

梔子果油的提取技术、营养组成及健康功效研究进展

Research progress on extraction techniques, nutritional composition and health benefits of gardenia fruit oil

胡子聪^{1,2,3,4} 李群和^{1,3,4} 苏凤贤^{1,3,4} 胡超凡^{1,3,4} 邹盈^{1,3,4}

HU Zicong^{1,2,3,4} LI Qunhe^{1,3,4} SU Fengxian^{1,3,4} HU Chaofan^{1,3,4} ZOU Ying^{1,3,4}

(1. 温州市农业科学研究院浙南作物育种重点实验室, 浙江 温州 325006; 2. 西南大学
食品科学学院, 重庆 400715; 3. 温州市农业科学研究院食品科学研究所,
浙江 温州 325006; 4. 温州市特色食品资源工程技术研究中心, 浙江 温州 325006)

(1. Southern Zhejiang Key Laboratory of Crop Breeding, Wenzhou Academy of Agricultural Science, Wenzhou, Zhejiang 325006, China; 2. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;
3. Institute of Food Science, Wenzhou Academy of Agricultural Science, Wenzhou, Zhejiang 325006, China;
4. Wenzhou Specialty Food Resources Engineering Technology Research Center, Wenzhou, Zhejiang 325006, China)

摘要: 梔子果油是从梔子果实中提取得到的一种食用植物油, 具有抗氧化、抗炎症、抗癌症、抗抑郁和保护肝脏等多种健康功效, 其不饱和脂肪酸占总脂肪酸的70%以上, 还含有酚酸、生育酚、植物甾醇等活性成分, 这些成分是梔子果油发挥多种功效活性的物质基础。文章系统综述了梔子果油的提取工艺、营养组成和健康功效, 并展望了梔子果油在食品、化妆品和生物医药等领域高值化利用过程中应聚焦的重点工作。

关键词: 梔子果油; 提取方法; 营养组成; 健康功效; 活性机制

Abstract: Gardenia fruit oil is an edible vegetable oil extracted from gardenia fruit, which possesses various health benefits including antioxidation, anti-inflammation, anti-cancer, anti-depressant, and liver protection. Its unsaturated fatty acids account for more than 70% of the total fatty acids, and it also contains phenolic acids, tocopherols, phytosterols and other active components. In this review, the extraction process, nutritional composition and health effects of gardenia fructus oil were systematically introduced, and the key work that should be focused on the high-value utilization of gardenia fructus oil in food, cosmetics and biomedicine was prospected.

基金项目: 温州市重大科技创新攻关项目(编号: 2018ZN001); 温州市基础性农业科技项目(编号: N20190016)

作者简介: 胡子聪, 男, 温州市农业科学研究院助教, 硕士。

通信作者: 邹盈(1977—), 女, 温州市农业科学研究院副教授, 硕士。E-mail: 550117355@qq.com

收稿日期: 2024-01-01 **改回日期:** 2024-04-14

Keywords: gardenia fruit oil; extraction method; nutritional composition; health benefit; bioactive mechanism

梔子是一种常绿灌木, 属于梔子属、茜草科, 广泛分布于热带和温带地区。梔子果作为梔子资源开发应用最广泛且含活性成分最多的部位, 具有消炎、利尿、镇痛和解热等特性, 常被中医用于治疗热病心烦、火毒疮疡、血热吐衄和外治扭挫等相关疾病^[1]。梔子果实中富含类黄酮类化合物、植物甾醇、环烯醚萜甙等活性物质^[2], 可用于制备食品工业中广泛使用的天然着色剂梔子黄色素。2002年梔子果被列入第一批药食两用资源名录^[3]。

梔子果油中不饱和脂肪酸占比超70%, 其中多不饱和脂肪酸占比39.68%~56.35%, 以亚油酸为主, 其含量为38.91%~51.60%^{[4]25}。此外, 梔子果油也是生育酚、植物甾醇、酚酸、角鲨烯的主要来源, 具有抗氧化、抗炎症、抗癌症、抗抑郁和保护肝脏等多种健康功效^[5]。随着广大消费者对功能性植物油的需求不断增长, 梔子果油的提取技术、营养成分及功效活性的研究也备受关注。文章拟对梔子果油的提取工艺、营养组成及生理功效进行全面综述, 旨在促进梔子资源的精深加工及综合应用, 为梔子果油在生物医药、保健食品和疾病辅助治疗领域的研究与利用提供依据。

1 梔子果油的提取

1.1 冷榨法

冷榨法(CPE)是提取油脂最传统的方法之一, 利用

螺旋压榨机产生的机械外力将油脂从油料细胞中挤压出来。采用冷榨法制备栀子果油一般经历原料分选、去杂质、低温螺旋压榨、过滤等步骤^[6],通常将栀子原料水分控制在7%~9%,经过严格的去杂之后,使用双螺旋榨汁机低温压榨(温度控制在45~50℃),物料在榨膛停留3~8 min,压榨产出的饼渣中残油率一般低于6%。提取后的毛油采用恒压过滤或离心去除杂质,将分离过程中的压力稳定在0.2~0.4 MPa,有利于提升栀子果油感官品质。Cai等^[7]使用CA59G冷压机榨取栀子果油,得率为5.66%,冷榨提取的毛油在5 000 r/min的转速下离心10 min去除杂质。虽然该工艺制备的栀子果油成分比较完整,能够最大限度地保留栀子果中富含的活性成分,且不含有有机溶剂^[8],但与其他提取技术相比,冷榨法的提取效率较低,制备的栀子果油胶杂含量多,色泽较深,需进行一系列的精炼处理才能满足商业化要求。

