

沙棘提取分析方法及药理活性的研究进展

崔雨桐, 王涛, 杨凤艳, 徐添颖

Research progress on the extract analysis method and pharmacological activity of *Hippophae rhamnoides*

CUI Yutong, WANG Tao, YANG Fengyan, XU Tianying

在线阅读 View online: <http://yxsj.smmu.edu.cn/cn/article/doi/10.12206/j.issn.2097-2024.202502021>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

山楂酸药理作用的研究进展

Research progress on the pharmacological effects of maslinic acid

药学实践与服务. 2024, 42(5): 185-189 DOI: [10.12206/j.issn.2097-2024.202307052](https://doi.org/10.12206/j.issn.2097-2024.202307052)

玉米须黄酮化学成分与药理作用研究进展

Flavonoids from Corn Silk (*Zea mays* L.) and its pharmacological effects

药学实践与服务. 2025, 43(2): 51-58 DOI: [10.12206/j.issn.2097-2024.202309037](https://doi.org/10.12206/j.issn.2097-2024.202309037)

基于谱效关系的黄连不同方法提取物抑菌作用物质基础初步研究

Preliminary study on the antibacterial material basis of *Coptidis Rhizoma* extracts by different methods based on spectrum-effect relationship

药学实践与服务. 2026, 44(2): 80-84 DOI: [10.12206/j.issn.2097-2024.202403054](https://doi.org/10.12206/j.issn.2097-2024.202403054)

莲子和莲子心生物碱成分及抗癌活性的比较分析

Comparative analysis of alkaloid components and anticancer activity between *Nelumbinis Semen* and *Nelumbinis Plumula*

药学实践与服务. 2025, 43(9): 449-454 DOI: [10.12206/j.issn.2097-2024.202407061](https://doi.org/10.12206/j.issn.2097-2024.202407061)

异硒唑酮类化合物在疾病治疗中的作用和化学合成方法

Research progress on the treatment role and chemical synthesis methods of isoselenoazolones

药学实践与服务. 2025, 43(8): 367-372 DOI: [10.12206/j.issn.2097-2024.202308064](https://doi.org/10.12206/j.issn.2097-2024.202308064)

胡椒的化学成分及其生物活性研究

Research on the chemical compositions and their biological activities of *Piper nigrum* L.

药学实践与服务. 2025, 43(7): 313-319 DOI: [10.12206/j.issn.2097-2024.202308065](https://doi.org/10.12206/j.issn.2097-2024.202308065)



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

· 综述 ·

沙棘提取分析方法及药理活性的研究进展

崔雨桐^{1a,1b}, 王 涛², 杨凤艳^{1a}, 徐添颖^{1a} (1. 海军军医大学: a. 麻醉系, b. 基础医学院, 上海 200433; 2. 第九四九医院 检验病理科, 新疆 阿勒泰 836500)

[摘要] 沙棘是一种药食同源的植物, 其营养价值丰富并且生物学活性广泛, 具有悠久的药用历史。沙棘富含多种化学活性成分, 主要有黄酮、多糖、维生素、脂肪酸等。近年, 国内外对沙棘的化学活性成分展开大量研究, 对比不同成分的提取方法, 发现提取方法的不同影响了沙棘提取物的化学结构, 进而影响它的药理活性。研究发现沙棘在心血管疾病、肥胖超重、肝脏疾病、免疫调节疾病、胃肠道疾病等方面具有显著药理作用, 具有如抗氧化、抗炎、降血脂、降血糖等多重药理活性, 在保健食品与医药领域的开发应用价值不可估量。本文综述沙棘的不同化学成分及其提取与分析方法, 以及沙棘的主要药理作用和机制研究进展, 为进一步开发和应用沙棘资源提供参考。

[关键词] 沙棘; 化学结构; 提取分析方法; 药理活性

[文章编号] 2097-2024(2026)09-0447-10

[DOI] 10.12206/j.issn.2097-2024.202502021

Research progress on the extract analysis method and pharmacological activity of *Hippophae rhamnoides*

CUI Yutong^{1a,1b}, WANG Tao², YANG Fengyan^{1a}, XU Tianying^{1a} (1a. School of Anesthesiology, 1b. College of Basic Medicine, Naval Medical University, Shanghai 200433, China; 2. Pathology Laboratory for Inspection of No. 949 Hospital, Aletai 836500, China)

[Abstract] *Hippophae rhamnoides* is a plant with both medicinal and edible properties, rich in nutritional value and biological activity, and has a long history of medicinal use. It is rich in various chemically active components, mainly including flavonoids, polysaccharides, vitamins, and fatty acids. In recent years, extensive research has been conducted on the chemically active components of sea buckthorn both at home and abroad. By comparing different extraction methods of various components, it has been found that different extraction methods affect the chemical structure of *Hippophae rhamnoides* extracts, and thus influence their pharmacological activities. Studies have shown that *Hippophae rhamnoides* has significant pharmacological effects in cardiovascular diseases, obesity and overweight, liver diseases, immune regulation diseases, gastrointestinal diseases and so on, with multiple pharmacological activities such as antioxidation, anti-inflammation, lipid-lowering, and blood sugar-lowering. Its development and application value in the fields of health food and medicine is immeasurable. The different chemical components of *Hippophae rhamnoides*, their extraction and analysis methods were systematically reviews, as well as the research progress on its main pharmacological effects and mechanisms, which could provide a reference basis for the further development and application of *Hippophae rhamnoides* resources.

[Key words] *Hippophae rhamnoides*; chemical construction; extraction method; pharmacological activity

沙棘(*Hippophae rhamnoides* L.), 胡颓子科沙棘属落叶性灌木, 别名醋柳、黄酸刺, 广泛分布于欧亚大陆温带地区, 如中国西北部和西南部, 在黄土高原半干旱区有成片的单优势群落或混生于其他

灌乔林种的天然林和人工林^[1]。目前发现沙棘共有 5 个亚种, 包括江孜沙棘、蒙古沙棘、中国沙棘、中亚沙棘和云南沙棘。据《四部医典》记载, 沙棘具有健脾养胃、破瘀止血、祛痰利肺、化湿、壮阴升阳的功效。沙棘素有“天然维生素宝库”、“神果奇树”的美称, 含有丰富的氨基酸、维生素、多酚、黄酮, 极具经济价值与药用价值。现代科学研究发现, 沙棘还具有抗氧化、抗炎、抗菌、降血糖、降血脂等药理作用, 对于心血管疾病、肝脏疾病以及免疫疾病等具有显著作用。已有的研究结果显示, 沙棘成分的提取分析方法会影响其药理活性, 从而对

[基金项目] 海军军医大学校级基础医学研究课题青年启动基金 (2023QN035); 高原医学研究中心自主科研项目 (24GYZXZD25)

[作者简介] 崔雨桐, 本科生, 研究方向: 麻醉学, Email: 1793729596@qq.com

[通信作者] 杨凤艳, 硕士, 讲师, 研究方向: 麻醉药理学, Email: 18522826181@163.com; 徐添颖, 博士, 副教授, 研究方向: 麻醉药理学, Email: xty7910@163.com

其实际应用效果产生干扰。因此,本文就沙棘的化学成分及其药理作用进行综述,梳理沙棘不同化学成分提取方法的差异及其优缺点,重点阐释其作用机理与潜在应用,为进一步在临床上开发和应用沙棘资源提供科学依据。

