

石斛生物活性成分及其生理作用研究进展

蔡路昀^{1,2}, 范欣怡^{1,2}, 栾倩^{1,2*}

(1.浙江大学宁波国际科创中心, 浙江宁波 315100) (2.浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 浙江杭州 310058)

摘要: 石斛 (*Dendrobium*) 作为传统中药材, 历来在传统医学中占有重要地位, 广泛应用于滋补养生、增强免疫力、抗疲劳等方面。近年来, 石斛的生物活性成分及其生理作用的研究取得了显著进展。石斛中的活性成分主要包括多糖、生物碱、黄酮类、芪类、酚类等。在生理作用方面, 石斛被广泛研究在抗衰老、抗氧化、抗肿瘤、抗糖尿病及保肝等领域。该文综述了石斛的生物活性成分及其生理作用应用的研究进展, 并总结其在医药、食品、化妆品领域的发展现状, 为石斛属植物的开发和利用提供参考。

关键词: 石斛; 药食同源; 化学成分; 生物活性

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2026.3.1629

Progress in the Study of Bioactive Components and their Physiological Effects in *Dendrobium*

CAI Luyun^{1,2}, FAN Xinyi^{1,2}, LUAN Qian^{1,2*}

(1.Ningbo Global Innovation Center, Zhejiang University, Ningbo 315100, China) (2.College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: *Dendrobium*, as a traditional Chinese herbal medicine, has always occupied an important position in traditional medicine, and is widely used in nourishing and nourishing health, enhancing immunity, anti-fatigue and so on. In recent years, the research on the bioactive components of *Dendrobium* and its physiological effects has made remarkable progress. The active ingredients in *Dendrobium* mainly include polysaccharides, alkaloids, flavonoids, astragalus, phenols and so on. In terms of physiological effects, *Dendrobium* has been widely studied in the fields of anti-aging, antioxidant, antitumor, antidiabetic and hepatoprotective. This article reviews the research progress on the bioactive components of *Dendrobium* and their physiological action applications in medicine and food, and summarizes its current development in the fields of medicine, food and cosmetics, so as to provide a reference for the development and utilization of *Dendrobium*.

Key words: *Dendrobium*; medicinal food; chemical composition; biological activity

石斛 (*Dendrobium*) 是兰科多年生附生草本植物, 在中国有着丰富的种类分布。目前在中国发现 78 种石斛, 其中 14 种为中国特有^[1]。常见种类包括霍山石斛、铁皮石斛、金钗石斛等^[2]。作为药食两用的名贵中药材, 石斛被誉为“中华九大仙草”之首^[3]。《神农本草经》将其誉为上品药材, 描述其性味表现为甘淡微咸, 性寒, 归胃、肾、肺三经。石斛具有显著的医疗保健作用, 如益胃生津, 促进胃液分泌, 改善消化功能及滋阴清热, 常用于缓解阴虚火旺、热病伤津等症状^[4-6]。近年来, 随着研究的深入, 石斛被广泛应用于中医控制和治理各种疾病。

石斛富含多种生物活性成分, 包括多糖、生物碱、黄酮、氢苣基和多酚类化合物等。中华人民共和国国家卫生健康委员会^[7]已批准其为药食同源物质。现代研究证实, 石斛具有多种药理作用, 如抗氧化应激^[8]、抗炎^[9]、抗高血压^[10]、抗糖尿病^[11]、免疫调节^[12,13]、抗衰老^[14]、抗肿瘤^[15]和胃肠道保护^[16]以及神经退行性疾病的调节作用^[17], 广泛应用于医药^[18]、食品^[19]、化妆品^[20]等领域。

综上所述, 石斛作为一种药食同源植物, 集医药、食品、化妆品等多领域价值于一体, 具有极高的开发潜力和经济价值。本文系统综述了石斛的生物活性成分及药理作用, 为进一步研究和开发利用提供参考。

1 石斛的生物活性成分

收稿日期: 2024-11-02; 修回日期: 2025-03-22; 接受日期: 2025-03-26

基金项目: 宁波市重点研发计划 (2024Z282); 国家自然科学基金项目 (32402068)

作者简介: 蔡路昀 (1981-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品营养与健康。E-mail: cailuyun@zju.edu.cn

通讯作者: 栾倩 (1991-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 食品营养功效成分开发, E-mail: luanqian@zju.edu.cn

石斛作为珍贵中药材，富含多种生物活性成分，主要包括多糖、生物碱、倍半萜类、黄酮类、芪类、木脂素类等。由于石斛品种繁多，不同石斛的化学成分和分类存在显著差异^[21]。其中，以下几种成分因其特殊的生物活性，受到广泛研究和应用。

1.1 多糖

多糖是石斛属植物主要活性成分之一，具有免疫调节、抗氧化和抗肿瘤等多种生物活性作用。石斛多糖的含量受品种、产地、部位等诸多因素影响。研究表明，不同品种和产地的石斛多糖成分在组成和含量上存在差异。铁皮石斛作为常见品种，药用价值较高，而其多糖种类和含量因生长环境的差异而不同^[22]。此外，多糖的单糖组成也因地区和品种不同而异，不同来源的石斛多糖中均含有木糖、阿拉伯糖、鼠李糖、葡萄糖、甘露糖、果糖、半乳糖和半乳糖醛酸等八种单糖，但其含量差异显著。铁皮石斛、钩状石斛、鼓槌石斛中葡萄糖含量比甘露糖高，而重唇石斛、细茎石斛、金钗石斛中甘露糖含量则高于葡萄糖，云南产地的铁皮石斛多糖中甘露糖与葡萄糖的比例更高，而广东丹霞和浙江产地的石斛多糖在单糖组成比例方面相似^[23]。石斛不同部位的多糖单糖组成也存在差异。一般来说，石斛的茎、叶、花等部位的多糖单糖组成各不相同。从铁皮石斛的叶子中提取的多糖 DLP-1 主要由甘露糖（71.69%）和葡萄糖（22.89%）组成，而 DLP-2 主要由鼠李糖（35.05%）、阿拉伯糖（24.12%）和半乳糖（25.65%）组成^[24]。对于铁皮石斛花，其多糖主要由葡萄糖、甘露糖、半乳糖、半乳糖醛酸和阿拉伯糖 5 种单糖组成，其中甘露糖组成比例最高。茎部的多糖单糖组成也有其特点，研究表明，铁皮石斛茎中的多糖以甘露糖、葡萄糖和少量的半乳糖等为主，但具体比例会因品种、生长环境等因素而有所不同^[25]。

多糖类化合物的开发与利用是石斛研究的热点领域，提取技术的优化对多糖价值的实现至关重要。表 1 总结了不同提取方法的优势和劣势。不同的提取方法对石斛多糖结构的影响有所不同。热水浸提法、酸提法、碱提法等传统提取方法因提取率低、耗时长、能耗高且易破坏多糖活性，逐渐被新技术取代。亚临界水提取是一种利用热压缩水作为极性和非极性化合物溶剂的环境友好提取技术。Liu 等^[26]通过响应面法结合 Box-Behnken 设计，优化了亚临界水提取石斛多糖的条件，得到的最大预测多糖得率为 20.67%。冻融冷压提取（FTCP）提取铁皮石斛多糖时表现出较高的提取率^[27]。与其他方法相比，FTCP 提取的多糖具有更高的分子量和抗氧化活性，表现出高提取率、良好分子链保存和最佳活性等优势。Yang 等^[28]应用亲水性离子液体 1-丁基-3-甲基咪唑氯化物 and 无机盐（K₃PO₄）建立离子液体双水相体系（ILATPS），用于分离霍山石斛多糖（DhPs），其提取效率达到 93.4%。处理后的 DhPs 由甘露糖、葡萄糖、半乳糖、阿拉伯糖和半乳糖醛酸组成，摩尔比为 185:71:1.5:1:1，分子量为 2.14×10⁵ Da。

根据需求选择合适的提取方法是保证石斛多糖结构完整性和生物活性的关键。这些新型绿色提取技术在提取过程中避免了高温长时间加热，最大程度保留了石斛多糖的活性成分和结构完整性。优化的提取技术可更好地发挥石斛多糖的免疫调节、抗氧化、抗肿瘤及降低血糖等功效，为满足不同健康需求的人群提供更精准有效的营养支持。

表 1 多糖提取方法及其优缺点

Table 1 Polysaccharide extraction methods and their advantages and disadvantages			
提取方法	优势	劣势	参考文献
溶剂提取	对设备要求低，操作简单，适合工业化大规模生产	萃取效率低，耗时长，消耗溶剂多	[29,30]
超声波辅助提取	效率高、时间短、设备成本低	温度不易控制且易受影响	[31]
微波辅助提取	加热速度快、效率高、易于控制、操作简单	多糖容易降解且加热不均匀	[32]
酶辅助提取	高效、条件温和、环保、无毒、副作用小	条件难以控制，酶易失活	[33]
超高压提取	效率高、耗时短、可重复性好	难分离纯化、能耗高、成本高	[34]
亚临界提取	高效、环保、选择性好、节能、低成本	设备要求高、操作条件严格	[35]
超临界提取	安全、无毒、低成本、易回收、萃取率高	对萃取环境要求高，设备成本高	[36]

1.2 生物碱

生物碱是石斛中最早被提取并鉴定化学结构的成分^[37]，大多数生物碱具有复杂的氮杂环结构，其中氮原子决定了生物碱化合物的碱度^[38]。根据化学结构的差异，目前在石斛属植物中已发现并表征了 60 种^[39]生物碱。这些

生物碱可分为倍半萜、八氢中氮茛、四氢吡咯、酰胺和咪唑五大类型，分别归属于萜类、哌啶类、吡咯类、有机胺类等大类^[40]。

在不同石斛中，生物碱的含量和种类存在差异。二年生铁皮石斛和铜皮石斛茎叶的生物碱含量较高，表明其药用价值也较高^[41]。与金钗石斛和铁皮石斛相似度较低，霍山石斛生物碱有一种特征型生物碱为6-羟基石斛次碱^[42,43]。

