

## 石斛化学成分及其胃肠道保护作用机制研究进展

黄丽乔<sup>1,2</sup>, 李明帆<sup>1,2</sup>, 赵志然<sup>3</sup>, 郑 昊<sup>3</sup>, 丁章贵<sup>1,2,3\*</sup>

1. 云南大学生命科学学院 云南省微生物研究所, 云南 昆明 650091

2. 云南大学 西南微生物多样性教育部重点实验室, 云南 昆明 650091

3. 云南品斛堂生物科技有限公司, 云南 保山 678300

**摘要:** 石斛 *Dendrobii Caulis* 是一种历史悠久且药用范围广泛的中药, 具有生津益胃、清热养阴的功效, 主要用于治疗热病伤津、口干烦渴和病后虚热等症状。胃肠道作为人体的重要器官系统, 其健康对维持正常生理功能至关重要。现代研究表明, 石斛中含有的活性成分在胃肠道保护中发挥了重要作用, 通过抗氧化、抗炎、促进细胞修复、调节免疫功能、维持肠道微生态平衡及胃黏膜保护等多重机制促进胃肠道的全面健康。尽管石斛在胃肠道疾病的防治中展现出广泛的应用潜力, 未来的研究仍需在机制探讨、临床试验以及药物标准化等方面进行更深入的探索, 为石斛的临床应用及功能性食品的开发提供理论依据和实践指导。

**关键词:** 石斛; 胃肠道保护; 多糖; 黄酮; 抗氧化机制; 抗炎通路; 肠道菌群

**中图分类号:** R285 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2025)11-4147-11

**DOI:** 10.7501/j.issn.0253-2670.2025.11.033

## Research progress on chemical constituents of *Dendrobii Caulis* and its gastrointestinal protective mechanism

HUANG Liqiao<sup>1,2</sup>, LI Mingfan<sup>1,2</sup>, ZHAO Zhiran<sup>3</sup>, ZHENG Min<sup>3</sup>, DING Zhanggui<sup>1,2,3</sup>

1. Yunnan Institute of Microbiology, School of Life Sciences, Yunnan University, Kunming 650091, China

2. Southwest Key Laboratory of Microbial Diversity, Ministry of Education, Yunnan University, Kunming 650091, China

3. Yunnan Pinhutang Biotechnology Co., Ltd., Baoshan 678300, China

**Abstract:** Shihu (*Dendrobii Caulis*) is a traditional Chinese medicine with a long history and a wide range of medicinal uses. It has the effects of generating fluid and benefiting stomach, clearing heat and nourishing yin. It is primarily indicated for symptoms such as fever, dry mouth, thirst, and post-illness fever. The gastrointestinal tract is an important organ system of the human body, and its health is crucial to maintain normal physiological functions. Modern studies have demonstrated that the active ingredients in *Dendrobii Caulis* play an important role in gastrointestinal protection. *Dendrobii Caulis* promotes the overall health of the gastrointestinal tract through its multiple mechanisms such as antioxidation, anti-inflammation, promotion of cell repair, regulation of immune function, maintenance of intestinal microecological balance and protection of gastric mucosa. Although *Dendrobii Caulis* has shown extensive application potential in the prevention and treatment of gastrointestinal diseases, future research should further explore the mechanism, clinical trials and drug standardization, so as to provide theoretical basis and practical guidance for the clinical application of *Dendrobii Caulis* and the development of functional foods.

**Key words:** *Dendrobii Caulis*; gastrointestinal protection; polysaccharides; flavonoids; antioxidant mechanism; anti-inflammatory pathway; intestinal flora

石斛为兰科植物的栽培品及其同属植物近似种的新鲜或干燥茎, 具有极高的药用价值, 因其独特的药用特性和广泛的分布在中医药学中占据着重要地

位。全球有 1 500 多种石斛, 中国是石斛的原产地之一, 拥有超过 80 种, 其中近 40 种被药用<sup>[1]</sup>。石斛的药理作用和功效因其种类、生长环境和条件的不同

收稿日期: 2025-01-09

基金项目: 云南省万人计划“青年拔尖人才”项目(YNWR-QNBJ-2019-003)

作者简介: 黄丽乔, 硕士研究生, 从事中药防治胃肠道疾病药理学研究。E-mail: xpqao@outlook.com

\*通信作者: 丁章贵, 博士, 助理研究员, 硕士生导师, 从事云南特色食品功能成分及应用基础研究。E-mail: dzg@ynu.edu.cn

而存在显著差异<sup>[2]</sup>。茎部是石斛的主要药用部位,通常使用新鲜或干燥的茎,其药理作用包括滋阴补益、调血脂、抗氧化、抗菌、抗肿瘤、调节微生态及促进消化等<sup>[3]</sup>。铁皮石斛是目前研究最为深入且应用广泛的品种之一,已被列入药食同源目录<sup>[4]</sup>。随着现代药理研究的深入,石斛的资源分布、药理活性成分及机制逐渐被揭示,其在免疫调节、抗炎、抗氧化等方面的潜力受到越来越多的关注。此外,石斛在胃肠道健康方面也表现出了积极的效果。研究表明,石斛有助于促进胃肠道蠕动、改善消化系统功能,并对胃肠道炎症、溃疡及肠道菌群的调节具有一定作用,进一步丰富了其在消化系统领域的应用前景<sup>[5]</sup>。

石斛的药用价值及其化学成分的复杂性使其成为中医药中的宝贵资源。随着对石斛研究的深入,特别是在现代药理学、化学分析和临床试验方面的持续发展,石斛的潜力将在多个领域得到更广泛的应用,尤其是在慢性疾病、免疫系统调节等领域。因此,揭示石斛活性成分结构及作用机制,可以推动其成为更加重要的药品和保健产品原材料。

## 1 石斛的资源分布及主要活性成分

### 1.1 资源分布与生长环境

石斛广泛分布于印度、尼泊尔、中国及东南亚等地区,特别是在中国,其资源较为丰富,主要分布于长江流域及其以南的多个省份<sup>[6]</sup>。石斛喜温暖、潮湿、半阴半阳的环境,通常生长在海拔 480~1 700 m 的山地森林中,栖息于树干、岩石缝隙或山谷中,形成附生或岩生的生活方式。其对生长环境的要求较为苛刻,光照适中、空气湿润以及充足的降水量是石斛生长的必要条件<sup>[5]</sup>。石斛在自然环境中的繁殖方式主要通过分株进行,开花稀少而结实较多,但由于种子需要特定的环境条件才能发芽,因此其自然繁殖过程较为缓慢<sup>[7-8]</sup>。由于过度采摘、非法采摘、栖息地丧失和气候变化等因素,野生石斛资源正面临严重威胁。特别是铁皮石斛,因其显著的药用价值成为了研究的重点,但过度采摘已经导致其野生资源濒临枯竭。

为了应对这一困境,近年来,科研人员不仅加大了对其他石斛品种的研究力度,还通过现代栽培技术逐步推动石斛产业化发展。人工栽培石斛成为主要的补充手段,通过温室种植和人工繁殖,逐渐实现了石斛资源的可持续利用。然而,野生石斛资

源的恢复仍面临诸多挑战。因此,除了加强人工栽培与保护,推动石斛资源的可持续利用,还需要对生态环境进行深入研究,以便为未来的石斛栽培和保护工作提供更加科学和系统的方案。

