

桃活性成分提取纯化及功能活性研究进展

贺梦欣, 张仁堂, 孙欣, 姜齐永, 王宇晓*

(山东农业大学食品科学与工程学院, 山东泰安 271018)

摘要: 桃 [*Prunus persica* (L.) Batsch] 作为一种具有重要经济价值的果树, 其果实、叶片、花和核仁等部位富含多酚、黄酮、皂苷等多种生物活性成分。大量研究表明, 这些成分在抗氧化、抗炎、降血糖、抗癌等方面展现出显著的健康益处, 为桃的深度开发和综合利用提供了重要的科学依据。本文系统综述了近年来桃中活性成分的种类、分布及其提取和纯化技术, 探讨其在抗氧化、抗炎、抗癌、预防肥胖和心血管疾病等方面的功能活性及应用, 并对未来桃中功能活性物质开发进行了详细讨论, 旨在为推动桃产业的可持续发展和高值化利用奠定理论基础。

关键词: 桃; 活性成分; 提取; 纯化; 功能活性

文章编号: 1673-9078(2026)5-393-403

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2026.5.0335

Advances in the Extraction, Purification, and Functional Activities of Bioactive Compounds from Peach

HE Mengxin, ZHANG Rentang, SUN Xin, JIANG Qiyong, WANG Yuxiao*

(College of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China)

Abstract: Peach (*Prunus persica* (L.) Batsch) is an economically important fruit tree whose fruits, leaves, flowers, and kernels are rich sources of diverse bioactive compounds, including polyphenols, flavonoids, and saponins. A growing body of evidence has demonstrated that these compounds exhibit a wide range of health-promoting effects, such as antioxidant, anti-inflammatory, hypoglycemic, and anticancer activities, thereby providing a solid scientific basis for the comprehensive utilization and value-added development of peach resources. This review systematically summarizes recent advances in the types, distribution, and extraction of bioactive compounds from peach, with a particular focus on extraction and purification techniques. In addition, the functional activities and potential applications of peach-derived bioactive compounds in mitigating oxidative stress, inflammation, cancer, obesity, and cardiovascular diseases are critically discussed. Finally, future perspectives on the development and application of functional ingredients derived from peach are proposed. A theoretical basis for advancing the sustainable development and high-value utilization of peach resources is proposed.

Key words: peach; bioactive compounds; extraction; purification; functional activities

引文格式:

贺梦欣, 张仁堂, 孙欣, 等. 桃活性成分提取纯化及功能活性研究进展[J]. 现代食品科技, 2026, 42(5): 393-403.

HE Mengxin, ZHANG Rentang, SUN Xin, et al. Advances in the extraction, purification, and functional activities of bioactive compounds from peach [J]. Modern Food Science and Technology, 2026, 42(5): 393-403.

收稿日期: 2025-03-10; 修回日期: 2025-06-11; 接受日期: 2025-06-16

基金项目: 山东省“冲一流”建设专项(539504); 泰山产业领军人才项目(TSCY20241184)

作者简介: 贺梦欣(2000-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 果蔬精深加工, E-mail: 321101496@qq.com

通讯作者: 王宇晓(1989-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 果蔬精深加工, E-mail: xuanhuiou@hotmail.com

桃 [*Prunus persica* (L.) Batsch] 作为蔷薇科重要的经济作物, 其栽培起源于中国黄河流域及西北地区。凭借独特的芳香物质、丰富的营养组分及显著的药用价值, 桃经过古代丝绸之路传播至全球温带及亚热带地区, 现已形成包含野生种质、地方品种和人工选育品种的多样化遗传资源体系^[1]。欧盟统计局 2021 年数据显示, 桃已成为仅次于苹果和柑橘的第三大果树作

物, 占农业总产值的 6.7%^[2]。我国作为桃资源原产地和主产国, 在桃产业发展方面成果显著。2022 年, 我国桃树栽培面积突破 1 000 000 hm², 年产量达 1 800 万 t, 桃产量在水果产业中位居第三^[3], 其中奉化水蜜桃“玉露”^[4]、阳山水蜜桃“湖景蜜露”^[5]、肥城“佛桃”^[6]和炎陵黄桃“锦绣”^[7]等品种凭借独特品质享誉国内外。在药用价值方面, 桃植株各器官在传统医学中应用广泛。《本草纲目》等典籍记载其花、果、仁等部位分别具有润肺止咳、补气养血等功效, 现代药理学研究进一步证实桃在治疗缺铁性贫血、抗血栓形成等方面的作用机制^[8]。近年来, 随着研究的深入, 发现桃中含有的多酚、黄酮、皂苷等次生代谢产物, 以及特征性蛋白质和氨基酸组分, 在抗氧化应激、炎症调控和肿瘤抑制等方面表现出显著功效^[9-11]。

当前已有文献对桃中的活性成分进行了综述, 但《桃化学成分与生物活性研究进展》《桃果实中酚类物质及其生物活性的研究进展》等文献综述, 对桃活性成分的研究针对性不足, 且未深入探究其提取及纯化技术的独特特性^[12]。另一方面, 《植物活性成分提取技术及最新研究进展》等文献综述虽涵盖多种植物活性成分的提取工艺及活性分析相关内容, 但并未专门针对桃活性成分的提取与纯化技术进行系统性的梳理^[13]。本文聚焦于桃活性成分的提取纯化技术, 深入剖析其特点与优势, 并对其未来发展趋势进行展望, 旨在为桃产业的可持续发展以及高值化利用提供有益参考, 为推动桃产业可持续发展和高值化利用奠定理论基础。

1 桃中主要活性成分

1.1 多酚类化合物

桃果中富含多酚类化合物, 迄今在桃树植株中已检测到 30 余种酚类物质, 主要包括绿原酸、香草酸、儿茶素、没食子酸、槲皮素和芦丁等, 其广泛存在于桃果、桃仁、叶、花、树皮及枝条等多个组织部位, 均表现出显著的抗氧化性能^[14]。在组织分布上, 桃果不同部位所含酚类物质的含量与组成存在明显差异。Rudke 等^[15]的研究证实, 桃果皮中酚类化合物尤其是黄酮醇类(如槲皮素-3-半乳糖苷、槲皮素-3-葡萄糖苷等)含量显著高于果肉, 其含量占桃果皮总酚类物质的 7.8% 以上。这种分布差异可能与桃果不同部位在生长过程中所承担的功能以及面临的外部环境压力不同有关。在品种层面, 不同品种的桃果在酚类物质组成上同样存在显著差异。蔡志翔等^[16]对 257 份桃种质资源进行了深入分析, 结果显示红肉桃总酚含量显著高于白肉和黄肉品种, 主要成分包括绿原酸、新绿原酸和儿茶素, 且苹果酸、柠檬酸等有机酸含量与总酚含量呈正相关, 这表明在桃果的代谢过程中, 酚类物质与有机酸之间可能存在着某种协同作用或代谢关联。在果实发育进程中, 多酚含量呈现动态变化。相关研究表明, 疏果期幼桃果的多酚含量可达成熟果的 1.5 倍, 这可能与植物防御机制密切相关^[12]。

