

酵解与水解食用菌多糖对脾胃损伤小鼠 调节作用的比较研究

徐文玲, 李大军*, 李春雨, 王园园, 赵清香

(吉林农业大学食品科学与工程学院, 长春 130118)

摘 要: **目的** 研究酵解与水解食用菌多糖对脾胃损伤小鼠的影响, 并比较二者对脾胃损伤小鼠的调节作用。**方法** 50 只 SPF 级 ICR 小鼠, 分成空白组、模型组、阳性对照组、水解食用菌多糖组和酵解食用菌多糖组, 每组雌雄各半。采用高脂高糖加酒法建立脾胃损伤模型, 测定小鼠脏器指数、血清中超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、丙二醛(malondialdehyde, MDA)、一氧化氮(nitric oxide, NO)、肿瘤坏死因子(tumor necrosis factor- α , TNF- α)、白介素-6 (interleukin-6, IL-6)、胃泌素(gastrin, GAS)、胃动素(motilin, MTL)、二胺氧化酶(diamine oxidase, DAO)、谷丙转氨酶(glutamic-pyruvic transaminase, AST)、谷草转氨酶(glutamic-pyruvic transaminase, ALT)、肌酐(creatinine, CRE)和尿素氮(urea nitrogen, BUN)水平。利用主成分分析提取主成分并对各组间小鼠进行评分。**结果** 相较于模型组, 水解食用菌多糖与酵解食用菌多糖组 GAS、SOD 水平极显著上升($P<0.01$), MTL 水平呈显著与极显著上升($P<0.05$ 与 $P<0.01$), TNF- α 、BUN、AST 水平极显著降低($P<0.01$), ALT 水平显著降低($P<0.05$), NO、IL-6、MDA、CRE、DAO 水平呈显著或极显著降低($P<0.05$ 或 $P<0.01$)。主成分分析评分图显示, 模型组与干预组小鼠间有明显分离, 且与水解食用菌多糖组相比, 酵解食用菌多糖组和模型组之间的分离度更高。**结论** 酵解食用菌多糖和水解食用菌多糖均可通过提升机体免疫力和抗氧化能力, 改善脾胃损伤伴随的炎症反应及肝肾代谢功能, 且酵解食用菌多糖对小鼠的脾胃损伤具有更优的调节作用。

关键词: 酵解; 食用菌多糖; 脾胃损伤; 代谢能力; 主成分分析

Comparative study on regulating effects of glycolysis and hydrolysis of edible fungus polysaccharides on spleen and stomach injury mice

XU Wen-Ling, LI Da-Jun*, LI Chun-Yu, WANG Yuan-Yuan, ZHAO Qing-Xiang

(College of Food Science and Engineering, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

ABSTRACT: Objective To study the effects of glycolysis and hydrolysis of edible fungus polysaccharides on spleen and stomach injury mice, and compare their regulatory effects on spleen and stomach injury mice. **Methods** Fifty SPF ICR mice were divided into blank group, model group, positive control group, water-extracted mushroom polysaccharide group and glycolic mushroom polysaccharide group, with male and female in half in each group. The spleen and stomach injury model was established by the method of high fat, high sugar and wine, the viscera index, serum levels of superoxide dismutase (SOD), malondialdehyde (MDA), nitric oxide (NO), tumor necrosis factor- α

基金项目: 吉林省市场监督管理局项目(BY-FWZB-20200905)

Fund: Supported by the Jilin Province Department of Market Supervision and Administration Project (BY-FWZB-20200905)

*通信作者: 李大军, 教授, 主要研究方向为食品营养与功能。E-mail: lidajunfeed@sina.com

*Corresponding author: LI Da-Jun, Professor, Jilin Agricultural University, No.2888, Xincheng Road, Nanguan District, Changchun 130118, China. E-mail: lidajunfeed@sina.com

(TNF- α), interleukin-6 (IL-6), gastrin (GAS), motilin (MTL), diamine oxidase (DAO), glutamic-pyruvic transaminase (AST), glutamic-pyruvic transaminase (ALT) and creatinine (CRE) were determined and urea nitrogen (BUN) levels. Principal component analysis was used to extract principal components and score mice in each group. **Results** Compared with model group, the levels of GAS and SOD in the hydrolysis and fermentation groups were significantly increased ($P<0.01$), the MTL level was increased significantly and extremely significantly ($P<0.05$ and $P<0.01$), the levels of TNF- α , BUN and AST were significantly decreased ($P<0.01$), and the ALT level was significantly decreased ($P<0.05$), the levels of NO, IL-6, MDA, CRE and DAO were significantly decreased ($P<0.05$ or $P<0.01$). The results of principal component analysis showed that there was significant separation between the model group and the intervention group. of mice, and the separation degree between the model group and the glycolysis group was higher than that of the hydrolysis group. **Conclusion** The glycolysis and hydrolysis of edible fungus polysaccharides can improve the immune and antioxidant capacity of the body, improve the inflammatory response and liver and kidney metabolic function associated with spleen and stomach injury, and the glycolysis of edible fungus polysaccharides has a better regulation effect on spleen and stomach injury in mice.

