

编者按:我国食品工业正处于以“营养与健康”为导向的深度转型期,迫切需要科技的支撑。食疗既是传承和弘扬我国“食药同源”传统文化的重要载体,也是进入大健康时代改善国民营养健康状况的现实选择。作为食品工业的新兴领域,食疗产业成为我国食品工业健康转型的一个重要发展方向。我国有丰富的“食药同源”资源宝库,然而,新型营养功能因子的高效制备、稳态化保持及靶向递送技术等一系列技术瓶颈亟待突破。为共享“食药同源”相关科技研究进展,助推我国新兴食疗产业健康发展,本刊开设“食药同源”特约专栏,连续刊载有关文章。

(专栏主编:中国工程院院士、本刊编委会副主任谢明勇教授。本栏目得到江西江中食疗科技有限公司的支持)

铁皮石斛的功能活性研究及产业化现状

黄晓君, 汪志强, 聂少平*

(南昌大学 食品科学与资源挖掘全国重点实验室 中国-加拿大食品科学与技术联合实验室

江西省生物活性多糖重点实验室 南昌 330047)

摘要 铁皮石斛为兰科石斛属多年附生草本植物,在我国民间享有“救命仙草”的美誉,含有多糖、石斛碱、黄酮等多种生物活性成分,具有增强免疫力,调节炎症,调节糖脂代谢,促进胃肠道健康等功能特性。2023年11月9日,铁皮石斛被国家卫生健康委员会和国家市场监督管理总局正式列为“食药同源”物质,在健康食品领域具有的广阔应用前景。本文综述铁皮石斛从“栽培种植-功能成分挖掘-加工特性”的研究历程,全面总结其主要功能物质——铁皮石斛多糖的研究进展;同时,阐述铁皮石斛精深加工现状,剖析其产业化痛点和前景方向,以期对铁皮石斛在大健康产业的创新发展提供参考。

关键词 铁皮石斛; 铁皮石斛多糖; 功能活性; 产业化

文章编号 1009-7848(2023)11-0001-12 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.11.001

铁皮石斛(*Dendrobium officinale*)为兰科石斛属多年附生草本植物,自古以来就有“药中黄金”之美誉,在我国民间被称为“救命仙草”^[1]。《神农本草经》首次提及石斛并将其列为上品,记载为“味甘,主伤中,除痹,下气,强阴,补五脏虚劳羸弱,久服厚肠胃”^[2]。铁皮石斛因独特的药用和保健价值而获得广泛的关注,随着它被国家卫生健康委员会和国家市场监督管理总局正式纳入食药物质目录,铁皮石斛势必迎来在大健康领域的发展高潮。本文基于前人工作基础和团队15年的研究成果,综述铁皮石斛的研究历程、铁皮石斛多糖的科研成果,以及铁皮石斛的产业化发展现状,内容涵盖

铁皮石斛栽培技术发展,功能成分挖掘,加工特性研究和铁皮石斛多糖的结构、溶液构象、生物活性、构效关系研究以及铁皮石斛产业发展的政策导向、产品研发现状及难点痛点问题,期望能为铁皮石斛在健康产业的创新发展提供参考并引发思考。

1 铁皮石斛的研究历程

1.1 铁皮石斛的规模化种植及种质研究

铁皮石斛喜好生长在半阴、温暖、湿润且空气流通的环境中,野生铁皮石斛常生长在疏松厚实的树干或阴凉潮湿的崖壁上^[3],采摘难度大,因而十分珍贵。石斛原料在上世纪80年代已由采掘野生资源转变为人工驯养栽培,近20年间铁皮石斛的组培苗驯化培养技术、大棚种植技术以及仿野生栽培种植技术得以快速发展和推广应用^[4]。组培苗驯化培养包括育苗、消毒和培养基的配制,该技术已趋近成熟,为铁皮石斛的产业化奠定了基础^[5]。大棚种植技术包括床栽、地栽、立体架空栽培等方

收稿日期: 2023-11-27

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFF1100202); 国家自然科学基金重点国际(地区)合作与交流项目(32120103012); 国家自然科学基金青年科学基金项目(32302014)

第一作者: 黄晓君,女,博士,副研究员

通信作者: 聂少平 E-mail: spnie@ncu.edu.cn

式,这种技术更有利于对温湿度、光照、肥料等种植因素进行人为控制,可减少病虫害困扰^[6]。仿野生栽培主要包括林下和岩石仿野生栽培,这种技术对种植环境的要求更为苛刻,然而由于在栽培过程中昼夜温差大且少氮,更有利于多糖等功效物质的积累,因此被大力推广^[7]。

根据中国中药协会石斛委员会截止 2021 年的统计结果,我国共有野生石斛资源 92 种,石斛种植总面积达 30 267 hm², 综合产值逾 500 亿元^[8]。其中,铁皮石斛的种植面积在 10 年间增长近 50 倍,总种植面积达 13 300 hm²,其中大棚种植面积达 6 500 hm²、仿野生栽培面积达 7 700 hm²^[9]。铁皮石斛的性状、品质、内生菌、代谢产物、药效以及药效物质在茎、叶等不同部位的分布均存在种源差别^[10]。例如,颜沛沛等^[11]发现采用仿生架栽培的铁皮石斛“明斛 1 号”,其多糖含量最高。王景瑄等^[12]发现石壁附生铁皮石斛内生真菌多样性最高,断木附生次之,大棚种植最低。陈燕兰等^[13]发现不同产地铁皮石斛在原料硬度上都会存在差异。

1.2 铁皮石斛功能特性与物质基础

铁皮石斛的主要功能成分为多糖、黄酮、生物碱、联苳、氨基酸以及微量元素等,目前从铁皮石斛中分离鉴定出的化合物有 261 种^[14]。多糖是铁皮石斛中含量最高的生物活性物质,其干基含量通常在 10%~30%范围,部分人工栽培的品种中多糖含量甚至可达 50%以上。铁皮石斛中的黄酮成分以黄酮、黄酮醇、二氢黄酮醇及其苷元为主,是其发挥抗氧化和免疫调节功能的重要物质基础^[15-16]。石斛生物碱是最早从石斛中分离的化合物,主要存在于铁皮石斛的原球茎中,目前被鉴定出的石斛碱共有 52 种,它具有减少胆固醇的吸收,缓解焦虑,缓解记忆力减退,抑制肿瘤增殖等功能特性^[17]。铁皮石斛中含有的主要的联苳类物质是巨花醇和树突菌素,也是其主要的抗氧化物质^[18]。此外,铁皮石斛中还含有 20 种氨基酸(包括 8 种人体必需氨基酸)、22 种微量元素^[14],它们不仅是重要的功能成分,还具有调节原料口感的作用。

