

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4949.2026.05.041

•综述•

沙棘果及其活性成分在成骨再生与美学修复中作用的研究进展

于甜甜¹, 赵今^{1,2}

[1. 新疆医科大学第一附属医院(附属口腔医院)牙体牙髓科, 新疆 乌鲁木齐 830054;

2. 新疆维吾尔自治区口腔医学研究所, 新疆 乌鲁木齐 830054]

[摘要] 成骨分化潜能与骨再生效率, 直接决定骨组织病损的功能重建与形态美学修复效果。然而, 传统骨修复常用的人工骨替代物、异体骨移植等方法, 存在生物相容性欠佳、成骨活性有限等问题, 难以充分满足临床对“功能恢复与形态美学并重”的核心需求。因此, 筛选天然来源、安全性高且促成骨活性明确的生物活性物质, 对推动骨组织病损修复重建领域的发展具有重要意义。沙棘果作为药食同源的天然食材, 营养成分丰富且药理活性广泛, 在促进细胞增殖、加速组织修复及抗炎抗氧化等方面效果确切。沙棘及其活性成分可有效促进成骨细胞分化、加速骨基质矿化, 对骨缺损修复与骨再生具有积极调控作用。本文系统综述沙棘果活性成分对成骨分化的影响及相关分子机制, 并重点聚焦其在骨缺损美学修复中的应用价值, 以期天然药物在骨组织病损功能-美学一体化修复中的临床转化提供理论参考。

[关键词] 沙棘果活性成分; 成骨再生; 美学修复; 骨缺损

[中图分类号] R285

[文献标识码] A

[文章编号] 1004-4949(2026)05-0169-04

Research progress on the Role of Seabuckthorn Fruit and its Active Ingredients in Osteogenic Regeneration and Aesthetic Restoration

YU Tiantian¹, ZHAO Jin^{1,2}

[1. Department of Endodontics, the First Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University (Affiliated Stomatological Hospital), Urumqi 830054, Xinjiang, China;

2. Xinjiang Uygur Autonomous Region Institute of Stomatology, Urumqi 830054, Xinjiang, China]

[Abstract] Osteogenic differentiation potential and bone regeneration efficiency directly determine the functional reconstruction and morphological aesthetic restoration of bone tissue defects. However, traditional methods for bone repair such as artificial bone substitutes and allogeneic bone grafting have problems including poor biocompatibility and limited osteogenic activity, which can hardly fully meet the core clinical demand of paying equal attention to functional recovery and morphological aesthetics. Therefore, screening bioactive substances with natural source, high safety and clear osteogenic activity is of great significance for promoting the development of bone tissue defect repair and reconstruction. As a natural medicine and food homologous material, seabuckthorn fruit is rich in nutrients and has a wide range of pharmacological activities, with definite effects in promoting cell proliferation, accelerating tissue repair, anti-inflammation and anti-oxidation. Seabuckthorn and its active ingredients can effectively promote osteoblast differentiation and accelerate bone matrix mineralization, and play a positive regulatory role in bone defect repair and bone regeneration. This paper systematically reviews the effects of seabuckthorn fruit active ingredients on osteogenic differentiation and related molecular mechanisms, focusing on their application value in aesthetic restoration of bone defects, so as to provide a theoretical reference for the clinical transformation of natural medicines in the integrated functional-aesthetic restoration of bone tissue defects.

[Key words] Seabuckthorn fruit active ingredients; Osteogenic regeneration; Aesthetic restoration; Bone defect