KEY WORDS: glycolysis; polysaccharide of edible fungus; spleen and stomach injury; metabonomics; principal component analysis

0 引 言

食用菌具有丰富的营养价值和保健功能^[1], 而多糖作为其中主要生物效应分子之一, 具有抗炎^[2]、抗衰老^[3]、抗氧化^[4]、抗肿瘤^[5]、免疫调节^[6]等多种功能, 受到业界学者的广泛关注。目前用于食用菌多糖的提取方法主要有水提法^[7]、超声波法^[8]、酶解法^[9]等。酵素可被称作酶^[10], 酵解食用菌多糖是指酵素为浸提液, 使用酵素酵解得到的产物, 具有多糖得率高、活性强、其他生理功效潜力大的特点^[11]。有研究表明, 酵解姬松茸多糖颗粒表层含有羟基、内含羧基和少量氨基, 并且具有多孔的结构, 可以吸附具有相应极性的毒素或微生物^[12]。

脾胃损伤是由外感湿热又喜食辛辣肥甘所致, 主要表现为腹部胀闷、消化不良、行为慵懒等^[13]。现代研究表明, 脾胃损伤和体内的氧化应激因子和炎症通路密切相关^[14]。氧化应激可激活 NF- κ B 通路诱导细胞凋亡, 增加肿瘤坏死因子(tumor necrosis factor- α , TNF- α)、白介素-6 (interleukin-6, IL-6)等炎症因子的表达, 而炎症反应的发生将诱导机体免疫反应的增强, 在炎症因子释放的同时, 释放氧自由基, 进而加剧氧化应激与细胞损伤^[15-17]。由此可见, 机体间抗氧化、抗炎、免疫等因子相互制约, 存在分子间相互作用。

随着国民经济水平的提升, 人民饮食习惯的改变, 脾胃损伤越来越趋近于年轻化, 而传统的防治方法缺乏方便性^[18], 酵解多糖有提升免疫力和抗氧化的作用^[19], 在调节脾胃损伤方面有广阔的应用前景。但目前对脾胃损伤的研究主要集中在中医药治疗和临床疗效观察方面, 对于酵解多糖对脾胃损伤小鼠的调节作用鲜有报道, 且研究方向多为机体抗氧化与炎症反应, 而对脾胃损伤伴随的机体代谢

和免疫少有研究。故本研究将通过机体代谢与免疫探究酵解食用菌多糖和水解食用菌多糖对脾胃损伤小鼠的影响, 并将二者进行对比, 为食用菌的开发与脾胃损伤的防治提供一定的试验依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物

SPF 级 ICR 小鼠, 雌雄各半, 体重(22 $\pm$ 2) g, 辽宁长生生物技术有限公司, 许可证号 SCXK(辽)2019-005, 动物房温度为 28~31 °C 自然采光, 自由摄食饮水, 饲养于吉林农业大学动物实验中心。

1.2 材料与试剂

香菇、猴头菇、杏鲍菇(上海得众食品有限公司); 秋子梨酵素(实验室自制, 秋子梨采自吉林农业大学沁馨花园)。

奥美拉唑(分析纯, 美国 Sigma 公司); 无水乙醇(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、丙二醛(malondialdehyde, MDA)、一氧化氮(nitric oxide, NO)、谷丙转氨酶(glutamic-pyruvic transaminase, AST)、谷草转氨酶(glutamic-pyruvic transaminase, ALT)、肌酐(creatinine, CRE)、尿素氮(urea nitrogen, BUN)检测试剂盒(南京建成生物工程研究所); 小鼠血清二胺氧化酶(diamine oxidase, DAO)、TNF- α 、IL-6、胃泌素(gastrin, GAS)、胃动素(motilin, MTL)酶联免疫检测(enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA)试剂盒(上海凡科维生物试剂研究所)。

1.3 仪器与设备

HH-S11-2-S 水浴锅(上海市新苗机械有限公司); Neofuge-23R 台式高速冷冻离心机(上海力申公司);

EL-10A 全自动酶标仪(日本岛津公司); BSA224S-CW 电子天平(精度 0.0001 g, 北京赛多利斯器械公司)。

1.4 试验方法

1.4.1 样品制备

醇解多糖: 将干燥杏鲍菇、香菇、猴头菇分别用破壁机粉碎过筛, 以秋子梨酵素为浸提液, 固液比为 1:20 (g/mL), 超声 30 min 后, 50 °C 下醇解 6 h, 抽滤浓缩无水乙醇沉淀除去小分子, 依次经 45%、60%、75%乙醇分级沉淀后, 得到所需多糖样品沉淀, 冷冻干燥得醇解食用菌多糖。采用 $L_9(3^4)$ 正交设计, 以清除-OH 自由基能力为主要指标, 体外筛选 3 种醇解食用菌多糖的最优组合, 得到最佳复配组合即醇解杏鲍菇多糖:醇解香菇多糖:醇解猴菇多糖为 1:3:3 ($m:m:m$), 将其混合得到动物试验所需样品。

水解多糖: 参考文献[20-21]的方法并稍作修改, 分别将杏鲍菇、香菇、猴头菇粉碎, 以蒸馏水为浸提液, 固液比为 1:30 (g/mL), 50 °C 下水浴 2 h, 以无水乙醇沉淀后进行冷冻干燥, 所得多糖复配比例与醇解多糖保持一致, 得到动物试验所需样品。