1.2 溶剂萃取法

利用传统冷榨法提取栀子果油存在得率低和原料浪费严重等问题,而溶剂萃取法(SE)是将栀子果经过适当预处理(如筛选、分拣、清理、破碎和干燥等)之后,浸泡在正己烷、己烷、石油醚、乙酸乙酯、丙酮和氯仿等有机溶剂中,经过反复抽提、蒸发(蒸馏)和离心分离,具有提取效率高、操作简便等优势。刘瑞英^[9]以石油醚为提取溶剂,在料液比1:7(g/mL)、提取温度80~86℃的条件下提取栀子果油,出油率为12.36%。进一步对溶剂萃取法的工艺条件进行优化,发现在提取剂为石油醚、栀子果原料粒度60目、料液比1:6(g/mL)、提取温度100℃、提取时间1.5 h、提取次数2次的最佳工艺条件下,栀子果油的得率达到19.46%^[10]。唐伟卓等^[11]以石油醚为提取溶剂,按1:10(g/mL)的料液比将栀子果肉添加至圆底烧瓶中进行回流提取,在最优提取条件下(回流时间60 min、回流温度75℃),栀子果油的得率达到20.4%。虽然溶剂萃取法制备的栀子果油得率显著高于压榨法,但在利用有机溶剂萃取油脂过程中需要高温蒸发去除有机溶剂,易造成最终制备的栀子果油溶剂残留值超标,且高温处理也会降低油脂的氧化稳定性^[12]。

1.3 水酶法

水酶法(AEE)越来越被证明是一种具有广阔应用前景的新型绿色提取技术(如图1所示),具有反应条件温和,最终油脂品质高,工艺安全高效等优点。栀子果的细胞壁是由纤维素、半纤维素和果胶等大分子物质组成,油体被包裹在其中,少数脂质分子与蛋白质结合形成脂蛋白复合物^[14],利用市售的蛋白酶、果胶酶、纤维素酶、半纤维素酶等水解酶降解栀子果细胞壁,促使胞内油体和内

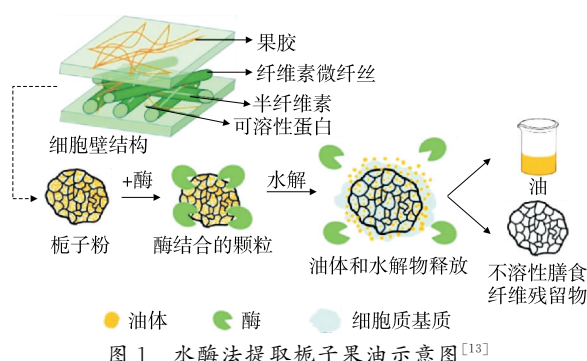


图1 水酶法提取栀子果油示意图^[13]

Figure 1 A flow diagram of aqueous enzymatic method extraction of gardenia fruit oil

进一步去乳化,最终得到栀子果油。

栀子果油释放的关键在于水解酶对细胞壁的降解破坏以及蛋白酶对脂蛋白复合物的水解程度。曹秋霞等^[15]利用水酶法提取栀子果油,在最佳工艺条件下:0.7%中性蛋白酶、液料比3:1(g/mL)、酶解pH7、酶解温度60℃、酶解时间7 h,栀子果油的得率达到7.27%。然而,研究显示单一酶难以完全降解栀子果的细胞壁结构,胞内油脂释放不彻底,造成栀子果油得率不高。提取过程中采用复合酶解能够大大提升栀子果油得率,孟祥河等^[14]采用双酶组合分步水解法提取栀子果油,纤维素酶、蛋白酶分步水解(双酶添加量均为0.8%、pH为6.0/8.5、水解时间为1.5 h/4.0 h),栀子果油得率提升至15.96%;果胶酶、蛋白酶组合水解,得率提升至14.52%,这得益于不同种类水解酶耦联发挥出的协同降解效应。此外,对栀子原料采用超声波预处理也能显著提高栀子果油得率,Wang等^{[3][16]36-37]}发现超声处理(功率480 W、时间30 min)能够降低栀子粉末中蛋白质含量(降低18%),粉末粒径减小,表面孔隙增多,比表面积增大,采用Cellic Ctec3(纤维素酶)和Alcalase 2.4L(碱性蛋白酶)双酶组合分步水酶法提取栀子果油,栀子果油得率提高至18.25%。

1.4 亚临界流体提取法

亚临界流体萃取(SCFE)是一种基于低极性亚临界流体的新型萃取技术,亚临界状态(温度高于沸点但低于临界温度,且压力在临界压力以下)低极性溶剂分子与油料充分接触,通过分子扩散作用,使油料中脂溶性成分迁移至溶剂中,再经冷凝或减压蒸发脱溶获得目标油脂^[17]。该技术可以克服常规有机溶剂萃取和冷榨法的缺陷,具有更高的提取效率和活性物质的溶解度,且萃取条件较温和,不要求高压设备,同时可以完全去除油品中少量的溶剂残留,适合规模化的油脂提取^[18]。正丁烷是一种常见的亚临界流体,具有较低的临界压力和温度,对脂溶性物质具有良好的溶解性能,在提取过程中可以促进溶剂与油料的有效接触。Liu等^[19]以亚临界正丁烷为提取

剂,在料液比 1 : 12.2 (g/mL)、提取温度 50 ℃、压力 0.48 MPa、提取时间 40 min 的工艺条件下对梔子果反复提取 4 次,最终梔子果油的得率达到 19.35%,显著高于冷榨法提取的(10.1%)。

1.5 超临界流体提取法

超临界流体提取(SFE)是一种使用超临界状态下的 CO₂、水、乙烷、丙烷、丁烷和乙醇等超临界流体作为萃取溶剂的新型提取技术^[20]。图 2 展示了实验室规模下超临界 CO₂(SC-CO₂)萃取梔子果油的基本流程。液态 CO₂ 储存在钢瓶中,首先通过高压泵进行压缩以达到所需压力,并升温至所需的萃取温度。随后适量的助溶剂(乙醇)被加入 SC-CO₂ 以增强萃取性能。SC-CO₂ 随后流入提取器,与梔子果原料充分接触并完成萃取。含有萃取物质(梔子果油)的 SC-CO₂ 被储存至收集器中,而通过减压阀在收集器出口释放梔子果油和 CO₂^[21]。