1.3 铁皮石斛的加工特性

在将铁皮石斛加工成粉剂、浸膏、枫斗等产品时发现:炮制方法和时间、干品粉碎度、原料浸提温度等加工方式都会对功能成分的溶出产生影

响^[19]。传统中草药加工方式中,常喜欢对石斛进行炮制以延长其保存时间,如陈志琳等^[20]利用超高效液相色谱-串联高分辨质谱技术发现铁皮石斛炮制成枫斗后,更有利于糖类化合物的积累。此外,熊慧薇等^[21]研究发现高温处理虽会降低铁皮石斛中的多酚和必需氨基酸的含量,但可提高多糖的浸出率;而陈才军等^[22]的研究结果却与之相反。邹学哲等^[23]根据还原糖含量和黏附性的变化,证实真空冷冻干燥为铁皮石斛多糖的最佳干燥方式。现代新型加工方式中已尝试对石斛进行发酵处理。如申孝灵等^[24]发现石斛经发酵后多糖、还原糖、总酚和黄酮的含量都有所增加,且发酵后的抗氧化能力和降血糖能力明显提升。于善凯等^[25]发现发酵会导致铁皮石斛多糖含量和分子质量下降,黄酮和多酚含量增加,这可能与使用的菌种和发酵条件有关。总体而言,铁皮石斛的加工特性研究并不系统,其加工适配性信息较为缺失,这也是制约高品质铁皮石斛深加工产品开发的原因之一。

2 铁皮石斛多糖的研究进展

2.1 铁皮石斛多糖的结构特征和溶液构象

多糖作为铁皮石斛中含量最高的功能物质,受到广泛的关注。本团队围绕铁皮石斛多糖(*Dendrobium officinale* polysaccharide, DOP)的高效制备、结构解析、溶液性质、生物活性以及构效关系开展近 15 年的系统性研究(图 1)^[26-58]。采用酶解辅助联合反复冻融构建了一种石斛多糖简便、高效的分离纯化方法,并成功制备纯度达 90%以上的铁皮石斛多糖^[26-29]。首次对 DOP 的一级精细结构进行表征,证实它是一种主链为 β -1,4 糖苷键连接的葡甘露聚糖,且侧链连接有 *O*-乙酰基(图 2a)^[30-31]。扫描电镜下观察 DOP 的形貌特征,发现它具有线状结构和小球体的结构(图 2e)^[32]。高效体积排阻色谱串联多角度激光光散射仪(HPSEC-MALLS)测得 DOP 的重均分子质量为 76.5 ku,特性黏度为 2.39 dL/g,且其在溶液中的构象呈现为分子链刚性较强的无规卷曲状(图 2b~2d)^[33]。比较 DOP 与其它来源的葡甘聚糖,发现分子质量分布和乙酰基数量与葡甘聚糖的表观黏度和 ζ -电位呈正相关性;同时,较高的分子质量和较低的甘露糖/葡萄糖比例对提高葡甘聚糖的持

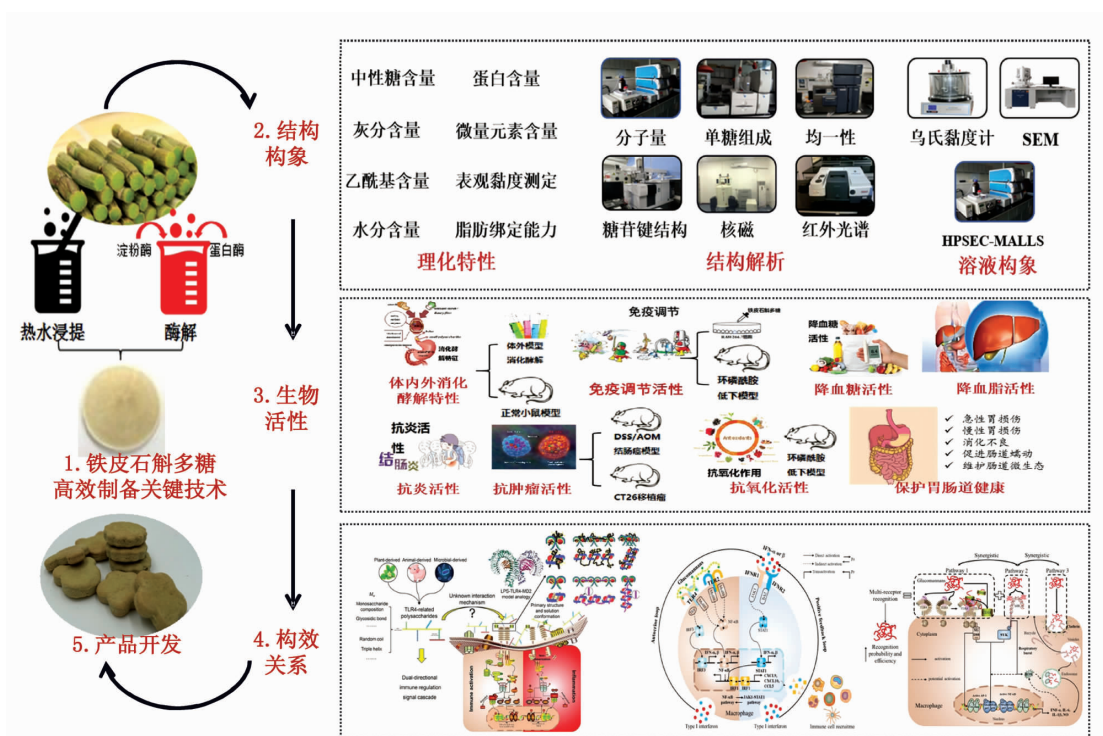
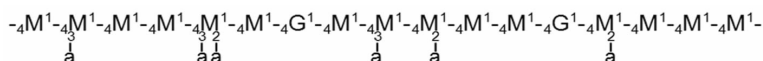
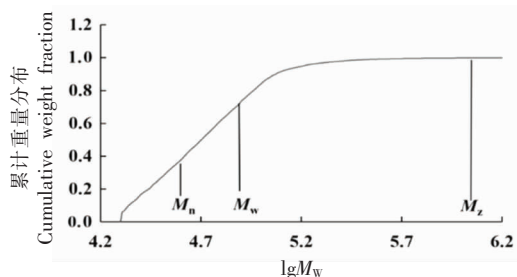


图 1 围绕铁皮石斛葡甘聚糖的研究工作框架

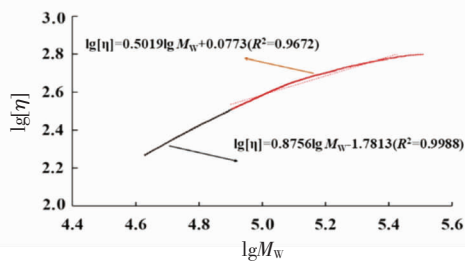
Fig.1 Research framework around the glucomannan of *Dendrobium officinale*



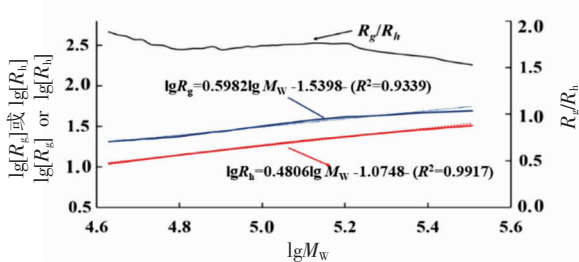
(a)DOP 重复单元结构



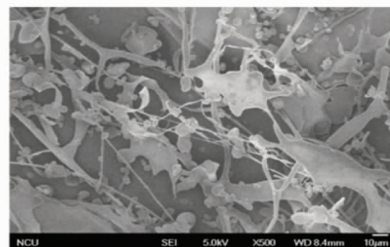
(b)DOP 的分子质量与累积质量分数



(c)DOP 的特性黏度溶液特性



(d)DOP 构象参数双对数图



(e)DOP 的扫描电镜图片(×500)

