

铁皮石斛多糖在化妆品中的功效研究

廖望仪¹, 宋荣孝¹, 张艺馨², 阮永强², 蒋晶晶², 叶琳琳²

(1. 浙江物产长乐创龄生物科技有限公司, 浙江 杭州 311116; 2. 杭州雅妍化妆品有限公司, 浙江 杭州 311123)

摘要: 以浙江省杭州余杭长乐林场生产的铁皮石斛(*Dendrobium officinale*)为研究对象, 对其茎多糖提取物进行体外抗氧化、细胞毒性、促增殖、保湿、划痕修复以及预防 H₂O₂ 损伤等方面的功效研究。结果表明, 铁皮石斛多糖提取物在抗氧化方面表现优越, 1.00 mg·mL⁻¹ 的多糖提取物对 DPPH 自由基清除率达 61.44%±0.64%。此外, 与未添加多糖提取物的对照组相比, 添加 1.00 mg·mL⁻¹ 多糖提取物对 HaCaT 细胞表现出显著的促增殖效果和保湿效果, 其相对增殖率提高 96.05%±10.95%, 干燥损伤修复率高达 83.92%±6.16%。用铁皮石斛多糖提取物孵育后的 HSF 细胞对 H₂O₂ 刺激有明显的防护效果, 细胞存活率高达 91.07%±5.97%。以上研究结果表明, 铁皮石斛多糖提取物具有较强的抗氧化、保湿和修护功效, 温和安全, 具有开发为化妆品原料的潜力。

关键词: 铁皮石斛; 多糖; 抗氧化; 保湿; 化妆品

中图分类号: S567

文献标识码: A

文章编号: 1001-3776 (2026) 03-0077-08

Efficacy Study of *Dendrobium officinale* Polysaccharides in Cosmetics

LIAO Wangyi¹, SONG Rongxiao¹, ZHANG Yixin², RUAN Yongqiang², JIANG Jingjing², YE Linlin²

(1. Zhejiang WuChan LongLife Biotechnology Co., Ltd., Hangzhou 311116, Zhejiang, China;

2. Hangzhou Yayan Cosmetics Co. Ltd., Hangzhou 311123, Zhejiang, China)

Abstract: Taking *Dendrobium officinale* produced in Changle Forest Farm, Yuhang District, Hangzhou City, Zhejiang Province as the research object, this study investigated the efficacy of polysaccharide extracts from its stems in terms of in vitro antioxidant activity, cytotoxicity, proliferation-promoting effect, moisturizing property, scratch wound healing and protection against H₂O₂-induced damage. The results showed that the polysaccharide extract of *D. officinale* exhibited excellent antioxidant activity. The extract of 1.00 mg·mL⁻¹ scavenged 61.44% ± 0.64% of DPPH free radicals. Moreover, compared with the control group without polysaccharide extract, the addition of 1.00 mg·mL⁻¹ polysaccharide extract significantly promoted the proliferation of HaCaT cells and moisturizing effect, with a relative proliferation rate increasing by 96.05% ± 10.95% and the repair rate for dry damage reaching 83.92% ± 6.16%. HSF cells incubated with the polysaccharide extract exhibited obvious protective effect against H₂O₂ stimulation, with a cell viability of up to 91.07% ± 5.97%. These findings indicate that the polysaccharide extract of *D. officinale* possesses strong antioxidant, moisturizing and repairing effects, is mild and safe, and has potential for development as a cosmetic raw material.

Key words: *Dendrobium officinale*; polysaccharides; antioxidant; moisturizing; cosmetics

铁皮石斛(*Dendrobium officinale*)为兰科(Orchidaceae)石斛属(*Dendrobium*)多年生草本植物, 常见于海拔 1 600 m 的山地半阴湿岩石上^[1], 适宜生长温度为 15~28℃^[2], 主要分布于安徽、浙江、福建、广西、广东、江西、贵州、云南等地^[3-6]。铁皮石斛作为传统的名贵中药材, 其茎可入药, 具有滋阴清热、益胃生津、润肺止

收稿日期: 2025-11-07; 修回日期: 2026-03-12

作者简介: 廖望仪, 高级工程师, 从事林下近野生铁皮石斛种植研究; E-mail: 574643681@qq.com。通信作者: 叶琳琳, 高级工程师, 从事生物技术和化妆品技术研究和应用; E-mail: 54391919@qq.com。

咳的功效^[7]。现代研究发现,铁皮石斛中含有多糖、生物碱、萜类、酚类和木质素等有效成分,具有增强免疫力、抗氧化、抗肿瘤、降血糖、抗炎等多种活性作用^[8-10]。因此铁皮石斛在医药、化妆品和保健品原料方面受到了高度重视,应用前景广阔。多糖是石斛属植物的主要活性成分,也是衡量铁皮石斛品质优劣的一项重要指标^[11],铁皮石斛中多糖积累越多,相应的功能活性就越强,产品也更优质。