提取温度、压力、CO₂ 流速和时间等是影响 SC-CO₂ 萃取梔子果油的主要因素,He 等^[22] 在最佳工艺条件下(提取温度 65 ℃、提取压力 36.8 MPa、CO₂ 流速 15 kg/h、提取时间 120 min),梔子果油的得率达到 10.46%,略小于利用正己烷萃取的(11.5%)。Tao 等^[23] 发现提取温度 49.94 ℃、提取压力 29.89 MPa、提取时间为 93.82 min 是最佳的工艺条件,此时梔子果油的得率达到 12.11%。相较于溶剂萃取法,利用 SC-CO₂ 萃取法制备的梔子果油的色泽明亮清澈,溶剂残留量较少,梔子果油氧化稳定性更强。而酸值(14.28 mg KOH/g)显著大于溶剂萃取法制备的(6.63 mg KOH/g),这可能是提取设备出口处的高温使油脂中甘油三酯水解为游离脂肪酸所致^[12]。

1.6 超声波辅助提取法

超声波辅助提取法(UAE)是一种典型的非热加工技术,能够以较温和的提取条件、较少的能源消耗和较短的时间来达到较高的油脂提取效率,如图 3 所示,超声波预处理通过空化作用使梔子果表面产生多个侵蚀孔洞并发生破裂,内部细胞壁结构和质体膜也被破坏,显著提高了溶剂的渗透作用,有利于酶的进入,同时促使脂质体中的油脂聚结,更易形成油滴释放^[25]。Cai 等^[7] 利用 250 W、50 Hz 的超声波在石油醚作为提取剂、料液比 3 :

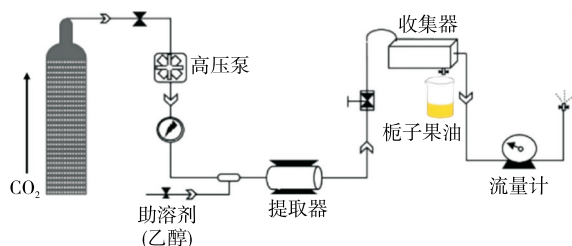


图 2 超临界 CO₂ 萃取法提取梔子果油示意图^[21]

Figure 2 A flow diagram of supercritical CO₂ extraction of gardenia fruit oil

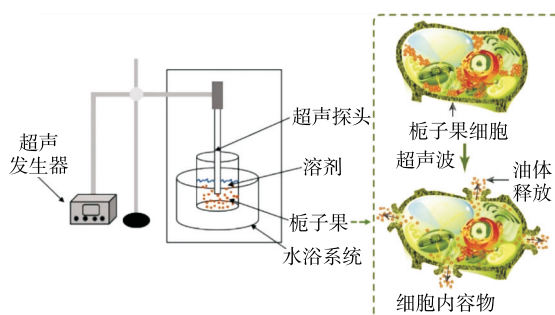


图 3 超声波辅助法提取梔子果油示意图^[24]

Figure 3 A flow diagram of ultrasonic-assisted extraction of gardenia fruit oil

1 (g/mL)、提取时间 30 min 的条件下提取梔子果油,得率达到 8.59%,高于溶剂萃取法(7.40%)和冷榨法(5.66%)。在超声波辅助提取法中,提取剂是影响梔子果油得率的关键因素,朱颖洁^[4]在相同的超声波辅助条件下[料液比 1 : 8 (g/mL)、超声功率 200 W、温度 40 ℃、时间 20 min],对比了正己烷、乙酸乙酯和乙醇 3 种溶剂对提取得率的影响,结果显示超声辅助正己烷提取的梔子果油得率最高(14.86%),其次是乙酸乙酯(13.84%)、乙醇(13.26%),但三者之间并无显著性差异,而乙醇作为一种绿色的提取剂,能够减少其他有毒化学溶剂的使用和油中溶剂残留量。

2 梔子果油的营养组成

2.1 脂肪酸组成

脂肪酸组成是评价植物油品质的最重要指标之一,植物油的功能活性在一定程度上受脂肪酸组成影响较大^[26]。由于提取工艺的不同,梔子果油的脂肪酸组成和含量存在一定的差异。如表 1 所示,利用常见的 6 种技术提取的梔子果油中的主要脂肪酸为棕榈酸、油酸、亚油酸、亚麻酸,其相对含量大小排列顺序为亚油酸>油酸>棕榈酸>亚麻酸,其中亚油酸含量(38.91%~51.60%)明显高于其他植物油,如橄榄油(4.8%)、亚麻籽油(14.1%)、牛油果油(11.8%)和椰子油(2.9%)^[27]。梔子果油的总饱和脂肪酸占总脂肪酸的 15.94%~28.20%,与其他植物油中饱和脂肪酸占比相当,如玉米油(25.1%)^[28]、小麦胚芽油(18.2%)^[29]、南瓜籽油(19.6%)^[29]、米糠油(22.5%)^[29]和橄榄油(19.4%)^[29]等。梔子果油中脂肪酸以不饱和脂肪酸为主,占比为 71.41%~84.06%,其中油酸是含量最多的单不饱和脂肪酸(24.85%~34.15%)。多不饱和脂肪酸占比 39.68%~56.35%,以亚油酸(38.91%~51.60%)为主,其含量接近于核桃油的亚油酸含量(50.74%~58.87%)^[30],具有较强的氧化稳定性和较高的食用价值。利用亚临界流体提取法制备得到的梔子果油中多不饱和脂肪酸含量

表 1 不同提取方法得到的栀子果油中主要脂肪酸组成及含量[†]

Table 1 Fatty acid composition and content of gardenia fruit oil obtained from different extraction methods

