

沙棘活性成分及功能特性的研究进展

王颖¹, 张智锋^{1,2}, 任婧楠¹, 范刚^{1*}, 李明哲²

(1. 华中农业大学食品科学技术学院, 环境食品学教育部重点实验室, 果蔬加工与品质调控湖北省重点实验室, 湖北武汉 430070) (2. 宁夏灵犀万象健康产业发展有限公司, 宁夏银川 751400)

摘要: 沙棘是一种药食同源植物, 其果实中含有丰富的活性成分, 主要包括维生素、黄酮、酚酸、多糖、脂肪酸、矿物质、蛋白质等。研究表明, 沙棘在抗氧化、抗衰老、抑制肿瘤、降血糖、免疫调节、改善肠道菌群、缓解心血管疾病、抗炎生肌等方面发挥着重要作用, 在食品、护肤品和医药行业具有非常广阔的应用前景。近年来, 沙棘已成为国内外学者的研究重点。然而, 目前有关沙棘的活性成分和生理功能的研究缺乏系统的梳理。该文系统梳理国内外相关文献, 对沙棘的活性成分、功能特性及应用现状进行了综述, 旨在为沙棘的综合开发利用提供一定的理论基础。

关键词: 沙棘; 活性成分; 功能特性

文章编号: 1673-9078(2025)04-373-381

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.4.0348

Research Progress on the Active Components and Functional Properties of Sea Buckthorn

WANG Ying¹, ZHANG Zhifeng^{1,2}, REN Jingnan¹, FAN Gang^{1*}, LI Mingzhe²

(1.College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University/Key Laboratory of Environment Correlative Dietology, Ministry of Education/Hubei Province Key Laboratory of Fruit & Vegetable Processing & Quality Control, Wuhan 430070, China)

(2.Ningxia Lingxi Wanxiang Health Industry Development Co. Ltd., Yinchuan 751400, China)

Abstract: Sea buckthorn is a medicinal and food homologous plant, and its fruit is rich in active ingredients, mainly including vitamins, flavonoids, phenolic acids, polysaccharides, fatty acids, minerals and proteins. Studies have shown that sea buckthorn plays an important role in antioxidant, anti-aging, anti-tumor, hypoglycemic, immunomodulatory, intestinal flora-improving, cardiovascular diseases-alleviating, anti-inflammatory and muscle-building processes, and has a very broad application prospect in food, skin care products and pharmaceutical industries. In recent years, sea buckthorn has become the focus of research by scholars at home and abroad. However, there is a lack of systematic research on the active components and physiological functions of sea buckthorn. In this paper, the active ingredients, functional properties and application status of sea buckthorn reported in the domestic and foreign literature were systematically reviewed, aiming to provide a theoretical basis for the comprehensive development and utilization of sea buckthorn.

Key words: sea buckthorn; active ingredient; functional properties

引文格式:

王颖,张智锋,任婧楠,等.沙棘活性成分及功能特性的研究进展[J].现代食品科技,2025,41(4):373-381.

WANG Ying, ZHANG Zhifeng, REN Jingnan, et al. Research progress on the active components and functional properties of sea buckthorn [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(4): 373-381.

收稿日期: 2024-03-21

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31671824)

作者简介: 王颖 (2001-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 果蔬加工技术理论, E-mail: 513279276@qq.com; 共同第一作者简介: 张智锋 (1982-), 男, 博士研究生, 高级工程师, 研究方向: 果蔬加工技术理论, E-mail: 252982125@qq.com

通讯作者: 范刚 (1982-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 果蔬加工技术理论和风味化学, E-mail: fangang@mail.hzau.edu.cn

沙棘 (*Hippophae rhamnoides* L.), 又名醋柳、黄酸刺, 属胡颓子科沙棘属果实。成熟果实为橙色, 果肉和种子表面油润且光滑, 种子为椭圆形暗褐色, 味酸涩。我国是沙棘资源最丰富的国家, 约占全球总量的 90%^[1], 人工沙棘林面积占全国总面积的 55%^[2]。主要分布在西北、西南和华北等地, 如新疆、山西、内蒙古等。沙棘具有耐旱、抗风沙、可在盐碱化土地生存等特点, 因此常被用来水土保持和沙漠绿化^[3]。沙棘是一种药食同源植物^[4], 不仅具有较高的生态学意义, 而且含有丰富的生物活性成分, 被誉为“北方的柿子”、“黄金果实”等。沙棘果实中的黄酮、多糖、维生素、脂肪酸等生物活性物质, 具有抗氧化、抗衰老、抗肿瘤、改善肠道菌群、降血糖、免疫调节、抑菌等功能 (图 1)。

目前, 沙棘的生物活性成分和功能特性已成为近年来国内外的研究重点。然而, 有关沙棘果活性成分和生理功能的研究缺乏系统的梳理。因此, 本文对目前国内国外沙棘果实的活性成分及功能特性的研究进展进行综述, 旨在为我国沙棘的综合开发利用提供一定理论依据。

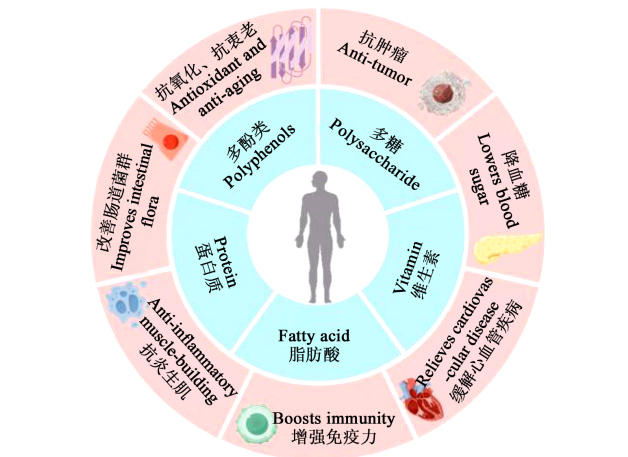


图 1 沙棘中的生物活性成分及功能特性
Fig.1 Bioactive components and functional properties in sea buckthorn