近年来,铁皮石斛多糖的功能活性和药理作用探究逐渐成为研究热点^[12],有抗氧化、保湿、抗衰老和促进新陈代谢等功效,在化妆品和保健品应用领域具有较大的优势和潜力^[13]。多糖活性物相对分子质量比较大,在皮肤中具有保湿、修复皮肤屏障效果,可起到保护生物膜作用,并且能够清除自由基、抑制脂质过氧化的活性、提高抗氧化酶活性,起到延缓衰老的作用^[14]。铁皮石斛提取物已作为化妆品原料被列入《已使用化妆品原料目录》(2021年版)中。铁皮石斛天然温和,在化妆品中有着广泛的应用价值和市场前景,以铁皮石斛为主要功效原料的各种化妆品也逐渐增多。化妆品原料功效评价所采用的细胞主要有人角质形成细胞(HaCaT)、人成纤维细胞(HSF),用来评价保湿、舒缓炎症、抗氧化等功效。本文采用体外抗氧化检测法测定铁皮石斛多糖的体外 ABTS⁺和 DPPH 自由基清除能力,并通过细胞模型法探究铁皮石斛多糖的细胞毒性、促增殖、保湿、划痕修复以及预防 H₂O₂ 损伤等方面的效果,为促进石斛多糖的进一步开发和应用提供重要的参考依据。

1 材料和方法

1.1 实验材料概括

实验所需的新鲜铁皮石斛来自长乐林场。该林场位于浙江省杭州市余杭区径山镇,属于中亚热带季风气候,年平均气温为 16.1 ℃,年降水量为 1 708 mm,年蒸发量为 1 149 mm,平均相对湿度为 95.3%,年日照时数为 1 782 h。

1.2 实验方法

1.2.1 样品预处理 采集新鲜的铁皮石斛茎枝,剪切成 1~2 cm 小段,放入冷冻干燥机中干燥 32 h,以除去水分,并对其进行粉碎,用 40 目筛过筛,得到铁皮石斛冻干粉。其中,冻干程序设置为-40 ℃,4 h;-30 ℃,1 h;-20 ℃,1 h;-10 ℃,5 h;0 ℃,2 h;10 ℃,8 h;20 ℃,3 h;30 ℃,8 h。

1.2.2 多糖提取物制备 称取铁皮石斛粉末 1 g,加入 60 mL 超纯水,采用超声波细胞粉碎机 JY92-2D 进行细胞破壁 20 min,功率为 200 W,100 ℃ 热水回流提取 2 h,抽滤法弃滤渣得到澄清液体,55 ℃ 旋蒸浓缩收集得到多糖提取物。此多糖提取物为浓缩的液态提取物,对其测定多糖含量,并放-20 ℃ 冰箱保存备用。

1.2.3 多糖测定 采用蒽酮-硫酸法测定多糖含量^[15-17],配制浓度分别为 20、40、60、80、100、120、140、160 μg·mL⁻¹ 的葡萄糖标准溶液,取标准溶液 200 μL 加入蒽酮-硫酸 800 μL,封口后充分振荡,沸水浴 15 min,立即放入冰水中冷却 5 min,室温放置 30 min 后使用酶标仪测定 620 nm 处吸光值,得到多糖标准曲线。样品多糖依照上述方法测定,通过标准曲线和公式计算多糖含量和多糖得率。多糖得率按以下计算公式:

$$\text{多糖得率}(\%) = A_1 * V_1 / A_2 \times 100\%$$

式中, A_1 表示样品多糖浓度, V_1 表示样品体积, A_2 表示铁皮石斛干粉质量。

1.2.4 抗氧化能力测定 取样品 30 μL,加入 ABTS⁺工作液 200 μL,37 ℃ 避光放置 6 min 后使用酶标仪测定 734 nm 波长处的吸光值^[18-20]。ABTS⁺自由基清除率按以下公式计算:

$$\text{ABTS}^+ \text{自由基清除率}(\%) = (A_3 - A_1) / A_3 \times 100\%$$

式中, A_1 表示样品组(多糖溶液样品+ ABTS⁺工作液)吸光度值; A_3 表示空白组(去离子水+ ABTS⁺工作液)吸光度值。

1.2.4.1 DPPH 自由基清除能力测定 依据参考文献^[21-22]和行业标准 TSHRH006—2018 取样品 100 μL 加入 DPPH-95% 乙醇溶液 100 μL,37 ℃ 避光放置 30 min 后使用酶标仪测定 517 nm 波长处的吸光值, DPPH 自由基清除率按以下公式计算:

$$\text{DPPH 自由基清除率}(\%) = [1 - (A_1 - A_2) / A_3] \times 100\%$$

式中, A_1 表示样品组(多糖溶液样品+ DPPH-95% 乙醇)吸光度值, A_2 表示对照组(多糖溶液样品+ 95% 乙醇)吸光度值, A_3 表示空白组(去离子水+ DPPH-95% 乙醇)吸光度值。

