

# 黑果腺肋花楸花青素提取工艺和生物活性研究进展

李文彤\*, 朱艳荣, 刘文舒, 严凤丽, 柏佳琦, 于丽丽<sup>#</sup>

锦州医科大学药学院, 辽宁 锦州

收稿日期: 2025年2月4日; 录用日期: 2025年3月5日; 发布日期: 2025年3月12日

## 摘要

花青素在黑果腺肋花楸中含量丰富, 其具有抗氧化、抗炎抑菌、防治糖尿病、心血管保护以及抗癌、保肝等多种生物活性。本文通过查阅近年来国内外黑果腺肋花楸花青素的研究进展, 对花青素提取工艺及生物活性等进行了综述。期望可以为我国在黑果腺肋花楸相关领域的研究进程和开发利用提供参考依据, 从而深入挖掘黑果腺肋花楸的潜在价值与应用前景。

## 关键词

黑果腺肋花楸, 花青素, 生物活性, 提取工艺

# Research Progress on the Extraction and Biological Activity of Anthocyanins from *Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott

Wentong Li\*, Yanrong Zhu, Wenshu Liu, Fengli Yan, Jiaqi Bai, Lili Yu<sup>#</sup>

School of Pharmacy, Jinzhou Medical University, Jinzhou Liaoning

Received: Feb. 4<sup>th</sup>, 2025; accepted: Mar. 5<sup>th</sup>, 2025; published: Mar. 12<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

Anthocyanins are abundant in *Aronia melanocarpa*, and they have multiple biological activities, including antioxidant, anti-inflammatory and antibacterial capabilities, as well as being effective in

\*第一作者。

<sup>#</sup>通讯作者。

the prevention and treatment of diabetes, providing cardiovascular protection, possessing anti-cancer properties, and having a liver-protective function. Based on the research results of anthocyanins in *Aronia melanocarpa* at home and abroad in recent years, this paper reviews the extraction process and biological activities of anthocyanins. It is expected that it can provide a reference for the research process and development and utilization in the related fields of *Aronia melanocarpa* in China, so as to deeply explore the potential value and application prospects of *Aronia melanocarpa*.

## Keywords

*Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott, Anthocyanin, Biological Activity, Extraction Process

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. 前言

黑果腺肋花楸为蔷薇科腺肋花楸属多年生落叶灌木, 又别名为不老莓、野樱莓, 对于环境适应能力较强, 具有很好的耐寒性[1]。黑果腺肋花楸原产于北美的东北部以及加拿大等地区, 我国黑果腺肋花楸是在上个世纪九十年代引入并栽植于我国的辽西地区。2018年, 国家卫健委发布《食品安全法》和《新食品原料安全性审查管理办法》, 黑果腺肋花楸的果实被批准作为一种新的食品原料, 现按食品安全国家标准中水果的相关规定来使用。黑果腺肋花楸的果实呈球形, 果皮呈紫黑色, 果肉暗红, 果实味道酸甜微涩。黑果腺肋花楸的果实营养成分丰富, 主要包括以下几大类: 膳食纤维、维生素、有机酸、糖类、多酚类化合物[2], 其中重要的一类物质为多酚类物质, 因多酚类化合物与黑果腺肋花楸的生物活性密切相关, 其中包含花青素、原花青素、酚酸、黄酮醇等[1]且含量丰富。根据研究报道, 黑果腺肋花楸果实中的花青素具备很强的抗氧化活性, 而且还具有抗炎抑菌、降糖、心血管保护、抗癌、保护肝脏、防治尿路感染、治疗肥胖、等多种生物活性[2][3]。

## 2. 提取方法研究进展

目前对于花青素的提取主要有水提法和乙醇提取法, 但是由于水提法比较耗费时间, 而且还存在提取率比较低、提取物中杂质含量较多的缺点, 因此在实际研究过程中应用水提法提取花青素的较少, 乙醇提取法应用较多。超声辅助提取近年来较多应用于植物提取研究中, 是一种借助超声波以提高提取效率的新技术, 具有快速高效、降低成本等特点, 超声辅助提取具有良好的发展前景。