1 生物活性成分

沙棘果实中富含多种生物活性成分, 主要包括黄酮、维生素、多糖、酚酸、脂肪酸、矿物质等。其中, 以下几种成分因有着特殊的生理功能, 对其研究也较多。

1.1 沙棘多酚类化合物

沙棘中的多酚类化合物主要包括黄酮类和酚酸

类, 结构见图 2、图 3。沙棘叶中的多酚含量高于沙棘果, Criste 等^[5]研究发现, 4 种沙棘果中多酚类物质的含量在 9.86~18.79 mg/g, 而沙棘叶则为 40.98~48.6 mg/g。沙棘多酚类化合物具有多种生理功能, 如抗癌、改善肠道菌群、降血脂和保护肝脏等^[6]。

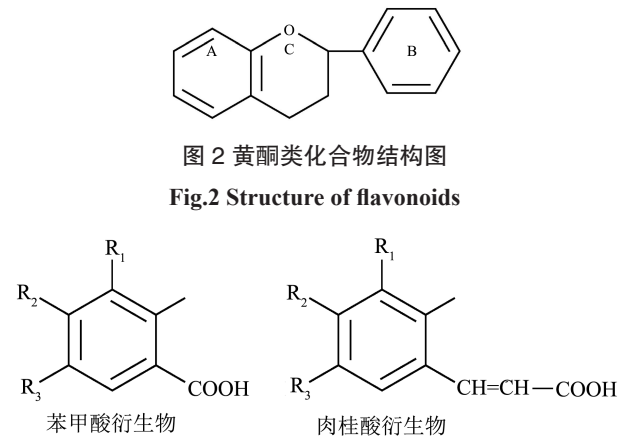


图 2 黄酮类化合物结构图
Fig.2 Structure of flavonoids
图 3 酚酸类化合物结构图
Fig.3 Structure of phenolic acids

1.1.1 沙棘黄酮

沙棘黄酮是沙棘的成分之一, 能够缓解心脑血管疾病、抗肿瘤等。沙棘黄酮主要是以异鼠李素、槲皮素、山奈酚、杨梅素为主的黄酮苷元及其苷类 (见表 1)^[7]。沙棘中的黄酮类物质含量很高, 在沙棘果实、叶、花、根、茎中均有分布, 但不同部位含量有很大差别, 沙棘叶中的黄酮含量最高。已有研究表明, 沙棘黄酮具有抗氧化、促进创面愈合、增强免疫、降血脂、调节氧化应激损伤等功能^[8]。

1.1.2 沙棘酚酸

沙棘汁具有强烈的酸涩味, 其中酸味主要来源于它所含的有机酸, 苦涩味则来自于沙棘果中含有的酚酸类化合物。沙棘中的酚酸类物质主要包括没食子酸、咖啡酸、原儿茶酸、对香豆酸、阿魏酸等, 其中没食子酸是沙棘果实和叶中的主要酚酸^[13]。根据芳环上的羟基、甲氧基数目及所处的位置, 酚酸可分为羟基苯甲酸与羟基肉桂酸两种基本结构 (图 3)。

1.2 沙棘多糖

沙棘多糖是由葡萄糖、鼠李糖、果糖、甘露糖、半乳糖和阿拉伯糖等单糖以一定的摩尔比组成, 主要活性物质为沙棘总多糖和多种均一多糖。沙棘多糖的结构特征较为复杂, 目前学者已使用多种提取方法从沙棘多糖中分离纯化出多种均一多糖, 如

SPs、SBP-I、HRPs 等^[14]。沙棘多糖主要存在于沙棘叶、果皮和果实中，不同部位所含有的多糖含量不同：沙棘果>沙棘皮>沙棘叶。多糖在不同生长阶段的含量也有所差异，沙棘果在成熟阶段的含量最高，而沙棘叶在展叶和成熟阶段的含量较高。尽管沙棘多糖在抗氧化、保护肝脏、免疫调节和降血糖方面表现出巨大的潜力，但因其纯化困难、结构复杂、杂质水平高从而难以得到广泛的开发利用^[15]。

1.3 沙棘维生素

沙棘中维生素含量非常丰富，现已发现维生素 C、维生素 E、类胡萝卜素、维生素 A、等多种维生素，被称为“维生素宝库”。

沙棘中的主要维生素是维生素 C，其含量约为 600~1 200 mg/100 g^[16]，显著高于西红柿、猕猴桃、苹果等。沙棘中的 Vc 含量是果蔬之冠，被誉为“维生素 C 之王”。由于沙棘中不含抗坏血酸氧化酶，所以沙棘中的 Vc 更加稳定。其作为一种天然抗氧

化剂，具有非常好的抗氧化活性。

沙棘果实或种子提取的维生素 E 包括生育酚和三烯生育酚，均有 α -、 β -、 γ -、 δ -4 种同分异构体，其中 α -生育酚是最有效的抗氧化剂。沙棘中的维生素 E 含量显著高于花生、芝麻、大豆等，沙棘油中的维生素 E 含量较高，而新鲜果实和沙棘籽中则较少。维生素 E 的含量取决于产地、品种和成熟度等，是评价沙棘油质量的关键指标。

沙棘果中的类胡萝卜素主要包括 α -胡萝卜素、 β -胡萝卜素、 γ -胡萝卜素、 β -隐黄质、番茄红素、月亮黄质、 β -玉米黄质、顺式番茄红素、玉米黄质等^[17]。其中 β -胡萝卜素、玉米黄质和 β -隐黄质使沙棘果实呈现鲜艳橙色， β -胡萝卜素居多且最具生物活性，占胡萝卜素总量的 15%~55%，是普通水果的 50 倍以上。类胡萝卜素有很强的抗氧化活性，能有效地防止自由基对机体造成的损伤，同时还具有一定的抗衰老、抗肿瘤功效。