注：a 图中，M 表示 β -D 吡喃糖基甘露糖，G 表示 β -D 吡喃糖基葡萄糖，a 表示 O 型乙酰基团；b 图中， η 表示溶液特性黏度；c 图中 R_g 表示均方根旋转半径， R_h 表示流体力学半径； M_w 表示重均分子量。

图 2 DOP 的结构和构象特征^[33]

Fig.2 Structure and conformational characteristics of DOP^[33]

水性和持油性有积极作用^[34]。

2.2 铁皮石斛多糖的生物活性

铁皮石斛多糖的各类生物活性被广泛研究和报道。本团队基于现代营养学理论,借助多种生化技术,证实了DOP在免疫调节、抗氧化、调节肠道炎症、促进胃肠道健康以及改善糖脂代谢等方面具有一定的功能活性,并阐释了相关可能机制^[35-53]。

针对DOP的免疫调节功能,开展了体内外系统性评价并阐释了可能的调节机制。首先,在体内外试验中证实DOP的免疫调节功能,表现为:能够在体外增强RAW264.7的增殖和吞噬能力,促进细胞分泌细胞因子——肿瘤坏死因子(TNF- α)^[35-37];在正常和免疫抑制小鼠中也能有效激活巨噬细胞功能,有效促进脾淋巴细胞的增值和分化,促进炎症因子的分泌,提升血清中免疫球蛋白水平以及提高肝脏的抗氧化能力^[38-39]。同时,通过对比铁皮石斛水提液、粗多糖和纯多糖的免疫调节能力,确证多糖是铁皮石斛提取物中起到免疫调节作用的

主要效用物质。之后,借助抑制剂干扰、受体敲低和分子模拟等技术手段,证实巨噬细胞表面的多个先天免疫受体,如Toll样受体4(TLR4)、分化抗原簇14基因(CD14)、甘露糖受体(MR),都参与DOP的识别,多条先天免疫途径【包括Toll样受体(TLRs)介导的信号通路、C型凝集素受体(CLRs)介导的信号通路、核苷酸结合寡聚域样受体(NLRs)介导的信号通路】与Janus激酶-信号转导与转录激活子(JAK-STAT)信号通路交叉协同增强了DOP在肿瘤环境中的免疫激活能力,并且Toll样受体2(TLR2)和TLR4共同介导了DOP诱导骨髓源巨噬细胞(BMDM)向M1型分化,启动I型干扰素的自分泌循环以形成JAK1-STAT1正反馈回路机制。类似的结果在芦荟和魔芋来源的葡甘聚糖中也有证实,由此提出“多个先天免疫受体协同介导葡甘聚糖多途径激活巨噬细胞”假说并得到证实(图3)^[40-42]。

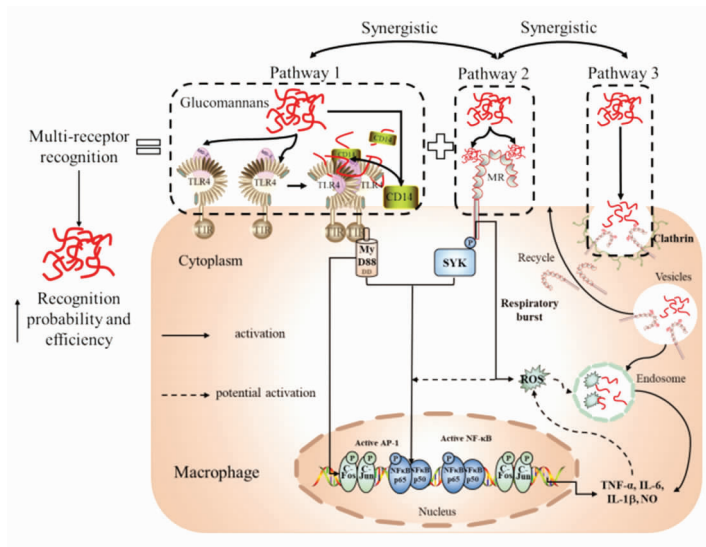


图3 “多个先天免疫受体协同介导葡甘聚糖多途径激活巨噬细胞”假说^[42]

Fig.3 Hypothesis of Multiple innate immune receptors synergistically mediate the activation of macrophages through multiple pathways of glucomannan^[42]

针对DOP改善胃肠道功能的作用,已从消化代谢情况到对各类胃肠疾病的影响进行全面剖析与阐述(图4)。通过体外模拟消化降解发现DOP几乎不能被胃肠液消化降解。然而,在体试验发现其能够被肠道菌群酵解并产生短链脂肪酸等代谢产物,同时,显著促进肠道蠕动,增加粪便持水能力和缩短排便时间^[43-44]。此外,DOP还可以通过激

活细胞免疫和体液免疫缓解结肠炎小鼠的炎症反应,并修复结肠炎小鼠的肠道黏膜损伤和肠道菌群失衡^[45-47]。DOP这种对肠道免疫的调节能力在更为恶劣的结肠癌模型中也有明显表现^[38],而它对线粒体功能的破坏和对腺苷酸活化蛋白激酶(AMPK)/雷帕霉素靶蛋白(mTOR)自噬途径的过度激活可能是其抗癌途径^[48]。介于DOP对肠黏膜

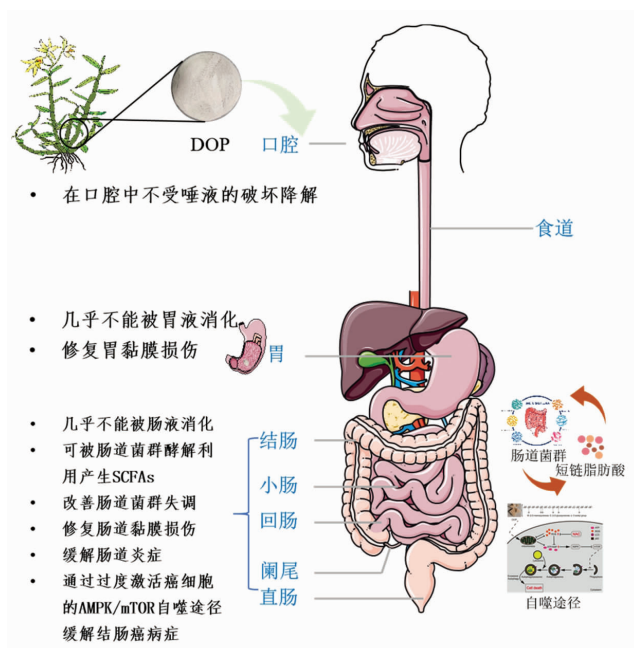


图 4 DOP 对胃肠道功能的保护作用

Fig.4 The protective effect of DOP on gastrointestinal function

损伤的优秀修复能力，继续评估它对于胃黏膜损伤的保护作用，并惊喜地发现：DOP 对急、慢性胃损伤也有着极为显著的修护能力，可加速溃疡面愈合并缓解炎症反应；对脾胃虚寒造成的消化不良还能够通过促进胃肠蠕动来促进消化。