### 2.1. 水提取法

水提取法是指采用水为溶剂辅助适当的方法(如超声波提取法、微波辅助提取法、超临界流体提取法等), 以植物为原料提取或加工获得目标物质的方法。水提取法在众多领域都有着广泛的应用, 国内一般将提取液温度控制在50℃~70℃, 选用浓度不同的酸化水或者醇溶液作为提取溶剂将其浸泡1~2小时[4], 根据刘强[5]的研究表明, 水提取法在花青素提取工艺中的优势包括生产过程不污染环境, 成本低廉且无需回收, 工艺流程相对简单, 以水作为提取剂方便获取, 便于实现大规模的工业化生产。虽拥有诸多优点, 但其缺点也相对明显: 提取操作周期较长, 原料使用率低, 提取率不高, 提取液中杂质含量较高, 资源消耗较大, 且经济收益相对较低。在相同的试验条件下, 室温下使用纯水比有机溶剂-水混合物的提取率低[6]。于莹[7]等人采用黑果腺肋花楸的新鲜果实为原料, 水为提取溶剂, 借助超声波辅助提取手段,

发现黑果腺肋花楸花青素提取量随温度升高呈现先升后降, 温度达到 40℃后提取率随温度上升而上升, 到 60℃后因花青素降解导致提取量随温度上升而降低。最终通过回归模型分析, 结果显示提取黑果腺肋花楸中花青素的最优参数为超声功率 200 W、提取时长 37 min、提取温度 55℃。在这些条件下, 从黑果腺肋花楸中提取出的花青素含量达到 5.63 mg/g。

## 2.2. 醇提取法

醇提取法是一种利用乙醇等醇类溶剂从植物或动物组织中提取活性成分的方法, 通过调节乙醇浓度可以优化目标成分的溶解度和提取效率[8]。现已拓展至鲜果、冻干粉、果渣等多种原料形态的高值化利用。这种方法可以有效地提取出物质中的有效成分, 该技术在实际应用中展现出显著优势, 例如: 效率高、成本低、溶剂可回收利用等。但需注意的是该方法存在几个主要技术瓶颈: 一是热敏性成分缺失, 二是溶剂残留的风险等等[9]。陈姗姗[10]通过实验得到当乙醇体积分数在 60%, 超声波功率为 160 W, 液料比为 20:1 (mL/g), 温度为 40℃, 提取时间为 50 min 时获得的黑果腺肋花楸的花色苷含量最多。国石磊[11]称取 0.1 g 黑果腺肋花楸粉末于 10 mL 离心管内, 依照 1:45 g/mL 的固液比, 加入 4.5 mL 含有 0.5% 乙酸的 40%乙醇溶液, 而后进行提取。在涡旋状态下, 将混合物在 46℃的恒温水浴中提取, 持续时间为 112 分钟。提取完成后, 将混合物以每分钟 10,000 转的速度离心 10 分钟, 以便分离并获取含有花青素的提取液。刘芳芳等[12]通过正交实验设计, 确定了使用乙醇提取法提取花青素的最佳条件: 提取溶剂乙醇的浓度为 50%, 固液比为 1:15, 提取温度为 30℃, 提取时间为 30 分钟。

## 2.3. 超临界提取法

超临界提取法是一种利用超临界流体的高溶解能力来提取物质的方法。这种方法针对生物大分子、热敏感及化学性质不稳定的物质, 提供了一种优于传统溶剂分离方法的新型技术。超临界提取法的应用领域非常广泛, 包括食品、医药、香料、化工等。通过改变萃取剂流体的压力和温度, 可以先后萃取出样品中的不同组分, 实现分离和纯化的目的。尽管设备成本和操作技术要求较高, 但其综合效益显著, 是一种先进的提取技术。Guangling Jiao 等研究者[13]开创性地提出了一种环保技术, 其借助水和超临界 CO<sub>2</sub> 的协同复合作用, 用于从草莓浆中提取花青素。与传统的仅以水为提取剂的方法相比, 该方法在提升提取率方面效果显著, 而且所提产物在抗氧化性能方面展现出更优的表现。Prakash J 等[14]研究者通过超临界 CO<sub>2</sub> 提取手段, 将花青素和多酚类化合物成功地从浆果中提取得到。在此研究中, 深入探究了压力、温度及共溶剂流速这三个变量如何作用于花青素和酚类化合物, 使其提取量达到最大化。经过系统分析研究, 确定了提取工艺的最佳参数, 即提取压力设定为 162 Bar, 提取温度控制在 50℃, 共溶剂的流量为 2.0 g/min。王鹏[15]采用超临界二氧化碳流体萃取技术针对黑果腺肋花楸果实中的抗氧化物质进行了提取。研究结果显示抗氧化物质的提取效率最高约为 90%。此时优化的萃取条件为: 果粉细度 40 目, 萃取温度 45 摄氏度, 萃取压力 40 兆帕, 萃取时长 2 小时, 流体流量 20 升/小时, 夹带剂与原料的比例 1:10。

