

# 不同提取工艺对蒙古口蘑多糖抗炎效果的影响研究

陈欣雨, 张馨予, 杨兵\*

河北农业大学食品科技学院, 河北 保定

收稿日期: 2026年5月8日; 录用日期: 2026年5月23日; 发布日期: 2026年6月9日

## 摘要

本研究以5种不同提取工艺(热水提取、超声提取、酸溶剂提取、碱溶剂提取、双酶辅助提取)的口蘑多糖为原料, 考察提取工艺对口蘑多糖的抗炎活性的影响。采用脂多糖诱导RAW264.7细胞构建炎症细胞模型, 通过测定细胞上清NO含量、炎症因子水平和炎症因子mRNA相对表达量来探究5种口蘑多糖的抗炎活性。结果显示: 5种口蘑多糖均可显著降低炎症细胞NO含量, 其中双酶辅助提取和热水提取多糖显著高于其余3种口蘑多糖; 5种口蘑多糖均可显著降低RAW264.7炎症细胞的TNF- $\alpha$ 、IL-1 $\beta$ 、IL-6的水平, 提高IL-10的水平, 热水提取口蘑多糖对炎症因子的调节作用显著高于其余4种口蘑多糖; 5种口蘑多糖均可显著降低RAW264.7细胞中炎症相关的TNF- $\alpha$ 、IL-1 $\beta$ 和IL-6的mRNA相对表达水平, 提高IL-10的mRNA相对表达水平, 5种口蘑多糖对炎症因子mRNA相对表达量调节强弱顺序为热水提取 > 双酶辅助提取 > 超声提取 > 碱溶剂提取 > 酸溶剂提取。上述结果表明5种蒙古口蘑多糖对脂多糖诱导的RAW264.7炎症细胞均有一定的缓解作用, 其中以热水提取口蘑多糖的抗炎效果最显著。

## 关键词

蒙古口蘑多糖, 多糖活性, 细胞炎症, 细胞活性, 抗炎活性

## Study on the Effects of Different Extraction Techniques on the Antiinflammatory Activity of Polysaccharides from *Tricholoma mongolicum*

Xinyu Chen, Xinyu Zhang, Bing Yang\*

College of Food Science and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding Hebei

\*通讯作者。

Received: May 8, 2026; accepted: May 23, 2026; published: June 9, 2026

## Abstract

In this study, polysaccharides were extracted from *Tricholoma mongolicum* using five extraction methods, including hot-water extraction (H), ultrasonic extraction (U), acid solvent extraction (Ac), alkali solvent extraction (Al), and dual-enzyme-assisted extraction (E). The effects of extraction methods on the anti-inflammatory activity of *T. mongolicum* polysaccharides were systematically investigated. A lipopolysaccharide (LPS)-induced RAW264.7 macrophage inflammation model was established. The anti-inflammatory potential of the five polysaccharide samples was evaluated by determining nitric oxide (NO) production in cell supernatant, the concentrations of inflammatory cytokines, and the relative mRNA expression levels of inflammatory-related genes. The results demonstrated that all five polysaccharide samples markedly decreased NO accumulation in inflammatory cells; specifically, polysaccharides obtained via dual-enzyme-assisted extraction and hot water extraction exhibited superior NO inhibitory capacity compared with the other three groups. Additionally, the five polysaccharides significantly downregulated the secretion of pro-inflammatory cytokines (TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$ , and IL-6) and upregulated the anti-inflammatory cytokine IL-10 in LPS-stimulated RAW264.7 cells. Notably, polysaccharides extracted by hot water extraction exerted the most prominent regulatory effect on inflammatory cytokines. Consistent with the protein-level results, the mRNA transcription levels of Tnf- $\alpha$ , Il-1 $\beta$ , and Il-6 were significantly downregulated, while Il-10 mRNA expression was upregulated after polysaccharide intervention. The regulatory potency of the five extraction methods on inflammatory cytokine mRNA expression followed the sequence: H > E > U > Al > Ac. Collectively, these findings verified that *T. mongolicum* polysaccharides effectively ameliorated LPS-induced inflammatory responses in RAW264.7 cells, and hot water extraction was identified as the optimal method to obtain polysaccharides with outstanding anti-inflammatory activity.

## Keywords

*Tricholoma mongolicum* Polysaccharides, Polysaccharide Activity, Cellular Inflammation, Cellular Activity, Anti-Inflammatory Activity

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

蒙古口蘑(*Tricholoma mongolicum*)是一种珍贵的食用菌, 被誉为“草原八珍之首”, 因其肉质细嫩、味道鲜美而备受青睐。蒙古口蘑富含多糖、蛋白质和矿物质等多种人体必须营养素[1], 且具有显著抗氧化、抗炎、免疫调节等功效[2]-[4]。蒙古口蘑含有丰富的蛋白质, 其含量高达 35.6 g/100g 干品, 且氨基酸组成均衡, 必需氨基酸含量丰富, 占氨基酸总量的 35.85%, 有助于提高人体免疫力[5]。此外, 蒙古口蘑富含钙、磷、铁等矿物质, 对骨骼健康和血液健康尤为重要。含有维生素 B1、维生素 B2、维生素 B6 等, 有助于维持神经系统健康和能量代谢, 同时促进肠道蠕动, 预防便秘[6]。值得一提的是, 蒙古口蘑富含硒元素, 硒被称为“抗癌之王”, 具有增强免疫力、抗氧化、抗癌等多种生物功能[7]。