1.2.5 细胞培养及活力检测 人永生角质细胞(HaCaT)和人原代真皮成纤维细胞(HSF)均购自上海歌凡生物科技有限公司。1640 培养基和 CCK-8 试剂盒均购自北京兰杰柯科技有限公司旗下品牌 biosharp, FM 培养基购自 ScienCell Research Laboratories。HaCaT 细胞用含 10% 胎牛血清 1640 培养基, HSF 细胞用含 10% 的胎牛血清 FM 培养基, 在 37 ℃、5% CO₂ 培养箱中培养, 待细胞融合至 90% 左右时进行细胞实验, 使用 CCK-8 试剂盒检测细胞活力。

1.2.6 铁皮石斛多糖提取物对细胞的毒性作用 取对数生长期的细胞, 分别以 $1 \times 10^5 \cdot \text{孔}^{-1}$ HaCaT 细胞、 $8 \times 10^4 \cdot \text{孔}^{-1}$ HSF 细胞接种于 96 孔细胞培养板中, 贴壁 24 h 后, 加入不同浓度的铁皮石斛多糖提取物, 使得其中多糖浓度为 0.01、0.10 和 1.0 mg·mL⁻¹, 继续培养 24 h, 检测细胞存活率。细胞相对活力计算公式如下:

$$\text{细胞相对活力}(\%) = \left[\frac{C_2 - C_0}{C_1 - C_0} \right] \times 100\%$$

式中, C_0 表示无细胞的吸光度值, C_1 表示未加药物的细胞吸光度值, C_2 表示加入样品的细胞吸光度值。

1.2.7 铁皮石斛多糖提取物对细胞增殖的影响 取对数生长期的细胞, 按照 1.2.6 方法铺板, 贴壁 24 h 后, 分别使用无血清 1640 培养基和无血清 FM 培养基, 加入不同浓度的铁皮石斛多糖提取物, 使得其中多糖浓度分别为 0.01、0.10 和 1.0 mg·mL⁻¹, 继续培养 24 h, 检测细胞活性。细胞相对增殖率计算公式如下:

$$\text{细胞相对增殖率}(\%) = \left[\frac{C_2 - C_1}{C_1 - C_0} \right] \times 100\%$$

式中, C_0 表示无细胞的吸光度值, C_1 表示未加药物的细胞吸光度值, C_2 表示加入样品的细胞吸光度值。

1.2.8 铁皮石斛多糖提取物对 HaCaT 细胞干燥损伤的影响 按照 1.2.6 方法, 细胞贴壁后用 PBS 缓冲液清洗, 在安全柜吹风状态下干燥 10 min, 加入 1640 完全培养基, 空白组是干燥 10 min 后仅加入培养基, 实验组在干燥 10 min 后同时加入不同浓度的铁皮石斛多糖提取物, 培养 24 h 后检测细胞存活率, 并计算其细胞干燥致死率和细胞干燥损伤修复率。

$$\text{细胞干燥致死率}(\%) = \left[\frac{C_1 - C_2}{C_1 - C_0} \right] \times 100\%$$

式中, C_0 表示无细胞的吸光度值, C_1 表示未干燥的细胞吸光度值, C_2 表示干燥后的细胞吸光度值。

$$\text{细胞干燥损伤修复率}(\%) = \left[\frac{C_2 - C_3}{C_1 - C_3} \right] \times 100\%$$

式中, C_1 表示对照组的细胞吸光度值, C_2 表示实验组的细胞吸光度值, C_3 表示空白组的细胞吸光度值。

1.2.9 铁皮石斛多糖提取物对 HSF 细胞划痕的影响 使用 6 孔板均匀铺满 HSF 细胞, 用移液器吸头划线, 加入无血清 FM 培养基继续培养, 实验组加入铁皮石斛多糖提取物, 对照组加入等体积的无菌水, 在 0 h、8 h、24 h 时进行拍照, 观察细胞的迁移情况, 使用 ImageJ 软件分析图片划痕面积并计算迁移率。

$$\text{细胞迁移率}(\%) = (\text{0 h 划痕面积} - \text{培养后划痕面积}) / \text{0 h 划痕面积} \times 100\%$$