## 2.4. 超声提取法

超声波提取技术以其独特优势在植物花青素的提取中表现出色。它通过超声波的热效应、强烈的振动作用以及显著的空化效应, 大幅提升了花青素从植物中溶解到溶剂的过程。这一方法的优势在于提取周期短、所需温度低、效率显著提高, 同时设备结构简单、溶剂用量少、操作便捷, 尤其适用于高效、低耗的工业化生产[1] [16]。超声波提取技术虽然高效, 但也存在一些不足之处。问题在于: 可能影响后续的纯化工艺[17]; 在超声过程中产生的局部高温可能破坏花青素的稳定性, 导致其降解, 影响提取率和生物活性[16]; 在大规模生产时可能因为能量分布不均匀导致提取效率不稳定, 难以保证批次一致性, 且在

高功率下能耗较高,长期使用成本较高[18]。于莹[7]等针对超声波功率、提取温度以及提取时间这几个因素对花青素提取量所产生的影响开展了研究,同时运用响应面实验,对黑果腺肋花楸中花青素的提取工艺实施了优化处理。在得出的最优条件下,该植物花青素提取量达到了 5.71 mg/g。另外,Andrade 等[19]通过超声辅助加压液体提取技术成功的从黑果腺肋花楸果渣中提取得到花青素。采用的提取参数为:提取溶剂 1.5% wt 的柠檬酸,提取温度 70℃、提取压力 180 bar、超声功率 200 W、提取时间 45 分钟,在此条件下提取率大约为 88%。当提取温度提高到 80 摄氏度时,提取效率能够达到 94%。Ramić [20]等研究者在温度设定为 70℃的条件下,以 210 W 为超声功率对黑果腺肋花楸果渣进行提取,提取时长为 75 分钟,最终总酚、黄酮、花色苷和原花青素的产量分别为 15.41 mg/mL、9.86 mg/mL、2.26 mg/mL、20.67 mg/mL。这一提取方法不但有着较为广泛的适用范围,而且提取周期相对较短,能在很大程度上提升提取效率。

## 2.5. 树脂提取法

在黑果腺肋花楸的研究领域,滕飞[21]特别关注了原花青素的纯化工艺,对原花青素的吸附-解吸能力进行研究,选定 DM130 型大孔树脂为最优的纯化材料并使用 40%乙醇溶液作为洗脱液,成功获得了纯度为 78.4%的原花青素。这一发现不仅提高了原花青素的纯度,而且为黑果腺肋花楸中活性成分的工业化生产提供了重要的技术支持。研究发现[22],HPD-100 型大孔树脂对黑果腺肋花楸花青素具有良好的吸附及解吸附能力,因此可以用于黑果腺肋花楸花青素的纯化。此法在提取花青素的同时还可以去除提取物中的糖、有机酸、矿物质及其他水溶性杂质,为花青素的开发利用打下基础。国石磊[23]等人也进行了相关研究,他们同样使用大孔树脂来纯化黑果腺肋花楸中的花青素。他们的研究重点在于分析大孔树脂与花青素之间的吸附-解吸条件,包括温度、pH 值、流速等因素对纯化效果的影响。通过这些研究,他们为优化黑果腺肋花楸中花青素的纯化工艺提供了科学依据。树脂提取法适用于弱极性 & 非极性物质提取,与溶剂提取法相比,树脂提取法的平均生产成本要相对较低。在国际方面,D'alessandro [24]采用了 XAD-7 大孔树脂对黑果腺肋花楸提取物进行了纯化,通过使用 XAD-7 大孔树脂,得到总酚含量高达 82%,总花青素含量达到了 92%。这些结果进一步证明了大孔树脂在提取和纯化植物活性成分中的重要作用。