第一作者: 于甜甜(1998.9-), 女, 新疆伊犁人, 硕士研究生, 主要从事天然药物对口腔疾病的防治方面研究

通讯作者: 赵今(1967.9-), 女, 云南大理人, 博士, 主任医师, 教授, 主要从事天然药物对口腔疾病的防治方面研究

骨缺损 (bone defect) 特指骨组织连续性破坏导致结构与功能异常, 尤其在外源性损伤引发骨皮质或松质骨机械功能障碍时, 不仅会影响患者运动能力及生理功能^[1], 更会直接破坏面部骨骼轮廓的完整性与对称性。而面部骨骼作为软组织的支撑框架, 其形态完整度是口腔美容修饰、面部整形修复及创伤后外观重建的核心基础, 骨缺损若未得到有效修复, 易导致面部凹陷、咬合紊乱、软组织下垂等美容相关问题, 严重影响患者外在美观及生活质量。现有研究表明^[2], 骨组织具有自愈潜能, 但当组织缺损量超过临界尺寸时, 单纯依靠自身修复难以实现结构与美容效果的双重恢复, 需通过骨增量技术实施功能与形态的同步重建。同种异体、异种和人工骨移植是临床实践中最常用的治疗或修复方法。然而, 自体骨移植存在来源有限、供区损伤及并发症等问题; 异体骨与人工骨替代材料则面临生物相容性不足、免疫排斥、成骨活性较弱以及远期修复效果不稳定等困境, 极大地制约了其在临床实践中的应用。在此背景下, 寻找来源广泛、安全性高、作用温和且效果确切的天然促成骨物质对骨科、口腔颌面外科及医学美容临床材料学领域具有重要的现实意义。沙棘 (*Hippophae rhamnoides* Linn.) 作为典型的药食同源天然植物, 富含黄酮类、多酚类、维生素以及多种微量元素^[3], 具备抗炎、抗氧化、调节细胞代谢、促进组织修复等多重生物学活性^[4-6], 在多种组织损伤修复模型中均表现出良好的应用前景。近年来, 越来越多的基础研究证实^[7, 8], 沙棘果及其主要活性成分可通过调控关键细胞信号通路、改善局部骨再生微环境、调节细胞增殖与分化等方式, 有效促进成骨分化并增强骨再生能力, 在骨缺损修复与美容重建领域展现出巨大的开发潜力。本文就沙棘果及其活性成分对成骨分化的调控作用及在医学美容修复领域的应用前景进行系统综述, 以期天然药物在骨再生与美容修复领域的深入研究、临床转化与开发应用提供理论参考。

1 沙棘果中的主要活性成分与成骨再生作用

1.1 沙棘中黄酮类化合物与成骨再生作用 沙棘中的黄酮主要存在于根、茎、叶、花和果实中, 在果实中的含量尤为丰富, 逐渐成为当今学者的研究热点。在骨修复过程中, 适时且有效地促进

炎症的消退, 是构建有利于骨再生的微环境的关键先决条件。值得注意的是, 沙棘果富含黄酮类物质, 这些物质在抗炎方面展现出显著的功效。依据徐凤英^[9]所进行的研究及其所得实验结果, 发现不同浓度下的沙棘总黄酮在均能有效抑制核因子- κ B/核苷酸结合寡聚化结构域样受体蛋白3 (NF- κ B/NLPR3) 信号通路, 进而抑制由脂多糖 (LPS) 诱导的巨噬细胞内促炎性细胞因子肿瘤坏死因子- α (TNF- α) 和白介素1 β (IL-1 β) 的表达。类似地, Mulati A等^[10]报道, 沙棘黄酮显著逆转高脂高果糖饮食诱导的小鼠海马中一氧化氮合酶 (iNOS) 过表达, 并降低 IL-1 β 和环氧合酶-2 (COX-2) mRNA水平, 抑制高脂高果糖饮食诱导的炎症反应。