	%					
脂肪酸	CPE ^[19]	SE ^[14]	AEE ^[14]	SCFE ^[19]	SFE ^[19]	UAE ^[7]
饱和脂肪酸						
肉豆蔻酸	0.06	0.05	0.05	0.18	—	0.29
棕榈酸	11.55	18.33	18.86	15.50	25.15	18.89
珠光脂酸	0.16	0.27	0.31	0.15	0.17	0.18
硬脂酸	3.11	3.58	4.28	4.70	2.57	3.44
花生酸	0.87	0.37	0.28	0.41	0.41	—
山嵛酸	0.19	—	—	0.09	—	—
单不饱和脂肪酸						
棕榈油酸	0.23	0.42	0.45	0.18	0.49	0.30
油酸	27.02	34.00	34.15	24.85	24.88	22.77
二十碳烯酸	0.28	1.65	1.77	0.23	0.33	0.29
芥子酸	0.18	—	—	0.07	—	—
多不饱和脂肪酸						
亚油酸	40.30	40.39	38.91	51.60	44.61	49.70
亚麻酸	1.61	0.77	0.77	2.04	1.28	1.00
ΣSFAs	15.94	22.60	23.90	21.03	28.20	22.97
ΣUFAs	84.06	77.23	76.22	78.97	71.41	74.06
ΣMUFAs	27.71	36.23	36.54	25.33	25.71	23.36
ΣPUFAs	56.35	41.16	39.68	53.64	45.70	50.70

† ΣSFAs 为总饱和脂肪酸;ΣUFAs 为总不饱和脂肪酸;ΣMUFAs 为总单不饱和脂肪酸;
ΣPUFAs 为总多不饱和脂肪酸。

(91.54%~91.96%)明显高于其他提取工艺。这主要归因于利用亚临界流体提取时,提取剂在压力的作用下穿透油料能力更强,更有利于细胞中油脂释放与扩散^[31]。

2.2 生育酚

生育酚是油脂中最重要的天然抗氧化成分之一,不仅可以阻断油脂氧化过程中的自由基链式反应,提高油脂的氧化稳定性,还具有抗肿瘤、抗血管生成和抗炎作用,对人类健康发挥有益影响^[32]。生育酚主要是由 α -、 β -、 γ -、 δ -生育酚 4 种脂溶性化合物构成^[33],表 2 列举出不同提取方法制备得到的栀子果油中生育酚组成及含量,栀子果油中生育酚主要以 α -生育酚形式存在,占总生育酚的 85%以上,其次是 γ -生育酚(6.8%~9.0%)和 δ -生育酚(0.6%~7.9%)。提取条件不同是造成栀子果油中生育酚含量存在差异的主要原因,不同提取条件下栀子果油中总生育酚和 α -生育酚含量大小顺序为超临界流体提取法>超声辅助提取法>溶液萃取法>冷榨法。由于栀子果中 α -生育酚与蛋白质、不溶性膳食纤维等结合形成复合物,常规的冷榨和溶剂萃取都难以消除结合的其他物质,而超声辅助提取法和超临界流体提取法两种方法分别利用了超声波(酶)和高压,使得栀子果细胞壁破

表 2 不同提取方法得到的栀子果油中生育酚组成及含量[†]^{[5][18]49}

Table 2 Tocopherol composition and content of gardenia fruit oil obtained from different extraction methods

	$\mu\text{g}/\text{mg}$			
生育酚	CPE	SE	UAE	SFE
δ -生育酚	0.05±0.00 ^b	0.01±0.00 ^c	0.08±0.01 ^a	0.01±0.00 ^c
γ -生育酚	0.05±0.00 ^c	0.06±0.01 ^b	0.07±0.01 ^b	0.14±0.01 ^a
α -生育酚	0.64±0.03 ^d	0.76±0.03 ^c	0.86±0.02 ^b	1.41±0.04 ^a
总生育酚	0.74±0.01 ^d	0.83±0.02 ^c	1.01±0.01 ^b	1.56±0.03 ^a

† 小写字母不同表示不同方法之间差异显著($P<0.05$)。

裂,促进了 α -生育酚跨膜释放,其次超临界流体提取法在压力条件下进行萃取,隔绝了外界氧气的影响,有效降低了生育酚的氧化程度^[22,34]。

2.3 酚酸

酚酸是来源于栀子果实中的一类重要植物化学物,具有抗氧化、抗炎、免疫调节等功能特性。栀子果油中总酚酸含量为 1 174.32 $\mu\text{g}/\text{g}$,显著高于其他大宗食用植物油,如大豆油(6.3 $\mu\text{g}/\text{g}$)^[35]、葵花籽油(17.8 $\mu\text{g}/\text{g}$)^[35]、玉米油

(10 $\mu\text{g/g}$)^[35]、菜籽油(591.70 $\mu\text{g/g}$)^[36]、米糠油(40 $\mu\text{g/g}$)^[35]、山茶油(43.47~72.77 $\mu\text{g/g}$)^[37]等。此外,从栀子果油中分离鉴定出 10 种酚酸,包括原儿茶酸、对羟基苯甲酸、香草酸、丁香酸、香草醛、对羟基肉桂酸、丁香醛、对香豆酸、阿魏酸、芥子酸,其中丁香醛含量最高(271.09 $\mu\text{g/g}$),其次是阿魏酸(248.79 $\mu\text{g/g}$)、丁香酸(207.96 $\mu\text{g/g}$)、芥子酸(149.25 $\mu\text{g/g}$)和对羟基肉桂酸(109.03 $\mu\text{g/g}$)^[34]。

2.4 植物甾醇与角鲨烯

植物甾醇是植物油中另一种重要的微量营养素,因其参与调节细胞膜流动性、通透性和膜相关代谢,在降低血液胆固醇水平和降低心血管疾病风险方面发挥重要作用^[38]。栀子果油中总植物甾醇含量为 17.50~22.63 $\mu\text{g/mg}$ ^[34],明显高于其他植物油,如花生油(3.20 $\mu\text{g/mg}$)、大豆油(3.56 $\mu\text{g/mg}$)、菜籽油(8.94 $\mu\text{g/mg}$)和芝麻油(6.38 $\mu\text{g/mg}$)等^[39]。已从栀子果油中分离鉴定出来的植物甾醇有 7 种,包括谷甾醇、菜油甾醇、豆甾醇、真菌甾醇、 β -谷甾醇、异岩藻酯醇、环烷醇、环阿屯醇,其中以 β -谷甾醇、环阿屯醇和菜油甾醇为主,占比分别为 35.16%,20.77%,20.67%^[34]。