1.2.10 铁皮石斛多糖提取物对 HSF 细胞预防 H₂O₂ 损伤的影响 按照 1.2.6 方法, 加样培养 24 h 后用 PBS 清洗, 加入终浓度 150 μM·L⁻¹ 的 H₂O₂ FM 无血清培养基刺激 2 h 后检测细胞存活率。

1.3 数据计算和处理

采用 Graphpad Prism 9 统计作图软件, 使用单因素方差分析(One-way ANOVA)进行统计学分析, 数据以 $P < 0.05$ 内的均值±标准差(SD)表示。

2 结果与分析

2.1 标准曲线及多糖含量分析

通过多糖的酸水解来测定糖含量, 以葡萄糖为标品, 与蒽酮发生颜色反应, 在 620 nm 波长下具有最大吸

收峰, 每个点做 3 次平行试验取平均值。由图 1 可知葡萄糖含量与其在 620 nm 波长处的吸光值呈良好的线性关系, 多糖标准曲线为 $Y=0.003\ 654X+0.130\ 1$ ($R^2=0.999$)。水提法铁皮石斛用量 8.00 g, 最终旋蒸浓缩得到提取物 150 mL, 提取物总糖含量为 (16.49 ± 0.61) $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$, 多糖得率为 $30.92\%\pm1.14\%$ 。

2.2 体外抗氧化能力分析

ABTS⁺法被广泛应用于测定各种植物中化合物的总抗氧化能力, 通过 734 nm 波长处的吸光值来计算自由基清除率。为了研究铁皮石斛多糖提取物的抗氧化能力, 本研究测定了其对 ABTS⁺自由基的清除能力。1.00 $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 水提多糖 ABTS⁺自由基清除率为 $20.74\%\pm$

0.31%, 略高于 10.00 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ Vc 标准品的 ABTS⁺自由基清除率, 表明铁皮石斛多糖提取物对 ABTS⁺自由基有良好的清除活性, 图 2A 为不同浓度的多糖提取物对 ABTS⁺自由基的清除能力, 图 2B 为阳性对照。