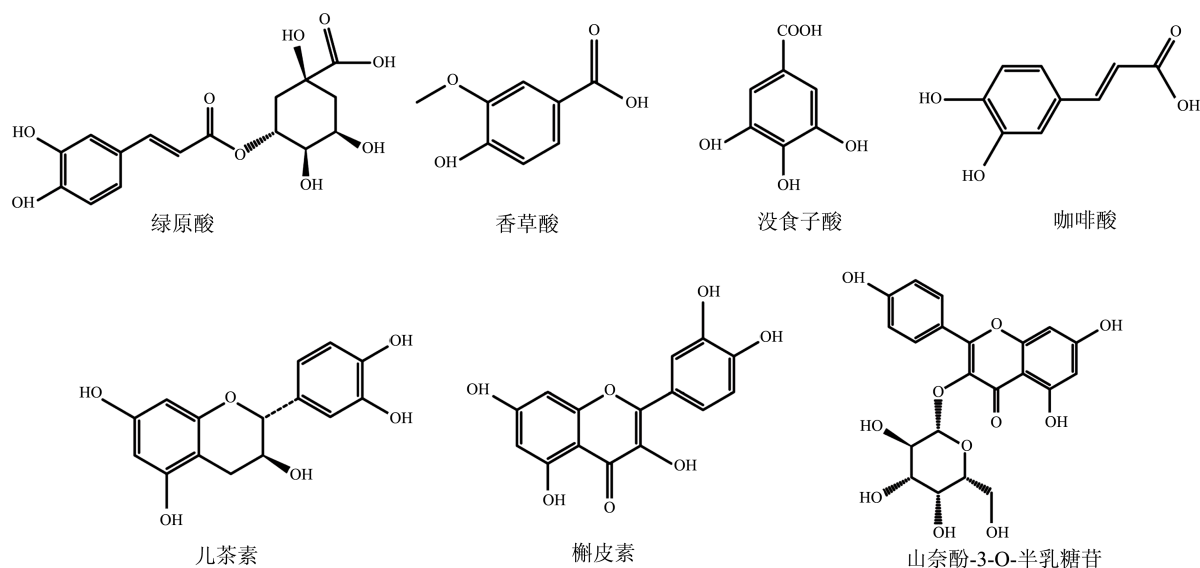


图 1 桃中部分多酚类化合物结构图

Fig.1 Structures of some polyphenolic compounds in peach

1.2 黄酮类化合物

从桃中分离出的黄酮类化合物种类丰富，主要包括黄酮、二氢黄酮、黄酮醇、黄烷醇、二氢黄酮醇以及类黄酮等，这些黄酮类化合物在桃果的果皮、果肉和桃仁等许多组织部位广泛分布（见表 1）。在果实类型中，黄酮类化合物组成与含量存在显著差异。研究表明，在水蜜桃、蟠桃和油桃中，蟠桃的总黄酮含量相对较高。进一步分析发现，不同品种桃果中黄酮类化合物的优势成分各不相同，水蜜桃以表儿茶素和绿原酸为主要成分；蟠桃的优势成分包括表儿茶素、绿原酸、新绿原酸和儿茶素；油桃则以绿原酸和儿茶素为主^[17]。在非果实组织中，黄酮类成分的含量呈现发育阶段依赖性变化。例如，长柄扁桃叶片的黄酮类化合物含量在果实形成期和硬核期处于较高水平，至成熟期显著下降，该动态变化与桃树生长和代谢调控过程密切相关^[18]。此外，幼桃与成熟桃在黄酮组成上也存在明显区别，幼桃中富含原花青素 B 型低聚物，且这类物质展现出更强的抗氧化活性^[19]。

1.3 皂苷类化合物

皂苷类化合物作为植物界广泛存在的一类特殊苷类物质，依据其皂苷元的化学结构差异，主要分为甾体皂苷和三萜皂苷两类^[12]。在桃植株中，皂苷类成分的分布具有明显的组织特异性，其中桃仁是桃中皂苷类成分的主要富集部位之一，从中已鉴定出苦杏仁苷^[26]、野樱苷^[27]等活性物质，以及苄基- β -龙胆二糖苷、扁桃酸- β -D-吡喃葡萄糖苷等糖苷类物质。这些物质的存在不仅丰富了桃仁的化学成分组成，也为桃仁的药用价值研究提供了物质基础。从品种与组织分布来看，桃中皂苷含量存在显著差异。不同品种桃果实的皂苷含量不同，这可能与桃树的遗传背景、生长环境等因素密切相关。果皮作为植物抵御外界环境的屏障，在长期生长的过程中，积累了大量的皂苷类物质，其皂苷含量显著高于果肉等其他部位^[28]。在果实发育进程中，幼果的皂苷含量显著高于成熟果，其中未成熟桃仁的苦杏仁苷浓度可达成熟期的 2 倍，这一现象表明，在果实发育的早期阶段，皂苷类物质可能发挥着重要的生理功能，如抵御病虫害、调节植物生长发育等^[29]。同时，幼果中较高的皂苷含量也展现出其作为天然药物前体的巨大开发潜力。然而，尽管桃中皂苷类化合物的研究取得了一定进展，但目前仍处于起步阶段。关于皂苷类化合物的作用机制、构效关系等关键科学问题，尚待系统深入地解析。图 2 展示了桃中皂苷类化合物的部分结构式图。

表 1 桃果实中主要的黄酮类化合物及其分布组织

Table 1 The main flavonoids in peach fruit and the tissue present

分类	化合物名称	存在组织	参考文献
黄酮类	高车前素 白杨素 白杨素-6-甲醚 芹菜素 刺槐	在桃仁中均存在	[20]
二氢黄酮类	橙皮素 桃皮素 樱桃苷 柚皮素	在桃叶、树皮、芯材中均存在	[21]
黄酮醇类	槲皮及其苷类 山奈酚及其苷类 异鼠李素苷类 高良姜素	在桃果实、桃叶、桃仁、树皮、桃花中均存在	[22]
黄烷醇类	原花青素 原花青素 A2 原花青素 B1 原花青素 B2	在果肉中均存在	[23]
二氢黄酮醇类	香橙素 球松素 短叶松素 花旗松素	在桃仁中均存在	[24]
类黄酮类	矢车菊素-3-O-葡萄糖苷 矢车菊素-3-O-芸香糖 矢车菊素-3-O-半乳糖苷 矢车菊素-3-O-桑布双糖苷 花翠素 锦葵色素苷	在果皮和果肉中均存在	[25]

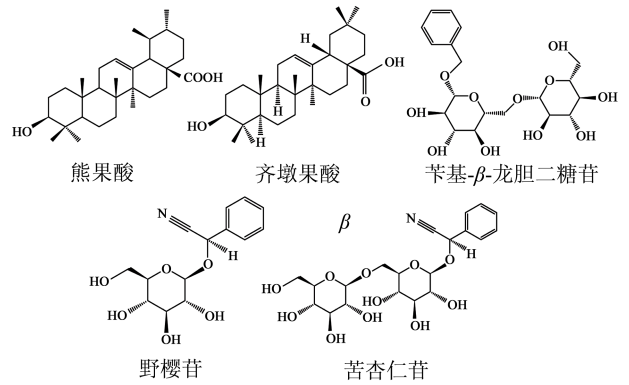


图 2 桃中部分皂苷类化合物结构式

Fig.2 Structures of some saponins in peach

1.4 有机酸

桃植株各组织器官中广泛存在具有生物活性的有机酸类化合物，其组成特征在果实和种仁中表现尤为

显著。果肉作为桃的主要食用部位，其有机酸组成丰富多样。经现代分析技术已鉴定出包括草酸、柠檬酸、异柠檬酸、苹果酸、奎宁酸、莽草酸、富马酸及抗坏血酸等 8 种以上酸性物质^[28]。在这些有机酸中，苹果酸含量占比最高，其浓度直接影响果实的风味品质，这与李依尘^[30]通过 HPLC-MS 技术对水蜜桃品种的系统分析结果一致。此外，苹果酸与柠檬酸共同构成果肉总酸的 50%~60%，而奎宁酸在果皮中的浓度显著高于果肉组织，这种分布差异可能与果皮和果肉在果实发育过程中的生理功能不同有关^[31]。相较于果肉，桃仁的有机酸组成具有差异性特征。研究表明桃仁中含有葡萄糖酸、柠檬酸、奎尼酸、苹果酸及甘草酸等成分，其中葡萄糖酸和柠檬酸的具体生物功能尚待阐明，有待进一步研究^[32]。在果实发育阶段差异方面，幼果与成熟果实的有机酸构成存在显著差异。随着果实的成熟，细胞代谢活动逐渐减缓，有机酸的含量也相应降低。这些有机酸在桃中不仅赋予了果实独特的酸味，还与其他成分相互作用，共同决定了桃的整体风味。因此，深入研究桃中有机酸的组成、含量变化及其生物功能，对于改善桃果实品质、开发桃相关产品具有重要意义。