1.4.2 动物分组与造模

SPF 级 ICR 小鼠适应性喂养 7 d, 随机分为空白组与造模组。空白组给予基础饲料+凉白开进行喂养; 造模组给予普通饲料喂养的基础上加 200 g/L 的蔗糖水自由饮用, 小鼠体重灌服 10 g/kg 的油脂且隔日灌服 10 mL/kg 52 度白酒, 交替进行连续 20 d 并确定造模成功^[22]。

1.4.3 动物给药

造模后, 将造模成功的动物进行随机分组, 雌雄各半, 分为空白组、阳性对照组、模型组、水解食用菌多糖(water-extract polysaccharide, WP)组、醇解食用菌多糖(glycolysis polysaccharide, GP)组。空白组和模型组不给予药物处理, 阳性对照组给予奥美拉唑(3 mg/kg), WP 组投喂含 0.6%的水解食用菌多糖饲料, GP 组投喂含 0.6%醇解食用菌多糖的饲料, 记录小鼠精神状态和每周体重, 试验周期为 14 d。

1.4.4 血液指标分析

处死前 12 h 小鼠禁食不禁水, 眼球取血后处死, 4 °C 下 3500 r/min 离心 20 min 取血清, -80 °C 保存。按 ELISA 试剂盒说明书测定各指标。

1.4.5 组织处理

小鼠处死后, 取肝、肾、脾以及胸腺, 将表面血渍用 4 °C 生理盐水清洗, 随后称重, 计量小鼠的脏器指数, 按公式(1)进行计算。

$$\text{脏器指数}(\text{mg/g}) = \frac{\text{脏器质量}(\text{mg})}{\text{体质量}(\text{g})} \quad (1)$$

1.5 数据统计

试验数据采用 SPSS 23.0、Origin 2018 统计学软件进行统计学差异和主成分分析(principal component analysis, PCA)。

2 结果与分析

2.1 小鼠状态观察

空白组小鼠状态活跃、皮毛光泽, 反应灵敏且肛周无泛红表现; 模型组小鼠随造模时间的增加, 出现嗜睡懒动、移动缓慢、皮毛粗糙无光泽、反应迟缓、大便溏滞且肛周泛红, 而 WP 与 GP 组小鼠表现活跃、反应灵敏, 与模型组有明显差异。

2.2 食用菌多糖对小鼠体增重的影响

由表 1 可知, 与空白组相比, 模型组在第 7 d 和第 14 d 的体增重极显著低于空白组($P<0.01$); 在试验第 7 d, 与模型组相比, GP 组体重增长具有极显著差异($P<0.01$), WP 组体重增长值高于模型组但无显著性差异($P>0.05$), GP 组的体增重较 WP 组高出 11.73%; 在试验第 14 d, 与模型组相比, WP 组体重显著增加($P<0.05$), GP 组体重极显著增加($P<0.01$), 且 GP 组的体增重较 WP 组高出 29.58%。以上结果表明醇解食用菌多糖对脾胃损伤小鼠的体重增长有改善作用, 其改善效果优于水解多糖。

表 1 食用菌多糖对小鼠体重增长量的影响($n=10$)
Table 1 Effects of mushroom polysaccharides on weight gain of mice ($n=10$)

处理组	给药第 7 d 体增重/g	给药第 14 d 体增重/g
空白组	4.29±0.84	6.07±1.41
模型组	2.31±0.65 ^{###}	3.88±0.98 ^{###}
阳性对照组	3.20±0.86 ^{**}	6.44±0.83 ^{**}
WP 组	2.99±1.14 ^{###}	4.97±1.28 ^{*#}
GP 组	3.52±1.08 ^{**}	6.44±0.96 ^{**}

注: 与空白组比较, #差异显著, $P<0.05$, ##差异极显著, $P<0.01$; 与模型组比较, *差异显著, $P<0.05$, **差异极显著, $P<0.01$, 下同。

2.3 食用菌多糖对小鼠脏器系数的影响

脾和胸腺与机体免疫息息相关, 肝肾是人体关键的解毒与排毒场所^[23-24], 各器官之间共同运作维持机体的健康状态。由表 2 可知, 与空白组相比, 模型组除肾指数外, 其他各项脏器指数均有显著性差异($P<0.05$)。与模型组相比, 阳性对照组的脾指数及胸腺指数极显著增加($P<0.01$), 肝指数显著降低($P<0.05$); WP 组的胸腺指数显著增加($P<0.05$), 肝指数极显著降低($P<0.01$); GP 组的脾指数和胸腺指数显著、极显著增加($P<0.05$ 、 $P<0.01$)且高于 WP 组, 肝指数极显著降低($P<0.01$)。表明醇解食用菌多糖对小鼠肾脏发育无不良影响, 且与 WP 相比, 可以更好地缓解脾胃损伤引起的肝肥大情况, 对小鼠的免疫器官发育有正向调节效益。

表 2 食用菌多糖对小鼠脏器系数的影响(n=10)
Table 2 Effects of mushroom polysaccharide on organ coefficient of mice (n=10)