表 1 沙棘中的主要黄酮类化合物
Table 1 The main flavonoids in sea buckthorn

分类	名称	CAS 编号	分子式	参考文献
异鼠李素及其苷类	异鼠李素	480-19-3	C ₁₆ H ₁₂ O ₇	[9]
	异鼠李素-3-O-葡萄糖苷	5041-82-7	C ₂₂ H ₂₂ O ₁₂	[9,10]
	异鼠李素-3-O-芸香糖苷	604-80-8	C ₂₈ H ₃₂ O ₁₆	[11]
	异鼠李素-3-O-槐糖-7-O-鼠李糖苷	41328-75-0	C ₃₄ H ₄₂ O ₂₁	[9,10]
	异鼠李素-7-O-鼠李糖苷	17331-72-5	C ₂₂ H ₂₂ O ₁₁	[9,10]
	异鼠李素-3-O-阿拉伯糖-7-O-鼠李糖苷	60630-02-6	C ₃₄ H ₄₂ O ₂₁	[11]
	异鼠李素-3-O-葡萄糖苷-7-O-鼠李糖苷	17331-71-4	C ₂₈ H ₃₂ O ₁₆	[12]
	槲皮素	117-39-5	C ₁₅ H ₁₀ O ₇	[11]
槲皮素及其苷类	槲皮素-3-O-葡萄糖苷	482-35-9	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₂	[9,10]
	槲皮素-3-O-槐苷-7-O-鼠李糖苷	64828-40-6	C ₃₃ H ₄₀ O ₂₁	[12]
	槲皮素-3-O-葡萄糖苷-7-O-鼠李糖苷	18016-58-5	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₆	[12]
	槲皮素-7-O-鼠李糖苷	22007-72-3	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₁	[11]
山奈酚及其苷类	山奈酚	520-18-3	C ₁₅ H ₁₀ O ₆	[11]
	山奈酚-7-O-鼠李糖苷	20196-89-8	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₀	[9,10]
	山奈酚-3-O-槐苷-7-O-鼠李糖苷	93098-79-4	C ₃₃ H ₄₀ O ₂₀	[12]
	山奈酚-3-O-葡萄糖苷	480-10-4	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₁	[9,10]
	山奈酚-3-O-葡萄糖苷-7-O-鼠李糖苷	2392-95-2	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₅	[11]
杨梅素及其苷类	山奈酚-3-O-芸香糖苷	17650-84-9	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₅	[9,10]
	杨梅素	529-44-2	C ₁₅ H ₁₀ O ₈	[11]
	杨梅素 3-O-吡喃葡萄糖苷	19833-12-6	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₃	[9,10]

1.4 沙棘脂肪酸

沙棘中的脂肪酸含量较高，主要是易被人体吸收的不饱和脂肪酸。沙棘籽油和果油的脂肪酸组成和含量有一定的差异，沙棘籽油中主要是亚油酸和亚麻酸，而沙棘果油中的棕榈油酸和棕榈酸含量较高（见表2）^[18]。其中亚油酸和亚麻酸可以改善机体的脂质代谢，减少血液中的胆固醇，并能预防冠心病和动脉粥样硬化。棕榈油酸和棕榈酸能使皮肤细胞再生和伤口愈合，因此常将沙棘果油用于化妆品^[19]。沙棘脂肪酸在抗氧化、免疫调节和抗肿瘤等多方面均表现出一定的生物活性，目前在该方面的研究正在深入地开展当中。

表 2 沙棘籽油和果油中脂肪酸的组成
Table 2 Composition of fatty acids in sea-buckthorn seed oil and fruit oil

脂肪酸	含量/%	
	沙棘籽油	沙棘果油
18:2 (n-6)	36.9	16.08
18:3 (n-9,12,15)	31.11	1.49
18:1 (n-9)	15.85	4.92
16:0	7.13	29.17
16:1 (n-9)	2.21	32.86

1.5 沙棘蛋白

沙棘籽粕中蛋白质含量最高，果肉中的蛋白质含量较少，是一种优质的植物蛋白资源。沙棘蛋白中的球蛋白、清蛋白和醇溶蛋白的含量较高，种植地区和提取方法的不同使蛋白质含量也有所差异^[20]。沙棘蛋白质中氨基酸种类丰富，含有人体必需氨基酸和非蛋白氮，与大豆蛋白质中所含的各种氨基酸组成比例十分接近。刘洪霞等^[21]对沙棘蛋白氨基酸组成进行了测定，得出谷氨酸和精氨酸含量较高；不同沙棘品种蛋白氨基酸含量不同，且提取方法对其含量也有所影响。但由于沙棘蛋白质分子量较大，使其功能性和生物利用率降低，因此目前研究较多的是其水解产物蛋白多肽。通过使用不同的酶，从而得到具有不同生物功能的活性肽。已有研究表明，沙棘蛋白或多肽具有降血糖、抗氧化、改善肠道菌群等作用^[20]。

1.6 其他成分

沙棘果中含有的苹果酸、柠檬酸、酒石酸等有机酸对沙棘及其相关产品的风味起着至关重要的作

用，其中苹果酸是使沙棘酸涩的一个主要成分。有机酸具有预防动脉粥样硬化，增加血管柔韧性的作用。沙棘甾醇广泛存在于沙棘籽和沙棘果油中^[22]，主要成分是 β -谷甾醇。不仅能减少血清胆固醇，缓解心血管疾病，还能降低癌症的发病率^[23]。此外，还含有 K、Na、Ca、Mg、Fe 等多种人体所需的微量元素。沙棘中被检测出的神经递质 5-羟色胺，具有抗肿瘤、抗传染病、抗辐射等功效^[24]。

2 功能特性

近年来，国内外学者对沙棘的功能特性进行了大量的研究。现已证实，沙棘中含有大量的活性物质，这些物质在抗氧化、抗肿瘤、降血糖、免疫调节等方面发挥着重要作用，具体见表3。