炎症作为人体免疫系统的第一反应, 是机体在受伤、感染和压力发生时的一种生理现象[7][8]。一般

来说, 炎症是通过分泌 NO 和促炎细胞因子发挥保护作用[9], 但长期的炎症可能是有害的, 导致例如发烧、动脉粥样硬化、关节炎甚至癌症等疾病[10]。炎症的治疗主要集中在类固醇和非类固醇抗炎药上, 类固醇可能引发高血压, 骨质疏松等副作用, 而非类固醇抗炎药物则可能导致过敏反应, 这些副作用限制了它们的长期使用[11]。因此, 寻找安全且有效的抗炎物质成为当前研究的重点。近年来, 多糖因其安全性高、抗炎和免疫调节能力强而受到广泛关注, 开发具有显著生物活性的多糖是近年的关注热点。

蒙古口蘑作为一种重要的食用菌资源, 具有诸多药理活性, 因尚未实现人工驯化, 开发利用程度不高, 蒙古口蘑多糖作为口蘑中的主要活性成分之一, 目前对其研究较少, 主要集中在多糖的提取、结构初步表征和少量活性功能研究。对于提取工艺与抗炎活性关系的研究尚未见报道。本研究以蒙古口蘑为原料, 分别采用超声辅助提取、热水提取、酸溶剂提取、碱溶剂提取和双酶辅助提取等提取工艺结合真空冷冻干燥获得 5 种蒙古口蘑多糖。利用脂多糖诱导 RAW264.7 细胞, 建立巨噬细胞炎症模型, 通过细胞活性、细胞上清中 NO 含量、细胞上清中炎症因子浓度和细胞上清中炎症因子表达量来探究 5 种蒙古口蘑多糖的抗炎活性。本研究成果可为蒙古口蘑多糖的开发和利用提供理论支撑, 促进蒙古口蘑多糖在功能性食品工业中转化为益生元、为开发抗炎类功能食品提供科学依据。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 材料与仪器

蒙古口蘑: 购买自河北张家口崇礼区大市场。

细胞株: 小鼠腹腔巨噬细胞 RAW264.7, 购于国家实验细胞资源共享服务平台(NICR, 北京, 中国)。

旋转蒸发仪 RV8, 德国 IKA 艾卡集团; 恒温水浴锅 HH-601, 江苏金坛市恒丰仪器制造有限公司; 真空冷冻干燥机 FD-5, 西盟生命技术(香港)有限公司; 酶标仪 1500-28, 中国赛默飞世尔科技有限公司; 超净工作台 SW-CJ-1FD, 苏州安泰空气技术有限公司; 立式压力蒸汽灭菌锅 SQ510C, 重庆雅马拓科技有限公司; 超声波清洗机 SB-5200DT, 宁波新芝生物科技股份有限公司; 涡旋振荡器 MX-F, 美国 SCILOGEX 公司; pH 计 PHS-3C, 上海仪电科学仪器股份有限公司。

### 2.2. 实验方法

#### 2.2.1. 蒙古口蘑多糖的提取

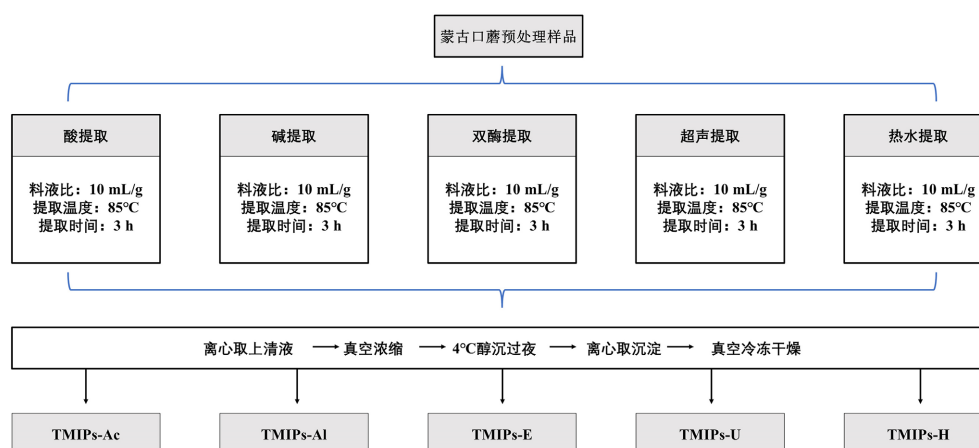


Figure 1. The extraction steps of polysaccharides from *Tricholoma mongolicum*

图 1. 蒙古口蘑多糖的提取步骤

蒙古口蘑的预处理及多糖的制备参考实验室前期的研究[3]。采用酸溶剂提取(Acid solvent extraction)、碱溶剂提取(Alkali solvent extraction)、双酶辅助提取(Enzyme-assisted extraction)、超声辅助提取(Ultrasonic-assisted extraction)和热水提取(Hot water extraction)获得蒙古口蘑多糖分别命名为: TMIPs-Ac、TMIPs-Al、TMIPs-E、TMIPs-U 和 TMIPs-H。具体的提取工艺件图见图 1。

