

黑果腺肋花楸研究进展及开发前景

石东程, 梁舒祺, 邹雨, 何礼涛, 虞越, 王舰, 孙培龙

Progress in Research and Development Prospects of *Aronia melanocarpa*

SHI Dongcheng, LIANG Shuqi, ZOU Yu, HE Litao, YU Yue, WANG Jian, and SUN Peilong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023070100>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

黑果腺肋花楸多酚类物质抗氧化功效的研究进展

Progress of antioxidant activity for polyphenols in *Aronia melanocarpa*

食品工业科技. 2017(09): 396-400 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.09.068>

基于文献计量的黑果腺肋花楸国内研究现状分析

Analysis of Domestic Research Status of *Aornia melanocarpa* based on Literature Measurement

食品工业科技. 2018, 39(23): 351-356 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.23.061>

植物乳杆菌发酵黑果腺肋花楸果汁的工艺优化

Optimization of Fermentation Process of *Aronia melanocarpa* Fruit Juice by *Lactobacillus plantarum*

食品工业科技. 2018, 39(17): 133-138,151 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.17.023>

黑果腺肋花楸原花青素的提取及抑菌性研究

Extraction and antibacterial activity of procyanidins from *Aronia melanocarpa*

食品工业科技. 2017(02): 302-306 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.02.050>

黑果腺肋花楸果汁的酶解制备工艺优化及其功能性质

Optimization of Enzymatic Hydrolysis for Production of *Aronia melanocarpa* Juice and Its Functional Properties

食品工业科技. 2020, 41(1): 125-131,137 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.01.021>

黑果腺肋花楸花色苷的提取工艺优化及其稳定性

Optimization of Extraction Process and Stability of Anthocyanins from *Aronia melanocarpa*

食品工业科技. 2019, 40(3): 120-126 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.03.020>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

石东程, 梁舒棋, 邹雨, 等. 黑果腺肋花楸研究进展及开发前景 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(13): 315–325. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023070100

SHI Dongcheng, LIANG Shuqi, ZOU Yu, et al. Progress in Research and Development Prospects of *Aronia melanocarpa*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(13): 315–325. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023070100

· 专题综述 ·

黑果腺肋花楸研究进展及开发前景

石东程, 梁舒棋, 邹雨, 何礼涛, 虞越, 王舰, 孙培龙*
(浙江工业大学食品科学与工程学院, 浙江杭州 310014)

摘要: 黑果腺肋花楸是一种具有独特食药两用价值的浆果。黑果腺肋花楸中富含多糖、花青素等多种生物活性成分, 具有抗氧化、抗衰老、抗炎、降血糖与血脂、降血压、抗癌和改善抑郁等功效。黑果腺肋花楸可应用于食品、药品与保健品的开发。目前黑果腺肋花楸产品多以果汁、果酒、果粉等形式呈现, 制备工艺比较简单, 相关产业仍处于初级阶段, 市场前景广阔。本文重点综述了黑果腺肋花楸中的活性成分、功效及产品现状, 旨在为实现其高值化开发利用和促进相关产业发展提供全面的参考。

关键词: 黑果腺肋花楸, 活性成分, 功效, 产品开发

中图分类号: TS255.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)13-0315-11

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023070100

本文网刊:



Progress in Research and Development Prospects of *Aronia melanocarpa*

SHI Dongcheng, LIANG Shuqi, ZOU Yu, HE Litao, YU Yue, WANG Jian, SUN Peilong*

(College of Food Science and Technology, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: *Aronia melanocarpa* is a berry with unique edible and medicinal value. It boasts a high content of polysaccharides, anthocyanins, and various other bioactive ingredients. These compounds exhibit multiple effects such as antioxidant, anti-aging, anti-inflammatory, modulation of blood sugar and lipid, hypotensive function, anti-cancer, and amelioration of depressive symptoms. The applications of *Aronia melanocarpa* span across the realms of food, pharmaceuticals, and health products. Predominantly, *Aronia melanocarpa* products are presented in the form of juice, wine, and powder, etc., employing rather straightforward processing techniques. Notably, industries revolving around this berry are nascent, indicating expansive market opportunities. This review mainly focuses on the active ingredients, efficacy and the current developmental trajectory of *Aronia melanocarpa* products. The objective is to provide a comprehensive reference for high-value development of *Aronia melanocarpa* and catalyzing the growth of associated industries.

Key words: *Aronia melanocarpa*; active ingredients; efficacy; product development

黑果腺肋花楸 (*Aronia melanocarpa*) 又名野樱莓、不老莓, 为蔷薇科涩石楠属植物。黑果腺肋花楸原产于北美, 在一个世纪前传入欧洲进行栽培, 而我国于 20 世纪 90 年代引入进行种植并开展相关研究^[1-2]。其果实为可食用的浆果, 果皮紫黑色富有光泽, 果肉则呈现深红色。而未经加工的果实由于其中较重的涩味很少被食用, 在食品工业中通常被加工成

果汁、果酱、果酒以及较为稳定的食品着色剂^[3-4]。黑果腺肋花楸含有多种碳水化合物、有机酸、多酚化合物及少量维生素和矿物质。其中丰富的活性物质如多糖、花青素、类黄酮、原花青素和酚酸等具有多种健康功效, 具有较高的食药两用价值。然而, 其营养成分和活性物质含量受测量方法、黑果腺肋花楸种类、气候条件等各类因素的影响, 体现出较大差异^[5]。

收稿日期: 2023-07-13

基金项目: 龙游科技综合项目 (JHXM2022004)。

作者简介: 石东程 (2000-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品化学与资源利用, E-mail: sdc2315480090@163.com。

* 通信作者: 孙培龙 (1964-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品化学与资源利用, E-mail: sun_pl@zjut.edu.cn。

2018 年 9 月,我国国家卫生健康委员会审查并通过了黑果腺肋花楸果的安全性评估材料,将其列入了新食品原料名单,但在药用方面并未得到深入探究并有效开发,产品开发方面也缺乏创新。因此,本文综合近几年国内外对于黑果腺肋花楸活性成分、功效及产品开发现状进行综述,以期为我国黑果腺肋花楸的相关研究、产品开发及产业发展提供参考,提高黑果腺肋花楸资源利用率。

1 黑果腺肋花楸的活性成分

1.1 多糖

天然大分子多糖广泛存在于植物中,具有多种生物活性。提取黑果腺肋花楸中的多糖采用的是热水浸提或超声等传统方法,并用乙醇醇沉得到多糖。已有研究发现,黑果腺肋花楸果实与叶中所提取的多糖存在一定的差异。Zhao 等^[6]将黑果腺肋花楸果实多糖纯化后得到的组分进行单糖组成分析,发现其果实多糖由岩藻糖(0.14%)、鼠李糖(0.73%)、阿拉伯糖(7.14%)、半乳糖(10.61%)、葡萄糖(76.16%)、木糖(2.31%)、甘露糖(1.25%)、半乳糖醛酸(1.43%)、葡萄糖醛酸(0.16%)和甘露糖醛酸(0.07%)组成,其中以葡萄糖和半乳糖为主。而由不同乙醇浓度醇沉得到的黑果腺肋花楸叶多糖分子量在 $4.56 \times 10^4 \sim 4.89 \times 10^5$ 之间,且叶多糖由 7 种单糖组成,其中半乳糖为主要单糖,在不同分子量的叶多糖中约占 22.54%~26.02%^[7]。目前,黑果腺肋花楸多糖的相关研究较少,缺乏对其结构的深度解析。

1.2 多酚类化合物

从黑果腺肋花楸中分离得到的主要生物活性物质包括原花青素、花青素、酚酸以及黄酮醇类等多酚类化合物。与红树莓、草莓等莓果相比,黑果腺肋花楸所含的多酚含量更高,是天然酚类物质的最佳植物来源之一^[8]。在黑果腺肋花楸果实、茎、叶和果渣中均可提取出不同种类的多酚类化合物,提取方法见表 1。黑果腺肋花楸果实的成熟度会影响其中多酚类物质的含量,未成熟果实的总多酚含量最高可达 20 g/100 g DW,原花青素含量约 10~15 g/100 g DW,但其含量在果实发育过程中会呈现下降趋势,在成熟后期略有上升^[9]。

1.2.1 酚酸类成分 酚酸是一类重要的有机酸,以咖啡酸、绿原酸和香草酸等为主的酚酸类成分作为一

种天然的抗氧化剂广泛存在于浆果类植物中^[17]。酚酸占黑果腺肋花楸提取物中多酚类化合物总量的 7.5%,其中含量最高的两种分别是绿原酸和新绿原酸(图 1A 和图 1B)。不同提取方法的酚酸得率存在一定差异,通过乙醇提取得到绿原酸的含量为 79.0 mg/g DW,而通过亚临界水萃取获得的含量为 0.171 mg/g DW,远低于醇提方法^[10,18]。在黑果腺肋花楸的叶片中也发现存在绿原酸、新绿原酸和咖啡酸等酚酸,但含量与果实相比较低^[19]。

