

复合猴头菇饮料制备工艺及对酒精性胃损伤的改善作用

张文芳, 吴承霖, 宁欢, 李转转, 翟黎英, 杨浩然, 王婧, 张绪元, 秦楠

Hericium erinaceus Compound Beverage and Its Ameliorative Effect on Alcohol-induced Oxidative Injury in Rats

ZHANG Wenfang, WU Chenglin, NING Huan, LI Zhuanzhuan, ZHAI Liying, YANG Haoran, WANG Jing, ZHANG Xuyuan, and QIN Nan

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024060455>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

猴头菇山楂饮料制备工艺及稳定性研究

Study on Preparation Technology and Stability of *Hericium Erinaceus* and Hawthorn Beverage

食品工业科技. 2020, 41(7): 154-160 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.07.026>

不同方式制备的猴头菇提取物对大鼠急性胃黏膜损伤保护作用对比

Comparison of Protective Effects of *Hericium erinaceus* Extracts Prepared by Different Methods on Acute Gastric Mucosal Injury in Rats

食品工业科技. 2022, 43(2): 360-367 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021040252>

三种猴头菇口服液对大鼠胃黏膜损伤的保护作用研究

Protective Effects of Three *Hericium erinaceus* Oral Liquids on Gastric Mucosal Injury in Rats

食品工业科技. 2020, 41(14): 270-275 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.14.044>

猴头菇三萜提取工艺优化及其抗氧化活性分析

Optimization of Extraction Process of *Hericium erinaceus* Triterpenes and Its Antioxidant Activity

食品工业科技. 2021, 42(22): 153-159 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020040354>

响应面法优化猴头菇戚风蛋糕配方工艺研究

Optimization of Recipe of *Hericium erinaceus* Chiffon Cake by Response Surface Methodology

食品工业科技. 2023, 44(21): 234-242 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023010037>

茯苓-山药复配米稀和猴头菇饼干对功能性消化不良大鼠的改善作用

Ameliorative Effect of *Poria cocos*-Yam Riched Rice Paste and *Hericium erinaceus* Biscuit on Rats with Functional Dyspepsia

食品工业科技. 2021, 42(22): 355-362 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021020065>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

张文芳, 吴承霖, 宁欢, 等. 复合猴头菇饮料制备工艺及对酒精性胃损伤的改善作用 [J]. 食品工业科技, 2025, 46(12): 215–225.
doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024060455

ZHANG Wenfang, WU Chenglin, NING Huan, et al. *Hericium erinaceus* Compound Beverage and Its Ameliorative Effect on Alcohol-induced Oxidative Injury in Rats[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(12): 215–225. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024060455

· 工艺技术 ·

复合猴头菇饮料制备工艺及对酒精性胃损伤的改善作用

张文芳¹, 吴承霖¹, 宁欢¹, 李转转¹, 翟黎英¹, 杨浩然¹, 王婧¹, 张绪元², 秦楠^{1,*}

(1. 山西中医药大学中药与食品工程学院, 山西晋中 030619;

2. 海南科技职业大学化学与材料工程学院, 海南海口 570100)

摘要:目的: 开发具有抗氧化、保护胃功能的复合猴头菇饮料, 并研究其对大鼠酒精性胃损伤的改善作用。方法: 以猴头菇提取物为主要原料, 山楂、陈皮提取物为辅料, 通过单因素实验、正交试验、响应面试验对复合猴头菇饮料配方及澄清工艺进行优化, 采用 50% 酒精建立大鼠酒精性氧化损伤模型, 对复方猴头菇水提液改善大鼠酒精性氧化损伤功能进行验证。结果: 复合猴头菇饮料最佳工艺配方为: 猴头菇水提液 23%, 山楂水提液 37%, 陈皮水提液 14%, 30% 木糖醇溶液 21%, 1% 柠檬酸柠檬酸钠溶液 (2:1) 5%, 此条件下产品感官评价最高, 口味最佳。复合猴头菇饮料最佳澄清工艺为: 明胶 2 g/L, 羧甲基纤维素钠 0.15 g/L, 絮凝时间 80 min, 絮凝温度 25 ℃, 此条件下产品透光率为 96.1%, 稳定性较好。根据最佳配方和工艺制得的产品各项指标: 可溶性固形物 30 g/L; 还原糖含量 0.2733 g/L; 总酚含量 6.73%; pH3.74, 均符合 GB/T 31326《植物饮料》相关要求, 得到的最终配方有实践意义。动物实验表明猴头菇复方水提液对大鼠酒精性氧化损伤有一定的改善作用。胃组织 HE 染色结果显示, 模型组胃黏膜剥落损伤、腺体结构紊乱、组织间隙扩大, 胃组织溃烂程度严重; 经猴头菇复方水提液干预后, 胃组织细胞结构排列较模型组整齐, 肿胀程度有所降低, 出血点有所减少。且与模型组相比, 猴头菇复方水提液均能提高机体血清和胃组织中的 T-AOC、GSH、CAT 的水平, 其中血清中 T-AOC 水平以及胃组织中 GSH 和 T-AOC 显著提高 ($P<0.05$), 减少机体血清和胃组织中 NO、MPO 的水平, 其中胃组织 NO 水平显著降低 ($P<0.05$)。结论: 复合猴头菇饮料制备工艺可行, 制得的产品具有良好的抗氧化活性, 且对大鼠酒精性胃损伤大鼠具有明显的改善作用。

关键词: 猴头菇, 工艺优化, 复合饮料, 酒精性氧化损伤

中图分类号: TS275.4

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2025)12-0215-11

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2024060455



本文网刊:

Hericium erinaceus Compound Beverage and Its Ameliorative Effect on Alcohol-induced Oxidative Injury in Rats

ZHANG Wenfang¹, WU Chenglin¹, NING Huan¹, LI Zhuangzhuang¹, ZHAI Liying¹, YANG Haoran¹,
WANG Jing¹, ZHANG Xuyuan², QIN Nan^{1,*}

(1. Institute of Chinese Medicine and Food Engineering, Shanxi University of Traditional Chinese Medicine,
Jinzhong 030619, China;

2. School of Chemistry and Materials Engineering, Hainan Vocational University of Science and Technology,
Haikou 570100, China)

Abstract: Objective: To develop a *Hericium erinaceus* beverage and investigate its protective effect on alcohol-induced gastric mucosa injury *in vivo*. The antioxidant properties were possessed by *H. erinaceus*, and the gastrointestinal tract was

收稿日期: 2024-07-02

基金项目: 山西省自然科学基金 (202303021222202); 山西省高等学校科技创新项目 (2023L194); 山西中医药大学优秀博士毕业生来晋工作奖励科研启动基金项目 (2023BKS23); 山西中医药大学博士科研启动资金 (2023BK10)。

作者简介: 张文芳 (1993-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 药食同源功能产品研究, E-mail: m1893541279@163.com。