1 主要化学成分与提取分析方法

1.1 黄酮类

沙棘富含黄酮类成分,这些黄酮类成分可以从其浆果和沙棘叶中提取,但在浆果和叶中的成分含量不同。每 100 g 干果中,约含异鼠李素 12.2 ~ 31.4 mg、槲皮素 4.0 ~ 25.3 mg、山柰酚 7.5 ~ 59.7 mg;而每 100 g 干叶中,约含异鼠李素 9.1 ~ 34.5 mg、槲皮素 75.1 ~ 182.1 mg、山柰酚 29.2 ~ 113.4 mg^[2]。黄酮的提取及分析工艺对研究其生物活性意义重大,因此,本文根据近年来沙棘黄酮类的提取分析方法进行概述,见表 1。沙棘黄酮的常见提取方法有溶液萃取法、微波辅助萃取法、索氏提取法、普通超声波提取法、超声波循环提取法^[3]。其中,溶液萃取法最为常见,可分为甲醇提取法、乙

醇提取法、酸水解处理、氯仿甲醇混合提取法。溶液萃取法具有操作方便、条件温和、低能耗的优点,但同时伴随提取速度慢、有机萃取剂消耗量大、环境污染大的缺点。通过研究黄酮的提取方法,可以探究沙棘干燥过程中黄酮类化合物的变化,从而找到保存沙棘的最佳方法^[4]。沙棘黄酮的常见分析方法有高效液相色谱-二极管阵列检测法(HPLC-DAD)、高效液相色谱-紫外法(HPLC-UV)、液相色谱-质谱法(LC-MS)、超高效液相色谱-质谱法(UHPLC-MS)。其中,LC-MS法是最常见的分析方法,通过分析黄酮类成分中的糖苷种类,从而了解各黄酮类成分的含量和结构^[5]。此外,可通过 UMR 谱分析沙棘黄酮类成分。

1.2 多糖类

沙棘多糖是沙棘中的一种重要的生物大分子,具有复杂的分子结构和广泛的药理学活性。沙棘多糖具有护肝、抗炎、免疫调节、抗氧化、抗肿瘤、降糖、抗肥胖的药理活性,对人类健康有多种益处。沙棘多糖由多种单糖成分构成,这些单糖可分为鼠李糖、葡萄糖、半乳糖、蔗糖和阿拉伯糖。每

表 1 沙棘黄酮类成分的提取与分析方法

文献	提取方法	提取工艺	分析方法	分析工艺	黄酮成分	优点	缺点
Chen ^[2]	乙醇提取法	5 kg样品,95%乙醇 20 L室温下提取	HPLC-DAD	利用紫外、质谱、 ¹ H和 ¹³ C NMR和二维 NMR对其进行结构分析	槲皮素、山柰酚、异鼠李素	操作简便污染小,反应条件温和	有机萃取剂消耗量大,分析过程复杂
Geng ^[4]	干燥脱水	100 g样品干燥,每1 h称重,持续到含水量小于10%,冷却密封冷藏保存	增强液相色谱串联质谱法	20 mg粉末,0.5 ml 70%甲醇提取,并加入10 μl内标定量,超声处理,离心,上清液过滤	26种黄酮、23种黄酮醇和11种黄烷酮	操作简便污染小,节约成本	衍生物多,结果不可靠
Fang ^[5]	甲醇提取法	300 g样品,2 L 甲醇 24 h提取1次,共3次	增强液相色谱串联质谱法	5 μl,在30℃以0.4 ml/min洗脱,5 min柱洗,平衡3 min	槲皮素、山柰酚、异鼠李素	提取简便,节约成本,表征效果好	耗时、低效
Fatima ^[6]	酸水解处理法	5 ml 1.5 mol/L盐酸均质,沸水浴30 min,冷却离心,5 ml 70%甲醇在水浴摇床室温下提取24 h,离心并混合,过滤	HPLC-UV	采用梯度洗脱程序,流速为1.0 ml/min,进样量为40 μl,在254、280、306、340 nm波长处检测吸光度	杨梅素/芦丁、山柰酚、槲皮素和异鼠李素	排除干扰因素,提取纯度高,分析系统全面	耗能、速度慢、衍生物多等
Teleszko ^[7]	氯仿甲醇混合提取法	100 ml氯仿和甲醇混合物萃取,加入0.1% BH分离,收集氯仿层,离心,无水硫酸盐过滤,浓缩至50%	LC-MS	2 ml 1 mol KOH在甲醇中皂化,50 mg提取物和100 g 5-胆甾醇为内标,黑暗放置,萃取非皂化相,上层两次洗涤蒸干,硅烷化处理,色谱分离	6种异鼠李素、4种槲皮素和山柰酚苷	提取率高,提取纯度高,表征效果较好	耗费有机萃取剂,污染大,操作复杂
Żuchowski ^[8]	索氏提取法	90.26 g丁醇粗提取物通过SPE去除,85%甲醇洗脱,浓缩并冷冻干燥得24.94 g提取物,悬浮于50%甲醇,振荡,超声2 min,离心,旋转蒸发上清液并冷冻干燥	UHPLC-MS	馏分4.50 g共9批,进8种异鼠李糖苷,其酰基为异戊酸,发现新化合物,洗脱,分离得到4个馏分,蒸发溶剂并冻干	8种异鼠李糖苷	提取纯度高,可发现新化合物	效率低、衍生物多、环境污染大
Zompra ^[9]	渗透脱水法	真空干燥脱水至5%	UMR	分极性提取物和非极性提取物进行NMR分析	山柰酚、槲皮素和异鼠李素	温和低能耗,对营养物质损伤少,检测具有可重复性和精确性	条件要求高,衍生物多,分析复杂等

100 g 沙棘鲜果含有 1.34 ~ 2.87 g 糖, 在所有糖类中含量最高的是葡萄糖, 占总糖含量的 86.58% ~ 92.68%^[10]。与黄酮类似, 多糖中单糖与单糖间主要通过糖苷键连接, 糖苷键类型包括 α 型、 β 型或者 α 、 β 型。从 2000 年至今, 对于沙棘多糖的结构和提取分析方法的研究十分火热, 具体提取分析方法见表 2。多糖是一种可溶性的极性大分子, 易溶解于热水、稀酸或碱溶液中, 这对提取方法具有重要启示。常见的提取方法包括微波辅助的双固相萃取法、热水提取法、加压热水萃取法、酸萃取法、碱辅助提取法、水基两相萃取和超声提取法。其中热水提取法最为常见, 具有简便易行、成本低廉的优点, 可被应用于工业生产。在现有提取方法中, 酸萃取法的提取率为 3.75%, 而热水提取法的提取率为 4.74%。酸萃取法的提取率较低, 同时酸萃取法具有容易破坏糖苷键, 腐蚀容器的缺点, 因而不适用于工业化生产。由表可知, 提取方法对于沙棘多糖的提取率具有重要影响, 因此, 探究最佳的多

糖提取方法对于研究沙棘多糖的化学结构、生物活性具有重要意义。沙棘多糖的常用分析方法有 HPLC 法、气相色谱(GC-FID)法、GC-MS 法、磁共振波谱(NMR)法、傅里叶红外变换光谱(FT-IR)法、甲基化实验等。其中, FT-IR 光谱显示, 不同提取方法获得的沙棘多糖的官能团之间没有明显差异, 这意味着不同沙棘多糖的官能团或者连接带的特征基本不受提取方法的影响, 但其单糖组成具有明显差异^[11]。

1.3 维生素

植物的营养价值得益于其化学成分。沙棘被称为“维他命的自然宝库”, 富含多种维生素营养成分, 对人体益处巨大。其中, 每 100 g 沙棘果实中含有维生素 C 52.86 ~ 896 mg。此外, 它还含有生育酚、生育三烯酚、维生素 A、核黄素、烟酸、泛酸、维生素 B₆、维生素 B₁₂ 等, 这些维生素构成了人体组织成分并维持人体正常生理活动。有研究发现, 可采用亚磷酸匀浆法提取沙棘中的维生素 C^[12],

