

# 沙棘籽原花青素提取、纯化及抗氧化功能研究进展

张东卓 李亮<sup>(通讯作者)</sup> 库琳 何玥 邱梦煜 江梦萍

西安培华学院, 陕西西安, 710125;

**摘要:** 全球人口老龄化加快, 大众健康意识与护肤需求持续升级, 抗衰老、抗氧化相关研究受到广泛关注。利用天然药物抗氧化成分降低皮肤细胞内源性氧化应激是减缓皮肤衰老的有效手段。原花青素是国际公认的高效天然抗氧化剂, 具备强抗氧化、清除自由基、抗癌抗肿瘤、预防心血管疾病等功效。除葡萄籽、山楂外, 沙棘籽同样富含原花青素, 具备较高开发价值。本文综述沙棘籽原花青素的提取、纯化及抗氧化功能研究进展, 为沙棘资源深度开发与医药领域合理利用提供理论依据。

**关键词:** 沙棘籽原花青素; 提取; 纯化; 抗氧化

**DOI:** 10.69979/3029-2808.26.04.082

沙棘 (*Hippophae rhamnoides* L.) 为胡颓子科沙棘属植物, 是藏医、蒙医传统用药, 《四部医典》早有其药用记载, 2020年版《中国药典》将其列为法定药材, 以干燥成熟果实入药, 主治咳嗽、消化不良等。现代研究表明, 沙棘富含维生素、黄酮、酚酸等多种活性成分, 在心脏保护、抗动脉粥样硬化、抗菌、促伤口愈合及皮肤抗衰美白等领域应用前景广阔。我国沙棘资源占全球95%, 广泛分布于西北、西南等地区, 不同部位药理活性各异, 其中沙棘籽原花青素抗氧化性能突出, 可高效清除自由基、抑制脂质过氧化、稳定生物膜结构。

原花青素(OPC)是由黄烷-3-醇单体缩合而成的聚多酚类物质, 主要由儿茶素、表儿茶素聚合而成, 二~五聚体为低聚原花青素(OPC), 五聚体以上为高聚原花青素(PPC)。低聚体人体吸收效率更高, 在沙棘各部位中含量最高, 其清除自由基能力约为维生素E的50倍、维生素C的20倍, 可100%被人体吸收, 体内作用时长达27小时, 且自由基抑制能力呈浓度依赖性。毒理学实验证实沙棘叶与残渣无毒、无蓄积性毒害。本文系统梳理沙棘籽原花青素(SBPC)的提取、纯化及抗氧化功能研究进展, 为其深度开发提供依据。

## 1 沙棘籽原花青素的提取技术研究

### 1.1 水提法

水提法以水为溶剂, 依靠分子间作用力提取水溶性物质, 具有操作简便、安全、易回收等优点, 适合提取含羟基、糖基的原花青素。梅金龙<sup>[1]</sup>等比较水、70%乙醇、70%丙酮三种溶剂的提取效果, 结果显示70%丙酮提取率最高, 70%乙醇与水提取率相近。丙酮易挥发、毒性较大, 不适用于规模化生产; 乙醇成本高于水。经正交优化, 水提法最佳工艺为: 料液比1:10, 50℃

提取1h, 沙棘籽原花青素得率为1.12%。

### 1.2 有机溶剂提取法

乙醇为常用亲水性有机溶剂, 对植物活性成分溶解度好、易回收、提取物活性高、提取速度快。郝玲锐<sup>[2]</sup>等采用乙醇提取鄂尔多斯沙棘籽原花青素, 在单因素试验基础上, 通过Box-Behnken试验设计与Design-Expert 12软件优化, 得到最佳工艺: 乙醇浓度70%, 料液比1:7, 提取温度50℃, 提取时间50min。

### 1.3 降解法

高聚原花青素(PPC)分子量大、跨膜能力弱、生物利用度低。降解法通过生物或化学手段将PPC转化为低聚原花青素(OPC), 提升吸收效率与抗氧化活性。

#### 1.3.1 微生物降解法

微生物降解利用微生物代谢将大分子有机物分解为小分子化合物。原花青素的生物利用度与活性高度依赖聚合度(DP)。王恒永<sup>[3]</sup>等采用D. 什特紫青霉降解沙棘原花青素, 可有效降低高聚体比例, 提升低聚原花青素生成率与自由基清除能力。

