DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20260413003
**引用格式**: 邵丽娟, 兰韬, 姜琳琳, 等. 铁皮石斛功能特性及其在食品中的应用研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(10): 302–313.
SHAO LJ, LAN T, JIANG LL, *et al*. Research progress on the functional characteristics of *Dendrobium officinale* and its application in food [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(10): 302–313. (in Chinese with English abstract).

# 铁皮石斛功能特性及其在食品中的应用研究进展

邵丽娟[1], 兰　韬[2], 姜琳琳[1], 宫建泉[3], 郑振佳[1*]

(1. 山东农业大学食品科学与工程学院, 山东省高等学校食品营养与健康重点实验室, 泰安　271018;
2. 中国标准化研究院农业与生物技术标准化研究所, 北京　100191;
3. 烟台百脉山生物科技有限公司, 烟台　265200)

**摘　要:** 铁皮石斛作为传统名贵药食两用植物, 富含多糖、黄酮、生物碱、多酚等多种生物活性成分, 在食品、保健品领域展现出广阔的应用前景。现代药理学研究表明, 铁皮石斛具有免疫调节、降血糖、抗氧化、抗肿瘤、保护胃肠道等多种功效, 其作用机制涉及调节肠道菌群、激活免疫细胞、调控信号通路等。本文系统综述了铁皮石斛主要活性成分的功能机制及其应用进展, 并从机制差异、活性强弱及工艺优化等多维度展开整合分析。在食品与保健品领域, 铁皮石斛已被开发为多元化产品, 以增强免疫力为核心功能的产品已实现产业化。当前研究仍存在活性成分关注不均、构效关系模糊、产品同质化等局限。本文通过对比分析, 揭示了铁皮石斛功效的构效关系与多靶点特征, 以期为铁皮石斛资源的深度开发和高值化利用提供科学依据。

**关键词:** 铁皮石斛; 功能特性; 作用机制; 食品开发

# Research progress on the functional characteristics of *Dendrobium officinale* and its application in food

SHAO Li-Juan[1], LAN Tao[2], JIANG Lin-Lin[1], GONG Jian-Quan[3], ZHENG Zhen-Jia[1*]

(1. *College of Food Science and Engineering*, *Shandong Agricultural University*, *Key Laboratory of Food Nutrition and Healthy in Universities of Shandong*, *Tai'an* 271018, *China*; 2. *Institute of Agriculture and Biotechnology Standardization*, *China National Institute of Standardization*, *Beijing* 100191, *China*; 3. *Yantai Baimaishan Biotechnology Co*., *Ltd*., *Yantai* 265200, *China*)

**ABSTRACT:** *Dendrobium officinale* as a traditional precious medicinal and edible plant, is rich in various bioactive components such as polysaccharides, flavonoids, alkaloids and polyphenols, demonstrating broad application prospects in the fields of food and health products. Modern pharmacological studies have revealed that *Dendrobium officinale* possesses multiple efficacies including immunomodulation, hypoglycemic activity, antioxidant effects, anti-tumor properties and gastrointestinal protection, with mechanisms involving the regulation of intestinal microbiota, activation of immune cells, and modulation of signaling pathways. This paper systematically reviewed the functional mechanisms of the main active components of *Dendrobium officinale* and their application progress,

**收稿日期:** 2026-04-13
**基金项目:** 中国标准化研究院自有资金研发项目(562025Z-13117); 山东省科技型中小企业创新能力提升工程项目(2025TSGCCZZB0452)
**第一作者:** 邵丽娟(2005—), 女, 主要研究方向为农产品加工与功能食品。E-mail: shaolijuan77@163.com
***通信作者:** 郑振佳(1985—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为农产品加工与功能食品。E-mail: zhengzhenjia@sdau.edu.cn

and conducted a multi-dimensional integrated analysis from the perspectives of mechanistic differences, activity intensity and process optimization. In the fields of food and health products, *Dendrobium officinale* had been developed into diversified products, and products with immune enhancement as the core function had achieved industrialization. Current research still had limitations, including unbalanced attention to active components, vague structure-activity relationships and product homogenization. Through comparative analysis, this paper reveals the structure-activity relationships and multi-target characteristics of the efficacies of *Dendrobium officinale*, aiming to provide scientific references for the deep development and high-value utilization of *Dendrobium officinale* resources.
**KEY WORDS:** *Dendrobium officinale*; functional properties; mechanism of action; food development

## 0　引　言

铁皮石斛为兰科石斛属多年生附生草本植物, 又名铁皮兰、黑节草, 被誉为“九大仙草”之首。铁皮石斛主要生长于我国南方地区、日本、美国和澳大利亚, 是药食同源植物[1], 具有益胃生津、滋阴清热、抗疲劳、祛痰镇咳等传统功效[2]。现代药理学研究表明, 铁皮石斛具有免疫调节[3]、降血糖[4]、抗氧化[5]、抗肿瘤[6]、保护胃肠道[7]等多种生物活性。

铁皮石斛富含多糖、黄酮、生物碱、酚酸等多种生物活性成分。其中, 多糖具有免疫调节、抗氧化等活性, 可作为功能性食品添加剂或保健食品原料[8], 黄酮类具有抗癌、抗炎、抗氧化、促进认知及治疗骨质疏松症的特性[9], 生物碱类具有抗炎、抗氧化、抗癌活性和神经保护作用等[10]。

在食品和保健品领域, 铁皮石斛已被开发为饮料和焙烤食品, 胶囊、片剂、颗粒剂、口服液等多种剂型产品已实现产业化, 功能涵盖增强免疫力、缓解体力疲劳、抗氧化、辅助降血糖、保护胃黏膜等[11]。本文通过对近年来铁皮石斛活性成分功能机制及其在食品和保健品中的应用进行系统阐述, 开展多维度整合分析, 对比不同研究的作用通路、活性水平与加工工艺差异, 并结合当前研究进展对产业发展提出思考与建议, 以期为铁皮石斛资源的深度开发和高值化利用提供科学参考, 助力该领域研究的深入拓展。

## 1　铁皮石斛功能及作用机制

### 1.1　免疫调节作用及机制

铁皮石斛多糖可显著增强机体免疫功能, 其作用机制主要包括激活巨噬细胞、促进细胞因子分泌、调节肠道菌群等方面。铁皮石斛多糖对正常和免疫抑制的小鼠中有效激活巨噬细胞功能、促进脾淋巴细胞增殖和分化、提升血清中免疫球蛋白水平以及提高肝脏的抗氧化能力[12–13]。铁皮石斛能显著上调斑马鱼尾部中性粒细胞数量, 提高白细胞介素-12 (interleukin 12, *IL-12*)和肿瘤坏死因子-*α* (tumor necrosis factor-alpha, *TNF-α*)基因相对表达量, 表现出显著的免疫增强功效[14]。对于环磷酰胺造成的免疫抑制, 铁皮石斛通过提升小鼠体内肾上腺皮质激素水平, 促进环磷酸腺苷(cyclic adenosine monophosphate, cAMP)的生成和上调白细胞介素-2 (interleukin-2, IL-2)、白细胞介素-6 (interleukin-6, IL-6)、干扰素-*γ* (interferon-*γ*, IFN-*γ*)的表达水平来发挥作用[15]。铁皮石斛配合糖皮质激素治疗狼疮肾炎可以提高疗效, 可以显著提高狼疮肾炎患者机体补体 C3、C4 以及 C1q 的含量, 调整 CD4+/CD8+比例, 改善患者症状[16]。铁皮石斛多糖主要通过调节肠道菌群结构、增加有益菌丰度、减少有害菌定植等肠菌代谢途径发挥免疫保护作用。铁皮石斛免疫调节功能及机制的研究成果汇总见表 1。

通过对比分析不同模型发现, 在环磷酰胺诱导的免疫抑制小鼠中, 铁皮石斛多糖主要通过上调 IL-2、IL-6、IFN-*γ* 等细胞因子水平发挥作用。而在 RAW264.7 巨噬细胞体系中, 则主要依赖激活 MAPK 和 NF-*κ*B 通路及 TLR4 受体介导。这一体内外机制的差异, 可能与肠道菌群参与的间接调节有关。

### 1.2　降血糖作用及机制

铁皮石斛在治疗糖尿病方面具有多途径、多靶点、不良反应少等优点。王云威等[23]研究发现铁皮石斛多糖可提高 2 型糖尿病小鼠的糖耐量, 修复肝脏和胰腺氧化损伤, 提高胰岛素含量, 缓解胰岛素抵抗, 改善血脂代谢紊乱和肾脏损伤。陈小霞[24]研究表明, 铁皮石斛多糖可通过调节肠道菌群组成, 增加短链脂肪酸产生菌丰度, 激活相应受体, 促进胰高血糖素样肽-1 (glucagon-like peptide-1, GLP-1)分泌, 从而改善胰岛素抵抗, 降低空腹血糖。发酵处理可显著增强铁皮石斛的降血糖活性, 红曲霉发酵后的铁皮石斛多糖发酵液对*α*-葡萄糖苷酶和*α*-淀粉酶的抑制活性较未发酵样品分别提高了 78.9%和 86.8%[25]。铁皮石斛叶片经发酵后获得的酚类提取物已被证实具有降血糖活性, 可显著改变糖尿病小鼠模型中的多种差异代谢物, 改善糖尿病诱导的肠道菌群失调, 显著影响肠单胞菌属、鼠杆菌属、肠棒杆菌属等菌的相对丰度, 对糖尿病的保护作用与其对机体代谢网络及肠道微生物群的双重调控密切相关[26]。铁皮石斛降血糖及代谢调节作用的研究成果汇总见表 2。