2.1 抗氧化、抗衰老作用

正常状态下，人体氧化过程自由基的产生和清除是动态平衡的。但是当受到外界刺激时，则会产生过多的自由基，对人体的生物膜造成伤害，导致体内的脂质、蛋白质等大分子受到氧化损伤，引起细胞死亡，进而影响人体的正常代谢，导致衰老、癌症、炎症等疾病。沙棘的抗氧化特性归因于一些具有抗氧化活性的成分，如酚类化合物、类胡萝卜素、多糖、维生素 C 和维生素 E 等。沙棘是通过抑制和清除自由基、螯合金属离子、抑制脂质过氧化反应、激活抗氧化系统等途径来实现抗氧化作用^[7]。从沙棘的抗氧化研究中可知，沙棘果可以提高超氧化物歧化酶（SOD）活性和 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼（DPPH）自由基清除率，降低细胞中丙二醛（MDA）含量。Gornas 等^[30]发现 DPPH 清除能力与沙棘饮料中生育酚浓度有关，说明生育酚与抗氧化相关。沙棘多糖能降低小鼠体内 MDA 含量，提高 SOD 含量，从而起到抗氧化作用^[31]。沙棘果汁中的多酚类物质和 Vc 有协同抗氧化作用^[32]。沙棘的抗氧化功效在日化领域有广阔的应用前景，目前市场上已经有一些相关的护肤品，但对其抗氧化作用机制仍缺乏系统的研究。

2.2 抗肿瘤作用

近年来沙棘的抗肿瘤作用已得到广泛证实，现有研究表明，沙棘果中的黄酮、多酚等生物活性成分对人体癌细胞如人肝癌 HepG2 细胞、体外人前列腺癌 PC-3 细胞、结肠癌 HCT116 细胞、胃癌

HGC-2 细胞和乳腺癌 MCF-7 细胞等的增殖有明显的抑制作用，可以通过细胞周期变化诱导细胞凋亡^[25,33-36]。刘雪梅^[37]发现沙棘果油对 H22 肿瘤小鼠有抑瘤作用，可能是通过调节 H22 肝癌小鼠肿瘤细胞中 BAX 和 BCL-2 的表达，从而促进肿瘤组织的凋亡。沙棘中的多糖和多酚物质在预防和治疗癌症中发挥着重要作用，其中沙棘总黄酮是发挥抗肿瘤作用的关键活性成分。Hao 等^[38]采用系统药理学和 RNA-seq 分析沙棘抗肿瘤机制，发现沙棘总黄酮是通过下调慢性炎症因子的表达来激活趋化因子信号通路，使 CD8+T 细胞介导肿瘤微环境的免疫激活，从而实现抗肿瘤作用。研究发现，沙棘叶结合态多酚通过干预调控 PKM1 和 PKM2 的表达，逆转 Warburg 效应发挥作用，从而抑制 HCT116 细胞增殖^[39]。包晓玮等^[40]研究沙棘纯化多糖 SBP-3 对肝癌细胞的影响，结果表明 SBP-3 通过调节 p38 信号通路抑制 MMP-2 和 MMP-9 蛋白表达，进而诱导 HepG2 细胞凋亡，抑制肝癌细胞的增殖、迁移和侵袭。根据以上研究可知，沙棘中的多种生物活性成分对癌细胞均有一定的抑制作用，未来可以考虑在临床试验得到验证后，将沙棘开发为辅助治疗抗肿瘤的药物。

2.3 降血糖作用

当前糖尿病的治疗是以西药为主，但长期使用

会产生一定的副作用，因此急需开发高效无毒的天然降血糖药物^[41]。而沙棘作为一种具有辅助降血糖功效的食品备受关注，目前很多学者在沙棘中生物活性成分对糖尿病的作用方面进行了大量的研究。沙棘中富含的生物活性物质尤其是黄酮类化合物，被证明对 II 型糖尿病患者有非常好的降糖作用。Alqudah 等^[42]发现异鼠李素具有降低胰岛素和血糖水平，通过上调糖尿病小鼠葡萄糖转运蛋白（GLUT4）和磷酸化腺苷酸活化激酶 α （p-AMPK α ）的表达、降低胰岛素抵抗、改善脂质谱、提高骨骼肌对葡萄糖的摄取、减少氧化应激和炎症等来治疗 II 型糖尿病。研究表明，沙棘果油中的棕榈油酸能有效地提升胰岛素抵抗 HepG2 细胞葡萄糖的摄取，通过干预 PI3K/Akt 信号通路降低胰岛素抵抗，从而发挥降血糖活性^[43]。Zhu 等^[44]对沙棘籽蛋白的降血糖作用进行研究，发现沙棘籽蛋白通过提高糖原合成酶（GS）活性，增加肌糖原，改善胰岛素抵抗。Ji 等^[45]结果表明沙棘籽蛋白肽可使糖尿病小鼠的血糖水平显著降低，并且比沙棘籽蛋白的降血糖效果更好。目前多项研究证实，沙棘果中的生物活性成分能够抑制 α -葡萄糖苷酶和 α -淀粉酶的活性，延缓小肠对葡萄糖的吸收^[26]，从而降低血糖水平和胰岛素敏感性。因此在治疗 II 型糖尿病中具有潜在价值，有望成为降血糖的天然药物。

表 3 沙棘的主要功能特性及其相关活性成分

Table 3 Major functional properties of seabuckthorn and their associated active components			
作用	功能物质	作用机制	参考文献
抗氧化、抗衰老	多酚类、Vc、VE、类胡萝卜素、多糖、不饱和脂肪酸	抑制和清除自由基、整合金属离子、抑制脂质过氧化、激活抗氧化系统	[7]
抗肿瘤	多酚类、多糖、生育酚类、不饱和脂肪酸类、5-羟色胺、类胡萝卜素	调节某些信号通路抑制相关基因转录和蛋白表达，进而诱导癌细胞凋亡，抑制癌细胞的增殖、迁移和侵袭	[25]
降血糖	蛋白肽、多糖、多酚类、不饱和脂肪酸、Vc	抑制 α -葡萄糖苷酶和 α -淀粉酶活性，延缓小肠对葡萄糖的吸收	[26]
缓解心血管疾病	多酚类、甾醇、类胡萝卜素、不饱和脂肪酸、	通过抑制血小板活化，降低血压等多种方式缓解心血管疾病	[27]
增强免疫力	黄酮、多糖、多不饱和脂肪酸、类胡萝卜素	刺激巨噬细胞和减少体内炎症因子，促进淋巴细胞的增殖和免疫因子的分泌，从而提高非特异性免疫、体液免疫和细胞免疫功能	[28]
抗炎生肌	多糖、黄酮、脂肪酸	抑制炎症信号通路和细胞炎症因子	[11]
抑菌、改善肠道菌群	多酚类、多糖、Vc、VE	促进 SCFAs 的产生，增加肠道有益菌，从而维持肠道菌群的平衡	[29]

