DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20260106002
引用格式: 黄媛婧, 刘鹏, 段玉林. 铁皮石斛叶、花副产物生理活性及高值化加工技术研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(9): 138–146.
HUANG YJ, LIU P, DUAN YL. Research progress on physiological activities and high-value processing technologies of *Dendrobium officinale* leaf and flower by-products [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(9): 138–146. (in Chinese with English abstract).

铁皮石斛叶、花副产物生理活性及高值化加工技术研究进展

黄媛婧[1], 刘　鹏[2*], 段玉林[2,3]

(1. 百色市食品药品认证审评中心, 百色　533000; 2. 广西民族大学化学化工学院, 南宁　530006; 3. 广西壮族自治区食品药品审评查验中心, 南宁　530029)

摘　要: 为破解铁皮石斛产业叶、花等副产物浪费, 附加值偏低的瓶颈, 契合“大食物观”与“健康中国 2030”战略需求, 本文系统综述铁皮石斛叶、花副产物的资源特征、生理活性及高值化加工技术研究进展。结果显示, 铁皮石斛叶、花富含黄酮、多糖、多酚等活性成分, 具备抗氧化、免疫调节、降血糖等功能, 与茎部成分形成互补。当前已建立溶剂提取、酶辅助提取、真空冷冻干燥等多元化技术体系, 产品延伸至食品、保健品、日化品领域, 但存在技术成本高、标准缺失、产业化转化不足等问题且广西的相关研究尤为薄弱。本文为广西铁皮石斛产业构建全链增值模式提供科技支撑, 助力中药材产业绿色转型与乡村振兴, 为药食同源副产物高值化利用提供参考。

关键词: 铁皮石斛; 铁皮石斛叶; 铁皮石斛花; 高值化利用; 生理活性

Research progress on physiological activities and high-value processing technologies of *Dendrobium officinale* leaf and flower by-products

HUANG Yuan-Jing[1], LIU Peng[2*], DUAN Yu-Lin[2,3]

(1. *Baise Food and Drug Certification and Evaluation Center*, *Baise* 533000, *China*; 2. *School of Chemistry and Chemical Engineering*, *Guangxi Minzu University*, *Nanning* 530006, *China*; 3. *Guangxi Center for Food and Drug Evaluation & Inspection*, *Nanning* 530029, *China*)

ABSTRACT: To address the bottlenecks of waste and low added value of leaves, flowers and other by-products in the *Dendrobium officinale* industry, consider strategic demands of the “Great Food View” and “Healthy China 2030”, this paper conducted a systematic review on the resource characteristics, physiological activities and high-value processing technologies of *Dendrobium officinale* leaves and flowers by-products. The results showed that *Dendrobium officinale* leaves and flowers were rich in active components. These components included flavonoids,

收稿日期: 2026-01-06
基金项目: 广西壮族自治区卫生健康委员会项目(桂地标食 2022005 号)
第一作者: 黄媛婧(1990—), 女, 工程师, 主要研究方向为食品药品技术审评。E-mail: 840104215@qq.com
***通信作者:** 刘鹏(1999—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为食品化妆品质量检测。E-mail: 776961341@qq.com

polysaccharides and polyphenols, with functions of antioxidant, immunomodulatory and hypoglycemic activities, complementing the components in the stems. A diversified technical system including solvent extraction, enzyme-assisted extraction and vacuum freeze-drying was established. Products were extended to the fields of food, health products, and daily chemicals. However, problems existed such as high technical costs, lack of standards and insufficient industrialization transformation. Relevant studies in Guangxi were particularly weak. It provides the scientific and technological support for constructing a whole-chain value-added model for the *Dendrobium officinale* industry in Guangxi. It facilitates the green transformation of the traditional Chinese medicinal materials industry and rural revitalization, offering references for the high-value utilization of medicine and food homology by-products.

KEY WORDS: *Dendrobium officinale*; *Dendrobium officinale* leaves; *Dendrobium officinale* flowers; high-value utilization; physiological activities

0　引　言

在“大食物观”引领和“健康中国 2030”战略深入实施的双重驱动下, 我国食品产业正经历从“保障供给”向“营养健康”的结构性转型, 药食同源产业凭借其“药食两用、攻防兼备”的独特优势, 成为承接这一转型的核心赛道之一。国家卫生健康委等部门持续扩容药食同源目录、细化监管标准, 为产业发展提供了广阔空间。随着国民健康意识提升, 药食同源市场规模经历显著增长, 成为中医药文化与现代健康理念融合的核心领域, 展现出强劲的增长动能[1]。在此背景下, 药食同源原料作为功能食品开发的核心载体, 其综合利用效率与高值化开发水平直接决定产业竞争力, 成为推动产业高质量发展的关键抓手。

铁皮石斛(*Dendrobium officinale*)素有“中华九大仙草之首”的美誉, 其“益胃生津、滋阴清热”的传统功效已获现代科学验证[2]。铁皮石斛在 2023 年被列入按照传统既是食品又是中药材的物质目录管理[3], 其富含多糖、黄酮等活性成分的现代研究证据, 备受产业界与科研界关注[4]。研究表明, 铁皮石斛副产物花、叶与茎秆含有相似的活性成分, 仅多糖、黄酮等含量存在差异, 其生物价值未被充分挖掘, 不仅造成资源浪费, 还带来环境压力, 已成为制约产业提质增效的关键短板。

广西凭借独特的亚热带季风气候和丰富的林地资源, 成为铁皮石斛的核心道地产区之一, 凭借喀斯特地貌、北热带及亚热带季风气候等独特禀赋, 形成了从种植到初级加工的完整产业基础[5]。然而, 广西铁皮石斛产业在快速发展中仍面临显著瓶颈: 加工方式以生产枫斗、干品等初级产品为主, 产品结构单一, 附加值偏低; 更为突出的是副产物利用率极低, 在采收和加工过程中产生的叶片、花、加工残渣等副产物, 因缺乏高效利用技术, 多数被直接丢弃。在此背景下, 本文聚焦铁皮石斛叶、花等典型副产物资源禀赋特征、活性物质基础、加工技术支撑、产业化落地应用的逻辑脉络, 系统梳理其全链条研究进展, 文献检索筛选以铁皮石斛叶、花等副产物为核心, 近 5 年最新研究成果占比超 80%, 确保综述内容的时效性、前沿性与学术严谨性。助力铁皮石斛走出广西初级加工主导、资源利用低效的产业困局, 为广西铁皮石斛产业实现全链增值提供科技支撑, 推动中药材产业绿色转型、助力乡村产业振兴。