针对 DOP 调节糖脂代谢的功能，也借助多组学技术阐释了其功效机制。在糖尿病大鼠体内，已证实 DOP 的降血糖能力，包括：增强模型动物葡萄糖耐受能力，显著改善高血糖症状，降低血清血糖、糖化血清蛋白和胰岛素浓度，以及提升胰岛素敏感性；同时，也证实其显著的降血脂能力，包括：降低血清中总胆固醇、总甘油三酯、低密度脂蛋白胆固醇和游离脂肪酸浓度，提升高密度脂蛋白胆固醇水平，增强胰岛 β 细胞功能，降低组织中脂肪细胞增值和糖蛋白沉积^[49-51]。借助代谢组学、脂质组学和微生物组学技术发掘其降血糖和降血脂功能，可能与 DOP 具有的调节氨基酸代谢和改善糖尿病个体肠道菌群失衡作用具有显著的相关性^[52]。相似的结果在人群粪便的菌群测试中也有发现：DOP 能调节 2 型糖尿病病人肠道菌群的多样性和结构，并通过富集肠道中吉氏副拟杆菌等有益菌的丰度来发挥改善胰岛素抵抗的作用（图 5），这

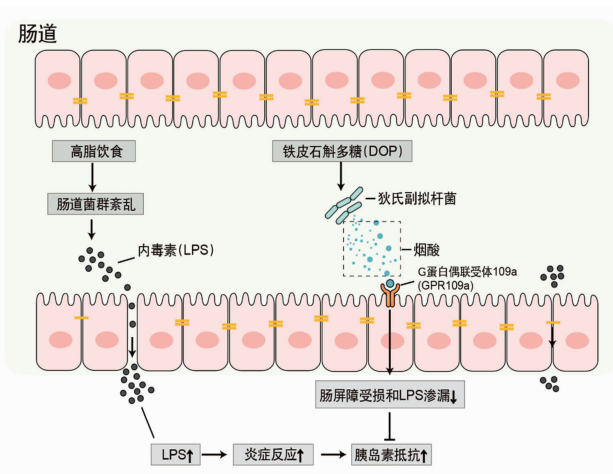


图 5 DOP 改善胰岛素抵抗的机制

Fig.5 Mechanism of DOP improving insulin resistance

一研究结果^[53]已发表于《Nature Communications》。

2.3 铁皮石斛多糖的构效关系研究

通过有乙醇分级沉淀、水解、乙酰化、脱乙酰化、硫酸化、以及羧甲基化等手段对铁皮石斛多糖进行化学修饰，比较它们修饰前、后的理化性质、溶液特性和生物活性变化，以挖掘 DOP 的潜在构效关系^[54-55]。研究中发现分子质量分布、溶液黏度、单糖组成、官能团类型和数量与 DOP 免疫调节活性具有明显的相关性^[27]。一定程度的分子质量的降低，可导致 DOP 溶液黏度的下降，进而有利于促进巨噬细胞的免疫功能。羧甲基化修饰会降低 DOP 激活巨噬细胞的能力，而硫酸化和乙酰化则表现出一定程度的增强能力^[56]。乙酰基数量与 DOP 激活巨噬细胞的能力呈现“非线性波浪”量效关系^[42,57]。与此同时，将 DOP 与具有相似单糖组成的芦荟多糖和魔芋多糖进行比较，可以发现：虽然 3 种多糖同为葡甘聚糖，但是它们的降血糖和降血脂功效与其分子质量分布具有正相关性，而与单糖组成中甘露糖/葡萄糖的比例具有负相关性，并且乙酰基数量的增加不利于葡甘聚糖提升模型动物的葡萄糖耐受能力^[58]。

3 铁皮石斛的产业化现状

3.1 铁皮石斛的产区分布与产量

铁皮石斛的产区主要分布于安徽西南部、浙江东部、福建西部、广西西北部、四川、云南东南部

以及江西等地。在浙江,铁皮石斛主要在乐清市、衢州市等地区发展壮大^[59]。铁皮石斛是乐清市的重要支柱产业,乐清市先后荣获“中国铁皮石斛之乡”“国家铁皮石斛生物产业基地”等称号。雁荡山铁皮石斛于已被列入中国农业品牌目录,并获得国家地理标志产品^[60]。衢州市注重现代生态种植技术的发展,开发了立体林业栽培新模式,将铁皮石斛与三叶青、黄精、白及等物种套种,如今已成为当地林下仿野生种植的标杆^[61]。在云南,广南县是“中国铁皮石斛之乡”,广南铁皮石斛为国家地理标志产品^[62]。在广西,桂平市白石山铁皮石斛发展历史最早可追溯至东晋,并入选全国农产品地理标志^[63]。

江西铁皮石斛规模化种植最早出现于2010年前,后,虽然起步较晚,但是种植条件优越,丹霞地貌遍布全省,非常适宜铁皮石斛生长,尤其是龙虎山和井冈山等地^[64]。2021年,江西省的苗床栽培和仿野生栽培的铁皮石斛产量分别达到1500 t和390 t,产值也分别达到3亿元和3.15亿元^[8]。龙虎山的崖壁铁皮石斛独具特色;明月山利用特色富硒山泉水在深山树林中进行铁皮石斛的仿野生栽培;赣南龙南地区石斛谷的挂树仿野生种植铁皮石斛面积也突破了1000 hm²。优良的种质资源和充足的产量,为铁皮石斛的精深加工提供了原料保障。

3.2 铁皮石斛在健康产业应用的政策变化

鉴于铁皮石斛的优良生物活性,我国对于石斛产业的发展也相继出台过多项政策激励。自2002年起,铁皮石斛可被用于医药或保健品原料。2018年1月11日,原国家卫生和计划生育委员会发布了《关于就党参、铁皮石斛等9种物质作为按照传统既是食品又是中药材物质开展试生产征求意见的函》。2019年11月25日,中华人民共和国国家卫生健康委员会(以下简称国家卫健委)、国家市场监督管理总局(以下简称市场监管总局)正式下发《关于对党参等9种物质开展按照传统既是食品又是中药材的物质管理试点工作的通知》(国卫食品函[2019]311号),明确开展生产经营试点工作。各省级卫生健康委员会提出具体的试点方案,报请省级人民政府同意后,经国家卫健委与市场监管总局核定,获批并印发试点方案

后,可启动试点工作。2020年6月12日,国家卫健委办公厅印发《关于云南省开展按照传统既是食品又是中药材的物质管理试点意见的函》,同意云南省对铁皮石斛开展食药物质试点的风险监测方案,这是我国获批铁皮石斛药食同源试点的首个省份。自此,我国云南、广西、广东、贵州、湖北、四川、浙江、江西、江苏、山东、福建、安徽12个地区的铁皮石斛食药同源试点相继获国家药品监督管理局批准,并下发试点通知。2020年12月10日,市场监管总局还下发通知,要求必须按照传统的加工和食用方法开展试点。2021年开始,我国广西、广东、云南、浙江、江西等地开始企业试点工作。试点结束后,国家卫健委会同市场监管总局,根据各地试点实施情况,研究论证将铁皮石斛纳入食药物质目录管理的可行性。最终,在2023年11月9日,铁皮石斛被正式纳入按照传统既是食品又是中药材的物质目录。由此迎来了其产业壮大的历史性转折点。