表 1 铁皮石斛免疫调节功能及机制的研究

Table 1 Study on immunomodulatory function and mechanism of *Dendrobium officinale*

| 实验模型 | 机制探讨 | 作用效果 | 参考文献 |
|---|---|---|---|
| 环磷酰胺诱导免疫抑制小鼠 | 促进免疫细胞增殖，调节细胞因子和免疫球蛋白分泌 | 提高脾淋巴细胞增殖率，平衡淋巴细胞亚群比例和血清细胞因子分泌，升高血清免疫球蛋白 M (immunoglobulin M, IgM)、免疫球蛋白 G (immunoglobulin G, IgG)水平，提高溶血素水平 | [12] |
| 磷酰胺诱导免疫抑制小鼠 | 增强抗氧化酶活性，调节氧化应激状态 | 提高血清超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化氢酶(catalase, CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)活性，降低丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量，提高免疫器官指数 | [13] |
| 环磷酰胺诱导免疫抑制小鼠 | 调节神经-免疫-内分泌网络，促进细胞因子分泌 | 升高血清 IL-2、IL-6、IFN-$\gamma$、cAMP、促肾上腺皮质激素(adrenocorticotropic hormone, ACTH)水平，增加免疫抑制小鼠的足跖肿胀度、溶血空斑数、自然杀伤细胞(natural killer cell, NK)活性 | [15] |
| 环磷酰胺诱导免疫抑制小鼠 | 增强免疫器官功能，提高抗体水平 | 提高脾脏和胸腺脏器指数，提高血清中免疫球蛋白 A (immunoglobulin A, IgA)和 IgG 含量 | [17] |
| 环磷酰胺诱导免疫抑制小鼠 | 增强细胞和体液免疫功能，激活 NK 细胞活性 | 显著提升白细胞数和胸腺、脾脏指数，促进外周白细胞和免疫细胞增殖，提高淋巴细胞增殖转化能力，增强 NK 细胞活性 | [18] |
| RAW264.7 巨噬细胞 | 激活巨噬细胞，促进炎症因子分泌 | 提高一氧化氮(nitric oxide, NO)、IFN-$\gamma$、IL-6 和白细胞介素-1$\beta$ (interleukin-1$\beta$, IL-1$\beta$)的水平,促进巨噬细胞增殖和吞噬 | [19] |
| RAW264.7 巨噬细胞 | 激活免疫活性信号通路，调控免疫应答 | 激活丝裂原活化蛋白激酶(mitogen-activated protein kinase, MAPK)和，核转录因子 $\kappa$B (inhibitor-$\kappa$ binding protein, NF-$\kappa$B)信号通路，提高 TNF-$\alpha$、IL-1$\beta$、IL-6、IL-10 细胞因子分泌水平 | [20] |
| RAW264.7 巨噬细胞 | 激活 TOLL 样受体 4 (toll-like receptors 4, TLR4)/NF-$\kappa$B 信号通路 | 激活巨噬细胞，促进吞噬能力，诱导活性氧(reactive oxygen species, ROS)生成，激活免疫应答因子 P-NF-$\kappa$B 和 TLR4 | [21] |
| 正常及甲氨蝶呤处理小鼠 | 调节肠道黏膜免疫，激活全身免疫系统 | 促进骨髓细胞增殖，增强脾细胞和肝细胞增殖活性，升高 IFN-$\gamma$ 和 IL-4 分泌量 | [22] |

表 2 铁皮石斛降血糖及代谢调节作用的研究

Table 2 Study on hypoglycemic and metabolic regulatory effects of *Dendrobium officinale*

| 实验模型 | 机制探讨 | 作用效果 | 参考文献 |
|---|---|---|---|
| 2 型糖尿病小鼠 | 提高总抗氧化能力，修复氧化损伤 | 提高胰岛素水平，降低胰岛素抵抗性，提高血清 SOD、CAT 活性，改善血脂代谢紊乱，减轻肾脏损伤 | [23] |
| 2 型糖尿病小鼠 | 调节机体代谢网络，调节肠道微生物群 | 逆转显著差异代谢物，改善精氨酸与脯氨酸代谢、抗坏血酸与醛酸代谢及脂肪酸代谢通路 | [26] |
| 2 型糖尿病小鼠 | 平衡肝脏代谢紊乱，改善氧化应激 | 改善肝脏脂肪酸、甘油酯、甘油磷脂代谢，改善神经酰胺及胆汁酸的代谢紊乱，改善肝脏氧化应激、炎症及脂质蓄积症状 | [27] |
| 2 型糖尿病大鼠 | 调节血清代谢物，调节代谢通路 | 降低空腹血糖、胰岛素、糖化血清蛋白、血清总胆固醇(total cholesterol, TC)、甘油三酯(triglyceride, TG)、低密度脂蛋白胆固醇(low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C)、非酯化脂肪酸水平，升高高密度脂蛋白胆固醇(high-density lipoprotein cholesterol, HDL-c)水平、SOD 活性、降低 MDA 水平 | [28] |
| 2 型糖尿病小鼠 | 调节肠道菌群失调，调节菌群结构 | 改善葡萄糖耐受不良、减轻胰岛素抵抗，缓解血清脂质紊乱 | [29] |
| 2 型糖尿病大鼠 | 抑制炎症反应，防止胰岛细胞凋亡 | 减少胰岛细胞凋亡，改善肝脏能量代谢和脂质转运，提高氧化还原酶活性 | [30] |
| 2 型糖尿病小鼠 | 调节信号通路，促进肝糖原合成，抑制糖异生 | 降低空腹血糖、糖化血清蛋白、血清胰岛素水平，上调胰岛素受体底物 1 (insulin receptor substrate 1, IRS1)-磷脂酰肌醇-3-羟激酶(phosphatidylinositol 3-hydroxy kinase, PI3K)-蛋白激酶 B (protein kinase B, AKT)磷酸化水平，下调叉头框蛋白 O1 (forkhead box protein O1, FoxO1)/糖原合成酶激酶-3$\beta$ (glycogen synthase kinase-3$\beta$, GSK3$\beta$)磷酸化水平，改善胰岛素敏感性 | [31] |

表 2(续)

| 实验模型 | 机制探讨 | 作用效果 | 参考文献 |
|---|---|---|---|
| 2 型糖尿病小鼠 | 调节环磷酸腺苷依赖蛋白激酶(cAMP-dependent protein kinase A, cAMP-PKA)和 AKT/FoxO1 信号通路, 逆转肝糖原结构不稳定性 | 增强肝糖原合成, 抑制糖原降解和糖异生, 改善肝脏葡萄糖代谢 | [32] |
| 链脲佐菌素诱导糖尿病大鼠 | 刺激 GLP-1 分泌, 激活 Ca/钙调蛋白/CaMKII 和 MAPK 信号通路 | 降低空腹血糖, 升高血清胰岛素和 GLP-1 水平 | [33] |
| 饮食诱导肥胖小鼠 | 激活过氧化物酶体增殖物激活受体 γ (peroxisome proliferator-activated receptor γ PPAR-γ), 抑制内脏脂肪组织炎症 | 降低空腹血糖、改善葡萄糖耐量、胰岛素敏感性, 降低 TC、TG、LDL-C 水平、升高 HDL-C 水平, 减轻肝脏脂质蓄积 | [34] |

降血糖机制可分为直接调控与间接调控两大类。直接调控主要围绕胰岛素信号通路展开, 通过促进肝糖原合成、抑制糖异生相关因子来改善胰岛素抵抗。间接调控则依托肠道菌群-短链脂肪酸-GLP-1 轴, 调节肠道微生态进而影响糖代谢。同时, 发酵处理可显著增强相关酶抑制活性, 体现出加工方式对降糖效果的作用。

### 1.3　抗氧化作用及机制

铁皮石斛可通过清除羟自由基(·OH)、2,2-二苯基-1-苦基肼基(2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical, DPPH)自由基及超氧阴离子($\cdot O_2^-$)等途径发挥抗氧化作用, 同时还能激活核因子 E2 相关因子 2 (nuclear factor erythroid 2-related factor 2, Nrf2)/抗氧化反应元件(antioxidant response element, ARE)信号通路, 上调 SOD、CAT、GSH-Px 等内源性抗氧化酶的表达。张雅丹等[35]研究发现, 在 20~80 μg/mL 质量浓度范围内, 铁皮石斛多糖能有效清除·OH, 并显著抑制 SH-SY5Y 的细胞凋亡, 凋亡率从 56.97%下降至 17.97%。新鲜铁皮石斛的多糖和甘露糖含量显著高于干制品, 其抗氧化活性也更为显著[36]。铁皮石斛花中的总黄酮表现出较强的自由基清除能力[37]。此外, 铁皮石斛对紫外线诱导的人永生化角质形成细胞(human immortalized keratinocyte, HaCaT)形成细胞皮肤损伤有保护作用[38]。铁皮石斛抗氧化功能及机制的研究成果汇总见表 3。

总体而言, 抗氧化活性的强弱与多糖分子量、单糖组成及样品部位密切相关, 新鲜原料活性优于干制原料, 花部黄酮活性通常高于茎部多糖。

### 1.4　胃肠道保护作用及机制

铁皮石斛传统中医功效为益胃生津, 现代医学研究证实其对胃肠道具有保护作用。铁皮石斛超微粉制剂可显著降低模型小鼠的胃阴虚症状, 促进粪便排出, 提高血清生长抑素(somatostatin, SS)水平、降低胃组织 NF-κB 和环氧化酶-2 (cyclooxygenase-2, COX-2)蛋白表达, 从而减轻胃黏膜损伤、抑制胃组织炎症[47]。铁皮石斛多糖可通过调节肠道菌群代谢, 抑制磷酸化肌球蛋白轻链(phosphorylated-MLC, p-MLC)/肌球蛋白轻链激酶(myosin light chain kinase, MLCK)信号通路介导的促炎因子分泌, 提高小鼠肠道紧密连接蛋白表达, 从而发挥作用来保护肠道屏障完整性[48]。黄晓君等[49]研究发现, 铁皮石斛多糖可通过促进胃黏膜上皮细胞增殖, 抑制胃黏膜细胞凋亡, 提高胃黏膜防御因子含量, 减少攻击因子分泌, 加速溃疡面愈合并缓解炎症反应。铁皮石斛多糖可降低高脂饮食小鼠的脱硫弧菌属、葡萄球菌属等有害菌丰度, 促进拟杆菌属及双歧杆菌属增殖, 通过短链脂肪酸等代谢产物保护肠道黏膜[50]。胃肠道保护的作用模式因损伤类型而有所差异。在胃黏膜损伤模型中, 主要通过抑制 NF-κB 和 COX-2 表达来减轻局部炎症。在肠道屏障受损模型中, 则主要通过调节肠道菌群组成, 促进双歧杆菌、抑制脱硫弧菌生长, 并增加短链脂肪酸产量来实现保护作用。这表明铁皮石斛的胃肠保护功效具有多靶点、模型依赖的特征。铁皮石斛胃肠道保护功能及机制的研究成果汇总见表 4。

