

桦褐孔菌人参复配粉提取工艺优化 及其对小鼠脾细胞CD69表达的影响

余斯婷, 唐书媛, 冯淑婷, 张新民, 付雯雯, 武毅*

(吉林大学药学院, 长春 130021)

摘要: **目的** 本研究旨在优化桦褐孔菌人参复配粉的提取工艺, 并评价其对脾细胞早期活化标志CD69表达的影响。**方法** 以总多糖提取率为指标, 采用 $L_9(3^4)$ 交互作用实验考察提取时间、用水量、提取次数对总多糖提取率的影响, 确定桦褐孔菌人参复配粉的最佳提取工艺。提取小鼠原代脾细胞, CCK-8法测定桦褐孔菌人参复配粉对小鼠脾细胞的活力; 设置阴性对照组、荧光减一(FMO)对照组、刀豆蛋白A(ConA)组($2.5 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)及桦褐孔菌人参复配粉组($100 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$), 流式细胞术检测CD69阳性细胞率。**结果** 最佳提取工艺为用水量10倍, 提取3次, 每次1 h, 验证实验多糖提取率为 $1.893\%\pm 0.064\%$ 。CCK-8实验显示复配粉浓度 $100 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时, 细胞活力达 $190.01\%\pm 11.95\%$ ($P<0.0001$)。流式细胞术结果显示, 桦褐孔菌人参复配粉能够诱导自然杀伤(NK)细胞、巡逻单核细胞和炎性单核细胞的CD69表达显著上调, 而几乎不触发 CD4^+ T细胞、 CD8^+ T细胞、B细胞活化。**结论** 优化的桦褐孔菌人参复配粉提取工艺为10倍用水量, 提取3次, 每次1 h, 工艺稳定可行, 所得复配粉在体外可诱导NK细胞、单核细胞早期活化, 具有免疫增强潜力。

关键词: 桦褐孔菌; 人参; 免疫调节; CD69

中图分类号: R967

文献标志码: A

文章编号: 2095-6258(2026)08-0949-07

Optimization of the extraction process of Inonotus obliquus and Ginseng compound powder and its effect on CD69 expression in mouse splenocytes

YU Siting, TANG Shuai, FENG Shuting, ZHANG Xinmin, FU Wenwen, WU Yi*

(School of Pharmacy, Jilin University, Changchun 130021, China)

Abstract: **Objective** To optimize the extraction process of Inonotus obliquus and Ginseng compound powder and to evaluate its effect on the expression of the early activation marker CD69 in splenocytes. **Methods** Using the extraction yields of total polysaccharides as indicators, an $L_9(3^4)$ interaction experiment was conducted to investigate the effects of extraction time, water volume, and number of extraction cycles on the extraction yields of total polysaccharides, thereby determining the optimal extraction process for Inonotus obliquus and Ginseng compound powder. Primary mouse splenocytes were isolated. The cell viability of Inonotus obliquus and Ginseng compound powder on mouse splenocytes was assessed by Cell Counting Kit-8 (CCK-8) assay. The negative control group, the fluorescence minus one (FMO) control group, the Concanavalin A (ConA) group ($2.5 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$), and the Inonotus obliquus and Ginseng compound powder group ($100 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) were set up. The percentage of CD69-positive cells was detected by flow cytometry. **Results** The optimal extraction process was water addition of 10 times the material weight, extraction for 3 cycles and 1 hour per cycle, and verification experiments showed that the extraction rate of

基金项目: 吉林省科技厅医药健康处项目 (20240401052YY)

作者简介: 余斯婷 (2003—), 女, 硕士研究生, 主要从事免疫药理学方面研究

*通信作者: 武毅, 男, 教授, 博士研究生导师, 电子邮箱-wuyi@jlu.edu.cn

polysaccharides was $1.893\% \pm 0.064\%$. The CCK-8 assay indicated that at a concentration of $100 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$, the cell viability reached $190.01\% \pm 11.95\%$ ($P < 0.0001$). Flow cytometry results showed that the *Inonotus obliquus* and Ginseng compound powder significantly upregulated CD69 expression in natural killer (NK) cells, patrolling monocytes, and inflammatory monocytes, while barely triggering the activation of CD4^+ T cells, CD8^+ T cells, or B cells. **Conclusion** The optimized extraction process for the *Inonotus obliquus* and Ginseng compound powder is extraction with 10-fold water for 3 cycles of 1 hour each. This process is stable and feasible. The resulting compound powder can induce early activation of NK cells and monocytes in vitro, demonstrating potential for immune enhancement.