1.5 挥发性物质

桃果实的挥发性成分由酯类、醛类、醇类、内酯类、萜烯类及酮类等六大类化合物构成，其种类与含量的品种特异性是形成独特香气的基础^[1]。大量研究表明，不同化学类别物质通过协同作用塑造桃果香气特征。酯类与内酯类作为核心香气组分，主导成熟果实的风味特征。其中， γ -辛内酯、 δ -癸内酯及 γ -十二内酯因具有典型椰香与奶油香韵，被认定为“桃香”标志性成分^[33]；醛类与醇类（如己醛、反-2-己烯醛）在未成熟果实中含量占比显著（ $P<0.05$ ），赋予青草香与清新感，其含量随果实成熟度提升呈梯度下降^[34]。此外，萜类与酮类化合物如（芳樟醇、 β -紫罗兰酮）虽在桃果实挥发性成分中的含量可能相对较低，但它们与其他挥发性化合物协同作用，共同营造出桃果实特有的花香韵味^[35]。近年来，随着分析技术的不断发展，通

过气相色谱-嗅觉联用技术（GC-O）及代谢组学分析，能够系统分析桃中关键香气活性物质的阈值与代谢途径，深入了解桃果实香气形成的分子机制。基于香气物质动态积累规律所建立的代谢网络模型，为高香气品种选育、采后贮藏技术优化提供理论依据，显著推动了桃果实品质调控技术的发展。

2 桃中活性成分提取技术及其应用

桃果实及副产物中含有多酚类、黄酮类、皂苷类、有机酸及挥发性物质等生物活性成分，这些成分因其具有抗氧化、抗炎及代谢调节等生物活性，在食品、医药领域展现出重要应用价值。本文基于桃活性成分的化学特性，系统阐述传统方法与现代技术的原理、优化参数及应用成效，为桃资源高值化利用提供理论支撑与技术参考。

2.1 传统提取方法

有机溶剂萃取法（Solvent Extraction, SE）基于“相似相溶”原理，利用溶质在不同溶剂中溶解度的差异进行有效分离，主要分为水性溶剂萃取与有机溶剂萃取两类，常用有机溶剂包括石油醚、乙醇、丙烷及乙酸乙酯等。该方法因设备要求低、操作流程简便而被广泛应用，但存在提取周期长、效率较低等不足，因此常与强化辅助提取技术结合以提升提取效果^[36]。有机溶剂萃取法的关键参数与效果见表 2。

2.2 现代提取技术

现代提取技术具有提高目标成分纯度与效率、提升食品营养价值及药物安全性的潜力。然而，传统提取方法存在诸多不足，如产生大量废弃物、效率低下、耗时过长以及易破坏活性成分，这与当前的绿色环保理念相悖。鉴于此，超声波辅助提取（UAE）、微波辅助提取（MAE）和酶辅助提取（EAE）等现代提取技术因在提高效率、缩短处理时间及降低能耗方面表现显著优势而被广泛应用。表 3 展示了桃中生物活性成分的提取技术及其适用功能物质。

表 2 有机溶剂萃取法的关键参数与效果

Table 2 Key parameters and effects of organic solvent extraction

序号	提取部分	提取成分	提取溶剂	提取率或含量（体积分数）	参考文献
1	桃叶	奎宁酸	石油醚和乙酸铵-乙醇	0.386 52 mg·g ⁻¹	[37]
2	桃皮	多酚	乙醇和丙酮	64.80%	[38]
3	桃肉	多酚、黄酮	乙醇	6.59 mg·g ⁻¹ 、43.48 mg·g ⁻¹	[39]
4	桃渣	多酚	乙醇	28.68 mg·g ⁻¹	[40]
5	桃渣	多酚	甲醇-盐酸混合液	16.53 mg·g ⁻¹	[41]

表 3 桃中生物活性成分的提取技术及其适用功能物质

Table 3 The extraction techniques of bioactive components in peach and its applicable functional substances				
提取方法	适用功能物质	优点	缺点	参考文献
有机溶剂萃取法 (SE)	多酚、黄酮、皂苷	设备简单、操作便捷、成本低	提取周期长、效率低、溶剂残留风险	[42]
超临界流体萃取法 (SFE)	多酚、黄酮	选择性高、环保、无溶剂残留、保留热敏性成分	设备成本高、操作压力与温度需精准控制、适用性不强	[43]
超声波辅助提取法 (UAE)	总酚、黄酮类	提取时间短、效率高、溶剂用量少、可强化传质	参数优化复杂、局部高温可能破坏热敏性成分	[44]
微波辅助提取法 (MAE)	多酚类	快速高效、能耗低、选择性好	微波场分布不均、提取效率不稳定	[45]
酶辅助萃取法 (EAE)	多酚、细胞壁结构酚类	条件温和、环保、提高出汁率、保留活性成分完整性	需特定酶制剂、酶解参数优化复杂、成本较高	[46]

2.2.1 超临界流体萃取法

超临界流体萃取法 (Supercritical Fluid Extraction, SFE) 的原理基于超临界流体的独特性质: 其溶解能力随压力和温度的变化而发生显著改变。利用目标成分在超临界流体中溶解度的差异, 通过精确调控体系的压力和温度, 可实现目标成分的选择性萃取和高效分离纯化。CO₂、C₂H₄、C₂H₆、CH₄O、C₂H₆O 和 H₂O 可用作超临界溶剂, 而 CO₂ 是最常用的超临界流体。由于其临界压力和临界温度低, 它可以在较低的温度下分离, 有效避免了对热敏性成分的破坏。Yang 等^[43]采用超临界流体萃取法提取桃花中酚类化合物, 通过响应面法优化 SFE 的最佳条件, 发现总酚得率达到 48.7 mg GAE/g, 较超声辅助提取法提高了 12.3% ($P<0.05$), 且槲皮素糖苷异构体的分离度提高了 1.8 倍。无论是从桃花中提取酚类化合物, 还是应用于其他植物源黄酮、多酚等活性成分的提取, 超临界流体萃取法均展示了较高的提取效率和选择性。

2.2.2 超声波辅助提取法

超声波辅助提取 (Ultrasonic-Assisted Extraction, UAE) 的核心机制在于利用超声波诱导的空化效应, 通过瞬间高压微泡 (空化气泡) 的形成与破裂产生强烈的局部剪切力, 加速植物细胞壁的破碎进程并强化活性成分向溶剂体系的传质效率, 从而显著提高目标成分的提取效率。目前, 该技术在桃类活性成分提取中应用广泛。Mihaylova 等^[47]在 50 °C 条件下, 以 80% 乙醇为溶剂, 采用 UAE 提取保加利亚 8 个不同品种桃皮中的游离酚类物质, 总酚得率达到 9.2 mg GAE/g DW, 表儿茶素和绿原酸的回收率分别比传统浸提法提高了 28% 和 34% ($P<0.05$)。进一步地, Zhao 等^[48]优化了中国 17 个特色桃品种的 UAE 提取工艺, 使总酚含量达到 12.68 mg GAE/g DW, 提取效率是索氏提取法的 1.8 倍, 且热敏性成分 (如槲皮素-3-芸香糖苷) 的保留率提高至 92% 以上。未来可进一步优