表 2 沙棘多糖类成分的提取与分析方法

文献	提取方法	提取工艺	分析方法	分析工艺	多糖的单糖组分	提取率	优点	缺点
Fang ^[5]	水基两相萃取法	300 g样品用2 L甲醇提取3次, 水中溶解, 与三氯甲烷分离, 水层通过旋转蒸发浓缩, 经Biotage闪蒸色谱法分离	GC-MS	酸水解, 离心取上清液, 氮气下干燥后气相色谱质谱分析, 分析其酸水解后的三甲基硅烷基噻唑烷衍生物	鼠李糖、葡萄糖	—	操作简单, 效率高, 环保	易分解多糖
Zompra ^[9]	超声提取法	15 g样品50℃干燥脱水, 液氮研磨成粉, 200 mg粉状样品在1.0 ml 100% CD ₃ OD和0.3 ml pH 6.0缓冲液中涡旋, 室温超声提取30 min	¹ H NMR ² D NMR	提取后, 14 000×g离心7 min, 收集上清液, 用0.45 μ m膜过滤器过滤, 将0.6 ml的滤液转移到标准的5 mm核磁共振管中进行分析	葡萄糖、果糖、蔗糖、鼠李糖和果胶糖	—	效率产率高, 材料或溶剂消耗低	易分解多糖
Li ^[11]	加压热水萃取法	500 g样品用石油醚和95%乙醇预处理, 加压热水萃取, 400 ml, 115℃, 1 h	HPLC	三氟乙酸水解和PMP柱前衍生化后, 用HPLC分析沙棘蛋白上的单糖组成	甘露糖、鼠李糖、葡萄糖、半乳糖、木糖和阿拉伯糖	4.54%	操作简单, 成本低	产量低, 生产时间长, 温度高
Li ^[11]	酸萃取法	500 g样品用石油醚和95%乙醇预处理, 用0.1 mol/L 盐酸400 ml, 60℃, 3 h酸提取后, 0.1 mol/L NaOH中和	HPLC	三氟乙酸水解和PMP柱前衍生化后, 用HPLC分析沙棘蛋白上的单糖组成	甘露糖、鼠李糖、葡萄糖、半乳糖、木糖和阿拉伯糖	3.75%	效率高, 消耗量低	易破坏糖苷键, 腐蚀容器
Li ^[11]	碱辅助提取法	500 g样品用石油醚和95%乙醇预处理, 0.1 mol/L NaOH在60℃下提取3 h, 0.1 mol/L 盐酸中和	HPLC	三氟乙酸水解和PMP柱前衍生化后, 用HPLC分析沙棘蛋白上的单糖组成	甘露糖、鼠李糖、葡萄糖、半乳糖、木糖和阿拉伯糖	6.59%	产量高, 效率高, 消耗量低	纯度低, 易破坏多糖的结构
Kallpio ^[13]	微波辅助的双固相萃取法	冷冻样品微波解冻, 碾碎过滤, NaOH稀释, 双固相萃取分离糖分, 2 ml纯净水洗脱, 在40 ~ 50℃的氮气下蒸干, 干燥过夜	HPLC GC-FID GC-MS NMR	0.5 mg干燥的糖馏分溶解在0.5 ml HPLC洗脱液中, 超声处理, 过滤, 蒸发, 收集流动相组分, 重复色谱分离混合废水	果糖、葡萄糖和极少量蔗糖	—	收率高, 渗透性强, 提取时间短, 操作简单	不适用于热敏物质和工业生产
Yang ^[14]	热水提取法	80℃, 体积质量比为77 : 1 ml/g, 120 min	GC FT-IR NMR 甲基化分析法	溶解于DMSO, 加入氢氧化钠, 将CH ₃ I冰浴30 min, 加入蒸馏水终止反应, 去离子水透析48 h后, 用TFA水解, 乙酸酐和吡啶乙酰化, 采用气相色谱仪分析	—	4.74%	操作简单, 成本低, 提取率高	生产时间长, 温度高

注: “—”表示参考文献中未计算多糖提取率或分析多糖的单糖组分。

冷冻干燥后使用亚磷酸进行匀浆,通过离心得到预期产物,这种方法具有简便易操作的优点,但提取物纯度较低。提取结果表明,维生素 C 大部分存在于果浆中,预热对其影响不大^[15]。为了提取沙棘中生育酚和生育三烯醇,可采用亚磷酸匀浆法、乙醇正丁烷提取法、超临界二氧化碳萃取法、固相萃取法、直接提取法、离心提取法等。其中,超临界二氧化碳萃取法由于具有系统化、集成化和提取效率较高的优点,常被应用于工业化生产中,但需注意它对设备和生产条件要求较高,具有限制性。生育酚和生育三烯醇,即维生素 E,是沙棘中一种重要的维生素,两者都被认为具有抗氧化的生物活性,但研究发现,生育三烯醇的抗氧化活性更强,可以降低胆固醇水平并抑制肿瘤生长^[16]。此外,生育酚和生育三烯醇含量会随收获日期、品种和年份的不同而差异明显,这对研究其最佳提取方法具有重要意义。可以采用 HPLC、广义线性模型法(GLM)、超高效液相色谱-飞行时间质谱法(UPLC-QTOF-MS)、超高效液相色谱-荧光检测法(UPLC-FLD)、HPLC-FLD 等方法分析沙棘维生素粗提取物的化学结构,这与多糖的分析类似。在多种分析方法中,HPLC 法最常见,可系统化分析结构,提取条件限制较少。分析结果显示,生育酚具有 4 种同源物,而生育三烯醇具有 3 种同源物,都有 α 、 β 、 γ 3 种形式,并且两种成分的 γ 形式的生物活性都是所有同源物中最强的^[16](表 3)。

1.4 脂肪酸

除了黄酮、多糖和维生素,沙棘还富含油、脂肪酸和多种挥发油类成分。其中,沙棘的种子和果肉所含油类较多,在种子中油占比高达 9%~18%,而果肉的含油量为 2%~5%。临床上,沙棘油具有重要生物学活性,可以保护心血管、抗肿瘤、抗溃疡、增强免疫力。在沙棘油中,脂肪酸占主要地位,研究价值也较高。截至 2023 年,科学家已在沙棘中发现 19 种脂肪酸,包括 8 种饱和脂肪酸和 11 种不饱和脂肪酸^[17],其中有棕榈酸、棕榈烯酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、肉豆蔻酸、软脂酸、十六碳二烯等。在沙棘种子油中,亚油酸最为重要,而棕榈油酸含量极低;而在果肉果皮和整个果实的油中,亚油酸含量仍最高。在果肉、果皮和整个果实的油中,棕榈油酸、棕榈酸和油酸都是主要的脂肪酸^[18]。如表 4 所示,脂肪酸提取方法的不同可能会导致它的化学成分占比发生改变,因而研究其提取方法也能促进相关产品的开发,从而产生巨大的经济效益。沙棘脂肪酸的提取方法可分为超临界二氧化

碳法、氯仿甲醇混合提取法、正丁烷提取法、乙醇提取法、己烷冷压萃取法,其中,超临界二氧化碳法的应用最为广泛,具有提取效率高、操作简单、污染小的优点,可用于工业系统化生产,但同时伴有耗时、操作繁琐的缺点,对技术设备要求较高。对于沙棘油中脂肪酸的分析,可使用气相色谱分析法、NMR、UPLC-QTOF-MS、GC-FID、GC-MS 等。通过气相色谱分析可知,沙棘果肉中 16:1、16:0、18:2 的脂肪酸占比分别为 45.6%~49.1%、30.9%~33.8%、4.6%~5.8%^[12],其中,16:1 的脂肪酸占比最大,是沙棘果肉中最主要的脂肪酸,被称为棕榈油酸,是一种植物源性油脂。