### 2.2.2. RAW264.7 细胞培养

使用含有 10%胎牛血清和 1%青霉素 - 链霉素的 DMEM 高糖培养基培养 RAW264.7 细胞。

细胞复苏: 水浴锅预热至 37℃, 将需要复苏的细胞从液氮中取出, 立即置于其中, 期间不停晃动直至细胞悬液完全融化。将细胞悬液吹打均匀后转移到培养瓶中, 并置于 37℃、5% CO<sub>2</sub> 培养箱中培养。待大部分细胞贴壁后, 更换培养液, 之后隔天换液。

### 2.2.3. 不同提取工艺的蒙古口蘑多糖对 RAW264.7 细胞活性的测定

调整细胞密度为  $1 \times 10^4$  个/mL, 并将其加入到 96 孔板中, 置于 37℃、5% CO<sub>2</sub> 培养箱中培养 4 h 后加样。实验分为空白对照组, 脂多糖(Lipopolysaccharide, LPS)组和 TMIPs 组, 其中空白对照组加 100 μL 细胞培养基, LPS 组加 100 μL 由细胞培养基配制的浓度为 10 μg/mL 的 LPS 溶液, 蒙古口蘑多糖组分别加入 100 μL 由细胞培养基配制的不同浓度(50、100、200、400、800 μg/mL)的不同提取工艺的蒙古口蘑多糖溶液, 所有样品均需过 0.22 μm 水相滤膜, 每组 3 个重复, 置于培养箱中培养 24 h 后, 每孔加入 10 μL CCK-8 溶液, 继续培养 4 h 后于 450 nm 处测定每孔的吸光度。按照公式(1)计算细胞活力。

$$\text{细胞活力}\% = \frac{\text{处理组吸光度}}{\text{空白组吸光度}} \times 100 \quad (1)$$

### 2.2.4. 不同提取工艺的蒙古口蘑多糖对 RAW264.7 细胞中 NO 含量的测定

调整 RAW264.7 细胞以  $1 \times 10^5$  个/mL 的密度于 6 孔板中铺板, 待细胞贴壁后按照 1.2.2 中的试验分 7 组进行处理, 试验设置 6 复孔, 按组别处理后将细胞培养板放置在培养箱中培养 24 h, 而后收集细胞上清液, 将细胞培养上清液按 50 μL/孔加入 96 孔酶标板中, 按 Griess 试剂盒说明书操作, 每孔需要加入 Griss Reagent I 和 Griss Reagent II 各 50 μL, 故根据实验需求, 吸取等量的 Griss 试剂 I 与 Griss 试剂 II 充分混合后, 将混合液按 100 μL 加入含有细胞上清液的酶标板中, 540 nm 下读取光密度值。

### 2.2.5. 酶联免疫吸附实验(ELISA)测定炎症因子浓度

调整 RAW264.7 细胞以  $1 \times 10^5$  个/ml 的密度于 6 孔板中铺板, 待细胞贴壁后按照 2.4.2 中的试验分 7 组进行处理, 试验设置 6 复孔, 按组别处理后将细胞培养板放置在培养箱中培养 24 h, 而后收集细胞上清液, 按 ELISA 试剂盒的说明检测细胞上清液中 TNF-α、IL-1β、IL-6 和 IL-10 的水平。

### 2.2.6. 实时荧光定量 PCR 测定

Table 1. Primer sequence

表 1. 引物序列

数量	质量	碱基序列(5'→3')
IL-1β	F	AGCTCAAATCTCGCAGCAG
	R	TCTCCACAGCCACAATGAGT
TNF-α	F	ACTGGAGCCTCGAATGTCAA
	R	TGAAAGGCCTGAAGGTAGG
IL-6	F	GCTTCTGGGACTGATGCTG

续表

IL-10	R	AGACAGGTCTGTTGGGAGTG
	F	GCATGGCCCAGAAATCAAGG
$\beta$ -actin	R	ACACCTTGGTCTTGGAGCTTATTA
	F	CCAGCCTTCCTTCTTGGGTA
	R	CAATGCCTGGGTACATGGTG

RAW264.7 细胞总 RNA 的提取及 cDNA 的合成: 使用 TRIzol 试剂从 RAW264.7 细胞中提取总 RNA。用微量分光光度计对总 RNA 进行定量和质量分析。使用一步式 gDNA 移除和 cDNA 合成试剂盒对 RNA 进行反转录, 并选择合适的基因引物, 用 PerfectStart Green qPCR SuperMix 试剂盒扩增目标基因片段, 使用 StepOnePlus 实时荧光定量 PCR 系统对靶基因进行定量。采用  $2^{-\Delta\Delta CT}$  法计算 mRNA 的相对含量,  $\beta$ -actin 作为内参, 计算试验与对照条件下基因表达的变化值。