3.3 铁皮石斛的深加工现状与问题

有关铁皮石斛的专利技术主要集中在保健品的研发和人工种植技术上,专利总量超过5400件,其中涉及铁皮石斛深加工产品开发的专利占83.1%,这当中铁皮石斛保健饮品和酒类的专利数超500件^[65]。铁皮石斛产品主要可分为4类:一是铁皮石斛干制品,二是铁皮石斛中成药或保健品,三是添加石斛原料的新食品,四是添加了石斛提取物的日化产品^[66]。

铁皮石斛的干制品主要是干条和枫斗2种形式,前者呈段状,后者呈螺旋状。相比于石斛鲜品,铁皮枫斗虽更易保存且保留了石斛丰富的营养物质和功能活性,但需经久煮或打粉后久煮服用为最佳,食用不方便^[67]。依照中医药典籍,将石斛与其它中草药进行复配,还可开发出功效多样的中成药产品,例如:石斛夜光丸、脉络宁注射液、通塞脉片、养阴口服液等^[68]。然而,这些产品主要在药店销售,其药品属性极大地限制了产品的流通渠道。铁皮石斛保健品很好地拓展了它的流通渠道,市面上常见的石斛保健品主要以粉剂、颗粒剂、胶囊、片剂、口服液、浸膏等剂型存在^[69],比干制品食用更方便。然而,这些产品形式守旧、缺乏创新性和创造力,对年轻消费者吸引力弱。目前,以石斛

为原料开发的新食品主要以石斛饮料、石斛酒、薄脆饼干等形式在售^[70]。这些产品形式相对新颖且方便食用,更易吸引年轻消费者的关注。然而,部分产品存在“功能定位不精准”“功效成分含量模糊”等问题。“包治百病”的宣传方式更是阻碍了正确的消费者心智教育,制约了产品品质提升,导致产品口碑和影响力不足。此外,含有铁皮石斛提取物的牙膏、面膜、香皂等日化产品近几年也活跃在市场上^[71]。目前,部分日化产品存在石斛提取物成分不清、添加量不明、功能特性未知等问题。整体而言,现有石斛相关健康产品存在的突出问题是:缺乏科学的配方设计,缺乏新技术的投入,缺乏新产品的创制。新技术的投入和新产品的开发是未来铁皮石斛资源实现高品质精深加工的必经之路。

4 结语与展望

综上所述,充足且优质的铁皮石斛资源为其精深加工孕育温床,扎实且深厚的科研基础为其创新产品的研发奠定基石,有力的政策保障也为其产业渠道的拓展保驾护航。在这“天时、地利、人和”的境遇下,铁皮石斛产业迎来了高速发展的最佳时机。尤其在经历新冠疫情后,食药同源资源的免疫调节功能再次受到人们的关注,也为“大健康”产业的蓬勃发展提供了新选择。铁皮石斛营养健康产品的研发将成为其立足“大健康”领域的重要环节。当前,应将传统中药瑰宝与现代营养理论相结合,建立食药同源营养配方设计的新理论;同时,系统性完善铁皮石斛加工指纹图谱研究,形成其特色加工新技术,并最终创制科学营养的铁皮石斛健康食品。

参 考 文 献

- [1] 张冠亚. 铁皮石斛多糖在模拟消化、酵解体系中的代谢特点及其改善肠道功能的研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2015.
ZHANG G Y. Research on metabolic characteristics of *Dendrobium officinale* polysaccharides in simulating digestion and fermentation system and its effect on the improvement of intestinal function[D]. Nanchang: Nanchang University, 2015.
- [2] 王琳炜, 欧阳臻, 张碧娟, 等. 霍山铁皮石斛多糖的脱蛋白工艺及结构分析[J]. 食品科学, 2017, 38(12): 164-170.
WANG L W, OUYANG Z, ZHANG B J, et al. Deproteinization and structural analysis of polysaccharides from *Dendrobium officinale* Kimura et Migo grown in Huoshan[J]. Food Science, 2017, 38(12): 164-170.
- [3] 聂少平, 蔡海兰. 铁皮石斛活性成分及其功能研究进展[J]. 食品科学, 2012, 33(23): 356-361.
NIE S P, CAI H L. Research progress in bioactive components and functions of *Dendrobium officinale* [J]. Food Science, 2012, 33(23): 356-361.
- [4] 黄彪, 刘文静, 李巍, 等. 不同人工栽培模式下铁皮石斛活性成分及抗氧化活性比较[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(8): 2665-2671.
HUANG B, LIU W J, LI W, et al. Comparative analysis of active constituents and antioxidant activities of *Dendrobium officinale* in different artificial cultivation models [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2022, 13(8): 2665-2671.
- [5] 常美花, 金亚征, 王莉. 铁皮石斛快繁技术体系研究[J]. 中草药, 2012, 43(7): 1412-1417.
CHANG M H, JING Y Z, WANG L. Rapid propagation technique system of *Dendrobium officinale* [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2012, 43(7): 1412-1417.
- [6] 杨洋. 不同种植方式铁皮石斛品质对比研究[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2016.
YANG Y. Study on the quality on different planting patterns of *Dendrobium candidum*[D]. Guiyang: Guizhou Normal University, 2016.
- [7] 穆应素. 附树栽培铁皮石斛活性成分评价及积累机制研究[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2023.
MU Y S. Evaluation of active ingredients and accumulation mechanism of *Dendrobium officinale* cultivated with trees[D]. Guiyang: Guizhou Normal University, 2023.
- [8] 杨明志, 单玉莹, 陈晓梅, 等. 中国石斛产业发展现状分析与考量[J]. 中国现代中药, 2022, 24(8): 1395-1402.
YANG M Z, SHAN Y Y, CHEN X M, et al. Current development situation of *Dendrobium* industry in China[J]. Modern Chinese Medicine, 2022, 24(8): 1395-1402.
- [9] 杨明志, 赵菊润, 李振坚. 中国石斛产业发展报告[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2022: 1-195.

