

百香果果皮中黄酮的提取工艺研究

赵 羽, 杨艳月

滇西应用技术大学普洱茶学院, 云南 大理

收稿日期: 2025年4月2日; 录用日期: 2025年5月5日; 发布日期: 2025年5月15日

摘 要

本文围绕百香果果皮黄酮提取工艺展开研究, 介绍百香果果皮黄酮含量与作用, 梳理现有黄酮提取技术, 深入剖析不同提取工艺对黄酮类化合物种类、结构及生物活性的影响, 从原料预处理、工艺参数优化与提取效果评价三方面剖析提取工艺, 探讨工艺研究的原因及未来发展方向, 为百香果果皮黄酮提取工艺的优化与应用提供理论和实践参考。

关键词

百香果果皮, 黄酮, 提取工艺, 工艺优化, 工艺评价

Research on Extraction Process of Flavonoids from Passion Fruit Peel

Yu Zhao, Yanyue Yang

College of Pu'er Tea, West Yunnan University of Applied Sciences, Dali Yunnan

Received: Apr. 2nd, 2025; accepted: May 5th, 2025; published: May 15th, 2025

Abstract

This paper focuses on the research of the extraction process of flavonoids from passion fruit peel. It introduces the content and functions of flavonoids in passion fruit peel, reviews the existing flavonoid extraction technologies, and deeply analyzes the impacts of different extraction processes on the types, structures, and biological activities of flavonoids. An in-depth analysis of the extraction process is carried out from three aspects: raw material pretreatment, process parameter optimization, and extraction effect evaluation. The reasons for process research and future development directions are also discussed, aiming to provide theoretical and practical references for the optimization and application of the extraction process of flavonoids from passion fruit peel.

Keywords

Passion Fruit Peel, Flavonoids, Extraction Process, Process Optimization, Process Evaluation

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

百香果, 在食品加工领域的应用日益广泛。然而, 在加工过程中会产生大量的果皮废弃物, 造成了资源的浪费和环境的负担。研究表明, 百香果果皮中含有丰富的黄酮类化合物, 具有抗氧化、抗炎、抗菌、降血脂、降血糖等多种生物活性[1]。不同提取方法会对黄酮类化合物的种类、结构产生影响, 进而影响其生物活性[2]。因此, 深入研究百香果果皮黄酮提取工艺, 不仅能提高百香果综合利用价值, 减少资源浪费, 为黄酮类化合物开发提供新原料来源, 探究提取工艺与黄酮生物活性间的关系, 还能为其在医药、食品及化妆品等行业的精准应用提供理论支撑, 具有重要经济和社会意义。

2. 百香果果皮中黄酮的含量及黄酮的作用

2.1. 百香果果皮中黄酮的含量

百香果果皮黄酮含量受品种、产地、成熟度等因素影响, 通常在 1%~5%之间。例如, 紫香百香果果皮黄酮含量约 2%~3%, 黄金百香果果皮黄酮含量相对较高, 可达 3%~4%。

2.2. 黄酮的作用

黄酮类化合物属多酚类次生代谢产物, 广泛存在于植物界, 具有抗氧化、抗炎、抗菌、抗肿瘤等生物活性。其可通过清除自由基等机制发挥心血管保护作用, 还能透过血脑屏障, 延缓神经退行性病变进展。此外, 黄酮类化合物可与细菌细胞膜相互作用, 抑制细菌生长繁殖, 在天然药物和功能性食品开发中具有应用价值。

3. 现有黄酮提取技术的说明

当前, 常见的百香果果皮黄酮提取技术包括溶剂提取法、超声波辅助提取法、微波辅助提取法、酶法提取法和超临界流体萃取法[3]。下面从原理、操作、特点、对黄酮类化合物种类和结构的影响, 以及适用范围等方面, 对这些提取技术进行详细分析。

3.1. 溶剂提取法

3.1.1. 原理与操作

溶剂提取法基于黄酮类化合物在不同溶剂中溶解度的差异进行提取。乙醇等有机溶剂对黄酮具有良好的溶解性。操作时, 先将百香果原料粉碎, 再加入一定浓度的乙醇溶液, 在适宜温度下搅拌或浸泡提取一段时间, 随后过滤、浓缩提取液, 得到黄酮粗提物[4]。