引物: 试验中相应基因的引物参考安琪的研究[12], 引物序列如表 1 所示。

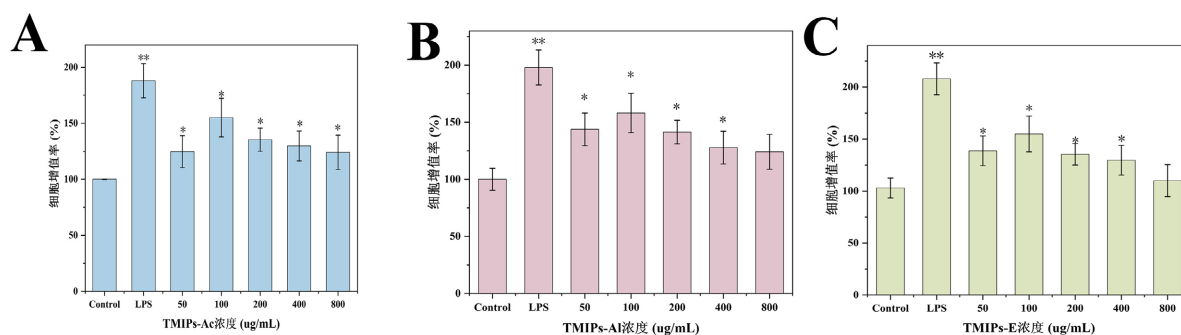
### 2.3. 数据处理

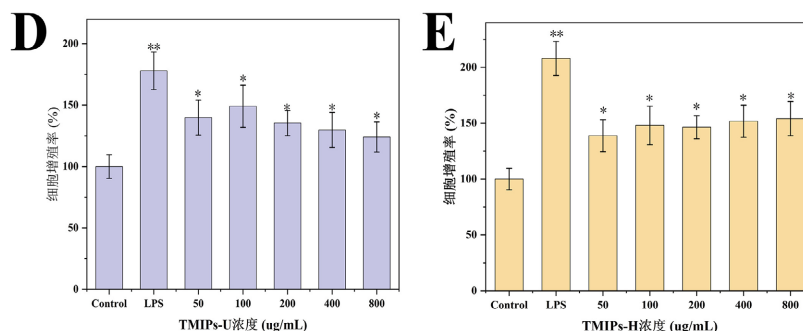
实验结果均采用软件 SPSS Statistics 25.0 作单因素 ANOVA 检验, 各组间采用 Duncan 法进行比较检验, 结果以均值  $\pm$  标准误差表示,  $p < 0.05$  表示差异显著,  $p < 0.01$  表示差异极显著, 使用 Origin 2021 进行绘图。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 不同提取工艺的蒙古口蘑多糖对 RAW264.7 细胞活性的影响

LPS 分布在巨噬细胞、树突状细胞和 B 细胞细胞膜上的受体识别并结合, 这触发免疫反应并刺激免疫细胞释放炎症因子, 从而引发局部炎症[13]。为了研究 5 种蒙古口蘑多糖对 RAW264.7 细胞的增殖作用, 采用 CCK-8 法评估不同浓度的蒙古口蘑多糖对细胞活性的影响, 图 2 为 5 种蒙古口蘑多糖对 RAW264.7 细胞增殖活性的影响。与空白对照组相比, LPS 组均可以显著促进 RAW264.7 细胞增殖( $p < 0.01$ )。随着 TMIPs-Ac、TMIPs-AI、TMIPs-E 和 TMIPs-U 浓度的增加, RAW264.7 细胞的增殖活性呈现出先增加后降低的趋势, 当浓度在 50~100  $\mu\text{g/mL}$  时, RAW264.7 细胞的增殖活性与多糖浓度呈正相关, 并且在 100  $\mu\text{g/mL}$  时达到最大值, 而当多糖浓度在 200-800  $\mu\text{g/mL}$  时, RAW264.7 细胞活性逐渐下降, 但其数值仍高于 100%; 对于 TMIPs-H 来说, 在 50~800  $\mu\text{g/mL}$  的浓度范围内, 其均可以促进 RAW264.7 细胞的增殖活性。这些结果表明, 在 50~800  $\mu\text{g/mL}$  浓度范围内, 5 种多糖对 RAW264.7 细胞不存在毒性作用。此外, 这些多糖在此浓度区间内不仅安全无害, 还能够有效促进 RAW264.7 细胞的增殖。





注: \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , 下同。

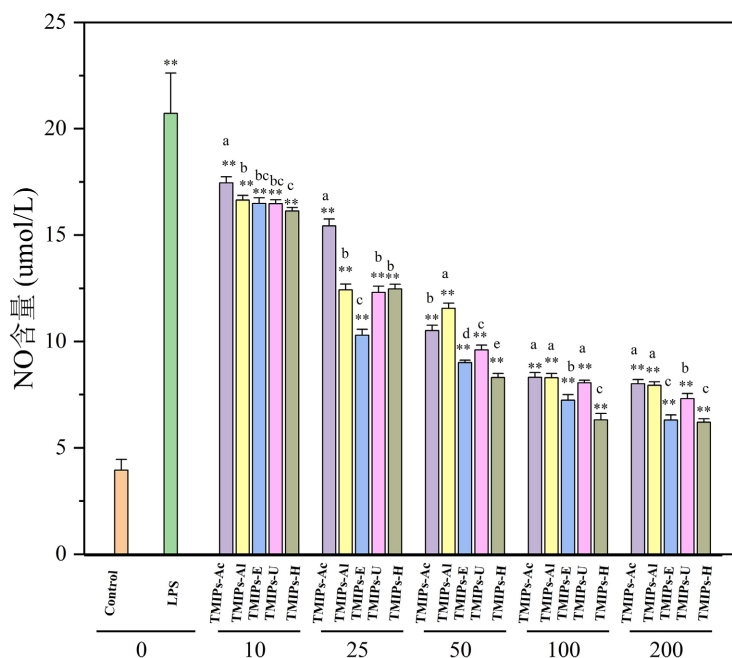
**Figure 2.** Effect of polysaccharide fractions by TMIPs on the proliferative activity of RAW264.7 cells