2.4 缓解心血管疾病

心血管疾病是一类由高脂血症、高血压、动脉粥样硬化等所引起的疾病。沙棘油可以通过抑制血小板活性、改善血管微循环、降低血压血脂等，从而对心脑血管起到一定的抑制作用。吕恒慧^[46]研究表明，沙棘多酚可以有效缓解大鼠心脏缺血再灌注损伤，主要是通过降低血清中乳酸脱氢酶的浓度和抑制自噬效应蛋白 Beclin-1、LC3-II 蛋白的表达来实现。多项研究证实沙棘果可以有效抑制高脂血症的发生。沙棘甾醇能修复保护大鼠的肝脏，且具有一定的降血脂作用^[22]。Yang 等^[47]研究表明，7~28 mg/kg 的沙棘黄酮能够显著增强高脂大鼠的抗氧化酶活性，实现降血脂的功能。因此沙棘具有调节血脂、抑制血浆脂质过氧化、抗血栓形成、预防冠状动脉粥样硬化等作用。此外，沙棘还能够防治缺血性脑血管病：脑血栓、脑梗塞等，并对其引起的头痛、头晕、四肢无力等症状起到一定的缓解作用。

2.5 增强免疫力

目前研究表明，沙棘主要是通过其含有的黄酮、多糖、不饱和脂肪酸等生物活性物质促进机体淋巴细胞增殖，提高巨噬细胞的吞噬能力，从而激活免疫系统，增强机体免疫力。沙棘黄酮可显著增加衰老大鼠的白细胞数目和血清溶血素含量，促进单核巨噬细胞系统的免疫等，从而增强大鼠的免疫功能^[48]。沙棘黄酮还能提高血清免疫球蛋白 IgA、IgG、IgM、白细胞介素-2、白细胞介素-6 (IL-6) 含量，增加高密度脂蛋白和免疫因子，从而增强肉兔的免疫功能^[49]。Dannenberger 等^[50]通过在长白猪日粮中添加沙棘渣，结果表明在慢性炎症等应激条件下，沙棘果渣中 n-3 多不饱和脂肪酸会促进炎症因子的蛋白质和基因表达，起到抗炎作用，说明沙棘有提高机体免疫力的作用。王蓉等^[51]发现沙棘多糖在 400 $\mu\text{g/mL}$ 可以通过提高免疫细胞活性、提高巨噬细胞的吞噬能力从而显著增强小鼠机体免疫力 ($P < 0.05$)。Ren 等^[52]研究表明，沙棘汁对对虾过敏小鼠的空肠组织损伤、腹泻和过敏症状均有抑制作用。沙棘异鼠李素能显著抑制受刺激肥大细胞释放组胺和 LTB4 等化学介质，抑制细胞内 Ca^{2+} 内流，从而缓解 I 型过敏^[53]。

2.6 抗炎生肌作用

沙棘中的黄酮及多糖具有一定的抗炎生肌作用，主要是通过抑制一些炎症信号通路和炎症细

胞因子。付依依等^[54]发现 50~250 $\mu\text{g/mL}$ 的沙棘黄酮能够显著增加细胞吞噬能力，减少小鼠腹腔巨噬细胞内 NO、IL-6、TNF- α 等的产生，从而抑制炎症反应。Gupta 等^[55]对大鼠皮肤创面外用沙棘黄酮，与对照组相比创面收缩速度加快，上皮化时间缩短。说明沙棘黄酮具有促进创面愈合的作用。沙棘多糖对糖尿病小鼠具有显著的降血糖和抗炎作用^[56]。Muhammet 等^[57]发现沙棘通过拮抗 5-FU 对促炎细胞因子如 MDA、SOD 的作用，减轻了粘膜炎症的症状，表明沙棘对治疗 5-FU 相关口腔粘膜炎症可能有益。沙棘黄酮可以有效抑制高脂高果糖饮食 (HFFD) 诱导小鼠肝脏炎症，减少促炎因子，抑制炎症通路的激活^[29]。棕榈油酸对炎症也有明显的治疗作用^[58]。

2.7 抑菌、改善肠道菌群作用

目前，大量研究表明沙棘具有一定的抑菌的效果。沙棘果渣中的多酚、多糖和黄酮对大肠杆菌和白色葡萄球菌均有抑菌效果，且随着浓度的增加抑菌效果越好^[59]。张立明等^[60]研究表明 0.25 g/L 沙棘总黄酮能够抑制热带念珠菌和白色念珠菌，0.5 g/L 则对光滑念珠菌有较好的抑菌活性。沙棘提取物对金黄色葡萄球菌、铜绿假单胞菌和蜡芽芽孢杆菌均有一定的抗菌作用，且沙棘叶提取物的抗菌效果优于沙棘果提取物^[5]。此外，沙棘果中的维生素 C、维生素 E 等活性成分也具有一定的抗菌活性^[61]。

肠道菌群失调与多种慢性疾病的产生有关，因此维持肠道稳态对人体健康至关重要。沙棘中的多酚类和多糖等生物活性物质对肠道菌群有显著的改善作用。沙棘汁多酚化合物可以增加酸杆菌、类杆菌和双歧杆菌等有益微生物的种群数量和多样性^[62]。宋永程^[63]研究结果表明沙棘多糖灌胃可以促进短链脂肪酸 (SCFAs) 的产生，增加小鼠肠道有益菌属的数量和肠道微生物的多样性，从而维持肠道菌群的平衡。SCFAs 是肠道菌群的代谢产物，主要包括乙酸、丙酸和丁酸。它能使人体肠道环境呈酸性，增加有益菌数量和丰度，从而改善肠道菌群失调。目前已有一些沙棘产品对人体肠道菌群的研究，Guo 等^[64]研究结果表明，沙棘冻干粉能增加有益菌拟杆菌，减少有害菌脱硫弧菌，显著调节肠道菌群的组成。沙棘发酵茶能使大鼠体内有益菌数量显著增加，并能减少有害菌，显著提高肠道菌群的丰度^[65]。以上结果表明，沙棘能够改善肠道微生态环境，促进有益菌的生长，起到改善肠道菌群的作用。