角鲨烯是一种具有异戊二烯结构的全反式三萜烯化合物,是植物甾醇生物合成过程中的前体^[40]。因其结构中含有 6 个双键,化学性质极不稳定,易发生氧化反应,在抑制脂质过氧化,降低氧化应激反应和清除过量自由基等方面具有巨大潜力,体内外试验均显示角鲨烯具有抗氧化、抗炎症、抗癌症等功能特性^[41]。从栀子果油中分离鉴定出角鲨烯的含量为 248.16~692.75 $\mu\text{g/g}$ ^[16]⁴⁸,显著高于其他食用植物油,如菜籽油(34.18 $\mu\text{g/g}$)、大豆油(58.42 $\mu\text{g/g}$)、红花籽油(62.27 $\mu\text{g/g}$)、芝麻油(9.94 $\mu\text{g/g}$)、核桃油(22.71 $\mu\text{g/g}$)、亚麻籽油(27.05 $\mu\text{g/g}$)、亚麻籽油(23.21 $\mu\text{g/g}$)、棉籽油(70.95 $\mu\text{g/g}$)等^[42],因此,栀子果油可以被列为一种潜在的角鲨烯来源。

3 栀子果油的健康功效

3.1 抗氧化作用

栀子果中含有大量天然抗氧化成分,在经过提取和适度精炼工艺之后,生育酚、角鲨烯、维生素 E 等有效抗氧化组分被保留在栀子果油中。体外试验^[43]数据显示,栀子果油可以显著清除自由基和过量活性氧,降低机体氧化应激反应,减轻氧化性损伤和缓解某些慢性代谢疾病。包亚妮等^[44]研究发现,利用 SC-CO₂ 提取的栀子果油对 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)自由基和 2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(ABTS)自由基的清除能力分别达到 95.74 mg/100 g(α -生育酚当量)、501.69 $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ (水溶性维生素 E 当量)。栀子果油的提取方法和提取溶剂是造成其体外抗氧化能力具有差异的主要原因,徐志丰^[45]对比了提取方法对栀子果油清除

DPPH 自由基能力的影响,结果显示亚临界流体提取法制备的栀子果油对 DPPH 自由基清除能力最强(半抑制质量浓度 IC₅₀ = 1 437.92 $\mu\text{g/mL}$),其次是溶剂提取法(IC₅₀ = 1 525.02 $\mu\text{g/mL}$)和冷榨法(IC₅₀ = 1 773.18 $\mu\text{g/mL}$)。朱颖洁等^[34]发现栀子果油的抗氧化能力与其中富含的活性成分密切相关,提取溶剂极性越大,多酚、黄酮类等抗氧化活性物质在油中保留得越多,栀子果油的 DPPH 自由基清除能力越高,正己烷(IC₅₀ = 10.31 mg/mL) > 乙醇油相(IC₅₀ = 8.96 mg/mL) > 乙酸乙酯(IC₅₀ = 8.38 mg/mL) > 乙醇胶体相(IC₅₀ = 0.61 mg/mL)。

3.2 抗炎作用

栀子果油中富含的酚酸、生育酚、植物甾醇等生物活性物质是其具有抗炎症作用的物质基础,Debnath 等^[46]研究发现每日摄入 0.2% 剂量的栀子果油可通过抑制环氧化酶(COX-2)、肿瘤坏死因子(TNF- α)的表达和核因子 κB (NF- κB)的转移,以及相关蛋白激酶的磷酸化(如 p38、JNK 和 Erk1/2 等),减轻炎症细胞浸润,缓解特应性皮炎的症状。机体内的炎症反应会诱导细胞致炎因子/趋化因子释放,如 TNF- α 、白细胞介素(IL-6)、IL-8、IL-1 β 等,这些因子的释放会造成内皮细胞出现损伤或细胞毒性,从而影响组织和器官正常功能,栀子果油通过降低炎症因子 TNF- α 和 IL-6 的分泌和细胞黏附分子(VCAM-1)的表达,抑制脂多糖诱导的小鼠星形胶质细胞肿胀^[47]。

3.3 抗癌作用

癌症是造成全球人口死亡的主要原因之一,据统计,全球每年诊断出约 1 930 万例癌症病例,其中约 1 000 万人死于癌症^[48]。传统的癌症治疗受到副作用大、特异性缺乏和毒性强的限制,因此通过摄入抗癌的天然产品具有安全性高、不良反应少等潜力。刘继平等^[49]按照每日 3 mL/kg 剂量向接种 S180 肉瘤细胞的荷瘤模型小鼠灌胃给药 14 d,结果发现小鼠体内瘤块体积变小,界限明显,质地较硬且较易剥离,脾指数明显增加,胸腺指数下降,计算得出抑瘤率达到 34.31%。然而目前对于栀子果油的抗癌活性研究较少,且研究层面仍停留于细胞水平,大规模的动物试验和临床干预试验将是未来需要填补的空白。

3.4 抗抑郁作用

抑郁症是全世界精神和躯体残疾的主要原因之一,由于抗抑郁药的疗效相对较低,且难治性抑郁症的患病率较高,因此寻求新的预防、辅助治疗或具有抗抑郁活性的天然产物越来越受到关注。Liu 等^[50]研究发现京尼平苷是栀子果油中发挥抗抑郁作用的主要成分,其抗抑郁机制可能是通过提高小鼠纹状体和海马的血清素水平。脑源性神经营养因子(BDNF)的表达受到环磷腺苷效应元件结合蛋白(CREB)的调控,它是神经系统中多种胞内

信号通路的调节因子和参与机体抑郁和抗抑郁反应的主要转录因子^[51]。CREB 的磷酸化过程受到蛋白激酶 A (PKA) 的调控, 两者对控制抑郁症都发挥着重要作用, Ruan 等^[51]报道梔子果油可以使抑郁症模型小鼠保持正常状态至少 14 d, 而其中的环烯醚萜类物质是抗抑郁作用关键成分, 通过增加 BDNF 的 mRNA 和蛋白表达量、PKA 和 CREB 的蛋白表达量, 激活 PKA/CREB/BDNF 信号通路, 产生显著的抗抑郁作用。