3.1.2. 优缺点与适用范围

该方法设备简单、操作便捷, 但提取效率低、溶剂消耗量大、回收成本高。不同溶剂体系提取的黄酮类化合物种类有差异, 极性溶剂易提取极性较强的黄酮, 非极性溶剂易提取非极性黄酮。强极性溶剂

可能促使黄酮类化合物糖苷键水解, 影响其结构和生物活性。溶剂提取法适用于对成本敏感的大规模粗提取或初步提取研究。

3.2. 超声波辅助提取法

3.2.1. 原理与操作

超声波辅助提取法利用超声波的空化效应、机械效应等, 破坏百香果细胞结构, 加速黄酮类化合物向溶剂中扩散[5]。将百香果原料与提取溶剂混合后, 放入超声波设备中, 选择合适的超声功率、频率、提取时间和温度等参数进行提取, 提取完成后过滤、分离提取液。

3.2.2. 优缺点与适用范围

该方法提取时间短、效率高、可低温操作, 减少黄酮类化合物降解。但高强度超声波可能导致黄酮类化合物结构改变, 影响其生物活性, 且设备成本较高。适用于对提取效率要求高, 且能接受对黄酮类化合物结构和活性有一定影响的研究或生产场景。

3.3. 微波辅助提取法

3.3.1. 原理与操作

微波能使百香果原料中的极性分子快速运动、摩擦生热, 导致细胞内温度迅速升高, 细胞破裂, 黄酮类化合物得以释放。将百香果样品与溶剂置于微波提取设备中, 选择合适的微波功率、提取时间和溶剂等条件进行提取, 提取后过滤、分离[6]。

3.3.2. 优缺点与适用范围

此方法提取速度快、效率高、选择性好。但微波辅助提取对提取溶剂有一定要求, 且需要专业的微波提取设备。过高的微波功率可能导致黄酮类化合物分解, 影响其结构和生物活性。对于需要快速获得高纯度特定黄酮类化合物的研究, 如黄酮类标准品的制备, 微波辅助提取法较为适用。

3.4. 酶法提取法

3.4.1. 原理与操作

酶法提取法利用酶的催化作用, 分解百香果细胞壁中的纤维素、半纤维素等成分, 使黄酮类化合物更容易释放出来。将百香果原料与适量的酶液混合, 在一定温度、pH 值和时间条件下进行酶解反应, 然后加入提取溶剂进行提取, 后续再进行过滤、分离等操作[7]。

3.4.2. 优缺点与适用范围

酶法提取条件温和、提取率高、对黄酮类化合物结构破坏小。但酶成本高, 酶解过程控制复杂, 不同酶的选择会影响提取的黄酮类化合物种类和结构。适用于对黄酮类化合物结构和活性要求高的研究和生产。

3.5. 超临界流体萃取法

3.5.1. 原理与操作

超临界流体萃取法以超临界状态的二氧化碳为萃取剂, 利用其在高压、低温下对黄酮类化合物的特殊溶解能力进行萃取[8]。将百香果原料放入超临界萃取设备中, 加入适量的夹带剂, 调节萃取温度、压力和时间等参数, 使二氧化碳处于超临界状态并进行萃取, 萃取完成后通过减压或升温等方法使黄酮类化合物与二氧化碳分离。

3.5.2. 优缺点与适用范围

该方法萃取效率高、产品纯度高、无溶剂残留。然而,设备投资大、操作要求高,限制了其在大规模生产中的应用。超临界流体萃取过程中的高压条件可能对黄酮类化合物的结构产生一定影响。在对提取物纯度和安全性要求极高的领域,如高端化妆品和医药行业,超临界流体萃取法具有显著优势。

4. 不同提取工艺对黄酮的影响

4.1. 溶剂提取法

溶剂提取法按溶剂种类分为水相萃取、有机溶媒萃取及碱性介质萃取体系。在有机溶媒体系中,乙醇、甲醇和丙酮因特定溶解能力,常被用于富集植物活性成分。与传统水提法相比,有机溶媒提取选择性更高,共溶杂质更少,但溶媒回收和安全防护环节增加了 40%~60%的综合成本。乙醇因细胞毒性低、环境友好,成为提取黄酮的首选溶媒。韩雅慧等[9]通过响应面法优化乙醇回流工艺,发现当料液比 1:25 (g/mL)、提取温度 75℃、提取时间 90 min 时,甘草总黄酮得率达 4.28 ± 0.15 mg/g,比水提法提升 36.7% ($p < 0.05$)。DPPH 自由基清除实验表明,乙醇提取物抗氧化效能比水提物增强 125%,这与黄酮类物质在乙醇体系中更高的溶解度(LogP 值 1.5~2.8)显著正相关($r = 0.873$)。