1.2.2 原花青素 黑果腺肋花楸内含量最多的多酚类化合物是原花青素。在新鲜浆果中原花青素含量约为 5.22 mg/g,且有将近 40% 的体外抗氧化活性效果是由原花青素提供,是黑果腺肋花楸果实中的主要抗氧化物质^[11]。原花青素是导致黑果腺肋花楸果实具有独特而强烈酸涩口感的主要物质。目前已有研究通过感官评价、酚类谱测定和两种体外模型验证的方法对黑果腺肋花楸中的关键收敛化合物进行研究,结果表明,以 B 型键连接的高平均聚合度原花青素是赋予果实涩味的关键物质^[20]。有研究采用 80% 乙醇浸提法对 4 个品种的黑果腺肋花楸中的酚类成分进行提取,并对比了不同品种的黑果腺肋花楸提取物中的原花青素含量,发现 *A. prunifolia* 品种的原花青素含量高达 47.9 mg/g FW,以原花青素 B₂ 当量表示^[21]。

1.2.3 花青素、花色苷 花青素是黑果腺肋花楸中的第二大多酚类化合物,而在果实中主要以矢车菊素为母核形成矢车菊素-3-O-半乳糖苷、矢车菊素-3-O-阿拉伯糖苷、矢车菊素-3-O-木糖苷和矢车菊素-3-O-葡萄糖苷(图 1C~图 1F)4 种花色苷^[5]。矢车菊素-3-O-半乳糖苷的含量最高,约占总花色苷的 67.5%,其次是矢车菊素-3-O-阿拉伯糖苷,占 24.8%^[22]。花青素类物质常采用有机溶剂进行浸提,Wangenstein 等^[21]使用甲醇与三氟乙酸提取并测定了 4 个品种黑果腺肋花楸中的花青素含量,结果显示 4 种黑果腺肋花楸的总花青素含量约在 2.49~7.37 mg/g FW,以矢车菊素-3-O-半乳糖苷当量表示。韩东等^[13]利用微波辅助乙醇提取法对黑果腺肋花楸果粉中的花色苷进行提取,得到的花色苷含量约为 10.29 mg/g,以矢车菊素-3-葡萄糖苷为计量标准。

表 1 黑果腺肋花楸多酚化合物提取方法

Table 1 Extraction method of polyphenol compounds from *Aronia melanocarpa*

提取方法	提取部位	原理	优点	参考文献
亚临界水提取	果实、茎、叶	利用水在亚临界状态下对非极性和中等极性化合物的溶解	绿色环保,提取效率高	[10]
热水浸提	果实	高温促进活性成分溶出	设备要求低,操作简单	[11]
超声辅助提取	果实、果渣	超声波破壁促进目标物质溶出	操作简单,节省提取时间,效率高	[12]
微波辅助提取	果实	微波的热效应	快速高效,加热均匀无噪声	[13]
有机溶剂提取	叶	目标物在有机溶剂中溶解度较高以完成提取	得率高,能源消耗少	[14]
加压液体提取	果渣	改变提取体系分配系数和动力学特征来提高萃取率	提取时间短,溶剂消耗低,操作简单	[15]
天然低共熔溶剂提取	果实	通过氢键相互作用溶解目标物质	绿色可降解,易于制备且价格低廉	[16]

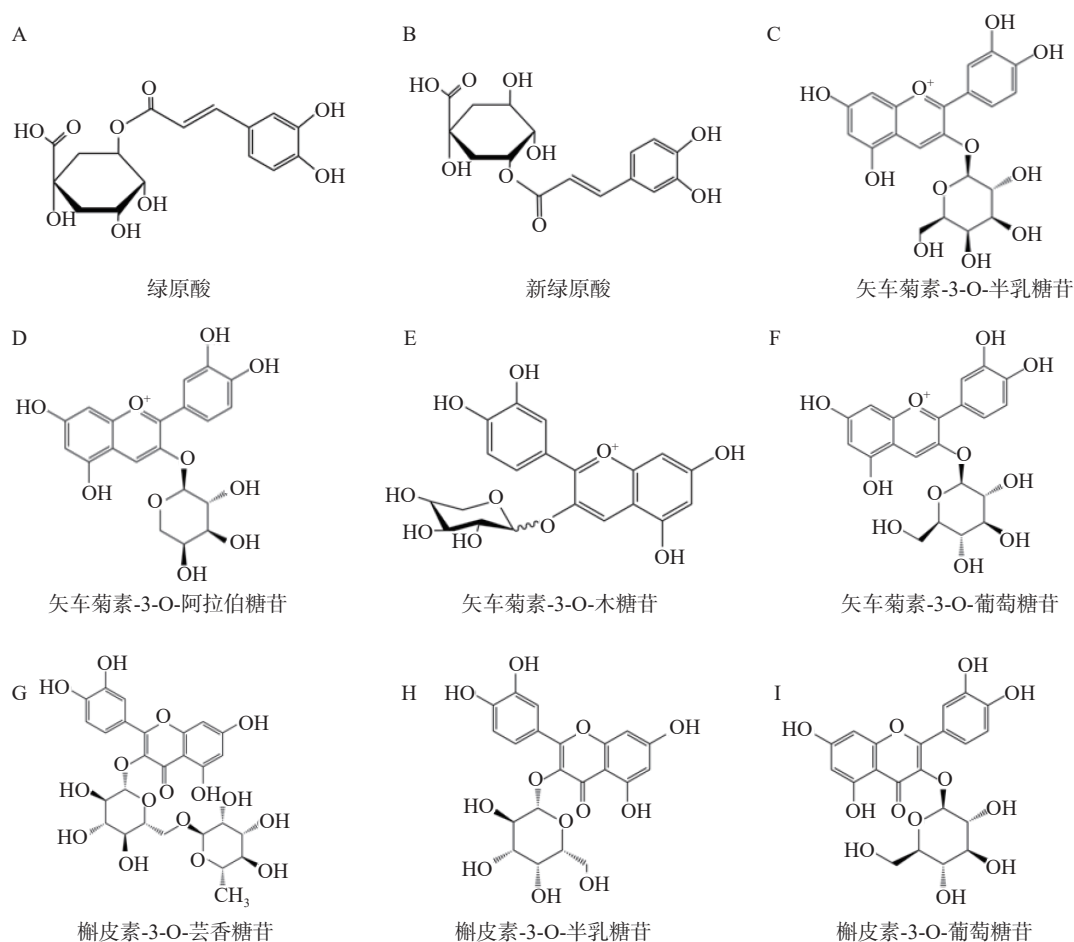


图 1 黑果腺肋花楸中主要的多酚类化合物

Fig.1 Main polyphenol compounds in *Aronia melanocarpa*

1.2.4 类黄酮 黑果腺肋花楸中的类黄酮物质主要是以槲皮素衍生物为主的黄酮醇类^[11]。其中槲皮素-3-O-芸香糖苷、槲皮素-3-O-半乳糖苷和槲皮素-3-O-葡萄糖苷(图 1G~图 1I)是黑果腺肋花楸中 3 种具有代表性的槲皮素衍生物^[23]。Slimestad 等^[24]通过甲醇浸提从黑果腺肋花楸中首次提取并检测到 Eriodictyol-7-O- β -glucuronide 和其他 5 种槲皮苷类成分, 黄酮醇含量在浆果提取物中低于花青素和绿原酸的含量, 但在花楸提取物中的含量却高于花青素。槲皮素-3-O-芸香糖苷是黑果腺肋花楸叶黄酮提取物中含量最高的物质, 且不同成熟阶段的叶片所提取出的黄酮含量有明显差异, 嫩叶中的槲皮素-3-O-芸香糖苷含量为 2.34 mg/g FW, 而在叶龄较老的叶片中含量仅为 0.203 mg/g FW^[25]。

1.3 有机酸

有机酸类成分含量是影响黑果腺肋花楸果实风味的主要因素之一。除酚酸外, 黑果腺肋花楸中还含有苹果酸、柠檬酸、奎宁酸、抗坏血酸、草酸和酒石酸等多种有机酸。其中奎宁酸的含量最高, 在鲜榨黑果腺肋花楸果汁中达 2.97~3.53 g/L^[26]。黑果腺肋花楸果渣中的游离有机酸含量较低, 这是由于大部分有机酸会与其他可溶性物质在榨汁过程中转移至果汁中, 经检测发现果渣中的有机酸以半乳糖醛酸为