2 药理活性

通过对沙棘中黄酮类、多糖类、维生素和脂肪酸等主要化学成分及其提取分析方法的系统梳理,可以发现不同提取工艺显著影响各活性成分的结构与功能特性。这些差异不仅决定了成分的化学性质,更与其后续的药理活性密切相关。以下将围绕沙棘的多种药理作用展开讨论,结合其化学成分的作用机制,深入探究其在心血管疾病、代谢调节、免疫调控等领域的应用潜力,为沙棘资源的进一步开发和利用提供理论依据。

2.1 心血管疾病

针对沙棘的提取纯化与结构分析,大量体内外实验证明,多种沙棘成分具有降血压、降血脂、抗氧化等药理活性,对心肌缺血、氧化损伤衰老等问题具有显著作用。首先,降血压特性来源于沙棘黄酮类物质对保护血管内皮、清除活性氧和抑制血小板凝集的作用^[19]。通过免疫学检测和定量聚合酶链式反应发现,沙棘对氧化损伤的人脐静脉内皮细胞具有一定保护作用,可以通过调控 p38 丝裂原活化蛋白激酶(mitogen-activated protein kinase, MAPK)/核因子 κ B(nuclear factor κ B, NF- κ B)信号通路来实现^[20]。其次,沙棘果实中的酚类物质也具有弱氧化性,通过消化作用可以显著增加其细胞抗氧化活性^[21],从而通过清除自由基抑制其生成或提高内源性抗氧化剂水平。晚期糖基化终末产物是引发心血管疾病的重要原因之一,有研究发现沙棘对其形成有重要的抑制作用,并且与浆果相比,沙棘叶提取物中高浓度的 3-索苷-7-鼠李糖苷可能是它具有较强抑制作用的原因之一,且对清除 2,2'-联氮-双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)和 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基的活性也更强,从而对晚期糖基化终末产物的形成和它诱导的胶原交联抑制作用更显著。

表 3 沙棘维生素类成分的提取与分析方法

文献	提取方法	提取工艺	分析方法	分析工艺	分析成分	优点	缺点
Aaby ^[15]	间磷酸提取法	80℃加热10 min, 筛子加工, 黑暗中以2℃或18℃保存, 5 g样品用25 ml的5%间磷酸提取	HPLC	100 μl提取物中的DHAA用50 μl 5 mmol/L TCEP、pH 9.0还原, 用流动相调整至pH 4.2稀释, 提取物15 μl和还原样品15 μl在HPLC系统提取	维生素C	操作简便, 无污染	提取条件复杂
Andersson ^[16]	乙醇正丁烷提取法	用20 ml乙醇/正己烷, 加入0.01%BHT, 4℃黑暗中密封放置在轨道振动筛20 h, 10 000×g下离心10 min	GLM	用荧光探测器进行等速分析, 洗脱液由溶剂混合物97.3%正己烷、1.8%乙酸乙酯和0.9%乙酸组成, 注射20 μl样品	生育酚和生育三烯醇	操作简单, 提取纯度较高	有机萃取剂耗费多, 提取条件较高
Arimboor ^[12]	亚磷酸匀浆法	1 g样品用亚磷酸匀浆, 2 200×g离心5 min, 上清液通过0.45 μm过滤器过滤, 重复上述操作	HPLC	20 μl样品注入HPLC, 3.7 mmol/L pH 4磷酸盐缓冲液作为流动相, 采用抗坏血酸的真正标准品0.5-5 μg/ml来优化HPLC条件	维生素C, 生育酚, 生育三烯酚	操作方法简便	提取纯度较低, 汲取效率较高
Dienaitė ^[22]	超临界二氧化碳萃取法	20 g磨渣装入纤维素顶针, 插入内管, 己烷在Buchi V-850旋转蒸汽R-210中去除, 称重, 控制CO ₂ 流速	UPLC-QTOF-MS	在水域定量UPLC系统上分析, 等速条洗脱, 将0.05%醋酸铵、0.10%乙酸、18.0%2-丙醇和81.85%甲醇的混合物作为流动相, 以0.4 ml/min的流速超过4 min, 注射体积为1 μl, 柱温60℃	4个生育酚	污染较少, 经济效益高	分析条件复杂, 成本较高
Tkacz ^[23]	固相萃取法	用含0.1% BHA的甲醇超声, 离心, 上清液与正己烷: 甲醇: Bis-Tris(5 : 1 : 1)混合, 采用StrataTM x-Aw色谱柱固相萃取, 用己烷、甲醇和水(1 : 1 : 1)调节, 用己烷、水、50%甲醇和乙腈(1 : 1 : 1 : 1)除杂, 甲醇洗脱干燥	UPLC-FLD	用0.05% BHT乙醇均质, 60%氢氧化钾在50℃皂化2 h, 与正己烷、乙酸乙酯和0.05% BHT搅拌, 加入饱和氯化钠溶液, 收集顶层蒸发, 残渣在含0.05% BHT的甲醇中溶解, 过滤, 超性能液相色谱法、二元溶剂管理器 and 荧光检测器分析	4种生育酚同源性物和3种生育三烯醇	提取效率高, 提取纯度高	耗能高, 经济效益差
Tkacz ^[23]	直接提取法	样品100℃ 4 min, 热灌装95℃下保持10 min, 冷却至4℃, 巴氏杀菌使pH值低至2.9	UPLC-FLD	用含0.05% BHT的乙醇匀浆, 在50℃下用60% KOH 皂化2 h, 加入1% NaCl, 冷冻后用正己烷搅拌, 加入饱和氯化钠溶液, 收集顶层提取液蒸发, 残渣溶于含0.05% BHT的甲醇	生育三烯酚, 生育醇	提取方法简便	分析所需条件复杂
Dabrowski ^[24]	离心提取法	样本45 ml放入50 ml离心管中称重, 离心分离油小体10℃ 10 min 12 700×g, 离心后, 取上层转移并称重, 2 mol/L NaOH 脱酸	HPLC-FLD	油样的正己烷溶液注入色谱系统, 分析使用1200 系列液相色谱仪进行, 配备荧光检测器, 分离采用LiChrospher Si 60色谱柱, 流动相为正己烷中0.7%的异丙醇溶液, 流速为1 ml/min, 荧光检测器的激发波长为296 nm, 发射波长为330 nm	生育酚	提取方法简单, 成本较低	提取纯度极低

著^[25]。高血脂对心血管疾病也有重要影响。已有学者发现沙棘提取物可控制脂肪组织质量, 抑制脂肪堆积, 同时提高总胆固醇、甘油三酯、高密度脂蛋白胆固醇和非高密度脂蛋白胆固醇水平, 还可通过调节抗氧化酶来缓解高脂血症引起的氧化应激和肝脏损伤^[26]。研究结果显示, 沙棘提取物对于治疗心血管疾病具有深远意义, 可根据其化学成分的特殊结构推测其药理活性, 进而开发相关药物。

2.2 肥胖超重

肥胖常伴有高血压、高血脂、高血糖等代谢异常。研究表明, 沙棘在抗高血压方面效果不明显, 但在抗高血脂和降血糖上效果显著。在降血脂上, 沙棘通过促进脂质分解与调节肠道微生物从而降低血脂。将沙棘叶发酵得到沙棘叶茶, 接种曲霉后恒温培养, 产物经动物实验发现沙棘叶茶可显著控制高脂血症大鼠体重, 降低脂质含量和血清氧化应