## 3. 黑果腺肋花楸的生物活性

### 3.1. 抗氧化

黑果腺肋花楸中的花青素,其抗氧化功效主要表现在其清除自由基的能力上。自由基与细胞成分发生链式反应,使得体内积聚了众多过氧化物,这些过氧化物的累积影响了细胞机能的正常运作,进而可能导致机体发生病变[25]。其中,对黑果腺肋花楸抗氧化性贡献最大的酚类物质是花青素-3-半乳糖苷,花青色素 3-阿拉伯糖苷,这两种物质具有较强的清除自由基活性[26]。陈彤垚等人[27]研究发现,黑果腺肋花楸果实中的总花青素含量约为(0.35~15.96) mg/g (新鲜重量), (12.65~23.31) mg/g (干重量),是目前花青素相对含量较高的果实之一。在目前的食品工业中,黑果腺肋花楸花青素主要被应用于生产果酒、果汁等食品。通过将柠檬汁与黑果腺肋花楸果汁相混合,不仅显著维持了花青素的含量,还增强了其抗氧化能力,并且优化了产品的口感。

黑果花青素已被多项研究证实具有显著的抗氧化性能。尤其在抵御紫外线辐射致使膜脂质体发生脂质氧化过程中表现出更为卓越的抗氧化活性。动物模型研究指出[28],黑果腺肋花楸果汁具有保护细胞核免遭超氧化物阴离子所诱发的电离辐射损害的能力,其强大的抗氧化特性有利于预防与治疗诸多氧化应激关联病症。综上所述,黑果腺肋花楸的花青素具有显著的抗氧化性能,其抗氧化机制涉及清除自由基、保护细胞膜结构以及抗衰老等方面。因此,黑果腺肋花楸在保健食品、药品等领域具有广泛的应用前景。



### 3.2. 抗炎抑菌

黑果腺肋花楸中富含多酚、原花青素、花青素、绿原酸和新绿原酸等物质,对一些细菌和真菌具有较强的抑菌能力。黑果腺肋花楸中所含有的花青素类黄酮成分可明显抑制由 5-HT 和组胺所导致的大鼠足趾肿胀[29]。Ohgami [30]等研究者将黑果腺肋花楸的提取物和糖皮质激素进行了比较研究,发现黑果腺肋花楸提取物的抗炎机制与直接抑制一氧化氮合成酶和环氧化酶的表达,减少一氧化氮和炎症细胞数量有关。100 mg 黑果腺肋花楸提取物的抗炎效果与 10 mg 糖皮质激素相当。苗妙[31]等研究结果表明,黑果腺肋花楸的多酚成分对四种细菌(产气肠杆菌、脂环酸芽孢杆菌、阴沟肠杆菌、枯草芽孢杆菌)展现出较强的抑制作用。朱月等[2]利用响应面分析法探究黑果腺肋花楸提取物的抑菌作用,结果表明黑果腺肋花楸花青素对所测试的四种菌种的抑菌效果顺序为:枯草芽孢杆菌 > 金黄色葡萄球菌 > 大肠杆菌 > 酿酒酵母,并且花青素浓度越高,抑菌作用越强。研究还发现未经纯化的黑果腺肋花楸花青素的抑菌能力更加显著。

### 3.3. 降糖作用

糖尿病是全球性常见病,已有研究表明,截止 2024 年,全球成人糖尿病患者人数已突破 5 亿人,所以预防和治疗糖尿病是一项非常迫切的任务。食用黑果腺肋花楸中花青素有助于提升葡萄糖的代谢效率,减少高脂肪饮食动物体内的血糖水平,从而降低患糖尿病的可能性。临床应用研究的结果表明[32],服用黑果腺肋花楸果汁三个月后,II 型糖尿病患者的空腹血糖明显下降,同时也能降低患者血浆中糖化血红蛋白(HbA1c)、脂质和总胆固醇水平。由此可见,黑果腺肋花楸果实可用于糖尿病患者的饮食治疗。Lipinska 和 Jozwik 通过研究发现[32],黑果腺肋花楸中花青素对美利奴羊有降糖作用,喂食 150 克、300 克黑果腺肋花楸/公斤饲料后,其对照组血糖由 3.38 mmol/L,分别降为 2.42 和 1.55 mmol/L。后来又通过大鼠模型研究发现,黑果腺肋花楸提取物也可以降低血糖。