Keywords: *Inonotus obliquus*; Ginseng; immune regulation; CD69

桦褐孔菌 (*Inonotus obliquus*) 又名桦树茸或白桦茸, 是一种主要寄生于白桦树上的药食两用真菌, 主要分布于北半球寒带地区, 在中国主要分布于吉林省长白山地区、黑龙江省大小兴安岭以及内蒙古等地。桦褐孔菌活性成分主要为多糖、黄酮、桦褐孔菌素、多酚等^[1]。现代药理学研究表明, 桦褐孔菌具有激活免疫^[2]、抗肿瘤^[3]、降血糖^[4]等多种生物活性。多糖是桦褐孔菌最主要的活性成分之一, 其免疫调节作用尤为突出, 可通过增强巨噬细胞功能、促进T淋巴细胞功能、增强免疫信号通路等途径增强机体免疫功能^[5-6]。人参 (*Panax ginseng*) 为五加科植物人参的干燥根, 是我国传统名贵中药材, 被誉为“百草之王”, 其活性成分人参多糖不仅表现出抗肿瘤、神经保护、心血管保护等多重药理活性^[7], 还能够增强机体非特异性免疫和特异性免疫功能, 对免疫细胞具有调节作用^[8]。

中药合理配伍可起到协同增效、减毒增敏的作用。中医理论认为, 桦褐孔菌性偏凉、味微苦, 归肺、脾、肾三经, 扶正祛邪, 益气养血^[9]; 人参性温, 大补元气、补脾益肺。二者配伍, 寒温并用, 相反相成, 人参温补可制桦褐孔菌之凉, 防其清解伤正, 桦褐孔菌清透又能疏散人参壅补酿生之内热, 使整体药性趋于平和^[10]。

CD69是一种重要的细胞表面标志物, 又被称为活化诱导分子。CD69在静息状态的免疫细胞中几乎不表达, 在免疫细胞受到刺激后快速表达上调^[11], 并可通过与S1PR1相互作用, 抑制淋巴细胞迁出淋巴结, 从而调控免疫应答的强度和持续时间^[12]。检测CD69表达可反映免疫细胞的早期活化状态, 是评价药物免疫调节活性的常用指标。

目前, 关于桦褐孔菌人参复配提取物的制备工艺优化及其免疫调节活性研究尚不充分, 特别是对免疫细胞CD69表达的影响未见系统报道。本研究以

总多糖提取率为指标, 优化桦褐孔菌人参复配粉的提取工艺, 测定总多糖提取率, 并采用流式细胞术检测桦褐孔菌人参复配粉对小鼠脾脏T细胞、B细胞、自然杀伤 (natural killer, NK) 细胞及单核细胞CD69表达的调控作用, 初步探究其在免疫细胞初始应答层面的作用特征, 为桦褐孔菌人参复配粉的应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 实验动物 SPF级雄性C57BL/6小鼠, 6~8周龄, 体质量18~22 g, 购自斯贝福(北京)生物技术有限公司[许可证号: SCXK(京)2024-0001]。小鼠饲养于恒温(22 ± 2) °C、恒湿(50 ± 10) %环境下, 自由摄食饮水。所有动物实验操作均经过吉林大学动物伦理委员会批准(批准号: 20240070), 并遵循国家实验动物管理与使用指南。

1.1.2 材料来源 桦褐孔菌药材2025年10月购自抚松县正纯商贸有限公司, 人参药材2025年10月购自河北新京源药业。

1.1.3 主要试剂 无水葡萄糖(广东光华科技股份有限公司, 1006580-1.18327.010); 硫酸(成都科隆化学品有限公司, 1007186-AR); 蒽酮(上海阿拉丁生化科技股份有限公司, A#A108571); 香草醛(安徽泽升科技有限公司, JT-011004-E120257000); 冰醋酸(广东光华科技股份有限公司, 1006546-1.14100.058); 甲醇(安徽泽升科技有限公司, 1001522-A040901); 正丁醇(广东光华科技股份有限公司, 1006615-1.17030.023); RPMI-1640基础培养基(Sigma-Aldrich, BC-M-017-500 mL); 胎牛血清(南京森贝伽生物科技有限公司, BC-SE-FBS07-500 mL); 磷酸盐缓冲液(phosphate-buffered saline, PBS)(Sigma-Aldrich, C3580-0500); 红细胞裂解液(北京索莱宝科技有限公司; R1010); 台盼蓝