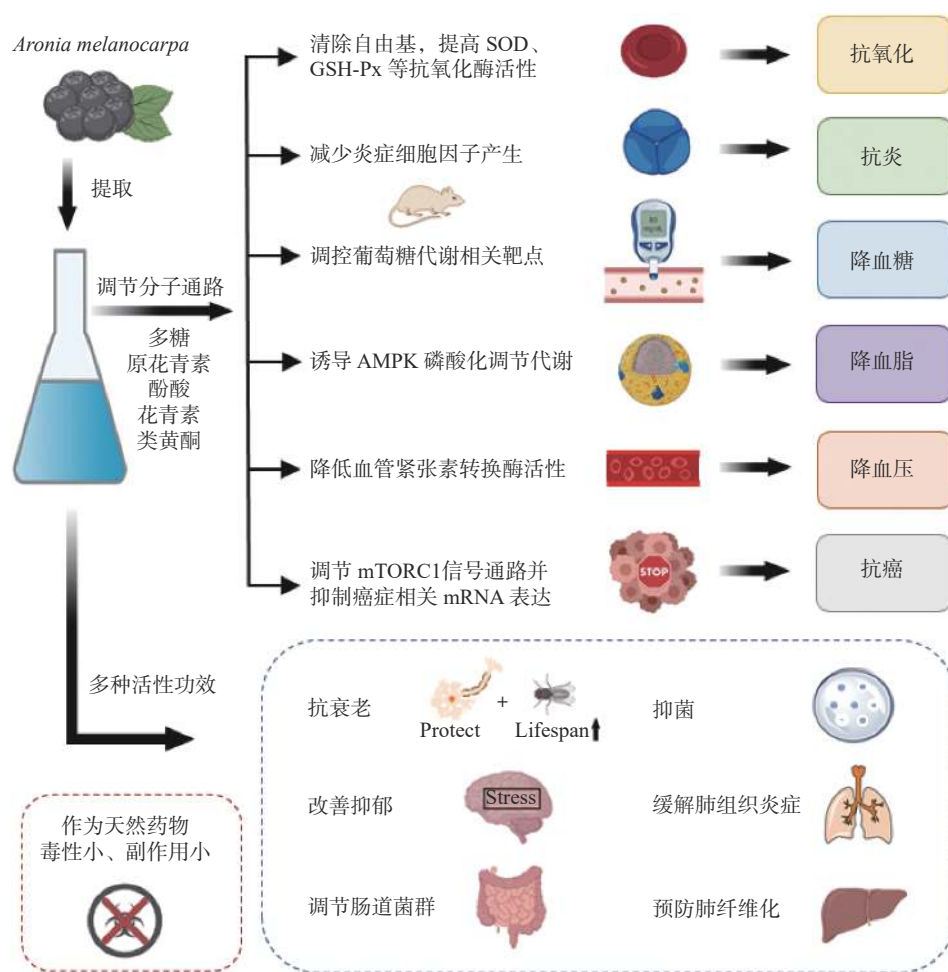
主, 达 5~16 g/kg^[27]。

1.4 其他

除上述几种活性成分外, 黑果腺肋花楸中还含有维生素、矿物质和类胡萝卜素。果实中含有多种 B 族维生素、维生素 C 和生育酚, 在鲜榨果汁中检测出烟酸的含量最高(100~550 g/mL), 其次为维生素 C(5~100 mg/mL), 较高的维生素 C 含量是黑果腺肋花楸具有优秀抗氧化能力的一大因素^[28]。黑果腺肋花楸果实中的矿物质约是欧李果的 1.5 倍, Pavlović 等^[29]检测了黑果腺肋花楸果实、果汁、果渣和叶中的矿物质元素, 发现各部位的主要常量元素为钾和钙, 含量分别为 85~498 mg/100 g 和 14~408 mg/100 g。叶黄素是黑果腺肋花楸果实中的主要类胡萝卜素, 含量约为 0.031 mg/g, 占总类胡萝卜素的 64%, 具有保护视网膜、预防心血管疾病等作用^[5,30]。

2 黑果腺肋花楸的功效

黑果腺肋花楸具有多种活性功效, 一系列研究证明, 黑果腺肋花楸及其提取物有抗氧化、抗衰老、抗炎、降血糖与血脂、降血压、抗癌和改善抑郁等功效作用(图 2)。目前对黑果腺肋花楸发挥生理功效的相关机制研究虽取得了一定的成果, 但部分功能活性的机制以及发挥功效的特定成分仍需继续深入探明。

图2 黑果腺肋花楸天然活性成分功效^[31]Fig.2 Effects of the natural active ingredients of *Aronia melanocarpa*^[31]

2.1 抗氧化

黑果腺肋花楸中含有的活性物质具有强大的抗氧化能力,特别是其中的多酚类物质^[32]。多酚对机体的抗氧化作用机制多种多样,包括对自由基的清除,与金属离子螯合防止氧化损伤,提高机体抗氧化酶活性等^[33]。黑果腺肋花楸果实中的花青素类化合物通过有机溶剂进行提取,并对其抗氧化能力进行评估,结果显示,提取物的 DPPH 自由基、羟基自由基、超氧阴离子自由基的清除能力均显著高于维生素 C,这表明黑果腺肋花楸中的花青素能通过清除自由基的方式来发挥抗氧化作用^[34]。与果实或茎相比,黑果腺肋花楸叶提取物的自由基清除能力最强,这可能是由于叶中含有较高的多酚含量^[10]。有研究探讨了健康成年女性每日饮用黑果腺肋花楸果汁后体内超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)和谷胱甘肽过氧化物酶(Glutathione peroxidase, GSH-Px)活性的变化,结果显示,两种抗氧化酶活性显著提高,起到了保护细胞免受脂质过氧化的作用^[33]。因此,黑果腺肋花楸可作为一种生产天然抗氧化剂的食品原料。

2.2 抗衰老

黑果腺肋花楸的抗衰老作用主要体现在对生物体寿命的延长,提高机体清除自由基能力和缓解神经

退行性疾病上^[31]。黑果腺肋花楸水提取物中含有较高的花青素含量,郑丽娜等^[35]以氧化损伤的果蝇作为研究对象进行寿命实验,并对其体内超氧化物歧化酶、过氧化氢酶(Catalase, CAT)活性及丙二醛(Malondialdehyde, MDA)含量进行测定,发现果蝇体内 SOD 及 CAT 酶活性增强、MDA 含量降低,表明了黑果腺肋花楸水提取物是通过提高抗氧化酶活性来增强自由基清除能力,从而达到抗衰老的效果。由模拟移动床色谱纯化黑果腺肋花楸花青素粗提取物可得到矢车菊素-3-O-半乳糖苷和矢车菊素-3-O-阿拉伯糖苷两种主要物质,这两种花青素能有效改善由淀粉样蛋白 A β 诱导的神经损伤,起到神经保护作用^[36]。目前,黑果腺肋花楸及其提取物的抗衰老机制仍未明确,需进一步的研究来确定其具体的作用方式,为开发抗衰老食品和膳食补充剂提供理论基础。

2.3 抗炎

炎症是人体对感染、组织损伤或者有害刺激的典型防御反应。然而,过度的炎症会导致慢性疾病的产生^[37]。虽然使用抗炎药物可以缓解炎症症状,但其作用靶点单一,且长期使用会导致严重的不良反应。研究表明,天然来源的化合物如多酚和多糖等具有独特的生物活性,可以干预炎症性疾病^[32,38]。黑果腺肋

花楸果汁,果实或叶多酚提取物在体内和体外研究中均证明具有抗炎活性。通过口服黑果腺肋花楸果汁可改善大鼠由 TNBS 诱导的结肠炎的病理体征,并与炎症性肠病(Inflammatory bowel disease, IBD)的标准用药柳氮磺吡啶相比治疗效果更佳^[39]。在体外细胞实验中,黑果腺肋花楸提取物通过抑制白细胞介素-6(Interleukin-6, IL-6)并上调小鼠脾细胞中白细胞介素-10(Interleukin-10, IL-10)的产生减少巨噬细胞和小胶质细胞中 NO、IL-6 和肿瘤坏死因子- α (Tumor necrosis factor- α , TNF- α)的产生达到抗炎效果^[40]。以上抗炎作用主要来自于特定的多酚类成分,如矢车菊素-3-O-半乳糖苷和槲皮素等^[22,40]。此外,黑果腺肋花楸多酚类化合物还可对胰岛素缺乏症患者进行免疫调节,刺激 TNF- α 和 γ -干扰素(Interferon γ , IFN- γ)的分泌,从而起到缓解炎症和减少微血管糖尿病并发症产生的作用^[41]。因此,将黑果腺肋花楸作为天然药物辅助治疗炎症类疾病具有广阔的市场前景,对于推动药食同源的发展同样意义重大。