化提取条件, 探索 UAE 在提取其他桃类活性成分及不同品种桃类物质方面的潜力。

2.2.3 微波辅助提取法

微波辅助提取法 (Microwave-Assisted Extraction, MAE) 的作用机理建立在微波加热效应之上, 通过促进离子迁移及偶极子旋转来激发分子层面的运动, 这一过程不引起分子结构的改变。Kurtulbas 等^[49]采用 MAE 技术实现了对羟基苯甲酸和对香豆酸的高效富集, 提取效率较传统回流法提高了 2.3 倍, 且能耗降低 67%。Tsiaka 等^[45]通过比较不同提取策略比较发现, MAE 与 UAE 联用时, 总酚含量达到 15.4 mg GAE/g DW, DPPH 自由基清除活性的 IC₅₀ 值较单一 MAE 处理降低了 19%, 表明协同作用可显著增强抗氧化活性组分的选择性溶出。目前, MAE 在从桃皮中提取高附加值物质方面虽有成果, 但也存在局限性, 目前的研究多集中于对特定酚类物质的提取优化, 对桃皮中其他潜在高附加值成分 (如多糖、特定亚型黄酮类化合物等) 的研究较少, 未能充分挖掘桃皮的价值。

2.2.4 酶辅助萃取法

酶辅助提取法 (Enzyme-Assisted Extraction, EAE) 是通过一种特定酶的作用破坏样品细胞壁和细胞膜结构, 从而促进活性成分释放的提取技术。研究发现, 科学选择果胶酶类型并优化酶解参数能显著提高桃汁的出汁率。以孔维英等^[46]的研究为例, 采用 C 型复合果胶酶 (主要含聚半乳糖醛酸酶和果胶酯酶), 在加酶量 0.09% (体积分数)、47 °C 条件下酶解 30 min, 桃果浆出汁率较对照组提升了 14.79% ($P<0.01$), 且总酚溶出量增加了 22.3%, 其作用机制与果胶质 β -1,4-糖苷键的定向断裂及细胞壁网络结构解聚密切相关。目前, 酶辅助萃取法在桃活性成分提取中的应用研究虽已取得进展, 但仍存在拓展空间。在酶的选择方面, 除关注果胶酶等常用酶类, 还应探索更多新型酶或复合酶体系在桃活性成分提取中的应用潜力, 拓宽酶的

种类范围，挖掘不同酶作用于桃中各类成分的潜力。此外，探索酶辅助萃取法与微波辅助提取等其他技术的协同应用，有望通过增效作用进一步提升桃活性成分的提取效率和纯度，加速桃资源高值化利用的产业化进程。

2.3 其他新型提取技术应用及发展趋势

目前，在植物活性成分提取领域，多种提取技术协同运用已成为克服单一提取技术固有短板的关键趋势。加压液体萃取通过利用高压溶剂在温度升高时，对样品中的目标化合物进行溶解和提取。研究发现，使用乙醇和柠檬酸溶液进行顺序加压液体萃取（PLE），可从桃渣中有效分离酚类和果胶化合物，结果表明，PLE 法提取的酚类物质含量更高，还原糖含量较低，且提取物表现出最佳的抗氧化能力；同时获得的果胶得率为 14%，其半乳糖醛酸含量达 47%，可应用于低热量产品，且果胶级分乳化性、起泡能力和稳定性良好，与传统低压提取方法相比，PLE 法在提取效率和提取物品质方面均展现出优势^[40]。在黄酮类化合物提取中，双水相萃取技术（ATPS）展现出一定的应用潜力，尽管目前该技术在桃花总黄酮提取方面仍需优化，但其在桃活性成分提取领域开辟了新的技术路径^[50]。脉冲电场技术（PEF）因提取时间短、能耗低、温升小且能较好地保持物质原有性质，在桃多酚提取中展现出良好的应用潜力。近年来，低共熔溶剂萃取法（DES）作为一种环保、经济、合成简便的绿色溶剂体系，已广泛应用于植物黄酮、酚酸等生物活性成分的提取。高静水压技术作为一种非热加工技术，能够较好地保留食品中的营养成分和热敏性活性成分，在高品质果蔬产品加工中具有巨大潜力。综

所述，多种提取技术的协同运用为桃活性成分的高效、高品质提取提供了多样化的选择，有望推动桃活性成分提取技术的进一步发展，为桃产业的深加工和高值化利用提供有力支持。

3 桃中活性成分的纯化技术

当前桃活性成分分离纯化领域常用的技术手段包括高效液相色谱法、高速逆流色谱法、微量柱层析法、硅胶柱层析法、大孔树脂吸附法及膜分离法等。这些分离方法在分离效率、操作成本、工业化生产适用性等方面各具特点，其选择需综合考虑目标化合物的极性、分子量、稳定性及后续应用的具体要求。表 4 是对桃中活性成分不同纯化技术的总结。

在探讨桃中活性成分纯化技术及其发展趋势之前，有必要强调高效提取技术是进行后续纯化和功能活性研究的基础。高效的提取技术能够为后续的分离纯化和生物活性评估提供高质量的样品，例如，超临界流体萃取（SFE）和超声波辅助提取（UAE）等技术可在提高提取效率的同时，更好地保持活性成分的结构完整性。此外，提取方法的选择和优化直接影响活性成分的组成、含量及存在形态，进而影响对其生物活性的评估结果。因此，选择合适的提取技术并对其进行优化，对于确保整个研究过程的顺利进行和获得可靠的研究结果至关重要。总之，现代分离纯化技术在桃活性成分研究中的应用，不仅提高了研究的效率和精度，也为深入解析这些成分的复杂化学结构和多样化的生物功能提供了强有力的技术支撑。未来，随着技术的持续进步和创新，桃活性成分的研究将不断深入，有望为食品、医药等相关产业的应用开发提供更多科学依据和创新方案。

表 4 不同纯化技术对比
Table 4 Comparison of different purification methods

提取方法	原理	优点	缺点	参考文献
高效液相色谱法	通过泵将加压的含样品混合液溶剂泵入装有固体吸附剂的色谱柱中	分离高效、检测灵敏、精确定量	设备成本高、操作复杂、分析时间较长、存在柱外效应	[51]
微量柱层析法	利用固定相与样品中不同成分之间的相互作用差异	分离效能高、操作简便快捷、处理周期短	成本高、处理能力受限、样品容量有限	[52]
高速逆流色谱法	利用样品在两种不相混溶溶剂间的分配特性	高回收率、无污染、高效分离	设备成本高、操作技术要求高、检测灵敏度通常较低	[53]
大孔树脂吸附法	利用多孔结构与目标物的物理化学作用实现复杂体系中特定成分的选择性分离富集	树脂再生便捷、成本较低、操作条件温和、利于保持活性成分稳定性	吸附选择性有时受限、洗脱优化要求高、可能存在树脂残留	[54]
硅胶柱层析法	基于物质在硅胶上的吸附力不同	选择性高、操作流程简便、适用性广	样品损失可能较大、耗时较长、硅胶吸附有时不可逆	[55]
膜分离法	基于分子尺寸、电荷或亲疏水性的差异，利用膜的选择性透过性，在外加能量或化学势差驱动下实现分离	除杂效果好、制剂澄明度和安全性高、能耗低、易实现自动化	膜污染问题突出、膜寿命有限、分离效率受操作条件影响大	[56]