表 4 沙棘脂肪酸类成分的提取与分析方法

文献	提取方法	提取工艺	提取率	分析方法	分析工艺	组成成分	优点	缺点
Teleszko ^[7]	氯仿甲醇混合提取法	100 ml氯仿甲醇混合物萃取,加入0.1% BHT,在分离漏斗中摇匀,10 min,收集氯仿层,在15 000×g下离心10 min,通过无水硫酸盐过滤,浓缩至50%	—	GC	直接甲酯化法测定总脂肪,稀释后分离,以氢气为载气,流速为1.5 ml/min,柱温60~200℃,升温速度12℃/min,保持25 min,重复分析3次	肉豆蔻酸、软脂酸、棕榈油酸、十六碳二烯、硬脂酸、油酸、亚麻油酸、亚麻酸	方法简单,耗能少	提取率较低,化学污染大,成本较高
Zompra ^[9]	氯仿甲醇混合提取法	3 g样品在液氮砂浆中碾碎,在甲醇20 ml中匀浆1 min,加入氯仿40 ml继续匀浆3 min,过滤,重新悬浮,均质3min再过滤,洗涤	80%~88%	NMR	加入0.88%氯化钾水溶液,除去较低的相,用甲醇/水洗涤两次,分离有机层,去除溶剂,在CDCl ₃ 中重悬,转移到5 mm核磁共振管中	α-亚麻酸、油酸、亚油酸、硬脂酸、棕榈酸	方法简单,耗能少	提取率较低,化学污染大,成本较高
Arimboor ^[12]	超临界二氧化碳法	种子研磨,使用试验模型超临界流体萃取装置,在60℃ 4.5×10 ⁷ Pa,气体流速为60 g/min下萃取3 h	66%~70%	气象色谱法	采用IUPAC法制备浆果脂类的脂肪酸甲酯,使用HP 5890系列和配有火焰电离检测器的II系列气相色谱仪进行定量分析	棕榈酸、棕榈烯酸、硬脂酸、油酸、亚油酸	提取效率高,操作简单,污染小	耗时,操作繁琐
Dienaitė ^[22]	超临界二氧化碳法	取20 g磨渣,装入纤维素顶针插入内管,在Buchi V-850旋转蒸汽R-210去除己烷,控制CO ₂ 流速,提取30 min,重复6次	16.99%	UPLC-QTOF-MS	在水域定量UPLC系统上分析,等速洗脱,将0.05%醋酸铵、0.10%乙酸、18.0% 2-丙醇和81.85%甲醇的混合物作为流动相,流速0.4 ml/min,柱温60℃,注入1 μl样品,保持4 min	亚油酸、亚麻油酸、油酸、棕榈油和棕榈油酸	操作易控制,无污染	成本较高,耗时
Dinkar ^[27]	正丁烷提取法	10 g样品用正己烷30 ml分3次提取,得到1.1 g果油,在室温下用70%乙醇提取3次,每次72 h,得到提取物3 g,萃取过程重复三次	80.30%	GC-FID	分离采用反相C ₁₈ 柱,梯度洗脱,将70%干燥乙醇提取物5 mg溶解在甲醇1 ml中,过滤,使用流动相梯度在甲醇中50 min,保持相同浓度60 min,流速为1 ml/min,柱温40℃,检测长368 nm	棕榈油酸、油酸、棕榈酸、亚油酸	简单效率高	有机萃取剂消耗量大,提取时间长
Dinkar ^[27]	乙醇提取法	用70%乙醇提取,浸渍3 d,重复3次,室温下用正己烷浸泡24 h,重复3次	80.30%	GC-FID	分离采用反相C ₁₈ 柱,梯度洗脱,将70%干燥乙醇提取物5 mg溶解在甲醇1 ml中,过滤,使用流动相梯度在甲醇中50 min,保持相同浓度60 min,流速为1 ml/min,柱温40℃,检测长368 nm	棕榈油酸、油酸、棕榈酸、亚油酸	提取方法简单,效率高	有机萃取剂消耗量大,提取时间长
Li ^[28]	己烷冷压萃取法	种子冷压提取油,过1 mm筛网,在室温正己烷中搅拌2 h,真空过滤去除溶剂,重复一次2 h,再重复1 h,汇集,在30℃旋转蒸发去除溶剂,氮气清洗	—	GC-FID GC-MS	用DB-5熔融硅毛细管柱,注射使用HP 7673自动进样器和无分裂注射器,分裂比例为1:15,烘箱等温,喷射器和检测器温度分别为280℃和300℃,以氮气作为载气,入口压力为175 kPa,柱流量为1 ml/min	—	提取纯度较高	效率较低,要求较高

注:“—”表示参考文献未计算脂肪酸类成分提取率或未分析脂肪酸组成成分。

激。沙棘叶茶通过促进高脂血症大鼠肝脏中肝激酶的表达,激活腺苷酸活化蛋白激酶,抑制乙酰辅酶 A 羧化酶 1 和固醇调节元件结合蛋白 1c 的表达,从而在转录水平上抑制脂肪酸和甘油三酯合成相关酶^[29]。此外,沙棘果油在基因和蛋白表达水平上可以促进游离脂肪酸氧化和分解,同时抑制甘油三酯和脂肪酸的合成。沙棘果油还可以通过增加乳酸菌、粪杆菌和异杆菌的相对丰度,降低厚壁菌

门/拟杆菌门的比例,从而丰富高脂血症小鼠的肠道菌群,促进脂肪在胃肠道中的消化吸收^[30]。降血糖方面,口服沙棘汁显著抑制高脂饮食小鼠的胰岛素抵抗^[31]。通过调节晚期糖基化终末产物及其受体信号通路的关键靶点和代谢物,沙棘总黄酮对于抗 2 型糖尿病也有一定的疗效^[32]。在一项研究中,葡萄糖调节受损患者服用沙棘果泥数周后,空腹血糖检测结果有轻微下降趋势^[33]。

2.3 肝脏疾病

沙棘中化学成分对于肝脏具有一定的保护作用。大量实验比较发现,半乳糖醛酸含量和分子量较高的沙棘具有较高的黏度和较强的交联网络,表现出较强的胆汁酸结合能力,对肝脏也具有更强的保护作用,这为研究沙棘活性成分最佳提取方法提供科学依据^[11]。既往研究报道,沙棘通过抗炎、抗氧化特性以及对胶原合成的抑制作用从而对肝细胞表现出保护作用。一项研究发现,在免疫性肝损伤过程中,沙棘可以通过抑制 NF- κ B 信号的转导来逆转细胞色素 P450 3A 的下调,从而保护肝功能^[34]。除此之外,沙棘可能通过抑制 NF- κ B 信号转导和调控环磷酸腺苷/蛋白激酶 A/环磷酸腺苷反应元件结合蛋白/细胞色素 P450 2D6 通路,逆转细胞色素 P450 2D6 的下调,从而恢复肝脏的代谢功能^[35]。这其中涉及对酶的转录、翻译和翻译后的调控,而 NF- κ B 是沙棘的分子靶点的发现可能推动临床治疗乙型肝炎和其他免疫相关肝病的优化发展。其次,沙棘活性成分也具有一定的解酒作用。一项研究中,沙棘汁经过发酵后其总黄酮、总三萜及相关短链脂肪酸的含量显著升高,改善酒精引起的肝损伤,并且高剂量沙棘发酵液组逆转了酒精引起的肠道微生物群厚壁菌门/拟杆菌门比值的下降趋势^[36]。沙棘果油对于代谢综合征也具有一定的药理活性。实验结果表明,食用沙棘可以降低甘油三酯、总胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇和高密度脂蛋白胆固醇,对代谢功能异常的人,可以影响血液循环中的脂质代谢但不影响血糖、血压和 BMI^[37]。此外沙棘果油还可以抑制转氨酶的活性,增加血清的抗氧化活性,改善肝损伤^[38]。