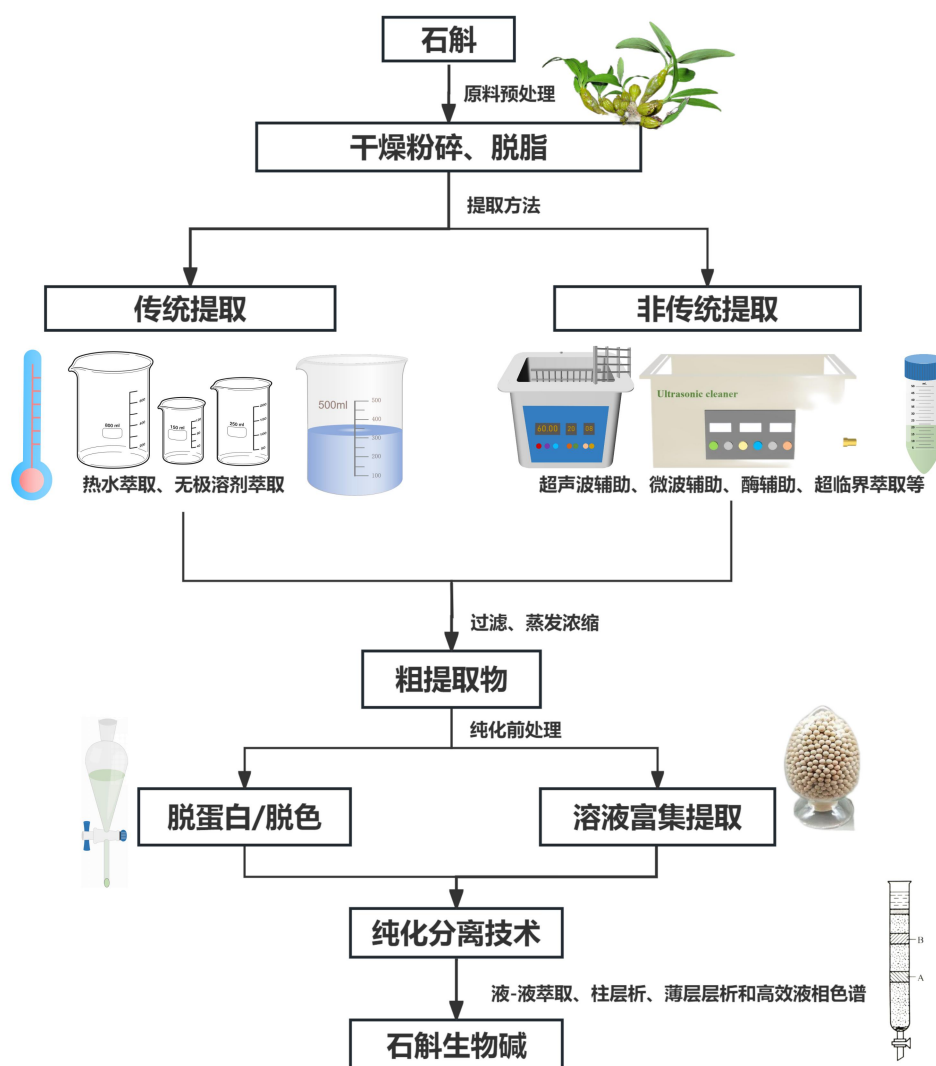


图1 石斛生物碱提取过程

Fig.1 Extraction process of dendrobium alkaloids

生物碱提取与纯化（图1）是天然产物化学研究中的关键步骤，提取过程通常包括原料的预处理、溶剂选择、提取方式等步骤。原料的处理包括通过适当的粉碎与研磨将植物材料处理成颗粒或粉末，从而增加其表面积，促进溶剂的渗透，其中溶剂的选择取决于生物碱的溶解性质，常用溶剂包括极性溶剂如醇类（甲醇、乙醇）和非极性溶剂如氯仿、乙酸乙酯等^[44]。生物碱的提取可分为传统提取和非传统提取两大类。在传统提取中，常使用加热的水浴或有机溶剂进行提取操作，其中加热处理可以提高溶剂对生物碱的溶解能力，非极性溶剂可通过极性差异去除脂溶性杂质。非传统提取技术则使用超声波辅助、微波辅助、酶辅助以及超临界流体提取等现代化方法，能够显著提高生物碱的提取效率，并且能够在相对较低的温度和时间内完成提取^[45]。当固液比为1:40，超声时间为20 min，超声波功率为200 W，复合酶添加量1.5%，酶解时间1.5 h为提取条件时效果最佳，生物碱得率为0.053%^[42]。提取后，得到的粗提取液通过过滤去除植物残渣，并通过蒸发浓缩去除溶剂，获得粗提取物。在纯化前进行脱蛋白、脱色处理以及富集提取可以提高目标成分浓度、去除可能的杂质和有害物质、便于后续处理、降低成本等。生物碱的纯化过程通常借助多种分离技术，如液-液萃取、柱层析、薄层层析和高效液相色谱等^[46]，最终得到纯化

后的生物碱。Hui 等^[47]通过体积分数 70%乙醇提取和液-液萃取获得粗品霍山石斛生物碱提取物 (DHAE), 测得具有以丰富的 6-羟基石斛次碱为代表的特征性生物碱谱。

1.3 黄酮类化合物

现代药理学研究表明, 石斛中的黄酮类化合物具有抗氧化、抗肿瘤和免疫调节等重要作用, 石斛黄酮类化合物多以苷类形式存在, 苷类黄酮是由黄酮骨架与糖分子通过糖苷键结合而成的化合物。霍山石斛中含有大量以芹菜素为苷元的黄酮活性成分, 紫皮石斛中含有多数如山奈酚或槲皮素为苷元的黄酮活性成分^[48]。在霍山石斛根、茎、叶中, 分别鉴定出 53 种、61 种、68 种黄酮类化合物, 且总黄酮含量的分布规律为叶>茎>根^[49]。虽然石斛的活性成分主要集中在茎中, 但近年来研究发现^[50], 铁皮石斛的黄酮类化合物主要集中于铁皮石斛花中, 并且具有很高的抗氧化活性。

石斛黄酮类化合物具有典型的 C6-C3-C6 黄酮骨架结构, 由两个苯环 (A 环和 B 环) 通过中央三碳链连接而成。黄酮类化合物 A 环和 B 环上的取代基 (如羟基和甲氧基-OCH₃) 的位置和数量决定了其种类及其生物活性。石斛中常见的黄酮类化合物包括槲皮素、柚皮素、山奈酚、芦丁和芹菜素等。其中, 槲皮素 (3,5,7,3',4'-五羟基黄酮) 因其多个羟基的存在而表现出较强的抗氧化活性。超声辅助提取法可高效从铁皮石斛中提取槲皮素^[51], 通过响应面法优化提取条件 (如乙醇浓度、固液比和超声功率), 结合高效液相色谱分离, 可显著提高槲皮素的提取率。夏佛塔苷是霍山石斛叶中的一种黄酮类化合物, 研究得其最佳提取工艺为: 乙醇体积分数 70%、料液比 1:30、提取温度 90 °C、提取时间 30 min, 此条件下, 夏佛塔苷得率为 0.3482%^[52]。

柚皮素含量的测定通常采用高效液相色谱法 (HPLC), 该方法具有高灵敏度和良好的线性关系, 能够准确测定柚皮素的含量。对不同产地铁皮石斛中采用 HPLC 测定柚皮素含量比较研究发现, 浙江和云南产地的柚皮素平均含量和甘露糖与葡萄糖色谱图峰面积比均高于贵州产地^[53]。研究表明, 不同产地铁皮石斛中柚皮素的含量存在显著差异。

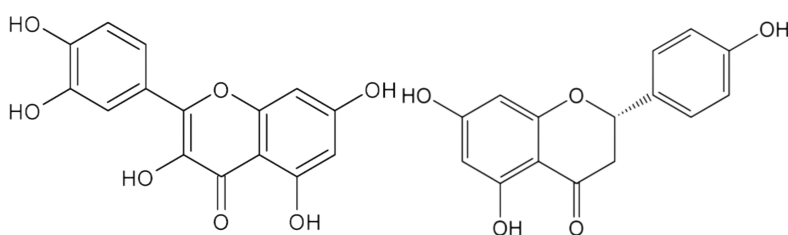


图 2 槲皮素结构式 (左)、柚皮素结构式 (右)

Fig.2 Chemical structure of quercetin (left), Chemical structure of naringenin (right)

此外, 石斛的总黄酮含量随生长年限而变化。研究发现, 霍山石斛的茎在生长第二年黄酮含量最高, 而铁皮石斛和细茎石斛的茎在第三年达到最高含量^[54]。通过对不同生长年限霍山石斛的转录组学和代谢组学分析, 证实生长年限对黄酮类化合物的生物合成具有显著影响。

1.4 芪类化合物

芪类化合物是指具有均二苯乙烯母核或其聚合物结构的一类物质, 主要包括菲类、联苳及其衍生物, 其中菲类化合物的含量较高^[55]。石斛属是兰科植物中的第二大属, 是兰科植物的典型特征成分^[56]。许多石斛在中国被用作传统中药已有数千年历史。目前, 已从 52 种石斛中提取和分离出 267 种具有明确分子结构的芪类化合物, 包括 124 种菲类和 143 种联苳类化合物^[57]。大多数芪类化合物具有抗肿瘤活性, 尤其在石斛属的芪类化合物活性研究中, 抗肿瘤效果尤为突出^[58]。不同的提取方法可能会影响石斛芪类化合物的提取率和活性。提取方法的差异可能导致提取出的芪类化合物的结构和纯度不同, 从而会影响其生物活性^[59]。

菲类化合物是由三个苯环组成的多环芳烃 (图 3), 具有广泛的生物活性, 兰科植物是天然菲类化合物的一个重要来源。目前, 菲类化合物通常在非极性溶剂中分离得到。按骨架类型, 菲类化合物可分为简单菲、二氢菲、菲醌 (酮)、菲呋喃以及菲类二聚体化合物^[60]。

联苳基化合物由两个苳基单元组成, 其基本结构为 1,2-二苳乙烷, 通过单个 C-C 键连接到一个甲基上, 联苳基化合物广泛分布在石斛中, 尤其在茎部提取得较多。毛兰素作为一种典型的联苳基化合物, 含有 2 个多酚醚结