处理组	脾指数	胸腺指数	肝指数	肾指数
空白组	5.27±1.13	3.21±0.46	48.43±4.23	14.83±2.14
模型组	3.96±0.55 ^{##}	2.30±0.41 [#]	55.84±5.45 ^{##}	14.58±1.47
阳性对照组	5.56±0.97 ^{**}	3.26±0.80 ^{**}	51.04±5.11 [*]	14.03±1.54
WP 组	4.64±0.80	3.00±0.60 [*]	48.41±2.89 ^{**}	15.17±1.98
GP 组	4.97±1.04 [*]	3.11±0.80 ^{**}	48.82±5.38 ^{**}	14.65±2.45

2.4 食用菌多糖对小鼠血清指标的影响

MDA 和 SOD 是机体反应抗氧化能力的一对指标,前者可反应细胞的损伤程度,后者是关键的抗氧化活性蛋白酶,也是机体清除有害物质的关键。TNF- α 可活化 NK 细胞的细胞活性,使机体释放大量的 NO,同时促进 IL-6 的合成分泌^[25-27]。由表 3 可见,与空白组相比,模型组氧化应激因子 SOD 释放量极显著降低($P<0.01$),MDA 和 NO 水平极显著增加($P<0.01$);炎症因子 TNF- α 和 IL-6 含量明显升高($P<0.01$)。与模型组相比,GP 组氧化应激因子 SOD 水平极显著增加($P<0.01$)、MDA 和 NO 水平均极显著降低($P<0.01$),WP 组 SOD 水平极显著增加($P<0.01$)且增加水平与 GP 组相近、MDA 和 NO 含量显著降低($P<0.05$)且降低水平低于 GP 组;GP 组的炎症因子 TNF- α 、IL-6 含量极显著降低($P<0.01$),WP 组炎症因子 TNF- α 含量极显著降低($P<0.01$)、IL-6 含量显著降低($P<0.05$)且降低水平低于 GP 组。表明酵解与水解食用菌多糖均可改善脾胃损伤引起的氧化应激,降低炎症因子的表达,且酵解食用菌多糖的改善能力更佳。

血清中的 DAO 是肠道黏膜屏障的标志物,MTL 与 GAS 是判断胃肠动力功能的重要指标,二者可促进胃蛋白酶的分泌,增强胃肠功能。AST、ALT、BUN 和 CRE 是衡量肝肾功能的重要指标^[28-30]。由表 4 可知,与空白组相比,模型组胃肠动力因子 GAS 含量极显著降低($P<0.01$),MTL 含量显著降低($P<0.05$),DAO 水平极显著增加($P<0.01$);肝肾功能因子 AST、ALT 水平极显著增加($P<0.01$),CRE、BUN 含量极显著升高($P<0.01$)。与模型组相比,GP 组胃肠动力因子 GAS 和 MTL 含量极显著升高($P<0.01$)、DAO 水平极显著降低($P<0.01$),WP 组 GAS 含量极显著升高($P<0.01$),低于 GP 组、MTL 含量显著升高($P<0.05$)与 GP 组相似、DAO 含量显著降低($P<0.05$),下降程度低于 GP 组;GP 组和 WP 组肝肾功能因子 AST、ALT、CRE、BUN 降低水平达到显著水平以上($P<0.05$),且与 WP 相比,GP 可更好地降低 AST、BUN、CRE 水平。说明酵解与水解食用菌多糖可增加机体的胃动力和肠道黏膜屏障抵抗力,对胃肠损伤具有正向调节作用,同时改善脾胃损伤所造成的肝肾代谢异常,减轻肝肾负担,且酵解食用菌多糖与水解食用菌多糖相比,具有更好的调节作用。

表 3 食用菌多糖对小鼠血清指标的影响(n=10)
Table 3 Effects of mushroom polysaccharide on serum indexes of mice (n=10)

处理组	氧化应激因子			炎症因子	
	SOD/(U/mL)	MDA/(nmol/L)	NO/(μ mol/L)	TNF- α /(ng/mL)	IL-6/(pg/mL)
空白组	21.82±0.7	11.47±0.41	3.14±0.73	0.99±0.05	101.55±5.58
模型组	20.48±0.42 ^{##}	13.48±0.85 ^{##}	3.96±0.84 ^{##}	1.54±0.06 ^{##}	125.68±5.20 ^{##}
阳性对照组	21.85±0.75 ^{**}	11.48±0.58 ^{**}	3.19±0.67 [*]	1.44±0.70 ^{***}	106.36±6.39 ^{**}
WP 组	21.75±1.00 ^{**}	12.60±0.77 ^{***}	3.35±0.66 [*]	1.37±0.05 ^{***}	117.93±9.53 ^{***}
GP 组	22.67±0.94 ^{***}	11.85±0.92 ^{**}	3.15±0.47 ^{**}	1.31±0.06 ^{***}	112.37±7.28 ^{***}

表 4 食用菌多糖对小鼠功能因子的影响(n=10)
Table 4 Effects of mushroom polysaccharide on functional factors of mice (n=10)