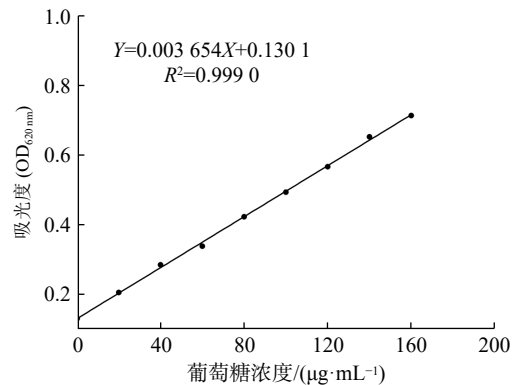


图 1 多糖标准曲线

Fig. 1 Polysaccharide standard curve

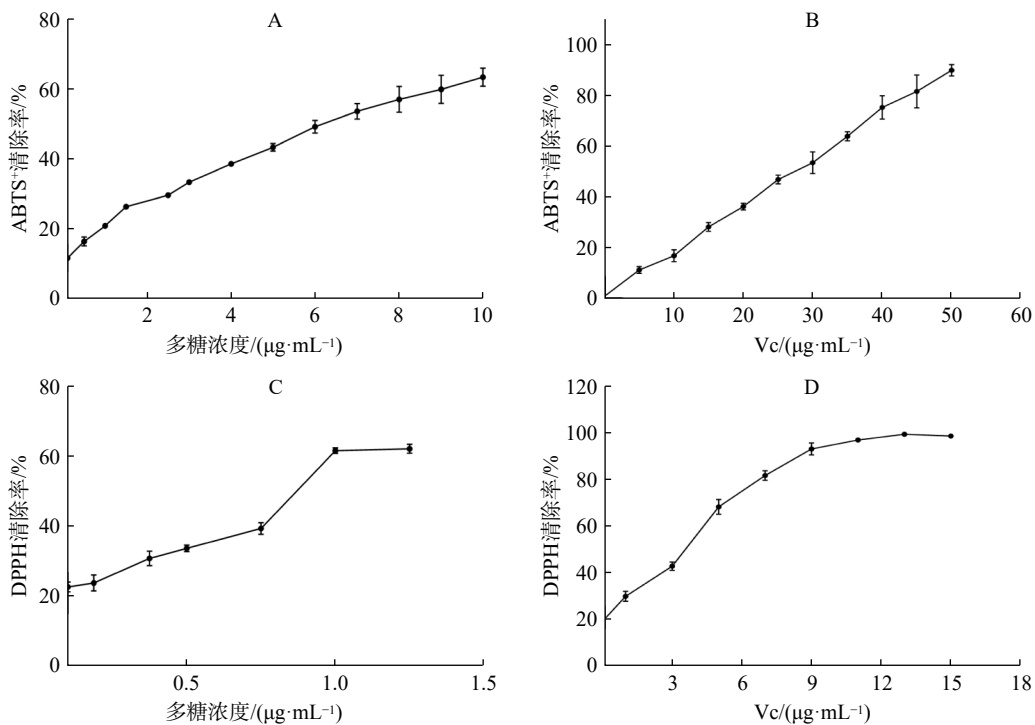


图 2 不同浓度的 Vc 和多糖提取物对 ABTS⁺及 DPPH 自由基的清除率

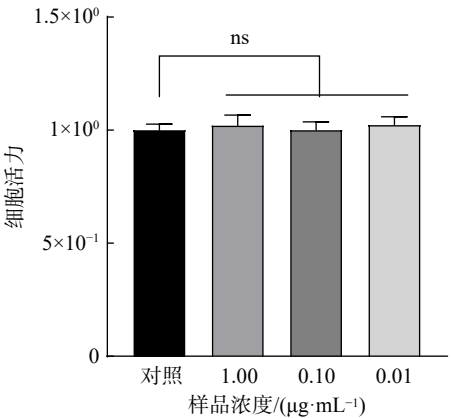
Fig. 2 Scavenging rates of Vc and polysaccharide extracts of different concentration against ABTS⁺ and DPPH radicals

此外, 铁皮石斛多糖提取物表现出良好的 DPPH 自由基清除活性, 1.00 $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 多糖提取物对 DPPH 自由基的清除率达到 $61.44\%\pm0.64\%$, 明显高于 4.00 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ Vc 标准品的 DPPH 自由基清除率, 图 2C 为不同浓度多糖提取物对 DPPH 自由基的清除能力, 图 2D 为阳性对照。相同浓度下的多糖提取物对 DPPH 自由基清除率高于对 ABTS⁺自由基清除率。

2.3 细胞毒性分析

2.3.1 HaCaT 细胞毒性实验结果 如图 3 所示, 多糖浓度范围在 0.01 ~ 1.00 $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时, 样品孵育 24 h 对 HaCaT 细胞均未表现出强烈的细胞毒性, 各组之间无显著性差异 ($P>0.05$)。

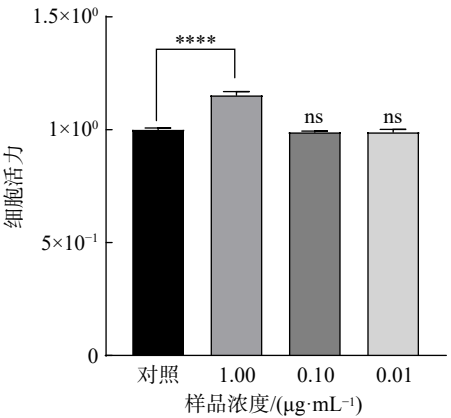
2.3.2 HSF 细胞毒性实验结果 如图 4 所示, 多糖浓度范围在 $0.01 \sim 1.00 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时, 样品孵育 24 h 对 HSF 细胞均未表现出强烈的细胞毒性。其中 $1.00 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浓度下的多糖提取物显示出极显著促进细胞生长的能力 ($P < 0.0001$)。



注: 与对照组相比, ns 表示 $P > 0.05$ 。

图 3 铁皮石斛多糖对人永生角质细胞活力的影响

Fig. 3 Effect of *D. officinale* polysaccharide extract on the viability of human immortalized keratinocytes (HaCaT)



注: 与对照组相比, ns 表示 $P > 0.05$, ****表示 $P < 0.0001$ 。

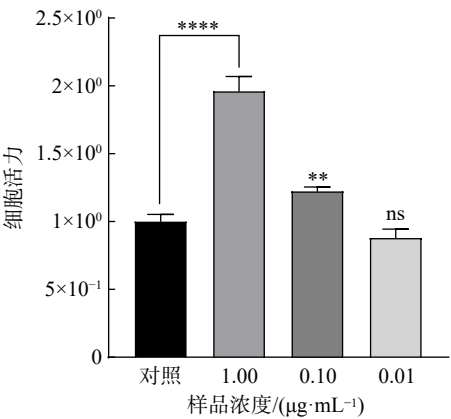
图 4 铁皮石斛多糖对人原代真皮成纤维细胞活力的影响

Fig. 4 Effect of *D. officinale* polysaccharide extract on the viability of human primary dermal fibroblasts (HSF)