2.8 其他作用

此外,沙棘还具有改善认知障碍、保护肾脏、治疗多囊卵巢综合征等作用。沙棘黄酮可通过激活 ERK/CREB/BDNF 途径,促进神经营养因子表达,从而减轻 HFFD 所致的工作记忆及空间记忆损伤^[52]。沙棘鼠李多糖对多囊卵巢综合征的治疗效果较好,其纳米乳效果更为显著。HR 和 HRNE 均能够改善激素失衡;促卵泡激素、雌激素、孕酮水平升高,黄体生成素水平升高^[66]。沙棘果实三萜通过促进间充质干细胞分化成成骨细胞起到抗骨质疏松的作用^[67]。沙棘原花青素通过调节 MDA 和 GSH 含量,从而对酒精性肝损伤起到保护作用^[68]。

3 应用现状

目前,市场上的一些沙棘产品主要有沙棘食品:沙棘原浆、沙棘果汁、沙棘油等;沙棘保健品:沙棘维生素 C、复合沙棘油胶囊等;沙棘护肤品:沙棘面霜、精华等。对于沙棘果渣和沙棘叶的利用率很低,大部分被作为废弃物丢弃,从而造成了极大的资源浪费^[69]。以沙棘叶为例,其富含的多酚类物质并没有得到充分的利用,最多被初加工为沙棘叶茶。整体来说,当前对沙棘产品的开发仍处于初始阶段,较为单一。

朱立斌等^[70]研制一款沙棘果汁饮料,以沙棘为主要原料,添加蜂蜜、蔗糖等辅料,得到的产品酸甜适口、色泽橙黄亮丽,并具有一定的抗氧化活性。其中蜂蜜不仅能调节沙棘的酸味,也具有一定的生理功能。特别是新西兰的医疗级蜂蜜——麦卢卡蜂蜜^[71],因具有特殊的抗菌成分甲基乙二醛(MGO)而受到广泛研究。麦卢卡蜂蜜与沙棘有着一些共同的作用,如:抑菌、改善肠道菌群、抗氧化、抗癌、抗炎生肌等。因此,在未来可以验证沙棘与麦卢卡蜂蜜的协同作用,为沙棘麦卢卡蜂蜜功能性食品提供相应的理论基础。

4 结论与展望

沙棘中丰富的生物活性物质使其具有一系列生理功能,如抗氧化、抗衰老、抗肿瘤、降血糖、缓解心血管疾病等等,也在食品、护肤品、医药等方面具有广阔的开发前景。近年来,国内外学者对沙棘果中生物活性成分的鉴定、提取及功能特性等方面有了深入研究。但是,对沙棘特定组分的某些量

效和构效关系尚处于初级研究阶段;对沙棘产品,特别是功能性产品的开发还有待进一步研究;对沙棘资源的利用仍存在很大程度的浪费。因此,在未来应该从以上三方面加强对沙棘及相关衍生产品的研究,使沙棘充分发挥其经济价值和社会效益。

参考文献

- [1] 姚娜娜,车凤斌,张婷,等.不同预处理对提高大果沙棘热风干燥效果的对比分析[J].现代食品科技,2020,36(8):211-219.
- [2] 明悦.《全国沙棘资源本底调查报告》发布[J].绿色中国,2022,13:58-59.
- [3] 付阳,王宇坤,刘明博,等.UPLC-ESIMS法同时测定沙棘黄酮中5种主要成分含量[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2016,37(3):129-133.
- [4] 毛新亮,王憬,周明,等.发酵沙棘原果汁的乳酸菌筛选及工艺优化[J].现代食品科技,2023,39(9):106-112.
- [5] CRISTE A, URCAN C A, BUNEA A, et al. Phytochemical composition and biological activity of berries and leaves from four romanian sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) varieties [J]. Molecules, 2020, 25(5): 1170.
- [6] 宁志雪,牛广财,朱立斌,等.沙棘活性成分、生理功能及开发利用研究进展[J].食品与机械,2021,37(11):221-227,240.
- [7] 董诗婷,陈云,高群玉.沙棘果生物活性成分及其功能的研究进展[J].中国酿造,2020,39(2):26-32.
- [8] 加列西·马那甫,王建华,阿依孜克热·伊斯马衣,等.沙棘果黄酮和多糖的降解条件优化及动力学分析[J].现代食品科技,2021,37(3):124-131.
- [9] 杨祖凡,王倩,赵晴,等.基于UPLC-Q-Orbitrap MS技术的沙棘黄酮类成分分析[J].化学试剂,2024,46(2):95-106.
- [10] YAN H, CUI F Y, WANG J, et al. The difference of flavonol glycosides in cultivated and wild sea buckthorn berries in China [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2024, 126: 105912.
- [11] 丁肇俊,叶健文,马佳琪,等.沙棘叶化学成分及药理作用研究进展[J].世界中医药,2023,18(5):714-720.
- [12] AIN R, LINDA R, TATIANA C, et al. Polyphenolic compounds and antioxidant activity of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) [J]. Tech Science Press, 2023, 92(11): 2965-2979.
- [13] JI M, GONG X, LI X, et al. Advanced research on the antioxidant activity and mechanism of polyphenols from hippophae species-A review [J]. Molecules, 2020, 25(4): 917.
- [14] 赵飞亚,张铃声,陶爱恩.民族药沙棘多糖提取工艺、结构特征及其药理活性研究进展[J].中国实验方剂学杂志,2024,30(11):290-298.
- [15] WANG Z, ZOU J, SHI Y, et al. Extraction techniques,

