红花的活性物质、加工技术及产品开发研究进展

吴凤琴[1]，王若冰[1]，江和源[2,3]，张蓝兮[1]，蒲树燕[1]，刘宏艳[2,3*]，饶　瑜[1*]

1. 西华大学食品与生物工程学院，四川 成都　610039
2. 中国农业科学院都市农业研究所，四川 成都　610213
3. 成都农业科技中心，四川 成都　610213

摘　要：红花是兼具药用与食用价值的传统资源，其花、籽、茎叶富含羟基红花黄色素 A、亚油酸、黄酮类等多种活性成分，具有抗氧化、抗炎等生物活性，具有广阔的研究与开发前景。聚焦红花主要活性物质、加工技术和产品开发现状，综述了红花不同部位（花、籽实及其油脂、茎叶）的主要营养成分、活性物质及其提取工艺研究进展，系统分析了羟基红花黄色素 A、红花多糖、黄酮类、生物碱及亚油酸等多种功能成分的组成与特性。因红花中活性成分易受光、热、氧化等因素影响，在加工与贮藏中易发生降解，制约了其品质稳定性与高值化利用。然而，目前对活性成分降解机制及其与加工方式关联性的认识尚不充分，副产物资源化利用亦显不足。基于此，进一步概述了红花的干燥、护色、贮藏等关键加工技术，提出可通过构建“加工-结构-活性”关联研究体系、优化提取工艺、添加天然抗氧化剂等护色手段及明确降解动力学与产物安全性等途径，提升红花及其制品的品质与稳定性。总结了红花在天然色素、功能性油脂、蛋白质副产物利用等食品相关领域的产品开发现状，并探讨了“全株梯次利用”的技术路线与分子机制验证方向，以期为红花资源的综合开发、功能食品创新及其在医药、化妆品等领域的拓展应用提供理论依据与技术参考。

关键词：红花；活性物质；提取工艺；加工技术；产品开发；全株梯次利用

中图分类号：R282.71　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**0253 - 2670(2026)22 - 9212 - 14

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.22.032

Research progress on active substances, processing technologies, and product development of *Carthamus tinctorius*

WU Fengqin[1], WANG Ruobing[1], JIANG Heyuan[2,3], ZHANG Lanxi[1], PU Shuyan[1], LIU Hongyan[2,3], RAO Yu[1]

1. School of Food and Bioengineering, Xihua University, Chengdu 610039, China
2. Institute of Urban Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610213, China
3. National Chengdu Agricultural Science and Technology Center, Chengdu 610213, China

Abstract: *Carthamus tinctorius* is a traditional resource with both medicinal and edible value. Its flowers, seeds, and stems and leaves are rich in multiple active components such as hydroxysafflor yellow A, linoleic acid, and flavonoids, which possess biological activities like antioxidant and anti-inflammatory effects, showing broad prospects for research and development. This article focuses on the main active substances of *C. tinctorius*, processing technologies, and the current status of product development. It reviews the main nutritional components, active substances, and progress in extraction technology research of different parts of *C. tinctorius* (flowers, seeds and their oils, stems, and leaves), and systematically analyzes the composition and characteristics of various functional components, including hydroxysafflor yellow A, safflower polysaccharides, flavonoids, alkaloids, and linoleic acid. Since the active components in *C. tinctorius* are easily affected by factors such as light, heat, and oxidation, they are prone to degradation during processing and storage, which limits the stability of its quality and high-value utilization. However, current understanding of the mechanisms of active component degradation and their correlation with processing methods is still insufficient, and the resource

收稿日期：2026-04-23

基金项目：成都农业科技中心地方财政专项资金项目（NASC2024KY22）；中国农业科学院科技创新工程项目（ASTIP2026-34-IUA-09）；中国农业科学院都市农业研究所所级重大任务项目（SZ202403）

作者简介：吴凤琴，硕士研究生，研究方向为生物技术与工程。E-mail: 15244806141@163.com

***通信作者：**刘宏艳，副研究员，硕士生导师，从事植物功能因子挖掘与高值化利用领域的研究。E-mail: liuhongyan01@caas.cn

饶　瑜，教授，硕士生导师，从事食品微生物研究。E-mail: ryfish@163.com

utilization of by-products is also inadequate. To address this, the article further summarizes key processing technologies for safflower, including drying, color protection, and storage, and proposes methods to improve the quality and stability of safflower and its products, such as establishing a “processing-structure-activity” correlation research system, optimizing extraction processes, adding natural antioxidants for color protection, and clarifying degradation kinetics and product safety. Finally, the article summarizes the current status of product development of safflower in food-related fields such as natural pigments, functional oils, and protein by-product utilization, and discusses the technical route of “whole-plant cascade utilization” as well as directions for molecular mechanism verification, aiming to provide theoretical basis and technical reference for the comprehensive development of *C. tinctorius* resources, innovation of functional foods, and their expanded applications in medicine, cosmetics, and other fields.

Key words: *Carthamus tinctorius* L.; active substances; extraction process; processing technology; product development; whole-plant cascade utilization

红花 *Carthamus tinctorius* L.是菊科红花属的一、二年生草本植物，也称红蓝花或刺红花[1-2]。作为我国传统中医药和“药食同源”文化体系中的重要资源，其应用历史源远流长，药理活性多样，应用价值多元。红花原产于西亚与欧洲地区，引入我国已有 2 000 余年历史，目前主要分布于新疆、甘肃、云南及四川等地[3-4]。随着研究的不断深入，发现红花中不仅富含蛋白质、不饱和脂肪酸、维生素 E 及多种矿物质等营养成分，还含有羟基红花黄色素 A（hydroxysafflor yellow A，HSYA）、红花红色素、红花多糖、黄酮类、生物碱类及亚精胺类等多种活性成分。现代药理学研究证实其具有抗氧化、抗炎、抗纤维化、抗肿瘤、免疫调节、肝保护等多种生物活性[5]，具有较强的应用开发价值。

然而，红花鲜品（花部）在采摘后极易出现萎蔫、色素降解和霉变等问题，迄今为止尚未找到一种能兼顾成本、效率与活性成分保留率的有效方法来延长其贮藏保鲜期。目前市场上销售的大多是经过干燥处理的干花及以此为基础的提取物产品，而传统的红花干燥与贮藏技术面临多种问题，如热风干燥等方法易导致热敏性活性成分大量损失，进而引发色泽与香气劣变；常规贮藏条件下活性成分会随保存时间延长而显著下降；以及高品质的真空冷冻干燥技术存在成本高、周期长的产业化瓶颈等。与此同时，红花籽油作为红花最重要的油脂产品，其开发与保存同样面临挑战。尽管红花籽油富含高比例的亚油酸和维生素 E，是极具价值的营养功能性油脂，但其高度不饱和脂肪酸的特性也使其在加工和贮存过程中极易发生氧化酸败，导致酸价和过氧化值升高，严重影响油品风味、营养价值和货架期。传统的压榨或精炼工艺在解决这一问题上仍有局限。为系统突破红花综合利用及产品开发，推动红花资源的高效转化与品质稳定，本文旨在立足食品资源的视角，系统综述红花不同部位（花、籽实与籽油、茎叶）的主要营养成分与活性物质；重点归纳和评述适用于食品生产的各类活性物质的提取工艺与关键加工技术（干燥、护色、贮藏）；并总结以红花为原料开发的各类食品及相关产品现状，以期为红花在食品工业中的深度开发、全资源高值化利用及产业升级提供全面的参考依据。

1 红花各部位主要活性物质

1.1 花部

1.1.1 多酚类化合物 红花花部富含多种多酚类化合物，主要包含黄酮类与醌式查耳酮类，这 2 类成分因其具有多个酚羟基而成为发挥药理作用的重要物质基础。黄酮类化合物具有 C_6-C_3-C_6 的典型母核结构[6]，在红花中含量丰富，包括山柰酚、槲皮素、6-羟基山柰酚等各类衍生物[7]。赫军等[8]通过大孔吸附树脂、Sephadex LH-20 及反相高效液相色谱等分离方法，从红花水提取物中成功分离并鉴定了(2*S*)-4′,5,6,7-四羟基二氢黄酮-6-*O*-β-*D*-吡喃葡萄糖苷等多种黄酮类成分，丰富了红花的化学成分库。

醌式查耳酮类是红花最具代表性的多酚类成分，由查耳酮 A 环氧化为醌式结构并以碳苷化形式存在，主要包括黄色素和红色素[9-10]。红花黄色素占干花总成分的 20%～30%，其中 HSYA 为主要活性物质，质量分数为 3%～6%[11-12]。在抗氧化方面，HSYA 通过上调谷胱甘肽过氧化物酶 4（glutathione peroxidase 4，GPX4）和胱氨酸/谷氨酸逆向转运体 xc^- 系统（cystine/glutamate antiporter system xc^-，system xc^-）表达，维持还原型谷胱甘肽（glutathione，GSH）/氧化型谷胱甘肽（glutathione disulfide，GSSG）氧化还原稳态，清除活性氧（reactive oxygen species，ROS）并减轻脂质过氧化[13]。在抗炎方面，HSYA 可抑制 Toll 样受体 4（Toll-like receptor 4，TLR4）/核苷酸结合寡聚化结构域样受体蛋白 3