### 1.2 主要活性成分

**1.2.1 多糖** 多糖被视为评估石斛品质的重要指标之一<sup>[9]</sup>。研究发现,石斛中的多糖含量较高,铁皮石斛多糖(*Dendrobium officinale polysaccharide*, DOP)约占干茎水提物的 70%<sup>[10]</sup>。石斛多糖的化学结构复杂,由多种单糖通过糖苷键连接形成,以 $\beta$ -1,4-甘露葡聚糖为主,单糖组成包括甘露糖(60%~70%)、葡萄糖(20%~30%)及少量半乳糖。这些聚合物的相对分子质量和结构多样性赋予了石斛多糖丰富的生物活性,进一步增强了其在中医药领域的应用潜力。石斛多糖的物理化学特性如溶解性、黏度和凝胶特性,直接影响其在药物制剂中的效果<sup>[10]</sup>。在药物制剂中,溶解性差异可能影响生物利用度和药效,石斛多糖的溶解性和稳定性决定了其在体内的吸收速率与作用效果,这对其临床应用尤为重要。石斛多糖独特的糖苷键结构与高分支度赋予了其优异的持水性和黏附性,可在肠道表面形成保护膜,并通过发酵生成短链脂肪酸(short-chain fatty acids, SCFAs)如丁酸,促进益生菌增殖、抑制致病菌定植<sup>[11]</sup>。石斛多糖广泛分布于植物的茎、叶等各个部位<sup>[12]</sup>。在植物体内主要以纤维素、半纤维素和果胶等形式存在<sup>[13]</sup>。这些成分通过不同的组合赋予了石斛多糖独特的生物学功能。研究表明,石斛多糖具有多种生物活性,可以发挥抗氧化、抗肿瘤及免疫调节等功能<sup>[14]</sup>。传统上,石斛多糖被广泛用于滋补、改善体质和治疗多种疾病。近年来的研究进一步揭示了其在胃肠道方面的药理作用。如图 1 所示,石斛多糖通过多种机制在保护胃肠黏膜、调节肠道微生态等方面发挥作用。

**1.2.2 黄酮类** 黄酮类化合物是一类在自然界中广泛存在的植物次级代谢产物,其基本结构由 2 个苯环通过 3 个碳原子相互连接而成,具有典型的 C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>-C<sub>6</sub> 结构。在植物体内,黄酮类化合物通常与糖分子结合,形成苷类物质,少部分以游离状态存在。

黄酮类化合物是石斛的主要成分之一,种类繁多,且具有显著的生物活性。研究表明,石斛中的黄酮类成分对胃肠道健康具有潜在益处,能够通过抗氧化、抗炎和抗菌等作用,调节胃肠道环境,促进肠胃功能的恢复和保健。迄今为止,已从多种石

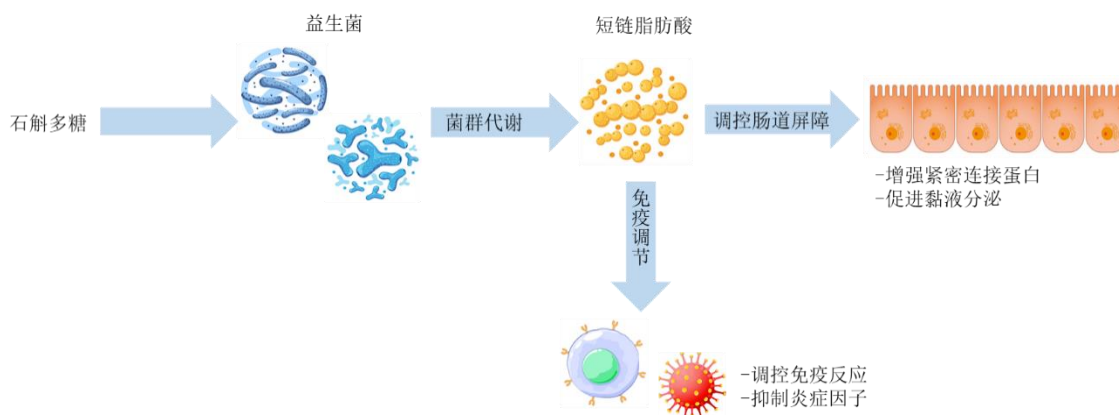


图 1 石斛多糖通过肠道菌群发挥胃肠道保护作用

Fig. 1 *Dendrobii Caulis* polysaccharides exert gastrointestinal protective effects through intestinal flora

斛中分离出 89 种黄酮类活性成分<sup>[15]</sup>。此外，黄酮类成分在不同部位的分布存在差异，相比于根、茎部位，叶片中的含量更高<sup>[16]</sup>。这种差异可能与不同部位在植物代谢过程中的作用有关，为进一步开发石斛的药用价值提供了线索。相关研究还从铁皮石斛中成功鉴别出 19 种黄酮类成分，其中包括 9 种黄

酮碳苷、4 种黄酮醇氧苷、2 种酰化黄酮碳苷、3 种酰化黄酮醇氧苷以及 1 种二氢黄酮<sup>[17]</sup>。近年的研究已从铁皮石斛中鉴定出了更多数量的黄酮类成分，但它们的详细分类尚未完全明确。因此，仍需要进一步的研究来探索这些黄酮类化合物的结构特征、生物活性。石斛中对胃肠道有益的黄酮成分见表 1。

表 1 石斛中对胃肠道有益的黄酮成分

Table 1 Flavonoids beneficial to gastrointestinal tract in *Dendrobii Caulis*

化合物名称	分子式	植物来源	药理作用	参考文献
槲皮素	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>7</sub>	蝴蝶石斛、金钗石斛、铁皮石斛、玫瑰石斛	降血压、调血脂、降血糖、抗炎等	18
新西兰牡荆苷 I	C <sub>27</sub> H <sub>30</sub> O <sub>15</sub>	铁皮石斛	抗癌、抗氧化	19
夏佛塔苷	C <sub>26</sub> H <sub>28</sub> O <sub>14</sub>	铁皮石斛	抗炎、免疫调节	20
黄芩素	C <sub>14</sub> H <sub>14</sub> O <sub>7</sub>	金钗石斛	抗癌、抗炎、保护线粒体	21
异黄酮	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	铁皮石斛	抗肿瘤、抗氧化、抗炎、免疫调节	15,19
黄酮糖苷	C <sub>15</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	金钗石斛、叠鞘石斛	抗癌、抗炎、抗氧化、抗菌、免疫调节、保护心血管	22-23
山柰酚	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>6</sub>	鼓槌石斛、密花石斛、苏瓣石斛、黄花石斛、组翅萼石斛、翅梗石斛	抗癌、抗炎、抗氧化、抗糖尿病、免疫调节、心血管及神经保护	24
牡荆素	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>10</sub>	铁皮石斛、大花石斛	抗炎、抗氧化、抗癌、免疫调节	25
苜蓿素	C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> O <sub>7</sub>	铁皮石斛、大花石斛	抗氧化、抗糖尿病、抗炎、抗癌、促进生长	26
柚皮素	C <sub>15</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub>	铁皮石斛、霍山石斛	抗肿瘤、抗炎、抗菌、免疫调节	27
淫羊藿苷	C <sub>33</sub> H <sub>40</sub> O <sub>15</sub>	铁皮石斛	抗肿瘤、抗氧化	28

**1.2.3 生物碱** 生物碱是石斛属植物中的重要化学成分，最早由铃木秀干等<sup>[29]</sup>从金钗石斛中提取。作为石斛的主要活性成分，生物碱广泛存在于不同种类的石斛中，展现出抗炎、抗菌、抗病毒等显著药理作用。这些生物碱在保护胃肠道健康方面的尤为突出，表现出良好的抗炎和抗菌效果，显示出其在传统中药中治疗胃肠疾病的潜力。不同种类的石斛

属植物的生物碱含量存在较大差异，这不仅与种类有关，还受到植物部位、栽培环境、采收时间、生长地理位置以及后期加工方法等多方面因素的影响<sup>[30]</sup>。这一现象提示了不同栽培模式和加工工艺对药效的潜在影响。