2.4 细胞促增殖效果分析

2.4.1 铁皮石斛多糖提取物对 HaCaT 细胞的促增殖效果 如图 5 所示, 铁皮石斛多糖提取物孵育 24 h 对 HaCaT 细胞表现出强烈的与浓度相关的促增殖能力。其中 $1.00 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浓度处理对 HaCaT 细胞的增殖作用最强, 与对照 ($P < 0.0001$)、 $0.10 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ ($P < 0.01$) 和 $0.01 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ ($P < 0.0001$) 样品相比均呈极显著性差异。

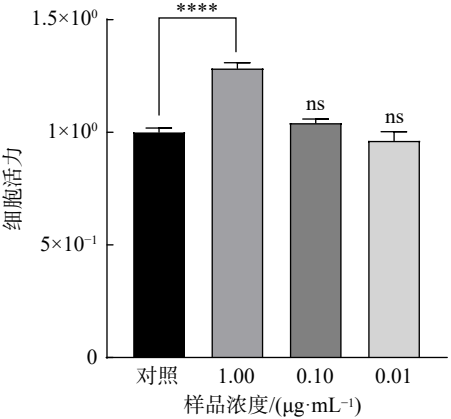
2.4.2 铁皮石斛多糖提取物对 HSF 细胞的促增殖效果 如图 6 所示, 铁皮石斛多糖提取物孵育 24 h 对 HSF 细胞表现明显的促增殖能力。其中 $1.00 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浓度处理对 HSF 细胞的增殖作用最强, 与对照和 $0.10 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 样品相比均呈极显著性差异 ($P < 0.0001$)。



注: 与对照组相比, ns 表示 $P > 0.05$, **表示 $P < 0.01$, ****表示 $P < 0.0001$ 。

图 5 铁皮石斛多糖对人永生角质细胞增殖的影响

Fig. 5 Effect of *D. officinale* polysaccharide extract on the proliferation of human immortalized keratinocytes (HaCaT)



注: 与对照组相比, ns 表示 $P > 0.05$, ****表示 $P < 0.0001$ 。

图 6 铁皮石斛多糖对人原代真皮成纤维细胞增殖的影响

Fig. 6 Effect of *D. officinale* polysaccharide extract on the proliferation of human primary dermal fibroblasts (HSF)

2.5 细胞保湿效果分析

本研究利用细胞干燥模型, 探究铁皮石斛多糖提取物的保湿功效。由图 7 可知, 铁皮石斛多糖提取物对干燥处理的 HaCaT 细胞有保湿修复效果。与对照组 1 相比, 对照组 2 HaCaT 细胞致死率达到 $41.70\% \pm 5.22\%$

($P<0.0001$), 在实验组添加不同浓度的多糖提取物后, 细胞活力均有所提高。其中多糖浓度为 $1.00\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的样品干燥损伤修复率高达 $83.92\%\pm6.16\%$, 优于 $0.10\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的样品($65.96\%\pm6.56\%$)。

2.6 细胞划痕修复效果分析

如图 8 所示, 与对照组相比, 加入 $1.00\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 铁皮石斛多糖提取物处理的 HSF 细胞在 24 h 的细胞汇合度高于对照组。利用 ImageJ 软件分析细胞划痕面积计算 HSF 细胞的迁移率, 如图 9 所示, 孵育 24 h 后铁皮石斛多糖提取物的细胞迁移率达到 $75.35\%\pm7.14\%$, 略高于对照组($60.70\%\pm0.14\%$), 说明铁皮石斛多糖提取物有一定的细胞划痕修复效果。

2.7 HSF 细胞预防 H_2O_2 损伤效果分析

HSF 细胞经过不同浓度的铁皮石斛多糖提取物孵育 24 h 后, 使用 $150\text{ }\mu\text{M}\text{ H}_2\text{O}_2$ 刺激细胞。如图 10, 空白组受到 H_2O_2 刺激后, HSF 细胞存活率为 $56.71\%\pm3.02\%$, 较对照组显著降低($P<0.0001$); 不同浓度的铁皮石斛多糖提取物处理过的实验组 HSF 细胞对 H_2O_2 刺激都有明显的防护效果, 表现为 $1.00\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 铁皮石斛多糖提取物组细胞存活率为 $91.07\%\pm5.97\%$, 极显著高于空白组($P<0.0001$); $0.10\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 铁皮石斛多糖提取物组细胞存活率为 $67.52\%\pm2.86\%$, 体现了一定的防护能力($P<0.05$)。