* 通信作者: 秦楠 (1981-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 药食两用中药功能产品研究, E-mail: bszy6688@163.com。

protected. Methods: Using *H. erinaceus* extract as the main raw material, and hawthorn and orange peel extract as auxiliary material, the formulation and clarifying process of the compound beverage was optimized using single factor experiments combined with the orthogonal test and Box-Behnken response surface method. Physical and chemical tests were also conducted. Simultaneously, an alcohol oxidative injury model was established by 50% alcohol administration in rats. The protective effects of the water extract of *H. erinaceus* on oxidative damage in rats were assessed. Results: The optimal ingredient ratio of the *H. erinaceus* beverage was 23% *H. erinaceus*, 37% hawthorn, and 14% orange peel water extracts, and 21% of 30% xylitol, and 5% of a 1% citric acid and sodium citrate (2:1) solutions. Based on the optimization results of univariate experiments, the optimal clarification process parameters of the *H. erinaceus* beverage were obtained using orthogonal experiments: Clarification temperature 25 °C, clarification time 80 min, gelatin dosage 2 g/L, and sodium carboxymethyl cellulose dosage 0.15 g/L. Under these process conditions, good stability was exhibited by the product, and a light transmittance of 96.1% was achieved by the *H. erinaceus* beverage after clarification. The physical and chemical indicators (soluble solid: 30 g/L, reducing sugar: 0.2733 g/L, total phenolic: 6.73%, and pH: 3.74) of the beverage produced using the optimized process were found to meet the requirements of GB/T 31326 "Plant based beverages", and practical significance was demonstrated by the final formula. Animal tests showed that the *H. erinaceus* water extract can substantially ameliorate alcoholic oxidative damage in rats. HE staining of gastric tissue showed that the gastric mucosa of the model group was exfoliated, with a disordered glandular structure, enlarged tissue space, and severely ulcerated gastric tissue. After administration of the *H. erinaceus* water extract, the structure of gastric tissue cells was neater than that of the model group, and the degree of swelling and bleeding was reduced. Compared with the model group, increases in T-AOC, GSH, and CAT levels in serum and gastric tissue were observed with the *H. erinaceus* water extract, and significant increases in T-AOC level in serum, as well as GSH and T-AOC levels in gastric tissue, were detected. Simultaneously, the *H. erinaceus* water extract compound significantly reduced the NO and MPO levels, as well as the NO level in gastric tissue. Conclusion: The *H. erinaceus* beverage preparation process was demonstrated to be feasible. Good antioxidant activity was exhibited by the *H. erinaceus* beverage, and alcohol-induced gastric mucosa injury was shown to be improved *in vivo*.

Key words: *Hericium erinaceus*; process optimization; compound beverage; alcohol oxidative injury

据世界卫生组织调查显示,人群中胃病的发生率高达 80%,而我国胃肠道疾病患者高达 1.2 亿^[1]。胃肠道疾病已经成为关乎人们生活质量乃至生命健康的关键问题^[2]。长期过度饮酒可导致机体氧化损伤,造成机体酒精性胃损伤。在中医药理论的指引下,应运而生的中药功能性产品及其药食同源已成为我国功能性食品的重要组成部分^[3-4],研究开发具备养胃、护胃功效的药食同源产品,对于降低饮酒导致的胃部相关疾病的发病率具有重要意义。

猴头菇(*Hericium erinaceus*(Bull.)Pers.)是齿菌科、猴头菇属的药食两用真菌^[5]。中医发现猴头菇利五脏、助消化,具有健脾、补虚、益肾精的功效^[6-7]。现代研究显示,活性氧是引起胃黏膜酒精性损伤的重要因素之一,胃肠疾病的发展与氧化应激密不可分,在酒精的作用下,机体易产生氧化与抗氧化失衡的危机,胃部组织会产生大量的活性氧(ROS),这些 ROS 会导致脂质过氧化,从而导致胃肠疾病的发生^[8]。猴头菇所含的活性物质如黄酮、酚类、甾体、多糖^[9]等均为其改善机体抗氧化能力,缓减酒精性胃损伤提供了物质基础。

作为中草药的杰出代表,现代药理研究证实山楂、陈皮均具有改善胃疾病的作用。山楂含丰富的维生素 C、黄酮类和有机酸,在消食化滞、增进食欲,尤其对肉类过量引起的消化问题有显著改善作用。陈皮主要由橙皮苷、挥发油等构成,具有调理脾胃、和胃止呕的功效^[10-17]。猴头菇、山楂、陈皮三者功能

上互补,营养上相互均衡,本研究以《中国药典》为参考,以猴头菇、山楂、陈皮为原料,拟研制一款保护机体胃肠功能的复方口服液,以丰富胃病患者的治疗选择,改善其生活质量。

同时由于猴头菇复合饮料中含有蛋白质、果胶、单宁、多酚、色素等大分子物质以及原料组织残渣,给饮料的口感和风味带来一定缺陷,且饮料在贮存和销售过程中容易出现变色等问题,极大程度影响饮料的经济价值。因此本试验采用明胶和羧甲基纤维素钠对复合饮料进行澄清工艺研究。并通过建立大鼠酒精性氧化损伤模型,对猴头菇复方提取液改善大鼠酒精性氧化损伤的功能进行验证,为猴头菇饮料产品的深加工及其功能性饮品的研发提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

猴头菇 山西山屯农副产品开发有限公司;山楂 山西国泰中药股份有限公司;陈皮 山西维康堂中药饮片有限公司;柠檬酸、柠檬酸钠 天津市致远化学试剂有限公司;羧甲基纤维素钠(AR 级) 天津市光复科技发展有限公司;明胶(食用级) 兴化顶萃食品有限公司;猴头菌提取物颗粒(国药准字 H14023099) 山西康欣药业;T-AOC、GSH、CAT 试剂盒 南京建成生物工程研究所;三氯乙醛水合物 上海麦克林生化科技股份有限公司;SPF 级健康雄性 SD 大鼠 北京华阜康生物科技股份有限公司,生产许可证号: SCXK(京)2019-0008,动物伦理编号:

AWE202307340。

HH-S6A 电热恒温水浴锅 北京科伟永兴仪器有限公司; CH-2518 高速离心机安徽 中科中佳科学仪器有限公司; Ultra-3000 紫外可见分光光度计 北京普源精电科技有限公司; Spectra Max-190 酶标仪 北京悦昌行科技有限公司; AR223CN 电子天平 奥豪斯仪器有限公司; FW100 组织粉碎机 天津泰斯特仪器有限公司; DVP20 抗化学腐蚀隔膜泵 临海市谭氏真空设备有限公司; KQ-800DE 数控超声波清洗机 昆山超声仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 工艺流程 原料分选→打粉→超声水提→抽滤→复提→滤液合并→浓缩→混合→澄清→高温灭菌→灌装→复合猴头菇饮料。

操作要点: 对猴头菇、山楂、陈皮进行挑选, 去除病、虫、害个体; 用打粉机分别将其打至粗粉后过 120 目筛; 过筛后的粉于 1:12 料液比, 35 ℃、320 W 功率条件下超声水提 120 min 后抽滤; 重复两次合并滤液; 使用旋转蒸发仪浓缩水提液; 在确定各成分比例后进行混合; 在配制好的复合猴头菇饮料中加入食用明胶溶液, 摇匀, 25 ℃ 水浴, 静置 80 min; 加入羧甲基纤维素钠; 利用蒸汽灭菌锅灭菌 30 min 后罐装。

1.2.2 感官评分标准 参照 GB/T 31326-2014《食品安全国家标准—植物饮料感官评价》要求, 产品应具有植物原料所特有的色泽、滋味、气味、产品均匀透明, 放置后允许有少量沉淀或絮状物, 无外来杂质。

实验随机请 15 位具有食品感官评价课程背景的老师和学生组成感官评定小组进行无记名打分, 分别从滋味及气味、色泽、组织状态、有无杂质对复合饮料进行综合评价。感官评分标准如表 1 所示。

表 1 感官评定标准
Table 1 Sensory evaluation criteria

项目	评分标准	分值(分)
滋味及气味	口味适中, 感官极佳, 无异味	16~25
	口味稍不协调, 无异味	7.6~15
	苦味或者涩味过重, 无异味	0~7.5
色泽	具有原料特有的色泽	16~25
	色泽不饱满	7.6~15
	不具有原料特有色泽	0~7.5
状态	状态均匀透明, 允许有少量沉淀	16~25
	无明显分层, 沉淀较多	7.6~15
	分层明显, 沉淀较多	0~7.5
杂质	无外来杂质	16~25
	有极小杂质	7.6~15
	有大量杂质	0~7.5