### 1.5　其他功能

铁皮石斛还具有抗炎、抗肿瘤、保肝及抗疲劳等多种生物活性。在抗炎方面, 铁皮石斛多糖可通过抑制 NF-κB 和 MAPK 信号通路, 降低促炎细胞因子水平, 减轻炎症反应[55–57]。在抗肿瘤方面, 铁皮石斛及其多糖能诱导肿瘤细胞周期阻滞、促进细胞凋亡, 其机制涉及调控 Bax/Bcl-2 表达、激活半胱天冬酶通路及调节 p53 等关键因子[58]。在保肝方面, 铁皮石斛多糖对四氯化氮诱导的肝纤维化、α-鹅膏毒肽及酒精性肝损伤均具有保护作用, 其机制与调节肠道稳态、抑制脂多糖(lipopolysaccharide, LPS)-TLR4-NF-κB 通路、激活 Nrf2 抗氧化通路及调控凋亡相关蛋白表达有关[59–62]。在抗疲劳方面, 铁皮石斛多糖及提取物能显著延长小鼠游泳时间, 其机制与抑制糖原消耗、调节氧化相关酶、激活过氧化物酶体增殖物激活受体 γ 共激活因子 1α (peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator 1-alpha, PGC-1α)有关[63–64]。

不同生物活性的作用路径存在明显差异。抗炎与保肝虽均涉及 NF-κB 通路, 但前者更依赖于 MAPK 信号激活, 后者则侧重肠道稳态调节及 Nrf2 抗氧化应答。抗肿瘤作用主要表现为细胞周期阻滞与凋亡诱导, 不同肿瘤细胞系对铁皮石斛提取物的敏感度存在差异, 可能与各细胞自身信号网络的背景有关。铁皮石斛其他功能的研究成果汇总见表 5。

**表 3 铁皮石斛抗氧化功能及机制的研究**

**Table 3 Study on antioxidant activity and mechanism of *Dendrobium officinale***

| 实验模型 | 机制探讨 | 作用效果 | 参考文献 |
|---|---|---|---|
| ·OH 诱导 SH-SY5Y 细胞 | 清除·OH, 抑制细胞凋亡 | ·OH 清除率呈浓度依赖性, 细胞凋亡率从 56.97%降至 17.97% | [35] |
| 体外抗氧化实验 | 清除自由基 | DPPH 清除率半数抑制浓度(half maximal inhibitory concentration, $IC_{50}$)为 1.82 mg/mL, 2,2'-联氮-双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐自由基阳离子(2,2'-azino-bis[3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid] ammonium salt radical cation, ABTS)清除率 $IC_{50}$ 为 0.96 mg/mL, 对·OH 有一定清除作用 | [36] |
| 体外抗氧化实验 | 清除自由基 | 清除 DPPH 和 ABTS 能力显著, 呈浓度依赖性 | [37] |
| 中波紫外线(ultraviolet B, UVB)诱导 HaCaT 细胞 | 降低 ROS 水平, 抑制基质金属蛋白酶(matrix metalloproteinase, MMP)表达 | 升高 SOD、CAT、GSH-Px 活性, 降低 ROS 水平, 下调 MMP-1、MMP-3 表达 | [38] |
| 体外抗氧化实验 | 清除自由基 | 对 DPPH、·OH、$\cdot O_2^-$具有一定清除作用 | [39] |
| $H_2O_2$ 诱导 H9c2 心肌细胞 | 降低氧化应激, 抑制活性氧过量产生 | 升高 SOD 活性, 减少 ROS 生成, 降低 MDA 水平, 提高线粒体膜电位 | [40] |
| $H_2O_2$ 诱导 H9c2 心肌细胞 | 激活 PI3K/AKT 和 MAPK 通路, 抑制细胞凋亡 | 减少 ROS 生成, 升高 PI3K、AKT、细胞外调节蛋白激酶(extracellular regulated protein kinases, ERK)磷酸化水平, 降低 Bcl-2 相关 X 蛋白(bcl-2-associated X protein, Bax)/B 细胞淋巴瘤-2 (B-cell lymphoma-2, Bcl-2)比值 | [41] |
| 香烟烟雾诱导肺炎小鼠模型 | 调节 NF-$\kappa$B 和 MAPK 信号通路 | 抑制血清和肺组织 TNF-$\alpha$ 和 IL-1$\beta$ 分泌, 降低血清激活蛋白 1 的活性 | [42] |
| 对乙酰氨基酚(acetaminophen, APAP)诱导肝损伤小鼠模型 | 激活 Nrf2-Keap1 信号通路, 上调抗氧化酶表达 | 降低血清谷丙转氨酶(glutamic pyruvic transaminase, ALT)、谷草转氨酶(glutamic oxaloacetic transaminase, AST)水平, 升高肝组织 SOD、GSH-Px 活性, 降低 MDA 水平, 增加 Nrf2 核转位 | [43] |
| 胃癌前病变大鼠 | 激活 Nrf2 通路, 降低 8-OHdG 水平, 上调血红素加氧酶(heme oxygenase-1, HO-1)和 NAD(P)H 醌氧化还原酶 1 [NAD(P)H quinone dehydrogenase 1, NQO-1]表达 | 促进 Nrf2 表达, 上调 HO-1、NQO-1 蛋白表达, 升高 SOD 活性, 降低 MDA 水平 | [44] |
| 自然衰老卵巢早衰小鼠 | 抑制核因子 NF-$\kappa$B 和 p53/Bcl-2 通路, 减轻氧化应激 | 升高血清 SOD、GSH-Px, 降低 MDA、TNF-$\alpha$、IL-6 水平 | [45] |
| 环磷酰胺诱导免疫抑制小鼠 | 提高抗氧化酶活性, 减轻氧化损伤 | 升高血清和肝脏 SOD、GSH-Px 活性, 降低 MDA 水平 | [46] |

**表 4 铁皮石斛胃肠道保护功能及机制的研究**

**Table 4 Study on gastrointestinal protective effect and mechanism of *Dendrobium officinale***

| 实验模型 | 机制探讨 | 作用效果 | 参考文献 |
|---|---|---|---|
| 胃阴虚小鼠 | 调节胃肠激素分泌, 促进胃组织异常细胞凋亡 | 提高血清 SS 水平, 改善胃黏膜组织病变, 降低胃组织 NF-$\kappa$B 和 COX-2 蛋白表达, 提高 Bax/Bcl-2 比值 | [47] |
| 衰老小鼠 | 调节菌群代谢, 抑制 p-MLC/MLCK 信号通路 | 提高结肠闭锁小带蛋白-1 (zonula occludens-1, ZO-1)蛋白表达, 降低 TNF-$\alpha$ 表达量, 增加双歧杆菌丰度 | [48] |
| 高脂小鼠 | 调节肠道菌群结构, 保护肠道黏膜屏障 | 增加有益菌相对丰度, 降低有害菌丰度, 促进短链脂肪酸生成 | [50] |
| 正常小鼠 | 调节肠道菌群结构, 增加短链脂肪酸含量 | 提高有益微生物群属多样性, 增加丁酸盐含量 | [51] |
| 正常小鼠 | 调节肠道黏膜免疫活性, 促进细胞因子分泌 | 改变肠道黏膜结构, 增加派尔集合淋巴结和肠系膜淋巴结细胞因子分泌, 升高固有层分泌型 IgA 产生量 | [52] |
| 地芬诺酯诱导便秘小鼠 | 调节胃肠激素水平, 促进胃肠蠕动 | 升高血清乙酰胆碱酯酶、胃泌素、胃动素、P 物质水平 | [53] |
| 乙醇诱导胃溃疡大鼠 | 抗溃疡作用, 保护胃黏膜 | 增加胃液分泌, 增强胃组织 SOD 酶活性, 减少胃黏膜损伤 | [54] |