处理组	胃肠动力因子			肝肾功能因子			
	GAS/(ng/L)	MTL/(pg/mL)	DAO/(pg/mL)	AST/(U/L)	ALT/(U/L)	CRE/(μ mol/L)	BUN/(nmol/L)
空白组	60.57±5.01	432.68±33.72	45.50±1.30	10.16±0.91	7.78±1.03	240.16±74.60	4.15±0.53
模型组	49.07±2.73 ^{###}	382.90±48.87 [#]	51.28±4.23 ^{###}	15.99±1.24 ^{###}	9.64±1.33 ^{##}	350.05±47.09 ^{##}	5.23±0.69 ^{##}
阳性对照组	52.99±4.20 ^{***}	439.73±47.22 [*]	45.44±4.80 ^{**}	10.94±1.94 ^{**}	7.87±1.00 ^{**}	246.73±45.87 ^{**}	4.10±0.25 ^{**}
WP 组	57.11±3.83 ^{**}	440.00±53.24 [*]	47.74±2.28 [*]	13.19±1.65 ^{***}	8.44±0.53 [*]	289.90±60.18 [*]	4.51±0.29 ^{**}
GP 组	58.76±4.52 ^{**}	444.63±54.87 ^{**}	45.73±5.03 ^{**}	12.05±1.26 ^{***}	8.56±1.00 [*]	220.75±48.49 ^{**}	4.23±0.35 ^{**}

2.5 各指标间主成分分析

PCA 中各指标的载荷与特征向量绝对值大小,可以体现各指标与各主成分的相关性大小,这种相关性大小也可以通过 PCA 载荷图中,载荷点到原点的距离进行评价。由图 1 可知,肾指数载荷点到原点的距离最短,说明肾脏发育与脾胃损伤相关性最小。由表 5 可知,PC1 受 AST、BUN、MDA 主要影响,其载荷值分别为 0.813、0.733 和 0.713,其 3 个物质水平可反应机体代谢能力;PC2 受肝指数和脾指数主要影响,其载荷值分别是 0.636、0.503,可反应机体免疫力。以上结果表明,脾胃损伤与胃肠动力相关的同时与机体代谢能力和免疫力也息息相关。PC1 贡献值大于 PC2 贡献值可说明,机体代谢能力对脾胃损伤的调节作用更大。

图 2 PCA 评分图显示,模型组与空白组样本之间有极显著分离,GP 组、WP 组、阳性对照组与模型组之间有显著性分离,各干预组与空白组之间无显著性分离。而 WP 组与模型对照组之间存在重叠,GP 组与阳性对照组基本重叠,且二者与模型对照组不重叠,表明与 WP 组相比,GP 组和模型组之间的分离度更高。说明脾胃损伤小鼠经试验饲料干预后,损伤程度有所改善,且酵解食用菌多糖改善效应更佳,其结果与显著性结果一致。

表 5 主成分载荷矩阵与特征向量
Table 5 Principal component load matrix and characteristic vector

指标	PC1		PC2	
	载荷	特征向量	载荷	特征向量
SOD	-0.631	-0.264	0.096	0.079
MDA	0.713	0.298	-0.036	-0.030
NO	0.485	0.203	0.051	0.042
TNF- α	0.674	0.282	0.145	0.119
IL-6	0.678	0.284	0.339	0.279
GAS	-0.643	-0.269	-0.197	-0.162
MTL	-0.433	-0.181	0.400	0.330
DAO	0.575	0.241	-0.065	-0.054
ALT	0.532	0.223	-0.502	-0.415
AST	0.813	0.340	-0.132	-0.109
CRE	0.67	0.280	0.245	0.202
BUN	0.733	0.307	0.234	0.193
肝指数	0.435	0.182	0.636	0.524
肾指数	-0.033	-0.014	0.087	0.072
胸腺指数	-0.559	-0.234	0.263	0.217
脾指数	-0.535	-0.224	0.503	0.414

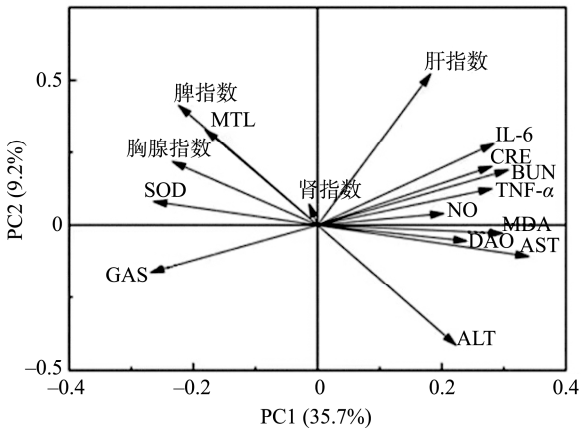
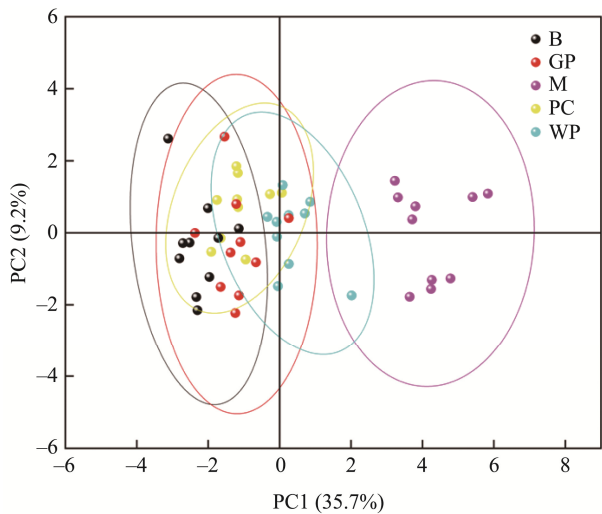