（nucleotide-binding oligomerization domain-like receptor protein 3，NLRP3）信号通路，减少肿瘤坏死因子-α（tumor necrosis factor-α，TNF-α）、白细胞介素-1β（interleukin-1β，IL-1β）、IL-6 等促炎因子释放，在急性肺损伤模型中表现出抗炎活性[14]。在心血管保护方面，HSYA 能有效抑制血小板聚集和血栓形成，并能直接舒张脑血管（基底动脉舒张率达 73.1%）、改善血脑屏障通透性[15]。在抗纤维化方面，HSYA 通过抑制转化生长因子-β1（transforming growth factor-β1，TGF-β1）/结缔组织生长因子（connective tissue growth factor，CTGF）表达和细胞外信号调节激酶 5（extracellular signal-regulated kinase 5，ERK5）通路，减少 I、III 型胶原生成，延缓肝纤维化进程[16]。在抗肿瘤方面，HSYA 可通过激活 Hippo 通路、抑制 p21 激活激酶 1（p21-activated kinase 1，PAK1）/ERK 信号通路等机制发挥抑制增殖、诱导凋亡和逆转化疗耐药等抗肿瘤活性[17-18]。脱水红花黄色素 B（anhydrohydroxysafflor yellow B，AHSYB）与 HSYA 结构类似，其药动学特征已有初步研究[19]。如在心肌保护方面，AHSYB 可通过减轻线粒体膜电位下降、抑制 ROS 生成、减少细胞色素 C 释放及降低裂解的半胱氨酸天冬氨酸蛋白酶-3（cleaved cysteinasparate protease-3，cleaved Caspase-3）表达，改善缺氧/复氧损伤（hypoxia/ reoxygenation，H/R）损伤 H9c2 心肌细胞的线粒体功能障碍[20]；在抗氧化方面，AHSYB 与 HSYA 均可上调 GPX4/system xc^-、抑制铁死亡和聚腺苷二磷酸核糖聚合酶-1 依赖性细胞死亡，且在抑制聚腺苷酸二磷酸核糖聚合酶-1（poly ADP-ribose polymerase-1，PARP-1）过度活化方面效果更优[13]；红花红色素在红花中含量较低，为 0.3%～0.6%，其主要成分为红花苷。红花苷难溶于水及弱酸性溶液，而易溶于碱性水溶液[21]。然而，红花苷的热稳定性较差，高温下易发生降解，一定程度上影响了其实际应用[12]。

1.1.2 红花多糖 红花多糖作为花瓣中的重要活性成分，目前已分离鉴定出 17 种均质多糖，其相对分子质量分布广泛，从 5.13×10^3（SP-1）至超过 1×10^5（SF-1、SF-2）不等[22]。结构解析发现，这些多糖具有 β-型吡喃环结构[23]。进一步的分离纯化研究表明，不同多糖组分其单糖组成及物质的量比差异显著。任爱农等[24]分离得到 2 种均一杂多糖 SPS2 和 SPS3。其中，SPS2（相对分子质量 9.33×10^3）由鼠李糖、阿拉伯糖、木糖、甘露糖、葡萄糖和半乳糖组成（物质的量比 4.44∶1.46∶4.51∶5.82∶8.23∶19.38），而 SPS3（相对分子质量 5.86×10^3）则含有鼠李糖、阿拉伯糖、葡萄糖和半乳糖（物质的量比 2.93∶11.19∶33.68∶3.48）。此外，Lin 等[25]也从红花中分离出 2 个新型多糖组分 CTLP-1（5 900）和 CTLP-2（8 200）。CTLP-1 由阿拉伯糖、葡萄糖和半乳糖以 6.7∶4.2∶1 的物质的量比构成，而 CTLP-2 中这 3 种单糖的比例为 16.76∶4.28∶1。这些研究不仅丰富了红花多糖的结构数据库，也为深入理解其构效关系奠定了重要基础。

多项研究表明，红花多糖具有免疫调节、抗肿瘤、抗氧化及抗炎等多重生物活性。在抗肿瘤方面，红花多糖可显著抑制 H_{22} 荷瘤小鼠的肿瘤生长（抑瘤率达 66.8%），降低丙二醛（malondialdehyde，MDA）水平并提高谷胱甘肽还原酶、谷胱甘肽过氧化物酶（glutathione peroxidase，GSH-Px）、过氧化氢酶（catalase，CAT）等抗氧化酶活性，同时减少 ROS 生成，提示其抗肿瘤作用可能与清除 ROS、减轻氧化损伤及增强机体免疫功能有关[26]。在抗炎方面，红花多糖可通过抑制信号转导和转录激活因子 3（signal transducer and activator of transcription 3，STAT3）/核因子-κB（nuclear factor-κB，NF-κB）信号通路、修复肠屏障功能［上调闭锁小带蛋白-1（zonula occludens-1，ZO-1）、闭合蛋白（Occludin）、克劳丁-1（Claudin-1）等紧密连接蛋白及黏蛋白 1（Mucin 1，Muc1）、Muc2 等黏蛋白的表达］，显著改善葡聚糖硫酸钠诱导的小鼠溃疡性结肠炎，并能调节肠道菌群结构[27]。

1.1.3 其他活性成分 红花花瓣还含有生物碱、聚炔类和亚精胺类化合物等活性物质。Lou 等[28]从红花中分离鉴定了 2 个新的四氢-β-咔啉类生物碱差向异构体，命名为红花胺 A（carthamine A）和红花胺 B（carthamine B），并发现其具有潜在的酪氨酸酶抑制活性（$IC_{50}=1.7\times10^{-4}$ mol/L），作用机制涉及与酪氨酸酶活性位点 His263、Val283 和 Asn260 等关键氨基酸残基的疏水相互作用。聚炔类化合物如红花炔醇虽具有生物活性，但其稳定性较差，易在空气中发生聚合反应，研究表明经糖苷化修饰后可显著提升其稳定性，便于长期贮存[29]。在亚精胺类成分研究方面，红花中主要含有 4 个三香豆酰基取代的亚精胺几何异构体，包括 N^1,N^5-(*Z*)-N^{10}-(*E*)-三-对-

香豆酰亚精胺及其 3 种构型异构体等[30-31]。定量分析显示，红花中的亚精胺质量分数可达（7.29±1.83）μg/g，在多种中药材中居于前列。现代研究表明，亚精胺具有延缓衰老、抗氧化、抗炎及心血管保护等药理活性，其作用机制分别与诱导自噬、降低 MDA 和提高 GSH 水平、抑制促炎因子释放及巨噬细胞极化、增强心脏自噬和线粒体自噬等有关[32]。因此，红花所含的亚精胺类成分不仅丰富了其化学物质基础，也可能是其发挥相关药效的重要活性单元之一。

此外，红花花瓣的脂质组分分析表明，其以游离脂肪酸为主要成分，其中棕榈酸（C16：0）含量最高。同时，还检测到 β-谷甾醇及其糖苷化产物谷甾醇-3-*O*-β-*D*-吡喃葡萄糖苷等特征性甾类化合物[33]。这些脂溶性成分可能协同参与红花的多种生物活性。

1.2 籽实与籽油

红花籽兼具药食两用价值，既可用于心脑血管疾病的预防与辅助治疗，还具备降血糖、降血压的作用[34]。其营养成分丰富，富含油脂（27%～32%）、粗蛋白（14.9%～17%）、糖类（3.2%～9.2%）、粗纤维（32%～34%）等成分[35]。红花籽实加工产物红花籽油含有不饱和脂肪酸、维生素 E、植物甾醇等，具有较高的营养和功能价值（表 1）。研究发现，制油后的饼粕因脱壳程度不同，其营养成分差异显著。完全脱壳的饼粕蛋白质含量较高，但赖氨酸和含硫氨基酸相对不足。此外，饼粕中还含有胆碱、铁、锌及抗氧化活性的血清素衍生物[38]。近年来，随着植物功能性成分研究的深入，红花籽实、籽油及其副产品在食品、医药和化妆品等领域的应用潜力备受关注。

表 1 红花籽油与其他常见食用植物油的主要成分对比

Table 1 Comparison of major components between *C. tinctorius* seed oil and other common edible vegetable oils