构和酚羟基苯环, 苯环通过 2 个饱和的碳原子连接, 具有较高的化学稳定性和独特的抗肿瘤活性。

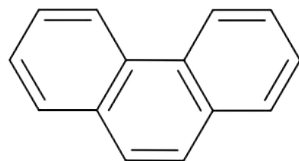


图 3 菲类化合物

Fig.3 Phenanthrene compounds

2 石斛的生物活性

近年来, 石斛生物活性的研究主要集中在抗炎、抗皮肤衰老、抗肿瘤、免疫调节以及保护心血管等方面。

2.1 抗炎作用

炎症反应是身体对损伤或感染的防御机制, 涉及多种免疫细胞类型和细胞信号通路, 包括单核细胞、树突状细胞、中性粒细胞、T 细胞和 B 细胞等^[61]。虽然炎症在免疫防御中起着重要作用, 但其过度反应或慢性炎症可导致多种疾病, 如肝病、哮喘、心血管疾病和癌症^[62]。石斛中的多种活性成分已被证明具有抗炎活性, 主要通过以下几种机制实现。

(1) NF- κ B 信号通路

核转录因子- κ B(NF- κ B)是一个重要的炎症信号分子, 通路分子开关, 其过度活化会引发大量炎症因子的产生, 从而导致炎症反应。研究表明, 霍山石斛多糖, 能够通过抑制 NF- κ B 信号通路的活化, 减少炎症因子的产生。Gu 等^[63]研究也证明, 霍山石斛多糖能够通过抑制 NF- κ B 信号通路, 减轻溃疡性结肠炎大鼠的炎症反应。研究结果显示, 口服霍山石斛多糖两周后, 模型大鼠的结肠重量与长度比、疾病活动指数(DAI)和结肠黏膜损伤指数(CMDI)均显著降低。炎症因子如白细胞介素-1 β 、肿瘤坏死因子- α 、白细胞介素-17 和转化生长因子- β 的水平以及结肠组织切片中的核因子- κ B 水平均显著下降。曹培常等^[64]研究中也验证了上述观点。研究发现, 石斛能够通过降低 NF- κ B 信号通路相关蛋白和 mRNA 的表达水平, 进而抑制炎症反应。赵倩等^[65]以巨噬细胞株 RAW264.7 为研究对象, 探究铁皮石斛糖蛋白(DOKMG)对皮肤炎症期的调控作用及机制, 发现铁皮石斛糖蛋白能够显著促进炎症因子基因表达, 且在质量浓度达到 100 μ g/mL 时, 促进效果最为明显。进一步分析发现, 铁皮石斛糖蛋白不仅能促进炎症因子蛋白的表达, 还能显著增加 NF- κ B 信号通路相关蛋白的磷酸化水平, 证实铁皮石斛糖蛋白通过调节细胞炎症反应来促进伤口愈合。

(2) MAPK 信号通路

MAPK 信号通路包括细胞外信号调节激酶(ERK)、c-Jun 氨基末端激酶(JNK)和 p38MAPK 等亚通路, 在炎症细胞活化和炎症介质的产生过程中发挥关键作用。石斛的活性成分通过抑制 JNK 和 p38MAPK 的磷酸化, 减轻了炎症反应。在细胞应对外界刺激时, MAPK 信号通路被激活, 信号传递至细胞核内, 启动与细胞增殖、分化及炎症反应相关的靶基因转录, 其作用机制可能与调控 MAPK 信号通路的活性有关, 从而影响炎症相关基因的表达, 发挥抗炎作用。研究发现霍山石斛提取物能够通过调节 MAPK 和 NF- κ B 信号通路, 改善干眼症症状。其机制包括上调水通道蛋白(AQP)-5 的表达, 促进细胞迁移, 发挥修复作用, 同时抑制 MAPK 和 NF- κ B 通路的过度激活, 从而有效减轻炎症反应^[66]。

综上所述, 石斛的抗炎作用表现在多个分子通路上, 特别是通过抑制 NF- κ B 和 MAPK 通路的活化, 能够有效减少炎症因子的释放, 抑制炎症细胞的活化因此石斛在治疗炎症性疾病方面具有潜在的应用价值。

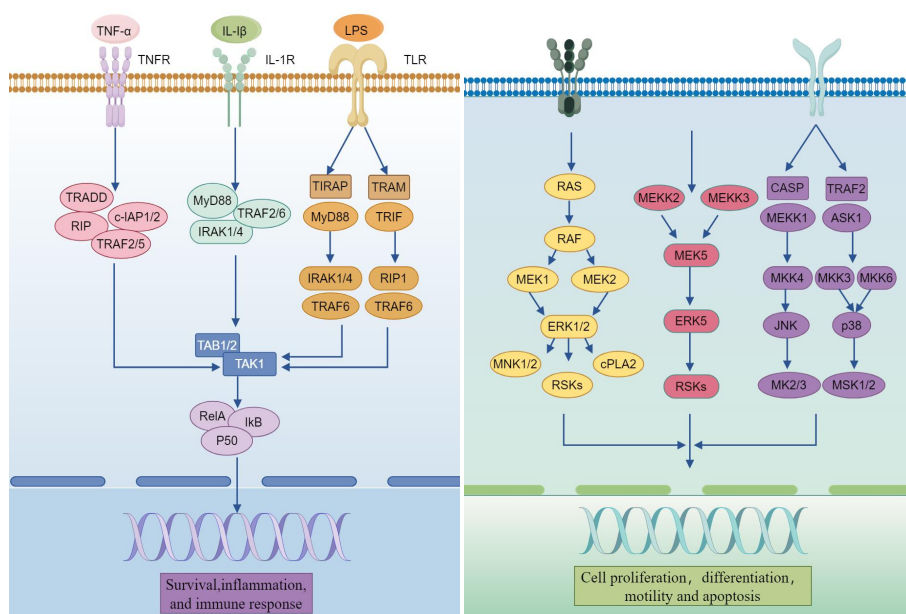


图4 NF- κ B 信号通路示意图（左）、MAPK 信号通路示意图（右）

Fig.4 Schematic diagrams of NF- κ B signaling pathway (left), MAPK signaling pathway (right).

2.2 抗氧化作用

石斛中的多种成分具有抗氧化活性，能够通过抑制脂质过氧化和清除自由基，有效保护细胞免受氧化损伤。Wu 等^[67]研究发现，石斛碱能够提高了酵母在氧化应激下的存活率，显著降低活性氧和丙二醛的水平，同时提高超氧化物歧化酶和过氧化氢酶的酶活性和相关基因表达，从而发挥抗衰老作用。

皮肤老化是由内源性和外源性因素共同驱动的复杂过程^[68]。内源性衰老主要由细胞代谢、端粒缩短、真皮中胶原蛋白降解相关基质金属蛋白酶（MMP）表达增加以及生长因子和激素水平（如性类固醇、褪黑激素、胰岛素和皮质醇）的变化导致的活性氧（ROS）持续形成所引发。相比之下，外源性衰老主要由环境因素引起，包括重力、吸烟、营养不良以及紫外线（UV）过度暴露等。UV 照射会诱导多种 MMPs 的表达，降解 I 型胶原纤维、蛋白多糖、层粘连蛋白和纤连蛋白等真皮基质的重要成分，从而破坏真皮结构，导致真皮塌陷。同时，衰老过程中皮肤屏障受损，水分流失加剧，最终引发皱纹形成和皮肤衰老^[69]。

据文献报道^[70]，在衰老过程中，ROS 可通过激活丝裂原活化蛋白激酶（MAPKs），进一步诱导转录因子激活蛋白-1（AP-1）和 NF- κ B 蛋白的活化。这种信号通路的激活会导致基质金属蛋白酶（MMPs）表达增加，同时抑制转化生长因子- β （TGF- β ）的信号传导，从而加速胶原蛋白的分解，减少胶原蛋白的生物合成，最终促进真皮的老化。机制如图 5 所示，ROS 在真皮老化过程中扮演着重要角色，过量 ROS 的产生会超过皮肤中抗氧化防御的能力^[71]，导致氧化应激，从而损害皮肤细胞并改变其基因表达，从而进一步加剧老化。黄琴等^[72]的研究表明，铁皮石斛提取物能显著清除多种自由基，增强机体抗氧化防御系统，有效延缓衰老过程。此外，石斛多糖通过清除自由基、抑制脂质过氧化等途径发挥抗氧化作用，保护皮肤免受外界环境的损伤。研究发现，石斛多糖可以逆转 UVA 引起的损伤，减少衰老相关- β -半乳糖苷酶（SA- β -Gal）表达，降低 c-Jun 氨基末端激酶通路的磷酸化激活，抑制 MMP-1、MMP-2、MMP-3 和 MMP-9 蛋白表达，防止有效延缓细胞衰老^[73]。

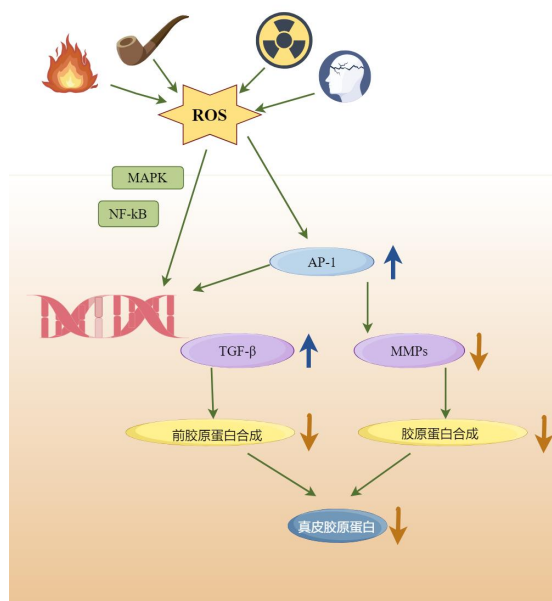


图5 皮肤老化的影响因素及 ROS 介导的相关机制

Fig.5 Factors influencing skin ageing and related mechanisms mediated by ROS

2.3 抗肿瘤和免疫调节作用

如表2所示,石斛属植物中的多糖、生物碱、芪类化合物等化学成分具有抗肿瘤作用。石斛的抗肿瘤机制是多方面协同的,包括细胞周期调控、增强机体免疫功能、抑制肿瘤细胞的迁移以及诱导肿瘤细胞凋亡。这些机制相互配合,共同发挥抗肿瘤作用。