(Merck KGaA, T6146); Cell Counting Kit-8 (CCK-8, Med Chem Express, HY-K0301-5 mL); 流式染色缓冲液 (北京索莱宝科技有限公司, CA2490); PE-CD69 抗体 (斯达特生物技术有限公司, S0B8593); FITC-CD4 抗体 (斯达特生物技术有限公司, S0B5092); FITC-CD8 α 抗体 (斯达特生物技术有限公司, S0B5120); FITC-CD19 抗体 (斯达特生物技术有限公司, S0B1647); FITC-CD11b 抗体 (斯达特生物技术有限公司, S0B1808); APC-CD3 抗体 (斯达特生物技术有限公司, S0B5819); APC-Ly-6C 抗体 (斯达特生物技术有限公司, S0B5971); Alexa Fluor 647-NK1.1 抗体 (斯达特生物技术有限公司, S0B5488)。

1.1.4 主要仪器 电水壶 (广东美的生活电器制造有限公司, MK-YS17J3-316); 真空减压干燥箱 (上海博讯医疗生物仪器股份有限公司, BZF-50); 酶标仪 (安捷伦生物有限公司, BioTek Synergy H1); 电热恒温水浴锅 (杭州聚同电子有限公司, JTDC-0506); CO₂ 培养箱 (Thermo Fisher Scientific, 371); 流式细胞仪 (安捷伦生物有限公司, NovoCyte 2000R); 精密天平 (奥豪斯仪器有限公司, PR124ZH); 血球细胞计数板 (Paul Marienfeld GmbH & Co. KG, 0640110); 医用离心机 (安徽嘉文仪器装备有限公司, JW-2019HR)。

1.2 桦褐孔菌人参复配粉提取工艺优化

1.2.1 交互作用试验设计 根据《食品安全地方标准桦褐孔菌》(DBS22/034-2022)^[13]及《中华人民共和国药典》^[14]对桦褐孔菌和人参用法用量的规定,并结合文献报道中二者发挥免疫调节作用的有效剂量,确定桦褐孔菌人参复配粉的拟定配方(每日食用量)为:人参2.5 g,桦褐孔菌5 g。为满足后续实验需求,提取工艺优化实验将拟定配方等比放大,保持两者配比不变,故选取15 g人参、30 g桦褐孔菌作为提取方案的剂量。由于提取所用水量(因素A)、提取时间(因素B)及提取次数(因素C)对提取效率的影响较大,因此选择该因素设计交互作用试验,同时选择固定3组不同的用水量与提取时间、不固定提取次数,按表1的要求进行提取,提取液在40℃ 1 kPa条件下真空减压干燥,以总多糖提取率为评价指标优选提取工艺。

1.2.2 多糖含量测定 使用硫酸蒽酮法测定多糖含量,以葡萄糖标准品溶液作标准曲线。标准曲线方

表1 桦褐孔菌人参提取交互作用因素水平表

水平	用水量(倍)	提取时间/h	提取次数/次
	A-B		C
1	10-1		1
2	15-1.5		2
3	20-2		3

注: A-B为组合因素

程为 $Y=0.7871X+0.0004$, $R^2=0.9501$ ($n=6$)。取水提物粉末约0.5 g,热水溶解后,加入乙醇至终浓度为70%,4℃摇匀12 h,离心,弃上清。沉淀用热水溶解至50 mL,摇匀,离心,精密量取上清液700 μ L,加水至2 mL,摇匀,即得供试品溶液。取1 mL供试品溶液,加入硫酸蒽酮溶液3 mL,摇匀,放置15 min后冰浴15 min,在625 nm波长处测定吸光度。

1.2.3 验证实验 按确定的最佳工艺条件重复提取3次,测定总多糖提取率,验证工艺稳定性。

1.3 桦褐孔菌人参复配粉对小鼠脾细胞CD69表达的影响

1.3.1 脾细胞悬液制备 取6~8周龄C57BL/6小鼠,无菌采集脾细胞悬液,过滤,加入红细胞裂解液,静置5 min,加入含2%胎牛血清的PBS终止裂解,离心,弃上清,加入PBS重悬,过滤。取10 μ L细胞悬液稀释,计数。剩余细胞悬液离心后弃上清,加入适量培养基重悬,备用。

1.3.2 CCK-8法检测脾细胞活力 设置复配粉浓度梯度0、6.25、12.5、25、50、100、200 μ g $\cdot$ mL⁻¹,每个浓度设3个复孔。取脾细胞悬液接种于96孔板,每孔100 μ L。随后每孔加入100 μ L含相应浓度复配粉的培养基,每孔终体积为200 μ L,37℃、5% CO₂培养箱培养24 h。每孔加入CCK-8试剂20 μ L,继续培养4 h,450 nm下测定光密度(optical density, OD)值,计算细胞活力。细胞活力(%)=(实验组_{OD}-实验空白组_{OD})/(对照组_{OD}-空白组_{OD}) $\times$ 100%。