#### 1.3.2 亚硫酸降解法

亚硫酸降解效率高、操作简便、成本低, 适合工业化生产。蓝静<sup>[7]</sup>等以儿茶素结合亚硫酸为解聚剂, 最优工艺为: 料物比0.45:1、亚硫酸添加量6%、反应时间31min、反应温度40℃, 降解后平均聚合度由5.92降至1.83, 对DPPH、ABTS<sup>+</sup>、OH<sup>·</sup>的清除能力分别为降解前的3.31倍、1.28倍、1.21倍。张馨笛<sup>[4]</sup>等优化蓝靛果高聚原花青素亚硫酸降解工艺, 最优条件: 亚硫酸浓度1.0mol/L、超声功率290W、液料比3:1(mL/mg)、反应时间30min, 平均聚合度由7.17

降至 1.47, 抗氧化活性显著提升, DPPH 与 ABTS 自由基 IC50 分别提升 6.99 倍与 6.58 倍。因产品多用于食品与药品, 后续需完善降解后亚硫酸去除工艺。

### 1.3.3 催化氢降解法

催化氢解以  $H_2$  + 催化剂选择性断裂高聚原花青素 C4-C8/C4-C6 键, 生成低聚体与单体, 常用钨碳 (Pd/C) 为催化剂。王运来<sup>[11]</sup> 等优化沙棘籽原花青素催化氢解工艺: 氢气压力 2.5 MPa、降解温度 80℃、反应时间 150 min、催化剂用量 0.05 g, 平均聚合度由 13.4 降至 8.2。对比三种降解方法效果: 微生物降解 > 亚硫酸降解 > 催化氢降解。

### 1.4 酶法提取

酶法利用特定酶催化分解细胞壁, 释放胞内活性成分, 具有条件温和、选择性高、对有效成分破坏小等优点。常用纤维素酶、果胶酶, 复合酶效果优于单一酶。欧阳健<sup>[6]</sup> 等采用超声辅助复合酶(纤维素酶 + 果胶酶) 提取沙棘籽粕原花青素, 经响应面优化最优工艺: 超声功率 250 W、室温、酶用量 3%、提取时间 55 min、料液比 1:30 g/mL、pH 5.0, 提取 3 次, 提取得率达 3.07%。

### 1.5 低共熔溶剂提取

低共熔溶剂 (DES) 由氢键供体与氢键受体按特定摩尔比形成, 具有低蒸气压、高稳定性、可生物降解、成本低等优势, 是绿色新型提取溶剂。李国昊<sup>[8]</sup> 等采用含水量 50% 的氯化胆碱 - 1,4 - 丁二醇 DES 提取沙棘籽原花青素, 经单因素与响应面优化, 最佳工艺: 料液比 1:41 (mL/mg)、提取温度 61℃、时间 3.3 h, 提取量达 47.591 mg/g。

### 1.6 超声波辅助提取

超声波提取利用空化效应破碎细胞, 提升传质效率, 具有快速、高效、低温等特点。郭建峰<sup>[4]</sup> 采用超高压前处理 + 超声波提取, 最优工艺: 料液比 1:15 g/mL、超声时间 28 min、温度 45℃、pH 2.85, 沙棘籽粕原花青素得率 6.556%, 平均聚合度 3.35, 主要为二聚体、三聚体及部分黄酮类物质。不同提取方法的得率差异, 与沙棘产地、生长周期、温度、光照、pH 等因素相关。原花青素在高温、碱性、紫外光条件下稳定性较差。传统提取工艺持续优化, 超临界  $CO_2$ 、低共熔溶剂等新技术逐步应用, 可有效提升提取率与抗氧化活性。