1　铁皮石斛副产物资源特征与开发价值

1.1　资源现状与价值

铁皮石斛为药食同源植物, 传统以茎为利用部位, 副产物主要包括叶片、花、加工残渣等[6]。铁皮石斛副产物的活性成分以黄酮类、多糖类、联苄类为核心。

广西的铁皮石斛主要种植地有贵港白石山铁皮石斛, 玉林都峤山铁皮石斛两个地理标志产品, 其中贵港有 26 个乡镇及其所管辖的 414 个行政村和 1 个国有林场为保护区域, 玉林有 15 个乡镇及其所管辖的 219 个行政村为保护范围。随着农业科技的发展, 广西的铁皮石斛种植技术也不断进步, 例如灵山县主要采用大棚集约化种植方式, 借助人工控制温湿度, 使用松树皮与椰糠复合基质, 配合滴灌系统达成精准水肥管理[7]。南宁市江南区弄峰山铁皮石斛种植示范基地由广西农业科学院、南宁市农业科学研究所、广西农业职业技术学院进行技术合作, 种植有 2300 亩, 进行铁皮石斛相关技术科研攻关。

二十一世纪以来, 广西的铁皮石斛相关技术一直飞速发展, 尤其 2012 年以来更是增速明显, 龙头企业铁皮石斛专利数量居于第一, 但是在 2016 年之后, 受市场波动影响以及产业基础、技术支撑不足, 广西铁皮石斛发展速度断崖下滑[8]。当下, 人工种植产业已形成“品种本土化、模式多元化、链条完整化、利益联结紧密化”的成熟体系: 从“桂斛 1 号”等本土品种的选育, 到大棚、仿野生、立体循环的多模式布局, 再到深加工与文旅融合的产业链延伸, 不仅实现了铁皮石斛从“野生稀缺”到“规模化供给”的转变, 更通过联农带农机制带动数万农户增收, 成为广西特色农业与乡村振兴的重要支柱产业。在“大食物观”和“健康中国 2030”战略深入实施的双重驱动下, 广西规模化种植产生

的铁皮石斛叶、花等副产物产量大、可及性高，且已被证实含有与茎部同源的多糖、黄酮等核心活性物质，具备明确的开发潜力；其与茎部差异化的成分富集特征，也决定了副产物具备区别于传统药用部位的专属功能优势，为后续高值化开发奠定了核心物质基础。

1.2 铁皮石斛副产物活性成分与生理功能研究进展

基于副产物资源禀赋，铁皮石斛叶、花与传统药用茎秆之间，存在显著的活性成分器官特异性分布差异：既保留了与茎部同源的核心活性物质家族，也形成了自身的特征性富集成分，这种成分层面的共性与差异，直接决定了其与茎部在生理功能上的协同关联与差异化优势。

铁皮石斛主要活性成分为多糖，茎秆是铁皮石斛多糖的主要提取来源，其干重多糖含量显著高于叶与花，铁皮石斛副产物中仍保留一定量多糖，结构特征与茎秆多糖相似，三者核心单糖组成均以甘露糖和葡萄糖为主，具备相似的主链结构特征，仅在单糖摩尔比、支链修饰、分子量分布上存在器官特异性差异。此外，多酚、生物碱等活性成分在铁皮石斛副产物中也有分布[9]。其中，铁皮石斛花中，总黄酮和总酚含量高于茎部，黄酮类物质多样性为全株之最，还含有花青素[10]。叶片则以芹菜素-6,8-C-二糖苷类碳糖苷型黄酮为特征富集组分，与茎部以 O-糖苷型为主的黄酮存在明显结构差异，叶、花中咖啡酸、阿魏酸、芥子酸等酚酸含量也普遍高于茎部[11]。

功能方面，相关的研究显示，铁皮石斛副产物依旧能展现出降糖、抗氧化、缓解衰老、胃肠保护、免疫调节等功能[12−15]，根据不同成分的富集情况，形成了明确的功能分化，例如：叶片对糖脂代谢、心血管系统的调控作用更突出，花则在神经保护、皮肤光老化防护方面更具潜力。综上，铁皮石斛的各个部分都具备独特开发价值，可实现更优的利用[6,12,16]。目前对于铁皮石斛副产物功能性的研究多集中在叶片方面，其次是花。结合现有研究，整理铁皮石斛叶、花的成分含量如图 1 所示，受品种、产地、提取检测方法的影响，不同研究的含量数据可比性较差，图 1 仅展示其成分含量大致比例以供参考，具体成分含量以测试为准[17−19]。

铁皮石斛叶片中黄酮含量显著高于茎秆和根，是副产物中最具特色的活性成分[20]，其富集的黄酮以芹菜素碳糖苷类为主，也是叶片优于茎部的抗氧化、降糖活性的核心物质基础。ZHANG 等[13]证明叶片的 1,1-二苯基-2-苦肼基(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基清除率与总黄酮及芦丁含量均呈强正相关，具备显著抗氧化活性，该活性机制与茎部多糖主导的抗氧化作用形成互补。闫显辛等[21]研究铁皮石斛叶多糖经水提醇沉法提取纯化，具有良好吸湿、保湿、抗氧化及美白活性，无细胞毒性，可用于化妆品或美白功能食品开发。根据张颂梓等[22]的研究，铁皮石斛叶与陈皮的提取物通过肝 X 受体 α (liver X receptor α, LXR-α)/诱导低密度脂蛋白受体降解蛋白(inducible degrader of the low-density lipoprotein receptor, IDOL)/低密度脂蛋白受体(low-density lipoprotein receptor, LDLR)通路调控胆固醇代谢，抑制 3-羟基-3-甲基戊二酰辅酶 A 还原酶(3-hydroxy-3-methylglutaryl coenzyme A reductase, HMGCR)、提升胆固醇 7α-羟化酶(cytochrome P450 family 7 subfamily A member 1, CYP7A1)水平，上调 LDLR 表达，降低血清总胆固醇(total cholesterol, TC)、低密度脂蛋白胆固醇(low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C)，改善高胆固醇血症及肝、主动脉病理损伤。杨东梅等[23]研究发现，铁皮石斛提取的多糖可显著降低斑马幼鱼体内血脂含量，浓度依赖性抑制胆固醇酯酶和胰脂酶活性，具良好降脂效果。冯海林等[24]从铁皮石斛叶中分离鉴定出 5 个芹菜素-6,8-C-二糖苷类成分，均具显著 α-葡萄糖苷酶抑制活性，半数抑制浓度(half maximal inhibitory concentration, IC_{50})为 1.09~2.05 μmol/L，远优于阳性对照阿卡波糖，为降血糖相关研究提供潜在先导化合物，也明确了叶中特征性黄酮是其降糖活性优于茎部的关键物质基础。