**图 2.** 不同提取方法蒙古口蘑多糖组分对 RAW264.7 细胞增殖活性的影响

### 3.2. 不同提取工艺的蒙古口蘑多糖对 RAW264.7 细胞中 NO 水平的影响

一氧化氮(NO)作为关键的炎症介质, NO 在炎症反应中起重要作用[14], 研究表明, 过量产生的 NO 可导致炎症加剧, 并与多种慢性疾病的发展相关, 包括肥胖、糖尿病等。因此, 调控 NO 的水平可能对减缓这些疾病的进展具有潜在的治疗意义。

本研究采用 Griess 试剂检测细胞培养上清液中的亚硝酸盐含量, 间接反映细胞内的 NO 水平。如图 3 所示, 与对照组相比, LPS 处理组的 NO 含量显著升高, 表明炎症模型的成功建立。在 5 种多糖组中, 随着多糖浓度的增加, LPS 诱导的细胞 NO 产生量呈现下降趋势。这表明 5 种蒙古口蘑多糖均具有降低 NO 水平的作用, 并且在较高浓度下效果更为显著。此外, 比较不同提取工艺所获得的蒙古口蘑多糖对 RAW264.7 细胞中 NO 水平的影响时, 在 50  $\mu\text{g/mL}$  浓度下, 5 种多糖的 NO 含量存在显著差异, 因此选用该浓度进行后续实验。



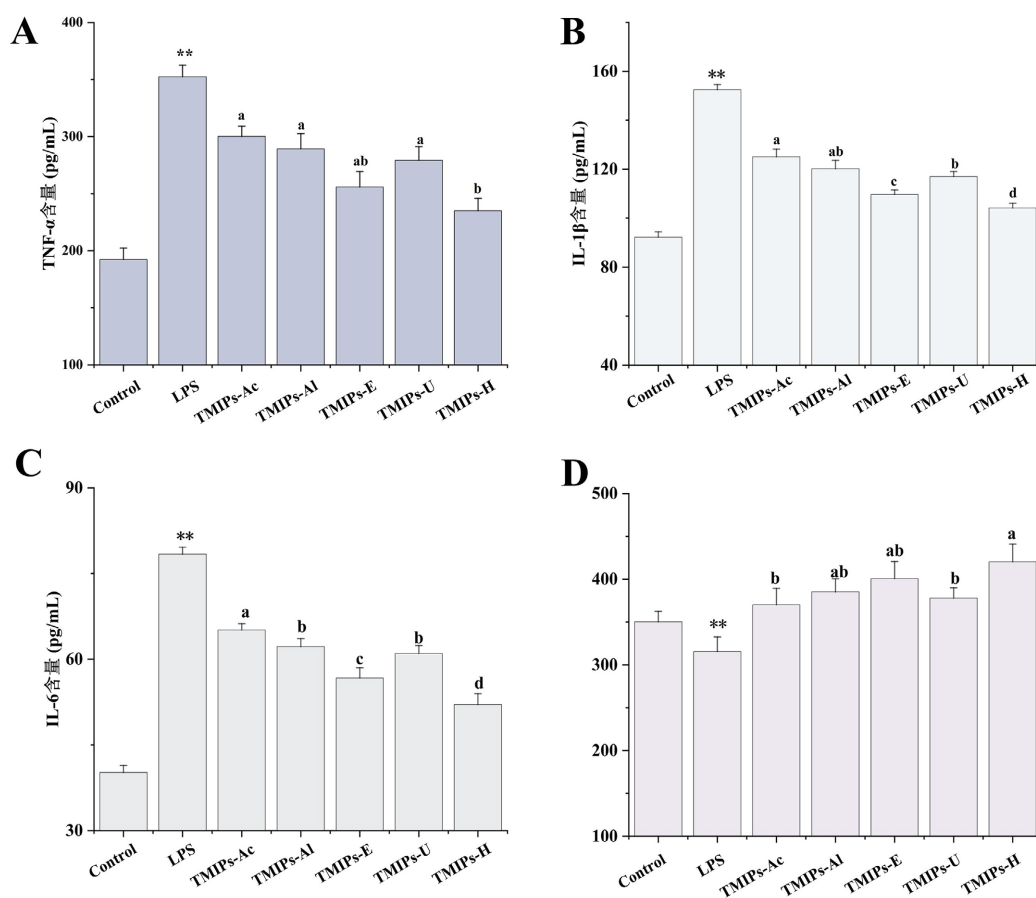
**Figure 3.** Effect of polysaccharide fractions by TMIPs on the NO production of RAW264.7 cells

**图 3.** 蒙古口蘑多糖组分对 RAW264.7 细胞上清中 NO 含量的影响

### 3.3. 不同提取工艺的蒙古口蘑多糖对 RAW264.7 细胞中炎症因子浓度的影响

慢性炎症通常伴随着促炎细胞因子的异常调节[15]。炎症因子中, IL-1 $\beta$  可以促进多种促炎介质的分泌, 而 TNF- $\alpha$  则增强巨噬细胞的敏感性, 并促进其他促炎细胞因子的释放。此外, IL-6 通过激活免疫反应来帮助宿主应对紧急应激, 其过量产生会导致多种促炎介质和细胞因子的产生, 从而引发炎症反应[16]。相对而言, IL-10 作为一种重要的抗炎细胞因子, 主要在免疫系统中发挥抑制炎症反应的作用, 与 IL-6、IL-1 $\beta$  和 TNF- $\alpha$  不同, IL-10 主要负责调节和减轻免疫应答, 以防止过度炎症对宿主造成的损害[17]。