**表 5　铁皮石斛其他功能及机制的研究**

**Table 5　Study on other functions and mechanisms of *Dendrobium officinale***

| 生物活性 | 实验模型 | 机制探讨 | 作用效果 | 参考文献 |
|---|---|---|---|---|
| 抗炎 | LPS 诱导 RAW264.7 细胞 | 减少炎症因子释放, 抑制炎症相关蛋白表达 | 降低 TNF-$\alpha$、IL-6、IL-1$\beta$ 等炎症因子含量, 抑制细胞 NO 和 ROS 释放, 抑制诱导型一氧化氮合酶、COX-2、TLR4 和 p-p65 蛋白表达 | [55] |
| | II 型胶原诱导关节炎小鼠 | 抑制炎症信号通路, 调节辅助性 T 细胞 17 (T helper 17 cell, Th17)/ 调节性 T 细胞(regulatory T cell, Treg)平衡 | 降低 TNF-$\alpha$、IL-1$\beta$、IL-6 含量, 抑制缺氧诱导因子(hypoxia inducible factor, HIF-1$\alpha$)表达, IL-10 水平升高, 降低抑制蛋白(inhibitor of NF-$\kappa$B, I$\kappa$B)、p65、c-Jun 氨基末端激酶(c-Jun N-terminal kinase, JNK)、AKT、等磷酸化水平 | [56] |
| | LPS 诱导 RAW264.7 细胞 | 调节炎症相关信号通路, 增强吞噬功能 | 降低 NO、TNF-$\alpha$、IL-6、IL-1$\beta$ 分泌 | [57] |
| | 葡聚糖硫酸钠诱导急性结肠炎继发性肝损伤小鼠 | 激活信号通路, 调节蛋白表达 | 减少巨噬细胞浸润, 降低 MDA 水平, 升高 SOD、GSH-Px 活性, 下调 TNF-$\alpha$ 通路, 激活 Nrf-2 通路 | [65] |
| 抗肿瘤 | 小鼠前胃癌细胞 | 抑制细胞生长, 促进凋亡 | 降低原癌基因 *c-myc* 表达, 升高抑癌基因 *p53* 表达 | [58] |
| | MCF-7 乳腺癌细胞 | 诱导细胞周期 G2/M 期阻滞, 调控关键生物标志物 | 降低雌激素受体 $\alpha$、Ki67 表达, 升高 *p53*、提高 Bax/Bcl-2 比值 | [66] |
| | 子宫颈癌 HeLa 细胞 | 激活 MAPK 通路, 诱导细胞凋亡 | 上调 ERK、JNK、p38 蛋白激酶表达 | [67] |
| | 肺腺癌裸鼠移植瘤模型 | 调节自噬相关因子及肿瘤相关因子 | 降低肿瘤体积、瘤重, 上调自噬相关因子 Beclin1 和抑癌基因 *p16* 和 *p53* 的表达, 下调表皮生长因子受体表达 | [68] |
| | HepG-2 肝癌细胞 | 诱导氧化应激, 调控凋亡蛋白表达 | 升高 ROS 水平, 增加线粒体通透性, 提高 Bax/Bcl-2 比值, 促进细胞凋亡 | [69] |
| 保肝 | $CCl_4$ 诱导肝纤维化大鼠 | 维持肠道稳态, 调节信号通路 | 上调紧密连接蛋白、Bcl-2 蛋白表达, 抑制 LPS-TLR4-NF-$\kappa$B 信号通路的激活, 降低转化生长因子 $\beta$ (transforming growth factor-$\beta$, TGF-$\beta$)、TNF-$\alpha$ 炎症因子含量, 增加抗炎因子 IL-10 表达, 降低 $\alpha$-平滑肌肌动蛋白和胶原蛋白 I 的表达 | [59] |
| | 酒精诱导肝损伤小鼠 | 平衡氧化还原状态 | 升高肝脏 GSH-Px 水平, 降低 MDA 水平 | [60] |
| | $\alpha$-鹅膏毒肽致肝损伤小鼠 | 抑制 Bax/凋亡蛋白酶激活因子-1 (apoptotic protease activating factor-1, Apaf-1)/半胱天冬酶-3 (ysteinyl aspartate specific proteinase-3, Caspase-3)凋亡通路 | 降低血清 ALT、AST 水平, 降低 Bax、Caspase-3 表达, 升高 Bcl-2 表达 | [61] |
| | *D*-半乳糖诱导衰老小鼠 | 促进 Nrf2/HO-1/NQO1 信号通路 | 升高肝脏抗氧化酶活性, 降低促炎细胞因子水平, 上调 Nrf2、HO-1、NQO-1 mRNA 表达 | [62] |
| 抗疲劳 | 小鼠强迫游泳 | 抑制糖原消耗, 调节氧化酶 | 升高糖原含量, 上调 PGC-1$\alpha$ 表达, 升高三磷酸腺苷(adenosine triphosphate, ATP)水平 | [63] |
| | 小鼠负重游泳 | 抑制糖原消耗, 调节氧化酶, 激活 PGC-1$\alpha$ | 降低乳酸脱氢酶、肌酸激酶、血尿素氮、MDA 水平, 升高肝糖原、肌糖原含量 | [64] |
| | 小鼠负重游泳 | 调节代谢相关因子游泳时间显著延长 | 降低血乳酸、血尿素氮水平, 升高肝糖原含量 | [70] |

### 1.6　主要活性成分及其功能总结

铁皮石斛中的活性物质以多糖、黄酮、多酚及生物碱为主, 不同成分在含量分布与功能侧重上存在差异。多糖在茎部积累最为丰富且含量最高, 在调节机体免疫、控制血糖、清除自由基、修复胃肠损伤以及抑制肿瘤等方面均表现突出, 不同来源多糖的单糖构成及其分子量大小, 对其生物活性强弱产生明显影响, 其作用机制涉及巨噬细胞活化、肠道微生态重塑以及 MAPK/NF-$\kappa$B、Nrf2 等多个信号通路的调控。多酚类化合物在叶片和花中含量较高, 已分离鉴定的成分主要包括柚皮苷、芹菜素、槲皮素、山奈酚、表没食子儿茶素没食子酸酯、没食子酸、表茶素等, 以上化合物通过直接清除 DPPH·、$ABTS^{+}$·等自由基、抑制

炎症因子的释放等发挥功效。生物碱类在铁皮石斛中含量较低, 该类成分具有抗炎、抗氧化、抗癌以及对神经系统的保护作用。

铁皮石斛的整体功能是多糖、黄酮、多酚、生物碱等共同参与、相互协同的结果, 明确各类成分的精准功能, 可为后续产品开发中活性物质的定向富集与质量标准的建立提供了理论支撑。

## 2 铁皮石斛在食品开发中的应用

在食品开发领域, 铁皮石斛的应用主要集中在饮料制食品和淀粉类制品两大类。在饮料制品的开发方面, 铁皮石斛可以加工成复合饮料、发酵饮料和固体饮料等; 在淀粉制食品方面, 铁皮石斛可被加工成面包、饼干、蛋糕等。

### 2.1 饮料制食品

以铁皮石斛为主要原料, 配伍黄精、黄芪、桑椹、枸杞制得的复合饮料, 能显著上调斑马鱼尾部中性粒细胞数量, 提高 *IL-12* 和 *TNF-α* 基因表达水平, 具有增强免疫力的作用[14]。邢建荣等[71]以铁皮石斛鲜茎 0.50%、石斛干叶 0.50%、杭白菊 0.10%、西洋参 0.025%, 开发了多糖含量 1000~1500 mg/L 的饮料。铁皮石斛可与多种食材复配开发出风味独特的复合饮料, 如与芒果复配[72]、与西兰花和大豆多肽复配[73]、与苹果复配[74]、与山楂复配[75]与雪梨复配[76]等, 形成了丰富的产品矩阵。

XU 等[77]以铁皮石斛和香蕉为原料进行混菌发酵, 发酵后的复合果汁的品质、抗氧化能力和贮藏稳定性均有提高。巩卫琪等[78]以铁皮石斛叶为原料, 用植物乳杆菌进行发酵饮料的制备, 确定了最佳发酵工艺, 所得产品颜色呈浅黄色, 口感清甜, 酸甜适宜。林华嗣等[79]采用嗜酸乳杆菌与副干酪乳杆菌混合液态发酵铁皮石斛汁, 赋予发酵汁甜味鲜味以及柔润口感, 发酵汁中多糖平均分子量由 184.40 ku 减小至 91.27 ku。不同饮料加工技术存在各自的技术特点。复合饮料基于多种原料复配以实现协同增效, 但热杀菌工序易导致多糖等热敏活性成分的损失。发酵饮料借助微生物转化作用, 可使多糖分子量明显降低, 同时改善产品风味, 然而发酵条件如菌种选择、温度控制、发酵时长等需精确调控。固体饮料便于储存和运输, 但喷雾干燥过程中的高温环境可能对部分活性成分造成破坏。因此, 工艺方案的选择应在活性成分保留与产品稳定性之间寻求平衡。铁皮石斛饮料制食品开发情况汇总见表 6。

### 2.2 淀粉制食品

铁皮石斛粉的添加对面团的粉质特性具有显著影响, 当添加量在 4%~6%范围内时, 面团的加工适应性较佳[85]。铁皮石斛多糖可提高冷冻面团中淀粉的热稳定性, 减缓回生, 增加面团的吸水率并抑制水分迁移, 减少冷冻面团微

**表 6 铁皮石斛饮料制食品的开发**

**Table 6 Development of *Dendrobium officinale* beverage products**

| 产品类型 | 产品名称 | 产品制备工艺描述 | 产品评价指标 | 参考文献 |
|---|---|---|---|---|
| 复合饮料 | 铁皮石斛复合饮料 | 铁皮石斛浓缩汁 70%、黄精浓缩汁 1%、黄芪浓缩汁 1%、桑椹浓缩汁 10%、枸杞浓缩汁 5%复配, 调配、均质、灌装、杀菌 | 感官评分、理化指标、微生物指标、免疫活性指标 | [14] |
| | 铁皮石斛苹果复合饮料 | 鲜铁皮石斛汁与苹果汁体积比 6:4, 黄原胶 0.4 g/L、白砂糖 40 g/L、柠檬酸 1 g/L | 感官评分、理化指标、微生物指标 | [74] |
| | 铁皮石斛红枣枸杞复合饮料 | 铁皮石斛提取液 25%、红枣汁 25%、枸杞汁 18%、白砂糖 9%、柠檬酸 0.04% | 感官评分、微生物指标、风味品质 | [80] |
| 发酵饮料 | 铁皮石斛香蕉复合发酵果汁 | 以铁皮石斛和香蕉为原料, 接种芽孢杆菌 DU-106、植物乳杆菌 Lp-43、鼠李糖乳杆菌 Lr156, 在 32 ℃条件下发酵 36 h | 感官评分、理化指标、微生物指标、抗氧化活性、酶活性指标、贮藏稳定性 | [77] |
| | 铁皮石斛石榴复合发酵酒 | 将 4 g 铁皮石斛花加入到新鲜的石榴果汁中, 调节初始糖度为 23%, 接入 0.7%的酿酒酵母, 常温条件下酵母和复合液发酵 7 d | 感官评分、理化指标、活性成分含量 | [81] |
| 固体饮料 | 铁皮石斛固体饮料(降血糖) | 铁皮石斛提取物冻干粉、甘露醇、木糖醇、水溶性膳食纤维、柠檬酸与魔芋胶按质量比 10:40:35:15:0.4:4 混合均匀, 以体积分数为 60%的乙醇溶液为润湿剂, 湿法制粒, 50 ℃干燥 2 h 后整粒 | 感官评分、理化指标、微生物指标 | [82] |
| | 铁皮石斛花固体饮料 | 铁皮石斛花与乌龙茶质量比 1.00:0.75, 15 倍体积 60%乙醇浸提 60 h, 40 ℃减压浓缩, 160 ℃喷雾干燥 | 感官评分、理化指标、活性成分含量 | [83] |
| | 铁皮石斛配方奶粉 | 铁皮石斛提取液与牛奶体积比 10:90, 乳糖 0.05 g/mL、环糊精 0.04 g/mL、喷雾干燥 | 感官评分、理化指标、活性成分含量 | [84] |