序号	油脂种类	亚油酸（C18: 2ω-6）/%	油酸（C18: 1ω-9）/%	α-亚麻酸（C18: 3ω-3）/%	维生素 E/(mg·kg^{-1})	植物甾醇/(mg·kg^{-1})
1	红花籽油[36]	67.8～83.2	8.4～21.3	0～0.1	240～670	2 100～4 600
2	大豆油[36-37]	48.0～59.0	17.0～30.0	4.5～11.0	600～3 370	30～4 500
3	菜籽油[36-37]	11.0～23.0	8.0～60.0	5.0～13.0	500～980	70～11 300
4	花生油[36-37]	13.0～45.0	35.0～72.0	0～0.3	170～1 300	20～2 900
5	棉籽油[36]	46.0～58.0	14.0～23.0	0～0.4	380～1 200	28～6 400
6	葵花籽油[36-37]	45.4～74.0	14.0～43.0	0～0.3	440～1 520	37～5 000
7	芝麻油[36-37]	36.9～47.9	34.4～45.5	0.2～1.0	210～1 010	63～19 000
8	亚麻籽油[36-37]	12.0～18.0	11.0～24.0	51.0～57.0	150～905	32～6 900
9	玉米油[36]	34.0～65.6	20.0～42.2	0～2.0	330～3 720	7 000～22 100
10	米糠油[36-37]	21.0～42.0	38.0～48.0	0.1～2.9	191～2 349	1 300～31 000

1.2.1 脂肪酸 红花籽油的核心营养特征在于其独特的脂肪酸组成。从表 1 可见，与其他常见植物油相比，红花籽油中不饱和脂肪酸占比极高，以亚油酸（C18: 2ω-6）为主，质量分数可达总脂肪酸的 67.8%～83.2%，这一突出优势使红花籽油被誉为“亚油酸之王”。亚油酸是人体无法自行合成的必需脂肪酸，也是红花籽油中最核心的活性成分。亚油酸作为 ω-6 系列多不饱和脂肪酸的代表，能有效降低血浆中总胆固醇和三酰甘油水平[39]；其与 α-亚麻酸共享 Δ^6 和 Δ^5 去饱和酶系，二者存在竞争性抑制关系，维持二者适宜比值是发挥其调脂活性的关键[40]。亚油酸/α-亚麻酸比值低膳食可显著降低身体质量指数、三酰甘油、总胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇及促炎因子 IL-6 水平，其机制与上调肝脏氧化物酶体增殖物激活受体-α（peroxisome proliferator activated receptor-α，PPAR-α）/酰基辅酶 A 氧化酶 1（acyl-CoA oxidase 1，ACOX1）脂质氧化通路、下调固醇调节元素结合蛋白 1c（sterol regulatory element binding protein-1c，SREBP-1c）/脂肪酸合酶（fatty acid synthase，FAS）脂质合成通路有关[39]。除亚油酸外，红花籽油还含有油酸（约 11.03%）、棕榈酸（约 4.37%）、硬脂酸（约 1.88%）及少量亚麻酸等脂肪酸[41]。在脂质组成方面，红花籽油富含磷脂酰肌醇（phosphatidylinositol，PI）、磷脂酰乙醇胺、磷脂酸和磷脂酰胆碱 4 种主要磷脂，其中 PI 含量最高，这些磷脂对维持细胞膜结构和功能具有重

要作用[42]。

1.2.2 生物碱 红花籽中的生物碱类化合物作为第 2 大类活性成分，在化学结构上主要为 5-羟色胺吲哚类生物碱及其衍生物，同时伴有一定量的亚精胺类生物碱存在[43]。结构分析表明，该类吲哚生物碱分子结构中同时包含吲哚环和对羟基桂皮酰胺基团；在存在形态方面，主要以单体形式存在，二聚体形态相对较少。基于其较低的极性特征，这类生物碱在红花种子中具有较高的浓度，并在红花油和红花籽粕中呈现明显的富集现象[44]。Sato 等[45]通过系统研究，从红花种子中分离鉴定出一种新型吲哚衍生物色胺酮（serotobenine）；同时分离获得 *N*-阿魏酰色胺和 *N*-(对香豆酰)色胺 2 种已知化合物。生物碱作为一类重要的植物源活性物质，与其生物学活性直接相关。它们不仅能通过清除自由基、提高抗氧化酶活性发挥抗氧化作用，以及抑制多种有害微生物生长且不易产生耐药性；更重要的是，在动物体内它们还能改善肠道形态结构、调节肠道菌群平衡、维护肠道黏膜健康，并促进免疫器官发育、增强免疫细胞与免疫因子活性，进而提升机体免疫力[46]。但目前针对红花生物碱类成分，其体内药动学特征、具体作用分子靶点及系统的构效关系研究仍较为缺乏，亟待深入开展相关研究，以推动其在新药研发与功能性产品开发中的应用。

1.2.3 维生素 E 红花籽油中维生素 E 含量丰富。根据国际食品法典委员会标准，红花籽油中总生育酚质量分数为 240～670 mg/kg，其中 α-生育酚为主要单体，质量分数为 234～660 mg/kg，此外还含有少量的 β-、γ-生育酚以及 γ-生育三烯酚[47]。维生素 E 作为一种重要的脂溶性天然活性物质，对延缓衰老、提高免疫力以及清除人体自由基具有积极影响。此外，红花籽油还具有改善皮肤健康、促进血液循环以及缓解更年期症状等重要的生理功效[48]。

1.2.4 其他 红花籽、红花籽油及其加工副产物饼粕中鉴定出多种具有显著生理活性的微量组分。红花籽油中植物甾醇主要由 β-谷甾醇（81%）、菜油甾醇（13%）和豆甾醇（6%）构成[49]。这些植物甾醇在调节胆固醇代谢、抑制炎症反应及调控免疫功能等方面表现出明确的生物活性。红花籽中的多酚按存在形态可分为游离态、糖基化态、酯化态和不溶性结合态 4 类。其中，游离态为主要存在形式，占总酚含量的 75.12%，其余 3 种形态合计占 24.88%。多酚具有抗氧化、抗炎、抑菌、延缓衰老及清除自由基等多种生物活性功能[48]。红花籽油副产物红花籽粕除含有 19%～50%的蛋白质外，还含有黄酮类、糖苷类、木脂素类及苯丙烯酞-5-羟色胺等次生代谢产物[50-51]。研究显示，红花籽粕可作为饲料添加剂，对提高奶牛产奶量具有积极作用[50]。然而，仍有部分红花籽粕以填埋方式处置而未被资源化利用，此举既造成蛋白资源的损失也对环境构成潜在威胁。

1.3 茎叶

目前对红花茎叶活性成分研究相对有限，近年研究表明红花茎叶中含有丰富的黄酮物质。伊丽娜等[52]建立了高效液相色谱（high performance liquid chromatography，HPLC）定量分析方法，成功测定了茎叶中槲皮素（2.34 μg/g）、木犀草素（1.45 μg/g）和芹菜素（0.13 μg/g）的含量，3 种成分的平均回收率分别达到 95.62%、97.95%和 96.75%。马梦鸽[53]采用超高效液相色谱-飞行时间-四极杆串联质谱（ultra performance liquid chromatography-time of flight-quadrupole tandem mass spectrometry，UPLC-TOF-Q-MS）技术对红花茎叶提取物进行了系统分析，共鉴定出 18 种化合物，包括木犀草素、维采宁-1、维采宁-2 和长寿花糖苷等。此外，通过血清药物化学分析发现木犀草素、维采宁-1、维采宁-2 和长寿花糖苷 4 种成分能够进入血液循环。研究证实，红花茎叶提取物在体外具有抗氧化和抗炎活性，在体内对四氯化碳诱导的急、慢性肝损伤均具保护作用，其机制与木犀草素等核心黄酮成分调控 TLRs/NF-κB 和磷脂酰肌醇-3-羟激酶（phosphatidylinositol-3-hydroxykinase，PI3K）/蛋白激酶 B（protein kinase B，Akt）信号通路，进而抑制炎症与氧化应激有关。

2 红花主要活性物质提取工艺

2.1 HSYA

HSYA 是红花中的主要活性成分之一，其提取方法经历了从传统浸提、有机醇提到物理场强化及绿色溶剂应用的不断发展。不同方法在提取率、纯度、能耗、安全性及工业化可行性方面差异显著（表 2）。

传统水浸提法以水为溶剂，安全性高、成本低，但粗提物杂质较多，需后续纯化处理。醇提法可显著提高提取率，但高温回流不利于热敏性 HSYA 的稳定，且需考虑溶剂回收成本。针对 HSYA 的热敏性问题，减压回流提取通过降低沸点实现低温沸

表 2 HSYA 不同提取方法的综合对比

Table 2 Comprehensive comparison of different extraction methods for HSYA

提取方法	溶剂体系	提取率/转移率	产物纯度	提取时间	能耗水平	溶剂安全性	工业化可行性	主要优缺点
水浸提法[54]	水	提取率 92.79%	低（粗提物杂质多）	40 min	低	高（无毒无害）	成熟，已规模化应用	安全性高、成本低，但杂质多，后续纯化负担重
乙醇回流提取[55]	60%乙醇	提取率 98.9%	中	60 min×3 次	中（需持续加热）	中（乙醇需回收，有残留风险）	成熟，需配套溶剂回收设备	提取率最高，但高温不利于热敏性成分，溶剂回收增加成本
减压回流提取[56]	水	未单独报道	中	20 min×3 次	低	高（无毒无害）	中（需真空设备，间歇操作影响效率）	低温保护热敏性成分，但设备要求高，生产效率受限
DMSO 提取[57]	二甲基亚砜	转移率 101.51%	低（纯化后仅 14.56%）	50 min×2 次	中（需加热）	低（DMSO 有毒性）	低（安全性制约）	溶解能力强，转移率高；但溶剂毒性限制其实际应用
闪式提取[58]	水	转移率 84.37%	中	2.5 min	低	高（无毒无害）	中高（设备简单，易于放大）	快速、室温操作保护热敏成分，但溶剂倍量大，提取率相对较低
NaDES 提取[59-60]	尿素-山梨醇或 *L*-脯氨酸-乙酰胺	20.98 ～ 32.83 mg·g^{-1}（较水提提高 21%～53%）	中高	30 min	中（需温和加热，回收能耗高）	中（组分多为食品级，但残留限量无法规依据）	低（溶剂回收困难，残留安全性待评估）	兼具活性增强与生物利用度提升功能，但黏度高、回收能耗高、残留安全性待系统评估

DMSO-二甲基亚砜；NaDES-天然深共熔溶剂。

DMSO-dimethyl sulfoxide; NaDES-natural deep eutectic solvents.