生物碱的提取方法多种多样，包括氯仿索氏提取法、氯仿超声提取法、混合溶剂索氏提取法、醇提

法及酶解法等<sup>[31-33]</sup>。目前,已成功从石斛属植物中分离出 59 种生物碱成分。这些生物碱主要包括倍半萜类、八氢中氮茛类、酰胺碱类、四氢吡咯类和咪唑类。其中,倍半萜类生物碱进一步细分为石斛碱型、石斛星型及石斛酮型等亚型<sup>[34]</sup>。这些生物碱的结构特征及其生物活性已成为当前研究的热点,具有潜在的

临床应用前景。尽管已有大量研究揭示了石斛属植物中生物碱的多样性及其药理作用,但至今仍未成功分离和鉴定出单一类型的石斛生物碱。由于石斛生物碱的复杂性和多样性,这一领域仍需进一步研究,特别是在生物碱的结构鉴定和功能研究方面。对胃肠道有益的石斛生物碱见表 2。

表 2 对胃肠道有益的石斛生物碱

Table 2 Alkaloids beneficial to gastrointestinal tract in *Dendrobii Caulis*

化合物	分子式	植物来源	药理作用	参考文献
石斛碱	C <sub>16</sub> H <sub>25</sub> NO <sub>2</sub>	金钗石斛、樱石斛、棒节石斛、矩唇石斛、玫瑰石斛	抗肿瘤、抗炎、神经保护	35
6-羟基石斛酮碱	C <sub>17</sub> H <sub>27</sub> NO <sub>4</sub>	黄喉石斛、铬黄石斛、细茎石斛	抗肿瘤、抗炎、保护神经、免疫调节	36
细茎石斛碱	C <sub>18</sub> H <sub>30</sub> NO <sub>4</sub>	细茎石斛	抗肿瘤、抗炎、抗病毒	36
玫瑰石斛碱	C <sub>33</sub> H <sub>44</sub> N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	玫瑰石斛	抗肿瘤、抗炎	37
<i>N-p</i> -香豆酰酪胺	C <sub>17</sub> H <sub>17</sub> NO <sub>3</sub>	铁皮石斛、齿瓣石斛、报春石斛、金钗石斛	抗氧化、抑制细胞增殖、抗血小板凝集	37
<i>N</i> -顺式阿魏酰酪胺	C <sub>18</sub> H <sub>19</sub> NO	铁皮石斛、金钗石斛	抗肿瘤、抗氧化、抗炎、改善代谢综合征	38

**1.2.4 氨基酸及其他微量元素** 石斛属植物含有丰富的氨基酸和微量元素,这些成分是石斛发挥药效和调节口感的重要物质基础。研究表明,石斛中含有多种人体必需氨基酸、半必需氨基酸和非必需氨基酸。其中,天冬氨酸、谷氨酸、亮氨酸和精氨酸的含量较高<sup>[39]</sup>。这些氨基酸在植物的生长过程中具有重要的生物学功能,同时为石斛的药用价值提供了物质基础。石斛氨基酸的含量因品种和部位的不同而存在显著差异,并随着石斛茎的年龄增加而逐渐降低<sup>[40]</sup>。这表明氨基酸的合成与积累与植物的生长和发育密切相关。此外,石斛氨基酸还展现出多种生物活性。例如,某些氨基酸及其衍生物能够调节免疫系统,具有潜在的抗肿瘤活性,这为石斛在现代医学中的应用提供了新的可能性<sup>[41]</sup>。因此,石斛作为传统草药在缓解慢性疾病、增强免疫力和延缓衰老等方面,具有广泛的临床应用前景。

除了氨基酸,石斛还富含一些对人体健康具有积极影响的微量元素,如锌、铁、锰、铜和硒等。这些微量元素不仅有助于增强植物的药效,还能维持机体的正常生理功能。此外,研究表明,某些微量元素具有抗肿瘤作用,为石斛在癌症防治中的应用提供了依据<sup>[42]</sup>。

尽管目前对石斛中的氨基酸和微量元素已有较多研究,但仍有许多未解之谜。石斛中氨基酸和微量元素的相互作用机制,尤其是它们在抗肿瘤、

抗衰老等领域的作用,仍需深入研究,以促进其在临床和药物开发中的应用。

**1.2.5 酚酸类** 酚酸是一类含有酚环的有机酸,广泛存在于植物中。石斛中的酚酸类化合物主要包括没食子酸、苯甲酸和绿原酸等。这些成分在石斛的药理作用中具有重要地位。没食子酸作为一种多酚羧酸,具有出色的抗炎和抗氧化功能,能够显著抑制一氧化氮(nitric oxide, NO)的产生,而 NO 是炎症反应中的关键因素<sup>[43]</sup>。其抗氧化特性使其在抗衰老和抗自由基损伤方面具有潜在应用,特别是在缓解由慢性炎症引发的疾病中具有重要意义。苯甲酸则展现出广谱的抗菌活性,能够抑制许多常见细菌和真菌的生长,并在体外实验中表现出对癌细胞的抑制作用<sup>[42]</sup>。表明苯甲酸不仅可能具有抗肿瘤作用,还可能成为抗菌和抗感染治疗的新选择。进一步的临床研究将有助于验证其在临床中的应用价值。

**1.2.6 苯丙素类** 苯丙素类化合物是一类天然存在的植物化学成分,具有苯环结构并连接 3 个直链碳。这类化合物主要包括双苯基、呋喃醛、苯萜类和苯丙烷类化合物,在植物中普遍存在,并被证明具有抗炎、抗氧化等方面的潜力<sup>[43]</sup>。苯丙素类化合物在植物中的生物学作用使其成为药用植物中的重要成分,尤其是在石斛属植物中,这类化合物展现了显著的药理活性。目前已在石斛属植物中发现

70种苯丙素类化合物,其中19种表现出显著的抗肿瘤活性,可能与其在细胞信号传导途径中的作用有关<sup>[42,44]</sup>。

尽管石斛属植物中的苯丙素类化合物已显示出一定的抗肿瘤活性,但现有的研究主要集中在体外和动物实验中。因此,未来的研究需要进一步通过临床前实验深入探讨这些化合物的药理机制和临床应用潜力。同时,探究它们在肿瘤微环境中的具体机制,并评估与现有药物的协同效应。

**1.2.7 其他类成分** 石斛还含有多种其他具有药理活性的化合物,如茛联苯类、菲类、酮类、有机酸酯类和香豆素类等。这些成分为石斛的药理活性提供了重要的物质基础,进一步丰富了其药用潜力。在对金钗石斛的醋酸乙酯部分进行分离时,研究者成功分离出9个化合物,其中鉴定出4个为茛联苯类化合物<sup>[45]</sup>。茛联苯类化合物以其独特的结构和生物活性为石斛的抗氧化、抗炎等药理效应提供支持。相关研究也已证实石斛中的茛联苯类化合物的抗肿瘤作用<sup>[46]</sup>。此外,在对齿瓣石斛的化学成分进行分析和鉴定时,共鉴定出48个化合物,主要成分包括泪柏醇、烷烃和芳香族化合物<sup>[47]</sup>。师亦洁等<sup>[48]</sup>还从8种石斛中均检测出香豆素类化合物。香豆素类化合物具有抗菌、抗肿瘤等生物活性,这进一步印证了石斛作为药用植物的多样性和治疗潜力。这些成分的相互作用为石斛的综合药理效应提供了强有力的支持。

## 2 石斛对胃的保护作用及机制

大量研究表明,石斛具有抗肿瘤、抗氧化、抗菌、抗炎、促进胃酸分泌和改善胃肠蠕动等多种药理作用。石斛中的多糖、生物碱等成分均被认为具有良好的免疫调节和抗氧化功能,有助于维持胃肠道健康,促进肠胃功能的恢复,并在胃肠保护中发挥重要作用。