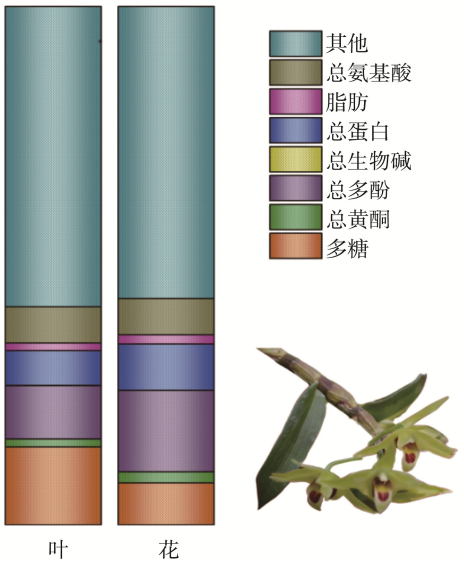


图 1 铁皮石斛叶、花的成分含量对比

Fig.1 Comparison of component content between leaves and flowers of *Dendrobium officinale*

王新婷等[25]研究以铁皮石斛干花为原料，分离纯化得到得率 0.578%的多糖，可显著增强 RAW264.7 巨噬细胞吞噬活性，促进 NO 和活性氧(reactive oxygen species, ROS)产生，且可能通过 Toll 样受体 4 (toll-like receptor 4, TLR4)/核因子 κB (nuclear factor kappa-B, NF-κB)信号通路发挥免疫调节作用。余璐瑶[26]的研究证明，铁皮石斛花中富集了 11 种黄酮苷类成分，可动态调节免疫，与花多糖形成免疫协同效应。罗慧等[27]研究铁皮石斛提取物中含 4 种黄酮类物质，其自由基清除率和铁还原力随浓度升高呈良好的量效关系，1%浓度提取物可显著抑制脂多糖诱导的炎症因子

肿瘤坏死因子-α (tumor necrosis factor-α, TNF-α)和白细胞介素-6 (interleukin-6, IL-6)产生, 且未检测出明显毒性。梁春茂[28]的研究用溶剂提取法提取铁皮石斛花, 证实羟自由基清除率最高达 20.32%, 酪氨酸酶抑制活性达 70.25%。相关活性均优于铁皮石斛茎提取物; 降血糖方面, 该提取物同时具有 α-淀粉酶与 α-葡萄糖苷酶抑制活性, 与茎部的降糖活性形成互补[11]。综上, 铁皮石斛的各个部分都具备独特开发价值, 可实现更优的利用, 表 1 总结了铁皮石斛不同部位的核心成分以及开发优势[6,9,11–12,16]。

2　铁皮石斛副产物品质调控与高值化加工关键技术

基于铁皮石斛副产物多糖、黄酮等热敏性特征活性成分的保留需求, 以及产业化规模化加工的实际要求, 现有研究围绕副产物贮藏保鲜、活性成分提取两大核心环节, 形成了多套适配的品质调控技术方案, 为副产物活性成分的稳定提取和产业化开发提供了技术支撑。

2.1　贮藏与保鲜技术研究进展

铁皮石斛采摘后组织破损处易受霉菌侵扰, 逐步扩散导致质变, 丧失药用与食用价值, 因此贮藏和保鲜技术是非常重要的。目前主要保鲜包装方法包括传统保藏法、冷藏法、速冻低温保鲜法。当下主要使用的是冷藏法, 重点研究的是速冻低温保鲜法[29]。

根据刘景玲等[30]的研究, 铁皮石斛花在采摘后, 考虑到保鲜保藏, 防止变质, 浓缩营养与活性成分等, 需要进行干燥加工。总结的加工方式核心为干燥处理, 具体涵盖 8 种常用干燥方法(阴干、晒干、40、60、80、100 ℃恒温热风干燥、真空冷冻干燥、微波间歇干燥), 并设置单层(花朵无重叠)和双层(装载量 0.09 g/cm^2)两种堆叠厚度搭配加工。加工方式的优化结果显示, 少量加工时优先选择单层阴干, 该方式能最大程度保留总酚、粗脂肪、风味氨基酸等营养成分; 大批量加工或受气候、场地限制时, 40 ℃单层热风干燥为最优选择, 而双层堆叠干燥会导致铁皮石斛花营养指标普遍下降, 高温热风干燥(60 ℃及以上)则会造成更多营养成分损失。铁皮石斛花经不同干燥方式处理后, 各活性成分含量范围如下: 总氨基酸(4.63%~6.33%)、必需氨基酸(1.77%~2.36%)、多糖(9.45%~23.78%)、总黄酮(0.68%~1.50%)、甘露糖(5.18%~9.33%)、总酚(2.48%~3.37%)、粗蛋白(11.97%~14.08%)、粗脂肪(1.87%~8.15%), 水分含量为 4.93%~7.94%。根据石雪荣[31]的研究, 铁皮石斛叶也存在干燥加工的步骤, 同样涵盖热风干燥、真空冷冻干燥、微波干燥 3 类核心技术, 且低温干燥更有利于活性成分的保存, 真空冷冻干燥的效果最佳, 多糖含量(44.90%±0.84%)、集粉率(92.56%±0.14%)。周锦业等[32]研究展示了铁皮石斛花干燥、贮存对其氨基酸含量与组成的影响, 采用的干燥技术为热风干燥(50~70 ℃)和冷冻干燥, 贮存技术为干燥后密封避光室温贮存与 4 ℃冷藏贮存, 冷冻干燥对氨基酸的保留优于热风干燥, 总量为 5.24%~8.78%, 其中冷冻干燥处理花苞期的氨基酸总量达 8.78%, 必需氨基酸 3.04%、非必需氨基酸 5.74%、药效氨基酸 5.94%、鲜味氨基酸 2.83%, 室温贮存 1 年后氨基酸总量降至 5.24%, 4 ℃冷藏 1 年后为 6.88%。综合而言, 铁皮石斛作为药食同源类食品, 其干燥与保鲜过程均以低温处理为宜, 可更有效地维持其活性成分的稳定性, 该原则适用于副产物与核心部位[33]。

低温干燥、冷藏保鲜技术, 可最大化保留副产物中的黄酮、多酚、多糖等热敏性活性成分, 稳定其抗氧化、美白、免疫调节等核心功能, 解决了副产物采收后易变质、活性易流失的产业痛点。