腾，为热敏性成分提取提供了新思路，但该法对设备真空度控制要求较高。二甲基亚砜提取虽效率高，但溶剂毒性限制了其实际应用。闪式提取作为一种物理场强化技术，室温操作、耗时极短，有效避免了 HSYA 热降解，能耗低且安全性高，易于放大生产。近年来，天然深共熔溶剂（natural deep eutectic solvents，NaDES）展现出良好前景，不仅提取效率优于水提，还兼具增强抗氧化活性或提升口服生物利用度的功能，但其工业化仍面临溶剂回收能耗高和残留安全性待评估等挑战。

2.2 红花红色素

红花红色素的主要成分红花苷难溶于水而易溶于碱性溶液，这一特性决定了其独特的碱提酸沉工艺，该方法常以提取完黄色素后的红花残渣为原料，实现了资源的梯级利用。何昱等[61]对比了 2 种优化方法，发现单纯的碱溶酸沉法可获得纯度超过 98%的红花红色素但提取率仅为 0.779%，而采用丙酮-硫酸铵双水相体系法虽纯度略低（约 90%），但提取率可大幅提升至 2.650%，显示出更高的产业化潜力。辛航航等[62]以提取黄色素后的红花残渣为原料，采用传统碱提酸沉法制得红色素粗品，得率为 0.65%，进一步印证了该工艺提取效率偏低的固有局限。李冬梅等[63]对工艺进行了系统优化，以氢氧化钠调节 pH 至 10.3，料液比 1∶36.5 浸提 5.3 h，随后用醋酸调节 pH 至 3.5～4.0 使红花红色素沉淀，再以小麦纤维素为载体吸附，显著提高了红花红色素的色价和纯度。在绿色提取方面，Zhang 等[64]采用天然三元低共熔溶剂氯化胆碱-乙二醇-乙酰胺（choline chloride-ethylene glycol-acetamide，ChCl-EG-AM）结合超声辅助提取，实现了红、黄色素的一步同步提取，红色素得率达 2.156 2 mg/g，其高效性主要源于溶剂的氢键作用对原料表面结构的破坏。相比传统方法，该绿色工艺避免了酸碱和有机溶剂的使用，且能显著提升色素在 4 ℃避光条件下的稳定性，兼具提取与储存保护功能。

2.3 红花多糖

红花多糖作为重要的免疫调节活性成分，其提取方法经历了从传统水提到现代辅助技术的演变，核心目标是在保证多糖结构完整的前提下提高得率。热水浸提法是提取多糖的传统方法，具有操作简单、成本低、适用于工业化生产的优点，但存在浸提时间长、提取率相对较低的不足[65]。何素芳[66]通过正交试验优化水提工艺，在 80 ℃、料液比 1∶20、每次 1.5 h、提取 3 次的条件下，粗多糖得率

为 10.19%，折算后纯化多糖提取率约为 2.60%。邓蓉等[67]采用响应面法进一步优化，在温度 94.71 ℃、时间 1.67 h、水料比 22.04∶1、提取 2 次的条件下，多糖提取率达 2.789%。水提液常需结合醇沉法进行纯化，利用多糖在乙醇中溶解度低的特性去除小分子杂质，徐永良等[68]采用水提醇沉结合 Sevage 法除蛋白，最终获得纯度 76.048%的多糖；张馨心等[23]进一步联合酶法（木瓜蛋白酶-Sevag 法）和柱色谱方法（DEAE-52 及 Sephadex G-200），获得了 3 个多糖质量分数均超过 89%的均一多糖组分。与热水浸提相比，超声波辅助提取法利用超声空化效应破坏细胞壁，可显著提高提取效率、缩短提取时间，但高功率超声可能对多糖结构造成降解，影响其生物活性。袁洁等[69]优化出的超声提取工艺（料液比 1∶25、温度 69 ℃、时间 60 min、功率 630 W）使多糖提取率达到 14.16%，显著高于传统水提法。Wang 等[70]用超声辅助结合柱色谱成功分离出 4 种均一多糖组分 SSP1-4，相对分子质量分布在 38.03～76.92，为构效关系研究奠定了基础。总体而言，热水提取法更适合工业化生产，而超声辅助提取虽效率更高，但需关注其对多糖结构的潜在影响。

2.4 生物碱

红花不同部位均含有生物碱类成分，其提取方法因组织来源和化合物极性的差异而有所不同。针对花部总生物碱，方振峰等[71]采用回流提取法，通过正交试验确定了最优提取条件（温度 65 ℃、液料比 50∶1、40%甲醇提取 60 min），使总生物碱质量分数达到 35.99 mg/g。该工艺操作简便、条件温和，适用于实验室规模的提取，但其在工业化生产中的溶剂消耗较大（液料比达 50∶1），经济性和放大可行性有待进一步验证。此外，张东博等[72]以红花叶为研究对象，对其甲醇提取物中的生物碱成分进行了系统分离与结构解析，从中鉴定出 2 个 β-卡波林型生物碱。其中，红花碱 A 为一个新化合物，另一成分为其结构类似物，二者均为首次从红花属植物中分离得到。该研究丰富了红花叶生物碱的化学物质基础，为后续活性筛选提供了关键化合物，但并未涉及提取工艺的优化或产率评价。目前，红花中生物碱的研究仍相对较少，现有工作多集中于单一部位（花或叶）的提取或分离，缺乏针对不同部位生物碱的选择性提取工艺的系统比较，也未见不同提取方法对生物碱结构影响的深入探讨。因此，未来的研究应加强工艺的横向比较与构效关系分析，以推动红花生物碱的高效制备与开发利用。

2.5 红花籽油

红花籽油的工业化生产长期以压榨法和浸出法为主，但传统方法存在出油率低或溶剂残留等问题。近年来，水酶法、超声波辅助提取法、超临界 CO_2 萃取法等新型绿色提取工艺相继涌现，为红花籽油的高值化利用开辟了新路径。

水酶法利用酶破坏油料细胞壁，使油脂在温和条件下释放。李倩等[73]优化胰酶提取工艺，在酶添加量 305 U/g、料液比 1∶6、温度 45 ℃、时间 3 h 条件下，清油提取率达 65.14%。所得油脂不饱和脂肪酸质量分数＞90%，亚油酸约 79%，与浸提法成分接近。该方法的优势在于条件温和、无溶剂残留，但酶制剂成本较高、反应时间较长，且乳化现象需额外破乳处理，更适用于高附加值功能性油脂的生产。超声波辅助提取法利用空化效应加速油脂溶出，魏伟等[74]优化超声回流提取工艺，在液料比 20∶1、超声时间 35 min、温度 40 ℃条件下，籽油提取率达 17.25%。何玉柱等[75]进一步研究表明，超声波辅助提取不仅能提高出油率，还能显著改善油脂品质，赋予清香风味的反-2-辛烯醛、正己醇质量分数分别达 2.74%和 14.96%，均高于对照组，氧化稳定性指数为 6.89 h，显著优于对照组的 5.57 h，这可能与超声波有利于提取红花籽壳中的多酚类物质，从而增强油脂抗氧化能力有关。与其他方法相比，超声波辅助提取设备成熟、操作简便、与现有浸出工艺兼容性好，是目前最具产业化推广潜力的技术之一，但需注意控制超声功率以避免局部过热。超临界 CO_2 萃取具有无溶剂残留、活性成分保留好的优势。金竹萍等[76]在 28 MPa、45 ℃条件下萃取 2 h，提取率达 27.8%，亚油酸质量分数 79.16%，不饱和脂肪酸质量分数 91.37%，品质优于传统溶剂法。该方法产品品质最优，但设备投资大、运行成本高，目前主要应用于高附加值油脂的制备，在大宗红花籽油生产中经济性仍面临挑战。