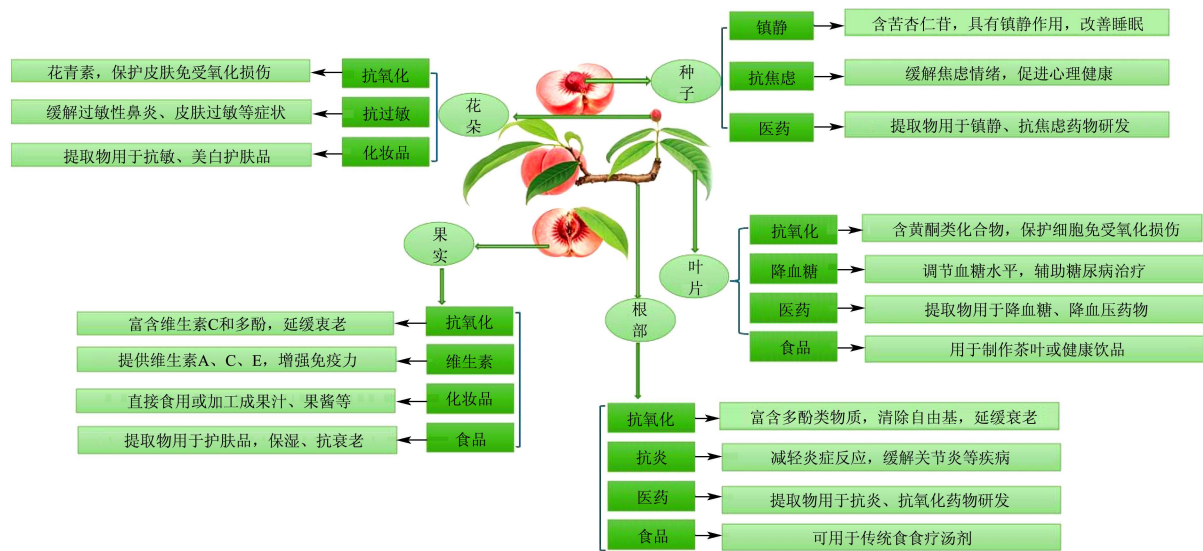


图 3 桃各部位的功能活性及应用

Fig.3 Functional activities and applications of different peach parts

4 桃的功能活性研究

桃中丰富的生物活性物质赋予了其多种功能特性，使其在抗氧化、抗炎、抗癌抗肿瘤、预防肥胖和心血管疾病等方面发挥着重要的作用。这些功能活性不仅为桃在食品、医药领域的应用提供了广阔前景（如图 3 所示），也成为科研人员深入探究的热点方向。图 3 展示了桃各部位的功能活性及应用。

4.1 抗氧化活性

抗氧化活性是指物质通过抑制氧化链式反应，有效阻止蛋白质、脂肪等营养物质发生氧化损伤的能力，在维持机体健康和延缓衰老等方面具有重要意义^[57]。常用的评估方法包含总抗氧化力的测定、DPPH 自由基的清除效能、ABTS⁺ 自由基的清除能力、超氧化物歧化酶（SOD）的活性检测以及谷胱甘肽过氧化物酶（GPx）的活性分析等^[57]。在抗氧化方面，桃中多酚、黄酮类物质可通过激活 *Nrf2*/*ARE* 信号通路发挥抗氧化作用。桃提取物能够清除自由基、抑制脂质过氧化和 DNA 氧化损伤，从而保护细胞免受氧化应激损伤。然而，尽管已有诸多研究证实了桃的抗氧化活性，但关于其具体作用机制的深入探讨仍相对不足。蔡延渠等^[58]的研究为桃的抗氧化机制提供了新的思路，研究发现经桃胶多糖干预后的 D-半乳糖衰老模型小鼠，肝组织超氧化物歧化酶（SOD）活性提升至 203.4 U·mg⁻¹ prot，血清丙二醛（MDA）水平显著降低至 3.12 nmol·mL⁻¹，其作用机制与抑制 *NF-κB*/*NLRP3* 炎症小体通路活性相关（*P*<0.01）。桃的不同部位（如

果实、桃仁、桃叶）也表现出抗氧化活性。例如，桃仁多肽可通过抑制线粒体活性氧（ROS）生成，激活 SOD/GPx 抗氧化酶系统，减少脂质过氧化产物丙二醛（MDA）的积累；其作用机制涉及调节线粒体呼吸链复合物的活性，进一步体现了桃仁多肽在抗氧化方面的独特优势^[59]。此外，桃叶总酚含量（82.3 mg GAE/g DW）约为果肉的 3.2 倍，其 ABTS⁺ 自由基清除率显著高于桃仁提取物（*P*<0.05）^[60]。因此，桃活性成分的抗氧化作用不仅直接中和自由基，还可通过调控氧化-炎症级联反应间接抑制慢性炎症，形成协同防御网络。这一发现为开发基于桃的抗氧化功能性食品或药物提供了重要的理论依据和实践指导。

4.2 抗炎活性

炎症反应是机体内部一种关键的自我保护机制，由一系列紧密协调的感应与反应元件共同调控，在维持机体稳态方面发挥着关键作用^[61]。常见的抗炎活性评估方法包括：测定炎症介质前列腺素 E₂（PGE₂）、白细胞介素（IL-1β、IL-6）和肿瘤坏死因子-α（TNF-α）的水平；观察炎症细胞（如巨噬细胞、中性粒细胞）的活化状态；以及分析组织病理学变化^[62]。桃的活性成分在抗炎方面展现出显著效果，其主要作用机制在于对 *NF-κB* 和 MAPK 信号通路的精准调控。例如，栾彦军等^[63]在小鼠骨关节炎模型中发现，桃叶珊瑚苷通过抑制 *IκBα* 的磷酸化，阻断核因子-κB（*NF-κB*）的核转位，从而减少肿瘤坏死因子-α（TNF-α）、白细胞介素-6（IL-6）等促炎因子的释放。此外，桃中的山奈酚苷类物质可下调丝裂原活化蛋白激酶（MAPK）

通路中细胞外信号调节激酶 (ERK) 和 p38 的磷酸化水平, 抑制炎症小体 NOD 样受体热蛋白结构域相关蛋白 3 (NLRP3) 的激活, 进而减轻巨噬细胞的炎症反应^[64]。在肠道炎症模型中, 桃胶多糖被证实可通过调节 Toll 样受体 4 (TLR4)/ 髓样分化因子 88 (MyD88) 信号轴, 减少促炎细胞因子的分泌, 同时促进抗炎因子白细胞介素-10 (IL-10) 的表达, 有助于重塑肠道免疫平衡, 为肠道健康提供有力保障^[65]。