图 1 各指标之间的 PCA 载荷图
Fig.1 PCA load diagram of each index



注: M: 模型组; B: 空白组; PC: 阳性对照组; GP: 酵解多糖组;
WP: 水解多糖组。

图 2 各指标之间的 PCA 评分图
Fig.2 PCA score diagram of each index

3 结 论

脾胃损伤的病机与免疫学的分子调控^[31]、神经内分泌机制^[32]、微生物^[33]、病理学机制息息相关。为探讨酵解与水解食用菌多糖对脾胃损伤的影响,本研究从氧化应激水平、炎症因子、胃肠激素水平、免疫学分子的角度进行分析,并且将酵解与水解两种处理方式所得多糖进行比较。氧化应激与炎症反应共存,炎症因子分泌异常最终会导致免疫功能降低,脾胃损伤状态下机体可生成大量 ROS,使肝肾细胞中的线粒体 DNA 出现氧化损伤,使肝肾负荷加重,肝肾代谢能力降低,而代谢能力降低会造成机体状态失衡^[34-36], 四者相互作用恶性循环。本研究显示,脾胃损伤小鼠在发生氧化应激与炎症反应时,伴随肝肾代

谢异常和胃肠功能紊乱,也说明机体间各种生物因子之间存在密切联系。酵解多糖和水解多糖与阳性对照组具有相似的调节作用,而经酵解修饰后的食用菌多糖具有比水解多糖更优的生理效益,原因可能是酵解方式主要作用于共价键,而水解主要作用于离子键和氢键,二者作用方式不同使食用菌多糖部分结构发生改变,进而可能使更多活性位点暴露,从而提升了酵解食用菌多糖的活性。

综上所述,酵解与水解食用菌多糖均对脾胃损伤小鼠具有改善作用,可提升机体免疫能力,清除体内有害物质,提高机体抗炎和抗氧化力,改善胃肠功能,同时改善脾胃损伤所伴随的肝肾功能异常,具有保肝护肾,改善脾胃损伤的功效,且酵解食用菌多糖的改善效果优于水解多糖,具有广泛的保健和医疗价值。