针对溶媒极性与提取效能之间的构效关系,陈志娜[10]等研究了 C1-C6 醇类、酯类及烷烃类溶媒对茵陈蒿黄酮提取效果的影响。发现 70%乙醇提取物的总黄酮含量达 12.74 mg/g,铁离子还原能力(FRAP 值)为 3.28 mmol Fe²⁺/g,分别比甲醇和乙酸乙酯体系提高 28.6%和 51.3%。分子动力学模拟显示,乙醇-水二元体系通过形成氢键网络(平均氢键数 6.2 ± 0.8),破坏植物细胞壁的纤维素-木质素复合结构,促进黄酮溶出。

4.2. 超声波——微波辅助提取法

张欣莉[11]等采用了超声波与微波协同的方法,对百香果果皮中的总黄酮进行了深入的提取研究。单因素实验的结果表明,液料比、乙醇浓度、超声功率以及超声时间均对提取效率产生影响。在液料比为 50 mL/g、乙醇浓度为 70%、超声功率为 220 W、超声时间为 25 min 的条件下,提取效率分别达到了各自条件下的最佳值。除此之外,微波时间和功率同样对提取效率产生显著影响。最佳的微波时间为 3 min,功率为 400 W,若超出这一范围,可能会导致黄酮结构遭受破坏,从而降低提取效率。

方差分析进一步揭示了各因素对提取效率的影响程度,其顺序依次为微波功率、液料比、乙醇浓度和超声时间。通过优化过程得到的最优提取工艺参数为:液料比为 48.935 mL/g、乙醇浓度为 70.655%、超声时间为 25.271 min、微波功率为 420.003 W。在此条件下,模型预测的百香果果皮总黄酮提取效率可以达到 2.176%。将两种或两种以上的提取方法相结合,作为对单一提取方法的一种补充和提升,这预示着未来提取技术领域的一个重要发展方向。

4.3. 酶法提取法

百香果皮富含纤维素、果胶等细胞壁成分,需特定酶解来释放黄酮。纤维素酶与果胶酶可有效分解果皮中的纤维素和果胶,提高黄酮提取效率,酶选择不当则会影响黄酮释放。温度和 pH 值是酶法提取的关键因素,如纤维素酶在 30℃~40℃活性较高,超过 45℃活性显著下降,其最适 pH 值约为 5。

张小梅[12]等人采用响应面法优化复合酶辅助超声波提取工艺,确定最佳提取条件为:复合酶(纤维素酶与果胶酶比例 2:1)用量 4.8%、酶解时间 60 分钟、液料比 30 mL/g、乙醇体积分数 60%、超声时间 42.12 分钟。在此条件下,黄酮得率高达(2.20 ± 0.05)%,模型预测值与实际值高度吻合,验证了该方法的可靠性和高效性。

4.4. 超临界流体萃取法

何扩[8]等利用超临界二氧化碳萃取技术对银杏叶中的黄酮类化合物进行了提取研究,通过精细调整萃取参数,如 35 MPa 的萃取压力、50℃ 的萃取温度以及 1.5 小时的萃取时长,可以提升黄酮类化合物的提取效率与纯度。采用超临界 CO₂ 萃取技术,银杏叶中萃取的总黄酮含量高达 29.1%,总三萜含量亦达到 1.1%,其提取效率是直接醇提取法的 2.43 倍。在桑叶黄酮的提取过程中,超临界流体萃取技术同样展现出显著优势。该技术高效、环保且安全无毒,还能够有效减少热敏性物质的损失,进而提升提取物的纯度。

5. 提取工艺研究的分析

5.1. 提取方法的选择

选择提取方法需综合考虑多种因素。实验条件有限时,可选择溶剂提取法;追求高提取效率和短时间,可选择超声波辅助提取法或微波辅助提取法;对黄酮纯度和活性要求高,可考虑酶法提取法或超临界流体萃取法。此外,还需考虑成本、环保性等因素,在大规模工业生产中,需根据实际情况权衡选择。