4.3 抗癌、抗肿瘤活性

癌症是一种以细胞异常增殖和转移为特征的恶性肿瘤疾病, 常伴有化疗相关的不良反应及耐药性问题^[66]。在抗癌研究中, 抗癌活性的评估通常包括: 检测癌细胞增殖、凋亡、迁移和侵袭能力; 监测体内肿瘤组织的生长情况; 以及分析肿瘤组织的病理学变化^[67]。桃多酚和黄酮类化合物展现出显著的抗癌潜力, 其抗癌机制与抑制磷脂酰肌醇 3- 激酶 (PI3K)、蛋白激酶 B (Akt) 以及哺乳动物雷帕霉素靶蛋白 (mTOR) 信号通路密切相关。张红刚等^[68]研究发现, 水蜜桃多酚提取物处理 HeLa 细胞 48 h 后, 促凋亡蛋白 Bax 与抗凋亡蛋白 Bcl-2 的比值显著升高了 4.1 倍, 凋亡执行蛋白 caspase-3 和 caspase-9 的活性分别显著提高了 3.8 倍和 2.9 倍 ($P < 0.001$), 且该凋亡过程与活性氧 (ROS) 介导的 c-Jun 氨基末端激酶 (JNK) 和丝裂原活化蛋白激酶 (p38MAPK) 通路激活呈显著正相关 ($r=0.87$)。这表明桃多酚的抗癌作用并非单一机制, 而是涉及抗氧化与抗炎活性的协同效应, 多种机制相互配合, 共同发挥抗癌功效。另有研究进一步揭示了桃皮提取物的抗癌作用。桃皮提取物能够抑制乳腺癌 (MCF-7) 和肺癌 (A549) 癌细胞的增殖并诱导其凋亡; 同时, 通过降低血管内皮生长因子 (VEGF) 的表达抑制肿瘤血管生成, 从而遏制肿瘤生长与转移^[69]。桃皮提取物通过抑制这一过程, 有效遏制了肿瘤的生长与转移, 为抗癌治疗提供了新的思路和潜在的药物来源。

4.4 预防肥胖和心血管疾病

近年来的研究显示, 桃在预防代谢综合征及心血管疾病方面具有独特的生物活性价值。桃中所含的多酚和黄酮类化合物通过调控脂肪细胞分化与代谢, 降低低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C) 水平等途径, 进而有效预防肥胖和心血管疾病的发生^[70]。Noratto 等^[71]利用代谢组学-转录组学联合分析发现, 桃汁多酚可显著降低高脂饮食模型猪循环中的血管紧张素 II (Ang II) 水平, 同时抑制心肌组织中血管紧张素 II 1 型受体

(AT1R) 的表达, 并激活过氧化物酶体增殖物激活受体 γ (PPAR γ)-CD36 的通路, 促进脂肪酸 β 氧化, 使动脉粥样硬化炎症标志物白细胞介素-6 (IL-6) 和肿瘤坏死因子- α (TNF- α) 的水平降低至 52%~61%, 主动脉内皮细胞间粘附分子-1 (ICAM-1) 的表达减少至 73%。此外, 在寒瘀证大鼠模型的研究中, 桃仁水提物展现出独特的血管调节功能。一方面通过激活 Rho 相关卷曲螺旋形成蛋白激酶 (RhoA/ROCK) 通路, 增强肠系膜小动脉收缩力, 改善组织灌注情况; 另一方面, 其能抑制线粒体细胞色素 c (Cyt c)/caspase-9 凋亡通路, 将血管内皮细胞存活率提高至 83.7%^[72]。这些研究成果为进一步探索桃在预防肥胖和心血管疾病方面的应用提供了坚实的理论基础。

4.5 其他有益价值

除上述提及的功能活性外, 桃在镇静安神、抗过敏、调节糖脂代谢及抗菌等多个领域展现出潜在的应用价值。在镇静安神方面, 研究发现桃仁中的苦杏仁苷代谢物苯甲醛可抑制中枢过度兴奋, 其镇静机制与调节 γ -氨基丁酸 (GABA) 受体系统有关, 并提示其在改善睡眠障碍方面具有潜在应用前景^[73]。在抗过敏方面, 桃花花色苷能够抑制肥大细胞脱颗粒和组胺释放, 对过敏性鼻炎和特应性皮炎有显著缓解效果, 其作用机制与抑制丝裂原活化蛋白激酶 (MAPK) 和核因子- κ B (NF- κ B) 信号通路密切相关^[74]。另一方面, 桃花花色苷也能通过抑制肥大细胞高亲和力 IgE 受体 (Fc ϵ RI) / 脾酪氨酸激酶 (Syk) 信号通路, 减少组胺和类胰蛋白酶的释放, 进而有效缓解过敏性哮喘症状^[72]。此外, 桃胶多糖作为一种新型膳食纤维, 可通过调节肠道菌群结构发挥益生元效应, 其益生作用与短链脂肪酸 (SCFAs)-GPR43/41 轴相关。具体而言, 桃胶多糖通过促进双歧杆菌代谢产生乙酸和丁酸, 激活肠道上皮细胞的 G 蛋白偶联受体 (如 GPR43/41), 增强肠道屏障完整性并抑制 Toll 样受体 4 (TLR4) 介导的炎症反应^[65]。相关研究表明, 桃胶多糖能显著增加双歧杆菌和乳酸菌等有益菌的丰度, 同时抑制肠道炎症反应, 这为开发基于桃胶多糖的功能性肠道健康食品提供了全新的思路^[75]。

5 总结与展望

桃是药食同源果树的典型代表, 其果实、叶片、花、核仁及分泌物中的活性成分具有多方面的健康促进价值。本文综述了桃中多酚、黄酮、皂苷、有机酸等主要活性成分的分布特征与变化规律, 总结了传统与现代提取纯化技术及其协同应用在提高目标成分得率与

纯度方面的作用,并系统解析了这些成分在抗氧化、抗炎、代谢调控等领域的生物活性机制。然而,当前研究仍存在以下关键挑战:桃活性成分的多组分间协同效应尚未明确,其体内作用靶点、代谢途径及生物利用度仍需深入研究;现有提取技术对复杂基质中特定成分的选择性仍有待提高,且工业化放大的成本效益需进一步优化;功能活性研究多基于体外模型和动物实验,缺乏系统的临床研究证据支持其转化应用。

未来研究可以从以下几个方向深入探索:(1)推动桃仁抗癌成分的临床转化研究:制定从深入的临床前研究(如利用荷瘤动物模型结合多组学技术进行机制和药效评价)到分阶段临床试验(I期安全性、II期有效性、III期确证性)的明确路径;并重点解决活性成分标准化、规模化绿色生产工艺开发及符合法规要求等产业化关键问题。(2)深入解析多靶点作用机制:运用多组学技术全面阐明桃活性成分的作用网络;探索其与传统中药的配伍规律,开发协同增效的复方产品;利用纳米递送等先进技术提高其靶向性和生物利用度,以增强临床应用潜力。(3)应对潜在挑战:针对生物利用度低的问题,探索结构修饰或新型递送系统;对于桃仁中氰苷(如苦杏仁苷)的潜在毒性风险,需通过毒理学研究确定安全剂量范围,或开发解毒联用策略;同时加强知识产权保护(如专利布局)以提升市场竞争力。最终,通过加强跨学科协作,推动桃活性成分的基础研究成果向医药和功能性食品领域的有效转化与应用。