参考文献

- [1] 商佳琦,邹丹阳,滕翔宇,等. 5种食用菌多糖的结构特征及抗氧化活性对比[J]. 食品工业科技, 2020, 41(15): 77-83, 89.
SHANG JQ, ZOU DY, TENG XY, *et al.* Comparison of structural characteristics and antioxidant activities of polysaccharides from five edible fungi [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2020, 41(15): 77-83, 89.
- [2] 张颖,曾艳,邱广君,等. 刺五加黑木耳酸性多糖化学组成及免疫活性研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(10): 119-123, 128.
ZHANG Y, ZENG Y, QIU GJ, *et al.* Structural properties and immunostimulatory activity of an acidic polysaccharide from *Auricularia auricular-judae* cultivated on *Eleutherococcus senticosus* [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2017, 38(10): 119-123, 128.
- [3] ZHANG C, SONG XL, CUI WJ, *et al.* Antioxidant and anti-ageing effects of enzymatic polysaccharide from *pleurotuseryngii* residue [J]. *Int J Biol Macromol*, 2021, 173: 341-350.
- [4] TAN W, PAN TR, WANG SP, *et al.* Immunometabolism modulation, a new trick of edible and medicinal plants in cancer treatment [J]. *Food Chem*, 2022, 376: 131860.
- [5] MISHRA V, TOMAR S, YADAV P, *et al.* Promising anticancer activity of polysaccharides and other macromolecules derived from oyster mushroom (*Pleurotus* sp.): An updated review [J]. *Int J Biol Macromol*, 2021, 182: 1628-1637.
- [6] 常晓青. 药用蘑菇多糖的研究进展[J]. 食品安全导刊, 2021, (23): 168-169, 172.
CHANG XQ. Research progress of polysaccharide from medicinal mushroom [J]. *Chin Food Saf Magaz*, 2021, (23): 168-169, 172.
- [7] 王锋,刘晓鹏,张宝翠,等. 猴头菇菌丝体多糖的提取工艺优化[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(3): 771-776.
WANG F, LIU XP, ZHANG BC, *et al.* Optimization of extraction technology of polysaccharide from mycelium of *Hericium erinaceus* [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(3): 771-776.
- [8] 张浩然,魏晶晶,王慧春. 超声法提取猴头菇多糖工艺优化研究[J]. 中国调味品, 2021, 46(3): 154-156, 165.
ZHANG HR, WEI JJ, WABG HC. Study on the technology optimization of ultrasonic extraction of polysaccharide from *Hericium erinaceus* [J]. *Chin Cond*, 2021, 46(3): 154-156, 165.
- [9] 张鹏,花燕莹,梁樱子,等. 微波辅助提取翘鳞香菇多糖及抗氧化性研究[J]. 饲料研究, 2020, 43(12): 74-79.
ZHANG P, HUA YY, LIANG YZ, *et al.* Microwave-assisted extraction of *Lentinus squarrosulus* polysaccharides and its antioxidant activity [J]. *Feed Res*, 2020, 43(12): 74-79.
- [10] 韩齐,赵金敏,高小琴,等. 功能性酵素发展研究现状[J]. 食品工业科技, 2019, 40(1): 337-340, 345.
HAN Q, ZHAO JM, GAO XQ, *et al.* Research status of functional enzymes [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2019, 40(1): 337-340, 345.
- [11] 李芮芃,杨晶,洪亮,等. 姬松茸多糖的修饰改造与抗病性的研究进展[J]. 饲料研究, 2021, 44(15): 144-147.
LI RP, YANG J, HONG L, *et al.* Research progress on modification and disease resistance of *Agaricus blazei* Murrill polysaccharide [J]. *Feed Res*, 2021, 44(15): 144-147.
- [12] 申秀娟,张磊,杨美玉,等. 酵解姬松茸多糖对小鼠免疫指标和肠道菌群的影响[J]. 食品科技, 2019, 44(6): 215-220.
SHEN XJ, ZHANG L, YANG MY, *et al.* Effects of glycolytic polysaccharides of *Agaricus blazei* Murrill on immune indexes and intestinal flora in mice [J]. *Food Sci Technol*, 2019, 44(6): 215-220.
- [13] 盛小燕,叶勇峰,丁懿宁,等. 清热祛湿凉茶对脾胃湿热证大鼠血清中NO、SOD和MDA水平以及结肠中Nrf2/HO-1表达影响[J]. 中南药学, 2019, 17(10): 1631-1636.
SHENG XY, YE YF, DING YN, *et al.* Effects of *Qingrequshi* herbal tea on serum NO, SOD and MDA levels and Nrf2/HO-1 expression in colon of rats with dampness-heat syndrome [J]. *Cent South Pharm*, 2019, 17(10): 1631-1636.
- [14] 段继昌,曹路,柴晶美,等. 湿热中阻方对脾胃湿热证小鼠氧化应激和炎症因子影响研究[J]. 吉林中医药, 2021, 41(5): 647-653.
DUAN JC, CAO L, CHAI JM, *et al.* Study on the effect of Shire Zhongzha Fang on the oxidative stress and inflammatory factors in mice with the spleen and stomach dampness-heat syndrome [J]. *Jilin J Chin Med*, 2021, 41(5): 647-653.
- [15] WEN LG, SHENG ZL, WANG JP, *et al.* Structure of water-soluble polysaccharides in spore of *Ganoderma lucidum* and their anti-inflammatory activity [J]. *Food Chem*, 2022, 373: 131374.
- [16] MA L, CHEN H, DONG P, *et al.* Anti-inflammatory and anticancer activities of extracts and compounds from the mushroom *Inonotus obliquus* [J]. *Food Chem*, 2013, 139(1-4): 503-508.
- [17] HOU CL, LIU LY, REN JY, *et al.* Structural characterization of two *Hericium erinaceus* polysaccharides and their protective effects on the alcohol-induced gastric mucosal injury [J]. *Food Chem*, 2022, 375: 131896.
- [18] 曹凤娇,袁尚华. 调理脾胃治未病在中青年人健康管理中的重要性[J]. 中国医药科学, 2022, 12(6): 168-172, 184.
CAO FJ, YUAN SH. Importance of regulating spleen and stomach for preventive treatment in the health management of young and middle-aged people [J]. *Chin J Med Sci*, 2022, 12(6): 168-172, 184.
- [19] 申秀娟. 姬松茸多糖的酵素辅助浸提技术及生理功效研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2019.
SHEN XJ. Study on enzyme assisted extraction technology and physiological efficacy of *Agaricus blazei* polysaccharides [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2019.
- [20] 黄倩,岳田利,袁亚宏,等. 响应面试验优化超声-真空提取杏鲍菇多糖工艺[J]. 食品科学, 2015, 36(16): 77-82.