2.4 降血糖与降血脂

过度的高脂肪饮食会造成肥胖并引发一系列代谢性疾病。黑果腺肋花楸中含有丰富的酚类化合物,这些多酚进入人体后通过结肠发酵产生的代谢产物能够增加细胞的葡萄糖消耗量并促进糖原合成,以起到降低机体血糖的效果^[42]。通过高脂饮食诱导的大鼠肥胖模型研究发现,黑果腺肋花楸中的矢车菊素-3-O-半乳糖苷能够调控诱导 AMP 依赖的蛋白激酶(AMP-activated protein kinase, AMPK)磷酸化,控制高脂饮食大鼠体重增加,降低血脂、脂肪积累^[22]。王丽红等^[43]通过对 II 型糖尿病小鼠模型进行指标检测与病理学观察发现,由黑果腺肋花楸果实制得的果汁与总黄酮具有明显的降血糖效果,且其效果与给药剂量呈一定的依赖性。目前的研究已发现黑果腺肋花楸提取物的降血糖机制主要是通过调节与葡萄糖代谢相关的多个靶点,包括胰岛素/胰岛素样生长因子-1(Insulin-like growth factors-1, IGF-1)、磷脂酰肌醇-3-激酶(Phosphatidylinositol-3-kinase, PI3K)与蛋白激酶 B(Protein kinase B, PKB)等信号通路,同时抑制二肽基肽酶 IV(Dipeptidyl peptidase IV, DPP-IV)和 α -葡萄糖苷酶活性^[31]。由此可将黑果腺肋花楸应用于代谢疾病的辅助治疗,但仍然需要进一步研究阐明其降血糖血脂的作用机制。

2.5 降血压

黑果腺肋花楸中的花青素类物质能保护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,通过激活核因子 E2 相关因子 2(Nuclear factor-E2-related factor2, Nrf2)来提高端粒酶与血红素加氧酶活性,从而起到改善血压的作用^[44]。有研究以自发性高血压大鼠为实验模型,每日给大鼠喂食含有 10% 冻干黑果腺肋花楸果实的饲料,3 d 后大鼠的舒张压与收缩压出现降低趋势,28 d 后大鼠的舒张压

与收缩压均显著降低。同时,大鼠肾脏中的血管紧张素转换酶(Angiotensin-converting enzyme, ACE)活性降低,这表明黑果腺肋花楸可通过肾素-血管紧张素系统降低机体血压^[45]。陈炫宏等^[46]将高血压模型与肠道菌群结合探究黑果腺肋花楸多酚的降血压功能活性,发现多酚提取物对高血压疾病有一定的治疗效果,并调节由高血压引起的肠道菌群变化,防止肠道菌群紊乱。将黑果腺肋花楸提取物与肠道菌群结合起来是治疗高血压疾病的一种新思路。

2.6 抗癌

黑果腺肋花楸的抗癌作用主要是与其中的花青素类物质有关,研究表明花青素可以减少正常细胞由癌症造成的 DNA 损伤,而在癌细胞中花青素通过调节 DNA 拓扑异构酶 I 和 II 的活性,诱导 DNA 损伤从而起到抑制癌细胞增殖的作用^[47]。Yu 等^[48]从黑果腺肋花楸中提取分离得到 4 种花青素,并通过结肠癌小鼠模型与 Caco-2 细胞对花青素的抗癌效果进行评价,结果表明,纯化得到的花青素能缓解小鼠的结肠损伤,降低细胞炎症因子并显著抑制 Caco-2 细胞的增殖。此外,将黑果腺肋花楸多酚提取物与常用的化疗药物进行联用从而促进药效是黑果腺肋花楸发挥抗癌效果的另一种途径。已有研究通过细胞实验发现,将黑果腺肋花楸多酚与吉西他滨联合使用治疗胰腺癌,可以促进癌细胞的凋亡以增强用药的抗癌效果^[49]。体外和体内研究证实了黑果腺肋花楸中花青素的抗癌机制在于抑制癌症发生过程中环氧合酶-2(Cyclooxygenase-2, COX-2)和黏液素 2(Mucin 2, MUC 2)mRNA 的表达,降低谷氨酰胺酶(Glutaminase, GLS)和谷氨酰胺转运体 SLC1A5 的表达水平,同时调节 mTORC1 信号通路及其下游靶点和效应元件的磷酸化水平,以达到抗癌的功效^[48]。截至目前,众多体外研究揭示了黑果腺肋花楸提取物的抗癌作用,但还需要更多的体内实验来探明其具体的作用机制。

2.7 改善抑郁

黑果腺肋花楸多酚可以通过调节肠道菌群来起到改善抑郁的效果。抑郁症患者的肠道微生物与正常人相比,多样性显著降低,天然多酚类物质可以改善肠道微生物状况,对抑郁和焦虑有缓解作用^[50]。嵇威等^[51]通过研究黑果腺肋花楸多酚提取物对抑郁症小鼠的肠道菌群及脑源性神经营养因子(Brain derived neurotrophic factor, BDNF)的影响,结果显示,在食用黑果腺肋花楸多酚提取物后,抑郁小鼠肠道菌群丰度显著提高 18.23%,小鼠脑内 BDNF 表达显著增强 81.39%,这表明黑果腺肋花楸对抑郁症有一定的调节作用。除影响肠道菌群外,黑果腺肋花楸果汁中的酚类化合物还可通过抑制体外单胺氧化酶(Monoamine oxidase, MAO)的活性来发挥抗抑郁作用^[52]。因此,黑果腺肋花楸可作为一种辅助治疗抑郁的天然药物,以减少一般药物所带来的毒副作用。

2.8 其他

黑果腺肋花楸中提取的矢车菊素-3-O-半乳糖苷可以减少肺组织中巨噬细胞的聚集和促炎细胞因子的分泌,从而减轻 PM_{10} (空气动力学直径 $\leq 10 \mu\text{m}$ 的颗粒物) 对肺的损伤^[53]。此外,黑果腺肋花楸具有一定的抑菌效果,且不同部位之间存在差异。叶片提取物对金黄色葡萄球菌、普通变形杆菌、奇异变形杆菌和白色念珠菌的生长抑制效果最好,茎提取物则对大肠杆菌和黑曲霉表现出较强的抑制作用,而果实提取物相比茎或叶抑制微生物生长需要相对较高的浓度 (0.078~0.313 mg/mL)^[10]。黑果腺肋花楸花青素能够减轻由 CCl_4 诱发的小鼠肝损伤,对肝纤维化疾病有一定的预防和治疗作用,分析潜在机制可能与减少炎症因子表达、抑制 α -平滑肌肌动蛋白 (Alpha smooth muscle actin, α -SMA) 和转化生长因子- $\beta 1$ (Transforming growth factor- $\beta 1$, TGF- $\beta 1$) 等蛋白表达、减少 I 型胶原沉积有关^[54]。

3 黑果腺肋花楸的开发现状

目前在全球范围内,各国对黑果腺肋花楸进行加工并开发出 279 种产品,共分布于 33 个国家,涵盖 39 种不同的食品种类^[55]。国外产品研究开发主要着眼于提高黑果腺肋花楸副产物的利用价值、研发新型应用类食品工业产品等方面。例如从黑果腺肋花楸中提取天然色素并用于生产智能食品包装的可食用薄膜,或者将果渣粉末与淀粉混合制作低血糖负荷的即食组织化谷物产品等^[56-57]。除果汁、果酱等常见产品外,德国、克罗地亚等国家还将黑果腺肋花楸果渣与叶片制成果茶进行饮用,同时还有一系列的提取物胶囊作为膳食补充剂进入市场^[58]。相较而言,国内对于黑果腺肋花楸的研究则较为不成熟,对于黑果腺肋花楸产品的研发仍处于实验室阶段。根据中国知网检索以及网络市场调查,目前黑果腺肋花楸产品种类较少,大多为果汁及复合饮料 (国内研究产品见表 2)。由于相似产品较多并为说明产品来源,在表 2 中列出研究机构以便区分。国内外市场之所以存在较大差距,是因为黑果腺肋花楸这一果实及其功效不为国人熟知,市场需求较少。近年来,对于生命科学研究的不断深入,黑果腺肋花楸应用于食品、药品与保健品方面得到广泛关注,国外黑果腺肋花楸原料及产品供不应求,相信随着国内研究深入及国人健康饮食意识的普遍上升,国内的相关产品很快便能以多种形式出现在市场,前景极为广阔。

3.1 黑果腺肋花楸产品

3.1.1 果汁及复合饮料 黑果腺肋花楸果实具有较高的出汁率,且其加工成果汁原料及复合饮料能较大程度地保留营养成分、改善口感风味。一般的黑果腺肋花楸果汁因其本身含有单宁类物质,导致口感较苦,常与其他果蔬类进行复配中和口感。有研究以红树莓和黑果腺肋花楸作为主要原料,制得的复合饮料均一稳定且口感丰富^[59]。水开菲尔是一种果味的发