参考文献

- [1] 武琳霞,李玲,习佳林,等.桃品质的无损检测技术研究进展[J].食品科学,2022,43(15):367-377.
- [2] KUMARI N, RADHA, KUMAR M, et al. Peach (*Prunus persica* (L.) Batsch) seeds and kernels as potential plant-based functional food ingredients: A review of bioactive compounds and health-promoting activities [J]. Food Bioscience, 2023, 54: 102914.
- [3] 周慧娟,苏明申,杜纪红,等.上海桃产业信息现状与发展趋势[J].上海农业学报,2024,40(5):107-114.
- [4] 汪前.1-甲基环丙烯在奉化水蜜桃常温保鲜中的应用研究[D].宁波:宁波大学,2020.
- [5] 顾晔,周宇,张爽,等.阳山水蜜桃非靶标代谢组学特征[J].食品科学,2024,45(15):237-244.
- [6] 孙玉刚,李芳东,秦志华,等.山东省桃名优地方品种[J].中国果树,2010,(2):60-62,78.
- [7] 伍艳晖.炎陵黄桃促销效果评价及影响因素研究[D].长沙:中南林业科技大学,2024.
- [8] ZHANG X A, LI X, SU M S, et al. A comparative UPLC-Q-TOF/MS-based metabolomics approach for distinguishing peach (*Prunus persica* (L.) Batsch) fruit cultivars with varying antioxidant activity [J]. Food Research International, 2020, 137: 109531.
- [9] BENTO C, GONÇALVES A C, SILVA B, et al. Peach (*Prunus Persica*): Phytochemicals and health benefits [J]. Food Reviews International, 2020, 38(8): 1703-1734.
- [10] DING T Y, CAO K, FANG W C, et al. Evaluation of phenolic components (anthocyanins, flavanols, phenolic acids, and flavonols) and their antioxidant properties of peach fruits [J]. Scientia Horticulturae, 2020, 268: 109365.
- [11] 周丹丹,李婷婷,吴彩娥,等.转录和蛋白质组学分析热空气处理对桃果实采后冷藏期间糖酸和酚类物质代谢的影响[J].食品科学,2022,43(17):208-220.
- [12] 陆泰良,朱鹏翔,李怡杰,等.桃化学成分与生物活性研究进展[J].南方园艺,2022,33(6):62-68.
- [13] 王艳珍.植物活性成分提取技术研究进展[J].食品安全导刊,2024,19:162-164.
- [14] 刘慧.桃果实酚类物质及其抗氧化功能研究[D].北京:中国农业大学,2015.
- [15] RUDKE C R M, ZIELINSKI A A F, FERREIRA S R S. From biorefinery to food product design: Peach (*Prunus persica*) by-products deserve attention [J]. Food and Bioprocess Technology, 2023, 16(6): 1197-1215.
- [16] 蔡志翔,严娟,宿子文,等.不同类型桃种质资源主要酚类物质含量评价[J].园艺学报,2022,49(5):1008-1022.
- [17] 刘杰超,张春岭,吕真真,等.桃花中总酚和总黄酮的提取及抗氧化活性研究[J].食品安全质量检测学报,2013,4(6):1750-1756.
- [18] HE Y Y, PAN L, YANG T, et al. Metabolomic and confocal laser scanning microscopy (CLSM) analyses reveal the important function of flavonoids in *Amygdalus pedunculata* pall leaves with temporal changes [J]. Frontiers in Plant Science, 2021, 12: 648277.
- [19] 杨波,郭春苗,木巴热克·阿尤普,等.扁桃果实发育过程中果皮中糖及木质素含量变化规律[J].新疆农业科学,2021,58(1):23-29.
- [20] 王东东.基于深度学习的山核桃仁缺陷及异物识别检测方法研究[D].杭州:浙江农林大学,2024.
- [21] GEDÜK A S, ATŞIZ S. LC-MS/MS phenolic composition of peach (*Prunus persica* L. Batsch) extracts and an evaluation of their antidiabetic, antioxidant, and antibacterial activities [J]. South African Journal of Botany, 2022, 147: 636-645.
- [22] ZHANG X N, SU M S, DU J H, et al. Profiling of naturally occurring proanthocyanidins and other phenolic compounds in a diverse peach germplasm by LC-MS/MS [J]. Food Chemistry, 2023, 403: 134471.
- [23] MIHAYLOVA D, POPOVA A, DESSEVA I, et al. Comparative study of early and mid-ripening peach (*Prunus persica* L.) varieties: Biological activity, macro, and micro-nutrient profile [J]. Foods, 2021, 10(1): 164.
- [24] HAN J X, WANG X W, HOU J Y, et al. Using network pharmacology to explore the mechanism of peach kernel-safflower in the treatment of diabetic nephropathy [J]. Biomed Research International, 2021, 2021: 1-12.
- [25] LIANG L, ZHU J Z, HUANG D, et al. Molecular mechanisms underlying natural deficient and ultraviolet-induced accumulation of anthocyanin in the peel of 'Jinxu' peach [J]. Plant Cell and Environment, 2024, 47(12): 4833-4848.
- [26] 张永强,倪健,蔡梦如,等.经典名方桃核承气汤的研究进展[J].中国新药杂志,2025,34(1):57-65.