1.3.3 CD69表达检测 称取适量桦褐孔菌人参复配粉,用RPMI-1640完全培养基溶解,0.22 μ m微孔滤膜过滤除菌,备用。设置未染色对照、单染对照、阴性对照、刀豆蛋白A(Concanavalin A, ConA)组(2.5 μ g $\cdot$ mL⁻¹)、荧光减一(fluorescence minus one, FMO)对照组和桦褐孔菌人参复配粉组(100 μ g $\cdot$ mL⁻¹)。将分离C57BL/6小鼠脾淋巴细胞,调整细胞密度至每毫升 2×10^6 个,悬液接种入6孔板,随即各组加入相应的含药培养基,各孔终体积3 mL,置于

37℃、5% CO₂培养箱中培养 24 h。培养结束后，收集细胞，离心，弃上清，加入适量染色缓冲液重悬细胞，计数，加入 Fc 受体阻断剂，室温孵育 10 min。依据检测细胞亚群加入相应荧光抗体，冰上避光孵育 20 min。孵育结束后，染色缓冲液洗涤 2 次，重悬细胞，备检。采用 NovoExpress 软件进行数据分析。设门策略如下：先通过前向散射光（forward scatter, FSC）/侧向散射光（side scatter, SSC）设门圈定淋巴细胞，依次圈定 CD4⁺ T 细胞（CD3⁺, CD4⁺）、CD8⁺ T 细胞（CD3⁺, CD8α⁺）、B 细胞（CD19⁺）、NK 细胞（NK1.1⁺）和单核细胞（CD11b⁺, Ly-6C⁺）。针对每个亚群，以相应 FMO 对照管设定阳性门，计算 PE-CD69 阳性细胞百分比。

1.4 统计学方法

交互作用试验和 CCK-8 试验结果使用 Graphpad Prism 软件进行分析，流式细胞术实验使用 NovoExpress 软件和 Graphpad Prism 软件进行分析，以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 交互作用试验结果

以总多糖提取率为指标，利用交互作用试验优化桦褐孔菌人参提取工艺参数，结果见表 2、表 3。由表可得，交互作用因素的离差平方和比较，因素 C 对提取率影响较大。K 值越大表明某因素在某水平下效果越好，仅从各因子最佳水平组合考虑，工艺 A₂B₂C₃ 为最优。实验数据表明，工艺 A₂B₂C₃ 的多糖提取率仅为 1.306%，而工艺 A₁B₁C₃ 的多糖提取率为 1.829%。图 1 表现了不同因素 A-B 组合下，总多糖提取率随因素 C 的变化趋势。由图 1 可见，因素 A₁B₁ 组合随因素 C 水平上升，多糖提取率急剧上升，A₂B₂ 则趋于平缓，A₃B₃ 增幅居中，提示因素 C 与因素 A-B 存在交互作用。因此，本实验基于实测多糖提取率与交互作用图所反映的实际趋势，确定最优工艺条件为 A₁B₁C₃，并进行验证试验。3 次验证试验结果见表 4，相对标准偏差（relative standard deviation, RSD）值为 3.35%，优化工艺稳定可靠。

2.2 桦褐孔菌人参复配粉对小鼠脾细胞 CD69 表达的影响

2.2.1 CCK-8 实验结果 CCK-8 法检测不同浓度复配粉处理 24 h 后脾细胞存活率，结果见表 5、图 2。与 0 μg·mL⁻¹ 相比，桦褐孔菌人参复配粉有效提升脾

表 2 桦褐孔菌人参提取交互作用试验总多糖考察

试验号	A-B	C	D（空白）	E（空白）	总多糖提取率/%
1	1	1	1	1	0.378
2	1	2	2	2	1.012
3	1	3	3	3	1.829
4	2	1	2	3	0.947
5	2	2	3	1	1.262
6	2	3	1	2	1.306
7	3	1	3	2	0.789
8	3	2	1	3	1.108
9	3	3	2	1	1.467
K ₁	1.073	0.705	0.931	1.036	
K ₂	1.172	1.127	1.142	1.036	
K ₃	1.121	1.534	1.293	1.295	
R	0.099	0.829	0.363	0.259	

表 3 总多糖方差分析结果

方差来源	离差平方和	自由度	F 比	P 值
A-B	0.014 6	2	0.088	$P>0.05$
C	1.031 9	2	6.193	$0.05<P<0.1$
误差（D+E）	0.333 2	4		