2.2　提取技术研究进展

铁皮石斛的副产物含有多种具有生物活性的物质, 这些物质所表现出的功能活性使其具备极高的提取价值, 因而获得了广泛的研究关注。溶剂提取法是经典的传统提取方法, 唐文文等[34]采用溶剂提取的同时利用超声辅助预处理结合加热回流提取铁皮石斛叶成分, 超声的空化效应破坏铁皮石斛叶细胞壁结构, 为溶剂渗透开辟通道, 加热回流延长提取时间、提升分子运动速率。LU 等[35]采用乙醇溶剂浸提法, 提取铁皮石斛中黄酮类成分, 并进行分层筛选关键因素, 数学建模锁定最优条件的方法进行优化, 展现了传统工艺的现代升级。复合酶解法是目前提取铁皮石斛的高效方法, 沙金等[36]采取了复合酶法提取, 乙醇沉淀分离铁皮石斛茎、叶、花, 以提取并分离铁皮石斛中的

表 1　铁皮石斛不同部位核心活性成分与功能优势对比

Table 1　Comparison of core active components and functional advantages of different parts of *Dendrobium officinale*

部位分类	核心特征活性成分	核心功能优势
茎秆	高含量多糖(干重占比显著高于叶、花), 少量 O-糖苷型黄酮	药典药用原料、传统枫斗/干品、高纯度药用多糖提取物
叶片(副产物)	芹菜素-6,8-C-二糖苷类碳糖苷型黄酮(含量显著高于茎秆、根), 叶多糖, 咖啡酸/阿魏酸等酚酸	降脂降糖类保健品、美白抗衰护肤品、功能保健茶饮、发酵功能饮料
花(副产物)	高多样性黄酮(全株之最, 含 30 余种茎部未检出的黄酮苷)、高含量总酚、特征性花青素	安神助眠类保健品、抗衰护肤品、风味花茶、复合果酒、无添加功能饮料

多糖，相较于传统溶剂，浸提法拥有更高的提取效率、多糖纯度高且保留更高的生物活性。多酚也是铁皮石斛中重要活性物质之一，董国锋等[37]通过超声协同酶法提取铁皮石斛叶中多酚，这是目前高效且主流的手段，避免多酚氧化且最大化释放结合态多酚，既兼顾效率，又能保留活性。刘未未[38]的研究利用铁皮石斛残渣以酶法和乙醇沉淀法提取总膳食纤维，对铁皮石斛进行资源最大化利用。

溶剂提取法是使用最广泛的提取方法，多糖是铁皮石斛的核心活性成分，根据闫昱辛等[21]对提取多糖的研究，预处理阶段主要是清洗、切段、粉碎等物理处理，对多糖成分影响较小，90 ℃的热水能使细胞壁中的纤维素、果胶等成分吸水膨胀、软化，甚至部分分解，让细胞内的多糖更容易释放到提取溶剂(水)中，且能显著提升多糖在水中的溶解速率和溶解量，缩短提取时间，最终叶多糖得率(13.95±0.27)%，纯度(92.14±7.75)%；加工过程未破坏多糖的核心活性，反而通过纯化去除杂质、富集多糖，使活性更显著，此实验显示叶提取物 48 h 保湿率为 25.13%，DPPH 自由基清除 IC_{50}=2.232 g/L，酪氨酸酶抑制活性 IC_{50}=54.93 g/L。黄酮类化合物广泛用于保健品、化妆品等应用上。根据 HE 等[39]、LU 等[35]的研究，铁皮石斛叶也富含黄酮类化合物，提取时预处理也是通过粉碎的手段处理，不破坏黄酮类化合物结构，以纯化水或乙醇为溶剂。若采用水为溶剂，以微沸状态提取，合并滤液减压浓缩 100 ℃恒温水浴蒸干；以乙醇为溶剂，使用 ADS-17 大孔树脂纯化，去除多糖，然后浓缩。提取物黄酮类化合物含量较高，能发挥抗氧化、抗衰等功效，6 mg/mL 时单酚酶抑制率 100%，适合用在化妆品、保健品中。

除了溶剂提取，还有一些方法也有不少的研究成果，特别是酶辅助提取和超声辅助提取，根据 CHEN 等[40]的研究，针对铁皮石斛叶多糖，酶辅助提取铁皮石斛叶多糖(enzyme-assisted extracted *dendrobium officinale* leaf polysaccharide，EDLP)是得率最高的方法，达到(6.31±0.39)%，抗氧化活性最强，热水和超声辅助提取保留三螺旋结构，吸附能力和免疫刺激活性最优，且超声辅助提取得率高于热水，可达到(5.22±0.19)%。

辅助提取可最大化提升多糖得率与抗氧化活性，超声辅助提取可更好保留多糖的三螺旋结构与免疫刺激活性，溶剂提取法适配规模化黄酮类成分的富集。表 2 展现了铁皮石斛副产物不同提取技术的优缺点与适用场景[34−40]，企业可根据终端产品对活性成分的需求，灵活选择适配的提取工艺，实现副产物活性成分的精准、高效利用。

3 铁皮石斛副产物产业化开发与应用进展

3.1 食品类产品开发

作为药食同源植物，铁皮石斛具有“生津养胃，滋阴润肺”的功效，最直接的高值化加工利用方向就是食品开发。铁皮石斛在风味方面，主要是以“甜味”作为其核心的风味特点。这种独特的甜味，为其在食品应用方面奠定了基础。在日常饮食中，铁皮石斛的用途十分广泛，它多用于各类美食的制作当中，比如茶饮，用铁皮石斛泡制的茶，能让茶香中增添一份独特的清甜；还可用于制作甜点，为甜点带来别样的风味；炒菜时加入铁皮石斛，能让菜肴的口感更加丰富；在酱料的调配里，它也能发挥作用，使酱料的味道更加醇厚；还可用作改善酒饮的口感[41]。ZHEN 等[42]的研究利用铁皮石斛花提取物为原料，确定了软糖的配方。ZHANG[43]通过铁皮石斛花制作了饮料并对配方进行优化，采取冷冻干燥配合水提取工艺可保留铁皮石斛花的营养成分。YANG 等[44]以铁皮石斛花为原料，采取 3 种干燥工艺，将新鲜铁皮石斛花制成干花茶，并解决了鲜花储存、香气保留、营养活性的问题。李士林等[45]将铁皮石斛花作为功能性核心原料，与石榴汁复合，通过单因素试验和响应面法优化工艺，赋予果酒铁皮石斛花特有香气，增强果酒的功能性价值。杨芳亮等[46]以铁皮石斛花与绿茶、木糖醇结合复合调配制成的饮料，融合了铁皮石斛花的特有香气与绿茶茶香，功能上保留铁皮石斛花的滋阴润肺、祛火降燥等功效的同时搭配绿茶的抗氧化、护心血管作用。

表 2 铁皮石斛副产物不同提取技术的优缺点与适用场景对比

Table 2 Comparison of advantages, disadvantages and application scenarios of different extraction technologies for *Dendrobium officinale* by-products