如图 4 结果显示, 与对照组相比, LPS 组及 5 种多糖干预组中 TNF- $\alpha$  的水平显著升高, 且 5 种多糖干预组的各个浓度水平显著低于 LPS 组( $p < 0.01$ )。IL-1 $\beta$  的检测结果显示, 与对照组相比, LPS 组和 TMIPs 干预组均表现出显著升高, 而 TMIPs 组的水平均显著低于 LPS 组( $p < 0.01$ )。对于 IL-6, 结果显示 LPS 组和低浓度 TMIPs 干预组的水平显著升高( $p < 0.01$ ), 而在 TMIPs 浓度为 100  $\mu\text{g}/\text{mL}$  时, 与对照组相比, 其水平显著降低( $p < 0.01$ )。最后, IL-10 的结果表明, 5 种多糖干预组的 IL-10 水平显著高于对照组, 与 LPS 组相比, 5 种多糖各组的 IL-10 水平均显著升高( $p < 0.01$ )。因此, 在 RAW264.7 巨噬细胞中, 5 种蒙古口蘑多糖通过调节炎症相关因子, 展现出其对炎症反应的调控作用。5 种蒙古口蘑多糖不仅能够有效抑制促炎因子的释放, 还能促进抗炎因子的释放, 从而在炎症调控中发挥重要作用。

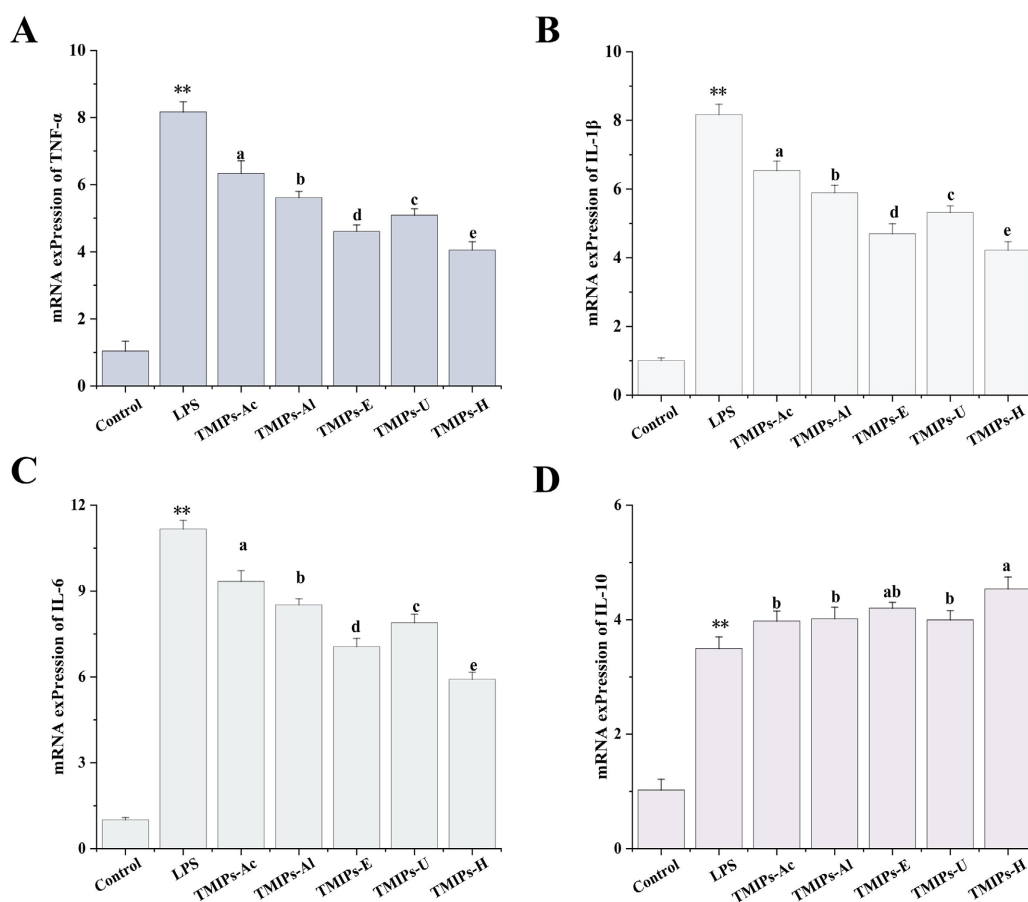


**Figure 4.** Effects of TMIPs on the level of TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$ , IL-6, and IL-10 in RAW264.7 cells. A: Level of TNF- $\alpha$ ; B: Level of IL-1 $\beta$ ; C: Level of IL-6; D: Level of IL-10. \*  $p < 0.05$  and \*\*  $p < 0.01$  compared with the normal group

**图 4.** 5 种蒙古口蘑多糖对 RAW264.7 细胞 TNF- $\alpha$ 、IL-1 $\beta$ 、IL-6 和 IL-10 水平的影响。A: TNF- $\alpha$  的含量; B: IL-1 $\beta$  的含量; C: IL-6 的含量; D: IL-10 的释放量。与 Normal 组比较