观结构和流变学特性的劣化[86]。聂风等[87]研究发现, 随着添加量增加, 面包中总酚及多糖含量同步上升, DPPH 自由基清除能力与总抗氧化活性增强。邵知扬等[88]通过单因素试验和正交试验, 加工了铁皮石斛山药饼干, 成品不仅品质细腻, 且具有铁皮石斛的特有清香。张珍林等[89]将鲜铁皮石斛花通过干制并超微粉碎后加入低筋小麦粉中, 制得具有独特花香、色泽淡黄均匀的铁皮石斛花蛋糕产品。不同淀粉制食品的加工工艺对活性成分的保留与功能表达存在差异。面包、饼干等焙烤类产品虽有助于结合态酚类释放, 但高温易造成黄酮损失。蛋糕制品对色泽和香气保留较好, 但活性成分储存稳定性欠佳。冷冻面团技术可延长保质期, 然而多糖的冻融保护效果因分子量而异。铁皮石斛淀粉制食品开发的成果汇总见表 7。

**表 7　铁皮石斛淀粉制食品的开发**

**Table 7　Development of *Dendrobium officinale* starch-based food products**

| 产品类型 | 产品名称 | 产品制备工艺描述 | 产品评价指标 | 参考文献 |
|---|---|---|---|---|
| 面包 | 铁皮石斛面包 | 以面包粉为基准, 铁皮石斛粉添加量 8%、水 38%、白砂糖 30%、鸡蛋 12%、黄油 12%、酵母 1.2%、食盐 1.0%, 面团调制、发酵、整形、醒发、焙烤 | 感官评分、理化指标、质构特性、活性成分含量、抗氧化能力 | [90] |
| 饼干 | 铁皮石斛韧性饼干 | 低筋面粉 100%计, 铁皮石斛粉 6%、赤藓糖醇 24%、黄油 20%、鸡蛋液 20%、玉米淀粉 15%、全脂奶粉 6%、小苏打 0.06%、食盐 0.5%、水 22%, 面团调制后成型, 面火 170 ℃、底火 160 ℃烘烤 16 min | 感官评分、理化指标、活性成分含量、抗氧化能力 | [91] |
| | 铁皮石斛山药饼干 | 铁皮石斛粉 15 g、山药粉 10 g、麦芽糖醇 30 g、黄油 15 g、小苏打 1 g、低筋小麦粉 100 g、鸡蛋 50 g、水 10 g、盐 0.2 g、奶粉 3 g, 面火和底火烘焙温度均为 140 ℃, 焙烤时间 20 min | 感官评分、质构特性、风味成分 | [88] |
| 蛋糕 | 铁皮石斛花蛋糕 | 鸡蛋 1 个、面粉 18 g、白糖粉 8 g、铁皮石斛花 1 g、牛奶 10 mL、食用油 10 mL, 底火 170 ℃、面火 170 ℃, 时间 40 min | 感官评分、质构特性、风味成分 | [89] |

## 3　铁皮石斛在保健食品中的应用

检索国家市场监督管理总局特殊食品信息查询平台(http://ypzsx.gsxt.gov.cn/specialfood/#/food), 截至 2026 年 3 月以铁皮石斛为主要原料的保健食品共 195 款, 已获批产品的保健功能包括增强免疫力、缓解体力疲劳、延缓衰老等(表 8), 这一结果呈现了以铁皮石斛为原料在开发保健品方面具有良好的产业化前景。

**表 8　以铁皮石斛为原料的保健食品功能**

**Table 8　Function of health food with *Dendrobium officinal* as raw material**

| 序号 | 保健功能 | 数量/个 | 占比/% |
|---|---|---|---|
| 1 | 免疫调节 | 172 | 74.46 |
| 2 | 缓解疲劳 | 38 | 16.45 |
| 3 | 清咽润喉 | 6 | 2.60 |
| 4 | 对肝损伤有辅助保护作用 | 6 | 2.60 |
| 5 | 延缓衰老 | 2 | 0.87 |
| 6 | 辅助降血糖 | 2 | 0.87 |
| 7 | 维持血压健康 | 1 | 0.43 |
| 8 | 抗突变 | 1 | 0.43 |
| 9 | 改善骨密度 | 1 | 0.43 |
| 10 | 对辐射危害有辅助保护作用 | 1 | 0.43 |
| 11 | 改善胃黏膜损伤 | 1 | 0.43 |

注: 数据来自国家市场监督管理总局特殊食品信息查询平台, 下表同。

### 3.1　铁皮石斛保健品原料配伍

已注册的铁皮石斛类保健食品中, 大多数产品采用两种或两种以上原料复配的形式。基于传统中医组方理论, 通过科学配伍将铁皮石斛与其他药材合理组合, 借助各组分之间的协同增效作用, 使产品发挥更全面的保健功能。LIU 等[92]的研究证实, 铁皮石斛与西洋参复配使用不仅能够增强模型动物的免疫功能, 还能有效调节肠道微生态。统计发现, 含铁皮石斛活性成分的保健食品配方库中, 存在 23 个配伍组合, 其中与西洋参、灵芝等补气类药材以及枸杞等养阴类药材的协同配伍呈现显著的统计学优势。这一模式契合中医“益气养阴”的组方理论, 上述配伍在增强免疫、调节肠道微生物改善等方面获得现代研究认证, 说明基于传统经验的组方规律与现代功能评价结果相互印证, 为铁皮石斛类保健品的精准配伍提供了理论支撑。

### 3.2　铁皮石斛保健品剂型

铁皮石斛保健食品主要剂型有颗粒剂、胶囊剂、片剂、膏剂、口服液等 10 种(表 9), 其中颗粒型的铁皮石斛保健品因工艺成熟、服用方便而被广泛应用, 占比约 30.26%, 其次是胶囊型, 占比约 25.64%, 传统的胶囊型和颗粒剂型占比已超过 50%, 口服液、饮料等液体制剂仅占不足 12%。不同剂型在生物利用度、稳定性和使用便利性上存在差异。固体制剂便于保存和运输, 但需重视其释放与溶出特性。液

体制剂吸收较快，然而活性成分在贮藏期间更易降解。目前针对不同剂型生物利用度的系统比较研究仍较为缺乏。

**表 9 以铁皮石斛为原料的保健食品剂型**
**Table 9 Health food formulation with *Dendrobium officinale* as raw material**

| 序号 | 产品剂型 | 数量/个 | 占比/% |
|---|---|---|---|
| 1 | 颗粒 | 59 | 30.26 |
| 2 | 胶囊 | 50 | 25.64 |
| 3 | 片剂 | 29 | 14.87 |
| 4 | 膏剂 | 13 | 6.67 |
| 5 | 口服液 | 12 | 6.15 |
| 6 | 饮料 | 11 | 5.64 |
| 7 | 软胶囊 | 10 | 5.13 |
| 8 | 粉剂 | 5 | 2.56 |
| 9 | 茶剂 | 4 | 2.05 |
| 10 | 丸剂 | 2 | 1.03 |

## 4 结束语

铁皮石斛作为传统名贵药食两用植物，在免疫调节、降血糖、抗氧化、胃肠道保护等方面作用显著，黄酮、生物碱等功能成分逐渐明晰，作用机制已从单一通路向多靶点网络调控深化，涉及肠道菌群调节、免疫细胞激活及相关信号通路调控。铁皮石斛也已实现从传统食用方式向现代功能食品的转型，复合饮料技术路径较为完备，发酵饮料提升活性成分的生物利用度，固体饮料契合便捷消费需求；铁皮石斛富含多糖及膳食纤维等功能性成分，常以粉体或提取物形式与小麦粉复配，用于淀粉制食品的开发；保健食品方面，以增强免疫力为核心功能的颗粒剂、胶囊剂等传统剂型已实现产业化，市场前景良好。

当前研究仍存在一定局限，如活性成分研究过度集中于多糖，对黄酮、生物碱等关注不足；构效关系缺乏系统比较；产品同质化明显，新型剂型开发滞后等。未来研究应聚焦以下方向：(1)拓展活性成分谱。综合运用代谢组学与高通量筛选技术，系统解析黄酮、生物碱、多酚等非多糖组分的含量、分布及其与多糖的协同增效关系。(2)深化构效关系研究。采用色谱-质谱法、核磁共振等手段，系统比较不同分子量、单糖组成、糖苷键连接方式的多糖在抗氧化、免疫调节等活性上的差异，建立“结构特征-生物活性”的定量构效关系模型。(3)优化饮料加工技术。构建功能导向的发酵菌种筛选体系，比较乳酸菌、芽孢杆菌等不同菌种对铁皮石斛活性成分释放与生物转化的效率。(4)开发新型保健食品剂型。探索纳米脂质体、固体脂质纳米粒、环糊精包合物等新型载体技术，提高铁皮石斛活性成分的溶解度和肠道吸收率。通过多学科交叉融合与关键技术突破，实现铁皮石斛精深加工产品的多元化与高附加值，有力推动产业高质量发展。

## 参考文献


[1] 岳路平, 宋新力, 王雪山, 等. 铁皮石斛多糖的结构特征及生物活性研究进展[J]. 热带农业科学, 2025, 45(8): 133–141.
YUE LP, SONG XL, WANG XS, *et al*. Research progress on structural characteristics and biological activities of polysaccharides from *Dendrobium officinale* [J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2025, 45(8): 133–141.