3 红花的主要加工技术

红花作为传统活血化瘀中药及药食同源品种，其花、籽实、茎叶等不同部位富含 HSYA、红花红色素、亚油酸、黄酮类等活性物质，且这些成分对加工条件敏感（如红花苷热稳定性差、亚油酸易氧化），因此需通过针对性加工技术保留成分活性与品质，为后续产品开发奠定基础。

3.1 干燥技术

红花作为重要的药用与食用植物资源，其干燥过程对保持有效成分及商品价值具有关键作用。红花采收后若不及时干燥，易发生霉变与色素降解，影响品质与药效。因此，探索高效、经济的红花干燥方式，对于保障红花产品质量、提升加工效益具有重要意义。红花干燥工艺的研究经历了从传统自然干燥（阴干、晒干）到现代工业干燥（热风烘干、微波干燥、真空冷冻干燥等）的演变。综合现有研究，不同干燥方法对红花中的标志性活性成分 HSYA 的影响尤为显著，这直接关系到药材的最终质量。通过汇总近年来红花的干燥方法（表 3），可以发现不同干燥方式对红花品质的影响是多维度的。从活性成分保留角度看，冷冻干燥和微波干燥表现突出，但二者在成本、风味保持上各有优劣。从综合品质、风味和显微结构来看，真空冷冻干燥是保留红花原有特性的最佳方式，但其高昂的成本和较长的加工周期限制了其在产地大规模应用。热风干燥特别是 60 ℃以下的低温烘干，虽在成分保留上稍逊于冷冻干燥，但其成本低、效率高、条件可控，是平衡品质与效益的理想选择，尤其适合工业化推广。传统的阴干法虽能较好地保留部分成分，但受天气影响大、周期长且存在霉变风险；而晒干法因光照导致色素和 HSYA 严重降解，在现代加工中应被淘汰。因此，未来的研究应致力于开发新型联合干燥技术，如将热风与微波或红外干燥相结合，以期在保证红花品质的同时，实现高效、节能和低成本的产业化生产。

表 3 不同干燥方式对红花品质的影响

Table 3 Effects of different drying methods on quality of *C. tinctorius*

序号	干燥方式	干燥效果	文献
1	阴干	HSYA 及黄酮类成分保留较好，品质优于晒干；但周期长、受环境制约大，易霉变，不适于规模化生产	77-78
2	晒干	成本低，但光降解导致 HSYA 等活性成分损失严重，品质最差，不宜采用	77-78
3	热风烘干（40～50 ℃）	HSYA、黄酮及多糖保留效果接近阴干，兼顾品质与成本，为较优工艺	77,79
4	热风烘干（60 ℃）	效率较高，综合成本、品质及可控性，适于产地规模化推广	79-80
5	热风烘干（>80 ℃）	速率快，但高温致 HSYA 显著降解，皱缩加剧，色泽变暗，品质下降	77-79
6	真空冷冻干燥	HSYA 及香气成分保留最优，色泽鲜亮、结构完整，品质最佳；但成本高、周期长，适于高端产品	79-81
7	微波干燥	效率极高，HSYA 保留率较高；但加热不均易致焦糊及异味（如微波干燥后糠醛、3-甲基-2-丁烯醛及 1-戊烯-3-酮等不良风味物质含量升高），风味品质欠佳	80-81

3.2 护色技术

红花黄色素在高温、极端 pH 条件下易发生降解，而红花红色素的热稳定性更差，这成为制约其开发利用的核心瓶颈[82]。现有的护色技术主要从优化外部环境、添加外源护色剂等角度入手，为提升红花色素的稳定性提供了多种可行的解决方案。研究表明，红花黄色素在弱酸至弱碱（pH≤8）及紫外光照条件下具有较好的稳定性，但应避免与 Fe^{2+}和 Cu^{2+}接触，而 Sn^{2+}和 Al^{3+}则能对其产生护色增强作用[83]。然而这 2 类离子在食品中的应用存在严重安全隐患：Sn^{2+}具有一定毒性，过量摄入可引发恶心、呕吐及腹绞痛等急性中毒症状[84]；Al^{3+}则具有潜在神经毒性，其过量摄入与神经系统损伤风险相关[85]。因此，在食品护色领域直接添加 Sn^{2+}和 Al^{3+}存在安全风险，并非理想的护色剂选择。添加天然抗氧化剂是护色技术的重要发展方向之一，以应用最广泛的茶多酚为例，其可通过清除自由基抑制色素降解，在多种食品体系中展现出护色与增稳潜力[86]，为红花色素的护色研究提供了新思路。针对尤为敏感的红花红色素，可通过控制提取与储存环境的 pH 值、温度，减少有机试剂的使用达到护色的目的[81]。

3.3 贮藏技术

科学贮藏是保障红花品质的关键。研究证实，红花不宜久存，其色泽会随贮藏时间延长而变暗，有效成分 HSYA 含量也随之下降，因此色泽可作为其质量的初步判断指标[87]。《中国药典》2025 年版规定，红花应贮于阴凉干燥处，密闭防潮、防蛀。

针对红花不同部位及加工产物的特性，需采用

差异化的贮藏策略。红花种子作为耐贮型种子，适宜在国家中药种质资源库的长期库中以约 5.2%的含水量保存[88]。对于红花籽油等加工品采用低温等离子体（LTP）技术进行杀菌处理，其过氧化值和酸价均低于传统热杀菌样品，有助于保持乳液品质[89]；此外，添加玫瑰花多酚等天然提取物可有效延缓红花籽油的氧化，延长其货架期[90]。类似地，有研究发现添加 0.08%的红花叶提取物同样可有效延缓红花籽油的氧化酸败与色泽变化，为红花籽油的贮藏保鲜提供了源于同种植物的天然抗氧化策略[91]。针对花部活性成分，应在避光、低温、密闭条件下保存，以最大程度抑制 HSYA 等核心成分的降解。此外，高压脉冲电场等新兴非热杀菌技术也被证实可在保留红花黄色素活性的同时增强产品的抗氧化能力，为红花加工制品的贮藏稳定性提升提供了新途径[92]。

4　红花的产品开发

4.1　天然着色剂产品

红花作为天然着色剂的应用历史悠久，其色素产品是红花资源高值化利用的重要方向。以红花黄色素和红花红色素为代表的天然色素，不仅色泽鲜艳、安全性高，其中红花黄色素在弱酸至弱碱条件下具有较好的热稳定性，红花红色素则具有较好的耐光性，且 2 类色素兼具荧光特性，因此在食品加工、纺织印染及化妆品开发等领域具有广泛应用前景（图 1）。

在食品领域，红花黄色素和红花红色素被广泛

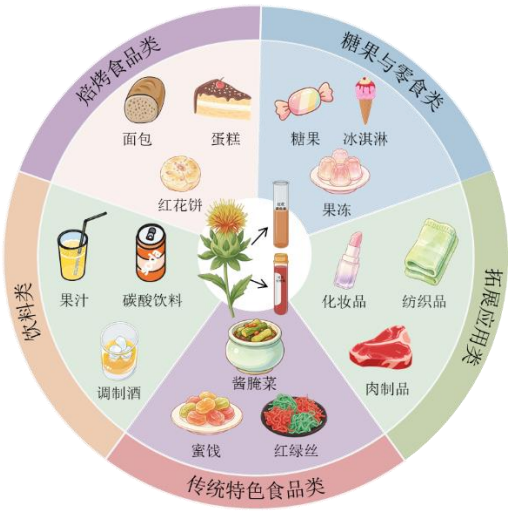


图 1　红花黄色素与红花红色素的应用领域

Fig. 1　Application fields of safflower yellow pigment and safflower red pigment

应用于果汁饮料、配制酒、糖果、糕点、冰淇淋等产品中，以赋予食品天然色泽并维持加工和贮藏期间的色泽品质[93-94]。在纺织领域，红花自古便是重要的红色染料，其应用可追溯至隋唐时期，至宋明时期工艺渐趋成熟，进而催生了退红、真红、大红、莲红、桃红、银红、水红等一系列色名，极大丰富了中国传统色彩体系[95-96]。这一染色技艺的传承与发展也体现在红花饼的制作中。红花饼作为古代常用的色素制品，需经去黄、发酵、制饼、阴干等工序，明代《天工开物》中有“以青蒿覆一宿”“捏成薄饼，阴干收贮”等记载，正是我国古代在天然色素提取与应用方面技术智慧的集中体现[97]。此外，近年来红花在化妆品领域的应用亦受到关注，其发酵液被探索用于口红、腮红等彩妆产品。研究表明，红花发酵液中的活性成分因具有抗炎、抗氧化等潜在功效，适用于敏感肌护理产品的开发[98]。

从传统染色到现代标准化应用，红花色素的产业化进程不断推进。红花黄色素已被纳入现行《食品安全国家标准　食品添加剂使用标准》（GB 2760），可作为天然食用色素合法应用于多种食品中，国内已有多家企业实现其工业化生产与销售。