### 3.4. 不同提取工艺的蒙古口蘑多糖对 RAW264.7 细胞中炎症相关基因表达的影响

为探究 5 种蒙古口蘑多糖对 LPS 诱导的 RAW264.7 细胞炎症细胞因子释放的作用, 采用 RT-qPCR 技术检测细胞中 TNF- $\alpha$ 、IL-6、IL-1 $\beta$  和 IL-10 的 mRNA 表达。如图 5 所示, 与对照组相比, LPS 刺激后, RAW264.7 细胞中 IL-1 $\beta$ 、TNF- $\alpha$  和 IL-6 的 mRNA 表达量都极显著升高( $p < 0.01$ ), 说明造模成功; 与 LPS 组相比, 5 种多糖各组的 IL-1 $\beta$ 、TNF- $\alpha$  和 IL-6 的 mRNA 表达量都极显著降低( $p < 0.01$ ), 结果还表明, 5 种多糖可以阻止 TNF- $\alpha$  mRNA 的转录, 抑制 IL-1 $\beta$  mRNA 的合成和表达, 减少 IL-6 mRNA 的过度分泌, 促进 IL-10 mRNA 在巨噬细胞中的表达, 从而减少 LPS 刺激的炎症反应[18]。说明 5 种蒙古口蘑多糖可以下调 RAW264.7 细胞中炎症因子的基因表达, 具有很好的抗炎效果。研究表明, 单糖组成可以显著影响多糖的抗炎活性[19]。5 种多糖含有甘露糖、核糖、半乳糖醛酸、阿拉伯糖、葡萄糖和半乳糖等, 其中, 甘露糖和半乳糖能被巨噬细胞特异性识别, 并诱导细胞行为的动态变化[19]。其中, TMIPs-H 的抗炎作用比其他 4 种多糖显著, 可能是 TMIPs-H 中高摩尔比的甘露糖的存在显著影响多糖的抗炎活性。



**Figure 5.** mRNA levels of TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$ , IL-6 and IL-10 in RAW264.7 cells by RT-PCR. (A) The TNF- $\alpha$  relative mRNA expression level; (B) The IL-1 $\beta$  relative mRNA expression level; (C) The IL-6 relative mRNA expression level; (D) The IL-10 relative mRNA expression level. **图 5.** TMIPs 对 LPS 刺激的 RAW264.7 细胞中 TNF- $\alpha$ 、IL-1 $\beta$ 、IL-6 和 IL-10 mRNA 相对表达量的影响。(A) TNF- $\alpha$  mRNA 相对表达量; (B) IL-1 $\beta$  mRNA 相对表达量; (C) IL-6 mRNA 相对表达量; (D) IL-10 mRNA 相对表达量

## 4. 结论

在 LPS 刺激的 RAW 264.7 细胞中, 五种蒙古口蘑多糖表现出显著的抗炎作用, 能够有效调节细胞内

的炎症因子水平。具体而言, 这些多糖显著降低了 TNF- $\alpha$ 、IL-1 $\beta$  和 IL-6 等促炎细胞因子的水平, 并且显著提高了 IL-10 这一抗炎因子的水平。此外, 研究还发现, 这些蒙古口蘑多糖能够有效抑制 NO 的产生, 进一步减轻了炎症反应。在分子水平上, 五种蒙古口蘑多糖均显著降低了 RAW 264.7 细胞中 TNF- $\alpha$ 、IL-1 $\beta$  和 IL-6 的 mRNA 表达, 而同时促进了 IL-10 的 mRNA 表达。结果证实这些多糖不仅能够调节炎症因子的蛋白质水平, 还能够通过抑制促炎因子的转录水平和增强抗炎因子的表达, 从而在免疫反应中发挥积极的调节作用。此外, TMIPs-H 展现出了更为强效的免疫调节作用, 能够更加显著地抑制促炎因子的表达, 并在调节炎症反应方面发挥更强的作用, 表明其在抗炎疗法中的潜力, 主要原因在于 TMIPs-H 单糖组成中具有丰富的甘露糖和半乳糖。综合来看, 五种蒙古口蘑多糖都表现出了显著的抗炎活性, 尤其是 TMIPs-H, 这为其作为潜在的天然抗炎药物提供了理论依据。未来的研究可以进一步探讨这些多糖的具体作用机制, 并评估它们在临床抗炎治疗中的应用前景。

天然多糖的研究作为现在科研人员的研究热点之一, 目前的研究还仍存在很多局限性。实验中使用的是蒙古口蘑粗多糖, 然而, 粗多糖的组分结构复杂, 包含多种不同的活性成分。因此, 后续研究可以着手对蒙古口蘑多糖进行进一步的分离和纯化, 以获取更高纯度的多糖样品。有助于深入了解不同纯化组分的生物活性, 并探究其在体外消化酵解过程中所表现出的特征。多糖作为天然产品的主要活性成分, 在生理功能方面展现出丰富的多样性。通过动物实验, 可以有效评估多糖对肠道微生物组成的影响及其与生理指标之间的关系。后续研究可以通过动物实验, 观察 5 种蒙古口蘑多糖给药后对动物体内肠道菌群变化的影响, 包括对有益菌和有害菌的相对丰度的调节情况。此外, 可以评估多糖对动物生长、代谢及抗炎的影响。