## 2 沙棘籽原花青素的纯化

中药常用纯化方法包括液 - 液萃取、膜分离、柱

色谱等, 其中大孔吸附树脂法应用最广泛。大孔树脂依靠孔径与极性差异实现吸附分离, 具有成本低、可放大、效果稳定、可再生等优势。郝玲锐<sup>[2]</sup> 等比较 D101、X-5、AB-8、LAS-10、NKA-9 五种大孔树脂对沙棘籽原花青素的吸附与解吸性能, 结果显示: X-5 吸附率 91.26%、解吸率 93.61%; AB-8 吸附率 89.47%、解吸率 90.36%, 两种树脂效果最优。综合成本与再生性, 优选 AB-8 树脂用于沙棘籽原花青素纯化, 可多次重复使用, 降低生产成本。

## 3 沙棘籽原花青素抗氧化功能测定

沙棘籽原花青素体外抗氧化活性优异, 总还原能力、清除 DPPH、ABTS、羟自由基、超氧阴离子自由基等均呈剂量依赖性。

### 3.1 清除 ABTS 自由基能力

吴雪<sup>[12]</sup> 等研究显示, 0~40  $\mu\text{g/mL}$  范围内, 沙棘籽原花青素对 ABTS 阳离子自由基清除率随浓度升高而提升, 40  $\mu\text{g/mL}$  时清除率达 87.08%, IC50 为 16.34  $\mu\text{g/mL}$ , 低于维生素 C (23.41  $\mu\text{g/mL}$ ), 抗氧化能力更强。郭建峰<sup>[4]</sup> 测得超声辅助提取的沙棘籽原花青素 ABTS 自由基清除能力为 1.307 mmol Trolox/g DW。李国昊<sup>[8]</sup> 等发现, 低浓度下沙棘籽原花青素抗氧化能力优于维生素 C, 高浓度被反超; 6.4 mg/mL 时维生素 C 清除率 92.43%, 沙棘籽原花青素为 86.74%, IC50 分别为 0.160 mg/mL 与 0.220 mg/mL。

### 3.2 清除 DPPH 自由基能力

刘鑫颖<sup>[13]</sup> 研究表明, 沙棘籽原花青素浓度 0.050~0.100 mg/mL 时, DPPH 自由基清除率达 93.51%~94.56%, 呈高效清除作用。吴雪<sup>[12]</sup> 等测得沙棘籽原花青素 DPPH 自由基 IC50 为 0.4974  $\mu\text{g/mL}$ , 显著低于维生素 C (4.806  $\mu\text{g/mL}$ ), 清除能力更强。李国昊<sup>[8]</sup> 等发现, 低浓度下沙棘籽原花青素略优于维生素 C, 高浓度弱于维生素 C; 4.0 mg/mL 时维生素 C 清除率 90%, 沙棘籽原花青素为 85%, IC50 分别为 0.184 mg/mL 与 0.281 mg/mL。

### 3.3 羟自由基清除能力

郝玲锐<sup>[2]</sup> 等测得相同浓度下, 羟自由基清除能力: 原花青素对照品 > 沙棘籽原花青素 > 维生素 C, IC50 分别为 0.03962 mg/mL、0.04139 mg/mL、0.05537 mg/mL。李国昊<sup>[8]</sup> 等发现, 沙棘籽原花青素清除羟自由基能力弱于维生素 C, 6.4 mg/mL 时维生素 C 清除率 97.87%, 沙棘籽原花青素为 84.66%。

## 4 结语

沙棘资源丰富、活性成分多样,沙棘籽原花青素作为强效天然抗氧化剂,在抗衰老、皮肤健康、医药保健等领域价值突出。传统提取方法以水提、醇提为主,但温度等因素易影响稳定性;降解法可将高聚体转化为低聚体,显著提升抗氧化活性,但需完善产物纯化与安全性控制;大孔树脂(AB-8)是目前沙棘籽原花青素纯化的优选方法,适合工业化应用。