酵碳酸饮料,有研究比较了由黑果腺肋花楸果汁和果渣制得的水开菲尔的理化性质和感官特性,结果表明与果汁制得的水开菲尔相比,果渣制得的样品在发酵过程中总酚含量、总黄酮含量和总花青素含量的降低幅度较小,抗氧化活性比果汁更强,且在感官评价方面无明显差异,极大地促进了黑果腺肋花楸副产物的利用^[60]。王思溥等^[61]在制作黑果腺肋花楸果汁时加入 β -环糊精改善风味,得到的果汁抗氧化效果较好。将不同类原料与黑果腺肋花楸结合制得的果汁类饮品更容易得到消费者的认可,具有市场前景。

3.1.2 果粉 果粉是一种具有食用方便、风味独特等优点的新型食品。果粉用途广泛,既可直接冲泡食用,也可用于面包等食品加工中,还可结合其他功能成分原料进行复配。制作黑果腺肋花楸果粉通常是将果实榨出汁液,然后进行干燥获得果粉。不同的干燥方式对果粉的品质影响较大,喷雾干燥获得的果粉总酚、总黄酮、原花青素及矢车菊素葡萄糖苷等营养成分均有较好的保留,且喷雾干燥还具有成本低、连续生产能力强的特点^[62]。符群等^[63]探讨了不同干燥方式对黑果腺肋花楸果粉的影响,结果表明真空冷冻干燥法得到的果粉品质相较其他方法更优,但冷冻干燥时间长能耗高,其成本问题仍需纳入考虑范围。目前的果粉加工大多是以果实为原料,这就导致了榨汁后果渣的浪费。黑果腺肋花楸果渣约占加工果实质量的 16%,无籽部分含有 70% 以上的膳食纤维和 12% 以上的原花青素,种子中也富含蛋白质、脂肪和矿物质^[27]。因此,未来可将果渣中的活性物质提取出来进行应用以提高副产物的利用率。

3.1.3 果酒 果酒是一类酒精度低、营养价值丰富的水果酒,而以葡萄酒为代表的传统果酒已经成为餐桌中不可或缺的一部分。黑果腺肋花楸因其色泽红润、含糖量高等优点,可用于酿造果酒。负压浸渍和二氧化碳浸渍是酿造果酒的两种方法,相较而言,通过负压浸渍酿造黑果腺肋花楸果酒能改善果酒的口感与风味,酿造效果更佳^[64]。毛建利等^[65]从香气物质组成与感官评定两方面分析对比黑果腺肋花楸果酒与赤霞珠葡萄酒,发现黑果腺肋花楸果酒香气成分比赤霞珠葡萄酒高 2.73 倍,且其感官评定分数更高,从而肯定了黑果腺肋花楸果酒的开发潜力。但与果实相比,酿造后黑果腺肋花楸果酒中的花青素总量显著减少,且由浆果混合物制成的果酒的酚类成分远低于单种浆果酒的平均水平^[66]。综上,如何在保证果酒风味的同时最大程度地保留其中的营养物质是今后产品开发时值得考虑的问题。

3.1.4 其他产品 黑果腺肋花楸内酯豆腐是将豆浆与黑果腺肋花楸果汁按一定比例混合后以葡萄糖酸内酯点浆制得的新式产品。通过将黑果腺肋花楸鲜果榨汁与豆腐混合不仅能够有效地保持住豆腐中的矿物质元素,还可增加内酯豆腐的营养价值。同时黑果腺肋花楸中的花青素类物质属于天然色素,加入豆

表 2 国内黑果腺肋花楸产品及研究机构
Table 2 Products and research institutes for *Aronia melanocarpa* in China

产品种类	产品	研究机构
果汁及复合饮料	绞股蓝黑果腺肋花楸复合饮料、黑果腺肋花楸-苹果复合果汁、黑果腺肋花楸果汁	沈阳农业大学
	黑果腺肋花楸紫胡萝卜复合果汁、黑果腺肋花楸蓝莓复合饮料、黑果腺肋花楸黑枸杞复合饮料	石河子开发区神内食品有限公司
	不老莓原浆汁	白山市林源春生态科技股份有限公司
	修正黑果腺肋花楸肽植物饮料	安徽蜀健药业有限公司
	苹果梨黑果腺肋花楸汁	渤海大学
	黑果腺肋花楸酵素饮料	辽宁省果树科学研究所
	酸浆宿萼与黑果腺肋花楸复合功能饮料	东北林业大学
	不老莓红石榴发酵植物饮品、不老莓随餐饮	辽宁岭秀山矿泉饮品有限公司
	不老莓黑果腺肋花楸原榨果汁	九台区酸浆果种植合作社
	黑果不老莓原浆	宁夏福寿康宁大健康生物科技有限公司
	广誉远黑果腺肋花楸果汁	西藏广誉远药业有限公司
	中科春之源黑果腺肋花楸果不老莓透明质酸钠胶原蛋白饮	中科健康产业集团股份有限公司
	生榨不老梅原浆	辽宁鑫汇农业食品发展有限公司
	三九益普利生透明质酸钠黑果腺肋花楸果饮品	华润圣海健康科技有限公司
	燕之典黑果腺肋花楸果胶原蛋白肽饮品	广州燕臻实业有限公司
	黑果腺肋花楸无糖饮料	天津商业大学
	楸之醉 黑果花楸酒11%vol果酒	秦皇岛惠恩生物技术有限公司
	酿造果酒	江南大学
	智华天宝 黑果腺肋花楸酒	山西智华牡丹生物科技有限公司
	不老莓干红	辽宁盛世天源生物科技有限公司
	黑果腺肋花楸与葡萄复合型果酒	辽宁省旱地农林研究所
	黑果腺肋花楸-雪莲果混合型果酒、黑果腺肋花楸酵素饮料	辽宁省果树科学研究所
	黑果腺肋花楸酒、黑果腺肋花楸白兰地、黑果腺肋花楸果冰酒	黑龙江省轻工科学研究所
	黑果腺肋花楸酒	河北科技大学、河北省发酵工程技术研究中心、吉林农业大学
	欸仰不老莓红酒、黑果腺肋花楸果酒	辽宁岭秀山矿泉饮品有限公司
果粉	蓝莓叶黄素脂黑果腺肋花楸果粉固体饮料	江苏宣泰药业有限公司
	黑果果粉	东北林业大学
	黑果花楸果粉	吉林省长白工坊科贸有限公司
	野樱莓冻干粉	陕西富尔邦生物科技有限公司
	黑果腺肋花楸酵素	钦州学院
其他	黑果腺肋花楸面条	临沂大学
	泡腾颗粒剂	吉林化工学院
	不老莓多肽粉、不老莓叶黄素酯护眼片、不老莓口服液	辽宁岭秀山矿泉饮品有限公司
	黑果腺肋花楸内酯豆腐	河北科技师范学院、河北农业大学
	不老莓五红茶	杭州元茶网络科技有限公司

腐后可使产品呈现明亮的紫色, 丰富感官特性^[67]。王晓林等^[68] 将黑果腺肋花楸果制成浸膏粉后加以各种辅料进行造粒, 得到的泡腾颗粒剂能快速溶解在水中, 并有助于改善黑果腺肋花楸果实原有的酸涩味, 提高适口性。以黑果腺肋花楸作为食品原料进行的产品开发具有较高的研究价值, 未来可着眼于黑果腺肋花楸创新食品的开发。

3.2 产品开发方面存在的困难和问题

3.2.1 脱涩 黑果腺肋花楸中所含有的单宁类物质对其苦涩口感造成不良影响, 不易被消费者接受, 制约了黑果腺肋花楸产品的开发和应用。聚乙烯吡咯烷酮(Polyvinyl pyrrolidone, PVP)、明胶、单宁酶、酵母对黑果腺肋花楸果汁的脱涩均有一定效果, 但均有不足之处, PVP、明胶等的引入对后续的生产有一定

的影响, 单宁酶、酵母则成本较高^[69]。在生产果汁时可以进行乳酸菌发酵处理来改善果汁的酸涩口感, 此法不仅能有效提高果汁口感还能增加营养价值^[70]。现有的脱涩技术大多是去除黑果腺肋花楸内能产生酸涩口感的活性物质, 这会导致一定程度的营养流失, 因此如何在保留这些活性成分的基础上去除黑果腺肋花楸产品的酸涩口感是产品开发的一大难点。