2.4 免疫疾病

大量实验证明,沙棘具有抗菌、抗炎、抗病毒活性,可以通过在细胞分子水平上调节免疫应答的强度和时机,来维持人体免疫平衡。沙棘成分提取方法的不同会影响它对于免疫功能的调节。一项研究采用不同的溶剂体系,分别对沙棘水醇叶提取物分离得到 3 种馏分,体外实验结果表明,平行甲醇提取中的成分通过抑制 NO、诱导型一氧化氮合酶和环氧化酶-2 的表达和促炎细胞因子水平,在分子水平调节免疫反应,对脂多糖(lipopolysaccharide, LPS)刺激表现出较强抗炎活性^[39]。沙棘多糖也可以调节免疫功能。研究证实沙棘多糖对 LPS 诱导的猪小肠上皮细胞炎症、紧密连接破坏和凋亡的影响,并发现其分子机制与 Toll 样受体 4/NF- κ B 信号通路的抑制有关^[40]。与橙子柠檬相比,沙棘果实中

含有更多维生素 C,通过抑制核因子 κ B 抑制蛋白激酶 α/β 、核因子 κ B 抑制蛋白 α 、NF- κ B p65、诱导型一氧化氮合酶和环氧化酶-2 来抑 LPS 诱导的小鼠单核巨噬细胞白血病细胞中 NO 的产生,以及白细胞介素-6 和肿瘤坏死因子- α 的活性从而降低免疫强度^[41]。研究探索沙棘多糖预处理后脂多糖诱导的猪小肠上皮细胞可调控的必要蛋白和免疫相关通路,结果显示,预处理增加细胞中密蛋白 2、胰岛素样生长因子 2 的水平,并降低磷酸化的 MAPK7、核因子 κ B p65 亚基、NF- κ B1 和 NF- κ B2 的水平,通过抑制 MAPK/NF- κ B 信号通路及其相关差异表达蛋白减轻 LPS 诱导的小鼠单核巨噬细胞白血病细胞炎症反应,从而降低免疫过度应答^[42]。用 70% 甲醇提取沙棘果皮得到的提取物含有倍半萜、苯丙烷异二聚体和茎毒素 C,具有对单纯疱疹病毒 2 型感染的非洲绿猴肾细胞的剂量依赖性抑制作用,通过抗病毒增强免疫功能^[43]。沙棘果实提取物富含原花青素,它的吸收与分解可以选择性动员参与再生和修复功能的干细胞,从而参与组织修复,调节局部炎症^[44]。

2.5 胃肠道疾病

有研究以 2 型糖尿病小鼠肠道微生物群落的分布为研究对象,探讨沙棘蛋白对肠道微生物调控的影响,发现添加沙棘蛋白的小鼠胃肠道内的双歧杆菌、乳酸杆菌、拟杆菌和球虫梭菌种群恢复,这表明沙棘蛋白可以增加小鼠胃肠道微生物多样性^[45],促进消化吸收并维持胃肠道环境稳定。有学者发现沙棘冻干粉改善了高脂饮食诱导的肥胖及相关脂质代谢紊乱,而这种改善与肠道微生物群有关,冻干粉可以增加厚壁菌门/拟杆菌门的比例,降低有害菌的相对丰度并增加有益菌的相对丰度,从而改善胃肠道细菌的结构组成^[46]。此外,沙棘多糖多酚在体内外均具有显著的抗结肠癌活性,能够以 miRNAs 为新的治疗靶点治疗结肠癌^[47]。沙棘果实的水提取物还可以改善胃肠道的一些炎症反应程度。沙棘果实的水提取物通过防止 LPS 的吸收和减少免疫细胞和上皮细胞释放的趋化因子,降低了所有测试模型中大多数促炎细胞因子的分泌,从而预防代谢性疾病引起的低度慢性炎症^[48]。沙棘多糖对于胃肠道疾病也有一定活性,通过调节肠道微生物组织结构,减轻肠道屏障损伤、炎症反应和脂多糖侵入血液循环^[49]。

2.6 其他

除了上述常见疾病,沙棘在特定疾病上也效果显著。在眼科疾病上,沙棘油和含透明质酸钠的眼

险喷雾乳剂明显改善了干眼症患者的干燥症状并且降低发病频率^[50]。在骨类疾病上,沙棘可以通过抑制酪蛋白激酶 2 结合蛋白 1 和 Notum 的表达并且激活 Wnt/ β -连环蛋白信号通路,增加雌激素水平,从而改善肾虚型绝经后骨质疏松症大鼠的骨形态测量性能,进而缓解骨质疏松症状^[51]。对于皮肤,沙棘油通过维持辅助性 T 细胞 1(type 1 helper T cell, Th1)/Th2 的平衡,对二硝基氯苯诱导的特应性皮炎小鼠在全身或区域上均作用有效^[52];沙棘籽油衍生产物的一种组分富含棕榈酸,对两种皮肤细胞均具有促进细胞增殖的特性^[53],并且使用沙鼠刺敷料可以减少伤口愈合时间,缩短二级烧伤的治疗过程,并且疗效优于 1% 磺胺嘧啶银敷料^[54]。对于神经系统,沙棘叶提取物可以通过上调老龄沙鼠海马齿状回的神经发生相关因子促进细胞增殖和神经母细胞分化^[55];沙棘黄酮类化合物还可以通过激活磷脂酰肌醇 3-激酶 (phosphoinositide 3-kinase, PI3K)/蛋白激酶 B 和细胞外信号调节激酶 (extracellular signal-regulated kinase, ERK) 通路诱导神经元细胞分化,模拟神经营养功能,进而治疗各种大脑疾病如神经退行性疾病^[56]。此外,对于妇科疾病,鼠李糖酯 L 及其封装纳米乳液可以改善激素失衡,从而改善多囊卵巢综合征^[57];对于呼吸系统,沙棘总黄酮通过抑制 ERK、PI3K/蛋白激酶 B 和蛋白激酶 C α 通路,从而对脂多糖联合香烟烟雾诱导的气道炎症具有强大的保护作用^[58]。

3 总结与展望

综上所述,沙棘作为一种药食同源的植物,在医药健康领域具有良好开发前景,但当前应用仍然匮乏。国内对于沙棘的研究曾一度火热,但缺乏对其完整作用机理的系统性阐述,并且对于不同沙棘化学成分的提取方法的研究整合不充分,多数局限于研究沙棘多糖与黄酮的提取方法。在化学成分上,生育酚、沙棘多糖和黄酮类是近年来的研究热点,其提取条件要求较低,且化学结构清楚;在药理作用上,对于抗氧化、抗肿瘤、神经保护的药理活性研究是热点,但对于具体机理的研究不够全面,可以借助合成生物学,高效合成沙棘中类似生育酚、鼠李多糖等活性成分进行精准研究,减少对中草药资源的依赖,通过基因工程优化药物的代谢途径。未来,在国家政策的大力鼓励和支持中医药发展的背景下,对于沙棘的研究将进入新阶段,在科学技术的发展下,其药理活性也将得到更好的发掘与利用。