- structural features and biological functions of *Hippophae rhamnoides* polysaccharides: A review [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2024, 263(P1): 130206.
- [16] 陈浩然,王笑颖,成毓淞,等.响应面优化超声辅助提取沙棘果维生素C[J].*中国食品添加剂*,2017,28(2):99-105.
- [17] 王启林,袁木荣.沙棘类胡萝卜素研究进展[J].*中国野生植物资源*,2016,35(1):37-39.
- [18] OTGONBAYAR C, MATTHAUS B, ODONMAJIG P. Fatty acid, tocopherol and sterol composition in sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) of Mongolia [J]. *Mongolian Journal of Chemistry*, 2014, 12:126-130.
- [19] MARIA D, ELENA C, ISABELA T, et al. A fatty acid fraction purified from sea buckthorn seed oil has regenerative properties on normal skin cells [J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2021, 12: 737571.
- [20] 王迪,李文霞,姚瑜,等.沙棘蛋白和多肽的提取及功能活性研究进展[J].*食品工业科技*,2022,43(3):447-455.
- [21] 刘洪霞,舒丹阳,刘鹏展,等.沙棘蛋白的特性及其对db/db糖尿病小鼠的降血糖作用[J].*食品工业科技*,2020,41(7): 309-313,319.
- [22] 薛延团,张晓凤,张育浩,等.沙棘甾醇降血脂作用评价[J].*中国食品添加剂*,2019,30(7):129-137.
- [23] CIESAROVA Z, MURKOVIC M, CEJPEK K, et al. Why is sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) so exceptional? A review [J]. *Food Research International*, 2020, 133(prepublish):109170.
- [24] 付媛,李金梅,张霞,等.沙棘的化学成分及其保健功能研究进展[J].*内蒙古石油化工*,2008,34(23):13-14.
- [25] 黄聪玲.沙棘对人乳腺癌MCF-7细胞增殖、迁移、凋亡、周期的影响[C]//中国抗癌协会肿瘤标志专业委员会,中国抗癌协会整合肿瘤学分会.2022CCTB中国肿瘤标志物学术大会暨中国整合肿瘤学大会暨第十六届肿瘤标志物青年科学家论坛暨中国肿瘤标志物产业创新大会论文集.内蒙古:内蒙古医科大学研究生院,2023:466.
- [26] 王旭,孔志强,赵玉红.溶剂极性对沙棘渣提取物组成及体外降血糖、降血脂活性的影响[J].*精细化工*,2022, 39(10):2060-2068.
- [27] 何长廷,昂青才旦,才曾卓玛,等.沙棘资源、药用状况及其对心血管疾病药理作用概述[J].*中国野生植物资源*, 2023,42(4):1-7,17.
- [28] 杜新瑜,刘梅,李建涛,等.沙棘黄酮对肉兔生长性能、屠宰性能、血清生化指标、抗氧化能力和免疫功能的影响[J].*动物营养学报*,2023,35(6):3910-3920.
- [29] 艾孜古丽·木拉提.沙棘黄酮改善高热能膳食诱导小鼠糖脂代谢紊乱及认知障碍作用与机制研究[D].咸阳:西北农林科技大学,2022.
- [30] GORNAS P, MISINA I, KRASNOVA I, et al. Tocopherol and tocotrienol contents in the sea buckthorn berry beverages in Baltic countries: Impact of the cultivar [J]. *Fruits*, 2016, 71 (6): 399-405.
- [31] 杜晶晶.沙棘多糖抑菌、抗氧化及免疫活性的研究[D].黑龙江:黑龙江八一农垦大学,2011.
- [32] DARIUSZ N, MICHAL G, ELŻBIETA W, et al. Antioxidant properties and phenolic compounds of vitamin c-rich juices [J]. *Journal of Food Science*, 2018, 83 (8): 2237-2246.
- [33] GUO R X, GUO X B, LI T, et al. Comparative assessment of phytochemical profiles, antioxidant and antiproliferative activities of Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries [J]. *Food Chemistry*, 2017, 221: 997-1003.
- [34] 赵波,向晓玲,王微,等.沙棘黄酮制备及体外抑制人前列腺癌PC-3细胞作用研究[J].*天然产物研究与开发*,2018, 30(1):27-32.
- [35] 张欣.沙棘叶提取物对结直肠癌细胞HCT116的抑制作用[D].太原:山西大学,2021.
- [36] 白鲁根,贺小霞.探究沙棘油对人胃癌细胞HGC-27增殖与凋亡的影响[J].*神经药理学报*,2021,11(4):4-8.
- [37] 刘雪梅.沙棘果油对H22肝癌小鼠的抑瘤作用[J].*内蒙古民族大学学报*,2020,35(4):340-344.
- [38] HAO Y Y, XIAO Y, YAN J N, et al. The total flavonoids of *Hippophae rhamnoides* stimulate recruitment of CD8+ T cells into the tumor microenvironment promoting cancer immune control [J]. *Phytomedicine Plus*, 2022, 2(1): 100204.
- [39] 路洋洋.沙棘叶结合态多酚中抗肿瘤活性成分的分离纯化及成分分析[D].太原:山西大学,2020.
- [40] 包晓玮,魏晨业,刘晓禄,等.沙棘多糖对肝癌细胞Hep-G2生长、凋亡、迁移和侵袭的影响[J].*中国食品学报*,2022, 22(9):47-54.
- [41] 王秋丹,赵凯迪,林长青.沙棘多糖对胰岛素抵抗HepG2细胞氧化应激的保护作用与机制[J].*食品与机械*,2022, 38(3):167-172.
- [42] ALQUDAH A, QNAIS E Y, WEDYAN M A, et al. Isorhamnetin reduces glucose level, inflammation, and oxidative stress in high-fat diet/streptozotocin diabetic mice model [J]. *Molecules*, 2023; 28(2): 502.
- [43] GAO S, GUO Q, QIN C G, et al. Sea buckthorn fruit oil extract alleviates insulin resistance through the PI3k/Akt signaling pathway in type 2 diabetes mellitus cells and rats [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2017, 65 (7): 1328-1336.
- [44] ZHU X P, WANG W, CUI C. Hypoglycemic effect of hydrophobic bcaa peptides is associated with altered PI3K/ Akt protein expression [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2021, 69(15): 4446-4452.
- [45] JI M G, HEEWEON L, GUIJAE Y, et al. *Hippophae rhamnoides* L. leaf extracts alleviate diabetic nephropathy via attenuation of advanced glycation end product-induced oxidative stress in db/db mice [J]. *Food & Function*, 2023, 14 (18): 8396-8408.
- [46] 吕恒慧.沙棘果中活性物质的提取及其对心脏保护作用