### 3.4. 心血管保护作用

花青素有助于提升血管弹性,通过优化血液循环来恢复微血管功效,加固脆弱的血管。研究显示,花青素对引发心血管疾病的两个关键因素低密度脂蛋白(LDL-C)的氧化过程和血小板的聚集程度有显著抑制作用[26]。通过促进内皮祖细胞内转录因子 Nrf2 的表达,从而提升血红素加氧酶-1 (HO-1)的水平及其酶活性,其提取物中的花青素与他汀类药物联合给药,使内皮祖细胞免受血管紧张素 II 诱导的氧化应激和功能损伤,该方法能有效减少动脉粥样硬化患者动脉血压的氧化应激和炎症指标,同时还能提升患者受损动脉壁的再内皮化能力,进而改善血压。与此同时,花青素还能促进冠状动脉中一氧化氮的生成,并逐步引发 Akt 和 eNOS 的磷酸化作用,通过 Src/PI3K/Akt 信号通路减轻冠状动脉的氧化应激反应,这一过程促进血管内皮细胞的舒张和血小板功能的增强[33] [34]。

### 3.5. 抗癌

癌症目前仍然是人类面临的一大难题,近年来,癌症的发病率持续走高,它依旧是造成人类生命终结的关键因素之一。花青素具有良好的防治癌症作用。现有很多报道称花青素能抑制、防治多种癌症生长。李梦莎等人[35]利用 SGC-7901 细胞作为实验模型,通过 MTT 比色法检测了黑果腺肋花楸花色苷对细胞生长的抑制效果,并从中筛选出两种在体外展现出较高抗氧化活性的花色苷成分(组分 1、组分 2),两种组分相对浓度在 1 mg/ml~8 mg/ml 范围内,均有明显的量效关系。组分 1 对胃癌细胞 SGC-7901 有一定的抑制作用,在浓度低于 1 mg/ml 时,抑制作用并不显著,随着样品浓度的提升,抑制作用逐渐增强。在浓度达到 8 mg/ml 时,抑制作用达到峰值,为 39.87%。组分 2 对胃癌细胞 SGC-7901 展现了一定的抑

制作用,这种作用随着浓度的提升呈现出先降后升的变化动态。在 8 mg/ml 的浓度下,抑制率达到了最高点为 49.49%。目前关于花青素在抗癌方面的作用机理,存在几种假设[36]:首先,花青素可能在转录水平上通过调控与细胞凋亡相关的基因表达信号途径,进而促使癌细胞发生凋亡;其次,花青素可能通过降低周期蛋白及其依赖性激酶的表达,来减慢癌细胞的增殖速度并推动其分化;第三,花青素可能介入表皮生长因子受体与癌细胞膜上配体的结合过程,减少受体的表达,从而阻止癌细胞的扩散和侵袭;最后,花青素可能切断供给癌细胞的营养途径,使癌细胞长期处于“饥饿”状态,导致癌细胞因缺乏营养而凋亡[28]。花青素的抗癌功效尚需进一步探究,鉴于其特有的化学构造和生物活性,这一领域的研究在将来具有广阔的发展前景。