5.2. 工艺参数的优化

(1) 单因素实验

单因素实验是工艺参数优化的基础。通过分别改变提取过程中的各个参数,如溶剂浓度、料液比、提取时间、提取温度、超声功率、微波功率等,测定黄酮提取率,确定各因素的较优范围。例如,在研究乙醇浓度对黄酮提取率的影响时,固定其他条件,设置不同的乙醇浓度梯度(如 30%、50%、70%、90% 等),进行提取实验,测定不同乙醇浓度下的黄酮提取率,从而确定乙醇浓度的较优范围。单因素实验能够直观地反映每个因素对提取率的影响趋势,但无法考虑因素之间的交互作用[13]。

(2) 多因素实验设计

在单因素实验的基础上,采用响应面法、正交实验设计等多因素实验设计方法,研究各因素之间的交互作用,确定最优工艺参数组合。以响应面法为例[14],选取对黄酮提取率影响显著的因素,如乙醇浓度、料液比、提取时间为自变量,以黄酮提取率为响应值,建立数学模型。通过软件对实验数据进行分析,得到最优工艺参数组合,并通过实验验证模型的可靠性。多因素实验设计能够更全面地考虑因素之间的相互关系,找到更优的工艺参数组合,提高提取效率和产品质量。

5.3. 提取效果的评价

(1) 黄酮含量测定

采用分光光度法,以芦丁为标准品,绘制标准曲线。然后测定提取液在相应波长下的吸光度,根据标准曲线计算黄酮含量。分光光度法具有操作简单、快速、灵敏度较高等优点,但可能存在一定的干扰。高效液相色谱法能够更准确地测定黄酮的含量和种类,但设备成本较高,操作相对复杂。在实际研究中,可以根据实验条件和需求选择合适的测定方法。例如,在初步研究阶段,可以采用分光光度法进行快速测定;在对结果准确性要求较高的情况下,可以采用高效液相色谱法[15]。

(2) 提取率计算

提取率 = (提取得到的黄酮质量/百香果果皮中黄酮总质量) × 100%。通过比较不同工艺条件下的提取率,评价工艺的优劣。提取率是衡量提取工艺效率的重要指标之一,能够直观地反映不同工艺对黄酮的提取能力。结合成本考虑,选择提取率较高的工艺,以提高生产效率和经济效益。

(3) 提取物纯度分析

采用薄层层析、高效液相色谱等方法分析提取物中黄酮类化合物的纯度, 评估提取工艺的选择性。薄层层析法操作简单, 能够初步判断提取物的纯度和组成。高效液相色谱法能够准确测定黄酮类化合物的纯度和含量, 为工艺优化提供更准确的数据支持。通过对提取物纯度的分析, 可以了解提取工艺对黄酮类化合物的分离效果, 进一步优化提取工艺, 提高产品质量[16]。

6. 工艺研究的原因及未来发展

6.1. 工艺研究的原因

百香果果皮作为一种丰富的可再生资源, 目前利用率较低, 大部分被当作废弃物处理, 造成了资源的浪费。黄酮类化合物作为百香果果皮中的重要活性成分, 具有多种生物活性和应用价值[17]。通过对百香果果皮中黄酮提取工艺的研究, 可以提高百香果的综合利用价值, 为黄酮类化合物的开发利用提供新的原料来源, 同时减少废弃物对环境的污染。此外, 不同的提取工艺对黄酮的提取率、纯度和活性有不同的影响, 通过优化提取工艺, 可以提高黄酮的质量和产量, 满足不同领域的需求[18]。例如, 在医药领域, 需要高纯度、高活性的黄酮提取物; 在食品领域, 需要考虑提取工艺的安全性和成本。因此, 对提取工艺进行研究和优化具有重要的实际意义。

6.2. 未来发展

(1) 将多种提取技术联合使用, 发挥各自的优势, 提高提取效率和产品质量。例如, 将超声波辅助提取法与酶法提取法相结合[19], 先利用超声波破坏细胞壁结构, 再通过酶解作用进一步释放黄酮类化合物, 可能会获得更好的提取效果。

(2) 深入研究提取过程中黄酮类化合物的结构和活性变化机制[20], 为优化提取工艺提供理论依据[21]。通过现代分析技术, 如核磁共振、质谱等, 对提取过程中的黄酮类化合物进行结构分析, 研究其在不同提取条件下的变化规律。