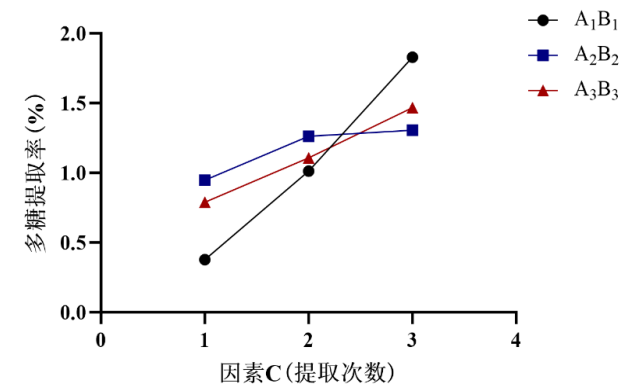


图 1 多糖提取率交互作用图

表 4 交互作用试验验证试验结果

试验序号	吸光度	提取率/%
1	0.347	1.829
2	0.353	1.956
3	0.349	1.894

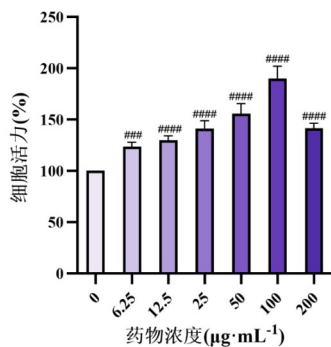
细胞活力，当浓度达到 100 μg·mL⁻¹ 时作用最强，细胞活力达到 190.01%±11.95% ($P<0.000 1$)，因此，选择 100 μg·mL⁻¹ 作为后续实验浓度。

2.2.2 流式细胞术结果 流式细胞术检测桦褐孔菌人参复配粉对小鼠脾脏不同免疫细胞亚群早期活化标志物 CD69 表达的影响，结果见图 3、图 4、图 5、图 6、图 7。

表5 不同浓度桦褐孔菌人参复配粉溶液对脾细胞活力的影响($\bar{x} \pm s$, $n=3$)

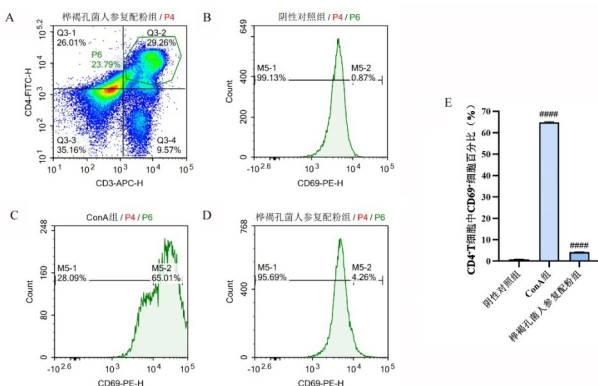
药物浓度/($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)	细胞活力/%
0	100.00 $\pm$ 0.00
6.25	123.34 $\pm$ 4.49 ^{###}
12.5	129.65 $\pm$ 4.38 ^{####}
25	141.04 $\pm$ 7.73 ^{####}
50	155.56 $\pm$ 9.87 ^{####}
100	190.01 $\pm$ 11.95 ^{####}
200	141.41 $\pm$ 5.04 ^{####}

注:与0 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 比较, ^{###} $P < 0.001$, ^{####} $P < 0.0001$



注:与0 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 比较, ^{###} $P < 0.001$, ^{####} $P < 0.0001$

图2 不同浓度桦褐孔菌人参复配粉溶液对脾细胞活力的影响

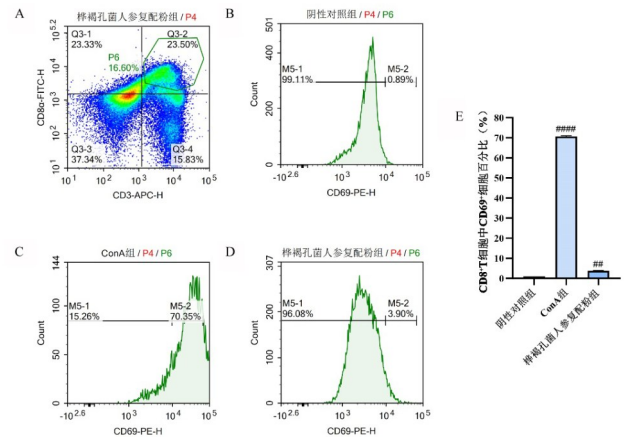


注: A为桦褐孔菌人参复配粉组CD4⁺T细胞圈门策略(CD3⁺CD4⁺); B、C、D、E分别为阴性对照组、ConA组和桦褐孔菌人参复配粉组的CD69表达直方图和统计结果。与阴性对照组比较, ^{####} $P < 0.0001$