### 2.1 胃黏膜屏障功能的保护机制

**2.1.1 抗胃溃疡的多维调控机制** 胃溃疡是一种常见的消化系统疾病,主要由胃酸分泌过多、幽门螺旋杆菌感染和长期使用非甾体抗炎药等因素引起。目前,治疗胃溃疡的常见方法包括使用抗酸药、抗生素等,但这些治疗方法常伴有副作用,并且在某些情况下效果有限。因此,寻找新的天然药物成为了胃溃疡治疗研究的重要方向。石斛中的多糖、黄酮和生物碱等成分已被证实对胃黏膜具有显著的保护效果。

石斛的抗胃溃疡作用通过信号通路调节、细胞动力学调控及微环境改善多层次调控实现。核因子E2相关因子2(nuclear factor erythroid 2-related factor 2, Nrf2)通路的激活能够显著提高细胞对氧化应激的反应,促进血红素加氧酶-1(heme oxygenase-1, HO-1)、醌氧化还原酶1[NAD(P)H quinone oxidoreductase 1, NQO1]等抗氧化酶的表达,降低活性氧(reactive oxygen species, ROS)和自由基对细胞的损伤。该通路同时抑制核因子- $\kappa$ B(nuclear factor- $\kappa$ B, NF- $\kappa$ B)介导的炎症级联反应,减少肿瘤坏死因子- $\alpha$ (tumor necrosis factor- $\alpha$ , TNF- $\alpha$ )、白细胞介素-6(interleukin-6, IL-6)等促炎因子的释放<sup>[49-50]</sup>。Ma等<sup>[51]</sup>研究也确定了DOP对丝裂原活化蛋白激酶(mitogen-activated protein kinase, MAPK)通路基因和蛋白的表达调控可以降低炎症因子水平,改善胃上皮缺损和炎症细胞浸润等情况,减少胃溃疡面积。霍山石斛多糖(*Dendrobium huoshanense* polysaccharide, DHP)通过上调细胞活力和细胞迁移相关蛋白表达,能够加速细胞的增殖速率,并增强细胞的运动和迁移能力,促进胃溃疡边缘再上皮化及受损区域细胞的修复,帮助胃上皮细胞恢复完整结构<sup>[52]</sup>。通过促进血管内皮生长因子(vascular endothelial growth factor, VEGF)分泌,使溃疡区域微血管密度增加,显著改善局部氧分压和营养供应,减轻胃黏膜局部损伤<sup>[53]</sup>。通过以上机制,石斛能够减轻胃酸过多或外界刺激对胃黏膜的侵害,预防胃溃疡的发生,并加速已受损胃黏膜的修复过程,从而增强胃黏膜的屏障功能。

**2.1.2 胃酸分泌的智能调节** 维持胃酸的正常分泌是保持消化系统健康的必要条件。在胃酸调节中,石斛展现出独特的“按需调节”特性:在低胃酸状态下,其有效成分能够直接刺激胃G细胞,促进胃泌素释放增加,增强胃壁细胞的泌酸功能,使基础胃酸分泌量提升;而在高胃酸病理状态下,石斛组分能增加生长抑素的释放,控制胃酸分泌,使胃内pH值维持在理想的修复区间<sup>[54]</sup>。这种调节依赖于对胃泌素的调控,能够有效控制胃酸分泌,增强了胃黏膜的屏障功能。

### 2.2 在胃癌防治中的多靶点作用

大量研究证实,石斛活性成分显示出广泛的抗肿瘤效果,主要通过表观遗传调控、代谢重编程和死亡受体激活等多重机制发挥抗癌效应。毛兰素对胃癌具有多靶点的积极干预作用,通过对哈维大鼠肉瘤病毒

癌基因同源物 (Harvey rat sarcoma viral oncogene homolog, HRAS) - 磷脂酰肌醇 3-激酶 (phosphatidylinositol 3-kinase, PI3K) - 蛋白激酶 B (protein kinase B, Akt) 信号通路中相关蛋白表达的影响, 使细胞周期蛋白依赖性激酶抑制因子 1A (cyclin-dependent kinase inhibitor 1A, CDKN1A) 等抑癌基因表达水平增加, 调控细胞周期, 诱导细胞凋亡<sup>[55]</sup>; 金钗石斛的脂溶性生物碱提取物则能够通过降低线粒体膜电位, 增加细胞内 ROS 浓度, 提高半胱氨酸天冬氨酸蛋白酶-9 (cystein-aspartate protease-9, Caspase-9) 的表达, 抑制癌细胞生长<sup>[56]</sup>。Liu 等<sup>[57]</sup>研究也证明, 石斛中的多糖成分同样可以通过抑制生长和细胞骨髓细胞增多症病毒癌基因同源物 (cellular myelocytomatosis viral oncogene homolog, *c-Myc*) 等基因的表达以及增强细胞凋亡来抵抗胃癌。

### 2.3 胃黏膜稳态的系统维护

**2.3.1 氧化应激调控网络** ROS 在细胞信号传导调节和维持内部平衡中起着至关重要的作用。ROS 的过量产生导致的氧化应激可能会给胃带来许多负面影响, 胃黏膜损伤、胃癌的发生、发展与其密切相关<sup>[58]</sup>。

石斛的干预能够为胃黏膜构建酶系统激活、非酶系统增强及线粒体途径多层次的抗氧化防御体系。在急性胃黏膜损伤中, 使超氧化物歧化酶 (superoxide dismutase, SOD)、过氧化氢酶 (catalase, CAT) 等抗氧化酶的活性显著提升, 下调体内脂质过氧化水平, 显著缓解氧化应激的严重程度<sup>[59]</sup>; 铁皮石斛花的黄酮类成分 (flavonoid composition of *Dendrobium officinale* flowers, DOFF) 通过免疫调节使氧化标志物蛋白 (如 HO-1)、凋亡调节蛋白 [如 B 细胞淋巴瘤-2 (B-cell lymphoma 2, Bcl-2)] 和自噬标志物, 如微管相关蛋白 1 轻链 3 $\beta$  (microtubule-associated protein 1 light chain 3 $\beta$ , LC3 $\beta$ ) 水平分别提高 50.84%、43.85% 和 59.21%<sup>[60]</sup>, 并且 DOP 还能通过 Nrf2-Kelch 样 ECH 关联蛋白 1 (Kelch-like ECH-associated protein 1, Keap1) 信号通路实现抗氧化防御系统的调节<sup>[61]</sup>。在动物模型中, 乙醇诱导的胃溃疡与细胞能量代谢有关, ROS 降低基质金属蛋白酶 (matrix metalloproteinase, MMP) 水平并影响线粒体活性, 抑制细胞正常生理代谢并促进促凋亡因子的表达, Zhang 等<sup>[60]</sup>研究证明, DOFF 可以通过 PI3K/Akt 和腺苷酸活化蛋白激酶 (adenosine

monophosphate-activated protein kinase, AMPK) / 哺乳动物雷帕霉素靶蛋白 (mechanistic target of rapamycin, mTOR) / Unc-51 样自噬激活激酶 1 (Unc-51 like autophagy activating kinase 1, ULK1) 的线粒体途径逆转乙醇引起的有害影响, 使胃黏膜上皮细胞 ROS 积累量降低。

**2.3.2 黏膜修复动态平衡** 石斛特有的黏多糖成分通过多靶点、多通路参与胃黏膜的修复过程。DHP 通过调节烟酸和烟酰胺代谢及相关能量代谢途径, 有效降低炎症因子的释放, 减少胃膜中的炎症细胞浸润, 对胃黏膜上皮细胞损伤具有保护作用; 在胃黏膜损伤初期, 石斛多糖黏附形成的物理屏障能够帮助阻隔胃酸的侵蚀; 多种石斛多糖在不同程度上均能减轻乙醇对人胃上皮细胞系-1 (gastric epithelial cell line-1, GES-1) 细胞诱导的急性胃黏膜损伤模型的有害影响, 促进细胞向受损区域的迁移和生长, 提升胃黏膜愈合速度, 24 h 修复率为 13.53%~38.10%, 48 h 时最高可达 (83.13 $\pm$ 1.05)%<sup>[52,62]</sup>。