石斛多糖可以激活巨噬细胞、T淋巴细胞、B淋巴细胞等免疫细胞,增强它们的吞噬能力、细胞毒性作用以及分泌免疫活性物质的能力。研究发现,云南、丹霞、浙江三个不同种源的铁皮石斛多糖对两种肿瘤细胞(Hela细胞和 HT-29 细胞)增殖作用有一定影响,其中丹霞种的铁皮石斛多糖片段对两种肿瘤细胞均有较好的抑制增殖作用^[74]。使用 5-氨基水杨酸(5-ASA)和铁皮石斛多糖(DOPS)显著改善了慢性结肠炎的临床症状和体征,减轻了结肠损伤,抑制了结肠癌小鼠结肠肿瘤的形成和生长^[75]。石斛多糖可以提高荷瘤小鼠的胸腺指数和脾脏指数,增加外周血中细胞因子含量,从而增强机体的细胞免疫能力。石斛多糖(DP)处理能够有效抑制小鼠肉瘤(S180)瘤体生长和离体肝肿瘤细胞生长,同时有效提高荷瘤小鼠胸腺指数和脾脏指数,提高外周血中 IL-2 和 TNF- α 含量^[76]。铁皮石斛中的多糖成分通过诱导免疫调节因子的释放,增强机体的免疫反应,进一步抑制肿瘤的生长^[77]。同时石斛多糖还能激活 AMPK/mTOR 自噬信号通路,抑制结肠癌细胞系 CT26 的增殖^[78]。

石斛生物碱因其特有的结构和生物活性备受关注,研究表明其具有免疫调节作用和抗肿瘤等多种生理活性^[79]。Luo 等^[80]研究了石斛碱与顺铂联合治疗非小细胞肺癌的效果,发现石斛碱通过调节细胞的平衡发挥抗肿瘤作用。Heinrich 等^[38]对 HT-29 结肠癌细胞进行体外细胞实验,发现脂溶性生物碱提取物降低 HT-29 结肠癌细胞的存活率,诱导 HT-29 细胞凋亡,抑制细胞周期的 G2 期,从而抑制结肠癌细胞生长。

毛兰素作为一种从石斛中提取的联苄基化合物,展现出良好的抗癌活性,其重要机制之一是诱导肿瘤细胞凋亡。研究表明,毛兰素可使肿瘤细胞阻滞在 S 期,这可能与调控细胞周期蛋白 CyclinA2 和 CDK2 的表达有关。毛兰素的化学结构特性使其能够通过与其蛋白结合,干扰细胞周期的正常进程。此外,毛兰素还可以通过调节内源性或外源性凋亡通路相关信号如 Bcl-2 和 Bax 蛋白的表达水平,影响线粒体膜通透性,进而启动细胞凋亡程序^[81,82]。铁皮石斛芪类化合物可以通过以丙酮酸羧化酶依赖性方式抑制癌细胞的增殖和迁移,其机制为调节丙酮酸羧化酶介导的 Wnt/ β -连环蛋白通路^[83]。

此外,石斛中的多糖、生物碱等化学成分可以激活免疫细胞,从而增强机体的免疫功能。这些成分对多种肿瘤类型,包括肺癌、胃癌、肝癌、乳腺癌、结肠癌、宫颈癌等,均表现出显著的抗肿瘤活性。铁皮石斛还可以通

过多种机制或通路作用于上皮源性的恶性肿瘤，如通过诱导癌细胞凋亡来抑制肿瘤的生长^[84]。相比于传统的放疗和化疗药物，石斛具有毒副作用较低的优势，其天然、安全的特性为石斛新药和新产品的开发提供了广阔的前景。

表 2 石斛活性成分的抗肿瘤作用及其机制

Table 2 Anti-tumor effects of active ingredients of Dendrobium and their mechanisms				
活性	成分	实验模型	作用机制	参考文献
抗肿瘤	多糖	ICR 荷瘤小鼠	显著促进脾细胞增殖，增强 NK 细胞和 CTL 活性，抑制 S180 肿瘤生长	[85]
抗肿瘤	多糖	CRC 小鼠	提高了肿瘤浸润的 CD8+细胞毒性 T 淋巴细胞 (CTLs) 代谢能力，降低 CTLs 上 PD-1 的表达	[75]
抗肿瘤	多糖	MFC 荷瘤小鼠	诱导肿瘤细胞凋亡，抑制肿瘤血管生成，增强 T 细胞免疫反应	[86]
抗肿瘤	多糖	S180 小鼠	促进 IL-2、TNF- α 的分泌	[87]
抗肿瘤	多糖	HeLa 细胞	上调 ERK、JNK 和 p38 的表达诱导细胞凋亡	[88]
抗肿瘤	多糖	CT26 细胞	激活 AMPK/mTOR 自噬信号	[89]
抗肿瘤	多糖	THP-1 巨噬细胞	通过 STAT6/PPAR- γ 和 JAGGED1/NOTCH1 信号通路将 M2 亚型巨噬细胞的极化转化为 M1 亚型	[90]
抗肿瘤	石斛碱	结肠癌 HT-29 细胞	诱导 HT-29 细胞凋亡，抑制细胞周期的 G2 期，从而抑制结肠癌细胞生长	[91]
抗肿瘤	石斛碱	人舌鳞癌细胞 CAL27 细胞	调控 Bcl-2、VEGF、MMP9 及 CDC2 的表达	[92]
抗肿瘤	黄酮类化合物	HepG2 和 Bel-7402 细胞	通过 TGF- β /Smad 和 PI3K/Akt/mTOR 信号通路降低肝癌细胞中 EMT 标志物的表达	[93]
抗肿瘤	芪类化合物-联苳基化合物(4,5,4'-三羟基-3,3'-二甲氧基联苳基)	人肺癌细胞 (H460、H292 和 H23)	诱导细胞凋亡并抑制 PI3K/Akt、p38 和 ERK MAPK 信号通路对癌细胞的侵袭、转移和增殖	[94]
抗肿瘤	芪类化合物-联苳基化合物 (Dendrocandin U)	MH-S 细胞	抑制 TNF- α 、分化簇 86 (CD86) 的表达	[95]
抗肿瘤	芪类化合物-联苳基化合物 (Erianin)	人肝癌 HepG2 细胞	可以调节丙酮酸羧化酶介导的 Wnt/ β -连环蛋白通路	[83]
抗肿瘤	芪类化合物-菲类化合物 (Denbinobin)	SNU-484 人胃癌细胞	下调 B 淋巴细胞瘤-2 (Bcl-2) 和上调兔抗人单克隆抗体(Bax)来诱导细胞凋亡	[96]

2.4 保护心血管作用

石斛具有心血管保护作用，可有效地降低血压、调节心率和预防心血管疾病等。其多糖和酚类成分通过扩张血管、降低血压和调节心率，对心血管系统表现出良好的保护作用。尤其对高血压患者和心血管疾病患者具有重要意义^[69]。

氧化应激是心血管疾病发生发展的重要机制之一。石斛中的多糖等活性成分具有显著的抗氧化能力，可以清除体内过多的 ROS，减少氧化损伤。研究发现，铁皮石斛多糖^[97]能够降低小鼠心肌细胞中丙二醛 (MDA) 水平，增加超氧化物歧化酶 (SOD) 活性，抑制细胞内 ROS 的生成，从而减轻 H₂O₂ 诱导的氧化应激损伤。这一机制对预防心肌细胞氧化损伤及相关心血管疾病具有重要意义。

高血压是危害人类健康的主要心血管疾病质疑，其发病率高且进展迅速^[98]。石斛的多糖成分在降低血脂水平、改善代谢性高血压方面展现出良好的效果。铁皮石斛花水提物可降低自发性高血压大鼠血浆中血管紧张素II的含量，同时显著下调肺脏血管紧张素转换酶 mRNA 的表达水平，从而起到降低血压的作用^[99]。石斛多糖也可以显著降低因过量饮酒和高糖/高脂肪饮食引起的代谢性高血压大鼠血清中总胆固醇 (TC)、甘油三酯 (TG) 和低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-c) 水平，并增加了高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-c) 水平^[100]。这表明石斛在治疗和预防高血压

方面育有重要的应用潜力。

2.5 神经保护作用

石斛具有多种神经保护作用,对阿尔茨海默病、帕金森病和血管性痴呆等神经系统疾病都有一定的治疗潜力。淀粉样斑块的积累是阿尔茨海默病的重要病理特征之一,其减少有助于延缓疾病进展。

研究表明,石斛中生物碱活性成分,已被证明具有神经保护特性^[101]。研究表明^[102],铁皮石斛中的生物碱活性成分能够减少细胞外淀粉样斑块的产生,从而对阿尔茨海默病起到神经保护作用。这一发现表明,石斛生物碱可能通过调节与淀粉样蛋白生成和清除相关的信号通路,改善阿尔兹海默病的病理状况。帕金森病的发生与炎症反应密切相关。霍山石斛多糖和金钗石斛提取物能够降低炎症因子的水平,减轻炎症损伤。霍山石斛多糖^[103]能够降低帕金森病小鼠模型(PD)外周血中炎症因子 IL-1 β 和 TNF- α 的水平,而金钗石斛提取物^[104]可以降低 PD 小鼠纹状体中 TNF- α 、IL-1 β 、IL-6 含量,从而减轻炎症损伤,保护神经元功能。铁死亡是一种新发现的细胞死亡方式,与神经系统疾病的发展密切相关。金钗石斛多糖^[105](DNP)可以通过抑制铁死亡,对血管性痴呆(VD)大鼠起到神经保护作用。DNP 可以上调海马组织中谷胱甘肽(GSH)、轻链亚基(xCT)和谷胱甘肽过氧化物酶 4(GPx4)的表达,抑制铁死亡,从而改善认知功能。

除此之外,石斛多糖能抑制星形胶质细胞和小胶质细胞的过度活化,从而保护神经元免受凋亡和炎症损伤。从而对神经系统疾病发挥显著的缓解作用^[106]。从铁皮石斛茎中分离出的化合物通过相关生物测定发现^[107],部分成分具有促进神经突生长的活性。Xiong 等^[101]研究发现,石斛生物碱可以减轻慢性不可预知压力诱导的抑郁样行为和神经元损伤,为其在治疗抑郁症方面提供理论依据。