提取技术	核心优势	短板	适用场景
溶剂提取法	经典成熟、操作简单、生产成本低、适配大规模工业化生产	高温易破坏多糖、黄酮等热敏性活性成分，存在溶剂残留风险，提取效率偏低	大批量原料的粗提、黄酮类成分的规模化富集
超声辅助提取法	大幅提升提取效率、缩短提取时间；低温处理可完好保留多糖三螺旋结构与免疫刺激活性	设备前期投入较高，工艺参数放大至工业化生产的难度较大	热敏性多糖、多酚类成分的精准提取
复合酶解法	反应条件温和，多糖得率、纯度最高，生物活性保留效果最好；绿色环保，无有机溶剂污染	酶制剂成本高，反应 pH/温度条件要求严格，生产周期较长	高活性药用级多糖的靶向提取
超声-酶协同提取法	兼顾提取效率与活性保留，可避免多酚氧化，最大化释放结合态多酚，提取效果优于单一技术	工艺参数复杂，综合生产成本较高，对生产设备要求高	高附加值黄酮、多酚类活性成分的高效提取

3.2　保健类产品开发

铁皮石斛用作保健品, 主要涵盖铁皮石斛粉、铁皮枫斗胶囊以及颗粒、含片、口服液、复方保健茶饮等[47]。尽管铁皮石斛类保健品的主要原料同样取自其核心部位茎部, 但因叶、花等副产物也具有相似活性功能, 同样也可用于保健产品[6]。付玲珠等[48]以铁皮石斛花、叶, 佛手花、代代花、白菊花、绿梅花配伍和胃茶, 通过在体和离体实验验证, 该和胃茶煎剂对胃肠运动有明显抑制作用, 能显著降低小鼠胃排空率。ZHANG 等[49]还采用铁皮石斛叶和甘薯曲为原料, 利用传统发酵工艺开发复合发酵饮料, 发酵过程中微生物代谢未破坏铁皮石斛叶中的多酚、生物碱等活性成分, 反而通过酶解打破植物细胞壁, 促进活性成分溶出, 最终使饮品兼具抗氧化活性。乔慧茹等[50]以铁皮石斛叶为原料与蓝莓汁复合, 通过乳酸菌发酵转化成分, 改善风味, 提升抗氧化活性, 开发出兼具营养与功能性的复合发酵功能饮料。周美玲等[51]以铁皮石斛叶为对象, 制定了其保健茶的完整加工工艺。这些研究既实现了铁皮石斛副产物的资源化高效利用, 又拓展了铁皮石斛产品品类, 为相关资源开发提供了切实可行的技术参考。

3.3　日化护肤类产品开发

日化类、护肤品等创新应用也是铁皮石斛副产物的利用方式。随着美容技术的持续发展与护肤理念的不断更新, 公众对化妆品保湿功效的要求亦日趋提高, 天然植物类化妆美容产品, 发展势头迅猛。HE 等[39]用干制铁皮石斛花的水提取物, 通过体外自由基清除实验、动物实验以及人体皮肤实验, 证实铁皮石斛花提取物无论口服还是外用均能有效改善氧化应激诱导的皮肤衰老, 为其在日化化妆品领域的高值化应用提供了坚实的科学依据。LU 等[35]证明了铁皮石斛叶黄酮提取物对酪氨酸酶的抑制效果显著, 展示了其在化妆品中的应用潜力。闫昱辛等[21]的研究展示铁皮石斛叶中提取的多糖保湿和美白性能优良且无明显毒性。张珍林等[52]以干制铁皮石斛花为原料经浸泡、榨汁、过滤, 乙醇超声提取制备多糖原液, 以该原液为核心功能成分配置了保湿柔肤水, 产品无明显刺激性, 无油腻感, 保湿效果良好。

现有研究已广泛关注铁皮石斛副产物在食品、功能性产品、日化产品中的开发应用, 但研究存在明显偏向性, 核心集中于产量占比较高的叶、花类副产物, 而针对加工残渣等固体废弃物的系统性研究较为匮乏, 相关探索相对空白。同时, 尽管叶、花类副产物的开发已取得阶段性成果, 但成果向市场化转化的效率偏低, 成功落地的产业化案例有限, 特别是日化方面的研究, 大都停留在理论层面, 产品研发落地种类少。未来研究应优先推动叶、花类优势副产物的实验室研究成果向产业应用转化, 同时需拓展加工残渣等未被充分挖掘的副产物研究, 填补该领域空白, 进而实现铁皮石斛副产物资源的全面高效利用。

3.4　全链条质量控制、食品安全与合规风险管控

质量控制、食品安全与合规管控, 是铁皮石斛副产物从实验室研究走向市场化产业转化的核心前提, 也是当前副产物开发面临的关键卡点。

质量控制层面, 现有研究已建立适配铁皮石斛功能性产品的标准化质控体系, 国家相关标准为核心依据, 构建原料工艺质控、感官品质评价、理化指标检测、微生物限量管控四级质控框架, 明确 pH、可溶性固形物、菌落总数、大肠菌群等关键合规指标, 规范低温提取、瞬时灭菌等核心工艺参数, 这能够为广西产区副产物的食品开发提供了可直接参考的技术路径[53]。

食品安全与合规层面, 需建立全流程风险闭环管控机制: 种植端严控广西喀斯特产区土壤重金属、农药残留等源头化学性危害, 落实常态化风险监测与源头治理; 加工端严控提取溶剂残留、微生物污染等过程风险, 食品类产品可采用无额外食品添加剂的清洁标签设计降低安全风险, 全品类产品均可通过模式生物模型完成急性毒性评价, 验证食用与使用安全性; 产品端严格遵循药食同源原料管理相关要求, 通过规范的体内外试验完成功效验证, 规范功效宣称边界, 规避医疗功效宣称的违规风险, 可依托广西地理标志产区制定副产物原料与加工的地方规范, 填补区域产业法规空白[54]。

4　结束语

本研究系统综述了铁皮石斛副产物资源资源禀赋特征、活性物质基础、加工技术支撑、产业化落地应用研究进展。得出以下核心结论: (1)广西铁皮石斛已形成成熟的规模化种植体系, 但叶、花等副产物长期被粗放丢弃, 资源浪费问题突出, 而这类副产物既保留了与传统药用茎部同源的核心活性物质家族, 又具备特征性的成分富集与功能分化, 拥有明确的高值化开发潜力; (2)现有研究已建立适配副产物多糖、黄酮等热敏性活性成分的低温贮藏保鲜、多模式辅助提取等品质调控技术体系, 可根据终端产品需求实现活性成分的精准保留与富集, 为副产物产业化开发提供了核心技术支撑; (3)副产物已在食品、保健品、日化护肤领域形成多场景应用探索, 但仍存在研究偏向性强、成果转化效率低、广西本土化系统研究不足的问题, 尚未形成完整的产业开发闭环。