4.2　功能性油脂产品

红花籽油因独特的脂肪酸组成与丰富微量营养素，不仅是优质烹饪用油，更被广泛视为功能性食品的重要基料。当前研究除关注其直接营养功效外，亦深入探索其在复杂食品体系中的应用形式与协同增效机制，以拓展其功能边界。

在功能递送体系方面，红花籽油可作为油脂基质构建不同类型的结构化系统。研究表明，利用小烛树蜡与红花籽油构建有机凝胶，为脂溶性活性成分的靶向递送与食品质构改良提供了新思路[99]。同时，红花籽油也可作为乳液油相负载和保护其他功能因子。将负载白藜芦醇的红花籽油乳液添加入金线鱼鱼糜，不仅改善了凝胶的质构特性与持水性，还显著增强了其氧化稳定性，表明白藜芦醇在复杂鱼肉基质中仍能有效抑制红花籽油中多不饱和脂肪酸的氧化[100]。在微胶囊化产品方面，研究者采用喷雾干燥法制备红花籽油微胶囊，所得产品贮藏 60 d 后包埋率仍达 96.07%，过氧化值远低于未包埋油脂，显著提高了油脂的抗氧化能力与产品货架期[101]。上述策略为富含油脂的功能性重组食品开发提供了可行途径。在动物营养领域，红花籽油作为功能性油脂的应用同样具有重要价值。Stegeman 等[102]研

究证实，与饲喂牛生长激素和向日葵籽油相比，饲喂红花籽油的奶牛所产牛奶乳脂中不饱和脂肪酸含量显著提高；此外，红花籽油与叶酸通过协同作用，调控氧化应激及细胞炎症介质等通路，可保护胚胎免受母体糖尿病所致的损害[103]，充分彰显其在添加剂协同领域的独特应用优势。

目前，以红花籽油为主要基料的功能性油脂产品已实现商业化，例如，部分品牌推出了主打富含亚油酸与维生素 E 的红花籽油调和油。此外，多款以红花籽油为原料的调血脂保健食品也已获批，进一步验证了红花籽油的功能价值。

4.3 副产物（饼粕）食品开发

红花籽粕作为一种高蛋白副产物，其高值化利用是提升红花产业经济效益的关键。当前围绕其蛋白质与膳食纤维的功能特性，已形成从食品原料开发到终端产品应用的研究路径。一方面，饼粕可通过酶解及大孔树脂分离等技术制备抗氧化肽。研究表明，采用 AB-8 大孔树脂分离纯化红花籽粕酶解产物可有效富集具有抗氧化活性的肽段，进一步加工为固体抗氧化膜或粉末，作为天然食品添加剂使用[104]。另一方面，提取出的可溶性膳食纤维可作为功能性配料应用于面包等烘焙食品中。研究显示，红花籽粕可溶性膳食纤维具有良好的持水力、膨胀力和葡萄糖吸附能力，在强化营养的同时可兼顾产品的感官接受度[105]。在终端产品开发上，李芳等[106]以压榨后的红花籽粕为原料，通过“蛋白提取→酶解转化→风味复配”的系统工艺，成功开发出一款多肽保健饮料，实现了蛋白质向高吸收性小分子肽的转化利用。此外，杨艳玲[107]进一步拓展了其应用潜力，表明通过静电纺丝技术可将红花籽粕转化为性能优异的可食用蛋白纳米纤维，其持水能力较复合纤维提高近 10 倍，为新型植物蛋白食品材料的开发提供了创新思路。红花籽粕作为榨油副产物，可能残留某些血清素衍生物及生物碱类抗营养因子，这对其直接应用于食品体系构成了潜在安全性挑战，而中试放大过程中工艺参数的稳定性、规模化生产的成本效益、终端产品的消费者感官接受度以及相应的法规审批路径均有待系统研究。针对上述瓶颈，未来可融合大孔树脂吸附与特异性酶解等策略[108-109]，构建“功能-安全”双目标脱除工艺，并在此基础上开展中试级技术经济评估与市场验证，从而为红花籽粕的食品化安全利用与产业化落地提供技术支撑。

5 结语与展望

红花作为药食同源的典型代表，因富含 HSYA、亚油酸及功能性多糖等成分，在心血管保护与免疫调节领域具有显著的开发价值。然而，红花核心成分的高度热敏性与氧化易感性，加之副产物资源（如籽粕、茎叶）利用率低下的现状，已成为制约其产业高值化转型的核心瓶颈。

本文旨在打破“成分稳定性差”与“资源利用失衡”的产业困局。通过系统综述红花活性物质的理化特性，深度解析加工工艺对成分构效演变的影响机制，重点探讨了新型联合干燥与微胶囊稳态化包埋等前沿技术在品质保全中的应用前景。同时，本文梳理了红花在功能性油脂及副产物增值利用领域的最新进展，力求构建从机制溯源到产业转化的全链条认知体系，为红花资源的综合开发提供科学指引。学术界亟需构建基于“加工-结构-活性”关联的研究假设，以破解红花成分在复杂体系中的不稳定性难题。过去的研究多聚焦于单一成分的提取产率，未来应重点假设红花多糖、生物碱等伴生组分通过分子间相互作用（如氢键或疏水作用）对 HSYA 具有稳态化诱导机制。通过验证红花多糖作为天然生物聚合物是否能形成微观限域空间，从而屏蔽光热因素对色素发色基团的降解影响，将为开发长效稳定的功能性红花产品提供关键的理论预判。

在产业技术层面，建立“全株梯次利用”的闭环技术路线是提升经济效益的必然选择。针对目前红花资源利用率不均的现状，应将研究重心从单一花部开发转向“花-籽-茎叶”协同增值路径。具体路线应涵盖：利用高压脉冲电场等非热加工技术实现活性物质的绿色瞬时提取，结合联合干燥技术构建热敏组分的防线，并向下延伸至红花籽饼粕蛋白的深度肽化利用。这种全组分分级分离模式将有效解决红花加工中“高损耗、低产值、副产物堆积”的瓶颈，实现产业链的闭环升级。

此外，深入解析可验证的分子作用机制是红花产品走向临床应用与精准营养的基础。未来的研究需通过实验精细化验证 HSYA 在热加工过程中的化学演变路径，明确其降解动力学模型与中间产物的安全性。同时，借助多组学联合分析技术，深入探讨红花组分对“肠道菌群-机体免疫轴”的干预机制，并定量分析多组分间的协同作用网络。这种从“加工机制”到“代谢归宿”的全链条机制验证，将为

红花这一传统活血化瘀中药的现代科学内涵阐释，以及基于作用机制的功能性产品开发，奠定坚实的理论与实验基础。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

[1] 李忠仁, 王玉田, 李星邑. 永德县红花产业发展现状及栽培技术 [J]. 云南农业科技, 2026(2): 63-67.

[2] 白启荣, 郭姣洁, 吴娇. 红花的化学成分及药理作用研究进展 [J]. 新乡医学院学报, 2024, 41(1): 88-94.

[3] 秦娟, 卢蔚雯, 李佳徽, 等. 红花 2 个 G6PDH 基因的克隆与表达特征分析 [J]. 生物技术通报, 2026, 42(8): 217-228.

[4] Cheng H, Yang C L, Ge P L, *et al*. Genetic diversity, clinical uses, and phytochemical and pharmacological properties of safflower (*Carthamus tinctorius* L.): An important medicinal plant [J]. *Front Pharmacol*, 2024, 15: 1374680.

[5] Bai H T, Yang J, Wang R. *Carthamus tinctorius* L.: A comprehensive review of its ethnomedicine, phytochemistry, pharmacology, and clinical applications [J]. *Front Pharmacol*, 2025, 16: 1609299.

[6] 李娅兰, 白皓天, 梁霄, 等. 红花中抗氧化活性成分及其作用机制的研究进展 [J]. 现代药物与临床, 2022, 37(8): 1879-1885.

[7] 张喜妹, 肖江鸿, 王玉, 等. 中药红花的化学成分及色素提取工艺研究进展 [J]. 中国中药杂志, 2024, 49(7): 1725-1740.

[8] 赫军, 陈钟, 杨柾楠, 等. 红花水提取物的化学成分研究 [J]. 中国药学杂志, 2014, 49(6): 455-458.

[9] 李阳, 焦扬, 牛洁. 红花中的黄酮类化学成分及其药理作用研究进展 [J]. 环球中医药, 2024, 17(1): 137-143.

[10] 刘世军, 唐志书, 崔春利, 等. 中药红花化学成分的研究进展 [J]. 河南中医, 2017, 37(1): 168-171.

[11] 刘莉. 红花的研究概述 [J]. 广州化工, 2017, 45(12): 23-25.

[12] 马广婷. 红花黄色素与红花红色素的提取和纯化研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2015.

[13] Chen G W, Li C, Zhang L, *et al*. Hydroxysafflor yellow A and anhydrosafflor yellow B alleviate ferroptosis and parthanatos in PC12 cells injured by OGD/R [J]. *Free Radic Biol Med*, 2022, 179: 1-10.

