, Ishimoto T, Fu L F, *et al*. The gut microbiota in inflammatory bowel disease [J]. *Front Cell Infect Microbiol*, 2022, 12: 733992.
- [52] Odenwald M A, Turner J R. The intestinal epithelial barrier: A therapeutic target? [J]. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol*, 2017, 14(1): 9-21.
- [53] Xu D W, Xie Y C, Cheng J, *et al*. Amygdalin alleviates DSS-induced colitis by restricting cell death and inflammatory response, maintaining the intestinal barrier, and modulating intestinal flora [J]. *Cells*, 2024, 13(5): 444.
- [54] Shi J M, Chen Q Q, Xu M, *et al*. Recent updates and future perspectives about amygdalin as a potential anticancer agent: A review [J]. *Cancer Med*, 2019, 8(6): 3004-3011.
- [55] Wang Y L, Lang D Q, Wu C, *et al*. Chemical composition and antibacterial and antiulcerative colitis activities of essential oil from pruni semen [J]. *J Agric Food Chem*, 2024, 72(2): 1096-1113.
- [56] 欧金梅, 王瑞, 程庆兵, 等. ICP-MS 法测定不同产地乌梅无机元素含量 [J]. *中草药*, 2020, 51(2): 482-489.

[责任编辑 王文倩]