2.6 皮肤抗衰老作用

石斛中的黄酮、酚类等活性成分具有抗氧化作用,能够清除自由基,减缓皮肤衰老的进程。自由基是导致皮肤衰老的主要原因之一,可破坏皮肤细胞的结构和功能,使皮肤失去弹性并出现皱纹等老化特征。石斛的抗氧化作用通过抑制自由基的生成和清除过量自由基,帮助保持皮肤的年轻状态。

石斛中的多糖等成分具有良好的保湿功效,能够增加皮肤的水分含量,使皮肤保持水润。特别是在干燥的季节或环境中,皮肤干燥是很多消费者面临的问题。研究表明,金钗石斛植物提取液能够通过促进水通道蛋白、丝聚蛋白及紧密连接蛋白的表达,提升皮肤的保湿能力,有效补水并抚平肌肤表面的鳞屑,使肌肤恢复润泽与光滑。此外,白色石斛(*Dendrobium cv. Khao Sanan*)提取的抗氧化多糖在 22 名泰国志愿者中进行测试显示,其保湿效果优于比未处理的皮肤和基准产品^[108]。谷仿丽等^[109]的研究表明,霍山石斛多糖的保湿效果显著优于传统保湿剂(如丙三醇和海藻酸钠),进一步证实了石斛在高效保湿化妆品中的潜力。

酪氨酸酶是黑色素合成的关键酶,抑制其活性可以减少黑色素生成,从而达到美白的效果。多种石斛提取物(如葛根石斛、齿瓣石斛、金钗石斛等)均表现出了良好的抑制酪氨酸酶活性的能力。此外,卫梦尧^[110]的研究表明,不同分子量的石斛多糖能够通过抑制酪氨酸酶活性,减少细胞内黑色素的合成,从而达到美白效果。在最新的研究中,也证实了高纯度的铁皮石斛多糖具有较好的抗氧化、美白、吸湿、保湿活性^[111]。

2.7 其他生物活性

糖尿病已成为全球健康的重大威胁,尤其是 2 型糖尿病,其高发率和严重并发症对健康构成长期影响^[112]。Li 等^[113]鉴定表征了石斛中 39 种潜在的降糖化合物,包括生物碱、芪类化合物等,显示石斛具有显著的降糖潜力。金钗提取物和金钗多糖已被证明能有效改善 2 型糖尿病大鼠的体重、血糖水平、胰岛素抵抗、血脂异常,并能缓解肝脏和胰腺的形态损伤。

铁皮石斛超细粉末对乙酰氨基酚诱导的肝毒性表现出显著的预防作用^[114],通过降低血清丙氨酸转氨酶和天冬氨酸转氨酶水平,改善肝细胞脂肪变性,显著恢复了谷胱甘肽、过氧化氢酶和总抗氧化能力的活性,同时降低了丙二醛和活性氧的水平,减少了氧化损伤。

研究表明,铁皮石斛与红茶提取物的组合对骨质疏松具有改善作用^[115]。口服该组合的去卵巢大鼠能够维持钙和磷的稳态,显著提高雌二醇和骨保护素水平,同时降低白细胞介素-1 β 、白细胞介素-6 的水平,并改善子宫和股骨的器官系数、骨密度和骨矿物质含量。

用益生菌发酵石斛中的多酚显示出良好的抗氧化作用,并能够调节肠道菌群,提升其生物活性和生物可及性^[116]。此外,石斛膳食纤维^[117]通过上调能量代谢、增加乙酸和牛磺酸,降低血清低密度/极低密度脂蛋白(LDL/VLDL),从而改善肥胖小鼠的代谢表型和肥胖表型。

除此之外,石斛还可能促进毛发生长。研究证明^[118],石斛多糖显著改善了睾酮诱导的毛囊小型化和脱发,其作用机制可能通过调节 Wnt/ β -Catenin 信号通路以及影响毛囊干细胞功能来实现。

3 石斛在医药、化妆品、食品领域中的应用

3.1 在医药中的应用进展

在化学成分研究方面,已发现其含有多糖、生物碱、黄酮类、芪类化合物、挥发油类、氨基酸及微量元素等多种成分。綜上文所述,石斛多糖具有抗氧化、免疫调节等功效,它能通过多种途径调节机体免疫,石斛生物碱则在抗肿瘤、降血糖等方面展现出潜力,通过干扰肿瘤细胞线粒体功能、调节死亡受体途径诱导肿瘤细胞凋亡等,在肠胃保护方面,对胃黏膜损伤、胃溃疡、胃炎等病症有效,能促进胃酸分泌、调节肠胃蠕动、改善肠道菌群平衡以保护胃肠黏膜^[119]。

石斛及其复方制剂的临床应用前景广阔,多与其他中成药、西药联用,以增强临床疗效,主要应用于糖尿病^[120]、慢性胃炎^[121]、乙型肝炎^[122]、支气管炎^[123]、高血压^[124]、冠心病^[125]、妇女宫颈疾病^[126]等常见病的治疗。复方中药石斛夜光丸、石斛散、石斛明目丸、复明片、琥珀还睛丸等石斛方剂^[127]在治疗眼科疾病中也表现出积极作用。

临床研究与应用虽处于探索阶段,但部分石斛提取物已在一些癌症辅助治疗中试用,初步显示出减轻放化疗副作用、增强患者耐受性等优势。随着研究深入,石斛在医药领域有望为攻克诸多疾病提供新的思路与方法,在药物研发、临床治疗及保健养生等多方面将拥有更为广阔的应用前景,其独特的药用价值正逐步被现代医学深入挖掘与阐释。

3.2 在化妆品中的应用进展

石斛作为我国著名的传统名贵药材之一,近年来在化妆品领域有着广泛的应用。不同的提取工艺会影响铁皮石斛中活性成分的稳定性及其功效,先进的提取技术可以更好地保留铁皮石斛中的有效成分,从而提高其在化妆品中的应用效果。目前,铁皮石斛在化妆品中的应用主要集中在各类护肤品中,如面霜、乳液、精华液等。研究表明,铁皮石斛提取物能够提高皮肤的保湿能力,增加皮肤水分含量。一项针对 32 名受试者的临床研究显示,在使用 6 周后,皮肤含水量比使用之前增长 15.34%^[128],这可能是由于其含有多糖等保湿成分,能够在皮肤表面形成一层保护膜,有效防止水分流失,同时吸收空气中的水分,为皮肤提供充足的水分供应。

微生物发酵石斛可以得到具有多种活性成分的发酵液。研究表明^[129],发酵后的石斛发酵液在活性成分、抗氧化活性、酪氨酸酶抑制活性和紫外线吸收能力等方面均优于未发酵的石斛,具有作为功能性化妆品原料的潜力。

对于有皮肤问题的人群,石斛的生物活性也可以用于开发具有特定功效的产品。Tan 等^[130]的研究中,使用石斛作为还原剂和封端剂,生物合成氧化锌纳米粒子,制备了用于局部抗痘的纳米凝胶。结果表明,生物合成的氧化锌纳米粒子粒径为 20 nm,且具有较高相纯度,且含有该纳米粒子的水凝胶表现出优异的抗菌活性,尤其对革兰氏阳性细菌具有显著抑制作用。

3.2 在食品中的应用进展

石斛中含有丰富的多糖、生物碱、氨基酸等营养成分,具有免疫调节、抗肿瘤、抗氧化等多种药理作用。将石斛应用于酿酒、酸奶、烘焙等食品中,可以提高食品的营养价值,满足消费者对健康食品的需求。石斛酒具有一定的保健功效,如免疫调节、抗氧化等作用。在铁皮石斛酒的发酵过程中,混合菌发酵可以促进铁皮石斛中有益物质的溶出,提高酒的营养价值。研究发现^[131],发酵后的石斛酒中,多糖含量增加至 4.99 g/L,花色苷含量增加至 16.82 mg/L,有机酸含量发生明显变化。通过单因素试验和正交试验,确定了最优的配方和工艺:铁皮石斛汁 20%、花生浆 15%、乳酸菌菌种 2.5%、蔗糖 5%、均质压力 22MPa、42 °C 下发酵 5 h,研究表明^[132]这些条件下发酵的酸奶不仅符合国家标准的理化和卫生指标,而且具有极佳的感官品质。

糖尿病等特殊人群需要低糖、高膳食纤维的食品。为此,可以开发以铁皮石斛花为主要成分,辅以五谷杂粮

的食疗代餐粉。张珍林等^[133]的研究中,通过单因素和正交实验,确定了适合糖尿病等特殊人群的铁皮石斛花食疗代餐粉的最佳配方,具有良好的感官品质和理化品质。最新的研究还将铁皮石斛作为主要原料,开发了一种方便携带的咀嚼片,制得的产品有效成分含量高,感官评价好,易于溶出。

未来的研究可以着力于根据不同人群的体质、年龄、健康状况等因素,开发个性化定制的石斛食品。针对老年人,可以开发易于消化、具有抗衰老功效的石斛食品;对于儿童,可以研发富含营养、有助于生长发育的石斛食品。通过个性化定制,满足不同消费者的特定需求,提高产品的市场适应性。石斛还可以与其他药食同源的食材进行创新搭配,开发出更多具有协同功效的食品,结合不同地区的地方特色食材,打造具有地方风味的创新食品。

4 结论与展望

石斛作为传统的名贵中药材,具有丰富多样的生物活性成分,涵盖多糖、生物碱、黄酮类化合物、联苕类化合物等多个类别。这些成分赋予了石斛广泛的生物活性,如抗氧化、抗炎、免疫调节、降血糖、抗肿瘤等,在医药、保健、化妆品及食品等领域展现出巨大的应用潜力。然而,目前的研究多数停留在细胞和动物实验阶段,临床研究相对匮乏。未来,应借助基因编辑技术、蛋白质组学等现代生物技术,深入解析石斛生物活性成分在体内的作用靶点和信号通路,为其临床应用提供更坚实的理论依据,推动其在精准医疗中的应用。