3.5 肝脏保护作用

梔子果油对药物性肝损伤和酒精性肝损伤的保护作用在大量研究中均有报道, 张俊逸等^[52]研究发现梔子果油对对乙酰氨基酚诱导的小鼠急性肝损伤具有显著的保护作用, 连续 7 d 按照每日 1.2 g/kg BW (体重) 的剂量摄入梔子果油, 能够明显降低小鼠血清谷丙转氨酶 (ALT) 和谷草转氨酶 (AST) 水平, 提高白蛋白 (ALB) 水平及抗氧化酶 (GSH、SOD) 活力, 抑制肝组织脂质过氧化产物 MDA 的产生, 肝组织变性、结构紊乱和坏死等病理学损伤明显改善。梔子果油对酒精性肝损伤的保护作用除了提高抗氧化酶系统的活力, 降低血清 ALT、AST、 γ -谷氨酰转肽酶 (γ -GT) 水平, 减少 MDA 的产生, 还能下调肿瘤坏死因子 (TNF- α) mRNA 的相对表达^[53]。因此, 通过口服摄入一定剂量的梔子果油可以显著改善肝脏损伤, 其主要工作机制与其中所含的活性组分所发挥的提高抗氧化酶活力、增强肝组织脂质代谢水平、抑制脂质过氧化反应及炎症因子表达、维持肝细胞正常形态等功能相关。

4 总结与展望

梔子果油中所含的多不饱和脂肪酸、生育酚、酚酸、角鲨烯、植物甾醇和藏花酸及其衍生物等是梔子果油发挥抗氧化、抗炎症、抗癌症、抗抑郁和肝脏保护作用等多种生理功效的物质基础。随着对梔子果油及其生物活性的研究不断深入, 梔子果油被广泛作为膳食补充剂, 引起了越来越多的关注。然而, 目前关于梔子果油的研究仍处于起步阶段, 为了进一步探索梔子果油在健康食品和生物医药等领域的发展潜力, 有必要加速梔子果油的研究、开发和综合利用过程。未来的重点应主要集中在以下方面:

(1) 加强提取技术的改进, 亚临界流体提取法、超临界流体提取法、水酶法、超声波辅助提取法等新型萃取技术已显示出比传统提取技术 (如冷榨法、溶剂萃取法) 更安全 and 更高效的优势, 未来应紧密结合现代提取技术, 开发更高效和环保的梔子果油提取方法以在提取过程中最大程度地保留梔子果油中有益的活性成分, 同时以更低的成本获得更高的油产量。

(2) 加强对梔子果油的健康益处和机制的研究。目前这一领域的大多数研究结果是通过体外试验获得的,

缺乏来自动物模型试验或大规模人群干预试验的数据, 下一步应该集中在临床试验上, 不断研究和验证梔子果油的生物活性和分子机制, 并努力推动与梔子果油相关的产品的发展。

(3) 促进梔子副产品的利用, 推动梔子全产业链的可持续发展, 作为一种极具价值的油料和药用资源, 梔子的副产品如梔子花、梔子叶、梔子果壳等, 是提取梔子黄素、藏花素、植物甾醇、环烯醚萜和植物精油的优质原材料。未来的研究可以集中在全面利用梔子的各个部分, 以研究其营养成分和生物活性, 这将有助于减少梔子加工副产品的浪费, 并为梔子加工副产品的高值化利用开辟新途径。

参考文献

- [1] ZHANG N, BIAN Y, YAO L. Essential oils of *Gardenia jasminoides* J. Ellis and *Gardenia jasminoides* f. *longicarpa* ZW Xie & M. Okada flowers: chemical characterization and assessment of anti-inflammatory effects in alveolar macrophage [J]. *Pharmaceutics*, 2022, 14(5): 966.
- [2] XIAO W P, LI S, WANG S, et al. Chemistry and bioactivity of *Gardenia jasminoides* [J]. *Journal of Food and Drug Analysis*, 2017, 25(1): 43-61.
- [3] WANG D L, YUAN Y W, XIE T F, et al. Ultrasound-assisted aqueous enzymatic extraction of gardenia fruits (*Gardenia jasminoides* Ellis) oil: optimization and quality evaluation [J]. *Industrial Crops and Products*, 2023, 191: 116021.
- [4] 朱颖洁. 梔子果油和西红花苷的提取及 Pickering 乳液体系的构建[D]. 杭州: 浙江大学, 2022.
- [5] ZHANG C X, LIU H, JU C, et al. *Gardenia jasminoides* J. Ellis extract alleviated white matter damage through promoting the differentiation of oligodendrocyte precursor cells via suppressing neuroinflammation [J]. *Food & Function*, 2022, 13(4): 2 131-2 141.
- [6] 林福珍, 刘琦, 谢婷婷. 梔子果油制取及精炼工艺研究 [J]. *福建轻纺*, 2020(2): 35-37.
- [7] LIN F Z, LIU Q, XIE T T, et al. Study on preparation and refining technology of gardenia fruit oil [J]. *The Light & Textile Industries of Fujian*, 2020(2): 35-37.
- [8] CAI X, ZHANG R, GUO Y, et al. Optimization of ultrasound-assisted extraction of gardenia fruit oil with bioactive components and their identification and quantification by HPLC-DAD/ESI-MS 2 [J]. *Food & Function*, 2015, 6(7): 2 194-2 204.
- [9] 吴镇坤, 张亚楠, 王雅英, 等. 梔子综合开发与利用研究进展 [J]. *亚太传统医药*, 2017, 13(24): 64-66.
- [10] WU Z K, ZHANG Y N, WANG Y Y, et al. Research progress on development and utilization of gardenia [J]. *Asia-Pacific Traditional*