3.2.2 护色澄清 低浊度和高花青素含量被认为是富含花青素的果汁有效澄清的主要指标, 黑果腺肋花楸果汁中含有的果胶、蛋白质和多酚类物质, 均会导致果汁的浑浊^[71]。而高还原性多酚和维生素 C 很容易被氧化形成醌类, 在一定程度上引起黑色素的聚集, 所以需要黑果腺肋花楸制备产品进行护色澄清。在果汁中加入明胶、蛋清、壳聚糖等澄清剂是一

种常见的处理方法,通过澄清剂与果汁中致浊物质的相互作用来去除这些物质以达到护色澄清的目的^[72]。但在对果汁澄清时必须考虑到其中一部分引起浑浊的物质是花青素的良好助色素,这些助色素能够提供更高的颜色稳定性和颜色密度^[71]。因此,将果汁中所有引起浑浊的物质除去存在一定的弊端,在之后的产品开发中需要确定更为合适的澄清方法,以最小化浊度并保持较好的颜色稳定性。

3.2.3 加工方式对活性物质的影响 生产产品时不同的加工方式对果类原料中活性物质的影响存在较大差异。以黑果腺肋花楸为原料可制作出果汁、果酱等产品,而黑果腺肋花楸自身所含有的活性物质在这些产品的加工和贮存过程中都会有一定的损失,尤其是热加工工艺^[73]。在果汁加工方式上,相较于传统的巴氏杀菌处理,有研究发现,微波处理和超声处理对果汁质量有明显的保持作用,且超声处理后的样品在贮存期间有更高的活性物质保留^[74]。同时,包括高压加工、脉冲电场等在内的一些新兴非热加工技术可被应用于生产黑果腺肋花楸产品中,这些技术除了能有效灭活微生物和降低霉菌毒素浓度,还可以最大程度地保留食品原料中的生物活性成分^[75]。此外,还可以通过使用一些具有高度支化结构的壁材对黑果腺肋花楸中的活性物质进行封装,起到保护和稳定活性物质的效果,较为常见的封装方法是通过喷雾干燥制备黑果腺肋花楸花色苷微胶囊^[76]。综上所述,如何将新兴加工技术真正应用到生产黑果腺肋花楸产品中以降低加工方式对活性物质的损失是国内产品开发需要解决的一个问题,同时怎样把封装后的生物活性成分添加到产品中且不影响原有的口感与风味也值得考虑。

4 总结与展望

随着社会的发展与经济水平的提高,健康饮食趋势愈加流行,以黑果腺肋花楸为原料制备的产品符合人们健康生活理念,具有较大的应用价值及开发潜力。黑果腺肋花楸中含有多糖、多酚、有机酸等多种活性成分,对人体健康有极大的益处,具有抗氧化、抗衰老、抗炎、降血糖与血脂、降血压、抗癌和改善抑郁等多种功效作用。同时本文还对黑果腺肋花楸的开发现状进行了综述,市面上的产品主要以果汁、果酒、果粉等形式为主,国内相关产业仍处于起步阶段。在相关产品开发中脱涩、护色以及如何较大程度上保留活性物质是目前产品研发方面存在的主要问题。

黑果腺肋花楸的大部分功能活性归功于其中含有的多酚类化合物,多酚类物质具有优秀的抗氧化能力。然而目前的研究主要集中在黑果腺肋花楸对人体疾病的预防和治疗上,忽略了对其生物毒性作用的研究。过量摄入多酚可能会对人体造成不利影响,包括加剧氧化过程造成氧化还原失衡和形成金属络合物促使人体矿物质的流失,同时,过量的单宁酸也会

导致便秘或者腹泻。因此需要确定黑果腺肋花楸中多酚类物质的最佳摄入量,以保证后续的产业化开发。此外,目前国内现有产品缺乏新意,对黑果腺肋花楸中活性物质的利用度较低,大众对黑果腺肋花楸及其产品也不够了解。未来应明确黑果腺肋花楸中活性成分的作用机制、安全性和有效性,使其在食用和药用两方面都发挥价值;将高压加工、脉冲电场等新兴非热加工技术应用到黑果腺肋花楸产品的生产中,在保证产品感官特性的同时减少生物活性成分的损失。黑果腺肋花楸不同部位的活性成分差异较大,目前产品开发大多仅对果实部分进行利用,与果实相比茎叶也具有一定的开发价值。同时还应兼顾加工副产物的利用,防止果渣的浪费,以提高对黑果腺肋花楸的整体开发利用率。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] CHRUBASIK C, LI G, CHRUBASIK S. The clinical effectiveness of chokeberry: A systematic review[J]. *Phytotherapy Research*, 2010, 24(8): 1107–1114.
- [2] 莫红旭, 刘越一, 朱相润, 等. 黑果腺肋花楸-药用及赏食兼备价值的研究进展[J]. *分子植物育种*, 2024, 22(11): 3742–3747.
- [3] MO H X, LIU Y Y, ZHU X R, et al. *Aronia melanocarpa*-A review of medicinal and appetizing value[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2024, 22(11): 3742–3747.
- [4] NEGREANU-PIRJOL B S, OPREA O C, NEGREANU-PIRJOL T, et al. Health benefits of antioxidant bioactive compounds in the fruits and leaves of *Lonicera caerulea* L. and *Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliot[J]. *Antioxidants*, 2023, 12(4): 951.
- [5] VAGIRI M, JENSEN M. Influence of juice processing factors on quality of black chokeberry pomace as a future resource for colour extraction[J]. *Food Chemistry*, 2017, 217: 409–417.
- [6] 陈彤垚, 周丽思, 李兵, 等. 黑果腺肋花楸果实化学特征及其应用进展[J]. *中国药理学杂志*, 2021, 56(17): 1361–1367.
- [7] CHEN T Y, ZHOU L S, LI B, et al. Chemical characteristics of fruit *Aronia melanocarpa* and its product development prospects[J]. *Chinese Pharmaceutical Journal*, 2021, 56(17): 1361–1367.
- [8] ZHAO Y C, LIU X L, ZHENG Y N, et al. *Aronia melanocarpa* polysaccharide ameliorates inflammation and aging in mice by modulating the AMPK/SIRT1/NF- κ B signaling pathway and gut microbiota[J]. *Scientific Reports*, 2021, 11(1): 20558.
- [9] 周雪艳, 李慧, 刘云. 不同分子量黑果腺肋花楸叶多糖的单糖组成及抗氧化研究[J]. *中国食品添加剂*, 2018(6): 93–99.
- [10] ZHOU X Y, LI H, LIU Y. Monosaccharide composition and antioxidant activities of polysaccharides with different molecular mass from *Aronia melanocarpa* leaves[J]. *China Food Additives*, 2018(6): 93–99.
- [11] MENG L S, ZHU J Y, MA Y, et al. Composition and antioxidant activity of anthocyanins from *Aronia melanocarpa* cultivated in Haicheng, Liaoning, China[J]. *Food Bioscience*, 2019, 30: 100413.
- [12] GRALEC M, WAWER I, ZAWADA K. *Aronia melanocarpa* berries: Phenolics composition and antioxidant properties changes during fruit development and ripening[J]. *Emirates Journal of Food*

and Agriculture, 2019, 31: 214–221.

[10] CVETANOVIĆ A, ZENGİN G, ZEKOVIĆ Z, et al. Comparative *in vitro* studies of the biological potential and chemical composition of stems, leaves and berries *Aronia melanocarpa*'s extracts obtained by subcritical water extraction[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2018, 121: 458–466.

[11] DENEV P, ČÍŽ M, KRATCHANOVA M, et al. Black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) polyphenols reveal different antioxidant, antimicrobial and neutrophil-modulating activities[J]. *Food Chemistry*, 2019, 284: 108–117.

[12] 只德贤, 李建颖, 欧燕芳, 等. 黑果腺肋花楸原花青素提取工艺优化及其抗氧化活性[J]. *食品研究与开发*, 2023, 44(8): 96–104. [ZHI D X, LI J Y, OU Y F, et al. Extraction of proanthocyanidins from *Aronia melanocarpa* and its antioxidant activity[J]. *Food Research and Development*, 2023, 44(8): 96–104.]

[13] 韩东, 李建颖, 孙怡, 等. 黑果腺肋花楸花色苷微波辅助提取工艺优化[J]. *食品研究与开发*, 2022, 43(13): 59–65. [HAN D, LI J Y, SUN Y, et al. Optimization of microwave-assisted extraction process of anthocyanins from *Aronia melanocarpa*[J]. *Food Research and Development*, 2022, 43(13): 59–65.]

[14] ZDUNIĆ G, ARADSKI A A, GOĐEVAC D, et al. *In vitro* hypoglycemic, antioxidant and antineurodegenerative activity of chokeberry (*Aronia melanocarpa*) leaves[J]. *Industrial Crops and Products*, 2020, 148: 112328.