[2] ZUO SM, YU HD, ZHANG W, *et al*. Comparative metabolomic analysis of *Dendrobium officinale* under different cultivation substrates [J]. Metabolites, 2020, 10(8): 325.

[3] HUANG YP, HE TB, CUAN XD, *et al*. 1, 4-*β*-*D*-glucomannan from *Dendrobium officinale* activates NF-*κ*B via TLR4 to regulate the immune response [J]. Molecules, 2018, 23(10): 2658.

[4] 张霞, 白月明, 谢雪勤, 等. 铁皮石斛多糖分离纯化及其药理活性研究进展[J]. 食品工业科技, 2022, 43(24): 412–422.
ZHANG X, BAI YM, XIE XQ, *et al*. Research progress on isolation, purification and pharmacological activities of *Dendrobium officinale* polysaccharide [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(24): 412–422.

[5] WANG XL, ZHOU X, WANG K, *et al*. Structural characterisation and bioactivity of polysaccharides isolated from fermented *Dendrobium officinale* [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2022, 102(1): 280–290.

[6] 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.
LUO ZY, JIANG Y, YU XL, *et al*. Research progress on structural characteristics, biological activities, structure-activity relationship and product development of *Dendrobium polysaccharides* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(15): 429–442.

[7] KE Y, ZHAN LH, LU TT, *et al*. Polysaccharides of *Dendrobium officinale* Kimura & Migo leaves protect against ethanol-induced gastric mucosal injury via the AMPK/mTOR signaling pathway *in vitro* and *vivo* [J]. Frontiers in Pharmacology, 2020, 11: 526349.

[8] 喻明军, 向敏, 夏勇, 等. 铁皮石斛多糖的提取工艺及对生物活性影响研究进展[J]. 农产品加工, 2021, 5(9): 79–82, 88.
YU MJ, XIANG M, XIA Y, *et al*. Advances in extraction technology polysaccharide from *Dendrobium officinale* and its effect on biological activities [J]. Agricultural Products Processing, 2021, 5(9): 79–82, 88.

[9] LIU S, ZHANG HY, YUAN YD. 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.

[10] SONG C, MA J, LI G, *et al*. Natural composition and biosynthetic pathways of alkaloids in medicinal *Dendrobium* species [J]. Frontiers in Plant Science, 2022, 13: 850949.

[11] 刘雪娜, 吴雪娇, 刘顺航, 等. 铁皮石斛的药理作用及其保健食品研发进展[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(10): 144–150.
LIU XN, WU XJ, LIU SH, *et al*. Pharmacological effects of *Dendrobium officinale* and the development of its health foods [J]. Storage and Process, 2021, 21(10): 144–150.

[12] HUANG XJ, NIE SP, CAI HL, *et al*. Study on *Dendrobium officinale* O-acetyl-glucomannan (Dendronan): Part IV. immunomodulatory activity *in vivo* [J]. Journal of Functional Foods, 2015, 15: 525–532.

[13] HUANG XJ, NIE SP, CAI HL, *et al*. Study on *Dendrobium officinale* O-acetyl-glucomannan (Dendronan®): Part VI. protective effects against oxidative stress in immunosuppressed mice [J]. Food Research International, 2015, 72: 168–173.

[14] 杨土娣, 刘常青, 宋力飞, 等. 铁皮石斛复合饮料的研制及其免疫调节作用研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(11): 292–299.

YANG TD, LIU CQ, SONG LF, *et al*. Preparation of compound beverage by *Dendrobium officinale* and analysis of its immunomodulatory effect [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(11): 292–299.

[15] 李伟, 张静, 周雯, 等. 铁皮石斛对免疫抑制小鼠的免疫调节作用和血清细胞因子的影响[J]. 卫生研究, 2016, 45(1): 137–139.
LI W, ZHANG J, ZHOU W, *et al*. Immunomodulatory effect of *Dendrobium officinale* on immunosuppressed mice and its influence on serum cytokines [J]. Journal of Hygiene Research, 2016, 45(1): 137–139.

[16] 肖丽, 郭金婷, 王增玲. 铁皮石斛配合糖皮质激素对狼疮肾炎患者免疫功能及疗效的影响[J]. 宁夏医科大学学报, 2020, 42(1): 80–83.
XIAO L, GUO JT, WANG ZL. Effect of *Dendrobium candidum* combined with glucocorticoid on patients with Lupus Nephritis and its effect on immune function [J]. Journal of Ningxia Medical University, 2020, 42(1): 80–83.

[17] 吴春璇, 刘城志, 程楸琪, 等. 铁皮石斛多糖的提取工艺优化及其对环磷酰胺诱导的免疫抑制小鼠的调节作用[J]. 畜牧与兽医, 2025, 57(11): 37–45.
WU CX, LIU CZ, CHENG QQ, *et al*. Optimization of the extraction process of *Dendrobium officinale* polysaccharide and its modulating effect on cyclophosphamide-induced immunosuppression in mice [J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2025, 57(11): 37–45.

[18] 苑洁, 刘佳, 王雨, 等. 贵州鲜铁皮石斛粉对小鼠免疫功能的影响[J]. 微量元素与健康研究, 2020, 37(6): 3–6.
YUAN J, LIU J, WANG Y, *et al*. Effect of fresh *Dendrobium officinale* powder from Guizhou on immune function in mice [J]. Studies of Trace Elements and Health, 2020, 37(6): 3–6.

[19] LIU JJ, YU LY, WANG C, *et al*. Preparation, structural features and *in vitro* immunostimulatory activity of a glucomannan from fresh *Dendrobium catenatum* stems [J]. Frontiers in Nutrition, 2022, 8: 823803.

[20] HE TB, HUANG YP, YANG L, *et al*. Structural characterization and immunomodulating activity of polysaccharide from *Dendrobium officinale* [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, 83: 34–41.

[21] 王新婷, 王珂, 张志远, 等. 铁皮石斛花多糖的结构组成及免疫活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2024, 36(12): 1999–2007.
WANG XT, WANG K, ZHANG ZY, *et al*. Structural composition and immunological activity of polysaccharides from *Dendrobium officinale* Kimura & Migo flowers [J]. Natural Product Research and Development, 2024, 36(12): 1999–2007.

[22] ZHA XQ, ZHAO HW, BANSAL V, *et al*. Immunoregulatory activities of *Dendrobium huoshanense* polysaccharides in mouse intestine, spleen and liver [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2014, 64: 377–382.

[23] 王云威, 王景雪. 铁皮石斛多糖对 2 型糖尿病小鼠降糖降脂的作用[J]. 食品科学, 2020, 41(21): 127–132.
WANG YW, WANG JX. Hypoglycemic and lipid-lowering effects of polysaccharides from *Dendrobium officinale* stems in type 2 diabetic mice [J]. Food Science, 2020, 41(21): 127–132.

[24] 陈小霞. 以肠道菌群为靶点的铁皮石斛多糖抗 2 型糖尿病构效机制研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2024.
CHEN XX. Study on structure-activity mechanism of *Dendrobium officinale* polysaccharides against type 2 diabetes mellitus targeting intestinal microbiota [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2024.

[25] 王丹, 袁永俊, 谭青云, 等. 不同菌种发酵对铁皮石斛多糖及其生物活性的影响[J]. 中国调味品, 2019, 44(9): 39–43.
WANG D, YUAN YJ, TAN QY, *et al*. Effects of different strains fermentation on polysaccharide and biological activity of *Dendrobium candidum* [J]. China Condiment, 2019, 44(9): 39–43.

[26] CHEN Y, YANG HL, XU ZX, *et al*. *Dendrobium officinale* leaf phenolic extracts alleviate diabetes mellitus in mice via modulating metabolism and reshaping gut microbiota [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2025, 105(10): 5377–5387.

[27] YANG JR, CHEN HH, NIE QX, *et al*. *Dendrobium officinale* polysaccharide ameliorates the liver metabolism disorders of type II diabetic rats [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 164: 1939–1948.

[28] CHEN HH, NIE QX, HU JL, *et al*. Metabolism amelioration of *Dendrobium officinale* polysaccharide on type II diabetic rats [J]. Food Hydrocolloids, 2020, 102: 105582.

[29] PENG D, TIAN WN, AN MQ, *et al*. Characterization of antidiabetic effects of *Dendrobium officinale* derivatives in a mouse model of type 2 diabetes mellitus [J]. Food Chemistry, 2023, 399: 133974.

[30] ZHANG Q, LI J, LUO M, *et al*. Systematic transcriptome and regulatory network analyses reveal the hypoglycemic mechanism of *Dendrobium fimbriatum* [J]. Molecular Therapy Nucleic Acids, 2020, 19: 1–14.

[31] WANG HY, LI QM, YU NJ, *et al*. *Dendrobium huoshanense* polysaccharide regulates hepatic glucose homeostasis and pancreatic *β*-cell function in type 2 diabetic mice [J]. Carbohydrate Polymers, 2019, 211: 39–48.

[32] LIU YG, YANG LL, ZHANG Y, *et al*. *Dendrobium officinale* polysaccharide ameliorates diabetic hepatic glucose metabolism via glucagon-mediated signaling pathways and modifying liver-glycogen structure [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2020, 248: 112308.