在化妆品领域,石斛提取物因其保湿、抗氧化、抗皱等功效,已被应用于护肤品中。然而目前的应用仍以基础性产品为主,缺乏深入的机制研究和个性化产品开发。未来,可结合皮肤细胞生物学和生物信息学技术,深入研究石斛对皮肤细胞增殖、抗炎及屏障修复的作用机制,开发针对不同肤质和皮肤问题的个性化石斛化妆品,提升市场竞争力。在保健和食品领域,石斛的应用日益广泛,但产品质量参差不齐,标准化程度较低,限制了市场的进一步拓展。因此,建立科学、完善的石斛质量控制体系迫在眉睫。可以采用指纹图谱技术结合多成分定量分析,全面、准确地评价石斛的质量。同时,开发更多具有创新性的纳米石斛制剂、石斛益生菌复合产品等,以满足不同人群的健康需求。针对特殊人群(如糖尿病患者和老年人),开发低糖、高膳食纤维的功能性石斛食品,进一步拓展石斛的应用范围。

现代科技的发展为石斛研究和应用带来了新的机遇。代谢组学技术能够全面、动态地分析石斛对生物体代谢的影响,深入解析其化学成分与生物活性之间的内在联系。人工智能技术则可用于预测石斛的生物活性、优化产品配方和生产工艺等,提升研发效率。此外,数字化技术还可用于追踪石斛的生产与加工流程,确保产品的可追溯性和安全性。

综上所述,石斛在生物活性成分、生理活性及应用方面具有广阔的研究和开发前景。通过结合现代先进技术,深入研究其作用机制,建立科学的质量控制体系,开发创新产品,石斛有望在精准医疗、绿色食品及护肤品行业中发挥更重要的作用。同时,通过推进资源的可持续利用,石斛将在提升人类健康水平和促进社会经济发展方面做出更大贡献。

参考文献

- [1] LI P Y, LI L, WANG Z Y. Traditional uses, chemical compositions and pharmacological activities of *Dendrobium*: a review [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2023, 310: 116382.
- [2] 周方,张洋.大别山产4种石斛的比较研究进展[J].食品工业,2023,44(8):249-252.
- [3] 刘敬,邓仙梅,赵斌,等.铁皮石斛药理作用研究进展[J].亚太传统医药,2017,13(15):27-30.
- [4] 陈振兴,王万军.药用植物铁皮石斛的研究进展[J].生物学教学,2020,45(9):2-3.
- [5] 蔡琳,彭鹏.名贵中药铁皮石斛化学成分及其药理作用浅述[J].安徽化工,2021,47(1):24-25.
- [6] 宋丹,郭世岳.石斛及石斛组方防治糖尿病的研究进展[J].中国中医药现代远程教育,2019,17(7):114-117.
- [7] 黄晓君,汪志强,聂少平.铁皮石斛的功能活性研究及产业化现状 [J]. 中国食品学报, 2023, 23(11): 1-12.
- [8] YI M, CHE B W, KANG K F, et al. *Dendrobium officinale* polysaccharides improved reproductive oxidative stress injury in male mice treated with cyclophosphamide [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2023, 48: 30.
- [9] WEN Y F, XIAO H Y, LIU Y, et al. Polysaccharides from *Dendrobium officinale* ameliorate colitis-induced lung injury via inhibiting inflammation and oxidative stress [J]. Chemico-Biological Interactions, 2021, 347: 109615.

- [10] LIANG K L, FANG P, SHI Q Q, et al. Antihypertensive effect and mechanism of *Dendrobium officinale* flos on high-blood pressure rats induced by high glucose and high fat compound alcohol [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2018, 43(1): 147-153.
- [11] WANG H Y, LI Q M, YU N J, et al. *Dendrobium huoshanense* polysaccharide regulates hepatic glucose homeostasis and pancreatic β -cell function in type 2 diabetic mice [J]. Carbohydrate Polymers, 2019, 211(1): 39-48.
- [12] SUN C B, ZHANG N, XU G P, et al. Anti-tumor and immunomodulation activity of polysaccharides from *Dendrobium officinale* in S180 tumor-bearing mice [J]. Journal of Functional Foods, 2022, 94: 105105.
- [13] SHANG Z Z, XU T T, WANG C Q, et al. Bioactivity-guided investigation for isolation and immunoregulatory potential of polysaccharides from *Dendrobium chrysotoxum* stems [J]. Process Biochemistry, 2021, 104: 124-131.
- [14] LIU B, LV L L, LIU P, et al. Proteomic Analysis of Anti-Aging Effects of *Dendrobium Nobile* Lindl. Alkaloids in Aging-Accelerated SAMP8 Mice [J]. Experimental Gerontology, 2023, 177(15): 112198.
- [15] PANG C, ZHANG X L, MIN H, et al. *Dendrobium officinalis* inhibited tumor growth in non-small cell lung cancer [J]. Translational Cancer Research, 2020, 9(4): 2483-2691.
- [16] 孙晶,魏静,米艳,等.石斛活性成分及生物模型在胃肠道疾病保护作用中的应用进展[J].中草药,2021,52(22):7025-7031.
- [17] WANG F, WAN J, LIAO Y, et al. *Dendrobium* species regulate energy homeostasis in neurodegenerative diseases: a review [J]. Food Science and Human Wellness, 2023, 12(6): 2151-2174.
- [18] CHEN F N, CHEN Z Q, SUN H W, et al. *Dendrobium candidum* quality detection in both food and medicine agricultural product: Policy, status, and prospective [J]. Frontiers in Sustainable Food Systems, 2022, 6: 23.
- [19] AIDAN K, IAN D F, CHARFEDINNE A, et al. A flavour perspective of Tiepishihu (*Dendrobium officinale*) - an emerging food ingredient from popular traditional Chinese medicinal plants: a review [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2023, 58(10): 4921-4930.
- [20] LIN Y Y, TING Y, SHEN L Y, et al. Study on the properties of *Dendrobium officinale* fermentation broth as functional raw material of cosmetics [J]. Journal of Cosmetic Dermatology, 2022, 21(3): 1216-1223.
- [21] JAIME A T D S, TZI B N. The medicinal and pharmaceutical importance of *Dendrobium* species [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2017, 101(6): 2227-2239.
- [22] 张桂玲,冉靓,罗绪强,等.3种不同产地铁皮石斛与铁皮枫斗多糖、氨基酸及必需元素含量分析[J].江苏农业科学,2017,45(14):146-149.
- [23] 罗昭勇,姜艳,余晓历,等.石斛多糖的结构特征、生物活性、构效关系及产品开发进展[J].食品工业科技,2024,45(15):429-442.
- [24] ZHONG C F, TIAN W N, CHEN H Z, et al. Structural characterization and immunoregulatory activity of polysaccharides from *Dendrobium officinale* leaves [J]. Journal of Food Biochemistry, 2022, 46(1): e14023.
- [25] 张四杰,钱正,刘京晶,等.铁皮石斛花多糖相对分子质量及其单糖组成的研究[J].中国中药杂志,2017,42(20):3919-3925.
- [26] LIU J, LI Y, LIU W, et al. Extraction of Polysaccharide from *Dendrobium nobile* Lindl. by Subcritical Water Extraction [J]. ACS Omega, 2019, 4(24): 20586-20594.
- [27] ZHANG Y, WANG H X, WANG P, et al. Optimization of PEG-based extraction of polysaccharides from *Dendrobium nobile* Lindl. and bioactivity study [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, 92: 1057-1066.
- [28] YANG P P, LU M Y, ZHAO J, et al. Efficient Separation of Proteins and Polysaccharides from *Dendrobium huoshanense* Using Aqueous Two-Phase System with Ionic Liquids [J]. Molecules, 2022, 27(16): 5284.
- [29] CHEN N D, CHEN N F, Li J, et al. Similarity Evaluation of Different Origins and Species of *Dendrobiums* by GC-MS and FTIR Analysis of Polysaccharides [J]. International Journal of Analytical Chemistry. 2015, 1: 713410.
- [30] ZHU H, YI X, JIA S S, et al. Optimization of Three Extraction Methods and Their Effect on the Structure and Antioxidant Activity of Polysaccharides in *Dendrobium huoshanense* [J]. Molecules, 2023, 28(24): 8019.
- [31] FAN Y J, MA J, WANG G, et al. Ultrasonic extraction, structural modification and gastric mucosal cells protective activity of a polysaccharide from *Dendrobium denneanum* [J]. Arabian Journal of Chemistry, 2023, 16(9): 105033.
- [32] LI Y H, WANG Z Q, LI T T, et al. Microwave-assisted puffing of *Dendrobium officinale* for higher extraction rate of polysaccharides [J]. Emirates Journal of Food and Agriculture, 2023, 35(10): 897-905.
- [33] HE L, YAN X T, LIANG J, et al. Comparison of different extraction methods for polysaccharides from *Dendrobium officinale* stem [J].