图3 CD4⁺T细胞CD69表达分析

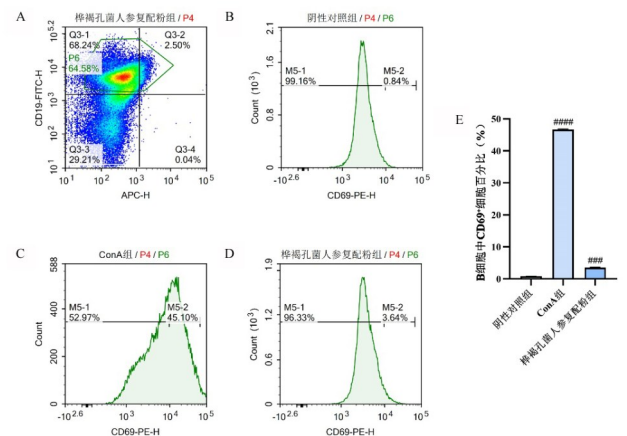
3 讨论

桦褐孔菌营养丰富, 含有多种生物活性成分, 具有免疫调节、降血糖等功能。人参大补元气, 具有广泛的药理活性。本研究设计交互作用试验, 综合考虑溶剂用量、提取时间、提取次数三因素, 以总多糖提取率为指标, 筛选桦褐孔菌人参复配粉提



注: A为桦褐孔菌人参复配粉组CD8⁺T细胞圈门策略(CD3⁺CD8⁺); B、C、D、E分别为阴性对照组、ConA组和桦褐孔菌人参复配粉组的CD69表达直方图与统计结果。与阴性对照组比较, ^{##} $P < 0.01$, ^{####} $P < 0.0001$

图4 CD8⁺T细胞CD69表达分析

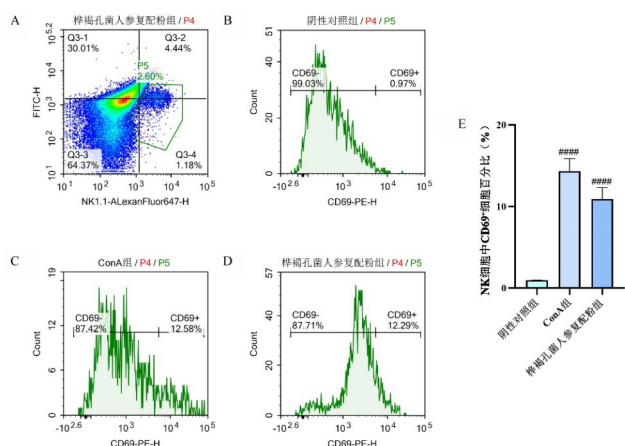


注: A为桦褐孔菌人参复配粉组B细胞圈门策略(CD19⁺); B、C、D、E分别为阴性对照组、ConA组和桦褐孔菌人参复配粉组的CD69表达直方图与统计结果。与阴性对照组比较, ^{###} $P < 0.001$, ^{####} $P < 0.0001$