【参考文献】

- [1] 党晓宏,高永,汪季,等.沙棘林能源价值及平茬复壮技术研究[J].干旱区资源与环境,2013,27(2):176-180.
- [2] CHEN C, XU X M, CHEN Y, et al. Identification, quantification and antioxidant activity of acylated flavonol glycosides from sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* ssp. *sinensis*)[J]. *Food Chem*, 2013, 141(3): 1573-1579.
- [3] LEI J M, YANG J B, BAO C Y, et al. Isorhamnetin: what is the *in vitro* evidence for its antitumor potential and beyond?[J]. *Front Pharmacol*, 2024, 15: 1309178.
- [4] GENG Z H, WANG J, ZHU L C, et al. Metabolomics provide a novel interpretation of the changes in flavonoids during sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) drying[J]. *Food Chem*, 2023, 413: 135598.
- [5] FANG R, VEITCH N C, KITE G C, et al. Enhanced profiling of flavonol glycosides in the fruits of sea buckthorn(*Hippophae rhamnoides*)[J]. *J Agric Food Chem*, 2013, 61(16): 3868-3875.
- [6] FATIMA T, KESARI V, WATT I, et al. Metabolite profiling and expression analysis of flavonoid, vitamin C and tocopherol biosynthesis genes in the antioxidant-rich sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) [J]. *Phytochemistry*, 2015, 118: 181-191.
- [7] TELESZKO M, WOJDYŁO A, RUDZIŃSKA M, et al. Analysis of lipophilic and hydrophilic bioactive compounds content in sea buckthorn (*hippophae rhamnoides* L.) berries[J]. *J Agric Food Chem*, 2015, 63(16): 4120-4129.
- [8] ŻUCHOWSKI J, PECIO Ł, MARCINIĄK B, et al. Unusual isovalerylated flavonoids from the fruit of sea buckthorn(*Elaeagnus rhamnoides*)grown in Sokółka, Poland[J]. *Phytochemistry*, 2019, 163: 178-186.
- [9] ZOMPRA A A, CHASAPI S A, KARAGKOUNI E C, et al. Metabolite and bioactive compounds profiling of meteora sea buckthorn berries through high-resolution NMR analysis[J]. *Metabolites*, 2021, 11(12): 822.
- [10] WANG Z, ZHAO F L, WEI P P, et al. Phytochemistry, health benefits, and food applications of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.): a comprehensive review[J]. *Front Nutr*, 2022, 9: 1036295.
- [11] LI Q Y, DOU Z M, DUAN Q F, et al. A comparison study on structure-function relationship of polysaccharides obtained from sea buckthorn berries using different methods: antioxidant and bile acid-binding capacity[J]. *Food Sci Hum Wellness*, 2024, 13(1): 494-505.
- [12] ARIMBOOR R, VENUGOPALAN V V, SARINKUMAR K, et al. Integrated processing of fresh Indian sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) berries and chemical evaluation of products[J]. *J Sci Food Agric*, 2006, 86(14): 2345-2353.
- [13] KALLIO H, LASSILA M, JÄRVENPÄÄ E, et al. Inositols and methylinoisotols in sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) berries[J]. *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci*, 2009, 877(14-15): 1426-1432.
- [14] YANG Y, LI M, SUN J, et al. Microwave-assisted aqueous two-phase extraction of polysaccharides from *Hippophae rhamnoides* L.: Modeling, characterization and hypoglycemic activity[J]. *Int J Biol Macromol*, 2024, 254(pt 1): 127626.
- [15] AABY K, MARTINSEN B K, BORGE G I A, et al. Bioactive

- compounds and color of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) purees as affected by heat treatment and high-pressure homogenization[J]. *Int J Food Prop*, 2020, 23(1): 651-664.
- [16] ANDERSSON S C, RUMPUNEN K, JOHANSSON E, et al. Tocopherols and tocotrienols in sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries during ripening[J]. *J Agric Food Chem*, 2008, 56(15): 6701-6706.
- [17] CHEN Y, CAI Y F, WANG K, et al. Bioactive compounds in sea buckthorn and their efficacy in preventing and treating metabolic syndrome[J]. *Foods*, 2023, 12(10): 1985.
- [18] REN R R, LI N, SU C, et al. The bioactive components as well as the nutritional and health effects of sea buckthorn[J]. *RSC Adv*, 2020, 10(73): 44654-44671.
- [19] OLAS B. Sea buckthorn as a source of important bioactive compounds in cardiovascular diseases[J]. *Food Chem Toxicol*, 2016, 97: 199-204.
- [20] LIN X M, YUEN M, YUEN T N, et al. Regulatory effect of sea-buckthorn procyanidins on oxidative injury HUVECs[J]. *Front Nutr*, 2022, 9: 850076.
- [21] GUO R X, CHANG X X, GUO X B, et al. Phenolic compounds, antioxidant activity, antiproliferative activity and bioaccessibility of Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries as affected by *in vitro* digestion[J]. *Food Funct*, 2017, 8(11): 4229-4240.
- [22] DIENAITĖ L, BARANAUSKIENĖ R, RIMANTAS VENSKUTONIS P. Lipophilic extracts isolated from European cranberry bush (*Viburnum opulus*) and sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) berry pomace by supercritical CO₂ - Promising bioactive ingredients for foods and nutraceuticals[J]. *Food Chem*, 2021, 348: 129047.
- [23] TKACZ K, GIL-IZQUIERDO Á, MEDINA S, et al. Phyto-prostanols, phytofurans, tocopherols, tocotrienols, carotenoids and free amino acids and biological potential of sea buckthorn juices[J]. *J Sci Food Agric*, 2022, 102(1): 185-197.
- [24] DĄBROWSKI G, CZAPLICKI S, SZUSTAK M, et al. Composition of flesh lipids and oleosome yield optimization of selected sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) cultivars grown in Poland[J]. *Food Chem*, 2022, 369: 130921.
- [25] LEE H H L, LEE C J, CHOI S Y, et al. Inhibitory effect of sea buckthorn extracts on advanced glycation endproduct formation[J]. *Food Chem*, 2022, 373(Pt B): 131364.
- [26] GAO S, HU G S, LI D, et al. Anti-hyperlipidemia effect of sea buckthorn fruit oil extract through the AMPK and Akt signaling pathway in hamsters[J]. *J Funct Foods*, 2020, 66: 103837.
- [27] DINKAR GORE D, AHMAD F, TIKOO K, et al. Comparative quantitative analysis of fruit oil from *Hippophae rhamnoides* (seabuckthorn) by qNMR, FTIR and GC-MS[J]. *Chin Herb Med*, 2023, 15(4): 607-613.
- [28] LI T S C, BEVERIDGE T H J, DROVER J C G. Phytosterol content of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) seed oil: Extraction and identification[J]. *Food Chem*, 2007, 101(4): 1633-1639.
- [29] CHEN S K, WEI W X, HUANG F Y, et al. Research on the mechanism of sea buckthorn leaf Fu tea in the treatment of hyperlipidemia[J]. *Heliyon*, 2024, 10(12): e32343.
- [30] HUANG P M, CHEN Z H, LI W Z, et al. Inquiry of modulatory role of sea buckthorn fruit oil on dyslipidemia and gut microbiota in hyperlipidemia mice[J]. *Food Sci Hum Wellness*, 2025, 14(4): 9250098.
- [31] MULATI A, MA S B, ZHANG H B, et al. Sea-buckthorn flavonoids alleviate high-fat and high-fructose diet-induced cognitive impairment by inhibiting insulin resistance and neuroinflammation[J]. *J Agric Food Chem*, 2020, 68(21): 5835-5846.
- [32] YANG X J, LIU Y R, TANG Z S, et al. Total flavonoids of *Hippophae rhamnoides* L. improves type 2 diabetes symptoms in rats through down-regulating of the DAG/PRKCA/MAPK10/p65/TNF- α signalling pathway[J]. *J Ethnopharmacol*, 2024, 318(Pt A): 116962.
- [33] REN Z X, GONG H T, ZHAO A, et al. Effect of sea buckthorn on plasma glucose in individuals with impaired glucose regulation: a two-stage randomized crossover intervention study[J]. *Foods*, 2021, 10(4): 804.
- [34] LIU F T, WANG T, LI X X, et al. Involvement of NF- κ B in the reversal of CYP3A down-regulation induced by sea buckthorn in BCG-induced rats[J]. *PLoS One*, 2020, 15(9): e0238810.
- [35] ZOU H Q, HAO P P, CAO Y Y, et al. *Hippophae rhamnoides* reverses decreased CYP2D6 expression in rats with BCG-induced liver injury[J]. *Sci Rep*, 2023, 13: 17425.
- [36] RAN B B, GUO C E, LI W D, et al. Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) fermentation liquid protects against alcoholic liver disease linked to regulation of liver metabolome and the abundance of gut microbiota[J]. *J Sci Food Agric*, 2021, 101(7): 2846-2854.
- [37] GENG Y P, WANG J, CHEN K, et al. Effects of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) on factors related to metabolic syndrome: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trial[J]. *Phytother Res*, 2022, 36(11): 4101-4114.
- [38] TERESHCHUK L, STAROVOYTOVA K, BABICH O, et al. Sea buckthorn and rosehip oils with chokeberry extract to prevent hypercholesterolemia in mice caused by a high-fat diet *in vivo*[J]. *Nutrients*, 2020, 12(10): 2941.
- [39] TANWAR H, Shweta, SINGH D, et al. Anti-inflammatory activity of the functional groups present in *Hippophae rhamnoides* (Seabuckthorn) leaf extract[J]. *Inflammopharmacology*, 2018, 26(1): 291-301.
- [40] ZHAO L, LI M Y, SUN K C, et al. *Hippophae rhamnoides* polysaccharides protect IPEC-J2 cells from LPS-induced inflammation, apoptosis and barrier dysfunction *in vitro* via inhibiting TLR4/NF- κ B signaling pathway[J]. *Int J Biol Macromol*, 2020, 155: 1202-1215.
- [41] BAEK S C, LEE D, JO M S, et al. Inhibitory effect of 1, 5-dimethyl citrate from sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) on lipopolysaccharide-induced inflammatory response in RAW 264.7 mouse macrophages[J]. *Foods*, 2020, 9(3): 269.
- [42] ZHAO L, GENG T T, SUN K C, et al. Proteomic analysis reveals the molecular mechanism of *Hippophae rhamnoides* polysaccharide intervention in LPS-induced inflammation of IPEC-J2 cells in piglets[J]. *Int J Biol Macromol*, 2020, 164: 3294-3304.
- [43] RÉDEI D, KÚSZ N, RAFAI T, et al. 14-Noreudesmanes and a phenylpropane heterodimer from sea buckthorn berry inhibit Herpes simplex type 2 virus replication[J]. *Tetrahedron*, 2019,