- YANG M Z, ZHAO J R, LI Z J. Report on the development of *Dendrobium officinale* industry in China[M]. Beijing: The Medicine Science and Technology Press of China, 2022: 1–195.
- [10] HU J, HUANG W X, ZHANG F T, et al. Variability of volatile compounds in the medicinal plant *Dendrobium officinale* from different regions [J]. *Molecules*, 2020, 21(25): 5046.
- [11] 颜沛沛, 叶炜, 江金兰, 等. 不同仿生栽培模式下铁皮石斛的品质与安全性分析[J]. *中国农学通报*, 2023, 39(25): 64–68.
- YAN P P, YE W, JIANG J L, et al. Analysis of quality and safety of *Dendrobium officinale* in different bionic cultivation modes[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2023, 39(25): 64–68.
- [12] 王景瑄, 陈文华, 李思琦, 等. 不同栽培模式铁皮石斛可培养内生真菌菌群结构、多样性及分布规律[J]. *中草药*, 2023, 54(9): 2917–2924.
- WANG J X, CHEN W H, LI S Q, et al. Community, diversity, and distribution of culturable endophytic fungi in *Dendrobium officinale* from different habitats[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2023, 54(9): 2917–2924.
- [13] 陈燕兰, 钟淳菲, 徐雅囡, 等. 不同地区铁皮石斛的品质差异研究[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(8): 123–130.
- CHEN Y L, ZHONG C F, XU Y N, et al. Study on quality differences of *Dendrobium officinale* in different areas[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(8): 123–130.
- [14] 张石玉, 龚小见, 周欣, 等. 铁皮石斛的化学成分及药理作用研究进展[JOL]. *甘肃农业大学学报*, (2023-09-05) [2023-11-27]. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=1Vku9qtM8H-elsunE__8nLxxlZtfdzTEfOL4YC2l7uiU0aHSQel9jTioVW-qL2sDP01kRDJ02ZY2TB3V-syHiy_700zOs7XJZQii-aBcoSMqnobkuMGwtzKC3Z_K6_pMlzDC_Jp4u8=&uniplatform=NZKPT&language=CHS.
- ZHANG S Y, GONG X J, ZHOU X, et al. Research progress on chemical components and pharmacological effects of *Dendrobium officinale* [JOL]. *Journal of Gansu Agricultural University*, (2023-09-05) [2023-11-27]. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=1Vku9qtM8H-elsunE__8nLxxlZtfdzTEfOL4YC2l7uiU0aHSQel9jTioVW-qL2sDP01kRDJ02ZY2TB3V-syHiy_700zOs7XJZQii-aBcoSMqnobkuMGwtzKC3Z_K6_pMlzDC_Jp4u8=&uniplatform=NZKPT&language=CHS.
- 3Z_K6_pMlzDC_Jp4u8=&uniplatform=NZKPT&language=CHS.
- [15] 吕朝耕, 杨健, 康传志, 等. 铁皮石斛中10种黄酮类成分UPLC-MS/MS测定与多糖组成含量分析[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2017, 23(17): 47–52.
- LÜ C G, YANG J, KANG C Z, et al. Determination of 10 flavonoids by UPLC-MS/MS and analysis of polysaccharide contents and compositions in *Dendrobium officinale* Caulis from different habitats [J]. *Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae*, 2017, 23(17): 47–52.
- [16] 孙凤婷, 许振岚, 朱作艺, 等. 铁皮石斛的黄酮类成分测定及其生物可及性研究[JOL]. *浙江农业学报*, (2023-10-25) [2023-11-27]. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=1Vku9qtM8H9cgZtiak2LXVYfb7PhU18SyQcSGf-UJNhG-icpsEleZ6dulP7taKyej7GobPt0YRertQ0B3QEkXLX4IBSDNNurCguQ92Ov3tz8adIn0ROZkTp3K-_e99G0dpCvIfXYqbE=&uniplatform=NZKPT&language=CHS.
- SUN F T, XU Z L, ZHU Z Y, et al. Determination of flavonoids in *Dendrobium officinale* Kimura et Migo and study on its bioavailability[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, (2023-10-25) [2023-11-27]. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=1Vku9qtM8H9cgZtiak2LXVYfb7PhU18SyQcSGf-UJNhG-icpsEleZ6dulP7taKyej7GobPt0YRertQ0B3QEkXLX4IBSDNNurCguQ92Ov3tz8adIn0ROZkTp3K-_e99G0dpCvIfXYqbE=&uniplatform=NZKPT&language=CHS.
- [17] 张艺, 冯红超, 闫明. 石斛生物碱抗肿瘤活性的研究进展[J]. *海南医学*, 2023, 34(11): 1646–1650.
- ZHANG Y, FENG H C, YAN M. Research progress on antitumor activity of *Dendrobium alkaloids* [J]. *Hainan Medical Journal*, 2023, 34(11): 1646–1650.
- [18] TANG H X, ZHAO T W, SHENG Y J, et al. *Dendrobium officinale* Kimura et Migo: A review on its ethnopharmacology, phytochemistry, pharmacology, and industrialization[J]. *Evidence-Based Complementray and Alternative Medicine*, 2017, 2017: 7436259.
- [19] 缪晓丹, 徐丽红, 宋仙水, 等. 不同加工方式对铁皮石斛品质的影响[J]. *浙江农业科学*, 2020, 61(4): 704–707, 734.
- MIAO X D, XU L H, SONG X S, et al. Effects of different processing methods on quality of *Dendrobium officinale* [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural*

- Sciences, 2020, 61(4): 704–707, 734.
- [20] 陈志琳, 赵颖, 李玮, 等. 基于 UPLC-MS 技术分析铁皮石斛炮制前后糖类成分差异[J]. 中草药, 2023, 54(13): 4321–4328.
- CHEN Z L, ZHAO Y, LI W, et al. UPLC-MS metabonomics technology revealing difference of carbohydrate in *Dendrobium officinale* under different processing methods [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2023, 54(13): 4321–4328.
- [21] 熊慧薇, 刘光宪, 闵华, 等. 干燥方式对铁皮石斛活性成分的影响[J]. 生物化工, 2023, 9(4): 1–5.
- XIONG H W, LIU G X, MIN H, et al. Effect of drying methods on active components of *Dendrobium officinale* [J]. Biological Chemical Engineering, 2023, 9(4): 1–5.
- [22] 陈才军, 缪丹旒, 贺文韬, 等. 干燥方式对铁皮石斛糖类成分的影响[J]. 食品工业, 2022, 43(7): 11–13.
- CHEN C J, MIAO D N, HE W T, et al. The effect of drying ways on the sugar composition of *Dendrobium candidum* [J]. The Food Industry, 2022, 43(7): 11–13.
- [23] 邹学哲, 邓红, 吴嘉琳, 等. 基于变异系数权重法评价 3 种干燥方式对铁皮石斛多糖理化性质的影响[J]. 广东药科大学学报, 2023, 39(4): 87–92.
- ZOU X Z, DENG H, WU J L, et al. Evaluation of the effects of three drying methods on physicochemical properties of *Dendrobium officinale* polysaccharides based on coefficient of variation weighting method [J]. Journal of Guangdong Pharmaceutical University, 2023, 39(4): 87–92.
- [24] 申孝灵, 周永强, 赵春丽, 等. 发酵对铁皮石斛化学成分的影响[J]. 广州化工, 2022, 50(14): 25–27.
- SHEN X L, ZHOU Y Q, ZHAO C L, et al. Effects of fermentation on chemical constituents of *Dendrobium officinale* [J]. Guangzhou Chemical Industry, 2022, 50(14): 25–27.
- [25] 于善凯, 晏永球, 戎宁平, 等. 铁皮石斛发酵工艺研究进展[J]. 亚太传统医药, 2023, 19(8): 244–250.
- YU S K, YAN Y Q, RONG N P, et al. Research progress on fermentation of *Dendrobium officinale* [J]. Asia-Pacific Traditional Medicine, 2023, 19(8): 244–250.
- [26] 黄晓君, 聂少平, 王玉婷, 等. 铁皮石斛多糖提取工艺优化及其成分分析[J]. 食品科学, 2013, 34(22): 21–26.
- HUANG X J, NIE S P, WANG Y T, et al. Optimized extraction and compositional analysis of polysaccharides from dried stems of *Dendrobium officinale* [J]. Food Science, 2013, 34(22): 21–26.
- [27] 李明智, 童微, 胡婕伦, 等. 铁皮石斛多糖不同级分的制备、性质分析及免疫调节活性比较[J]. 食品工业科技, 2018, 39(15): 10–14, 20.
- LI M Z, TONG W, HU J L, et al. Preparation and property analysis of polysaccharide fractions from *Dendrobium officinale* and comparison on their *in vitro* immunological activity [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(15): 10–14, 20.
- [28] XING X H, CUI S W, NIE S P, et al. A review of isolation process, structural characteristics, and bioactivities of water-soluble polysaccharides from *Dendrobium* plants [J]. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre, 2013, 1(2): 131–147.
- [29] XING X H, CUI S W, NIE S P, et al. Study on *Dendrobium officinale* O-acetyl-glucomannan (*Dendronan*[®]): Part I. Extraction, purification, and partial structural characterization [J]. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre, 2014, 4(1): 74–83.
- [30] XING X H, CUI S W, NIE S P, et al. Study on *Dendrobium officinale* O-acetyl-glucomannan (*Dendronan*[®]) Part II. Fine structures of O-acetylated residues [J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 117: 422–433.
- [31] SHI X D, SHI J Y, HUANG X J, et al. Structural and conformational characterization of linear O-acetyl-glucomannan purified from gel of *Aloe barbadensis* Miller [J]. Int J Biol Macromol, 2018, 120 (Pt B): 2373–2380.
- [32] SHI X D, SHI J Y, ZHANG L J, et al. Studies on O-acetyl-glucomannans from *Amorphophallus* species: Comparison of physicochemical properties and primary structures [J]. Food Hydrocolloids, 2019, 89: 503–511.
- [33] SHI X D, SHI J Y, ZHANG L J, et al. Studies on polysaccharides from leaf skin of *Aloe barbadensis* Miller: Part II. Structural characteristics and molecular properties of two lower molecular weight fractions [J]. Food Hydrocolloids, 2019, 86: 50–61.
- [34] 施晓丹. 不同来源葡甘露聚糖的结构特征、溶液性质及在小鼠肠道中的酵解特征[D]. 南昌: 南昌大学, 2019.