- Carbohydrate Polymers, 2018, 198: 101-108.
- [34] 纵伟,李翠翠.石斛多糖超高压提取工艺条件的优化[J].郑州轻工业学院学报(自然科学版),2012,27(4):36-39.
- [35] LIU J, LI Y C, LIU W Q, et al. Extraction of Polysaccharide from *Dendrobium nobile* Lindl. by Subcritical Water Extraction [J]. ACS Omega, 2019, 4(24): 20586-20594.
- [36] ERIK S D, YAO O L. Mechanisms and effects of ultrasound-assisted supercritical CO₂ extraction [J]. Trends in Food Science and Technology, 2019, 86(4): 492-501.
- [37] NIE X Q, CHEN Y, LI W, et al. Anti-aging properties of *Dendrobium nobile* Lindl.: From molecular mechanisms to potential treatments [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2020, 257: 112839.
- [38] HEINRIC M, MAH J, AMIRKI V. Alkaloids Used as Medicines: Structural Phytochemistry Meets Biodiversity—An Update and Forward Look [J]. Molecules. 2021; 26(7): 1836.
- [39] SONG C, MA J B, LI G H, et al. Natural Composition and Biosynthetic Pathways of Alkaloids in Medicinal *Dendrobium* Species [J]. Frontiers in Plant Science, 2022, 13: 850949.
- [40] 李振坚,王元成,韩彬,等.石斛属植物生物碱成分研究进展[J].中草药,2019,50(13):3246-3254.
- [41] 吕洪飞,罗文姬,盛仙永,等.二种石斛属植物和小叶石仙桃生物碱的组织化学定位[J].中国药理学杂志,2006,11:824-826+867.
- [42] 高雨晨,林丽,闫冰冰,等.霍山石斛生物碱的提取及铁皮石斛的鉴别[J].安徽农业大学学报,2023,50(1):175-182.
- [43] 陈婧超.石斛中生物碱分离纯化及神经保护作用研究[D].合肥:合肥工业大学,2019.
- [44] 孙凯,李佳,张永清.生物碱提取分离纯化研究进展[J].辽宁中医杂志,2013,40(03):596-599.
- [45] 张成宸,袁仁锋.金钗石斛生物碱的提取技术及临床前药理作用研究进展[J].中国民族民间医药,2022,31(19):46-52.
- [46] 郭华,兰玮妃,黄丹蓉,等.新型生物碱提取分离研究进展[J].中央民族大学学报(自然科学版),2021,30(1):74-81.
- [47] HUI A L, CHEN J C, DENG S H, et al. Phytochemical Profile of Alkaloid Extract from *Dendrobium huoshanense* and Inhibitory Effects against Oxidative Stress in H₂O₂-Induced PC₁₂ Cells [J]. Chemistry & Biodiversity. 2024, 21(2): e202301332.
- [48] 曾艺芸,聂雪婷,李振坚,等.中药石斛黄酮活性成分研究进展[J].中国实验方剂学杂志,2021,27(6):197-206.
- [49] 杨晓利,蒲天珍,李永华,等.霍山石斛不同部位总黄酮的含量比较及黄酮类成分分析[J].中药新药与临床药理,2023,34(10):1426-1434.
- [50] 李芳,魏云,陈艳杰.铁皮石斛茎、叶、花中黄酮含量及其体外抗氧化活性研究[J].中医学报,2019,34(5):1020-3.
- [51] ZHU Y P, YU J L, JIAO C Y, et al. Optimization of quercetin extraction method in *Dendrobium officinale* by response surface methodology [J]. Heliyou, 2019, 5(9): e02374.
- [52] 韩硕,李成网,王厉梅,等.霍山石斛叶黄酮提取纯化工艺优化及其成分分析[J].天然产物研究与开发,2025,37(1):95-103+56.
- [53] 曹会群.铁皮石斛质量标准提升及不同加工方法产品的质量比较研究[D].贵阳:贵阳中医学院,2017.
- [54] LIU S, ZHANG H Y, YUAN Y D. A Comparison of the Flavonoid Biosynthesis Mechanisms of *Dendrobium* Species by Analyzing the Transcriptome and Metabolome [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2022, 23(19): 11980.
- [55] 陈随清,葛晓瑾,刘傲雪,等.兰花根的生药学鉴别[J].中药材,2016,39(9):1993-1996.
- [56] 吕双双,付钰,陈随清.兰科植物中菲类成分及其生物活性研究进展[J].中成药,2023,45(5):1589-1597.
- [57] ZHAI D H, LV X F, CHEN J M, et al. Recent Research Progress on Natural Stilbenes in *Dendrobium* Species [J]. Molecules, 2022, 27(21): 7233.
- [58] 丁玉莲,林李雁,陈丹青,等.一测多评法结合双波长法分析不同产地、栽培和加工铁皮石斛黄酮类成分的含量[J].中国中药杂志,2021,46(14):3605-3613.
- [59] 杨豪男,张帮磊,张宇,等.铁皮石斛的化学组成及其活性研究概述[J].广东化工,2020,47(11):87-88.
- [60] SARAKULWATTANA C, MEKBOONSONGLARP W, LIKHITWITAYAWUID K, et al. New bisbibenzyl and phenanthrene derivatives from *Dendrobium scabrilingue* and their α -glucosidase inhibitory activity [J]. Natural Product Research, 2020, 34(12): 1694-1701.
- [61] KONGKATITHAM V, DEHLINGER A, WANG M, et al. Immunomodulatory Effects of New Phenanthrene Derivatives from *Dendrobium crumenatum* [J]. Journal of Natural Products, 2023, 86(5): 1294-1306.
- [62] LI J Y, FENG W T, DAI R J, et al. Recent Progress on the Identification of Phenanthrene Derivatives in Traditional Chinese Medicine and Their Biological Activities [J]. Pharmacological Research - Modern Chinese Medicine, 2022, 3(3): 100078.
- [63] GU F L., HUANG R S, HE X M, et al. *Dendrobium huoshanense* Polysaccharides Prevent Inflammatory Response of Ulcerative Colitis

- Rat through Inhibiting the NF- κ B Signaling Pathway [J]. Chemistry Biodiversity, 2022, 18(7): e2100130.
- [64] 曹培常,郑士宏,任荟蓉,等.霍山石斛对 Lewis 肺癌和原发性肺癌的抑制作用及机制研究[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2022,45(6):836-843.
- [65] 赵倩,戴天沅,洪文龙,等.铁皮石斛糖蛋白对皮肤炎症期的调控作用及机制[J].食品工业科技,2020,41(21):304-310+316.
- [66] LING J, CHAN C L, HO C Y, et al. The Extracts of *Dendrobium* Alleviate Dry Eye Disease in Rat Model by Regulating Aquaporin Expression and MAPKs/NF- κ B Signalling [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2022, 23(19): 11195.
- [67] WU E C, LIAN Y T, ZHAO S L, et al. Involvement of the Sch9/Rim15/Msn2 signaling pathway in the anti-aging activity of dendrobine from *Dendrobium nobile* Lindl. via modification of oxidative stress and autophagy [J]. Chinese Medicine, 2023, 18(1): 111.
- [68] AIOIA. Inflammaging in skin and intrinsic underlying factors [J]. Trends in Immunotherapy, 2021, 5(2): 1342.
- [69] THIYAGARASAIYAR K, GOH B H, JEON Y J, et al. Algae Metabolites in Cosmeceutical: An Overview of Current Applications and Challenges [J]. Marine Drugs, 2020, 18(6): 323.
- [70] FEDERICA F, ANDREA D A, SILVIA C, et al. Focus on the Contribution of Oxidative Stress in Skin Aging [J]. Antioxidants (Basel), 2022, 11(6): 1121.
- [71] LIN Z K, ZHONG L L, SANTIAGO J L. Anti-Inflammatory and Skin Barrier Repair Effects of Topical Application of Some Plant Oils [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2017, 19(1): 70.
- [72] 黄琴,沈杨霞,张成静,等.铁皮石斛多酚和黄酮含量及与抗氧化活性的相关性[J].应用与环境生物学报,2014,20(3):438-442.
- [73] LI W, MU X R, WU X Q, et al. *Dendrobium nobile* Lindl. Polysaccharides protect fibroblasts against UVA-induced photoaging via JNK/c-Jun/MMPs pathway [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2022, 298: 115590.
- [74] 黄俊彬,丁婕,朱海媚,等.三个不同种源的铁皮石斛多糖比较及其初步的药理活性评价[J].食品工业科技,2022,43(5):71-78.
- [75] LIANG J, LI H L, CHEN J Q, et al. *Dendrobium officinale* polysaccharides alleviate colon tumorigenesis via restoring intestinal barrier function and enhancing anti-tumor immune response [J]. Pharmacological Research, 2019, 148: 104417.
- [76] 金乐红,刘传飞,唐婷,等.石斛多糖抗肿瘤作用的实验研究[J].中国药学杂志,2010,45(22):1734-1737.
- [77] ZHA X Q, LUO J P, JIANG S. Induction of Immunomodulating Cytokines by Polysaccharides from *Dendrobium huoshanense* [J]. Pharmaceutical Biology, 2007, 45: 71-76.
- [78] ZHANG K, ZHOU X T, WANG J, et al. *Dendrobium officinale* polysaccharide triggers mitochondrial disorder to induce colon cancer cell death via ROS-AMPK-autophagy pathway [J]. Carbohydrate polymers. 2021, 264: 118018.
- [79] DUAN H T, AGA E, ZHUOMA D Z, et al. Alkaloids from *Dendrobium* and their biosynthetic pathway, biological activity and total synthesis [J]. Phytomedicine, 2022, 102: 154132.
- [80] LUO Y, LIU G, HOU P. Synergism Effect of *Dendrobine* on Cisplatin in Treatment of H1299 by Modulating the Balance of Treg/Th17 [J]. Anti-cancer agents in medicinal chemistry, 2023, 23(1): 105-112.
- [81] ZHANG T Y, OUYANG H, MEI X Y et al. Erianin alleviates diabetic retinopathy by reducing retinal inflammation initiated by microglial cells via inhibiting hyperglycemia-mediated ERK1/2-NF- κ B signaling pathway [J]. The FASEB Journal, 2019(33): 11776-11790.
- [82] 高园,蒋松伟,戚香,等.毛兰素的提取分离、化学合成和生物活性的研究进展[J].中草药,2021,52(14):4362-4371.
- [83] HONG X, XIE Z Y, YANG F Y, et al. Erianin suppresses proliferation and migration of cancer cells in a pyruvate carboxylase-dependent manner [J]. Fitoterapia, 2022, 157: 105136.
- [84] 庞晨,张秀玲,张锡流.铁皮石斛抑制上皮源性恶性肿瘤的研究进展[J].实用肿瘤学杂志,2020,34(4):362-367.
- [85] SUN C B, ZHANG N, XU G P, et al. Anti-tumor and immunomodulation activity of polysaccharides from *Dendrobium officinale* in S180 tumor-bearing mice [J]. Journal of Functional Foods, 2022, 94: 105105.
- [86] LIU B, LI Q M, SHANG Z Z, et al. Anti-gastric cancer activity of cultivated *Dendrobium huoshanense* stem polysaccharide in tumor-bearing mice: Effects of molecular weight and O-acetyl group [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 192: 590-599.
- [87] FAN Y J, LUO A X. Evaluation of anti-tumor activity of water-soluble polysaccharides from *Dendrobium denneanum* [J]. African Journal of Pharmacy and Pharmacology, 2011, 5(3): 415-420.
- [88] YU W X, REN Z Y, ZHANG X F, et al. Structural Characterization of Polysaccharides from *Dendrobium officinale* and Their Effects on Apoptosis of HeLa Cell Line [J]. Molecules, 2018, 23(10): 2484