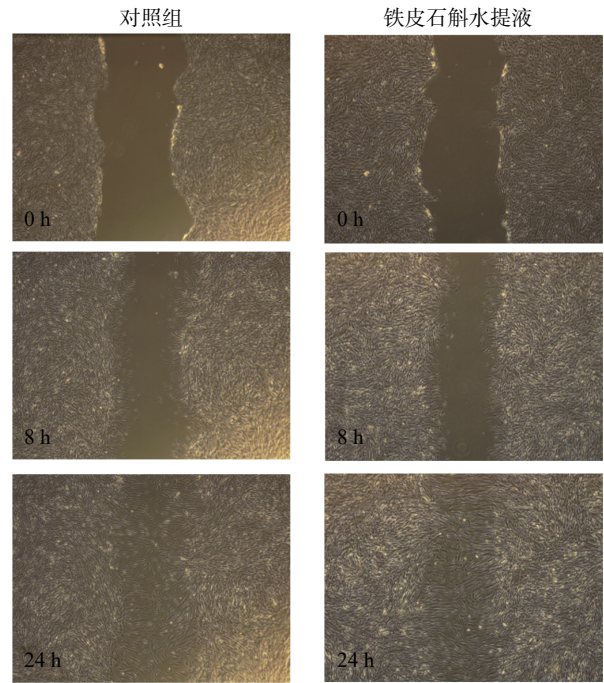
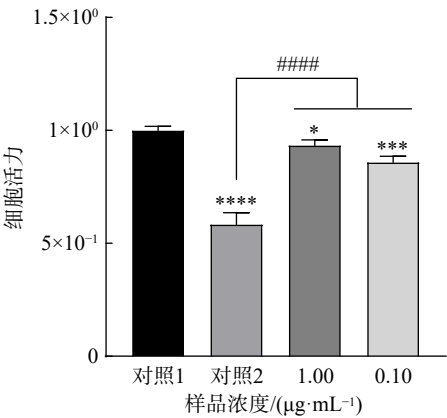


图 8 不同时间段人原代真皮成纤维细胞划痕图片

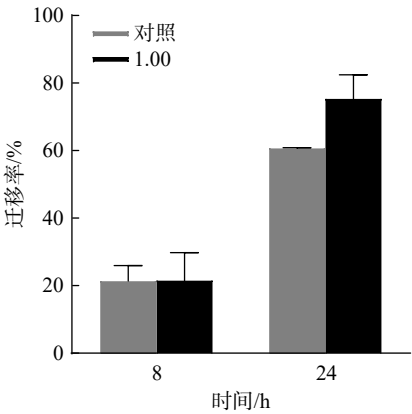
Fig. 8 Pictures of human primary dermal fibroblasts cell scratches during different periods



注: 与对照 1 相比, *表示 $P<0.05$, ***表示 $P<0.001$, ****表示 $P<0.0001$; 与对照 2 相比, ####表示 $P<0.0001$; 对照 1 组不做任何处理, 对照 2 组和样品组均在生物安全柜中风干 10 min, 对照 2 表示未添加任何样品。

图 7 铁皮石斛多糖提取物对人永生角质细胞的保湿作用的影响

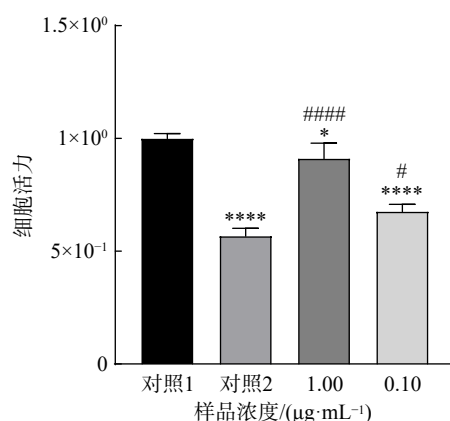
Fig. 7 Effect of *D. officinale* polysaccharide extract on the moisturizing of human immortalized keratinocytes (HaCaT)



注: 1.00 表示添加的铁皮石斛多糖提取物中多糖浓度为 $1.00\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。

图 9 铁皮石斛多糖提取物对人原代真皮成纤维细胞的迁移率

Fig. 9 Mobility of *D. officinale* polysaccharide extract to human primary dermal fibroblasts (HSF)



注: 与对照 1 组相比, *表示 $P<0.05$, ****表示 $P<0.0001$; 与对照 2 组相比, #表示 $P<0.05$, ####表示 $P<0.0001$; 对照 1 组不做任何处理, 对照 2 组和样品组均孵育 24 h 后加 $150\ \mu\text{M}\ \text{H}_2\text{O}_2$ 刺激, 对照 2 组未添加任何样品。

图 10 铁皮石斛多糖提取物对 H_2O_2 损伤人原代真皮成纤维细胞的防护作用

Fig. 10 Protective effect of *D. officinale* polysaccharide extract on human primary dermal fibroblasts damage induced by H_2O_2