1.2.3 配方优化响应面试验设计 经预实验猴头菇水提液、山楂水提液、陈皮水提液、甜味剂(30% 木糖醇溶液)、酸味剂(1% 柠檬酸: 柠檬酸钠 2:1)添加量分别为 24%、38%、14%、19%、5%, 此配方下产品呈橙色偏红, 色泽明亮, 口感略偏苦涩, 味道为淡柳橙

汁味。

为优化其口味, 在预实验基础上, 以猴头菇水提液、山楂水提液、陈皮水提液、甜味剂(30% 木糖醇溶液)、酸味剂(1% 柠檬酸: 柠檬酸钠 2:1)添加量为自变量(表 2), 以感官评价为响应值, 采用以下 Box-Behnken Design 进行配方工艺优化。

表 2 响应面试验因素水平设计
Table 2 Factors and levels of response surface test

水平	因素				
	A猴头菇水 提液(mL)	B山楂水 提液(mL)	C陈皮水 提液(mL)	D 30%木糖醇 溶液(mL)	E 1%柠檬酸 柠檬酸钠溶液 (2:1)(mL)
-1	1.5	3	1	1	0.4
0	2.5	4	1.5	2	0.5
1	3.5	5	2	3	0.6

1.2.4 澄清工艺优化正交试验设计

1.2.4.1 澄清度测定波长的选择和澄清度的测定 将响应面优化后的复合猴头菇饮料经 4000 r/min 离心 20 min 后, 使用紫外可见分光光度计, 以纯净水作空白对照, 在 400~760 nm 波长间, 每 40 nm 进行一次吸收波长的测定, 通过绘制波长 400~760 nm 范围的透光率曲线, 确定猴头菇复合饮料的最佳检测波长^[18]。在最佳检测波长 720 nm 下测定复合猴头菇饮料的透光率, 以此作为复合猴头菇饮料的澄清度。透光率越大, 澄清度越好。

1.2.4.2 澄清工艺单因素实验设计 以透光率为指标, 以明胶添加量、澄清时间、澄清温度和羧甲基纤维素钠添加量四个因素进行单因素实验, 固定澄清条件: 明胶添加量 2 g/L、澄清时间 80 min、澄清温度 25 ℃、羧甲基纤维素钠添加量 0.15 g/L; 分别设置考察不同明胶添加量(0.50、1.0、2.0、3.0、6.0、10.0 g/L), 不同羧甲基纤维素钠添加量(0.05、0.10、0.15、0.20、0.25、0.30 g/L), 不同澄清时间(40、80、120、150、180 min), 不同澄清温度(25、35、45、55、65、75 ℃), 4 个因素对澄清效果的影响, 每个水平测三次, 取平均值。

1.2.4.3 正交试验设计 以单因素实验为基础, 选取明胶添加量、澄清时间、澄清温度和羧甲基纤维素钠添加量四个因素为主要影响因素, 以澄清率为主要考察指标, 进行 L₉(3⁴) 正交试验, 确定最佳澄清工艺。正交因素水平表见表 3。

表 3 正交试验因素水平设计
Table 3 Orthogonal experimental factor level

水平	因素			
	A明胶添加量 (g/L)	B羧甲基纤维素钠添加 量(g/L)	C澄清温度 (℃)	D澄清时间 (min)
1	1	0.1	25	40
2	2	0.15	35	80
3	3	0.2	45	120

1.2.5 理化指标检测 将响应面与正交试验优化后

制得的成品植物饮料进行如下理化指标检测:依据 GB/T12143-2008《饮料通用分析方法》^[19],折光仪法测定可溶性固形物含量;DNS 试剂盒法测定还原糖含量;T/AHFIA005-2018 法《植物提取物及其制品中总多酚含量的测定-分光光度法》测定总酚含量;GB 5009.237-2016《食品安全国家标准 食品 pH 值的测定》pH 计法测定溶液 pH。

1.2.6 动物试验

1.2.6.1 动物模型建立与给药 大鼠适应性饲养 7 d 后,将 32 只大鼠随机分为 4 组:空白对照组(Con)、模型组(Mod)、阳性对照组(Pc)、猴头菇复合水提物组(ST,猴头菇水提液:山楂水提液:陈皮水提液=23:37:14),每组 8 只。模型组、阳性对照组、猴头菇复合水提物组采用隔日上午 10 mL·kg⁻¹ 剂量灌胃 50% 酒精,空白对照组灌胃相同剂量的生理盐水消除应激差异,持续造模 3 周。造模期间阳性对照组每天灌胃(猴头菌提取物颗粒)315 mg·kg⁻¹,复合猴头菇水提物组每天灌胃 354 mg·kg⁻¹。空白对照组和模型组则灌胃 0.5% 的羧甲基纤维素钠溶液消除应激差异,灌胃剂量均为 10 mL·kg⁻¹。

复方水提液给药方法计算:根据《中华人民共和国药典》2020 版,猴头菇人体推荐摄入量为 9~15 g/d,陈皮人体推荐摄入量为 3~10 g/d,山楂人体推荐摄入量为 9~12 g/d。依据三者最大临床剂量并结合提取率 2.25%,可计算出大鼠复合水提物给药量为 $(2.25\% \times 6.3 \times 37) / 60 = 354 \text{ mg/kg}$ 。

1.2.6.2 样品采集 试验结束后,使用大鼠腹主动脉取全血于肝素钠采血管,然后立刻在 3000 r/min 离心 10 min,取上清液存放于 -80 ℃ 冰箱冷冻,用于后续测定。取完整胃组织用 4% 多聚甲醛固定,常规脱水,石蜡包埋,连续切片,进行苏木精-伊红 HE 染色,显微镜下进行胃部病理学分析。

1.2.6.3 生化指标测定 总抗氧化能力(T-AOC);谷胱甘肽酶(GSH);过氧化氢酶(CAT)、NO(一氧化氮)、MPO(髓过氧化物酶)活性测定方法及流程参照试剂盒说明进行。

1.3 数据处理

试验数据以平均值±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组间显著性分析采用 Origin 2021 软件,单因素方差分析(one-way ANOVA)比较组间差异,spssau 进行正交试验结果分析,Design-Expert 8.06 进行 Box-Behnken 响应面试验结果分析。

2 结果与分析

2.1 配方优化响应面试验结果与方差分析

2.1.1 复合猴头菇饮料配方优化响应面试验结果 在预实验基础上,利用 Box-Behnken 软件进行响应面试验,响应面试验设计及结果见表 4,回归模型的分差分析结果见表 5。