1.2 沙棘中维生素与成骨再生作用 沙棘果实是天然的维生素富集体, 富含叶酸、泛酸、维生素C、维生素E及少量B族维生素 (B₁、B₂、B₆) 等活性成分, 其独特的维生素组成与含量是其发挥促成骨作用的重要物质基础。其中, 沙棘果的维生素C含量尤为突出, 因此被誉为“维生素C之王”, 而这一高含量特性正是沙棘促成骨效应的核心优势之一。维生素C可诱导原代牛成骨细胞分化, 显著增加细胞外基质胶原、骨连接蛋白 (osteonectin) 及骨钙素 (osteocalcin) 的合成^[11], 同时在动物实验中, 依托维生素C补充, 卵巢切除小鼠的骨丢失与成骨细胞耗竭得到有效保护, 且能通过上调成骨细胞分化基因表达、抑制炎症环境中破骨细胞骨吸收, 进一步强化沙棘的骨保护作用^[12]。从沙棘果实或种子中提取的维生素E, 其含量相较于花生、芝麻、大豆等作物更高。维生素E是一种强效的抗氧化剂和自由基清除剂, 能够激活抗氧化酶系统, 从而有效抵御氧化应激所导致的损伤。它通过增强体内的抗氧化防御机制, 清除自由基和脂质过氧化物, 进而预防氧化应激的发生, 保护骨健康^[13]。维生素E能够显著减轻雌激素缺乏对骨密度的不良影响, 维持适宜的维生素E水平对于骨骼的正常钙化和骨密度的保持至关重要^[14]。

1.3 沙棘果中的三萜酸类、甾体类化合物与成骨再生作用 沙棘果富含多样化的萜类化合物, 具体包括熊果酸、齐墩果酸、羽扇豆醇和橡醇等成分。这类成分是沙棘实现骨保护、促进成骨分化的重要物质基础, 也是其区别于其他天然植物的重要优势。熊果酸是从沙棘果中分离得到的一种

五环三萜化合物，它展现出抗氧化、抗炎及抗菌等多重生物学活性与治疗潜力，且具有安全性高、有效性强及毒性低的优点。Lee SU等^[15]从沙棘果提取物中分离得到了4种三萜类化合物，并使用小鼠间充质干细胞（C3H10T1/2）评估其促成骨细胞方向分化和方面的潜力，发现熊果酸对成骨细胞分化的影响最显著。另一项研究表明^[16]，熊果酸可在一定浓度范围内促进大鼠骨髓间充质干细胞增殖，并通过激活Wnt/ β -catenin信号通路，上调ALP、COL-I、OCN、OPN、RUNX2等成骨相关基因表达，促进骨髓间充质干细胞向成骨细胞定向分化。由此可见，熊果酸在促成骨细胞分化和促进新骨形成方面具有显著的潜力。

1.4 沙棘果中的脂肪酸与成骨再生作用 沙棘果富含丰富的油脂，其中沙棘油作为最具价值的组成部分，包含籽油与浆油两种，其脂肪含量均较高，且籽油的脂肪含量相较于浆油更高^[17]。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。在骨代谢的调控机制中OPG/RANKL/RANK信号轴扮演着关键角色。有研究指出^[18]，棕榈酸（PA）可通过上调RANKL表达、下调OPG表达并降低OPG/RANKL比值，与静压力产生协同作用，共同促进牙周膜细胞介导的骨改建；且该调控效应表现出明显的年龄依赖性。据此推断，沙棘果内含的棕榈油酸或许对抑制破骨细胞活性亦有所贡献，进而在促进骨生成与抑制骨吸收的双重调控过程中，对骨量维护产生有利影响。

2 沙棘果及其活性成分在美学修复中的应用

近年来，随着再生医学与材料学的交叉融合，沙棘及其活性成分在促成骨形成领域的研究不断深化，为其在美学修复中的应用提供了更为坚实的科学基础。沙棘及其活性成分因天然安全性、明确的促成骨活性及多效药理作用，在美学修复领域受到广泛关注。研究发现^[19]，沙棘来源的细胞外囊泡（SAEVs）可通过aau-miR168调控LBH/RUNX2信号通路，促进骨髓间充质干细胞成骨分化，并在股骨缺损模型中加速骨再生。此外，沙棘黄酮（异鼠李素、槲皮素、山奈酚）也被证实能通过干预骨重塑、矿化及氧化应激发挥骨保护作用。这些进展为其在牙槽骨