## 3 石斛对肠道疾病的保护机制

### 3.1 炎症性肠病 (inflammatory bowel disease, IBD) 的多靶点调控机制

IBD 是一种特发性消化系统疾病, 其核心病理过程涉及肠屏障破坏、菌群紊乱及免疫失调等多方面因素。石斛作为一种传统的中药材, 其活性成分在近年来的研究中被认为可能通过多种机制对 IBD 进行干预。

**3.1.1 肠屏障修复机制** 肠屏障的功能受损是 IBD 发展的重要因素之一, 肠道屏障包括肠上皮细胞层和黏膜屏障。研究表明, DHP 可能通过 Toll 样受体 2 (Toll-like receptor 2, TLR2) 信号通路, 调节紧密连接蛋白, 如闭合蛋白 (occludin)、紧密连接蛋白-1 (zonula occludens-1, ZO-1) 的表达, 恢复肠道上皮细胞的紧密连接, 增强肠道黏膜屏障的完整性<sup>[63-64]</sup>。此外, 研究显示, 石斛中的多糖类物质通过调节  $\beta$  干扰素 TIR 结构域衔接蛋白 (TIR-domain-containing adaptor inducing interferon- $\beta$ , TRIF) / NF- $\kappa$ B 轴减少肠道炎症和氧化应激损伤, 促进肠道上皮细胞的增殖, 帮助修复受损的肠道屏障<sup>[65]</sup>。

**3.1.2 炎症及氧化应激调控网络** 石斛中富含的天然抗氧化物质 (如多糖类、黄酮类化合物) 已被证明通过调节免疫反应在多个器官中表现出抗炎和抗氧化作用。DHP 能够抑制 NF- $\kappa$ B 信号通路, 降低血清

炎症因子, 如 IL-1 $\beta$ 、转化生长因子- $\beta$  (transforming growth factor- $\beta$ , TGF- $\beta$ ) 水平, 显著改善动物模型的肠炎临床体征和症状<sup>[66]</sup>。Liang 等<sup>[67]</sup>研究也表明, DOPs 可以通过 NOD 样受体热蛋白结构域相关蛋白 3 (NOD-like receptor pyrin domain-containing 3, NLRP3) 炎性小体信号通路逐渐恢复促炎和抗炎细胞因子的比例, 显著降低 TNF- $\alpha$  和 IL-1 $\beta$  的水平, 抑制结肠黏膜炎症以减轻急性结肠炎。此外, 通过双重调节 Nrf2 和 NF- $\kappa$ B 信号通路, 流苏石斛多糖 (*Dendrobium fimbriatum* polysaccharide, cDFPW1) 在缓解肠炎方面展现出极大的潜力。cDFPW1 能够显著上调 Nrf2 的表达, 激活其抗氧化功能, 减少氧化应激和炎症反应的发生, 减轻肠道细胞的氧化损伤。同时, cDFPW1 还能抑制 NF- $\kappa$ B 信号的磷酸化, 阻止其激活, 从而减轻由 NF- $\kappa$ B 引发的炎症反应, 防止进一步的组织破坏<sup>[68]</sup>。

### 3.2 肠道菌群-宿主互作调节

石斛对肠道疾病的防治作用不仅通过其药物成分直接抑制肠道炎症反应, 还通过调节肠道菌群与宿主代谢相互作用, “成分-菌群-代谢”轴联动帮助实现肠道的稳态调节。

**3.2.1 菌群结构重塑** 肠道菌群在肠炎的发生与发展中起着重要作用, 肠炎往往伴随着肠道菌群失衡。石斛能够调节肠道菌群结构, 有助于恢复菌群的健康平衡。石斛的多糖、黄酮等成分具有促进有益菌 (如双歧杆菌、乳酸菌、*Romboutsia* 等) 生长的作用, 增殖率最高可达 139%。这些有益菌有助于降低肠道炎症反应, 增强肠道屏障功能。通过其抗菌、抗氧化作用, 还能够抑制病原菌或有害菌 (如 *Helicobacter*、副萨特氏菌、沙门氏菌等) 的繁殖, 减少这些有害菌对肠道的侵害, 从而减轻肠道的炎症和损伤<sup>[65, 68-69]</sup>。肠炎常导致菌群多样性下降, 石斛通过调节肠道微生态环境, 恢复菌群的多样性, 进一步促进肠道的健康状态。

**3.2.2 代谢产物调控** 肠道菌群与宿主之间通过代谢产物进行相互调控, 这些代谢产物对肠道的稳态调节有着重要作用, 如 SCFAs 具有抗炎、促进肠道屏障功能等作用。多项研究表明, 石斛多糖能够通过增加肠道菌群的多样性来调节肠道菌群的代谢过程, 促进肠道微生物产生更多有益于健康的 SCFAs, 缓解肠道炎症并改善免疫反应, 改善肠道免疫系统的功能, 增强肠道的免疫耐受性, 降低肠道的免疫负担, 从而保护肠道上皮细胞, 促进肠道

的修复与功能恢复<sup>[70-71]</sup>。

**3.2.3 免疫-菌群对话** 肠道免疫系统与肠道菌群之间存在着密切的相互作用。Liu 等<sup>[72]</sup>通过体外实验证明, 索尼娅石斛多糖 (*Dendrobium Soniae* polysaccharide, DSP) 可以增强巨噬细胞的活力和吞噬作用, 调节肠道免疫细胞的功能, 改善肠道菌群群落失衡。此外, DOP 能通过影响一系列维持免疫细胞平衡、促进抗体产生的信号通路来协调肠道免疫防御。同时, 调节免疫相关蛋白 (如 TLR4 等), 并激活 TNF- $\alpha$  和 NF- $\kappa$ B 信号通路在肠道免疫中发挥关键作用, 有助于肠道的直接抗菌防御、维持上皮屏障功能和调节适应性免疫反应<sup>[73]</sup>。通过与肠道菌群的协同作用, 石斛可能增强肠道对外界抗原的免疫耐受性, 减少肠道炎症反应的过度激活, 促进肠道免疫稳态的恢复。

### 3.3 肠胃动力调节

石斛中的某些成分可能还具有促进肠道蠕动的的作用, 帮助改善肠炎患者的肠道功能, 进一步减轻疾病症状。金钗石斛提取物可以通过提高小鼠的粪便含水量, 促进肠道蠕动, 增加小肠推进率, 显著缩短小鼠首次排黑便时间<sup>[74]</sup>。甘江华等<sup>[75]</sup>使用 3 种石斛对便秘大鼠进行研究, 发现各石斛均能增加粪便含水率, 显著提高回肠组织中胃动素 (motilin, MTL) 水平、降低生长抑素 (somatostatin, SS) 水平, 改善肠动力和水液代谢, 以促进肠胃动力调节。

## 4 结语与展望

近年来, 随着生活方式、环境变化以及人口老龄化等因素的影响, 中国的消化系统疾病发病率持续上升。数据显示, 中国的功能性胃肠道疾病 (functional gastrointestinal disorders, FGIDs) 患病率为 34.4%, 某些亚型中如功能性便秘, 患病率高达 10.6%<sup>[76]</sup>。这一数据表明, 尽管整体患病率相对较低, 但某些特定类型的胃肠道疾病的的增长趋势仍然显著, 这使得胃肠道疾病的防控形势愈加严峻。胃肠道疾病通常病程较长、治疗难度大且容易反复发作, 涉及的研究领域包括微生物组、饮食影响、遗传因素、治疗进展及患者护理心理等。因此, 深入研究对于理解和管理胃肠道疾病至关重要。