### 3.6. 保肝作用

黑果腺肋花楸花青素在临床前研究中已经显示出其强大的保肝潜力。Yang 等[37]通过临床试验研究黑果花色苷对肝纤维化的作用机制,结果发现黑果花色苷可促进肝脏代谢,防止过量摄入酒精后引发的酒精性肝硬化。黑果腺肋花楸花青素能够减轻由 CCl<sub>4</sub> 诱发的小鼠肝损伤,能够预防和治疗肝纤维化疾病。其潜在机制可能和减少炎症因子表达、抑制  $\alpha$ -平滑肌肌动蛋白和转化生长因子- $\beta$ 1 等蛋白表达、减少 I 型胶原沉积有关[38]。据研究揭示,黑果腺肋花楸果汁(AMJ)对由 CCh 引发的急性肝脏损伤的大鼠具有显著的肝脏保护作用。实验数据表明,大鼠肝脏的坏死程度、血浆中谷氨酸转氨酶和天冬氨酸转氨酶的活性水平和 AMJ 剂量存在相关性。此外,AMJ 能够有效地抑制 CCh 诱导的大鼠肝脏内丙二醛(MDA)的形成,并且能够防止肝脏中谷胱甘肽(GSH)含量的降低[30]。

黑果腺肋花楸中花青素结构中的酚羟基与金属离子发生螯合反应,进而达到清除重金属的效果。通过一系列实验表明,黑果腺肋花楸果汁中的原花青素能够与游离自由基结合,减少小鼠肝细胞中 MAD 的生成,进而抑制肝细胞的坏死。此外,原花青素还能在一定范围内减少小鼠肝脏内谷胱甘肽的生成,减少效果在一定程度上与浓度成正比关系[39]。综上所述,黑果腺肋花楸花青素是一种具有强大保肝作用的天然成分。通过对其进一步的研究和开发,我们可以将其应用于保肝药物、保健品以及功能性食品中,为人们提供一种安全、有效地保护肝脏的方法。同时,我们也需要更多的研究来揭示黑果腺肋花楸花青素的更多作用和机制,为人类健康事业做出更大的贡献。

### 3.7. 其他作用

黑果腺肋花楸中的花青素还有保护视力、缓解疲劳和调节脂肪代谢的药理作用。陈珊珊[10]的研究揭示,花青素提取物能够抑制由 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 诱导的 ARPE-19 细胞氧化损伤,改变视网膜色素上皮细胞中凋亡因子的表达,从而起到保护视力作用。李瑞芳[39]通过研究表明,随着灌入小鼠体内黑果腺肋花楸黄酮浓度的升高,小鼠力竭游泳时间显著延长,表明了黑果腺肋花楸中的黄酮成分可有效缓解运动疲劳。张金堂[40]的研究数据表明,黑果腺肋花楸的花青素能有效调整肠道微生物的群落结构,进而维持机体的脂肪代谢平衡。

## 4. 总结与展望

黑果腺肋花楸作为一种多功能的自然资源,在营养价值、食品加工与应用、经济价值以及生态价值等多个方面均展现出广阔的前景。其果实富含多种对人体有益的营养成分,尤其是花青素含量丰富,为开发高附加值的健康产品提供了坚实基础。未来,随着人们对天然药物和保健品的关注度不断提高,黑果腺肋花楸花青素的研究将更加深入。在研究方法上,未来的探索将更加注重多学科交叉融合,如结合基因组学、蛋白质组学等技术手段,深入探讨黑果腺肋花楸花青素的作用机制,从而为其在健康促进和疾病治疗方面的应用提供更加精准和科学的依据。将进一步拓展其临床应用范围,从现有的抗氧化、抗

炎、抗肿瘤等活性研究出发,未来可能会发现更多新的治疗靶点或作用机制,为心血管疾病、糖尿病、癌症等慢性疾病的预防和治疗提供新的思路 and 手段,为相关疾病的预防和治疗提供更多的选择。同时,还需高度重视其安全性的评价和研究,确保其应用的安全性和有效性。