增量、面部骨缺损美容重建及种植美容修复等方向的应用提供了科学基础。具体应用场景可归纳为以下三类：

2.1 牙槽骨萎缩修复与口腔美容提升 牙槽骨萎缩常见于牙周病进展，不仅影响咬合功能，还会因骨量不足改变牙龈形态和面部下部轮廓，进而影响口腔美观及种植修复的实施。沙棘果活性成分通过调控成骨信号通路，促进成骨细胞增殖分化和骨基质矿化^[15]，有助于改善牙槽骨量不足——既为种植体提供稳固骨支持，又通过恢复牙槽骨形态改善牙龈退缩、面部凹陷等问题，实现功能与美学的双重优化。

2.2 面部骨缺损的美容重建 面部外伤、先天骨骼畸形或颌骨肿瘤术后常伴骨缺损，导致轮廓不对称、软组织塌陷，影响外观与心理健康。沙棘果活性成分具有温和而有效的促成骨作用，可辅助骨增量技术实现缺损区域的精准修复。通过促进新骨生成、优化修复微环境^[20]，帮助恢复面部骨骼的完整性和对称性，为后续软组织修复创造条件，实现功能重建与美容修复的协同。

2.3 医美修复材料与骨填充材料开发 随着医学美容对材料天然性、安全性和生物相容性的要求提高，传统人工骨填充材料生物活性不足、与自体组织融合欠佳的缺点日益显现。沙棘果活性成分作为天然促骨剂，可与羟基磷灰石、胶原支架等生物材料复合，开发新型骨修复填充物。近期研究^[21]探索了沙棘酚类提取物涂层NiTi合金的可行性，证实其具有持续释放特性，为兼具骨整合促进功能的双效植入材料提供了新思路。这类复合材料适用于牙槽骨增量、微小骨缺损填充等场景，可降低异物感和排异风险，提升填充效果的长效性。

3 总结与展望

沙棘果及其活性成分能够作用于多靶点信号通路，诱导成骨过程，从而促进骨再生，这在骨缺损修复与美容重建领域具有重要研究价值与应用潜力。此外，依托沙棘果独特的药理特性，其还能有效缓解由氧化应激、感染及炎症反应所导致的细胞成骨分化受阻，这为伴有牙周炎症、颌面部创伤后感染的骨缺损美容修复提供了新的治疗思路。同时，作为组织工程有成骨诱导效应的药物，沙棘果需要合适的支架材料负载其进行局部缓释或控释，并向骨缺损部位精准释放，刺

激骨髓腔内成骨相关细胞的增殖与成骨分化, 刺激骨再生修复, 在牙槽骨缺损、颌骨整形修复等部位靶向刺激成骨相关细胞增殖分化, 推动骨再生, 这对维持口腔颌面部骨量、保障美容修复的长期稳定性意义重大。此外, 沙棘果为混合物, 成分复杂, 而骨缺损发病机制众多, 可利用网络药理学和分子对接的研究方法, 探索其相关作用机制, 为临床上进一步研究沙棘的作用机制、运用沙棘果研发治疗骨缺损相关新药提供参考。尽管如此, 关于沙棘果及其活性成分的研究目前仍处于初步阶段, 主要聚焦于细胞层面及动物模型的实验探索。此外, 为确保其安全性, 还需综合考虑给药剂量与制剂形式, 以期最终能将沙棘果开发成为适用于临床治疗的药物。因此, 寻找性能优良的载体材料, 合适的负载方式, 明确沙棘果的作用机制及有效剂量, 确保其在骨缺损部位持续高效地发挥作用。未来, 围绕这些关键问题的深入研究, 或将推动沙棘果成为口腔颌面部医学美容骨修复领域的新型天然活性材料, 为临床美容修复提供更优质的选择。

[参考文献]