石斛作为传统中药, 被誉为“九大仙草之首”, 具有滋阴清热、养胃生津和增强免疫等药理作用。研究表明, 石斛含有丰富的生物活性成分, 如多糖、黄酮、生物碱和苯丙素等, 这些成分对胃肠道具有显著的保护作用 (图 2), 如促进胃酸分泌、抑制肠

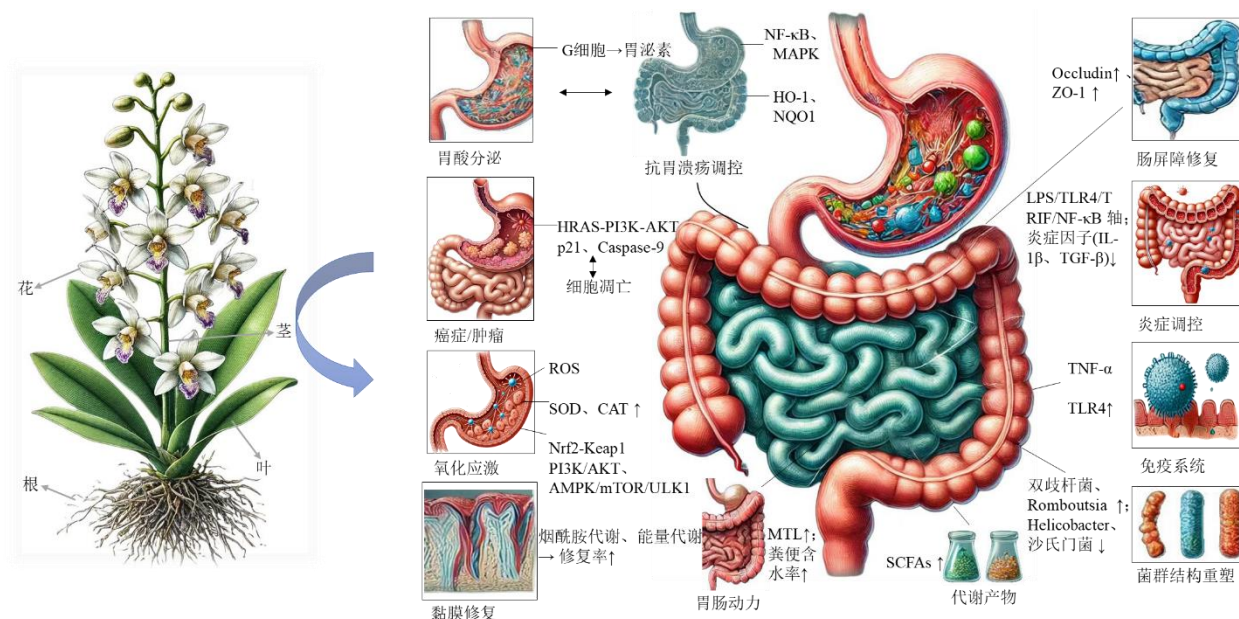


图2 石斛对胃肠道保护作用机制

Fig. 2 Protective mechanism of *Dendrobii Caulis* on gastrointestinal tract

黏膜损伤、改善肠胃蠕动，调节肠道菌群等。然而，现有研究大多集中在石斛对胃溃疡、胃癌和结肠癌等胃肠道疾病的保护作用上，而对石斛在体内的预防机制尚未明确，尤其是其代谢途径及具体药效成分仍不清楚。因此，未来的研究应聚焦于石斛在胃肠道中的保护作用，尤其是其在胃肠道疾病发生前的预防机制。为了更全面地理解石斛的作用，应结合现代组学技术（如转录组学、代谢组学等）、动物模型和临床试验等多种方法，深入探讨石斛在胃肠道内的代谢规律和调控机制，以及其在分子层面的作用机制，包括在抗炎、抗氧化和免疫调节等方面的分子通路。通过这些技术手段，研究者能够揭示石斛在胃肠道微生物群、肠道屏障功能等方面的潜在影响。通过刺激性物质模拟肠道刺激，验证其在保护胃肠道免受刺激方面的效果，将有助于揭示石斛的胃肠保护机制。

尽管石斛在实验研究中展示了显著的胃肠保护作用，但其临床应用仍面临许多挑战。未来的研究应开展大规模、多中心的临床试验，以验证其对不同人群的安全性与疗效，并探索最佳剂量和使用方式。同时，应加强对石斛长期使用的安全性评估，关注在高剂量或与其他药物联合使用时可能出现的不良反应。除了基础研究，石斛作为功能性食品的开发也值得关注<sup>[77]</sup>。未来研究可探讨石斛的剂型、质量控制及其在功能性食品中的应用，从而推

动其在保健领域的产业化发展。此外，石斛与其他传统草药或现代药物的联合应用也应成为未来研究的重要方向。特别是在多种胃肠道疾病的综合治疗中，石斛可能与其他药物或草本植物形成协同效应，从而发挥更为显著的疗效。

综上，石斛在胃肠道疾病的防治中具有广阔的应用前景，但仍需通过深入的基础研究、临床试验以及产业化研究，进一步阐明其作用机制，优化使用方案，为其临床应用和功能性食品开发提供坚实的科学依据。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

[1] 曾宋君. 中国药用石斛种类介绍 [J]. 花卉, 2015(4): 19-26.  
 [2] 李在军, 龚宜刚, 李月文, 等. 栽培环境对金钗石斛生长和化学成分的影响 [J]. 四川林业科技, 2018, 39(4): 41-44.  
 [3] Wang Y H. Traditional uses, chemical constituents, pharmacological activities, and toxicological effects of *Dendrobium leaves*: A review [J]. *J Ethnopharmacol*, 2021, 270: 113851.  
 [4] Zhao Y, Li B, Wang G, et al. *Dendrobium officinale* polysaccharides inhibit 1-methyl-2-nitro-1-nitrosoguanidine induced precancerous lesions of gastric cancer in rats through regulating Wnt/ $\beta$ -catenin pathway and altering serum endogenous metabolites [J]. *Molecules*, 2019,