[14] 张宇, 刘娇, 黄鑫宇, 等. 羟基红花黄色素 A 通过 TLR4/NLRP3 通路改善脂多糖诱导的小鼠急性肺损伤 [J/OL]. 中国医院药学杂志, 2025-12-30. https://link.cnki.net/urlid/42.1204.R.20251230.1350.002.

[15] Sun Y, Xu D P, Qin Z, *et al*. Protective cerebrovascular effects of hydroxysafflor yellow A (HSYA) on ischemic stroke [J]. *Eur J Pharmacol*, 2018, 818: 604-609.

[16] 艾楠, 王馨晨, 刘星宇, 等. 羟基红花黄色素 A 保肝作用研究进展 [J]. 现代药物与临床, 2025, 40(1): 229-233.

[17] 周矗, 周瑀, 安玲, 等. 羟基红花黄色素 A 通过 Hippo 途径调控糖酵解影响结直肠癌细胞增殖侵袭和凋亡 [J]. 河北医学, 2025, 31(7): 1057-1063.

[18] 段佳雪, 王新瑗, 陈亮. 羟基红花黄色素 A 抑制食管鳞癌耐药细胞 KYSE150/5-FU 生长的作用及机制 [J]. 中国药理学通报, 2026, 42(2): 264-272.

[19] 孙燕雯, 何昱, 刘文洪, 等. 红花水提物中羟基红花黄色素 A 和脱水红花黄色素 B 在大鼠体内的药代动力学研究 [J]. 中华中医药杂志, 2015, 30(12): 4287-4291.

[20] 段少伯. 红花中脱水红花黄色素 B 的分离及其对缺氧/复氧损伤 H9c2 心肌细胞的保护作用研究 [D]. 杭州: 浙江中医药大学, 2020.

[21] 崔岩, 杨建军. 红花红色素在羊毛染色中的应用 [J]. 染整技术, 2026, 48(2): 20-23.

[22] Li J X, Xu D Q, Cui D X, *et al*. Exploring the structure-activity relationship of safflower polysaccharides: From the structural characteristics to biological function and therapeutic applications [J]. *J Ethnopharmacol*, 2025, 339: 119131.

[23] 张馨心, 王福玲. 红花多糖纯化工艺及体外抗氧化活性研究 [J]. 食品与机械, 2025, 41(3): 171-176.

[24] 任爱农, 邹义芳, 陆颖, 等. 红花多糖的分离纯化及单糖组成分析 [J]. 药物分析杂志, 2013, 33(7): 1190-1196.

[25] Lin D, Xu C J, Liu Y, *et al*. Chemical structures and antioxidant activities of polysaccharides from *Carthamus tinctorius* L [J]. *Polymers*, 2022, 14(17): 3510.

[26] 业康, 朱韵辰, 蔡犇, 等. 红花多糖药理学作用研究进展 [J]. 中医药导报, 2021, 27(8): 115-119.

[27] Sun Y, Sun M, Sun Y, *et al*. Safflower polysaccharide inhibits hepatocellular carcinoma cells through P38MAPK activation [J]. *Cancer Adv*, 2021, 4(2): 7.

[28] Lou L L, Liu S, Yan Z Y, *et al*. Tetrahydro-β-Carboline alkaloids from *Carthamus tinctorius* L. with tyrosinase inhibitory activity [J]. *Phytochem Lett*, 2017, 22: 107-112.

[29] 杨宇, 黄兴琳, 江忠敏, 等. 中药红花化学成分与药理作用研究新进展 [J]. 中华中医药学刊, 2023, 41(10): 119-126.

[30] Zhao G, Gai Y, Chu W J, *et al*. A novel compound N(1), N(5)-(Z)-N(10)-(E)-tri-*p*-coumaroylspermidine isolated from *Carthamus tinctorius* L. and acting by serotonin transporter inhibition [J]. *Eur Neuropsychopharmacol*, 2009, 19(10): 749-758.

[31] Jiang J S, Lü L, Yang Y J, *et al*. New spermidines from the florets of *Carthamus tinctorius* [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2008, 10(5/6): 447-451.

[32] 任佳丽, 於天, 高欣晨, 等. 亚精胺生物活性及其开发应用的研究进展 [J]. 中草药, 2024, 55(16): 5714-5722.

[33] 乐世俊. 红花化学成分研究与活性评价 [D]. 南京: 南京中医药大学, 2015.

[34] 刘晓艺, 周玉岩, 过利敏, 等. 不同分子量红花籽抗氧化肽稳定性研究 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(13): 94-102.

[35] 胡月. 红花多糖的结构分析及其抗氧化活性研究 [D]. 石河子: 石河子大学, 2020.

[36] Codex Standard For Named Vegetable Oils [S]. 1999, 210: 1-13.

[37] 杨茜, 谷若桐, 郭咪咪, 等. 食用植物油中主要营养伴随物的研究进展 [J]. 中国粮油学报, 2023, 38(9): 236-245.

[38] 孙国君. 红花籽饼粕的营养价值及应用 [J]. 中国饲料, 2011(12): 41-43.

[39] 李方, 张梦飞, 王宪龄. 红花籽油、紫苏籽油调和油干预高脂血症的可行性 [J]. 中医学报, 2023, 38(6): 1240-1245.

[40] 王琼. 不饱和脂肪酸对肥胖患者脂代谢和脂肪酸分布的影响 [D]. 无锡: 江南大学, 2023.

[41] 梁慧珍, 许兰杰, 余永亮, 等. 红花籽油中脂肪酸组成评价与分析 [J]. 食品科学, 2021, 42(6): 244-249.

[42] Lee Y C, Oh S W, Chang J, *et al*. Chemical composition and oxidative stability of safflower oil prepared from safflower seed roasted with different temperatures [J]. *Food Chem*, 2004, 84(1): 1-6.

[43] 李响, 俱蓉, 李硕. 红花化学成分 药理作用研究进展及质量标志物预测分析 [J]. 中国现代中药, 2021, 23(5): 928-939.

[44] 李馨蕊, 刘娟, 彭成, 等. 红花化学成分及药理活性研究进展 [J]. 成都中医药大学学报, 2021, 44(1): 102-112.

[45] Sato H, Kawagishi H, Nishimura T, *et al*. Serotobenine, a novel phenolic amide from safflower seeds (*Carthamus tinctorius* L.) [J]. *Agric Biol Chem*, 1985, 49(10): 2969-2974.

[46] 周权, 张常明, 左建军, 等. 生物碱的提取工艺、生物学功能及在动物生产中的应用研究进展 [J]. 广东饲料, 2023, 32(6): 31-34.

[47] 朱莹丹，薛雅琳，段章群. 红花籽油营养特性的研究进展 [J/OL]. 中国油脂 2025-08-22. https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.250332.

[48] 侯乃畅. 制油工艺对红花籽油品质及多酚组成的影响 [D]. 郑州: 河南工业大学, 2024.

[49] 吕顺, 张凡庆, 孟广龙, 等. 红花油及在食品中的应用 [J]. 食品研究与开发, 2004, 25(4): 74-76.

[50] 李晓. 水酶法提取红花籽油及其抗氧化活性与氧化稳定性研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2017.

[51] Kasapoglu M Z, Acar I. Utilization of safflower seed by-product protein for gluten-free muffin production: A physicochemical and rheological perspective [J]. *Lwt*, 2025, 223: 117720.

[52] 伊丽娜, 晶晶, 特日格乐, 等. HPLC 法测定红花茎叶中三种化学成分的含量 [J]. 世界最新医学信息文摘, 2017, 17(58): 111-112.

[53] 马梦鸽. 红花叶总黄酮的制备工艺及保肝作用评价 [D]. 长春: 长春中医药大学, 2023.

[54] 张静, 陈红专, 王海亮, 等. 红花中羟基红花黄色素 A 的提取纯化工艺研究 [J]. 中医药学报, 2013, 41(6): 13-15.

[55] 立新, 郝俊生, 巴德玛斯仁, 等. 红花有效成分提取工艺研究 [J]. 中医药导报, 2021, 27(6): 45-46.

[56] 刘涛, 李娟, 徐玉玲, 等. 红花减压提取工艺优选 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2012, 18(12): 54-56.

[57] 李励珺, 姜婷婷, 郭婧, 等. 有机试剂法制备羟基红花黄色素 A [J]. 海峡药学, 2016, 28(10): 30-34.

[58] 何惠芳, 赵敏华. 正交试验法优选红花黄色素 A 的闪式提取工艺 [J]. 中国民族民间医药, 2015, 24(10): 13-14.

[59] Tong X, Yang J H, Zhao Y, *et al*. Greener extraction process and enhanced *in vivo* bioavailability of bioactive components from *Carthamus tinctorius* L. by natural deep eutectic solvents [J]. *Food Chem*, 2021, 348: 129090.

[60] Wu C Y, Wang B R, Han S Y, *et al*. Extraction of hydroxy safflower yellow A and anhydroxysafflor yellow B from safflower florets using natural deep eutectic solvents: Optimization, biological activity and molecular docking [J]. *Food Biosci*, 2025, 68: 106418.