- HUANG Q, YUE TL, YUAN YH, *et al.* Optimization of ultrasonic-vacuum extraction of polysaccharides from fruit bodies of *Pleurotus eryngii* [J]. Food Sci, 2015, 36(16): 77–82.
- [21] 和法涛, 刘光鹏, 朱凤涛, 等. 响应面法优化热水法浸提猴头菇多糖工艺提高多糖得率[J]. 食品科技, 2015, 40(1): 210–215.
- HE FT, LIU GP, ZHU FT, *et al.* Optimization hot water extraction process of polysaccharide from *Hericius erinaceus* for improving the yield of polysaccharide by response surface methodology [J]. Food Sci Technol, 2015, 40(1): 210–215.
- [22] 王婷. 岭南温病湿热证小鼠模型的建立及肠道相关湿热证实质的研究[D]. 广州: 广州中医药大学, 2017.
- WANG T. Establishment of a mouse model of *Lingnan* febrile disease with damp-heat syndrome and study on the quality of intestinal damp-heat confirmation [D]. Guangzhou: Guangzhou China Medical University, 2017.
- [23] LIAO CH, LIN JY. Lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn) plumule polysaccharide protects the spleen and liver from spontaneous inflammation in non-obese diabetic mice by modulating pro-/anti-inflammatory cytokine gene expression [J]. Food Chem, 2011, 129: 245–252.
- [24] LIAO MC, SUN CY, LI R, *et al.* Amelioration action of gastrodigenin rhamno-pyranoside from *Moringa* seeds on non-alcoholic fatty liver disease [J]. Food Chem, 2022, 379: 132087.
- [25] 魏志勇, 阿衣古丽·麦麦提, 海热姑丽·马木提, 等. 玫瑰黄酮提取物对高脂血症大鼠血脂水平和抗氧化作用的研究[J]. 新疆医科大学学报, 2021, 44(9): 1089–1094.
- WEI ZY, MAIMAITI A, MAMUTI H, *et al.* Antioxidant effect of rose flavone extract on blood lipid level in hyperlipidemic rats [J]. J Xinjiang Med Univ, 2021, 44(9): 1089–1094.
- [26] 马丽艳, 胡昂, 刘志东, 等. 扇贝抗氧化肽对衰老小鼠体内抗氧化活性研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(19): 5159–5163.
- MA LY, HU ANG, LIU ZD, *et al.* Study on antioxidant activity of scallop antioxidant peptides in aging mice [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(19): 5159–5163.
- [27] 高尤亮, 柯晓, 欧阳洁, 等. 健脾清化散瘀饮对脾胃湿热证隆起糜烂性胃炎黏膜 TNF- α 、IL-8、IL-10 表达的影响[J]. 中国中西医结合消化杂志, 2017, 25(1): 1–5.
- GAO YL, KE X, OUYANG J, *et al.* Effect of Jianpi qinghua sanyu soup on IL-8, TNF- α and IL-10 expression in mucosa in raised erosive gastritis with spleen stomach dampness heat syndrome [J]. Chin J Integ Tradit Western Med Dig, 2017, 25(1): 1–5.
- [28] NIU Z, YAN M, ZHAO X, *et al.* Effect of hawthorn seed extract on the gastrointestinal function of rats with diabetic gastroparesis [J]. S Afr J Bot, 2020, 130: 448–455.
- [29] MA GX, XU Q, DU HJ, *et al.* Characterization of polysaccharide from *Pleurotus eryngii* during simulated gastrointestinal digestion and fermentation [J]. Food Chem, 2022, 370: 131303.
- [30] JIA FJ, YANG SF, MA YY, *et al.* Extraction optimization and constipation-relieving activity of dietary fiber from *Auricularia polytricha* [J]. Food Biosci, 2020, 33: 100506.
- [31] CHEN WQ, HU L, LI HY, *et al.* Interleukin-12 and interferon- γ acting on damp-heat of spleen-stomach syndrome triggered by helicobacter pylori [J]. J Tradit Chin Med, 2017, 37: 827–834.
- [32] 高清华, 万莹, 吕文亮. 慢性胃炎脾胃湿热证与胃动素的相关性探讨[J]. 时珍国医国药, 2014, 25(12): 3067–3068.
- GAO QH, WAN Y, LV WL. Relationship between spleen and stomach damp-heat syndrome and motilin in chronic gastritis [J]. Lishizhen Med Mater Med Res, 2014, 25(12): 3067–3068.
- [33] 荣光莉, 郑裕华, 陈颂, 等. 岭南湿热证中肠道组织自噬、线粒体 DNA 含量和 MAVS 通路介导炎症的研究[J]. 中华中医药学刊, 2019, 37(12): 2884–2887, 3092.
- RONG GL, ZHENG YH, CHEN S, *et al.* Study on intestinal autophagy, mitochondrial DNA content and MAVS pathway mediated inflammation in *Lingnan* dampness-heat syndrome [J]. Chin Arch Tradit Chin Med, 2019, 37(12): 2884–2887, 3092.
- [34] 李丽娟. 硒对氧化应激小白鼠肝脏酶活的影响[J]. 山西农业大学学报, 2014, 34(3): 216–219.
- LI LJ. Effects of selenium on liver enzyme activity of oxidative stress rats [J]. J Shanxi Agric Univ, 2014, 34(3): 216–219.
- [35] 黄卉颖, 贺永健, 刘焕, 等. 氨基脲诱导的 SD 大鼠氧化应激与肝脏代谢损伤研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(18): 7357–7363.
- HUANG HY, HE YJ, LIU H, *et al.* Oxidative stress and liver metabolic injury induced by carbamide in SD rats [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(18): 7357–7363.
- [36] 李兴太, 张春英, 仲伟利, 等. 活性氧的生成与健康疾病关系研究进展[J]. 食品科学, 2016, 37(13): 257–270.
- LI XT, ZHANG CY, ZHONG WL, *et al.* Research progress on the relationship between reactive oxygen species generation and health and disease [J]. Food Sci, 2016, 37(13): 257–270.

(责任编辑: 张晓寒 韩晓红)

作者简介



徐文玲, 硕士研究生, 主要研究方向为食品毒理与安全评价。
E-mail: 1154233166@qq.com



李大军, 教授, 主要研究方向为食品营养与功能。
E-mail: lidajunfeed@sina.com