- SHI X D. Structural and conformational characteristics of glucomannans from different sources and their intestines fermentation properties in mice[D]. Nanchang: Nanchang University, 2019.
- [35] 蔡海兰, 黄晓君, 聂少平, 等. 铁皮石斛多糖对 RAW264.7 细胞分泌 TNF- α 的影响[J]. 中国药理学通报, 2012, 28(11): 1553-1556.
- CAI H L, HUANG X J, NIE S P, et al. Effects of polysaccharides from *Dendrobium officinale* on the production of TNF- α by RAW264.7 cells[J]. Chinese Pharmacological Bulletin, 2012, 28(11): 1553-1556.
- [36] CAI H L, HUANG X J, NIE S P, et al. Study on *Dendrobium officinale* O-acetyl-glucomannan (Dendronan[®]): Part III - Immunomodulatory activity in vitro[J]. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre, 2015, 5(2): 99-105.
- [37] GUO Q B, HUANG X J, KANG J, et al. Immunomodulatory and antiviral activities of bioactive polysaccharides and structure-function relationship[J]. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre, 2022, 27: 100301.
- [38] HUANG X J, NIE S P, CAI H L, 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.
- [39] HUANG X J, NIE S P, CAI H L, 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.
- [40] LI M Z, HUANG X J, HU J L, et al. The protective effects against cyclophosphamide (CTX)-induced immunosuppression of three glucomannans [J]. Food Hydrocolloids, 2020, 100: 105445.
- [41] LI M Z, WEN J J, HUANG X J, et al. Interaction between polysaccharides and toll-like receptor 4 primary structural role, immune balance perspective, and 3D interaction model hypothesis[J]. Food Chemistry, 2022, 374: 131586.
- [42] LI M Z, HUANG X J, WEN J J, et al. Innate immune receptors co-recognition of polysaccharides initiates multi-pathway synergistic immune response [J]. Carbohydrate Polymers, 2023, 305: 120533.
- [43] ZHANG G Y, NIE S P, HUANG X J, et al. Study on *Dendrobium officinale* O-Acetyl-glucomannan (Dendronan). 7. Improving effects on colonic health of mice[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2016, 12(62): 2485-2491.
- [44] 张冠亚, 黄晓君, 聂少平, 等. 体外模拟 3 种消化液对铁皮石斛多糖的消化作用[J]. 食品科学, 2014, 35(23): 279-283.
- ZHANG G Y, HUANG X J, NIE S P, et al. Effects of three digestive juices on the *in vitro* digestion of *Dendrobium officinale* polysaccharide[J]. Food Science, 2014, 35(23): 279-283.
- [45] ZHANG G Y, HUANG X J, SHI X D, et al. Protective effect of three glucomannans from different plants against DSS induced colitis in female BALB/c mice[J]. Food & Function, 2019, 10(4): 1928-1939.
- [46] 黄晓君. 基于肠道免疫的铁皮石斛多糖免疫调节机制研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2016.
- HUANG X J. Immunomodulatory mechanism of *Dendrobium officinale* polysaccharides based on gut immunity[D]. Nanchang: Nanchang University, 2016.
- [47] 张珊珊, 童微, 胡婕伦, 等. 铁皮石斛多糖不同分级组分对小鼠免疫调节及肠道健康的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(12): 14-21.
- ZHANG S S, TONG W, HU J L, et al. Immunomodulation of polysaccharide fractions from *Dendrobium officinale* and their effects on colon health of mice [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(12): 14-21.
- [48] 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, 264: 118018.
- [49] CHEN H L, NIE Q X, HU J L, et al. Glucomannans alleviated the progression of diabetic kidney disease by improving kidney metabolic disturbance[J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2019, 63(12): e1801008.
- [50] CHEN H L, NIE Q X, HU J L, et al. Metabolism amelioration of *Dendrobium officinale* polysaccharide on type II diabetic rats [J]. Food Hydrocolloids, 2020, 102: 105582.
- [51] YANG J R, CHEN H H, NIE Q X, 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.