- [1] Habibovic P. Strategic Directions in Osteoinduction and Biomimetics[J]. *Tissue Eng Part A*, 2017, 23(23-24):1295-1296.
- [2] 李世伟, 谢晓丽, 杨晓东, 等. 超声微泡转基因技术促增强型绿色荧光蛋白基因在骨缺损处转染的实验研究[J]. *中国修复重建外科杂志*, 2017, 31(4):437-442.
- [3] 王晓琴, 徐僮, 刘悦, 等. 沙棘属药用植物亲缘学研究进展[J]. *世界中医药*, 2021, 16(15):2217-2227.
- [4] 王欣欣, 陈小艳, 李思佳, 等. 沙棘果油对超抗原诱导的对应性皮炎小鼠激素抵抗的干预作用及机制[J]. *中国药房*, 2023, 34(17):2079-2084.
- [5] 赵鑫丹, 戈素芬, 高岩, 等. 沙棘果渣黄酮类成分的体外抗氧化及降血脂活性[J]. *中国食品学报*, 2025, 25(12):80-89.
- [6] 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(自然科学版)*, 2020, 35(4):340-344.
- [7] Martiniakova M, Penzes N, Biro R, et al. Sea buckthorn and its flavonoids isorhamnetin, quercetin, and kaempferol favorably influence bone and breast tissue health[J]. *Front Pharmacol*, 2024, 15:1462823.
- [8] 凡军, 曹丽萍. 异鼠李素激活p38信号促进鼠间充质干细胞成骨分化[J]. *中华关节外科杂志(电子版)*, 2021, 15(4):432-437.
- [9] 徐凤英. 沙棘叶总黄酮对DSS诱导的小鼠溃疡性结肠炎的缓减作用及机制研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古医科大学, 2021.
- [10] Mulati A, Ma S, Zhang H, 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.
- [11] Dragomir C, Popa A, Gorea M. Role of Vitamin C in Osteoporosis Development and Treatment-A Literature Review[J]. *Journal of Clinical Densitometry*, 2025, 28(2):189-201.
- [12] Choi HK, Kim GJ, Yoo HS, et al. Vitamin C Activates Osteoblastogenesis and Inhibits Osteoclastogenesis via Wnt/ β -Catenin/ATF4 Signaling Pathways[J]. *Nutrients*, 2019, 11(3):506.
- [13] 方兵. 天然抗氧化剂在食品工业中的应用探究[J]. *中外食品工业*, 2024(23):23-25.
- [14] 谢华, 吴铁, 李青南, 等. 维生素 E 对去卵巢大鼠骨组织计量学的影响[J]. *中国老年学杂志*, 2001, 21(4):304-306.
- [15] Lee SU, Park SJ, Kwak HB, et al. Anabolic activity of ursolic acid in bone: stimulating osteoblast differentiation in vitro and inducing new bone formation in vivo[J]. *Pharmacol Res*, 2008, 58(5-6):290-296.
- [16] 刘耀辉, 黄振明, 何精选, 等. 熊果酸干预骨髓间充质干细胞增殖与成骨分化[J]. *中国组织工程研究*, 2019, 23(17):2665-2671.
- [17] 高雅馨, 侯占群, 任迪峰, 等. 沙棘籽油微胶囊的制备及氧化稳定性评价[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(20):169-176.
- [18] 王阳阳, 崔占琴, 李文静, 等. 棕榈酸和静压力对不同年龄人牙周膜细胞中骨保护素配体和骨保护素表达的影响[J]. *实用口腔医学杂志*, 2025, 41(4):531-537.
- [19] Zhao M, Chen X, Wang W, et al. Sea buckthorn-derived extracellular vesicles foster bone regeneration through aau-miR168-mediated pathways[J]. *Stem Cell Res Ther*, 2025, 16(1):281.
- [20] Wong SK, Chin KY, Ima-Nirwana S. The Osteoprotective Effects Of Kaempferol: The Evidence From In Vivo And In Vitro Studies[J]. *Drug Des Devel Ther*, 2019, 13:3497-3514.
- [21] Park KH, Hong JH, Kim SH, et al. Anti-Osteoporosis Effects of the Fruit of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) through Promotion of Osteogenic Differentiation in Ovariectomized Mice[J]. *Nutrients*, 2022, 14(17):3604.