- Medicine, 2017, 13(24): 64-66.
- [9] 刘瑞英. 栀子成分综合提取工艺及色素的稳定性研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2009: 27-29.
- LIU R Y. Research on comprehensive extraction technology of compositions in gardenia and stability of pigment[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2009: 27-29.
- [10] 辛莎. 栀子果中栀子油、栀子黄色素、栀子甙和绿原酸的提取与精制工艺[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2011: 18.
- XIN S. Extraction and separation process of gardenia oil, gardenia yellow pigment, gartenoside and chlorogenic acid in gardenia fruit [D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2011: 18.
- [11] 唐伟卓, 满海燕, 杨涛, 等. 响应面优化栀子皮油和栀子肉油的提取工艺及品质分析[J]. 中国油脂, 2020, 45(8): 17-21.
- TANG W Z, MAN H Y, YANG T, et al. Optimization of extraction technologies of peel and pulp oils from *Gardenia jasminoides* by response surface methodology and their qualities analysis[J]. China Oils and Fats, 2020, 45(8): 17-21.
- [12] 李昊阳, 王飞运, 刘华敏, 等. 不同方法制备的栀子果油的理化性质比较[J]. 现代食品科技, 2016, 32(9): 209-215.
- LI H Y, WANG F Y, LIU H M, et al. Comparison of the physicochemical characteristics of gardenia fruit oils obtained by various methods[J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(9): 209-215.
- [13] 胡子聪, 胡超凡, 李彦坡, 等. 石榴籽油的提取、营养组成及健康功效研究进展[J]. 中国油料作物学报, 2024, 46(1): 208-220.
- HU Z C, HU C F, LI Y P, et al. Research progress on extraction, nutritional composition and health benefit of pomegranate seed oil [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2024, 46(1): 208-220.
- [14] 孟祥河, 刘晓颖, 邹盈, 等. 水酶法制备栀子油的研究[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(10): 117-124.
- MENG X H, LIU X Y, ZOU Y, et al. Gardenia oil preparation by aqueous enzymatic extraction[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(10): 117-124.
- [15] 曹秋霞, 梁文斌, 杨艳, 等. 水酶法提取栀子油工艺优化及其脂肪酸组成[J]. 中国油脂, 2022, 47(7): 22-27.
- CAO Q X, LIANG W B, YANG Y, et al. Optimization of extraction of *Gardenia jasminoides* oil by aqueous enzymatic method and its fatty acid composition[J]. China Oils and Fats, 2022, 47(7): 22-27.
- [16] 袁雅雯. 栀子果油的超声辅助水酶法提取及其纳米乳液制备的研究[D]. 杭州: 浙江科技学院, 2023.
- YUAN Y W. Study on trasound-assisted aqueous enzymatic extraction of gardenia fruit (*Gardenia jasminoids* Ellis) oil and preparation of nanoemulsions[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Science and Technology, 2023.
- [17] BASAK S, ANNAPURE U S. The potential of subcritical water as a "green" method for the extraction and modification of pectin: a critical review[J]. Food Research International, 2022, 161: 111849.
- [18] AFRAZ M T, XU X, ADIL M, et al. Subcritical and supercritical fluids to valorize industrial fruit and vegetable waste[J]. Foods, 2023, 12(12): 2 417.
- [19] LIU H C, WEN J, HUANG G D, et al. Assessment of oil extracted from gardenia fruits by different commercial extraction methods for potential industrial applications [J]. Industrial Crops and Products, 2022, 187: 115498.
- [20] DIMIC I, PAVLIC B, RAKITA S, et al. Isolation of cherry seed oil using conventional techniques and supercritical fluid extraction[J]. Foods, 2022, 12(1): 11.
- [21] AHANGARI H, KING J W, EHSANI A, et al. Supercritical fluid extraction of seed oils: a short review of current trends[J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 111: 249-260.
- [22] HE W H, GAO Y X, YUAN F, et al. Optimization of supercritical carbon dioxide extraction of gardenia fruit oil and the analysis of functional components[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2010, 87(9): 1 071-1 079.
- [23] TAO W W, ZHANG H L, XUE W D, et al. Optimization of supercritical fluid extraction of oil from the fruit of *Gardenia jasminoides* and its antidepressant activity[J]. Molecules, 2014, 19 (12): 19 350-19 360.
- [24] KOUBAA M, MHEMDI H, BARBA F J, et al. Oilseed treatment by ultrasounds and microwaves to improve oil yield and quality: an overview[J]. Food Research International, 2016, 85: 59-66.
- [25] SHEN L P, PANG S X, ZHONG M M, et al. A comprehensive review of ultrasonic assisted extraction (UAE) for bioactive components: principles, advantages, equipment, and combined technologies[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2023, 101: 106646.
- [26] SALAH W A, NOFAL M. Review of some adulteration detection techniques of edible oils[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2021, 101(3): 811-819.
- [27] ALVES A Q, DA SILVA JR V A, GÓES A J S, et al. The fatty acid composition of vegetable oils and their potential use in wound care [J]. Advances in Skin & Wound Care, 2019, 32(8): 1-8.
- [28] KOSTIK V, MEMETI S, BAUER B. Fatty acid composition of edible oils and fats [J]. Journal of Hygienic Engineering and Design, 2013, 4: 112-116.
- [29] ORSAVOVA J, MISURCOVA L, VAVRA AMBROZOVA J, et al. Fatty acids composition of vegetable oils and its contribution to dietary energy intake and dependence of cardiovascular mortality on dietary intake of fatty acids [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2015, 16(6): 12 871-12 890.
- [30] LI H K, HAN J J, ZHAO Z K, et al. Roasting treatments affect oil extraction rate, fatty acids, oxidative stability, antioxidant activity, and flavor of walnut oil [J]. Frontiers in Nutrition, 2023, 9: 1077081.
- [31] 陈俊龙, 崔雨同, 郑娱洁, 等. 不同提取方法对栀子籽油品质