- 24(14): 2660.
- [5] Wu W J, Lin Y, Farag M A, *et al.* *Dendrobium* as a new natural source of bioactive for the prevention and treatment of digestive tract diseases: A comprehensive review with future perspectives [J]. *Phytomedicine*, 2023, 114: 154784.
- [6] Tang X G, Yuan Y D, Zhang J C. How climate change will alter the distribution of suitable *Dendrobium* habitats [J]. *Front Ecol Evol*, 2020, 8: 536339.
- [7] 顺庆生, 魏刚, 何祥林. 中药石斛研究的回顾与展望 [J]. 中国现代中药, 2024, 26(7): 1111-1118.
- [8] 刘羽佳, 陈堰珊, 理雅, 等. 铁皮石斛种质资源与遗传改良研究进展 [J]. 韶关学院学报, 2022, 43(12): 1-6.
- [9] 倪凯, 何鹏飞, 梁志庆, 等. 齿瓣石斛研究进展 [J]. 云南中医中药杂志, 2023, 44(1): 86-90.
- [10] Lai C H, Huo C Y, Xu J, *et al.* Critical review on the research of chemical structure, bioactivities, and mechanism of actions of *Dendrobium officinale* polysaccharide [J]. *Int J Biol Macromol*, 2024, 263(pt 1): 130315.
- [11] Wu W J, Zhao Z Q, Zhao Z E, *et al.* Structure, health benefits, mechanisms, and gut microbiota of *Dendrobium officinale* polysaccharides: A review [J]. *Nutrients*, 2023, 15(23): 4901.
- [12] Zhang P, Zhang X Y, Zhu X Y, *et al.* Chemical constituents, bioactivities, and pharmacological mechanisms of *Dendrobium officinale*: A review of the past decade [J]. *J Agric Food Chem*, 2023, 71(41): 14870-14889.
- [13] He C M, Wu K L, Zhang J X, *et al.* Cytochemical localization of polysaccharides in *Dendrobium officinale* and the involvement of DoCSLA6 in the synthesis of mannan polysaccharides [J]. *Front Plant Sci*, 2017, 8: 173.
- [14] 徐海军, 杨洋, 董雅琪, 等. 石斛多糖药理作用及其作用途径的研究进展 [J]. 现代药物与临床, 2021, 36(7): 1527-1532.
- [15] 曾艺芸, 聂雪婷, 李振坚, 等. 中药石斛黄酮活性成分研究进展 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2021, 27(6): 197-206.
- [16] 杨晓利, 蒲天珍, 李永华, 等. 霍山石斛不同部位总黄酮的含量比较及黄酮类成分分析 [J]. 中药新药与临床药理, 2023, 34(10): 1426-1434.
- [17] 李运容, 黄国东, 李锦妍, 等. 基于 HPLC-ESI-MS-n 和指纹图谱结合化学计量评价不同生长年限铁皮石斛黄酮类成分差异 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(18): 239-249.
- [18] 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.
- [19] 张小凤, 周春花, 张龙开, 等. 丹霞种、云南广南种铁皮石斛中主要黄酮苷的分离鉴定 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2019, 25(1): 29-34.
- [20] 梁芷韵, 谢镇山, 黄月纯, 等. 铁皮石斛黄酮苷类成分 HPLC 特征图谱优化及不同种源特征性分析 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2019, 25(1): 22-28.
- [21] 云宝仪, 周磊, 谢鲲鹏, 等. 黄芩素抑菌活性及其机制的初步研究 [J]. 药学学报, 2012, 47(12): 1587-1592.
- [22] 林江波, 王伟英, 邹晖, 等. 基于转录组测序的铁皮石斛黄酮代谢途径及相关基因解析 [J]. 福建农业学报, 2019, 34(9): 1019-1025.
- [23] 赵智, 张岩, 蒋翔锐, 等. 黄酮糖苷对阿尔茨海默病的研究进展 [J]. 山东化工, 2024, 53(12): 52-57.
- [24] 樱萌, 胡满江, 曾钰鹏, 等. 槲皮素对肠道菌群的调节作用研究 [J]. 食品研究与开发, 2020, 41(10): 6-15.
- [25] Li D X, Ye G Y, Li J, *et al.* High light triggers flavonoid and polysaccharide synthesis through DoHY5-dependent signaling in *Dendrobium officinale* [J]. *Plant J*, 2023, 115(4): 1114-1133.
- [26] Raeeszadeh M, Beheshtipour J, Jamali R, *et al.* The antioxidant properties of alfalfa (*Medicago sativa* L.) and its biochemical, antioxidant, anti-inflammatory, and pathological effects on nicotine-induced oxidative stress in the rat liver [J]. *Oxid Med Cell Longev*, 2022, 2022: 2691577.
- [27] 胡杨, 赵勉, 邱雨轩, 等. 药食同源中药铁皮石斛的研究进展 [J]. 南京中医药大学学报, 2024, 40(1): 94-108.
- [28] Liu F Y, Ding D N, Wang Y R, *et al.* Icaritin as a potential anticancer agent: A review of its biological effects on various cancers [J]. *Front Pharmacol*, 2023, 14: 1216363.
- [29] 令狐楚, 谷荣辉, 秦礼康. 金钗石斛的化学成分及药理作用研究进展 [J]. 中草药, 2021, 52(24): 7693-7708.
- [30] 王珊珊, 刘佳萌, 孙晶, 等. 药用石斛属植物石斛碱研究进展 [J]. 中国食物与营养, 2020, 26(12): 9-15.
- [31] 王元成, 张萌, 韩彬, 等. 基于 UPLC-Q-TOF-MS 技术的肿节石斛生物碱研究 [J]. 天然产物研究与开发, 2021, 33(12): 2019.
- [32] 庄晨曦, 王慧敏, 陈亚萍, 等. 玫瑰石斛的化学成分及其生物活性 [J]. 昆明医科大学学报, 2023, 44(12): 1-5.
- [33] 梁艳田, 刘佳萌, 鲁为, 等. 石斛生物碱类成分药理活性及其作用机制研究进展 [J]. 中国食物与营养, 2023, 29(4): 40-47.
- [34] 李振坚, 王元成, 韩彬, 等. 石斛属植物生物碱成分研究进展 [J]. 中草药, 2019, 50(13): 3246-3254.
- [35] Li F, Wu J L, Zhu Y, *et al.* Exploring the mechanism of dendrobine in treating metabolic associated fatty liver disease based on network pharmacology and experimental validation [J]. *Hereditas*, 2024, 161: 17.