由表 5 可知,此模型 $P < 0.0001$ 拟合方程极显

表 4 Box-Behnken 试验结果

Table 4 Results of Box-Behnken experimental

试验号	A猴头菇水 提液(mL)	B山楂水 提液(mL)	C陈皮水 提液(mL)	D 30%木糖醇 溶液(mL)	E 1%柠檬酸 柠檬酸钠溶液 (2:1)(mL)	感官 评价
1	2.5	3	1.5	2	0.6	95
2	2.5	4	1.5	3	0.4	95.4
3	2.5	5	1.5	2	0.6	95.5
4	1.5	3	1.5	2	0.5	95.3
5	2.5	4	1.5	2	0.5	99
6	2.5	3	2	2	0.5	96
7	2.5	4	1.5	2	0.5	99
8	2.5	3	1	2	0.5	95.7
9	3.5	4	1.5	2	0.4	93.4
10	2.5	4	1.5	3	0.6	95.5
11	1.5	4	1.5	2	0.4	93
12	2.5	4	1	1	0.5	93.5
13	3.5	4	1	2	0.5	93.7
14	2.5	5	1	2	0.5	97
15	2.5	3	1.5	3	0.5	97
16	3.5	4	1.5	1	0.5	89
17	1.5	4	1	2	0.5	94.8
18	2.5	4	1.5	1	0.6	92
19	2.5	4	1	3	0.5	96
20	2.5	3	1.5	2	0.4	94.5
21	2.5	5	2	2	0.5	96
22	3.5	5	1.5	2	0.5	95.3
23	2.5	3	1.5	1	0.5	92
24	2.5	4	1	2	0.4	95.5
25	2.5	4	1.5	2	0.5	99
26	3.5	4	2	2	0.5	93.8
27	2.5	4	1.5	2	0.5	98.9
28	1.5	4	1.5	1	0.5	92
29	1.5	4	1.5	3	0.5	94.2
30	2.5	4	1.5	1	0.4	91
31	1.5	5	1.5	2	0.5	93.8
32	2.5	4	2	2	0.4	92.5
33	2.5	4	2	3	0.5	96.4
34	2.5	5	1.5	2	0.4	96
35	2.5	4	1	2	0.6	97
36	3.5	4	1.5	3	0.5	96
37	2.5	5	1.5	3	0.5	96.5
38	2.5	4	1.5	2	0.5	99
39	1.5	4	1.5	2	0.6	95
40	3.5	3	1.5	2	0.5	93
41	2.5	4	1.5	2	0.5	98
42	3.5	4	1.5	2	0.6	93.2
43	1.5	4	2	2	0.5	94
44	2.5	5	1.5	1	0.5	93
45	2.5	4	2	1	0.5	92
46	2.5	4	2	2	0.6	95.7

著,具有统计学意义;失拟项 $P > 0.05$ 不显著,说明回归模型对响应值拟合良好;回归方程的决定系数 $R^2 = 0.97$,变异系数 C.V.% = 0.58%,表明模型可信度高,预测值与试验值较为接近。根据试验数据得到的回归方程为:

$$Y = 98.82 - 0.29A + 0.29B - 0.42C + 2.03D + 0.47E + 0.95AB + 0.22AC + 1.20AD - 0.55AE - 0.32BC - 0.38BD - 0.25BE + 0.48CD + 0.43CE - 0.23DE - 3.12A^2 - 1.28B^2 - 1.45C^2 - 2.95D^2 - 2.23E^2$$

由 F 值可知此五种因素对猴头菇复合饮料的感

表 5 Box-Behnken 方差分析
Table 5 Analysis of variance of Box-Behnken

来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	224.62	20	11.23	36.68	<0.0001	**
A-猴头菇水提液	1.38	1	1.38	4.51	0.0438	*
B-山楂水提液	1.32	1	1.32	4.32	0.0481	*
C-陈皮水提液	2.89	1	2.89	9.44	0.0051	**
D-甜味剂	66.02	1	66.02	215.61	<0.0001	**
E-酸味剂	3.61	1	3.61	11.79	0.0021	**
AB	3.61	1	3.61	11.79	0.0021	**
AC	0.2	1	0.2	0.66	0.4238	
AD	5.76	1	5.76	18.81	0.0002	**
AE	1.21	1	1.21	3.95	0.0579	
BC	0.42	1	0.42	1.38	0.2512	
BD	0.56	1	0.56	1.84	0.1874	
BE	0.25	1	0.25	0.82	0.3748	
CD	0.9	1	0.9	2.95	0.0984	
CE	0.72	1	0.72	2.36	0.1371	
DE	0.2	1	0.2	0.66	0.4238	
A ²	85	1	85	277.61	<0.0001	**
B ²	14.28	1	14.28	46.64	<0.0001	**
C ²	18.24	1	18.24	59.58	<0.0001	**
D ²	76.16	1	76.16	248.75	<0.0001	**
E ²	43.37	1	43.37	141.64	<0.0001	**
残差	7.65	25	0.31			
失拟项	6.85	20	0.34	2.12	0.2075	
净误差	0.81	5	0.16			
总和	232.27	45				

注: * $P<0.05$, ** $P<0.01$ 。

官评分影响程度依次为 $D>E>C>A>B$, 即甜味剂>酸味剂>陈皮>猴头菇>山楂。AB、AD 交互项极显著, 说明 A-猴头菇水提液、B-山楂水提液与 A-猴头菇水提液、D-甜味剂的相互作用对猴头菇复合饮料的感官评分影响较大。

2.1.2 响应面分析 通过 Design Expert 对各因素之间的交互作用进行响应面分析, 并绘制响应面曲线图和等高线图(图 1)。三维响应面直观地反应了各个因素对复合猴头菇饮料感官评分的影响。感官评价随猴头菇水提液和山楂水提液的增加, 呈先增大后减小的趋势, 由此可见, 掌握好猴头菇水提液和山楂水提液比例是获取较好感官评价的关键; 猴头菇水提液与甜味剂的响应曲面相比山楂、陈皮水提液与甜味剂的等高线更为密集, 颜色变化多, 曲面更加陡峭, 说明猴头菇水提液与甜味剂的交互作用对感官评价的影响更为显著, 所得试验结果与表 5 中 AB、AD 交互值显著相符合, 说明数据的真实性和模型的可靠性。

2.1.3 最优条件预测及验证 经过响应面优化后复合猴头菇饮料配方条件为: 猴头菇水提液 23%, 山楂水提液 37%, 陈皮水提液 14%, 30% 木糖醇溶液 21%, 1% 柠檬酸柠檬酸钠溶液(2:1)5%, 此条件下感官评价预测值为 99.1993, 在最优配方条件比下调配出的饮料, 经多位接受过感官评定培训的人员通过表 1 评价标准进行感官评分, 最终评分均值为

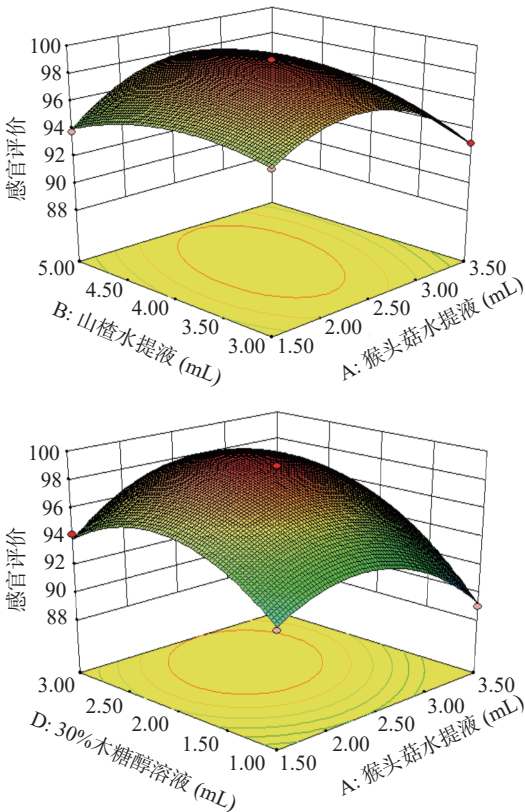


图 1 不同因素交互作用对复合猴头菇饮料感官评分的影响
Fig.1 Effect of different factor interactions on the sensory evaluation of compound *Hericium erinaceus* beverage

98.45, 结果在误差的允许范围内, 表明模型中方程的拟合性好, 用响应面根据感官评价优化复配猴头菇复合猴头菇饮料调配比例是可靠的, 该条件具有可行性。

2.2 澄清工艺优化正交试验结果与分析

2.2.1 最佳波长的确定 经 4000 r/min 离心, 透光率在 400~720 nm 波长的范围内一直呈现上升趋势, 在波长 720 nm 达到最高值 79.24%, 在 720~800 nm 范围内呈下降趋势, 并趋于平缓, 故最终确定 720 nm 为最佳波长(图 2)。