当前铁皮石斛副产物高值化利用仍面临 4 重挑战: (1)技术瓶颈, 副产物特征活性成分的量效关系、多成分协同作用机制、体内代谢路径研究尚不深入, 难以为终端产品功效宣称提供扎实的科学支撑; (2)标准缺失, 叶、花等副产物缺乏统一的原料分级标准、特征活性成分专属检测方法、终端产品质量评价体系, 是制约产业规范化发展的核心卡

点; (3)产业链断层, 科研机构、加工企业、品牌商之间缺乏有效协同, 实验室成果转化渠道不畅; (4)全链条食品安全管控体系不完善, 从种植源头的重金属、农药残留风险监测, 到加工过程的污染物与溶剂残留管控, 再到终端产品的系统性安全性评价尚未形成闭环, 产业合规风险防控能力不足。

建议从以下维度构建突破路径: (1)深化广西本土道地铁皮石斛副产物的基础研究, 明确特征活性成分的构效关系与作用机制, 夯实产品开发的科学理论基础; (2)将标准化质量控制与检测体系构建作为副产物规范化开发的核心前提, 加快建立叶、花等副产物的原料分级标准、特征成分定量检测方法、全链条质量追溯体系, 制定适配广西产区的地方技术规范, 填补行业标准空白; (3)构建从种植源头到终端产品的全链条食品安全闭环管控体系强化产学研协同创新, 推动实验室研究成果向市场化产品高效转化, 依托贵港、玉林等地理标志产区, 学习发达地区成功案例, 打造“种植、加工、文旅”一体化示范区[55]。打造广西铁皮石斛副产物高值化特色产业集群, 最终助力乡村产业振兴与“健康中国 2030”战略的深度落地。

参考文献

[1] 2025 中国特种食品产业大会在成都召开食品健康化功能化成行业热门话题[J]. 中国食品工业, 2025(11): 6–11.
China Special Food Industry Conference 2025 held in Chengdu, food health and functionalization become hot topics in the industry [J]. China Food Industry, 2025(11): 6–11.

[2] 王伟英, 林文忠, 邹晖, 等. 铁皮石斛转醛醇酶 DoTAL1 基因的克隆及其功能分析[J]. 农业生物技术学报, 2025, 33(8): 1732–1742.
WANG WY, LIN WZ, ZOU H, *et al*. Cloning and functional analysis of the *Dendrobium officinale* DoTAL1 gene [J]. Journal of Agricultural Biotechnology, 2025, 33(8): 1732–1742.

[3] 食品安全标准与监测评估司. 关于党参等 9 种新增按照传统既是食品又是中药材的物质公告[EB/OL]. (2023-11-17) [2025-11-29]. https://www.nhc.gov.cn/sps/c100088/202311/5b062dd13fe646198b56c7d76a99aab4.shtml
Department of Food Safety Standards, Monitoring and Assessment. Announcement on nine newly added substances that are both food and traditional Chinese medicinal materials according to tradition [EB/OL]. (2023-11-17) [2025-11-29]. https://www.nhc.gov.cn/sps/c100088/202311/5b062dd13fe646198b56c7d76a99aab4.shtml

[4] 于红卫. 药食同源——铁皮石斛[J]. 河南农业, 2024(23): 2.
YU HW. Pharmacopoeia and food of the same origin-*Dendrobium officinale* [J]. Henan Agriculture, 2024(23): 2.

[5] 刘晓瑛, 廖莞君, 胡莉, 等. 广西“霍石斛”“川石斛”的考证与实地考察[J]. 中药材, 2025(8): 2103–2109.
LIU XY, LIAO WJ, HU L, *et al*. Identification and field investigation of “Huoshanshi” and “Chanshanshi” in Guangxi [J]. Chinese Traditional Medicine Materials, 2025(8): 2103–2109.

[6] 严静, 蔡易熹, 陈燕兰, 等. 铁皮石斛茎、叶、花的活性成分及综合利用研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(17): 299–306.
YAN J, CAI YX, CHEN YL, *et al*. Research progress on active components and comprehensive utilization of stem, leaf and flower of *Dendrobium officinale* [J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(17): 299–306.

[7] 郁书怀, 林甜甜, 戚勇, 等. 不同产地及种植模式铁皮石斛的品质综合分析[J/OL]. 食品工业科技, 1-17. [2026-01-04]. DOI: https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2025050125
YU SH, LIN TT, QI Y, *et al*. Comprehensive quality analysis of iron-skin dendrobium from different producing areas and planting models [J/OL]. Food Industry Science and Technology, 1-17. [2026-01-04]. DOI: https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2025050125

[8] 蒋梦雨, 杨创, 陈宇, 等. 大数据视域下铁皮石斛专利/文献可视化分析[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2022, 44(7): 76–86.
JIANG MY, YANG C, CHEN Y, *et al*. Visualization analysis of patent/literature of *Dendrobium officinale* in the perspective of big data [J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2022, 44(7): 76–86.

[9] 钱亦纯, 陆秋君, 梁大刚, 等. 铁皮石斛花和叶营养成分及资源开发研究进展[J]. 浙江农业科学, 2023, 64(12): 2891–2896.
QIAN YC, LU QJ, LIANG DG, *et al*. Research progress on nutritional components and resource development of *Dendrobium officinale* flowers and leaves [J]. Zhejiang Agricultural Science, 2023, 64(12): 2891–2896.

[10] TIAN WW, XIA JL, CHEN Y. Analysis of functional composition, antioxidant activity and their correlation in stem, leaf and flower from *Dendrobium officinale* [J]. Food and Machinery, 2021, 37(7): 45–50.

[11] LI Y, CHANG QX, XIA PG, *et al*. The different parts of *Dendrobium officinale* Kimura et Migo: Traditional uses, phytochemistry, pharmacological activities, and product development status and potential [J]. Phytochemistry Reviews, 2025, 24(1): 985–1026.

[12] LU M, LIANG Q, HE X, *et al*. Hypoglycemic effects of *Dendrobium officinale* leaves [J]. Frontiers in Pharmacology, 2023, 14: 1163028.

[13] ZHANG Y, ZHANG L, LIU J, *et al*. *Dendrobium officinale* leaves as a new antioxidant source [J]. Journal of Functional Foods, 2017, 37: 400–415.

[14] ZHAO M, FAN J, LIU Q, *et al*. Phytochemical profiles of edible flowers of medicinal plants of *Dendrobium officinale* and *Dendrobium devonianum* [J]. Food Science & Nutrition, 2021, 9(12): 6575–6586.