(3) 加强对工业化生产的研究, 解决现有提取工艺在工业化应用中存在的问题, 如设备放大、成本控制、质量稳定性等, 推动百香果果皮黄酮的产业化发展。此外, 还可以探索百香果果皮黄酮在更多领域的应用, 如功能食品、化妆品、生物医药等, 进一步提高其附加值。

参考文献

- [1] 邹波, 钟思彦, 林锦波, 等. 黄皮中黄酮类化合物的结构及生物活性研究进展[J]. 中国果菜, 2024, 44(2): 47-53.
- [2] 汪美凤, 李文娟, 吴双双, 等. 百香果果皮生物活性成分提取与开发利用研究进展[J]. 安徽农业科学, 2022, 50(19): 16-19, 24.
- [3] 邵菊芳, 朱红威, 马毅. 不同方法提取银杏果实中黄酮类化合物的研究[J]. 江苏农业科学, 2010(4): 288-290.
- [4] 陈慧玲, 刘芳, 钟恒勤, 等. 超声波辅助乙醇提取百香果皮黄酮的工艺优化及黄酮抗氧化性测定[J]. 宁德师范学院学报(自然科学版), 2022, 34(3): 280-287.
- [5] 朱婉晴, 卞杰松, 周志远, 等. 超声波辅助提取无患子果皮中总黄酮的研究[J]. 广州化工, 2018, 46(1): 102-104+158.
- [6] 张培旭, 杨华, 纪晓娜, 等. 微波辅助法提取橘红、化橘红中黄酮类成分的方法研究[J]. 长春工程学院学报(自然科学版), 2024, 25(4): 107-111.
- [7] 马永富, 张育生, 盖俊玲, 等. 酶法提取柿子皮中黄酮类物质的研究[J]. 中国检验检测, 2024, 32(1): 20-23.
- [8] 何扩, 李玉锋, 张秀媛, 等. 超临界流体萃取银杏叶黄酮类物质的研究[J]. 山西食品工业, 2005(4): 2-5.
- [9] 韩雅慧, 顾赛麒, 陶宁萍, 等. 甘草总黄酮提取工艺及总抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(2): 239-242.

- [10] 陈志娜, 叶韬, 刘梦肴, 等. 茵陈蒿不同溶剂提取物体外抗氧化活性分析[J]. 食品科技, 2019, 44(7): 262-266.
- [11] 张欣莉, 李思仪, 孙嘉吟, 等. 响应面优化百香果果皮总黄酮提取工艺及其抗氧化性[J]. 饲料研究, 2022, 45(16): 83-88.
- [12] 张小梅, 王聪, 靳晓琳, 等. 百香果皮总黄酮的复合酶辅助超声波提取工艺优化及其抗氧化活性分析[J]. 食品工业科技, 2022, 43(12): 215-222.
- [13] 石莹, 孟令超, 张骁勇, 等. 基于单因素试验优化沙葱总黄酮的提取工艺[J]. 内蒙古石油化工, 2024, 50(10): 1-3.
- [14] 任美燕. 响应面优化百香果果皮黄酮提取工艺[J]. 粮食与食品工业, 2022, 29(1): 26-30.
- [15] 丁航, 梁统, 周克元, 等. 高效液相色谱法及紫外可见分光光度法测定侧柏叶中黄酮含量的比较[J]. 广东医学院学报, 2002(6): 422-423.
- [16] 赵声兰, 赵丽, 焦鸿雁, 等. 薄层层析法和高效液相色谱法测定芦荟皮中大黄素和芦荟大黄素[J]. 理化检验(化学分册), 2012, 48(9): 1072-1074, 1077.
- [17] 许梦圆. 广西产紫皮百香果皮中总黄酮化学成分与生物活性研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中央民族大学, 2021.
- [18] 李欣燃, 张华兴, 翁贵英, 等. 百香果黄酮提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(24): 106-112.
- [19] 郑钦华. 超声波辅助酶法提取桑叶黄酮类化合物及其抗氧化活性的研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2023.
- [20] 景继月. 三产地百香果果皮中活性多酚研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中央民族大学, 2022.
- [21] 廖兰, 吴俊良. 逆流法提取百香果果皮中总黄酮的工艺研究[J]. 广西科技大学学报, 2018, 29(2): 91-96.