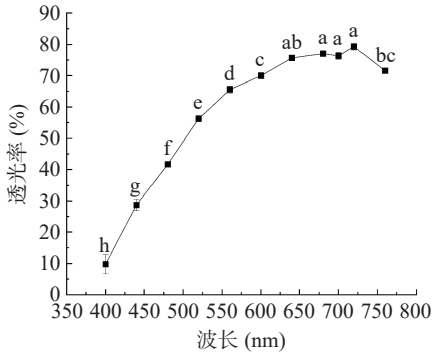


图 2 紫外光区最大测定波长
Fig.2 Maximum measured wavelength in the ultraviolet region
注: 不同字母表示有显著性差异($P<0.05$), 图 3~图 6 同。

2.2.2 单因素实验结果

2.2.2.1 明胶添加量对复合饮料澄清效果的影响 作为蛋白质类澄清剂, 明胶利用其自身所带正电荷与饮

料中带负电荷的离子相聚合,从而将其他悬浮微粒吸附下沉,达到澄清的效果。通过图 3 可得,明胶的添加量在 2 g/L 时,透光率达到最高均值 96.55%,明胶添加量大于 2 g/L 时,透光率逐渐下降,原因是明胶自身作为蛋白质成分被检测出来,这与张妮等^[20]的研究结果一致。因此明胶用量需要严格控制,用量过大会严重影响产品感官品质,造成酒体的浑浊,同时饮料的色泽会有一定程度的损失^[21]。故选择 2 g/L 为澄清最佳明胶添加量。

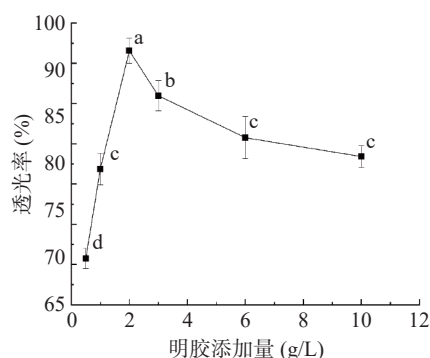


图 3 明胶添加量对复合饮料澄清效果的影响
Fig.3 Effect of bentonite dosage on clarification of compound beverage

2.2.2.2 澄清时间对复合饮料澄清效果的影响 通过图 4 可得,透光率随着澄清时间的增长呈上升趋势,在 80 min 之前,透光率上升较快,可见适宜的澄清时间会使饮料中的正负电荷微粒之间产生静电作用,通过离心静置等方法可将悬浮于饮料中的物质与澄清剂发生絮凝沉降^[22],达到最佳的澄清效果。80 min 之后逐渐趋于平缓,这是因为过短的澄清时间导致明胶与悬浮物未完全结合,过长的澄清时间则使部分沉淀物重新与饮料融合,对复合饮料的澄清无促进作用,且影响其品质。由此选择 80 min 为最佳澄清时间。

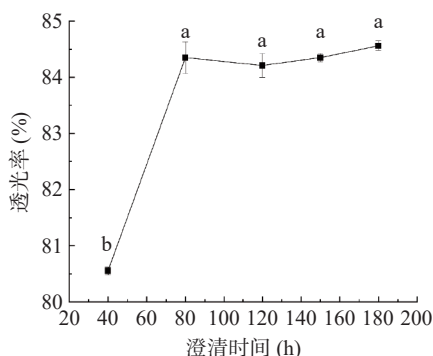


图 4 澄清时间对复合饮料澄清效果的影响
Fig.4 Effect of clarifying time on clarification of compound beverage

2.2.2.3 澄清温度对复合饮料澄清度的影响 通过图 5 可得,澄清温度对透光率的影响很大。25 ℃ 时,透光率均值达到 86.25%,随着澄清温度的升高,透光率明显下降,可能是由于升温使粒子的热运动增

强,溶液黏性降低,使其对体系中剩余胶体颗粒的絮凝作用不充分,同时温度过高,溶液中高分子链收缩,缩短了架桥长度,絮凝作用减弱,从而降低了澄清作用^[23-24]。同时考虑到温度过高对饮料中的其他功效成分的破坏,因此将絮凝温度控制在 25 ℃ 较适宜。

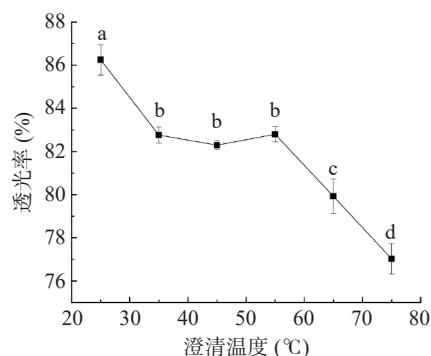


图 5 澄清温度对复合饮料澄清效果的影响
Fig.5 Effect of clarifying temperature on clarification of compound beverage

2.2.2.4 羧甲基纤维素钠添加量对复合饮料澄清度的影响 杨婧曦^[25]研究表明,饮料生产中出现的浑浊现象可能是由蛋白质或蛋白质和多酚物质间以“多酚桥”相互团聚引起的。由图 6 可知,在添加量达到 0.15 g/L 时透光率达到最高均值 89.22%,原因可能是离子型胶体 CMC-Na 吸附在饮料中的蛋白质、黄酮等大分子颗粒表面,增大其质量,沉降后通过减少总黄酮和蛋白质等大分子物质含量来达到澄清的效果。在大于 0.15 g/L 添加量时,随 CMC-Na 添加量的升高透光率在不断下降,当 CMC-Na 添加量大于 0.25 g/L,透光率显著下降,原因可能是过多的 CMC-Na 与胶体发生电性中和,使得胶体粒子增大而使浊度值升高,同时增加了体系的黏度。同时推测 CMC-Na 在饮料中可能参与了保持饮料各类平衡的反应,使晶体在饮料体系中的存在条件发生变化,引起沉淀物的聚沉,这与王华等^[26]的研究一致,故选 0.15 g/L 为最佳添加量。

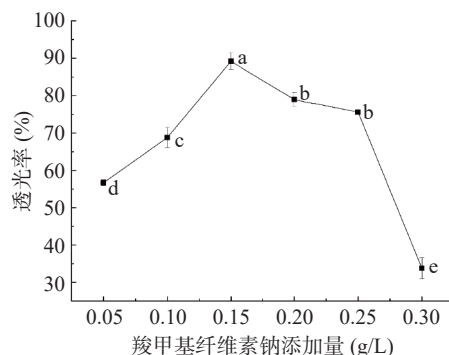


图 6 羧甲基纤维素钠对复合饮料澄清效果的影响
Fig.6 Effect of sodium carboxymethyl cellulose on clarification of compound beverage

2.2.3 正交试验结果 由表 6、表 7 可以看出,影响饮料透光率高低的因素排序: A>D>C>B, 最优组合

表 6 $L_9(3^4)$ 正交优化试验结果

Table 6 Results of $L_9(3^4)$ orthogonal optimization experiment					
试验号	A明胶 添加量(g/L)	B羧甲基纤维素钠 添加量(g/L)	C澄清 温度(℃)	D澄清 时间(min)	透光率 (%)
1	2	0.2	35	120	92.14
2	1	0.15	35	120	87.52
3	2	0.15	35	80	95.24
4	2	0.15	35	80	96.75
5	2	0.15	35	80	96.03
6	1	0.1	35	80	84.03
7	2	0.2	45	80	88.97
8	2	0.2	35	40	85.7
9	2	0.2	25	80	92.07
10	3	0.2	35	80	85.4
11	3	0.15	35	40	85.08
12	1	0.2	35	80	86.72
13	2	0.1	35	40	88.24
14	3	0.15	35	120	89.37
15	2	0.1	25	80	92.13
16	2	0.15	45	120	90.59
17	2	0.1	45	80	90.2
18	3	0.15	25	80	90.81
19	1	0.15	25	80	89.11
20	2	0.15	45	40	87.14
21	2	0.15	35	80	94.76
22	3	0.15	45	80	88.4
23	1	0.15	45	80	85.33
24	2	0.15	25	120	93.46
25	2	0.15	35	80	94.31
26	1	0.15	35	40	82.14
27	2	0.15	25	40	89.31
28	3	0.1	35	80	89.5
29	2	0.1	35	120	85.71
K_1	85.808	88.302	91.148	86.268	
K_2	91.338	90.315	89.331	90.574	
K_3	88.673	88.5	88.438	89.798	
R	5.53	2.013	2.71	4.306	
最优方案	A_2	B_2	C_1	D_2	