- 75(10): 1364-1370.
- [44] DRAPEAU C, BENSON K F, JENSEN G S. Rapid and selective mobilization of specific stem cell types after consumption of a polyphenol-rich extract from sea buckthorn berries (*Hippophae*) in healthy human subjects[J]. *Clin Interv Aging*, 2019, 14: 253-263.
- [45] YUAN H B, SHI F F, MENG L N, et al. Effect of sea buckthorn protein on the intestinal microbial community in streptozotocin-induced diabetic mice[J]. *Int J Biol Macromol*, 2018, 107(Pt A): 1168-1174.
- [46] GUO C, HAN L, LI M, 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): E265.
- [47] WU H L, LI C L, CUI M M, et al. Polyphenols from *Hippophae rhamnoides* suppressed colon cancer growth by regulating miRNA-mediated cell cycle arrest and apoptosis *in vitro* and *in vivo*[J]. *J Funct Foods*, 2021, 87: 104780.
- [48] LASKOWSKA A K, WILCZAK A, SKOWROŃSKA W, et al. Fruits of *Hippophae rhamnoides* in human leukocytes and Caco-2 cell monolayer models-a question about their preventive role in lipopolysaccharide leakage and cytokine secretion in endotoxemia[J]. *Front Pharmacol*, 2022, 13: 981874.
- [49] LAN Y, MA Z Y, CHANG L L, et al. Sea buckthorn polysaccharide ameliorates high-fat diet induced mice neuroinflammation and synaptic dysfunction *via* regulating gut dysbiosis[J]. *Int J Biol Macromol*, 2023, 236: 123797.
- [50] LARMO P, JÄRVINEN R, LAIHIA J, et al. Effects of a sea buckthorn oil spray emulsion on dry eye[J]. *Contact Lens Anterior Eye*, 2019, 42(4): 428-433.
- [51] YUAN Y F, WANG S, ZHOU H, et al. Exploratory study of sea buckthorn enhancing QiangGuYin efficacy by inhibiting CKIP-1 and Notum activating the Wnt/ β -catenin signaling pathway and analysis of active ingredients by molecular docking[J]. *Front Pharmacol*, 2022, 13: 994995.
- [52] WANG X X, LI S J, LIU J P, et al. Ameliorative effects of sea buckthorn oil on DNCB induced atopic dermatitis model mice *via* regulation the balance of Th1/Th2[J]. *BMC Complementary Med Ther*, 2020, 20(1): 263.
- [53] DUDAU M, CODRICI E, TARCOMNICU I, et al. A fatty acid fraction purified from sea buckthorn seed oil has regenerative properties on normal skin cells[J]. *Front Pharmacol*, 2021, 12: 737571.
- [54] ABDULLAHZADEH M, SHAFIEE S. To compare the effect of sea buckthorn and silver sulfadiazine dressing on period of wound healing in patients with second-degree burns: a randomized triple-blind clinical trial[J]. *Wound Repair Regen*, 2021, 29(5): 732-740.
- [55] AHN J H, CHEN B H, PARK J H, et al. *Hippophae rhamnoides* L. leaves extract enhances cell proliferation and neuroblast differentiation through upregulation of intrinsic factors in the dentate gyrus of the aged gerbil[J]. *Chin Med J*, 2014, 127(23): 4006-4011.
- [56] XIA C X, GAO A X, DONG T T, et al. Flavonoids from Seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) mimic neurotrophic functions in inducing neurite outgrowth in cultured neurons: Signaling *via* PI3K/Akt and ERK pathways[J]. *Phytomedicine*, 2023, 115: 154832.
- [57] HUSSAIN L, RANA S B, ABBAS G, 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.
- [58] REN Q C, LI X H, LI Q Y, et al. Total flavonoids from sea buckthorn ameliorates lipopolysaccharide/cigarette smoke-induced airway inflammation[J]. *Phytother Res*, 2019, 33(8): 2102-2117.
- [收稿日期] 2025-02-17 [修回日期] 2025-06-18
[本文编辑] 费永和

(上接第 446 页)

- [40] PANG X, ZHAO J Y, YU H Y, et al. Secoiridoid analogues from the fruits of *Ligustrum lucidum* and their inhibitory activities against influenza A virus[J]. *Bioorg Med Chem Lett*, 2018, 28(9): 1516-1519.
- [41] 胡冬梅, 陆杨, 房敏峰, 等. 特女贞苷对四氯化碳致小鼠急性肝损伤的保护作用 [J]. *中国药理学通报*, 2016, 32(9): 1260-1263.
- [42] 郭涛. 红景天苷对青光眼相关细胞因子和小梁网纤维化的抑制作用 [D]. 上海: 上海交通大学, 2018.
- [43] 张明发, 沈雅琴. 红景天苷及其苷元酪醇的抗炎、抗肿瘤和免疫调节作用 [J]. *药物评价研究*, 2013, 36(3): 228-234.
- [收稿日期] 2025-03-04 [修回日期] 2025-04-15
[本文编辑] 崔俐俊