- 的影响[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(1): 96-100.
- CHEN J L, CUI Y T, ZHENG Y J, et al. Effects of different extraction methods on quality of gardenia seed oil[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2022, 37(1): 96-100.
- [32] SZEWCZYK K, CHOJNACKA A, GÓRNICKA M. Tocopherols and tocotrienols-bioactive dietary compounds; what is certain, what is doubt? [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2021, 22(12): 6 222.
- [33] GALLI F, BONOMINI M, BARTOLINI D, et al. Vitamin E (alpha-tocopherol) metabolism and nutrition in chronic kidney disease[J]. Antioxidants, 2022, 11(5): 989.
- [34] 朱颖洁, 杨亚洁, 李群和, 等. 栀子果油的生物活性成分及抗氧化活性评价[J]. 现代食品科技, 2021, 37(2): 103-113.
- ZHU Y J, YANG Y J, LI Q H, et al. Evaluation of bioactive components and antioxidant activity of gardenia fruit oil [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(2): 103-113.
- [35] SIGER A, NOGALA KALUCKA M, LAMPART SZCZAPA E. The content and antioxidant activity of phenolic compounds in cold-pressed plant oils[J]. Journal of Food Lipids, 2008, 15(2): 137-149.
- [36] TEH S, BIRCH J. Physicochemical and quality characteristics of cold-pressed hemp, flax and canola seed oils[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2013, 30(1): 26-31.
- [37] WANG X Q, ZENG Q M, DEL MAR CONTRERAS M, et al. Profiling and quantification of phenolic compounds in Camellia seed oils: natural tea polyphenols in vegetable oil [J]. Food Research International, 2017, 102: 184-194.
- [38] MAJEED M, AHMAD F, MUNDKUR L, et al. Pharmacology of α -spinasterol, a phytosterol with nutraceutical values: a review[J]. Phytotherapy Research, 2022, 36(10): 3 681-3 690.
- [39] YANG R N, XUE L, ZHANG L X, et al. Phytosterol contents of edible oils and their contributions to estimated phytosterol intake in the Chinese diet[J]. Foods, 2019, 8(8): 334.
- [40] 李跃凡, 王媛媛, 马改琴, 等. 角鲨烯来源、提取及功能特性研究进展[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2022, 43(6): 19-29.
- LI Y F, WANG Y Y, MA G Q, et al. Research progress on sources, extraction and functional properties of squalene [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2022, 43(6): 19-29.
- [41] PICÓN D F, SKOUTA R. Unveiling the therapeutic potential of squalene synthase: deciphering its biochemical mechanism, disease implications, and intriguing ties to ferroptosis[J]. Cancers, 2023, 15(14): 3 731.
- [42] WU L M, ZHAO J J, WU L H, et al. Simultaneous determination of squalene, tocopherols and phytosterols in edible vegetable oil by SPE combined with saponification and GC-MS[J]. LWT-Food Science and Technology, 2022, 169: 114026.
- [43] TIAN J Z, QIN S S, HAN J Y, et al. A review of the ethnopharmacology, phytochemistry, pharmacology and toxicology of Fructus Gardeniae (Zhi-zi) [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2022, 289: 114984.
- [44] 包亚妮, 董建青, 袁芳. 超临界 CO₂ 萃取工艺条件对栀子油脂脂肪酸组成及其抗氧化活性的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(10): 12-17.
- BAO Y N, DONG J Q, YUAN F. Effect of supercritical carbon dioxide extraction conditions on fatty acid composition and antioxidant activity of gardenia fruit oil[J]. Food Science, 2011, 32(10): 12-17.
- [45] 徐志丰. 不同种类栀子果油的理化性质比较[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2017: 26-28.
- XU Z F. Comparison of physical and chemical properties of different gardenia oil[D]. Hangzhou: Zhejiang A & F University, 2017: 26-28.
- [46] DEBNATH T, LEE Y M, LIM J H, et al. Anti-allergic and anti-atopic dermatitis effects of Gardenia Fructus extract[J]. Food and Agricultural Immunology, 2018, 29(1): 665-674.
- [47] 任嘉彦, 尚晓玲. 栀子苷对脂多糖诱导的星形胶质细胞炎症因子分泌的影响[J]. 时珍国医国药, 2022, 33(4): 835-837.
- REN J Y, SHANG X L. Effects of gardenoside on the secretion of astrocyte inflammatory factors induced by lipopolysaccharide[J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2022, 33(4): 835-837.
- [48] SHARMA V, KUMAR D, DEV K, et al. Anticancer activity of essential oils: cell cycle perspective[J]. South African Journal of Botany, 2023, 157: 641-647.
- [49] 刘继平, 许海, 胡锐, 等. 栀子油对 S180 荷瘤小鼠肿瘤生长及胸腺、脾指数的影响[J]. 西北药学杂志, 2010, 25(2): 112-114.
- LIU J P, XU H, HU R, et al. Effects of gardenia oil on tumor growth and thymus and spleen index of S180 tumor-bearing mice [J]. Northwest Pharmaceutical Journal, 2010, 25(2): 112-114.
- [50] LIU S L, LIN Y C, HUANG T H, et al. Anti-depressive activity of Gardeniae fructus and geniposide in mouse models of depression [J]. African Journal of Pharmacy and Pharmacology, 2011, 5: 1 580-1 588.
- [51] RUAN J, LIU L, SHAN X, et al. Anti-depressant effects of oil from fructus gardeniae via PKA-CREB-BDNF signaling [J]. Bioscience Reports, 2019, 39(4): R20190141.
- [52] 张俊逸, 罗光明, 柴华文, 等. 栀子油对乙酰氨基酚致小鼠急性肝损伤的保护作用[J]. 中国油脂, 2019, 44(11): 127-130.
- ZHANG J Y, LUO G M, CHAI H W, et al. Protective effect of Gardenia oil on acetaminophen-induced acute liver injury in mice [J]. China Oils and Fats, 2019, 44(11): 127-130.
- [53] 漆乐媛, 张风波, 肖日传, 等. 栀子油对小鼠急性酒精性肝损伤的保护作用[J]. 中国油脂, 2018, 43(8): 76-80.
- QI L Y, ZHANG F B, XIAO R C, et al. Protective effect of Gardenia oil against alcohol-induced acute hepatic injury in mice [J]. China Oils and Fats, 2018, 43(8): 76-80.