- [36] Liu W H, Hua Y F, Zhan Z J. Moniline, a new alkaloid from *Dendrobium moniliforme* [J]. *ChemInform*, 2007, 38(48): chin.200748193.
- [37] Duan H T, Er-Bu A G, Dongzhi Z M, et al. Alkaloids from *Dendrobium* and their biosynthetic pathway, biological activity and total synthesis [J]. *Phytomedicine*, 2022, 102: 154132.
- [38] 汪代芳, 俞桂新, 赵宁毅, 等. 金钗石斛茎的化学成分研究 [J]. *中草药*, 2012, 43(8): 1492-1495.
- [39] Deng X Y, Li M, Yang Y, et al. Research progress on the chemical components and pharmacological activities of Gesneriaceae [J]. *Rec Nat Prod*, 2023, 17(3): 419-445.
- [40] Kirkwood A, Fisk I, Aayed C, et al. A flavour perspective of Tiepishihu (*Dendrobium officinale*) - an emerging food ingredient from popular traditional Chinese medicinal plants: A review [J]. *Int J Food Sci Technol*, 2023, 58(10): 4921-4930.
- [41] He T B, Huang Y P, Wang X J, et al. Structural characterization and biological evaluation of a new *O*-acetyl-1,4-linked- $\beta$ -d-mannan possessed potential application in hydrophilic polymer materials from *Dendrobium devonianum* [J]. *Int J Biol Macromol*, 2022, 213: 328-338.
- [42] He L, Su Q, Bai L, et al. Recent research progress on natural small molecule bibenzyls and its derivatives in *Dendrobium* species [J]. *Eur J Med Chem*, 2020, 204: 112530.
- [43] Zhai D H, Lv X F, Chen J M, et al. Recent research progress on natural stilbenes in *Dendrobium* species [J]. *Molecules*, 2022, 27(21): 7233.
- [44] Zhao Y H, Song X Y, Sun X X, et al. Constituents from *Dendrobium aphyllum*: Bibenzyls, furfurals, phenanthrenes, and phenylpropanoids and their antioxidant and anti-inflammatory potentials [J]. *Fitoterapia*, 2024, 177: 106122.
- [45] 周威, 沈祥春, 曾庆芳, 等. 金钗石斛的茛菪酮类成分研究 [J]. *中药材*, 2018, 41(8): 1887-1889.
- [46] 张雪琴, 赵庭梅, 刘静, 等. 石斛化学成分及药理作用研究进展 [J]. *中草药*, 2018, 49(13): 3174-3182.
- [47] 孙晶, 杨红梅, 蒋次清, 等. 齿瓣石斛脂溶性成分的GC-MS分析 [J]. *食品工业*, 2011, 32(4): 98-99.
- [48] 师亦洁, 周峰旭, 李鲜, 等. 八种石斛中苯丙醇类和香豆素类化合物含量测定与分析 [J]. *天然产物研究与开发*, 2019, 31(5): 803-807.
- [49] Ye H Y, Shang Z Z, Zhang F Y, et al. *Dendrobium huoshanense* stem polysaccharide ameliorates alcohol-induced gastric ulcer in rats through Nrf2-mediated strengthening of gastric mucosal barrier [J]. *Int J Biol Macromol*, 2023, 236: 124001.
- [50] Gao W, Guo L, Yang Y, et al. Dissecting the crosstalk between Nrf2 and NF- $\kappa$ B response pathways in drug-induced toxicity [J]. *Front Cell Dev Biol*, 2021, 9: 809952.
- [51] Ma S, Wu Q, Zhao Z, et al. Mechanisms of *Dendrobium officinale* polysaccharides in repairing gastric mucosal injuries based on mitogen-activated protein kinases (MAPK) signaling pathway [J]. *Bioengineered*, 2022, 13(1): 71-82.
- [52] Xie H Q, Hu M Q, Yu J, et al. Mass spectrometry-based metabolomics reveal *Dendrobium huoshanense* polysaccharide effects and potential mechanism of *N*-methyl-*N*'-nitro-*N*-nitrosoguanidine-induced damage in GES-1 cells [J]. *J Ethnopharmacol*, 2023, 310: 116342.
- [53] Fan C X, Sun X, Wang X, et al. Therapeutic potential of the chemical composition of *Dendrobium nobile* Lindl [J]. *Front Pharmacol*, 2023, 14: 1163830.
- [54] 陈少夫, 李宇权, 吴亚丽, 等. 石斛对胃酸分泌及血清胃泌素、血浆生长抑素浓度的影响 [J]. *中国中药杂志*, 1995, 20(3): 181-182.
- [55] Wang Y, Chu F H, Lin J, et al. Erianin, the main active ingredient of *Dendrobium chrysotoxum* Lindl, inhibits precancerous lesions of gastric cancer (PLGC) through suppression of the HRAS-PI3K-AKT signaling pathway as revealed by network pharmacology and *in vitro* experimental verification [J]. *J Ethnopharmacol*, 2021, 279: 114399.
- [56] 和磊, 罗婧, 王亚芸, 等. 金钗石斛脂溶性生物碱提取物诱导人结肠癌 HT-29 细胞凋亡 [J]. *食品工业科技*, 2017, 38(03): 170-174.
- [57] Liu B, Shang Z Z, Li Q M, et al. Structural features and anti-gastric cancer activity of polysaccharides from stem, root, leaf and flower of cultivated *Dendrobium huoshanense* [J]. *Int J Biol Macromol*, 2020, 143: 651-664.
- [58] Wang Y, Xu J, Fu Z, et al. The role of reactive oxygen species in gastric cancer [J]. *Cancer Biol Med*, 2024, 21(9): 740-753.
- [59] Fan P L, Xie S C, Zhang Z Q, et al. *Dendrobium officinale* Flos water extract ameliorates ethanol-induced acute gastric mucosal injury via inhibiting oxidative stress and inflammation [J]. *J Sci Food Agric*, 2024, 104(14): 8593-8603.
- [60] Zhang Z Y, Xie H L, Farag M A, et al. *Dendrobium officinale* flowers flavonoids enriched extract protects against acute ethanol-induced gastric ulcers via AMPK/PI3K signaling pathways [J]. *Food Sci Hum Wellness*, 2024, 13(6): 3661-3679.
- [61] Lin G S, Luo D D, Liu J J, 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]. *Oxid Med Cell Longev*, 2018, 2018: 6962439.
- [62] Wang H N, Wang Y, Liu Y X, *et al.* Study on the structural features of eight *Dendrobium* polysaccharides and their protective effects on gastric mucosa [J]. *Foods*, 2024, 13(18): 3011.
- [63] Cario E, Gerken G, Podolsky D K. Toll-like receptor 2 enhances ZO-1-associated intestinal epithelial barrier integrity via protein kinase C [J]. *Gastroenterology*, 2004, 127(1): 224-238.
- [64] Yu J, Zhao J W, Xie H Q, *et al.* *Dendrobium huoshanense* polysaccharides ameliorate ulcerative colitis by improving intestinal mucosal barrier and regulating gut microbiota [J]. *J Funct Foods*, 2022, 96: 105231.
- [65] Chen X X, Chen C, Fu X. *Dendrobium officinale* polysaccharide alleviates type 2 diabetes mellitus by restoring gut microbiota and repairing intestinal barrier via the LPS/TLR4/TRIF/NF- $\kappa$ B axis [J]. *J Agric Food Chem*, 2023, 71(31): 11929-11940.
- [66] Gu F L, Huang R S, He X M, *et al.* *Dendrobium huoshanense* polysaccharides prevent inflammatory response of ulcerative colitis rat through inhibiting the NF- $\kappa$ B signaling pathway [J]. *Chem Biodivers*, 2021, 18(7): e2100130.
- [67] Liang J, Li H L, Chen J Q, *et al.* *Dendrobium officinale* polysaccharides alleviate colon tumorigenesis via restoring intestinal barrier function and enhancing anti-tumor immune response [J]. *Pharmacol Res*, 2019, 148: 104417.
- [68] Wang Y J, Li Q M, Zha X Q, *et al.* *Dendrobium fimbriatum* Hook polysaccharide ameliorates dextran-sodium-sulfate-induced colitis in mice via improving intestinal barrier function, modulating intestinal microbiota, and reducing oxidative stress and inflammatory responses [J]. *Food Funct*, 2022, 13(1): 143-160.
- [69] Chen X X, Chen C, Ma C Y, *et al.* *Dendrobium officinale* polysaccharide attenuates type 2 diabetes in mice model by modulating gut microbiota and alleviating intestinal mucosal barrier damage [J]. *Food Sci Hum Wellness*, 2025, 14(1): 9250007.
- [70] Liu H F, Ma L K, Wang Q. Possible metabolic pathway of a novel bioactive polysaccharide extracted from *Dendrobium aphyllum*: An *in vivo* study [J]. *J Food Sci*, 2019, 84(5): 1216-1223.
- [71] Li M X, Yue H, Wang Y Q, *et al.* Intestinal microbes derived butyrate is related to the immunomodulatory activities of *Dendrobium officinale* polysaccharide [J]. *Int J Biol Macromol*, 2020, 149: 717-723.
- [72] Liu W, Yan R, Zhang L. *Dendrobium sonia* polysaccharide regulates immunity and restores the dysbiosis of the gut microbiota of the cyclophosphamide-induced immunosuppressed mice [J]. *Chin J Nat Med*, 2019, 17(8): 600-607.
- [73] Yang C C, Li J R, Luo M F, *et al.* Unveiling the molecular mechanisms of *Dendrobium officinale* polysaccharides on intestinal immunity: An integrated study of network pharmacology, molecular dynamics and *in vivo* experiments [J]. *Int J Biol Macromol*, 2024, 276(Pt 2): 133859.
- [74] 王微微, 范红结, 杨文红, 等. 金钗石斛提取物对便秘模型小鼠通便功能的影响 [J]. *食品工业科技*, 2021, 42(20): 342-347.
- [75] 甘江华, 黄琦璠, 彭代银, 等. 3种石斛对脾阴虚型大鼠便秘的治疗作用及其机制初步研究 [J]. *中国中药杂志*, 2019, 44(12): 2600-2606.
- [76] Chen C, Zhang D Y, Chen S J, *et al.* Prevalence, types, and risk factors of functional gastrointestinal diseases in Hainan Province, China [J]. *Sci Rep*, 2024, 14(1): 4553.
- [77] 任雪阳, 王宇, 魏胜利, 等. “保健功能-中药-中药”关联的石斛保健食品配方规律分析及斑马鱼增强免疫力和缓解体力疲劳功能评价 [J]. *中草药*, 2022, 53(8): 2435-2448.

[责任编辑 潘明佳]