图5 B细胞CD69表达分析

取的最佳工艺。CCK-8结果显示, 桦褐孔菌人参复配粉可刺激小鼠脾细胞增殖, 提示其具有潜在的免疫调节活性。

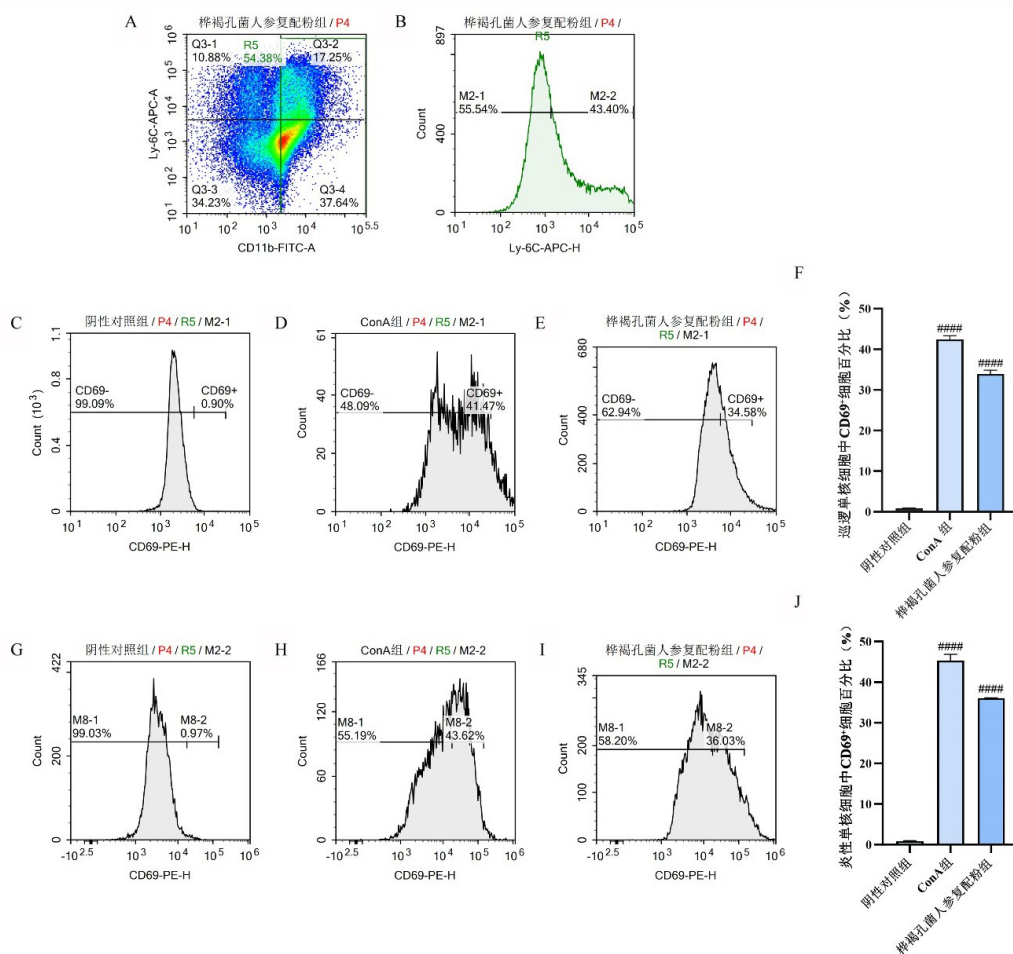
为进一步验证桦褐孔菌人参复配粉对脾细胞的活化作用, 本研究运用流式细胞术检测小鼠脾细胞各细胞亚群CD69表达。结果显示, 复配粉能够显著上调NK细胞、巡逻单核细胞和炎性单核细胞CD69表达, 上调幅度均达到ConA组的75%以上, 而CD4⁺T细胞、CD8⁺T细胞、B细胞CD69表达仅轻微升高, 远低于ConA组。NK细胞和单核细胞均属于固有免疫系统的核心效应细胞。NK细胞能够直接



注：A为桦褐孔菌人参复配粉组NK细胞圈门策略（NK1.1⁺）；B、C、D、E分别为阴性对照组、ConA组和桦褐孔菌人参复配粉组的CD69表达直方图与统计结果。与阴性对照组比较，#### $P < 0.0001$

图6 NK细胞CD69表达分析

杀伤病毒感染细胞和肿瘤细胞，同时调节免疫平衡。单核细胞在组织中分化为巨噬细胞或树突状细胞，在识别病原体、加工并提呈抗原、启动T细胞活化中扮演重要角色^[15]。实验结果提示桦褐孔菌人参复配粉可能是作用于固有免疫系统的潜在免疫激活剂。桦褐孔菌人参复配粉主要有效成分为多糖，多糖已被广泛报道具有免疫调节活性。例如，阿魏菇多糖、姬松茸多糖等真菌多糖能够促进小鼠脾细胞增殖^[16-17]，人参多糖能够刺激NK细胞分泌干扰素- γ （interferon-gamma, IFN- γ ）、肿瘤坏死因子 α （Tumor Necrosis Factor- α , TNF- α ）等多种细胞因子^[18]。研究^[19-20]证实，固有免疫细胞表面高表达多种模式识别受体，包括识别多糖特征结构的Dectin-1等C型凝集素受体，以及TLR2、TLR4等Toll样受体。在机制上，多糖可通过这些受体发挥活性，例如香杏



注：A为单核细胞圈门策略（CD11b⁺ Ly-6C⁺）；B为巡逻单核细胞（Ly-6C^{lo}）和炎性单核细胞（Ly-6C^{hi}）亚群划分；C、D、E、F分别为Ly-6C^{lo}亚群阴性对照组、ConA组和桦褐孔菌人参复配粉组CD69表达直方图与统计结果；G、H、I、J分别为Ly-6C^{hi}亚群阴性对照组、ConA组和桦褐孔菌人参复配粉组的CD69表达直方图与统计结果。与阴性对照组比较，#### $P < 0.0001$

图7 单核细胞CD69表达分析

丽蘑多糖能够通过结合 TLR4, 激活 NF- κ B 信号通路, 促使巨噬细胞分泌促炎因子, 发挥免疫刺激性^[21]。因此, 桦褐孔菌人参复配粉可能通过其有效成分多糖与固有免疫细胞模式识别受体相互作用, 激活固有免疫应答, 进而发挥免疫调节作用, 其具体分子机制有待进一步研究。