当前葡萄籽原花青素研究体系成熟,沙棘籽原花青素与其药理活性相近,可借鉴其研究思路进一步优化提取、纯化工艺,完善结构鉴定、体内代谢、安全性评价与产品开发研究。未来应围绕绿色提取、高效降解、定向纯化、功能验证、产业化转化五大方向,推动沙棘籽原花青素在药品、保健食品、护肤品等领域的高值化利用,为沙棘资源可持续开发提供支撑。

### 参考文献

- [1]梅金龙,胡长鹰,唐年初,等.沙棘籽粕原花青素提取纯化工艺研究[J].中国油脂,2010,35(07):50-53.
- [2]郝玲锐.鄂尔多斯沙棘籽原花青素的提取纯化及抗氧化活性的研究[D].内蒙古农业大学,2022.
- [3]王恒永.真菌降解沙棘原花色素的初步研究[D].黑龙江大学,2010.
- [4]郭建峰,郝浩然,胡培毅,等.沙棘籽粕低聚原花青素的制备及结构与抗氧化活性分析[J].中国食品学报,2023,23(6):232-245.
- [5]张朝,唐志书,刘红波.沙棘原花青素的提取、纯化及药理学研究进展[J].中南药学,2017,15(07):943-946.
- [6]欧阳健,金家宏,王洪伦.响应面法优化纤维素酶协同提取沙棘籽粕原花青素的工艺研究[J].天然产物研究与开发,2015,27(9):1589-1594,1563.
- [7]蓝静,任香芸,苏昊,等.儿茶素协同亚硫酸解聚山葡萄籽高聚原花青素及抗氧化研究[J].食品与机械,2025,41(07):149-157.
- [8]李国昊,孙宇轩,毕秀芳,等.低共熔溶剂提取沙棘籽中的原花青素及抗氧化活性研究[J].食品科技,2025,50(09):179-188.
- [9]Liu N,Li L,Wang Y,etal.The degradation of proanthocyanidins: dynamic mechanisms to digital

solutions.[J].Critical reviews in food science and nutrition,2025,1-33.

- [10]王泽,潘先杰,邓泽强,等.沙棘黄酮的提取方法及沙棘黄酮在畜禽生产中的应用[J].饲料工业,2026,47(04):10-16.
- [11]王运来.棘籽原花色素不同降解方法对比研究[D].黑龙江大学,2011.
- [12]吴雪,李毅诺,董永惠,等.沙棘原花青素的抗氧化和 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性[J].食品科学,2025,46(06):63-72.
- [13]刘鑫颖.沙棘籽原花青素抗皮肤衰老作用研究[D].西北农林科技大学,2024.
- [14]张馨笛,王崑仑,朱玲,等.蓝靛果高聚原花青素的降解条件优化及其抗氧化活性[J].食品研究与开发,2026,47(04):92-100.

作者简介:张东卓(2005.05),女,民族:汉,籍贯:陕西省渭南市,学历:本科在读,职称:无,单位:无,邮编:710125 研究方向:沙棘籽原花青素提取、纯化、抗氧化能力。

李亮,(1990.01.30),女,汉族,陕西省西安市,西安培华学院,710125,副教授,硕士研究生,理学硕士,药学。

库琳(2004.01),女,民族:汉,籍贯:陕西省咸阳市,学历:本科在读,职称:无,单位:无,邮编:710125 研究方向:沙棘籽原花青素提取、纯化、抗氧化能力。

何玥(2004.06),女,民族:汉,籍贯:内蒙古自治区鄂尔多斯市,学历:本科在读,职称:无,单位:无,邮编:710125 研究方向:沙棘籽原花青素提取、纯化、抗氧化能力。

邱梦煜(2005.07),女,民族:汉,籍贯:陕西省安康市,学历:本科在读,职称:无,单位:无,邮编:710125 研究方向:沙棘籽原花青素提取、纯化、抗氧化能力。

江梦萍(2005.03),女,民族:汉,籍贯:广西省贺州市,学历:本科在读,职称:无,单位:无,邮编:710125 研究方向:沙棘籽原花青素提取、纯化、抗氧化能力。

课题信息:陕西省大学生创新训练计划项目,《沙棘籽原花青素功能性面膜的研制及生物活性评估》(项目编号 S202511400027)