表 7 主要影响因素方差分析结果

Table 7 Analysis of variance of main influencing factors					
因素	平方和	自由度	均方	F	显著性
A	217.437	2	108.718	47.162	0.000***
B	75.205	2	37.602	30.099	0.000***
C	33.225	2	16.612	7.206	0.004**
D	138.772	2	69.386	16.312	0.000***
残差	46.105	20	2.305		

注: ** $P<0.01$, *** $P<0.001$ 。

为 $A_2B_2C_1D_2$, 即饮料澄清受明胶添加量影响最为显著, 其次是澄清时间、澄清温度、羧甲基纤维素钠添加量。正交试验表明饮料澄清的最佳工艺数据为明胶添加量、羧甲基纤维素钠添加量、澄清时间、澄清温度分别为 2 g/L、0.15 g/L、80 min、25 ℃。此时饮料口感醇厚, 具有原料特有的香味, 液体澄清透明, 颜色均匀。

2.2.4 工艺验证 为检验结果的可靠性, 采用优化后的工艺参数: 明胶添加量、羧甲基纤维素钠添加量、澄清时间、澄清温度分别为 2 g/L、0.15 g/L、80 min、

25 ℃ 重复开展三次试验, 得到复合猴头菇饮料的透光率为 $96.1\%\pm0.15\%$ 。这一结果显示, 经由响应面优化法所得到的提取工艺技术参数是可信的, 通过正交试验所获得的优化过程是合理的, 具备相应的实践指导意义。

2.3 理化指标检测结果

饮料中可溶性固形物的含量是衡量饮料营养价值和口感的重要指标, 它主要包括可溶性糖类(如单糖、双糖、多糖)以及其他可溶于水的成分如维生素和矿物质。根据 GB/T 31326 植物饮料中可溶性固形物需大于 0.5 g/L, 产品测得可溶性固形物含量 30 g/L, 符合标准(表 8), 也提示其所含营养成分较为丰富。其中还原糖和多酚类物质作为自由基清除和抑制剂, 可显著减缓机体氧化损伤, 是评价饮料抗氧化功能的重要指标, 产品较高的还原糖含量和总酚含量(分别为 0.2733 g/L, 6.73%)为研究复合猴头菇提取液对酒精性氧化损伤大鼠的改善作用提供了一定的物质基础。

表 8 猴头菇复方饮料理化指标测定结果

Table 8 Results of physical and chemical index of compound <i>Hericium erinaceus</i> beverage	
项目	结果
可溶性固形物含量(g/L)	30
还原糖含量(g/L)	0.2733
总酚含量(%)	6.73
pH	3.74

2.4 复合猴头菇提取液对酒精性氧化损伤大鼠的改善作用

2.4.1 复合猴头菇提取液对酒精性氧化损伤大鼠体重、一般行为状态的影响 实验期间大鼠的体重总体呈稳定上升趋势, 空白组大鼠前期增长快速, 到 15 d 开始增长趋于平缓(图 7)。模型组大鼠经酒精灌胃后体重前期缓慢增长, 到 11 d 后体重开始持续



图 7 猴头菇复方提取液对大鼠体重的影响

Fig.7 Effects of compound *Hericium erinaceus* beverage on body weight of rats

注: 与空白组相比, * $P<0.05$, ** $P<0.01$; 与模型组相比, # $P<0.05$, ### $P<0.01$, 图 9~图 10 同。

下降,且显著低于空白组($P<0.05$),19 d 时体重极显著低于空白组($P<0.01$);试验组大鼠前期体重增长较快,但较空白组增长较为缓慢,在 13 d 之后体重开始显著或极显著高于模型组($P<0.05$ 或 $P<0.01$)。

空白组大鼠在整个实验期间精神状态良好,活泼好动,毛发纯白有色泽,粪便干燥呈椭圆形;给予酒精灌胃的组别状态不佳,相继出现了行动缓慢、精神不振、嗜睡等症状,还伴随着稀便,毛发粗糙色泽发暗。经过猴头菇复合水提物干预后,状态有所好转,行动变多,嗜睡现象减少。

2.4.2 复合猴头菇提取液对酒精性氧化损伤大鼠脏器指数的影响 各组大鼠的脏器指数如表 9 所示,与空白组相比,模型组肝脏指数和胃指数极显著升高($P<0.01$),肾脏指数和脾脏指数有升高但不具有显著性,说明酒精灌胃后大鼠脏器肿大,可能对肝、胃功能造成了一定损伤^[27]。与模型组相比,复合猴头菇水提组大鼠胃指数、肝脏指数均有所降低,其中肝脏指数显著降低($P<0.05$),说明复合猴头菇水提物能够保护酒精造成的肝脏与胃损伤的肿大,一定程度上减少酒精对大鼠的氧化损伤作用。

表 9 各组大鼠脏器指数比较($\bar{x}\pm s$, $n=8$)

Table 9 Comparison of organ index among different groups of rats ($\bar{x}\pm s$, $n=8$)

组别	胃指数(%)	肝脏指数	脾脏指数	肾脏指数
空白对照组	0.631±0.367	2.00±0.06	0.15±0.01	0.35±0.01
模型组	0.866±0.744**	2.39±0.07**	0.18±0.03	0.35±0.03
阳性对照组	0.726±0.130	2.17±0.06 [#]	0.14±0.01	0.35±0.02
猴头菇水部位组	0.734±0.743	2.22±0.10 [#]	0.15±0.04	0.32±0.02

注:与空白组相比,* $P<0.05$,** $P<0.01$;与模型组相比,[#] $P<0.05$,^{##} $P<0.01$ 。

2.4.3 大鼠胃黏膜组织的病理改变 图 8 可见,空白对照组胃组织完整,无明显的损伤及溃烂,胃黏膜各层结构完整清晰,细胞形态完整,腺体排列规则,未见组织缺损、出血、炎症等异常病变;相对于空白对照组,模型组的胃组织溃烂程度严重,经历了一系列损伤包括胃黏膜剥落损伤、腺体结构紊乱、组织间隙扩大等;大鼠经灌胃猴头菇提取物颗粒以及复方猴头菇水提物后,两组相较于模型组症状均有所减轻,且胃组织细胞结构与模型组相比排列较整齐,肿胀程度不明显,但与空白对照组相比细胞排列较紊乱,有轻微的出血点,且阳性组大鼠的黏膜层水肿与试验组症状较明显,部分细胞排列松散,部分黏膜上皮细胞坏死脱落;而试验组大鼠仅有部分胃黏膜上皮细胞坏死脱落,黏膜层中有少量红细胞和炎细胞浸润。

2.4.4 复合猴头菇提取液对酒精性损伤大鼠血清、胃组织氧化指标的影响 胃肠疾病发病的机制很复杂,其中氧化损伤与胃肠损伤有最为直接的关系。在酒精的作用下,机体易产生氧化与抗氧化失衡的危机,胃部组织会产生大量的活性氧(ROS),这些