4 结论

本研究通过交互作用实验优化桦褐孔菌人参复配粉的提取工艺, 确定最佳提取条件, 所获得的提取物在体外能显著促进小鼠原代脾细胞增殖, 并可上调脾脏 NK 细胞和单核细胞表面早期活化标志物 CD69 的表达。本研究为桦褐孔菌人参复配粉作为潜在免疫调节功能食品的开发提供了科学依据。

参考文献:

- [1] 崔佳敏, 范海然, 蒯海敏, 等. 桦褐孔菌化学成分及药理活性研究进展[J]. 中国药科大学学报, 2025, 56(4): 515-523.
- [2] 张泽生, 杨超慧, 梁丽雅. 桦褐孔菌多糖对小鼠免疫功能的影响[J]. 食品科技, 2008(4): 234-236.
- [3] 谭汇轩, 王玥婷, 米云冲, 等. 桦褐孔菌抗肿瘤物质及作用机制研究进展[J]. 食用菌学报, 2025, 32(1): 102-115.
- [4] 陈盛宇, 张淑梅, 王玉霞, 等. 桦褐孔菌菌丝体多糖提取工艺优化及其降血糖能力测定[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(19): 110-117.
- [5] 张慧丽, 杨松, 宋雅娜, 等. 桦褐孔菌不同提取成分对小鼠免疫功能比较研究[J]. 微生物学杂志, 2007, 27(6): 20-23.
- [6] ZHANG S, ZHANG W, WU X, et al. Inonotus obliquus Polysaccharides: Preparation, structural characteristics, structure-activity relationships, biological activities and applications[J]. Nutrients, 2026, 18(7): 1125.
- [7] GUO M, SHAO S, WANG D, et al. Recent progress in polysaccharides from Panax ginseng C. A. Meyer[J]. Food & Function, 2021, 12(2): 494-518.
- [8] 李高峰, 张扬, 魏琳. 人参多糖药理作用研究进展[J]. 吉林医学, 2025, 46(5): 1192-1194.
- [9] 张文彭, ZHANG Y. 桦褐孔菌中医作用特点分析[J]. 国际中医中药杂志, 2019, 41(7): 776-780.
- [10] 李朝霞, 王丽鸣, 曲艺, 等. 人参和桦褐孔菌配伍在中医治未病中的应用[J]. 长春中医药大学学报, 2025, 41(7): 804-810.
- [11] CIBRIAN D, SANCHEZ-MADRID F. CD69: from activation marker to metabolic gatekeeper[J]. European Journal of Immunology, 2017, 47(6): 946-953.
- [12] BANKOVICH A J, SHIOW L R, CYSTER J G. CD69 suppresses sphingosine 1-phosphate receptor-1 (S1P1) function through interaction with membrane helix 4[J]. Journal of Biological Chemistry, 2010, 285(29): 22328-22337.
- [13] 吉林省卫生健康委员会. 食品安全地方标准桦褐孔菌: DBS22/034-2022[S]. 长春: 吉林省卫生健康委员会, 2022.
- [14] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 一部[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2025.
- [15] MARZIO R, MAUËL J, BETZ-CORRADIN S. CD69 and regulation of the immune function[J]. Journal of Immunopharmacology, 2008, 21(3): 565-582.
- [16] 史茜, 胡都斯·艾尔肯, 龙志新, 等. 阿魏菇粗多糖体外脾细胞调节功能及体内疫苗佐剂功能的研究[J]. 动物医学进展, 2022, 43(7): 57-63.
- [17] 李雨鑫, 盛瑜, 杜培革, 等. 姬松茸多糖的提取及其对 D-半乳糖诱导衰老小鼠的免疫调节作用[J]. 食品工业科技, 2019, 40(12): 295-299, 308.
- [18] TAO R, LU K, ZONG G, et al. Ginseng polysaccharides: Potential antitumor agents [J]. Journal of Ginseng Research, 2023, 47(1): 9-22.
- [19] 程和, 苗贵芝, 马彦. 烟曲霉相关 C 型凝集素受体研究进展[J]. 医学分子生物学杂志, 2024, 21(3): 287-292.
- [20] 刘昕詠, 张彦洁, 罗茂财, 等. 固有免疫细胞及其模式识别受体与表观遗传学调控研究进展[J]. 生命科学, 2014, 26(8): 846-851.
- [21] SANDIPTA G, SOMANJANA K, ADHIRAJ D, et al. Crude polysaccharide from the milky mushroom, Calocybe indica, modulates innate immunity of macrophage cells by triggering MyD88-dependent TLR4/NF- κ B pathway [J]. Journal of Pharmacy and Pharmacology, 2020, 73(1): 70-81.