[61] 何昱，孙燕雯，朱英，等. 响应面分析法优化红花红色素提取工艺的研究 [C] // 中华中医药学会中药制剂分会，世界中医药学会联合会中药药剂专业委员会. “好

医生杯”中药制剂创新与发展论坛论文集（上）. 杭州: 浙江中医药大学, 2013: 261-268.

[62] 辛航航, 郝雪言, 李萌, 等. 红花红色素稳定性的研究 [J]. 食品科技, 2016, 41(11): 236-241.

[63] 李冬梅, 熊勇, 张欢, 等. 响应面法优化红花红色素提取工艺的研究 [J]. 中国食品添加剂, 2020, 31(12): 63-69.

[64] Zhang X M, Zhang Z, Zhao B, *et al*. Ultrasound-assisted one-step extraction of safflower red and yellow pigments by natural ternary deep eutectic solvents: Extraction optimization and mechanism, separation and biological activities of pigments [J]. *Food Chem*, 2026, 499: 147383.

[65] 简志敏, 张玲声, 钟雪铧, 等. 红花多糖提取工艺、结构特征及药理活性研究进展 [J]. 中华中医药学刊, 2025, 43(9): 50-57.

[66] 何素芳. 红花多糖的初步研究 [D]. 镇江: 江苏大学, 2009.

[67] 邓蓉, 邹义芳, 任爱农, 等. 响应面分析法优化红花多糖的提取工艺 [J]. 现代中药研究与实践, 2013, 27(3): 40-44.

[68] 徐永良, 王得利, 石学魁. 红花多糖提取纯化方法研究 [J]. 微量元素与健康研究, 2012, 29(3): 17-19.

[69] 袁洁, 王磊, 任丽君, 等. 红花多糖超声提取的条件优化及其红外光谱分析 [J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(2): 351-357.

[70] Wang Q Q, Liu S Q, Xu L, *et al*. Purification, characterization and bioactivities of polysaccharides extracted from safflower (*Carthamus tinctorius* L.) [J]. *Molecules*, 2023, 28(2): 596.

[71] 方振峰, 简德乾, 熊诗波. 红花中总生物碱回流提取工艺优化 [J]. 江汉大学学报 (自然科学版), 2024, 52(4): 55-61.

[72] 张东博, 孙琛, 刘红波, 等. 红花叶中 1 个新的生物碱类化合物 [J]. 中草药, 2019, 50(1): 22-24.

[73] 李倩, 赵丽, 马媛, 等. 水酶法提取红花籽油工艺的研究 [J]. 食品与发酵科技, 2016, 52(1): 52-59.

[74] 魏伟, 蔺发聪, 侯建忠, 等. 基于 Box-Benhnken 响应面法优化红花籽油超声回流提取工艺 [J]. 现代中药研究与实践, 2023, 37(5): 71-76.

[75] 何玉柱, 王琼琼, 崔瑞国, 等. 不同提取方法对红花籽油品质的影响及其抗氧化性的研究 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(20): 262-270.

[76] 金竹萍, 李会珍, 王海宾, 等. 超临界二氧化碳萃取红花籽油的研究 [J]. 化学与生物工程, 2010, 27(7): 54-56.

[77] 陈玉军, 庞睿, 丁丽丽. 红花干燥工艺的研究与探讨 [J]. 黑龙江科技信息, 2015(34): 9.

[78] 胡喜巧, 杨文平, 陈红芝, 等. 采收时期和干燥方式对新乡红花品质的影响 [J]. 河南科技学院学报 (自然科学版), 2021, 49(1): 19-23.

[79] Li J, Wang R, Chen C P, *et al*. Effects of drying processes on the chemical and physical properties of safflower: Towards a multidimensional quality evaluation model [J]. *PLoS One*, 2026, 21(1): e0339180.

[80] 范胜莲, 刘光兴. 不同干燥方法对红花中羟基红花黄色素 A、山奈素及红花黄色素 A 含量的影响 [J]. 中国药师, 2020, 23(6): 1198-1200.

[81] 陈艳, 高嵩, 黄晓雅, 等. 基于电子鼻和气相色谱-离子迁移谱法分析不同干燥方式对红花挥发性物质的影响 [J]. 中国食品添加剂, 2025, 36(1): 127-135.

[82] 闫珍. 决定红花花色的色素组成及其抗氧化活性研究 [D]. 武汉: 中南民族大学, 2023.

[83] 李光红, 赵宙兴, 曹长年. 红花黄色素的提取与稳定性研究 [J]. 青海大学学报 (自然科学版), 2013, 31(5): 48-52.

[84] 俞玉蓉, 平桢奇. 微波消解-原子荧光光度法测定食品中的锡含量 [J]. 食品安全导刊, 2025(20): 51-53.

[85] 史立娟, 宁兴爽, 刘晓辉. 食品中铝残留的污染来源与检测技术研究进展 [J]. 粮油科学与工程, 2026, 40(2): 37-40.

[86] 肖帆, 熊海燕. 常见抗氧化剂的应用研究及其安全性评估 [J]. 现代食品, 2024, 30(6): 130-134.

[87] 王洁, 苏少锋, 姚仁川, 等. 红花保存年限、有效成分含量和颜色值的相关性分析 [J]. 中国药房, 2020, 31(5): 554-558.

[88] 陈翠平, 徐红霞, 董帅, 等. 红花种子的低温贮藏条件探索 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2022, 28(3): 155-162.

[89] 陈涛, 王华民, 靳学远. 红花籽油/火龙果浆乳液的低温等离子体杀菌及贮藏稳定性 [J]. 食品与机械, 2023, 39(5): 119-124.

[90] 范文佳, 肖本忠, 陈亮, 等. 几种天然提取物对红花籽油脂贮存稳定性的影响 [J]. 南方农业, 2017, 11(29): 82-84.

[91] 辛乐宇. 精炼工艺及红花叶提取物对红花籽油氧化稳定性的影响 [D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2022.

[92] 杜辉. 红花饮料生产工艺优化及贮藏期稳定性研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2016.

[93] 肖正春, 张广伦. 我国植物食用色素资源开发利用评价 [J]. 中国野生植物资源, 2014, 33(1): 45-54.

[94] 贾静, 李光宗, 陈红芝, 等. 红花育种及农副产业现状

分析 [J]. 种子科技, 2024, 42(18): 42-44.

[95] 杨建军, 崔岩. 红花染料与红花染工艺研究 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2018: 4.

[96] 蒋玉秋. 中国历代丝绸艺术丛书·明代 [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2021: 22.

[97] 崔岩. 红花染色名与染色工艺探析 [J]. 装饰, 2025(1): 45-50.

[98] Tang N, Xu X Q, Guo Z Y, *et al*. Preparation of safflower fermentation solution and study on its biological activity [J]. *Front Microbiol*, 2024, 15: 1472992.

[99] Morales-Rueda J A, Dibildox-Alvarado E, Charó-Alonso M A, *et al*. Thermo-mechanical properties of candelilla wax and dotriacontane organogels in safflower oil [J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2009, 111(2): 207-215.

[100] 宋春勇, 洪鹏志, 周春霞, 等. 负载白藜芦醇的红花籽油乳液对金线鱼鱼糜凝胶品质的影响 [J]. 食品科学, 2022, 43(24): 102-109.

[101] 李彩云, 康健. 超声辅助制备红花籽油微胶囊 [J]. 中国油脂, 2017, 42(1): 11-14.

[102] Stegeman G A, Baer R J, Schingoethe D J, *et al*. Composition and flavor of milk and butter from cows fed unsaturated dietary fat and receiving bovine somatotropin 1 [J]. *J Dairy Sci*, 1992, 75(4): 962-970.

[103] Higa R, Kurtz M, Mazzucco M B, *et al*. Folic acid and safflower oil supplementation interacts and protects embryos from maternal diabetes-induced damage [J]. *Mol Hum Reprod*, 2012, 18(5): 253-264.

[104] 吕凯波, 龚乃超. 大孔树脂分离红花籽粕酶解产物制备抗氧化肽的工艺研究 [J]. 食品研究与开发, 2021, 42(6): 90-95.

[105] 郭娅. 红花籽粕可溶性膳食纤维的提取和生理活性研究及应用 [D]. 邯郸: 河北工程大学, 2021.

[106] 李芳, 谢琼, 张玥, 等. 红花籽粕制备多肽饮料的工艺优化研究 [J]. 新疆职业大学学报, 2020, 28(4): 73-75.

[107] 杨艳玲. 基于红花籽粕的可食用植物蛋白纤维制备与研究 [D]. 武汉: 中南民族大学, 2024.

[108] 岳金焕. 红花籽粕中羟基肉桂酰血清素的分离及活性研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2008.

[109] 邓卉, 余丹, 邹成义, 等. 大肠杆菌多酚氧化酶的分子克隆及异源高效表达 [J]. 中国饲料, 2024(5): 26-31.

[责任编辑 潘明佳]