[33] KUANG MT, LI JY, YANG XB, *et al*. Structural characterization and hypoglycemic effect via stimulating glucagon-like peptide-1 secretion of two polysaccharides from *Dendrobium officinale* [J]. Carbohydrate Polymers, 2020, 241: 116326.

[34] QU J, TAN SY, XIE XY, *et al*. *Dendrobium officinale* polysaccharide attenuates insulin resistance and abnormal lipid metabolism in obese mice [J]. Frontiers in Pharmacology, 2021, 12: 659626.

[35] 张雅丹, 赵梦倩, 杨煜佼, 等. 铁皮石斛多糖提取及对羟自由基诱导的 SH-SY5Y 细胞凋亡的抑制作用[J]. 食品科学, 2020, 41(14): 286–293.
ZHANG YD, ZHAO MQ, YANG YJ, *et al*. Extraction of polysaccharides from *Dendrobium officinale* and their inhibitory effect on hydroxyl radical-induced apoptosis of SH-SY5Y cells [J]. Food Science, 2020, 41(14): 286–293.

[36] ZHANG W, LIU XJ, SUN X, *et al*. Comparison of the antioxidant activities and polysaccharide characterization of fresh and dry *Dendrobium officinale* Kimura et Migo [J]. Molecules, 2022, 27(19): 6654.

[37] 姜雨露, 汪媛, 焦莹莹, 等. 响应面法优化铁皮石斛花总黄酮的提取工艺及抗氧化活性研究[J]. 农产品加工, 2025(23): 54–60.
JIANG YL, WANG Y, JIAO YY, *et al*. Optimization of extraction technology and antioxidant activity of total flavonoids from *Dendrobium officinale* by response surface method [J]. Agricultural Products Processing, 2025(23): 54–60.

[38] XU ZJ, ZHOU WY, YANG CC, *et al*. *Dendrobium officinale* polysaccharides: Alleviating UVB-induced skin damage by anti-oxidation and inhibiting matrix metalloproteinases expression [J]. Food Science and Biotechnology, 2025, 34(10): 2307–2320.

[39] 刘根梅, 古翠婷, 麦汉铨, 等. 铁皮石斛多糖的提取工艺优化及抗氧化性研究[J]. 食品工业, 2024, 45(4): 108–113.
LIU GM, GU CT, MAI HQ, *et al*. Process optimization and antioxidant activity study of polysaccharide from *Dendrobium officinale* by ultrasonic and enzyme-assisted extraction [J]. The Food Industry, 2024, 45(4): 108–113.

[40] ZHAO XY, DOU MM, ZHANG ZH, *et al*. Protective effect of *Dendrobium officinale* polysaccharides on $H_2O_2$-induced injury in H9c2 cardiomyocytes [J]. Biomedicine Pharmacotherapy, 2017, 94: 72–78.

[41] ZHANG JY, GUO Y, SI JP, *et al*. A polysaccharide of *Dendrobium*

*officinale* ameliorates $H_2O_2$-induced apoptosis in H9c2 cardiomyocytes via PI3K/AKT and MAPK pathways [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 104: 1–10.

[42] GE JC, ZHA XQ, NIE CY, *et al*. Polysaccharides from *Dendrobium huoshanense* stems alleviates lung inflammation in cigarette smoke-induced mice [J]. Carbohydrate Polymers, 2018, 189: 289–295.

[43] LIN GS, LUO DD, LIU JJ, *et al*. Hepatoprotective effect of polysaccharides isolated from *Dendrobium officinale* against acetaminophen-induced liver injury in mice via regulation of the Nrf2-Keap1 signaling pathway [J]. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2018, 2018: 6962439.

[44] ZHAO Y, SUN YZ, WANG GY, *et al*. *Dendrobium officinale* polysaccharides protect against MNNG-induced PLGC in rats via activating the NRF2 and antioxidant enzymes HO-1 and NQO-1 Oxid [J]. Oxidative Medicine Cellular Longevity, 2019, 2019(1): 9310245.

[45] WU YY, LIANG CY, LIU TT, *et al*. Protective roles and mechanisms of polysaccharides from *Dendrobium officinal* on natural aging-induced premature ovarian failure [J]. Biomedicine Pharmacotherapy, 2018, 101: 953–960.

[46] SUN SJ, DENG P, PENG CE, *et al*. Extraction, structure and immunoregulatory activity of low molecular weight polysaccharide from *Dendrobium officinale* [J]. Polymers, 2022, 14(14): 2899.

[47] 陈青青, 苏洁, 杜宇忠, 等. 铁皮石斛超微粉对“过食辛辣”致胃阴虚模型小鼠的影响[J]. 中国中药杂志, 2021, 46(7): 1651–1657.
CHEN QQ, SU J, DU YZ, *et al*. Effect of *Dendrobium officinale* superfine powder on stomach Yin deficiency model mice induced by “spicy overeating” [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2021, 46(7): 1651–1657.

[48] 李宏. 铁皮石斛多糖 D1N1 的制备及对肠道微生态的调控作用研究[D]. 长春: 长春中医药大学, 2024.
LI H. Preparation of preparation of *Dendrobium officinale* polysaccharide D1N1 and its regulatory effect on intestinal microbiota [D]. Changchun: Changchun University of Chinese Medicine, 2024.

[49] 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.
HUANG XJ, WANG ZQ, NIE SP. Functional activities research and industrialization status of *Dendrobium officinale* [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2023, 23(11): 1–12.

[50] 黄莉莉, 郑淘, 唐圆, 等. 铁皮石斛多糖对高脂饮食小鼠肠腔菌群的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(4): 1082–1088.
HUANG LL, ZHENG T, TANG Y, *et al*. Effect of *Dendrobium officinale* polysaccharide on lumen-associated microbiota in high-fat diet-fed mice [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(4): 1082–1088.

[51] LI MX, YUE H, WANG YQ, *et al*. Intestinal microbes derived butyrate is related to the immunomodulatory activities of *Dendrobium officinale* polysaccharide [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 149: 717–723.

[52] XIE SZ, LIU B, ZHANG DD, *et al*. Intestinal immunomodulating activity and structural characterization of a new polysaccharide from stems of *Dendrobium officinale* [J]. Food &Function, 2016, 7(6): 2789–2799.

[53] LUO DD, QU C, ZHANG ZB, *et al.* Granularity and laxative effect of ultrafine powder of *Dendrobium officinale* [J]. Journal of Medicinal Food, 2017, 20(2): 180–188.

[54] 谢唐贵, 兰保强, 李燕婧, 等. 铁皮石斛益胃作用的谱效关系[J]. 广西医学, 2018, 40(6): 670–674, 680.
XIE TG, LAN BQ, LI YQ, *et al*. Spectrum-effect relationship analysis on stomach-nourishing effect of *Dendrobium officinale* [J]. Guangxi Medical Journal, 2018, 40(6): 670–674, 680.

[55] 卢雪春. 铁皮石斛多糖对 LPS 诱导的 RAW264.7 细胞炎症的抑制作用研究[D]. 昆明: 云南农业大学, 2024.
LU XC. Inhibitory effect of *Dendrobium officinale* polysaccharide on LPS-induced inflammation in RAW264.7 cells [D]. Kunming: Yunnan Agricultural University, 2024.

[56] SHANG ZZ, QIN DY, LI QM, *et al*. *Dendrobium huoshanense* stem polysaccharide ameliorates rheumatoid arthritis in mice via inhibition of inflammatory signaling pathways [J]. Carbohydrate Polymers, 2021, 258: 117657.

[57] 林晓亮, 谢玲娜, 陈梦香, 等. 铁皮石斛中性多糖的分离纯化及抗炎作用[J]. 食品工业科技, 2024, 45(8): 39–46.
LIN XL, XIE LN, CHEN MX, *et al*. Isolation and purification of polysaccharide and anti-inflammatory effect of *Dendrobium officinale* neutral polysaccharide [J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(8): 39–46.

[58] LIU B, SHANG ZZ, LI QM, *et al*. Structural features and anti-gastric cancer activity of polysaccharides from stem, root, leaf and flower of cultivated *Dendrobium huoshanense* [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 143: 651–664.

[59] WANG KP, YANG XW, WU ZJ, *et al*. *Dendrobium officinale* polysaccharide protected $CCl_4$-induced liver fibrosis through intestinal homeostasis and the LPS-TLR4-NF-$\kappa$B signaling pathway [J]. Frontiers in Pharmacology, 2020, 11: 240.

[60] NIE G, ZHANG Y, ZHOU ZH, *et al*. Dynamic evaluation of the protective effect of *Dendrobium officinale* polysaccharide on acute alcoholic liver injury mice *in vitro* and *in vivo* by NIR fluorescence imaging [J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2021, 413(23): 5715–5724.

[61] 郑冲, 叶建方, 李磊. 基于 Bax/Apaf-1/Caspase-3 凋亡通路探讨铁皮石斛多糖对 $\alpha$-鹅膏毒肽致小鼠肝损伤的保护作用[J]. 卫生研究, 2026, 55(1): 124–131.
ZHENG C, YE JF, LI L. Protective effect of *Dendrobium officinale* polysaccharide against$\alpha$-amanitin-induced liver injury in mice based on Bax/Apaf-1/Caspase-3 apoptosis pathway [J]. Journal of Hygiene Research, 2026, 55(1): 124–131.

[62] CHU WH, WANG P, MA Z, *et al*. Ultrasonic treatment of *Dendrobium officinale* polysaccharide enhances antioxidant and anti-inflammatory activity in a mouse *D*-galactose-induced aging model [J]. Food Science & Nutrition, 2022, 10(8): 2620–2630.

[63] KIM S, JO K, BYUN BS, *et al*. Chemical and biological properties of puffed *Dendrobium officinale* extracts: Evaluation of antioxidant and anti-fatigue activities [J]. Journal of Functional Foods, 2020, 73: 104144.