- [89] ZHANG K, ZHOU X T, WANG J Q, et al. *Dendrobium officinale* polysaccharide triggers mitochondrial disorder to induce colon cancer cell death via ROS-AMPK-autophagy pathway [J]. Carbohydrate Polymers, 2021, 15(2): 118018.
- [90] ZHAO Y, LU X F, HUANG H X, et al. *Dendrobium officinale* polysaccharide Converts M₂ into M₁ Subtype Macrophage Polarization via the STAT6/PPAR- α and JAGGED₁/NOTCH₁ Signaling Pathways to Inhibit Gastric Cancer [J]. Molecules, 2023, 28(20): 7062
- [91] 和磊,罗婧,王亚芸,等.金钗石斛脂溶性生物碱提取物诱导人结肠癌 HT-29 细胞凋亡[J].食品工业科技,2017,38(3):170-174+191.
- [92] 张艺.石斛生物碱对舌鳞癌细胞 CAL27 细胞抑制作用的相关研究[D].贵州:遵义医科大学,2023.
- [93] XING S P, YU W X, ZHANG X F, et al. Isoviolanthin Extracted from *Dendrobium officinale* Reverses TGF- β 1-Mediated Epithelial-Mesenchymal Transition in Hepatocellular Carcinoma Cells via Deactivating the TGF- β /Smad and PI3K/Akt/mTOR Signaling Pathways [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2018, 19(6): 1556.
- [94] HLOSRIKCHOK A, SUMKHEMTHONG S, SRITULARAK B, et al. A bibenzyl from *Dendrobium ellipsophyllum* induces apoptosis in human lung cancer cells [J]. Journal of Natural Medicines, 2019;72(3): 615-625.
- [95] PIAO X M, FENG M F, ZHAO W P, et al. *Dendrocandin* U from *Dendrobium officinale* Kimura et Migo Inhibits M₁ Polarization in Alveolar Macrophage by Suppressing NF- κ B Signaling Pathway [J]. Chemistry & Biodiversity, 2023, 20(11): e202300999.
- [96] JAE I S, YU J K, HAE-YOUNG Y, et al. Denbinobin, a phenanthrene from *dendrobium nobile*, inhibits invasion and induces apoptosis in SNU-484 human gastric cancer cells [J]. Oncology Reports, 2012, 27(3): 813-818.
- [97] ZHAO X Y, DOU M M, ZHANG Z, et al. Protective effect of *Dendrobium officinale* polysaccharides on H₂O₂-induced injury in H9c2 cardiomyocytes [J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2017, 94: 72-78.
- [98] WANG J G, ZHANG W, LI Y, et al. Hypertension in China: epidemiology and treatment initiative [J]. Nature Reviews Cardiology, 2023: 20(8): 531-545..
- [99] 何晓艳,吴人照,杨兵勋,等.铁皮石斛花对自发性高血压大鼠降压作用研究[J].浙江中医杂志,2016,51(2):152-154.
- [100] LI B, WANG H Y, HUANG J H, et al. Polysaccharide, the Active Component of *Dendrobium officinale*, Ameliorates Metabolic Hypertension in Rats via Regulating Intestinal Flora-SCFAs-Vascular Axis [J]. Frontiers in Pharmacology, 2022, 13: 935714.
- [101] XIONG T W, LIU B, WU Q, et al. The protective effects of *Dendrobium nobile* Lindl. alkaloids (DNLA) against CUMS-induced anxiety/depression and hippocampal transcriptome changes in rats [J]. Pharmacological Research Modern Chinese Medicine, 2023, 7: 100250.
- [102] LI D D, ZHENG C Q, ZHANG F, et al. Potential neuroprotection by *Dendrobium nobile* Lindl alkaloid in Alzheimer's disease models [J]. Neural Regeneration Research, 2022, 17(5): 972-977.
- [103] 刘川,高妍,张赫.霍山石斛多糖对 MPTP 诱导的帕金森病小鼠模型的神经保护作用[J].吉林医药学院学报,2022,43(3):164-167.
- [104] 王孟迪,魏山山,姜宁,等.金钗石斛对 MPTP 诱导 PD 小鼠的神经保护作用及机制研究[J].中国比较医学杂志,2022,32(1):48-56.
- [105] MING M, HU W H, XIE G S, et al. *Dendrobium Nobile* Polysaccharides Attenuates Ferroptosis and Improves Cognitive Function in Vascular Dementia Rats [J]. American Journal of Alzheimer's Disease, 2023, 38: 1-9.
- [106] XU L, ZENG X X, LIU Y N, et al. Effect of *Dendrobium officinale* polysaccharides on central nervous system disease: Based on gut microbiota [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 240: 124440.
- [107] LIU Y, LIU S J, LUO H R, et al. Two new dendrocandins with neurite outgrowth-promoting activity from *Dendrobium officinale* [J]. Journal of Asian Natural Products Research, 2015, 17(2): 125-131.
- [108] KANLAYAVATTANAKUL M, PAWAKONGBUN T, LOURITH N. *Dendrobium* orchid polysaccharide extract: Preparation, characterization and in vivo skin hydrating efficacy [J]. Chinese Herbal Medicines, 2019, 11(4): 400-405.
- [109] 谷仿丽,姜雪萍,陈艳君,等.霍山石斛多糖吸湿保湿性能及皮肤刺激性研究[J].天然产物研究与开发,2018,30(10):1701-1705.
- [110] 卫梦尧.石斛多糖的美白保湿功效研究及产品研发[D].广州:广东工业大学,2022.
- [111] 闫显辛,何美军,李宇,等.铁皮石斛叶多糖美白和抗氧化活性[J].植物研究,2025,45(1):111-118.
- [112] KAMLESH K, STEFANO DEL P, CHANTAL M, et al. COVID-19, Hyperglycemia, and New-Onset Diabetes [J]. Diabetes Care, 2021, 44(12): 2645-2655.
- [113] LI Z Y, ZENG M L, GENG K Y, et al. Chemical Constituents and Hypoglycemic Mechanisms of *Dendrobium nobile* in Treatment of Type 2 Diabetic Rats by UPLC-ESI-Q-Orbitrap, Network Pharmacology and In Vivo Experimental Verification [J]. Molecules, 2023, 28(6): 2683.

- [114] KONG S Z, LIN G S, LIU J J, et al. Hepatoprotective Effect of Ultrafine Powder of *Dendrobium officinale* against Acetaminophen-Induced Liver Injury in Mice [J]. Food Science and Technology Research, 2018, 24(2): 339-346.
- [115] WANG M Y, SHEN C., AN M F et al. Combined treatment with *Dendrobium candidum* and black tea extract promotes osteoprotective activity in ovariectomized estrogen deficient rats and osteoclast formation [J]. Life Sciences, 2018,200, 31-41.
- [116] LI R R, WANG Z X, KONG W K, et al. Probiotic fermentation improves the bioactivities and bioaccessibility of polyphenols in *Dendrobium officinale* under *in vitro* simulated gastrointestinal digestion and fecal fermentation [J]. Frontiers in Nutrition, 2022, 7(9): 1005912.
- [117] ZHENG H, JI H, DAN K, et al. Targeting Gut Microbiota and Host Metabolism with *Dendrobium officinale* Dietary Fiber to Prevent Obesity and Improve Glucose Homeostasis in Diet-Induced Obese Mice [J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2022, 66(10): e2100772.
- [118] ZHANG Y J, LI Y, TANG Q, et al. *Dendrobium officinale* Polysaccharide (DOP) Promotes Hair Regrowth in Testosterone-Induced Bald Mice [J]. Aesthetic Plastic Surgery, 2023, 47(2): 833-841.
- [119] XIE S Z, LIU B, YE H Y, et al.(2019). *Dendrobium huoshanense* polysaccharide regionally regulates intestinal mucosal barrier function and intestinal microbiota in mice [J]. Carbohydrate Polymers, 2019, 206, 149-162.
- [120] 占水滕,林萱.铁皮石斛治疗 2 型糖尿病的临床研究及作用机制研究进展[J].联勤军事医学,2024,38(10):907-911.
- [121] 石晓玲,李文龙,柳鹏程.芪术石斛养胃方治疗气虚血瘀型慢性萎缩性胃炎 35 例临床观察[J].湖南中医杂志,2024,40(9):6-9+20.
- [122] 陆春雷,潘兴寿,黄春合,等.石斛辅助治疗 HBeAg 阳性慢性乙型肝炎疗效观察[J].时珍国医国药,2014,25(11):2698-2700.
- [123] 鲍俊达,王平,王文佳,等.基于 TLR4/MyD88/NF-κB 信号通路探讨复方石斛汤对气道炎症模型大鼠的影响[J].中医学报,2023,38(8):1583-1592.
- [124] 邹玉卿,张家林,刘欣,等.石斛合剂序贯法联合西药治疗糖尿病合并高血压的影响[J].亚太传统医药,2021,17(1):48-51.
- [125] 李德祥,王学涵,李路,等.霍山石斛组方治疗冠心病的临床研发与应用[J].中国医药指南,2014,12(13):314-315.
- [126] 周吉,郭振宇,李浩颖,等.基于网络药理学和分子对接的鼓槌石斛素治疗宫颈癌作用机制探讨及实验验证[J].药物评价研究,2024,47(5):959-970.
- [127] 刘波,黄波,郭冕,等.石斛方剂及其活性成分在眼科疾病治疗中的应用[J].生物资源,2024,46(5):504-509.
- [128] 招敏聪,刘文,芦晓红,等.铁皮石斛提取物在化妆品中的应用[J].香料香精化妆品,2022,4:94-99.
- [129] LIN Y Y, YANG T, SHEN L Y, et al. Study on the properties of *Dendrobium officinale* fermentation broth as functional raw material of cosmetics [J]. Journal of Cosmetic Dermatology, 2022, 21(3): 1216-1223.
- [130] TAN Y Y, WONG L S, Nyam K L, et al. Development and Evaluation of Topical Zinc Oxide Nanogels Formulation Using *Dendrobium anosmum* and Its Effect on Acne Vulgaris [J]. Molecules. 2023, 28(19): 6749.
- [131] 任运红,徐雅因,钟淳菲,等.铁皮石斛发酵酒品质特性研究[J].中国酿造,2020,39(5):92-96.
- [132] 江巍,周美玲,李春维,等.花生铁皮石斛功能型酸奶的研制[J].福建农业科技,2021,51(2):19-23.
- [133] 张珍林,周子旋,王茹雪,等.铁皮石斛花食疗代餐粉的研制及其冲调性研究[J].皖西学院学报,2021,37(5):63-67.