[15] GRUNOVAITÉ L, PUKALSKIENĖ M, PUKALSKAS A, et al. Fractionation of black chokeberry pomace into functional ingredients using high pressure extraction methods and evaluation of their antioxidant capacity and chemical composition[J]. *Journal of Functional Foods*, 2016, 24: 85–96.

[16] LIN S X, MENG X J, TAN C, et al. Composition and antioxidant activity of anthocyanins from *Aronia melanocarpa* extracted using an ultrasonic-microwave-assisted natural deep eutectic solvent extraction method[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2022, 89: 106102.

[17] ZHENG W, WANG S Y. Oxygen radical absorbing capacity of phenolics in blueberries, cranberries, chokeberries, and lingonberries[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51(2): 502–509.

[18] KIM B, KU C S, PHAM T X, et al. *Aronia melanocarpa* (chokeberry) polyphenol-rich extract improves antioxidant function and reduces total plasma cholesterol in apolipoprotein E knockout mice[J]. *Nutrition Research*, 2013, 33(5): 406–413.

[19] EFENBERGER-SZMECHTYK M, NOWAK A, CZYŻOWSKA A, et al. Antibacterial mechanisms of *Aronia melanocarpa* (Michx.), *Chaenomeles superba* Lindl. and *Cornus mas* L. leaf extracts[J]. *Food Chemistry*, 2021, 350: 129218.

[20] HUANG R, FANG W, XIE X Q, et al. Identification of key astringent compounds in aronia berry juice[J]. *Food Chemistry*, 2022, 393: 133431.

[21] WANGENSTEEN H, BRÄUNLICH M, NIKOLIC V, et al. Anthocyanins, proanthocyanidins and total phenolics in four cultivars of aronia: Antioxidant and enzyme inhibitory effects[J]. *Journal of Functional Foods*, 2014, 7: 746–752.

[22] JIAO X Y, SHEN Y X, DENG H T, et al. Cyanidin-3-O-galactoside from *Aronia melanocarpa* attenuates high-fat diet-induced obesity and inflammation via AMPK, STAT3, and NF- κ B p65 signaling pathways in Sprague-Dawley rats[J]. *Journal of Functional Foods*, 2021, 85: 104616.

[23] BOROWSKA S, BRZÓSKA M M. Chokeberries (*Aronia melanocarpa*) and their products as a possible means for the preven-

tion and treatment of noncommunicable diseases and unfavorable health effects due to exposure to xenobiotics[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2016, 15(6): 982–1017.

[24] SLIMESTAD R, TORSKANGERPOLL K, NATELAND H S, et al. Flavonoids from black chokeberries, *Aronia melanocarpa* [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2005, 18(1): 61–68.

[25] LEE J E, KIM G S, PARK S, et al. Determination of chokeberry (*Aronia melanocarpa*) polyphenol components using liquid chromatography-tandem mass spectrometry: Overall contribution to antioxidant activity[J]. *Food Chemistry*, 2014, 146: 1–5.

[26] DASKALOVA E, DELCHEV S, TOPOLOV M, et al. *Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliot fruit juice reveals neuroprotective effect and improves cognitive and locomotor functions of aged rats [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2019, 132: 110674.

[27] SÓJKA M, KOŁODZIEJCZYK K, MILALA J. Polyphenolic and basic chemical composition of black chokeberry industrial by-products[J]. *Industrial Crops and Products*, 2013, 51: 77–86.

[28] JURENDIĆ T, ŠČETAR M. *Aronia melanocarpa* products and by-products for health and nutrition: A review[J]. *Antioxidants*, 2021, 10(7): 1052.

[29] PAVLOVIĆ A, BRCANOVIĆ J, VELJKOVIĆ J, et al. Characterization of commercially available products of aronia according to their metal content[J]. *Fruits*, 2015, 70: 385–393.

[30] ZHAO K L, ZHOU T, YANG J, et al. Lutein shows a protective effect against the aging of mesenchymal stem cells by downregulating inflammation[J]. *International Immunopharmacology*, 2023, 116: 109749.

[31] PLATONOVA E Y, SHAPOSHNIKOV M V, LEE H Y, et al. Black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) extracts in terms of geroprotector criteria[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2021, 114: 570–584.

[32] PAP N, FIDELIS M, AZEVEDO L, et al. Berry polyphenols and human health: Evidence of antioxidant, anti-inflammatory, microbiota modulation, and cell-protecting effects[J]. *Current Opinion in Food Science*, 2021, 42: 167–186.

[33] KARDUM N, TAKIĆ M, ŠAVIKIN K, et al. Effects of polyphenol-rich chokeberry juice on cellular antioxidant enzymes and membrane lipid status in healthy women[J]. *Journal of Functional Foods*, 2014, 9: 89–97.

[34] 孙燕, 李成忠, 张焕新, 等. 黑果腺肋花楸中花青素的提取及其抗氧化活性研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(1): 223–230. [SUN Y, LI C Z, ZHANG H X, et al. Optimization of extraction process and antioxidant activity of anthocyanins from *Aronia melanocarpa*[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2022, 13(1): 223–230.]

[35] 郑丽娜, 赵大庆, 赵文学, 等. 黑果腺肋花楸水提物对果蝇抗衰老活性的研究[J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(9): 165–169. [ZHENG L N, ZHAO D Q, ZHAO W X, et al. Study on the anti-aging activity of drosophila melanogaster by the *Aronia melanocarpa* aqueous extract[J]. *Food Research and Development*, 2018, 39(9): 165–169.]

[36] WEN H C, CUI H, TIAN H H, et al. Isolation of neuroprotective anthocyanins from black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) against amyloid- β -induced cognitive impairment[J]. *Foods*, 2021, 10(1): 63.

[37] CHEN G M, JIANG N, ZHENG J P, et al. Structural characterization and anti-inflammatory activity of polysaccharides from *Astragalus membranaceus*[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2023, 241: 124386.