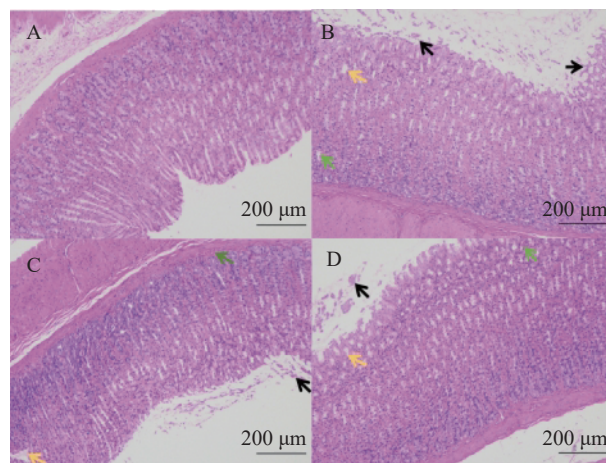


图 8 猴头菇复方提取液对酒精性胃损伤组织形态学的影响(100×)

Fig.8 Effect of compound *Hericium erinaceus* beverage on morphological histology of rats with alcoholic gastric mucosa injury (100×)

注:A 为空白组,B 为模型组,C 为阳性对照组,D 为猴头菇水提液组。图中黄色箭头为腺体结构紊乱,黑色箭头为黏膜层细胞弥散性坏死脱落,绿色箭头为黏膜出血。

ROS 会导致脂质过氧化,使得 NO(一氧化氮)、MPO(髓过氧化物酶)水平升高。GSH(谷胱甘肽酶)、CAT(过氧化氢酶)、T-AOC(总抗氧化能力)等水平降低^[19]。GSH 作为机体重要的抗氧化酶,可有效地清除氧自由基,其表达量的增加可减轻胃黏膜损伤,是胃黏膜的重要保护因子^[18]。过氧化氢酶(CAT)可以分解代谢 SOD 对 ROS 的代谢产物-过氧化氢,进一步发挥机体对外界刺激的抗氧化作用,达到保护机体健康的目的^[28]。T-AOC 主要功能是维持体内活性氧的稳态并通过清除过量的活性氧来保证机体处在一个相对稳定的氧化还原状态,其作为体内酶类和非酶类抗氧化物的总体水平的代表,对于保障机体健康至关重要^[29-30]。由图 9、图 10 可见,模型组大鼠血清和胃组织中 GSH、T-AOC、CAT 水平显著或极显著低于空白组($P<0.05$ 或 $P<0.01$),胃组织中 NO 水平和 MPO 水平显著或极显著升高($P<0.05$ 或 $P<0.01$);相较于模型组,猴头菇水提取物组 GSH、T-AOC、CAT 有所升高,其中 T-AOC 水平显著升高($P<0.05$),NO 活性和 MPO 水平有所降低,其中 NO 水平显著降低($P<0.05$)。说明酒精可引起机体内 GSH、T-AOC、CAT 酶活性的下降,NO、MPO 水平的升高,由此引起体内活性氧的升高,导致机体氧化损伤。猴头菇水提取物干预后,大鼠机体中 GSH、T-AOC、CAT 含量有所升高,NO、MPO 水平有所降低,从而减少酒精对机体的氧化应激,缓解大鼠体内脂质过氧化作用,对酒精性胃损伤起到一定改善作用。

研究显示猴头菇中多糖,黄酮,酚类、甾体类化合物成分作为天然产物能有效缓解酒精性胃损伤,能通过多种机制调控酒精性胃损伤的发生和发展,起到

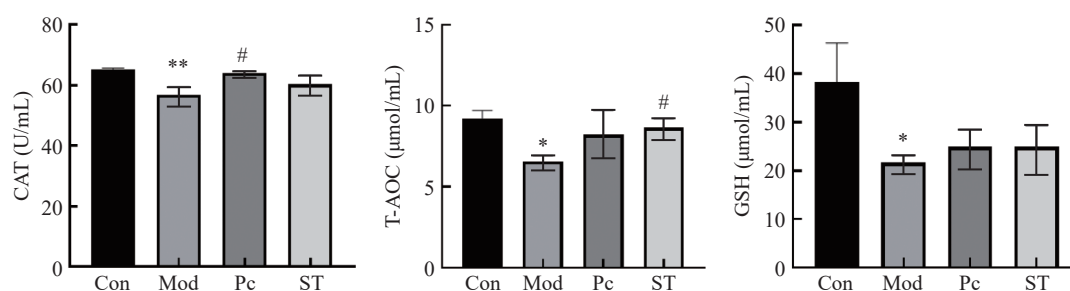


图 9 复合猴头菇饮料对酒精性氧化损伤大鼠血清氧化指标的影响

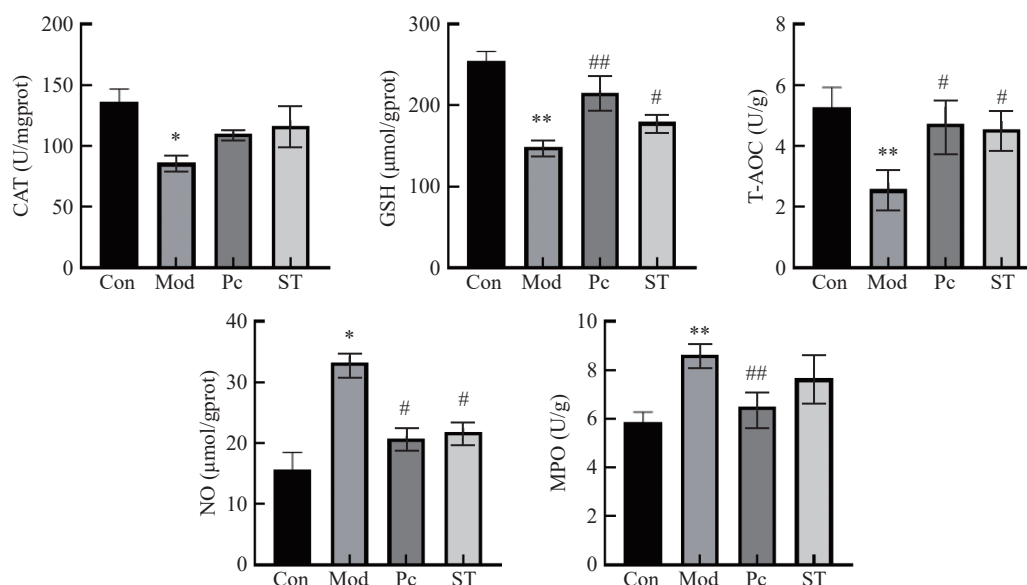
Fig.9 Effect of compound *Hericium erinaceus* beverage on antioxidant indexes of serum in rats with alcoholic oxidative injury

图 10 复合猴头菇饮料对酒精性氧化损伤大鼠胃组织氧化指标的影响

Fig.10 Effect of compound *Hericium erinaceus* beverage on antioxidant indexes of gastric tissue rats in rats with alcoholic oxidative injury

缓解酒精性胃病的效果。但其活性成分和作用机制尚不明确^[31]。课题组前期利用网络药理学技术和生物信息学方法,探讨了猴头菌提取物颗粒治疗胃病(gastric diseases)的活性成分、作用靶点及分子机制,构建了化合物-靶点-疾病网络,KEGG 通路富集分析发现丝裂原活化蛋白激酶(MAPK)信号通路相关蛋白富集率较高。p38/MAPK 被认为是多条信号途径的交汇点和共同通道。生理条件下 p38/MAPK 表达活性很低,既可被生长因子类激活,参与调控细胞分化与增殖,也可被应激刺激和病理性损伤信号激活,介导细胞凋亡反应^[32]。目前已有较多研究报道,p38/MAPK 在调节胃上皮增生、分化、凋亡中发挥重要作用且与溃疡的发生密切相关^[33]。因此初步推测猴头菌提取物可能通过 p38/MAPK 通路影响胃黏膜上皮细胞(GES1)分化凋亡达到治疗胃黏膜损伤的效果。因此课题下一步将猴头菌提取物的有效成分进行提取鉴定,并基于 p38/MAPK 通路深入探究其药效物质基础及作用机制。