- 的研究[D].济南:山东师范大学,2017.
- [47] YANG F, SUO Y R, CHEN D L, et al. Protection against vascular endothelial dysfunction by polyphenols in sea buckthorn berries in rats with hyperlipidemia [J]. Bioscience Trends, 2016, 10(3): 1-9.
- [48] 冯欣欣,于文会,柏慧敏,等.沙棘黄酮抗衰老作用及对大鼠非特异性免疫功能的影响研究[J].中兽医医药杂志, 2015,34(5):5-9.
- [49] DU X Y, LIU M, LI J T, et al. Effects of seabuckthorn flavonoids on growth performance, slaughtering performance, serum biochemical indexes, antioxidant capacity and immune function of meat rabbits [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2023, 35(6): 3910-3920.
- [50] DANNENBERGER D, TUCHSCHERER M, NURNBERG G, et al. Sea buckthorn pomace supplementation in the diet of growing pigs: Effects on fatty acid metabolism, hpa activity and immune status [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2018, 19(2): 1-12.
- [51] 王蓉,李胜男,陈春,等.沙棘多糖对巨噬细胞和免疫抑制小鼠的免疫调节作用研究[J].中南药学,2020,18(3):384-388.
- [52] REN H, ZHU X F, ZHAI S Y, et al. Seabuckthorn juice alleviates allergic symptoms in shrimp-induced food allergy mice [J]. Food Science and Human Wellness, 2023, 12(3): 783-788.
- [53] SHIMAN Q, ANUU Z, NAOKO S, et al. Effect of polyphenols in sea buckthorn berry on chemical mediator release from mast cells [J]. Preventive Nutrition and Food Science, 2023, 28 (3): 335-346.
- [54] 付依依,王永霞,李月,等.大果沙棘中黄酮的体外抗炎及抗氧化活性研究[J].中国食品添加剂,2021,32(10):67-74.
- [55] GUPTA A, KUMAR R, PAL K, et al. Influence of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) flavone on dermal wound healing in rats [J]. Molecular and Cellular Biochemistry, 2006, 290(1/2): 193-198.
- [56] YUAN H, ZHU X, WANG W, et al. Hypoglycemic and anti-inflammatory effect of seabuckthorn seed protein in diabetic ICR mice [J]. Food & Function, 2016, 7(3): 1610-1615.
- [57] MUHAMMET D, BAHADIR S, RENAD M, et al. The role of *Hippophae rhamnoides* L. on 5-fluorouracil-induced oral mucositis in rats [J]. Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences, 2023, 36 (5): 1443-1449.
- [58] DE S C O, TEIXEIRA A A S, BIONDO L A, et al. Palmitoleic acid improves metabolic functions in fatty liver by PPAR α -dependent AMPK activation [J]. Journal of Cellular Physiology, 2017, 232(8): 2168-2177.
- [59] 王薇,曹雯.沙棘果渣多酚、多糖及黄酮抑菌性及对葡萄保鲜研究[J].中国食品添加剂,2023,34(11):12-18.
- [60] 张立明,杨凤琴,袁本香,等.沙棘总黄酮对4种念珠菌的体外抑菌作用[J].中国医院药学杂志,2010,30(16):1355-1357.
- [61] STOB DAN T, CHAURASIA O P, KOREKAR G, et al. Attributes of seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) to meet nutritional requirements in high altitude [J]. Defence Science Journal, 2010, 60(2): 226-230.
- [62] ATTRI S, GOEL G. Influence of polyphenol rich seabuckthorn berries juice on release of polyphenols and colonic microbiota on exposure to simulated human digestion model [J]. Food Research International, 2018, 111: 314-323.
- [63] 宋永程.沙棘多糖的提取、分离纯化及其对小鼠肠道菌群的调节作用[D].成都:西华大学,2022.
- [64] GUO C X, HAN L, LI M P, et al. Seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides*) freeze-dried powder protects against high-fat diet-induced obesity, lipid metabolism disorders by modulating the gut microbiota of mice [J]. Nutrients, 2020, 12(1): 265.
- [65] 寇静,史琳娜,张怡敏,等.沙棘发酵茶对高脂饮食大鼠血脂和肠道菌群的影响[J].食品与发酵工业,2023,49(9):49-56.
- [66] LIAQAT H, SABA R, GHULAM A, et al. Pharmacological potential of *Hippophae rhamnoides* L. Nano-emulsion for management of polycystic ovarian syndrome in animals' model: *In vitro* and *in vivo* studies [J]. ACS Omega, 2023, 8 (36): 32977-32989.
- [67] EUN D L, HEE K P, JOOHYUM H, et al. Anti-osteoporosis effects of triterpenoids from the fruit of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) through the promotion of osteoblast differentiation in mesenchymal stem cells, C3H10T1/2 [J]. Archives of Pharmacal Research, 2023, 46 (9-10): 771-781.
- [68] 谭志超,张连富.沙棘原花青素软胶囊对酒精性肝损伤的保护作用[J].食品与机械,2018,34(7):148-150,163.
- [69] 赵学旭,武蕊,衣春敏,等.沙棘果渣粉的超微冷冻粉碎制备及其理化性质与结构特性[J].现代食品科技,2022, 38(5):87-95.
- [70] 朱立斌,朱丹,牛广财,等.沙棘果汁饮料的研制及其抗氧化活性研究[J].饮料工业,2020,23(2):45-50.
- [71] 康海宁,陈波,蓝芳,等.麦卢卡蜂蜜特征标志物及其分析方法研究进展[J].现代食品科技,2019,35(12):322-328, 336.