- [38] LU H Y, SHEN M Y, CHEN Y, et al. Alleviative effects of natural plant polysaccharides against DSS-induced ulcerative colitis via inhibiting inflammation and modulating gut microbiota[J]. *Food Research International*, 2023, 167: 112630.
- [39] VALCHEVA-KUZMANOVA S, KUZMANOV A, KUZMANOVA V, et al. *Aronia melanocarpa* fruit juice ameliorates the symptoms of inflammatory bowel disease in TNBS-induced colitis in rats[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2018, 113: 33–39.
- [40] GAJIC D, SAKSIDA T, KOPRIVICA I, et al. Chokeberry (*Aronia melanocarpa*) fruit extract modulates immune response *in vivo* and *in vitro*[J]. *Journal of Functional Foods*, 2020, 66: 103836.
- [41] BADESCU M, BADULESCU O, BADESCU L, et al. Effects of *Sambucus nigra* and *Aronia melanocarpa* extracts on immune system disorders within diabetes mellitus[J]. *Pharmaceutical Biology*, 2015, 53(4): 533–539.
- [42] GOWD V, BAO T, WANG L L, et al. Antioxidant and antidiabetic activity of blackberry after gastrointestinal digestion and human gut microbiota fermentation[J]. *Food Chemistry*, 2018, 269: 618–627.
- [43] 王丽红, 王天宇, 杨丽, 等. 黑果腺肋花楸果实的降血糖活性及其对脂代谢的影响[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(2): 386–392.
- [WANG L H, WANG T Y, YANG L, et al. Investigation on the hypoglycemic effect of *Aronia melanocarpa* fruit and its effect on lipid metabolism[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(2): 386–392.]
- [44] PARZONKO A, OŚWIT A, BAZYLKO A, et al. Anthocyan-rich *Aronia melanocarpa* extract possesses ability to protect endothelial progenitor cells against angiotensin II induced dysfunction[J]. *Phytomedicine*, 2015, 22(14): 1238–1246.
- [45] YAMANE T, KOZUKA M, IMAI M, et al. Reduction of blood pressure by aronia berries through inhibition of angiotensin-converting enzyme activity in the spontaneously hypertensive rat kidney[J]. *Functional Foods in Health and Disease*, 2017, 7(4): 280–290.
- [46] 陈炫宏, 盛桂华, 南希骏, 等. 基于肠道菌群的黑果腺肋花楸多酚降压作用初探[J]. *中国食品学报*, 2021, 21(12): 88–97.
- [CHEN X H, SHENG G H, NAN X J, et al. Preliminary studies on the antihypertensive effect of polyphenols from *Aronia melanocarpa* based on intestinal flora[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2021, 21(12): 88–97.]
- [47] DHARMAWANSA K V S, HOSKIN D W, RUPASINGHE H P V. Chemopreventive effect of dietary anthocyanins against gastrointestinal cancers: A review of recent advances and perspectives[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2020, 21(18): 6555.
- [48] YU W C, GAO J, HAO R B, et al. *Aronia melanocarpa* Elliot anthocyanins inhibit colon cancer by regulating glutamine metabolism[J]. *Food Bioscience*, 2021, 40: 100910.
- [49] THANI N A A, KESHAVARZ S, LWALEED B A, et al. Cytotoxicity of gemcitabine enhanced by polyphenolics from *Aronia melanocarpa* in pancreatic cancer cell line AsPC-1[J]. *Journal of Clinical Pathology*, 2014, 67(11): 949–954.
- [50] DONOSO F, EGERTON S, BASTIAANSEN T F S, et al. Polyphenols selectively reverse early-life stress-induced behavioural, neurochemical and microbiota changes in the rat[J]. *Psychoneuroendocrinology*, 2020, 116: 104673.
- [51] 嵇威, 盛桂华, 陈炫宏, 等. 黑果腺肋花楸多酚对抑郁症小鼠肠道菌群及大脑 BDNF 水平作用机理的探讨[J]. *现代食品科技*, 2022, 38(6): 46–54, 353. [JI W, SHENG G H, CHEN X H, et al. Effects of *Aronia melanocarpa* polyphenols on the intestinal flora and brain-derived neurotrophic factor level in depressed mice[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2022, 38(6): 46–54, 353.]
- [52] TOMIĆ M, IGNJATOVIĆ Đ, TOVILOVIĆ-KOVAČEVIĆ G, et al. Reduction of anxiety-like and depression-like behaviors in rats after one month of drinking *Aronia melanocarpa* berry juice[J]. *Food & Function*, 2016, 7(7): 3111–3120.
- [53] CUI Y M, LIN Y, MENG X J, et al. Cyanidin-3-galactoside from *Aronia melanocarpa* ameliorates PM10 induced pulmonary injury by modulating M1/M2 macrophage polarization and NRF2/Sirt1 MAPK signaling[J]. *Journal of Functional Foods*, 2021, 78: 104363.
- [54] YANG J, GAO J, YU W C, et al. The effects and mechanism of *Aronia melanocarpa* Elliot anthocyanins on hepatic fibrosis[J]. *Journal of Functional Foods*, 2020, 68: 103897.
- [55] 李海波, 王淑娟, 杨亚平, 等. 黑果腺肋花楸果汁产品品质分析与综合评价体系的建立[J]. *现代食品科技*, 2021, 37(12): 177–186, 119. [LI H B, WANG S J, YANG Y P, et al. Establishment and application of a product quality analysis and comprehensive evaluation system for *Aronia melanocarpa* juices[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2021, 37(12): 177–186, 119.]
- [56] WANG L, WANG R, DONG J X, et al. Research on the extraction, purification and determination of chemical components, biological activities, and applications in diet of black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) [J]. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 2023, 51(10): 100301.
- [57] SCHMID V, MAYER-MIEBACH E, BEHSNILIAN D, et al. Enrichment of starch-based extruded cereals with chokeberry (*Aronia melanocarpa*) pomace: Influence of processing conditions on techno-functional and sensory related properties, dietary fibre and polyphenol content as well as *in vitro* digestibility[J]. *LWT*, 2022, 154: 112610.
- [58] TOLIĆ M T, JURČEVIĆ I L, KRBAVČIĆ I P, et al. Phenolic content, antioxidant capacity and quality of chokeberry (*Aronia melanocarpa*) products[J]. *Food Technology and Biotechnology*, 2015, 53(2): 171–179.
- [59] 胡雨晴, 牛秀梅, 王美美, 等. 黑果腺肋花楸红树莓复合饮料配方优化及贮藏品质研究[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(4): 234–242. [HU Y Q, NIU X M, WANG M M, et al. Optimization of formula of *Aronia melanocarpa* and *Rubus idaeus* L. compound beverage and its storage quality[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(4): 234–242.]
- [60] ESATBEYOGLU T, FISCHER A, LEGLER A D S, et al. Physical, chemical, and sensory properties of water kefir produced from *Aronia melanocarpa* juice and pomace[J]. *Food Chemistry: X*, 2023, 18: 100683.
- [61] 王思博, 朱丹, 宁志雪, 等. 黑果腺肋花楸果汁饮料研制及其品质与抗氧化性评价[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(20): 86–93. [WANG S P, ZHU D, NING Z X, et al. Preparation of black chokeberry juice beverage and evaluation of its quality and antioxidant activity[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(20): 86–93.]
- [62] HORSZWALD A, JULIEN H, ANDLAUER W. Characterisation of aronia powders obtained by different drying processes[J]. *Food Chemistry*, 2013, 141(3): 2858–2863.
- [63] 符群, 钟明旭, 王萍. 不同干燥方式对黑果腺肋花楸果粉品质的影响[J]. *中南林业科技大学学报*, 2021, 41(1): 180–187. [FU Q, ZHONG M X, WANG P. Effect of drying methods on quality characteristics of *Aronia melanocarpa* powder[J]. *Journal of*

Central South University of Forestry & Technology, 2021, 41(1): 180–187.]

[64] 宫学颖. 两种浸渍方法酿造黑果腺肋花楸果酒的品质比较[D]. 长春: 吉林农业大学, 2020. [GONG X Y. Comparison of quality between two maceration methods for producing fruit wine of *Aronia melanocarpa* [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2020.]

[65] 毛建利, 李艳. 黑果腺肋花楸酒与赤霞珠葡萄酒香气物质对比分析[J]. 食品科学, 2019, 40(22): 270–276. [MAO J L, LI Y. Comparative analysis of aroma components of black chokeberry wine and Cabernet Sauvignon wine[J]. Food Science, 2019, 40(22): 270–276.]

[66] MCDUGALL G J, AUSTIN C, VAN SCHAYK E, et al. Salal (*Gaultheria shallon*) and aronia (*Aronia melanocarpa*) fruits from Orkney: Phenolic content, composition and effect of wine-making[J]. Food Chemistry, 2016, 205: 239–247.

[67] 朱凤妹, 李佳璇, 张海娟, 等. 黑果腺肋花楸内酯豆腐的工艺优化[J]. 食品工业, 2019, 40(2): 21–24. [ZHU F M, LI J X, ZHANG H J, et al. Optimization of *Aronia melanocarpa* lactone soybean by orthogonal experiments[J]. The Food Industry, 2019, 40(2): 21–24.]

[68] 王晓林, 陈阵标, 钟方丽, 等. 黑果腺肋花楸果泡腾颗粒剂制备工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(19): 145–150, 156. [WANG X L, CHEN Z B, ZHONG F L, et al. Study on preparation technology of effervescent granules of black chokeberry[J]. Food Research and Development, 2020, 41(19): 145–150, 156.]

[69] 张鑫. 黑果腺肋花楸汁脱涩技术的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2019. [ZHANG X. Study on destringency technology of *Aronia melanocarpa* juice[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2019.]

[70] 张海平, 朱月, 韦玉龙, 等. 植物乳杆菌发酵黑果腺肋花楸果汁的工艺优化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(17): 133–138, 151.

[ZHANG H P, ZHU Y, WEI Y L, et al. Optimization of fermentation process of *Aronia melanocarpa* fruit juice by *Lactobacillus plantarum* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(17): 133–138, 151.]

[71] ORHAN DERELI B, TÜRKYILMAZ M, ÖZKAN M. Clarification of pomegranate and strawberry juices: Effects of various clarification agents on turbidity, anthocyanins, colour, phenolics and antioxidant activity[J]. Food Chemistry, 2023, 413: 135672.

[72] 王子涵, 向敏, 徐茂, 等. 响应面优化黑果腺肋花楸汁澄清工艺及其抗氧化活性评价[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(8): 189–196. [WANG Z H, XIANG M, XU M, et al. Optimization of clarification process of *Aronia melanocarpa* juice by response surface methodology and its antioxidant activity evaluation[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(8): 189–196.]

[73] SHINWARI K J, RAO P S. Stability of bioactive compounds in fruit jam and jelly during processing and storage: A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, 75: 181–193.

[74] SATTAR S, IMRAN M, MUSHTAQ Z, et al. Retention and stability of bioactive compounds in functional peach beverage using pasteurization, microwave and ultrasound technologies[J]. Food Science and Biotechnology, 2020, 29(10): 1381–1388.

[75] LOPES S J S, SANT'ANA A S, FREIRE L. Non-thermal emerging processing technologies: Mitigation of microorganisms and mycotoxins, sensory and nutritional properties maintenance in clean label fruit juices[J]. Food Research International, 2023, 168: 112727.

[76] 李海龙, 马子龙, 米帅, 等. 黑果腺肋花楸花色苷纳米微胶囊的制备及其表征[J]. 中国食品学报, 2022, 22(12): 191–199. [LI H L, MA Z L, MI S, et al. Preparation and characterization of anthocyanin nano-microcapsules of *Sorbus melanocarpa* [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(12): 191–199.]