[15] ZHAO W, CHEN Y, TIAN Y, *et al*. Dietary supplementation with *Dendrobium officinale* leaves improves growth, antioxidant status, immune function, and gut health in broilers [J]. Frontiers in Microbiology, 2023, 14: 1255894.

[16] LING N, LUO CF, GAO CB, *et al*. Study on cytotoxicity and *in vitro* antioxidant activities of extracts from *Dendrobium officinale* flowers from Guangxi [J]. China Food Additives, 2023, 34(5): 141–148.

[17] 张珍林, 闵运江, 黄仁术, 等. 霍山石斛和铁皮石斛干花成分含量和抗氧化性的比较[J]. 天然产物研究与开发, 2020, 32(7): 1104-1110, 1155.
ZHANG ZL, MIN YJ, HUANG RS, *et al*. Comparison of the content of components and antioxidant activity of dry flowers of *Dendrobium huoshanense* and *Dendrobium officinale* [J]. Natural Product Research and Development, 2020, 32(7): 1104–1110, 1155.

[18] 周美玲, 张志勇, 郑新妹, 等. 铁皮石斛叶的应用价值及开发利用[J]. 农产品加工, 2023(17): 77–80.
ZHOU ML, ZHANG ZY, ZHENG XM, *et al*. Application value and

development and utilization of *Dendrobium officinale* leaves [J]. Farm Products Processing, 2023(17): 77–80.

[19] 唐文文, 夏俊丽, 陈垣. 铁皮石斛茎、叶、花功能性成分、抗氧化活性及其相关性[J]. 食品与机械, 2021, 37(7): 45–50.
TANG WW, XIA JL, CHEN H. Functional components, antioxidant activity and correlation of *Dendrobium officinale* stems, leaves and flowers [J]. Food and Machinery, 2021, 37(7): 45–50.

[20] XU X, ZHANG C, WANG N, *et al*. Bioactivities and mechanism of actions of *Dendrobium officinale*: A comprehensive review [J]. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2022, 2022(1): 6293355.

[21] 闫昱辛, 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.
YAN YX, HE MJ, LI Y, *et al*. Whitening and antioxidant activities of polysaccharides from *Dendrobium officinale* leaves [J]. Bulletin of Botanical Research, 2025, 45(1): 111–118.

[22] 张颂梓, 苏洁, 郭静妍, 等. 铁皮石斛叶-陈皮提取物对高胆固醇血症大鼠胆固醇代谢的作用研究[J]. 中国中药杂志, 2026, 51(5): 1435–1443.
ZHANG SZ, SU J, GUO JY, *et al*. Research on the effect of *Dendrobium officinale* leaf-chenpi extract on cholesterol metabolism in hypercholesterolemia rats [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2026, 51(5): 1435–1443.

[23] 杨东梅, 谢宏晨, 李安宁, 等. 贵州铁皮石斛叶多糖鉴定及降脂功能研究[J]. 食品科技, 2023, 48(1): 167–174.
YANG DM, XIE HC, LI ANN, *et al*. Identification and lipid-lowering functional research of polysaccharides from the leaves of *Dendrobium officinale* in Guizhou [J]. Food Science and Technology, 2023, 48(1): 167–174.

[24] 冯海林, 彭崇胜, 李晓波. 铁皮石斛叶中黄酮碳苷类成分分离、鉴定及抑制 *α*-葡萄糖苷酶活性研究[J]. 中国药房, 2022, 33(18): 2187–2191.
FENG HL, PENG CS, LI XB. Isolation, Identification and research on inhibitory activity of *α*-glucosidase of flavonoid carbon glycosides in *Dendrobium officinale* leaves [J]. Chinese Journal of Pharmacy, 2022, 33(18): 2187–2191.

[25] 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* flowers [J]. Journal of Natural Products Research & Development, 2024, 36(12): 1999–2007.

[26] 余璐瑶. 催化铁皮石斛花中黄酮苷类活性成分生物合成的糖基转移酶的功能鉴定、酶学表征和机制研究[D]. 上海: 中国人民解放军海军军医大学, 2023.
YU LY. Functional identification, enzymology characterization and mechanism study of the glycosyltransferase involved in the biosynthesis of flavonoid glycosides in *Dendrobium officinale* [D]. Shanghai: Second Military Medical University of the People's Liberation Army, 2023.

[27] 罗慧, 梁正维, 伯年国, 等. 铁皮石斛花提取物的抗氧化与抗炎活性研究[J]. 食品工业, 2024, 45(9): 41–45.
LUO H, LIANG ZW, BO NG, *et al*. Research on antioxidant and anti-inflammatory activities of extract from *Dendrobium officinale* flower [J]. Food Industry, 2024, 45(9): 41–45.

[28] 梁春茂. 五种石斛花活性比较及束花石斛花降血糖活性研究[D]. 昆明: 云南中医药大学, 2024.
LIANG CM. Comparison of the activity of five dendrobium flowers and the study of the hypoglycemic activity of dendrobium chrysanthum flower [D]. Kunming: Yunnan University of Traditional Chinese Medicine, 2024.

[29] 张秋芳, 赵锐, 张娟, 等. 铁皮石斛保鲜包装研究进展[J]. 食品界, 2021(6): 81–83.
ZHANG QF, ZHAO R, ZHANG J, *et al*. Research progress on preservation packaging of *Dendrobium officinale* [J]. Food & More, 2021(6): 81–83.

[30] 刘景玲, 李佩钰, 赵萌, 等. 不同干燥方式对铁皮石斛花营养成分的影响[J]. 保鲜与加工, 2025, 25(10): 95–104.
LIU JL, LI PY, ZHAO M, *et al*. Effect of different drying methods on the nutritional components of *Dendrobium officinale* flowers [J]. Storage and Processing of Agricultural Products, 2025, 25(10): 95–104.

[31] 石雪荣. 铁皮石斛叶多糖提取, 干燥及模拟消化对其生物活性影响的研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2025.
SHI XR. Research on the extraction, drying, and simulated digestion of polysaccharides from the leaves of *Dendrobium officinale* and their effect on biological activity [D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2025.

[32] 周锦业, 孙明艳, 邓杰玲, 等. 品种、干燥和贮存方式对铁皮石斛花氨基酸含量的影响[J]. 食品科技, 2019, 44(2): 88–93.
ZHOU JY, SUN MY, DENG JL, *et al*. Effect of variety, drying and storage mode on the amino acid content of *Dendrobium officinale* flowers [J]. Food Science and Technology, 2019, 44(2): 88–93.