[64] WEI W, LI ZP, ZHU T, *et al*. Anti-fatigue effects of the unique polysaccharide marker of *Dendrobium officinale* on BALB/c mice [J]. Molecules, 2017, 22(1): 155.

[65] LIANG J, CHEN SX, HU YD, *et al*. Protective roles and mechanisms of *Dendrobium officinal* polysaccharides on secondary liver injury in acute colitis [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 107: 2201–2210.

[66] SUN J, GUO YD, FU XQ, *et al*. *Dendrobium candidum* inhibits MCF-7 cells proliferation by inducing cell cycle arrest at G2/M phase and regulating key biomarkers [J]. Onco Targets and Therapy, 2016, 9: 21–30.

[67] YU WX, REN ZY, ZHANG XF, *et al*. Structural characterization of polysaccharides from *Dendrobium officinale* and their effects on apoptosis of HeLa cell line [J]. Molecules, 2018, 23(10): 2484.

[68] 庞晨. 铁皮石斛对肺腺癌细胞裸鼠移植瘤的抑制作用和对自噬相关因子、肿瘤相关因子表达影响的研究[D]. 南宁: 广西中医药大学, 2020.
PANG C. Effect of *dendrobium officinalis* on autophagy and tumor suppressor gene expression in nude mouse xenograft of lung adenocarcinoma [D]. Nanning: Guangxi University of Chinese Medicine, 2020.

[69] WEI Y, WANG LW, WANG DJ, *et al*. Characterization and anti-tumor activity of a polysaccharide isolated from *Dendrobium officinale* grown in

the Huoshan County [J]. Chinese Medicine, 2018, 13: 47.

[70] 谢唐贵, 陈敬民, 蓝保强, 等. 铁皮石斛抗疲劳作用的谱效关系研究[J]. 广西科学, 2019, 26(5): 569–576, 582.
XIE TG, CHEN JM, LAN BQ, *et al*. Spectrum-effect relationship between HPLC fingerprints and antifatigue function of *Dendrobium officinale* [J]. Guangxi Sciences, 2019, 26(5): 569–576, 582.

[71] 邢建荣, 郑美瑜, 杨颖, 等. 铁皮石斛叶饮料的加工工艺[J]. 浙江农业科学, 2018, 59(5): 748–750.
XING JR, ZHENG MY, YANG Y, *et al*. Research on the processing technology of *Dendrobium officinale* beverage [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2018, 59(5): 748–750.

[72] 黄琼, 高雪玲, 谢向机. 基于模糊数学研制铁皮石斛芒果复合饮料[J]. 农产品加工, 2026(1): 74–79.
HUANG Q, GAO XL, XIE XJ. Development of *Dendrobium officinale* and mango complex beverage based on fuzzy mathematics [J]. Agricultural Products Processing, 2026(1): 74–79.

[73] 丁海杰, 龚欣, 王烨, 等. 铁皮石斛西兰花大豆多肽复合饮料的研制[J]. 饮料工业, 2022, 25(6): 38–43.
DING HJ, GONG X, WANG Y, *et al.* Development of compound beverage of *Dendrobium officinale*, broccoli and soybean polypeptide [J]. Beverage Industry 2022, 25(6): 38–43.

[74] 丁勇, 徐玉巧, 杨宗玲, 等. 铁皮石斛苹果复合饮料加工工艺及其抗氧化性研究[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(1): 93–98.
DING Y, XU YQ, YANG ZL, *et al* Study on the processing technology of compound beverage of *Dendrobium officinale* and apple and its antioxidant activity [J]. Storage and Process, 2021, 21(1): 93–98.

[75] 肖庆群, 石斛多糖山楂复合饮料制备及缓解运动性疲劳的作用[J]. 食品工业科技, 2021, 42(12): 191–197.
XIAO QQ. Study on preparation of mixed beverage of *Dendrobium candidum* polysaccharide and hawthorn and its effect on relieving exercise fatigue [J]. Science and Technology of Food Industry 2021, 42(12): 191–197.

[76] 李蕾, 谭福能, 骆扬, 等. 铁皮石斛雪梨保健饮料的研制[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(19): 172–174.
LI L, TAN FN, LUO Y, *et al*. Production on health drink of *Dendrobium officinale* and snow pear [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2018, 46(19): 172–174.

[77] XU YN, ZENG LP, XIAO N, *et al*. Quality enhancement of *Dendrobium officinale* and banana juice through probiotic fermentation using beneficial lactic acid-producing bacteria [J]. International Journal of Food Engineering, 2020, 16(8): 20190370.

[78] 巩卫琪, 薛娇. 响应面法优化铁皮石斛叶发酵饮料工艺[J]. 饮料工业, 2022, 25(6): 28–32.
GONG WQ, XUE J. Optimization of fermentation beverage from leaves of *Dendrobium officinale* by response surface methodology [J]. Beverage Industry, 2022, 25(6): 28–32.

[79] 林华嗣, 黄庆, 田胜兰, 等. 乳酸菌发酵前后铁皮石斛汁中功能活性物质与风味成分的比较[J]. 现代食品科技, 2023, 39(12): 253–261.
LIN HS, HUANG Q, TIAN SL, *et al*. Comparison of functional active substances and flavor components in *Dendrobium officinale* juice before and after lactic acid bacteria fermentation [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(12): 253–261.

[80] 刘根梅, 刘永吉, 黄子寒. 铁皮石斛红枣枸杞复合饮料配方研究[J]. 韶关学院学报, 2024, 45(6): 1–5.
LIU GM, LIU YJ, HUANG ZH. Research on the formula of compound beverage of *Dendrobium officinale*, red jujube, and wolfberry [J]. Journal of Shaoguan University, 2024, 45(6): 1–5.

[81] 李士林, 李秋豪, 陈宇航, 等. 响应面优化铁皮石斛花石榴复合发酵酒的工艺及其品质与功能性分析[J]. 农产品加工, 2025(18): 33–39.
LI SL, LI QH, CHEN YH, *et al*. Process and quality and function analysis of *Dendrobium officinale* pomegranate compound fermented wine optimized with response surface [J]. Agricultural Products Processing, 2025(18): 33–39.

[82] 陈程.铁皮石斛中辅助降血糖活性成分分析及固体饮料开发[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2023.
CHEN C. Analysis of auxiliary hypoglycemic active components in *Dendrobium officinale* and development of solid beverage [D]. Harbin: Harbin University of Commerce, 2023.

[83] 刘倩葶, 刘琨毅, 李崇萍, 等. 铁皮石斛花固体饮料工艺初探及功能性物质鉴定[J]. 美食研究, 2020, 37(2): 70–76.
LIU QT, LIU KY, LI CP, *et al*. Preliminary study on the technology of *Dendrobium officinale* solid beverage and identification of functional substances [J]. Journal of Researches on Dietetic Science and Culture, 2020, 37(2): 70–76.

[84] 雷惊云, 晋皖豫, 常佳, 等. 添加铁皮石斛功能成分的配方奶粉的制备工艺[J]. 食品工业, 2023, 44(5): 99–102.
LEI JY, JIN WY, CHANG J, *et al*. Preparation technology of *Dendrobium officinale* formula with functional components [J]. The Food Industry, 2023, 44(5): 99–102.

[85] 聂风. 铁皮石斛粉对面团特性和面包品质的影响[D]. 芜湖: 安徽工程大学, 2024.
NIE F. Influence of *Dendrobium officinale* powder on dough characteristics and bread quality [D]. Wuhu: Anhui Polytechnic University, 2024.

[86] SU JP, FANG JQ, LIU CH, *et al*. Alleviative effects of *Dendrobium officinale* polysaccharide on the quality deterioration of frozen dough and corresponding bread [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2025, 304(1): 140705.

[87] 聂风, 魏明, 吴坤伟, 等. 铁皮石斛粉对面团特性和面包烘焙品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2025, 46(20): 44–51.
NIE F, WEI M, WU KW, *et al*. Effect of *Dendrobium officinale* powder on properties of dough and baking performance of bread [J]. Food Research and Development, 2025, 46(20): 44–51.

[88] 邵知扬, 赵见营, 祭芳, 等. 铁皮石斛山药饼干的研制[J]. 粮食与饲料工业, 2026(1): 89–93.
SHAO ZY, ZHAO JY, JI F, *et al*. Development of *Dendrobium officinale* and yam biscuits [J]. Cereal & Feed Industry, 2026(1): 89–93.

[89] 张珍林, 韩邦兴, 黄仁术, 等. 铁皮石斛花蛋糕工艺优化及其质构特性分析[J]. 枣庄学院学报, 2019, 36(5): 75–82.
ZHANG ZL, HAN BX, HUANG RS, *et al*. The process optimization of *Dendrobium Officinale* flower and its analysis of texture properties [J]. Journal of Zaozhuang University, 2019, 36(5): 75–82.

[90] 黄琼, 何燕萍. 铁皮石斛面包配方的优化[J]. 农产品加工, 2023, 4(8): 9–12, 15.
HUANG Q, HE YP. Formula optimization of *Dendrobium officinale* bread [J]. Agricultural Products Processing, 2023, 4(8): 9–12, 15.

[91] 黄琼. 铁皮石斛韧性饼干配方与工艺优化研究[J]. 农产品加工, 2025, 10(19): 56–59.
HUANG Q. Optimization of formula and technology of *Dendrobium officinale* tough biscuit [J]. Agricultural Products Processing, 2025, 10(19): 56–59.

[92] LIU CZ, CHEN W, WANG MX, *et al*. *Dendrobium officinale* Kimura et Migo and American ginseng mixture: A Chinese herbal formulation for gut microbiota modulation [J]. Chinese Journal of Natural Medicines, 2020, 18(6): 446–459.

(责任编辑: 蔡世佳　安香玉)