## 参考文献

- [1] Shao, W., Shu, Y., Wang, Y., Deng, Y., Zhang, N., Liu, X., *et al.* (2026) Effects of Sulfated Tricholoma Mongolum Imai Polysaccharides on Scallop Mince Gel Properties: Mechanisms and Structural Analysis. *International Journal of Biological Macromolecules*, **362**, Article 152082. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2026.152082>
- [2] 张楠. 蒙古口蘑多糖的提取, 改性及其在扇贝凝胶中的应用[D]: [硕士学位论文]. 保定: 河北农业大学, 2022.
- [3] Zhang, N., Yang, B., Mao, K., Liu, Y., Chitrakar, B., Wang, X., *et al.* (2022) Comparison of Structural Characteristics and Bioactivity of Tricholoma Mongolicum Imai Polysaccharides from Five Extraction Methods. *Frontiers in Nutrition*, **9**, Article 962584. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.962584>
- [4] Yang, B., Zhang, X., Zhu, J., Wu, Q., Yang, B., Chitrakar, B., *et al.* (2024) Effect of Extraction Methods of Polysaccharides from Tricholoma Mongolicum Imai on Digestion and Fecal Fermentation *in Vitro*. *Food Chemistry: X*, **24**, Article 101725. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101725>
- [5] 李鑫, 李建勋, 王雨萌, 等. 复合酶法提取蒙古口蘑多糖工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. *粮食与油脂*, 2024, 37(3): 111-126.
- [6] Ehmedah, A., Nedeljkovic, P., Dacic, S., Repac, J., Draskovic-Pavlovic, B., Vučević, D., *et al.* (2020) Effect of Vitamin B Complex Treatment on Macrophages to Schwann Cells Association during Neuroinflammation after Peripheral Nerve Injury. *Molecules*, **25**, Article 5426. <https://doi.org/10.3390/molecules25225426>
- [7] Wang, J., Zhao, Y., Li, W., Wang, Z. and Shen, L. (2015) Optimization of Polysaccharides Extraction from Tricholoma Mongolicum Imai and Their Antioxidant and Antiproliferative Activities. *Carbohydrate Polymers*, **131**, 322-330. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.06.009>
- [8] Li, M., Zhang, Y., Lu, Q., Gao, Y., Ye, T., Wang, C., *et al.* (2022) Structure, Bioactivities and Applications of the Polysaccharides from Tricholoma Matsutake: A Review. *Food Science and Technology*, **42**, e44922. <https://doi.org/10.1590/fst.44922>
- [9] Jen, C.I., Qiu, W.L., Chao, C.H. and Lu, M.K. (2025) Structural Characterization and Biological Activities of Sulfated Polysaccharides from Antrodia Cinnamomea. *International Journal of Biological Macromolecules*, **329**, Article 147801. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.147801>
- [10] Qiu, W.L., Chao, C.H., Hsu, Y.C. and Lu, M.K. (2024) Anti-Inflammatory Potential of Low-Molecular-Weight and High-Sulfation-Degree Sulfated Polysaccharides Extracted from Antrodia Cinnamomea. *International Journal of Biological Macromolecules*, **277**, Article 134360. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134360>

- 
- [11] Yuan, D., Li, C., Huang, Q., Fu, X. and Dong, H. (2023) Current Advances in the Anti-Inflammatory Effects and Mechanisms of Natural Polysaccharides. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **63**, 5890-5910. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2025535>
- [12] 安琪. 青钱柳多糖对 RAW264.7 细胞的抗氧化和抗炎作用及机理探究[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 江西农业大学, 2020.
- [13] Chu, Q., Jia, R., Chen, M., Li, Y., Yu, X., Wang, Y., *et al.* (2019) Tetrastigma Hemsleyanum Tubers Polysaccharide Ameliorates LPS-Induced Inflammation in Macrophages and Caenorhabditis Elegans. *International Journal of Biological Macromolecules*, **141**, 611-621. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.09.039>
- [14] Cyr, A.R., Huckaby, L.V., Shiva, S.S. and Zuckerbraun, B.S. (2020) Nitric Oxide and Endothelial Dysfunction. *Critical Care Clinics*, **36**, 307-321. <https://doi.org/10.1016/j.ccc.2019.12.009>
- [15] Shen, Y., Wu, S., Song, M., Zhang, H., Zhao, H., Wu, L., *et al.* (2024) The Isolation, Structural Characterization and Anti-Inflammatory Potentials of Neutral Polysaccharides from the Roots of Isatis Indigotica Fort. *Molecules*, **29**, Article 2683. <https://doi.org/10.3390/molecules29112683>
- [16] Ye, J., Ye, C., Huang, Y., Zhang, N., Zhang, X. and Xiao, M. (2019) Ginkgo biloba Sarcotesta Polysaccharide Inhibits Inflammatory Responses through Suppressing Both NF- $\kappa$ b and MAPK Signaling Pathway. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **99**, 2329-2339. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9431>
- [17] Haddad, J.J. and Fahlman, C.S. (2002) Redox- And Oxidant-Mediated Regulation of Interleukin-10: An Anti-Inflammatory, Antioxidant Cytokine? *Biochemical and Biophysical Research Communications*, **297**, 163-176. [https://doi.org/10.1016/s0006-291x\(02\)02094-6](https://doi.org/10.1016/s0006-291x(02)02094-6)
- [18] Neurath, M.F. (2014) Cytokines in Inflammatory Bowel Disease. *Nature Reviews Immunology*, **14**, 329-342. <https://doi.org/10.1038/nri3661>
- [19] Hou, C., Chen, L., Yang, L. and Ji, X. (2020) An Insight into Anti-Inflammatory Effects of Natural Polysaccharides. *International Journal of Biological Macromolecules*, **153**, 248-255. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.315>