3 结论

本研究采用热水提取法从铁皮石斛茎中获得多糖提取物, 多糖含量为 $30.92\%\pm1.14\%$ 。体外实验测定其功效, ABTS⁺和 DPPH 自由基清除实验均显示铁皮石斛多糖具有一定的体外抗氧化功效, 尤其 $1.00\ \text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 多糖提取物对 DPPH 自由基的清除率可达到 $61.44\%\pm0.64\%$ 。HaCaT 细胞和 HSF 细胞毒性实验均表明, 多糖含量在 $0.01\sim1.00\ \text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时, 无强烈的细胞毒性, 此浓度范围内的铁皮石斛多糖提取物对细胞活性无不良影响。并且 $1.00\ \text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 多糖提取物对 HaCaT 细胞还表现出显著的促增殖和保湿效果。通过 HSF 细胞划痕修复实验发现, 铁皮石斛多糖提取物具有一定的促细胞迁移能力。此外, 多糖提取物处理过的 HSF 细胞对 H_2O_2 刺激也有明显的防护效果, 细胞存活率高达 $91.07\%\pm5.97\%$ 。因此, 铁皮石斛多糖提取物具有明显的抗氧化、保湿和修护功效, 具有开发为化妆品原料的潜力。

参考文献

- [1] 中国科学院《中国植物志》编辑委员会. 中国植物志: 第 19 卷[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 67–146.
- [2] 刘舒萍, 蓝绮倩, 胡莉, 等. 韶关丹霞地貌铁皮石斛野生资源调查与生境分析[J]. 中国现代中药, 2024, 26(7): 1127–1133.
- [3] 李昊, 吕鼎豪. 铁皮石斛药用成分研究[J]. 光谱实验室, 2013, 30(4): 1845–1849.
- [4] 罗在荣, 杨洋, 田凡, 等. 不同栽培方式铁皮石斛多糖积累与品质评价[J]. 贵州林业科技, 2017, 45(4): 39–43.
- [5] 李桂峰, 李进进, 许继勇, 等. 铁皮石斛研究综述[J]. 中草药, 2010, 33(1): 150–153.
- [6] 陈燕兰, 钟淳菲, 徐雅因, 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.
- [7] 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 complementary and alternative medicine: eCAM, 2017: 7436259.
- [8] 张帮磊, 杨豪男, 沈晓静, 等. 铁皮石斛化学成分及其药理功效研究进展[J]. 临床医药文献电子杂志, 2019, 6(54): 3, 8.
- [9] 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.
- [10] GUO L H, QI J X, DU D, et al. Current advances of *Dendrobium officinale* polysaccharides in dermatology: A literature review[J]. Pharmaceutical biology, 2020, 58(1): 664–673.
- [11] 陈漪汶, 文霞, 黄健聪, 等. 铁皮石斛的抗氧化、保湿功效研究和应用现状[J]. 广州化工, 2022, 50(13): 27–31.
- [12] WANG Y, TONG Y, ISALAH O A, et al. Research advances in Multi-Omics on the Traditional Chinese Herb *Dendrobium officinale* [J]. Frontiers in Plant Science, 2022, 12: 808228.
- [13] 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.

- [14] 孔芒芒. 铁皮石斛多糖应用于化妆品的研究[D]. 上海: 上海应用技术大学, 2020.
- [15] 戴志英, 郭新颖, 叶青华. 硫酸-蒽酮分光光度法测定灵芝功能食品中粗多糖含量[J]. [化学工程师](#), 2023, 37(11): 25-27.
- [16] 胡德分, 刘金美, 李凤娇, 等. 蒽酮-硫酸法测定乌天麻多糖含量的条件优化[J]. 云南民族大学学报(自然科学版), 2023, 32(6): 687-694.
- [17] 张述伟, 宗营杰, 方春燕, 等. 蒽酮比色法快速测定大麦叶片中可溶性糖含量的优化[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(7): 196-200.
- [18] 陈佳, 姜森, 郑杰, 等. 大连刺参多糖的提取纯化及体外抗氧化活性研究[J]. [食品工业科技](#), 2020, 41(14): 1-7, 14.
- [19] 史亚萍, 张玉, 张绵松, 等. 海参肽的提取分离及其体外抗氧化活性[J]. 食品工业, 2019, 40(7): 44-48.
- [20] 刘薇, 邱乐, 杨婧, 等. ABTS⁺与邻二氮菲-Fe³⁺法测定保健食品抗氧化能力比较分析[J]. 食品工业, 2013, 34(3): 120-124.
- [21] 陈红惠, 牛念拉姆. 底圩茶多糖的超声波辅助提取及其抗氧化活性[J]. 食品工业科技, 2020, 41(21): 179-184.
- [22] 王丽芹. 香菇 SD-08 菌株多糖及其降解产物的提取、结构及抗氧化抗衰老活性研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2015.