## 基金项目

锦州医科大学大学生创新创业项目(X202310160003)。

## 参考文献

- [1] 王一涵, 吴镒, 张铭津, 张帆, 王薇. 黑果腺肋花楸花青素提取工艺研究[J]. 植物学研究, 2021, 10(1): 56-62.
- [2] 朱月, 李奋梅, 王艳丽, 等. 黑果腺肋花楸原花青素的提取及抑菌性研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(2): 302-306+341.
- [3] 杨丰旭. 黑果腺肋花楸营养价值及其功能性食品开发前景[J]. 农业科技与装备, 2023, 30(6): 71-74.
- [4] 李艳秋, 李红利, 魏秋红. 食品中花青素的提取研究进展[J]. 农产品加工, 2024, 16(8): 87-89+92.
- [5] 刘强. 花青素提取工艺的研究进展[J]. 云南化工, 2018, 45(6): 7-9.
- [6] 陈浩. 黑果腺肋花楸果功能食品及生物活性研究[D]: [硕士学位论文]. 吉林: 吉林化工学院, 2024.
- [7] 于莹, 徐海龙, 赵明波. 超声辅助水提黑果腺肋花楸花青素工艺优化[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2023, 40(2): 147-152.
- [8] 王雪松, 张素敏, 隋韶奕, 等. 黑果腺肋花楸有效成分提取工艺研究[J]. 农业科技与装备, 2020, 42(5): 49-51.
- [9] 李海飞. 黑果腺肋花楸花青素的提取及可食用膜开发[D]: [硕士学位论文]. 长春: 长春工业大学, 2023.
- [10] 陈珊珊. 黑果腺肋花楸花色苷提取物对人视网膜色素上皮细胞的保护作用[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2018.
- [11] 国石磊. 黑果腺肋花楸花色苷分离纯化, 结构鉴定及其抗氧化活性研究[D]: [硕士学位论文]. 秦皇岛: 河北科技师范学院, 2015.
- [12] 刘芳芳, 鲁亚星, 于帅, 等. 黑果腺肋花楸花青素的提取工艺及其稳定性[J]. 延边大学农学学报, 2015, 37(3): 196-201.
- [13] Jiao, G. and Kermanshahi Pour, A. (2018) Extraction of Anthocyanins from Haskap Berry Pulp Using Supercritical Carbon Dioxide: Influence of Co-Solvent Composition and Pretreatment. *LWT*, **98**, 237-244. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.08.042>
- [14] Maran, J.P., Priya, B. and Manikandan, S. (2014) Modeling and Optimization of Supercritical Fluid Extraction of Anthocyanin and Phenolic Compounds from *Syzygium cumini* Fruit Pulp. *Journal of Food Science and Technology*, **51**, 1938-1946. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1237-y>
- [15] 王鹏. 黑果腺肋花楸果实抗氧化物质超临界二氧化碳流体萃取研究[J]. 防护林科技, 2018, 31(7): 11-13.
- [16] 李海飞, 杨毅, 亓雨芮, 等. 超声波辅助酸性天然低共熔溶剂提取黑果腺肋花楸花青素及其稳定性和抗氧化活性分析[J]. 食品工业科技, 2023, 44(8): 259-269.
- [17] 戴妍贤, 沈娟, 龚文进, 等. 超声耦合大孔树脂固定床吸附与解吸附黑果腺肋花楸花色苷的传质特性[J]. 食品科学, 2023, 44(21): 69-80.
- [18] 谢丹丹, 沈梁思, 李凤英, 等. 黑果腺肋花楸果花青素提取工艺优化及抗氧化研究[J]. 安徽农学通报, 2023, 29(20): 113-118.
- [19] Andrade, T.A., Hamerski, F., López Fetzter, D.E., Roda-Serrat, M.C., Corazza, M.L., Norddahl, B., *et al.* (2021) Ultrasound-Assisted Pressurized Liquid Extraction of Anthocyanins from Aronia Melanocarpa Pomace. *Separation and Purification Technology*, **276**, Article 119290. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.119290>
- [20] Ramić, M., Vidović, S., Zeković, Z., Vladić, J., Cvejic, A. and Pavlić, B. (2015) Modeling and Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Polyphenolic Compounds from Aronia Melanocarpa By-Products from Filter-Tea Factory. *Ultrasonics Sonochemistry*, **23**, 360-368. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.10.002>
- [21] 滕飞, 李丽, 皮子凤. 黑果腺肋花楸原花青素分离纯化工艺研究[J]. 长春师范大学学报, 2019, 38(4): 67-72.
- [22] 张卉, 尤小明, 刘姝含, 等. 黑果腺肋花楸花青素的分离纯化[J]. 食品工业, 2021, 42(11): 193-197.
- [23] 国石磊, 朱凤妹, 王娜, 等. 黑果腺肋花楸花色苷树脂纯化工艺及稳定性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2015,