- [27] NOWICKA P, WOJDYLO A. Content of bioactive compounds in the peach kernels and their antioxidant, anti-hyperglycemic, anti-aging properties [J]. European Food Research and Technology, 2019, 245(5): 1123-1136.
- [28] NOWICKA P, WOJDYLO A, LASKOWSKI P. Principal component analysis (PCA) of physicochemical compounds' content in different cultivars of peach fruits, including qualification and quantification of sugars and organic acids by HPLC [J]. European Food Research and Technology, 2019, 245(4): 929-938.
- [29] 张俊环,张美玲,姜凤超,等.杏仁中苦味物质的检测方法及其苦味物质在杏仁发育过程中的分布研究[J].中国果树,2023,10:39-44,142.
- [30] 李依尘.11个水蜜桃品种果实糖酸和芳香品质分析评价[D].杭州:浙江大学,2023.
- [31] 李俊豪,葛晓兰,朱杰,等.桃果实糖酸代谢调控机制研究进展[J].果树学报,2022,1:1-18.
- [32] 张素敏,杨巍,王柏松.5个露地中晚熟桃品种果实糖酸组分研究[J].中国果树,2022,11:59-62,71.
- [33] 刘格格,毕金峰,苟敏,等.基于GC-MS及电子鼻技术结合化学计量法表征8种白桃关键香气的差异[J].食品科学,2023,44(18): 277-285.
- [34] RODRIGUES S, FERNANDES F A N. Effect of dielectric barrier discharge plasma treatment in pasteurized orange juice: Changes in volatile composition, aroma, and mitigation of off-flavors [J]. Food and Bioprocess Technology, 2023, 16(4): 930-939.
- [35] SUN P, XU B, WANG Y, et al. Characterization of volatile constituents and odorous compounds in peach (*Prunus persica* L.) fruits of different varieties by gas chromatography-ion mobility spectrometry, gas chromatography-mass spectrometry, and relative odor activity value [J]. Frontiers in Nutrition, 2022, 9: 965796.
- [36] YAN B W, CHEN Z S, HU Y Y, et al. Insight in the recent application of polyphenols from biomass [J]. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 2021, 9: 753898.
- [37] 杜勤炜,王海燕,孟凡硕,等.桃叶中奎宁酸等物质的测定与分析[J].山东化工,2023,52(9):128-130.
- [38] LIU H, JIANG W B, CAO J K, et al. Evaluation of antioxidant properties of extractable and nonextractable polyphenols in peel and flesh tissue of different peach varieties [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2018, 42(6): e13624.
- [39] 肖默艳,黄燕芬,王东伟,等.红心火龙果果肉中活性成分与其抗氧化能力的相关性研究[J].食品工业科技,2020,41(11):98-103,133.
- [40] RUDKE C R M, RUDKE A R, GERMANO A T, et al. Phenolic compounds and pectin-rich extracts recovered from peach pomace by sequential pressurized liquid extractions [J]. Food and Bioprocess Technology, 2025, 18(6): 5180-5195.
- [41] POTRICH C, VAGHI V, LUNELLI L, et al. OncomiR detection in circulating body fluids: A PDMS microdevice perspective [J]. Lab on a Chip, 2014, 14(20): 4067-4075.
- [42] 陆彩瑞.长柄扁桃和山杏种皮多酚的提取、成分鉴定及生物活性研究[D].西安:西北大学,2018.
- [43] YANG W B, LIU J C, LIU H, et al. Optimization of supercritical fluid extraction of phenolic compounds from peach blossom (*Amygdalus persica*) by response surface methodology [J]. Current Topics in Nutraceutical Research, 2019, 17(2): 180-187.
- [44] PLAZZOTTA S, IBARZ R, MANZOCCO L, et al. Optimizing the antioxidant biocompound recovery from peach waste extraction assisted by ultrasounds or microwaves [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2020, 63: 104954.
- [45] TSIAKA T, LANTZOURAKI D Z, POLYCHRONAKI G, et al. Optimization of ultrasound and microwave-assisted extraction for the determination of phenolic compounds in peach byproducts using experimental design and liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Molecules, 2023, 28(2): 518.
- [46] 孔维莹,赵晖,张云杰,等.桃汁酶解加工关键技术[J].现代食品, 2022,28(3):71-73.
- [47] MIHAYLOVA D, POPOVA A, DESSEVA I, et al. Valorization of peels of eight peach varieties: GC-MS profile, free and bound phenolics and corresponding biological activities [J]. Antioxidants, 2023, 12(1): 205.
- [48] ZHAO X Y, ZHANG W N, YIN X R, et al. Phenolic composition and antioxidant properties of different peach (*Prunus persica* (L.) Batsch) cultivars in China [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2015, 16(3): 5762-5778.
- [49] KURTULBAS E, SEVGEN S, SAMLI R, et al. Microwave-assisted extraction of bioactive components from peach waste: Describing the bioactivity degradation by polynomial regression [J]. Biomass Conversion and Biorefinery, 2024, 14(8): 9609-9619.
- [50] 郭佳羚,陈钰,谢诗婷,等.金花葵中黄酮类金丝桃苷的研究进展[J].食品安全导刊,2023,23:174-176.
- [51] ZHAO R R, XU Y Y, LI C Y, et al. Analysis of physicochemical characteristics, antioxidant activity, and key aroma compounds of five flat peach cultivars grown in Xinjiang [J]. Lwt-Food Science and Technology, 2023, 176: 114550.
- [52] 康文瀚,张九凯,邢冉冉,等.桃主要过敏原蛋白Prup3的分离纯化及质谱鉴定[J].食品科学,2021,42(20):38-44.
- [53] 崔国强.杜仲翅果中杜仲油、胶和桃叶珊瑚苷的提取工艺[D].哈尔滨:东北林业大学,2016.
- [54] DAI K, WEI Y Y, JIANG S, et al. Lab scale extracted conditions of polyphenols from thinned peach fruit have antioxidant, hypoglycemic, and hypolipidemic properties [J]. Foods, 2022, 11(1): 99.
- [55] 罗晓玥.几种糖苷糖醇类化合物印迹合成设计及分子识别与萃取应用研究[D].吉首:吉首大学,2023.
- [56] WANG L, LI A P, ZHONG Z C, et al. Isolation, purification and bioactivity of ACE inhibitory peptides from peach kernel protein enzymatic hydrolysate [J]. Food Science and Technology, 2022, 42(5): e107921.
- [57] MUNTEANU I G, APETREI C. Analytical methods used in determining antioxidant activity: A review [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2021, 22(7): 3380.
- [58] 蔡延渠,董碧莲,陈利秋,等.桃胶多糖体内外抗氧化作用的研究[J].食品工业科技,2020,41(13):53-58.
- [59] AMAZADEH F, OSTADRAHIMI A, SAADAT Y R, et al. Bitter apricot ethanolic extract induces apoptosis through increasing expression of Bax/Bcl-2 ratio and caspase-3 in PANC-1 pancreatic cancer cells [J]. Molecular Biology Reports, 2020, 47(3): 1895-1904.
- [60] 孙跃如,林桐,赵吉春,等.谷物源抗氧化肽:制备、构效及应用[J].

- 食品与发酵工业,2022,48(10):299-305.
- [61] ZHAO Q, ZHU L Y, WANG S A, et al. Molecular mechanism of the anti-inflammatory effects of plant essential oils: A systematic review [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2023, 301: 115829.
- [62] KIM H M, YOO D H, KANG J W, et al. Anti-inflammatory effect of extract from *Fragaria ananassa* Duch. Calyx via MAPK and *NF-κB* signaling pathway [J]. Journal of Microbiology and Biotechnology, 2024, 34(12): 2662-2674.
- [63] 栾彦军,王磊,贾戊.桃叶珊瑚苷在体外抑制白细胞介素-1 β 诱导的软骨细胞凋亡及减缓小鼠骨关节炎疾病进展实验研究[J].陕西医学杂志,2022,51(9):1055-1059,1065.
- [64] SHIROSAKI M, GOTO Y, HIROOKA S, et al. Peach leaf contains multiflorin a as a potent inhibitor of glucose absorption in the small intestine in mice [J]. Biological & Pharmaceutical Bulletin, 2012, 35(8): 1264-1268.
- [65] LIN X B, LAN M Y, XU C, et al. Peach gum polysaccharides promotes epithelial proliferation to attenuate ulcerative colitis by PI3K/AKT pathway [J]. Journal of Functional Foods, 2023, 107: 105662.
- [66] JASZCZAK-WILKE E, POLKOWSKA Z, KOPROWSKI M, et al. Amygdalin: Toxicity, anticancer activity and analytical procedures for its determination in plant seeds [J]. Molecules, 2021, 26(8): 2253.
- [67] YOU F P, LUAN H, SUN D, et al. MiRNA-106a promotes breast cancer cell proliferation, clonogenicity, migration, and invasion through inhibiting apoptosis and chemosensitivity [J]. DNA and Cell Biology, 2019, 38(2): 198-207.
- [68] 张红刚,郭尚.水蜜桃多酚的抗氧化、抗菌和抗肿瘤活性评价[J].食品研究与开发,2023,44(20):25-29.
- [69] ZHANG J X, YUAN W C, LI C G, et al. A review on the mechanisms underlying the antitumor effects of natural products by targeting the endoplasmic reticulum stress apoptosis pathway [J]. Frontiers in Pharmacology, 2023, 14: 1293130.
- [70] 严娟,沈志军,蔡志翔,等.桃果实中酚类物质研究进展[J].果树学报,2014,31(3):477-485.
- [71] NORATTO G, PORTER W, BYRNE D, et al. Polyphenolics from peach (*Prunus persica* var. Rich Lady) inhibit tumor growth and metastasis of MDA-MB-435 breast cancer cells *in vivo* [J]. The Journal of Nutritional Biochemistry, 2014, 25(7): 796-800.
- [72] CHEN H J, HUANG J Y, KO C Y. Peach kernel extracts inhibit lipopolysaccharide-induced activation of HSC-T6 hepatic stellate cells [J]. International Journal of Clinical Practice, 2022, 2022: 1-6.
- [73] EL BERNOUSSI S, BOUJEMAA I, EL GUEZZANE C, et al. Comparative analysis of nutritional value and antioxidant activity in sweet and bitter almonds [J]. Lwt-Food Science and Technology, 2024, 206: 116587.
- [74] OKAZAKI F, MOMMA K, HIRAKAWA Y, et al. Determination of severe peach allergens, gibberellin-regulated protein, and lipid transfer protein, using monoclonal antibodies [J]. Journal of Nutritional Science and Vitaminology, 2022, 68(3): 221-227.
- [75] LI S G, LI G P, LIU D J, et al. Peach gum polysaccharide protects intestinal barrier function, reduces inflammation and oxidative stress, and alleviates pulmonary inflammation induced by *Enterococcus faecium* E745 [J]. Journal of Functional Foods, 2024, 115: 106098.