- [52] CHEN H H, NIE Q X, HU J L, et al. Multiomics approach to explore the amelioration mechanisms of glucomannans on the metabolic disorder of type 2 diabetic rats [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2021, 69(8): 2632–2645.
- [53] SUN Y G, NIE Q X, ZHANG S S, et al. *Parabacteroides distasonis* ameliorates insulin resistance via activation of intestinal GPR109a[J]. *Nature Communications*, 2023, 14(1): 7740.
- [54] 童微, 余强, 李虎, 等. 铁皮石斛多糖化学修饰及其对免疫活性的影响[J]. *食品科学*, 2017, 38(7): 155–160.
- TONG W, YU Q, LI H, et al. Chemical modification and immunoregulatory activity of polysaccharides from *Dendrobium officinale*[J]. *Food Science*, 2017, 38(7): 155–160.
- [55] 阙志强. 芦荟和魔芋来源的葡甘聚糖中乙酰基含量对免疫调节活性的影响[D]. 南昌: 南昌大学, 2017.
- QUE Z Q. Effect of acetyl group contents on the immunomodulatory activity of glucomannan from *Aloe barbadensis* Miller and *Amorphophallus konjac* [D]. Nanchang: Nanchang University, 2017.
- [56] 童微. 分子量及分子修饰对铁皮石斛多糖免疫调节活性的影响[D]. 南昌: 南昌大学, 2017.
- TONG W. The effect of molecular weight and molecular modification on the immunomodulatory activity of *Dendrobium officinale* polysaccharides [D]. Nanchang: Nanchang University, 2015.
- [57] LI M Z, HUANG X J, WEN J J, et al. Comprehensive characterization of glucomannans from different sources to trigger moderate macrophages immune activation [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2022, 296: 119933.
- [58] 陈海红. 葡甘聚糖的抗糖尿病作用及其潜在机制探究[D]. 南昌: 南昌大学, 2020.
- CHEN H H. Antidiabetic effect of glucomannan and its potential mechanism exploration [D]. Nanchang: Nanchang University, 2020.
- [59] 李庆迪. 乐清地区铁皮石斛产业发展对策研究[D]. 重庆: 西南大学, 2020.
- LI Q D. Research on development countermeasures of *Dendrobium officinale* industry in Yueqing City [D]. Chongqing: Southwest University, 2020.
- [60] 陈祖阳. 浙江省乐清市铁皮石斛产业发展研究[J]. *农村经济与科技*, 2022, 33(19): 81–83.
- CHEN Z Y. Research on the development of *Dendrobium officinale* industry in Yueqing City, Zhejiang Province[J]. *Rural Economy and Science–Technology*, 2022, 33(19): 81–83.
- [61] 占菁, 周红伟, 程红田. 铁皮石斛林下立体栽培管理技术探究——以浙江省衢州市为例[J]. *广东蚕业*, 2022, 56(7): 57–59.
- ZHAN J, ZHOU H W, CHENG H T. Research on the three-dimensional cultivation management technology of *Dendrobium officinale* forest – Taking Quzhou City in Zhejiang Province as an example[J]. *Guangdong Sericulture*, 2022, 56(7): 57–59.
- [62] 马小双, 李程程. 广南铁皮石斛化学成分提取方法研究[J]. *安徽农业科学*, 2015, 43(29): 31–51.
- MA X S, LI C C. Study on the extraction method of Guangnan *Dendrobium* chemical composition [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2015, 43(29): 31–51.
- [63] 梁重坚, 李浩波. 白石山铁皮石斛种子直播育苗技术研究及示范[J]. *现代农业科技*, 2023(6): 100–103.
- LIANG C J, LI H B. Research and demonstration of direct seeding technology for *Dendrobium officinale* seeds in Baishi Mountain[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2023(6): 100–103.
- [64] 季凯文, 钟静婧. 推动江西铁皮石斛产业发展的思考[J]. *中国国情国力*, 2018(9): 58–60.
- JI K W, ZHONG J J. Reflection on promoting the development of *Dendrobium officinale* industry in Jiangxi Province [J]. *China National Conditions and Strength*, 2018(9): 58–60.
- [65] 谭申宇, 杨胜磊, 俸婷婷, 等. 铁皮石斛在营养、保健和化妆品领域的开发利用综述[J]. *山东化工*, 2022, 51(15): 66–71.
- TAN S Y, YANG S L, FENG T T, et al. Development and utilization of *Dendrobium candidum* in the fields of nutrition, health care and cosmetics[J]. *Shandong Chemical Industry*, 2022, 51(15): 66–71.
- [66] 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.
- WEI M Y. Research on whitening and moisturizing effects of *Dendrobium* polysaccharides and product development[D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2022.
- [67] 陈志琳, 赵颖, 李玮, 等. 基于 UPLC–MS 技术分析不同炮制方法对铁皮石斛糖类化合物差异的影响[J/O]. *中草药*, (2023–04–28)[2023–11–27]. <https://kns.cnki.net/>

- cnki.net/kcms2/article/abstract?v=Eo9-C_M6tLID3Csk5dADN5FF49RZKpun90g9NP9k13T5KaJlnPxzr95urkWqOmKPk9axkUFChnp3Pmh-105OWbeMc6mhgMrfH-T6jxJ1ZQZhogErSDe7PyNMEAtxB4izTcEsPks2Xoc=&uniplatform=NZKPT&language=CHS.
- CHEN Z L, ZHAO Y, LI W, et al. UPLC-MS metabonomics technology revealing difference of carbohydrate in *Dendrobium officinale* under different processing methods[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, (2023-04-28)[2023-11-27]. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=Eo9-C_M6tLID3Csk5dADN5FF49RZKpun90g9NP9k13T5KaJlnPxzr95urkWqOmKPk9axkUFChnp3Pmh-105OWbeMc6mhgMrfH-T6jxJ1ZQZhogErSDe7PyNMEAtxB4izTcEsPks2Xoc=&uniplatform=NZKPT&language=CHS.
- [68] 胡秦佳宝, 朱亚雄. 铁皮石斛加工制品研究现状[J]. 保鲜与加工, 2019, 19(1): 159-164.
- HU Q J B, ZHU Y X. Research status of *Dendrobium officinale* related processing products[J]. Storage and Process, 2019, 19(1): 159-164.
- [69] 侯北伟, 胡永青, 姚正颖, 等. 铁皮石斛产品质量影响因素分析及发展对策[J]. 中国野生植物资源, 2019, 38(5): 84-87.
- HOU B W, HU Y Q, YAO Z Y, et al. Factors analysis and development strategy of *Dendrobium officinale* product quality[J]. Chinese Wild Plant Resources, 2019, 38(5): 84-87.
- [70] 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 M L, ZHANG Z Y, ZHENG X M, et al. Application value and development and utilization of *Dendrobium officinale* leaves[J]. Farm Products Processing, 2023(17): 77-80.
- [71] 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 Y X, CHEN Y L, et al. Research progress in active components and comprehensive utilization of stems, leaves and flowers of *Dendrobium officinale*[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(17): 299-306.

Functional Activity Research and Industrialization Status of *Dendrobium officinale*

Huang Xiaojun, Wang Zhiqiang, Nie Shaoping*

(State Key Laboratory of Food Science and Resources, China-Canada Joint Lab of Food Science and Technology, Key Laboratory of Bioactive Polysaccharides of Jiangxi Province, Nanchang University, Nanchang 330047)

Abstract *Dendrobium officinale* is a perennial epiphytic herb of *Dendrobium* genus of Orchidaceae, which enjoys the reputation of 'life-saving herb' in China's folklore. It contains polysaccharides, alkaloids, flavonoids and other bioactive ingredients, which together make it good at improving immunity, balancing inflammation, regulating glucose and lipid metabolism, and promoting the health of gastrointestinal tract, ect. On November 9 2023, *Dendrobium* was officially added as 'food and medicine of the same origin' substance, which expanded its application prospects in the field of healthy food by the National Health and Health Commission of the People's Republic of China and State Administration for Market Regulation. This paper summarized the research history of *Dendrobium officinale* from 'cultivation and planting' to 'its functional components' and 'its processing characteristics', and also summarized the research progress of its main functional substance, *Dendrobium officinale* polysaccharide, in all aspects. At the same time, this paper also elaborated the current situation of *Dendrobium* herb deep-processing, and analyzed the key problem and future direction of *Dendrobium officinale* industrialization, in order to provide reference for the innovative application of *Dendrobium officinale* in the health industry.

Keywords *Dendrobium officinale*; *Dendrobium officinale* polysaccharide; functional activity; industrialization