- 27(9): 1636-1642.
- [24] Galván D'Alessandro, L., Vauchel, P., Przybylski, R., Chataigné, G., Nikov, I. and Dimitrov, K. (2013) Integrated Process Extraction-Adsorption for Selective Recovery of Antioxidant Phenolics from Aronia Melanocarpa Berries. *Separation and Purification Technology*, **120**, 92-101. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.09.027>
- [25] 张桂春, 贡汉生, 焦明霞, 等. 一种高效提取高活性黑果腺肋花楸花青素的工艺[P]. 中国专利, 117603588. 2024-02-27.
- [26] 孙智谋, 周旭, 张佳霖, 等. 黑果腺肋花楸花青素抗氧化功能的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(16): 220-224.
- [27] 陈彤垚, 周丽思, 李宾等. 黑果腺肋花楸果实化学特征及其应用进展[J]. 中国药学杂志, 2021, 56(17): 1361-1367.
- [28] 彭晓莉, 余小平. 花青素对乳腺癌防治作用及机制研究进展[J]. 成都医学院学报, 2011, 3(1): 226-229.
- [29] Borissova, P., Valcheva, S. and Belcheva, A. (1994) Anti-Inflammatory Effect of Flavonoids in the Neutral Juice from Aronia Melanocarpa, Rutin and Rutin—Magnesium Complex on an Experimental Model of Inflammation Induced by Histamine and Serotonin. *Acta Physiologica et Pharmacologica Bulgarica*, **20**, 25-30.
- [30] Ohgami, K., Ilieva, I., Shiratori, K., Koyama, Y., Jin, X., Yoshida, K., et al. (2005) Anti-Inflammatory Effects of Aronia Extract on Rat Endotoxin-Induced Uveitis. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **46**, 275-281. <https://doi.org/10.1167/iovs.04-0715>
- [31] 苗妙, 刘宇璇, 胡苗苗, 等. 黑果腺肋花楸多酚的抑菌活性研究[J]. 现代食品科技, 2017, 33(12): 56-60.
- [32] 穆晶晶. 黑果腺肋花楸花色苷提取物改善 T2DM 大鼠肝脏胰岛素抵抗及其机制研究[D]: [博士学位论文]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020.
- [33] Parzonko, A., Oświt, A., Bazyłko, A. and Naruszewicz, M. (2015) Anthocyanins-Rich Aronia Melanocarpa Extract Possesses Ability to Protect Endothelial Progenitor Cells against Angiotensin II Induced Dysfunction. *Phytomedicine*, **22**, 1238-1246. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2015.10.009>
- [34] Kim, J.H., Auger, C., Kurita, I., Anselm, E., Rivoarilala, L.O., Lee, H.J., et al. (2013) Aronia Melanocarpa Juice, a Rich Source of Polyphenols, Induces Endothelium-Dependent Relaxations in Porcine Coronary Arteries via the Redox-Sensitive Activation of Endothelial Nitric Oxide Synthase. *Nitric Oxide*, **35**, 54-64. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2013.08.002>
- [35] 李梦莎, 王化, 朱良玉, 等. 黑果腺肋花楸花色苷对人胃癌细胞 SGC-7901 作用的初步探究[J]. 国土与自然资源研究, 2016, 38(6): 90-92.
- [36] 李彤, 闵清, 张裕平, 胡文祥. 花青素的提取方法及药理作用[J]. 比较化学, 2022, 6(1): 1-8.
- [37] Yang, J., Gao, J., Yu, W., Hao, R., Fan, J. and Wei, J. (2020) The Effects and Mechanism of Aronia Melanocarpa Elliot Anthocyanins on Hepatic Fibrosis. *Journal of Functional Foods*, **68**, Article 103897. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103897>
- [38] 杨静. 黑果腺肋花楸花色苷对肝纤维化的防治作用及机制研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 辽宁大学, 2020.
- [39] 李瑞芳. 超声波辅助提取黑果腺肋花楸黄酮及其抗运动疲劳研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(13): 63-68.
- [40] 张金堂. 黑果腺肋花楸花色苷的脂代谢调节作用研究[D]: [硕士学位论文]. 延吉: 延边大学, 2019.