[33] 冯云. 铁皮石斛储藏与加工特性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2015.
FENG Y. Research on storage and processing characteristics of *Dendrobium officinale* [D]. Ghuangzhou: South China University of Technology, 2015.

[34] 唐文文, 沈易华. 不同生长年限铁皮石斛叶主要功效成分及抗氧化活性分析[J]. 江西化工, 2021, 37(4): 60–62.
TANG WW, SHEN YH. Analysis of the main active components and antioxidant activity of leaves of *Dendrobium officinale* with different growth years [J]. Jiangxi Chemical Industry, 2021, 37(4): 60–62.

[35] LU H, YANG K, ZHAN L, *et al*. Optimization of flavonoid extraction in *Dendrobium officinale* leaves and their inhibitory effects on tyrosinase activity [J]. International Journal of Analytical Chemistry, 2019, 2019(1): 7849198.

[36] 沙金, 杨华, 庞敏霞, 等. 醇沉浓度对铁皮石斛茎、叶和花多糖结构及其特性的影响[J]. 核农学报, 2025, 39(6): 1235–1247.
SHA J, YANG H, PANG MX, *et al*. Effect of alcohol precipitation concentration on the structure and properties of polysaccharides from stems, leaves and flowers of *Dendrobium officinale* [J]. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica, 2025, 39(6): 1235–1247.

[37] 董国锋, 赵小亮, 郑晓杰, 等. 超声协同酶法提取雁荡山铁皮石斛叶多酚工艺优化[J]. 食品与发酵科技, 2025, 61(2): 34–42.
DONG GF, ZHAO XL, ZHENG XJ, *et al*. Optimization of technique for ultrasonic-assisted enzymatic extraction of polyphenols from the leaves of *Dendrobium officinale* in Yandang Mountain [J]. Food and Fermentation Technology, 2025, 61(2): 34–42.

[38] 刘未未. 酶辅助制备铁皮石斛粉及残渣利用[D]. 无锡: 江南大学, 2023.
LIU WW. Enzyme-assisted preparation of *Dendrobium officinale* powder

and residue utilization [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2023.

[39] HE XLS, WANG N, TENG X, *et al*. *Dendrobium officinale* flowers' topical extracts improve skin oxidative stress and aging [J]. Journal of Cosmetic Dermatology, 2024, 23(5): 1891–1904.

[40] CHEN Y, CAI G, CHEN H, *et al*. Physicochemical properties and biological activities of polysaccharides from *Dendrobium officinale* leaves in response to different extraction methods [J]. Foods, 2025, 14(12): 2029.

[41] KIRKWOOD A, FISK I, AYED C, *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 and Technology, 2023, 58(10): 4921–4930.

[42] ZHEN LZ, YUN JM, QING QX, *et al*. Optimization of *Dendrobium officinale* flower soft candy preparation and evaluation of its antioxidant activity [J]. JSFA Reports, 2022, 2(11): 548–555.

[43] ZHANG Z. Sensory evaluation of different drinks formulated from *Dendrobium officinale* flowers using fuzzy logic [J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2021, 15(4): 3060–3068.

[44] YANG Y, ZHOU H, DU Z. Effect of drying methods on aroma, taste and antioxidant activity of *Dendrobium officinale* flower tea: A sensomic and metabolomic study [J]. Food Research International, 2024, 187: 114455.

[45] 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*. Response surface optimization of the process of *Dendrobium officinale* and pomegranate composite fermentation wine and its quality and functional analysis [J]. Agricultural Products Processing, 2025(18): 33–39.

[46] 杨芳亮, 夏克中, 沈春香. 铁皮石斛花绿茶复合饮料制备工艺研究[J]. 中国食品工业, 2024(11): 134–136.
YANG FL, XIA KZ, SHEN CX. Research on the preparation process of *Dendrobium officinale* flower green tea compound beverage [J]. China Food Industry, 2024(11): 134–136.

[47] 高薇. 广西药食同源植物种质资源及其园林应用[D]. 桂林: 桂林理工大学, 2024.
GAO W. Genetic resources of medicinal and edible plants and their horticultural application in Guangxi [D]. Guilin: Guilin University of Technology, 2024.

[48] 付玲珠, 郑婷, 朱飞叶, 等. 以铁皮石斛花、叶配伍的和胃茶对胃肠运动的影响[J]. 云南中医学院学报, 2014, 37(5): 27–31.
FU LZ, ZHENG T, ZHU FY, *et al*. The effect of a tea for settling the stomach on gastrointestinal motility based on *Dendrobium officinale* and its leaves [J]. Journal of Yunnan University of Traditional Chinese Medicine, 2014, 37(5): 27–31.

[49] ZHANG Z, YIN Z, WANG Y, *et al*. Research on fermentation technology for a *Dendrobium officinale* leaf–sweet potato Koji compound beverage [J]. Journal of Food Quality, 2024, 2024(1): 8127516.

[50] 乔慧茹, 房祥军, 吴伟杰, 等. 蓝莓与铁皮石斛叶复合乳酸菌发酵饮料工艺优化与品质分析[J]. 浙江农业学报, 2025, 37(3): 654–666.
QIAO HR, FANG XJ, WU WJ, *et al*. Process optimization and quality analysis of a composite lactic acid bacteria fermentation beverage with blueberry and *Dendrobium officinale* leaves [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2025, 37(3): 654–666.

[51] 周美玲, 张志勇, 李春维, 等. 铁皮石斛叶保健茶加工工艺[J]. 农村新技术, 2024(1): 63.
ZHOU ML, ZHANG ZY, LI CW, *et al*. Processing technology of *Dendrobium officinale* leaf health tea [J]. New Rural Technology, 2024(1): 63.

[52] 张珍林, 闵运江, 刘明宇, 等. 铁皮石斛花保湿柔肤水配方工艺优化[J]. 轻工学报, 2020, 35(4): 61–66.
ZHANG ZL, MIN YJ, LIU MY, *et al*. Optimization of formula and process of *Dendrobium officinale* water for moisturizing and softening skin [J]. Journal of Light Industry, 2020, 35(4): 61–66.

[53] 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.

[54] 刘思洁. 食品中有毒有害物质风险监测与评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(24): 83–84.
LIU SJ. Risk monitoring and assessment of toxic and harmful substances in food [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(24): 84.

[55] 郭淑敏. 一根"仙草"助力乡村振兴——记浙江温州乐清市铁皮石斛特色产业[J]. 中国农业综合开发, 2023(11): 46–49.
GUO SM. A "Magic Herb" assists rural revitalization-the story of the unique *Dendrobium officinale* industry in Yueqing City, Wenzhou, Zhejiang Province [J]. China Agricultural Comprehensive Development, 2023(11): 46–49.

(责任编辑: 蔡世佳 韩晓红)