3 结论

复合猴头菇饮料优化后的最佳工艺为猴头菇水提液 23%,山楂水提液 37%,陈皮水提液 14%,30%木糖醇溶液 21%,1%柠檬酸柠檬酸钠溶液(2:1)

5%,此条件下产品口感良好,风味最佳。在单因素实验的基础上采用正交试验对复合猴头菇饮料澄清工艺进行优化,得出最佳澄清工艺为明胶加入量 2 g/L,絮凝时间 80 min,絮凝温度为 25 ℃,羧甲基纤维素钠添加量为 0.15 g/L,在此条件下澄清度最高且沉淀物质稳定,透光率均值为 96.1%,常温与低温贮存状态下均不易分层。产品可溶性固形物含量、还原糖、多酚含量、pH 分别为 30 g/L、0.2733 g/L、6.73%、3.74,符合国家标准。动物试验证实猴头菇复方水提液对酒精性氧化损伤大鼠胃黏膜组织有一定的改善作用,可提高机体血清和胃组织中 T-AOC、GSH、CAT 水平,降低 NO、MPO 水平,从而改善机体酒精性氧化损伤。研究结果为猴头菇复合饮料和功能性的研发提供了技术支撑,也为药食同源改善胃肠功能的产品研发提供了新的思路。

© The Author(s) 2025. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

[1] 李明芳,王文颖.国内外大学生胃肠道疾病的影响因素及研

- 究进展[J]. 世界最新医学信息文摘, 2019, 19(80): 78-79. [LI Mingfang, WANG Wenying. Influential factors and research progress of gastrointestinal diseases in college students[J]. World Latest Medicine Information, 2019, 19(80): 78-79.]
- [2] 陈丽华, 单雅慧, 管咏梅, 等. 药食同源物质改善胃肠道功能作用的研究进展[J]. 食品工业科技, 2023, 44(4): 480-487. [CHEN Lihua, SHAN Yahui, GUAN Yongmei, et al. Research progress on the effect of medicinal and edible substances on improving gastrointestinal tract function[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(4): 480-487.]
- [3] RYAZANTSEV S, PAVLOVA S S, TYRNOVA E V, et al. Possibilities of usage of modern herbal medicinal product in the treatment of patients with acute viral rhinosinusitis[J]. *Vestnik Otorinolaringologii*, 2023, 88(5): 49-57.
- [4] YE T, XU M, FANG J, et al. Antidepressant-like active ingredients and their related mechanisms of functional foods or medicine and food homologous products[J]. *Digital Chinese Medicine*, 2023, 6(1): 9-27.
- [5] WU L, HU Z, LÜ Y, et al. *Hericium erinaceus* polysaccharides ameliorate nonalcoholic fatty liver disease via gut microbiota and tryptophan metabolism regulation in an aged laying hen model[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2024, 273: 132735.
- [6] 刘晓龙, 蒋中华. 食用菌生产流程图谱猴头菇[M]. 长春: 吉林出版集团有限责任公司, 2010: 6-8. [LIU Xiaolong, JIANG Zhonghua. Edible mushroom production process map Monkeyhead mushroom[M]. Changchun: Jilin Publishing Group Co., Ltd., 2010: 6-8.]
- [7] WANG M, XU F, HU X, et al. The complete mitochondrial genome of *Hericium erinaceus* (Bull.: Fr.) Pers, 1797 (Russulales, Basidiomycota): An edible and medicinal fungus[J]. *Mitochondrial DNA. Part B, Resources*, 2024, 9(3): 357-360.
- [8] MA K, BALOCH Z, HE T T, et al. Alcohol consumption and gastric cancer risk: A meta-analysis[J]. *Med Sci Monit*, 2017, 14(23): 238-246.
- [9] 涂晓媛, 褚路路, 王冕, 等. 珊瑚状猴头菇多糖的提取及其体外抗氧化活性分析[J]. 生物技术通报, 2023, 39(12): 276-286. [TU Xiaoyuan, CHU Lulu, WANG Mian, et al. Extraction of polysaccharide from *Hericium corallinum* and analysis on its *in vitro* antioxidant activity[J]. Biotechnology Bulletin, 2023, 39(12): 276-286.]
- [10] FERHAT O, ECEM A, OZER K. Use of cornelian cherry, hawthorn, red plum, roship and pomegranate juices in the production of water kefir beverages[J]. *Food Bioscience*, 2021, 42: 101219.
- [11] 王淑玉, 何大铃, 张建才, 等. 动态高压微射流对山楂果渣膳食纤维理化及结构特性的影响[J]. 食品科学, 2024, 45(17): 174-182. [WANG Shuyu, HE Daling, ZHANG Jiancai, et al. Effects of dynamic high-pressure microjet on physicochemical and structural properties of dietary fiber from hawthorn pomace[J]. *Food Science*, 2024, 45(17): 174-182.]
- [12] 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, 2020: 3. [Chinese Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China (Part 1) [M]. Beijing: Medicine Science and Technology Press of China, 2020: 3.]
- [13] 叶美玉. 党参山楂健脾养胃咀嚼片的制剂工艺及药效学研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2019. [YE Meiyu. Study on the preparation technology and pharmacodynamics of Dangsheng Shanzha Spleen-nourishing and stomach-enriching chewable tablets[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2019.]
- [14] 廖嘉仪, 关琴笑, 谭娥玉. 基于网络药理学探讨陈皮治疗功能性胃肠病的作用机制[J]. 中医药通报, 2024, 23(3): 51-56. [LIAO Jiayi, GUAN Qinxiao, TAN E'yu. Exploring the mechanism of action of Chenpi in the treatment of functional gastrointestinal diseases based on Network Pharmacology[J]. *Traditional Chinese Medicine Journal*, 2024, 23(3): 51-56.]
- [15] BAI C, WANG J, WANG Y, et al. Exploration of the mechanism of traditional Chinese medicine for anxiety and depression in patients with diarrheal irritable bowel syndrome based on network pharmacology and meta-analysis[J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2024, 15: 1404738.
- [16] 高林林, 骆勇, 陈紫麟, 等. 响应面法优化榆黄菇/秀珍菇面包配方及品质分析[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2024, 44(3): 89-98. [GAO Linlin, LUO Yong, CHEN Zilin, et al. Optimization of formula and quality analysis of *Pleurotus citrinopileatus*/*Pleurotus geesteranus* bread by response surface methodology[J]. *Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition)*, 2024, 44(3): 89-98.]
- [17] NETNAPA M, SASITHORN S, JAKKAPAN S, et al. *Lactobacillus plantarum* SK15 as a starter culture for prevention of biogenic amine accumulation in fermented beverage containing *Hericium erinaceus* Mushroom[J]. *Applied Sciences*, 2021, 11(15): 6680-6680.
- [18] 周慧英, 邓红雨, 康瑞萍, 等. 孜然枯茗醛对实验性胃溃疡大鼠胃黏膜的保护作用[J]. 中国药理学通报, 2023, 39(5): 946-952. [ZHOU Huiying, DENG Hongyu, KANG Ruiping, et al. The protective effect of cuminaldehyde on gastric mucosa in rattus norregicus of experimental gastric ulcer[J]. *Chinese Pharmacological Bulletin*, 2023, 39(5): 946-952.]
- [19] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 12143-2008. 饮料通用分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008. [Standardization Administration of China. GB/T 12143-2008. General analysis methods for beverages[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.]
- [20] 张妮, 肖作兵, 牛云蔚, 等. 三种常用澄清剂对樱桃酒澄清效果的影响[J]. 食品工业, 2012(1): 26-27. [ZHANG Ni, XIAO Zuobing, NIU Yunwei, et al. Effects of three common clarifi cants on clarifi cation of cherry wine[J]. *The Food Industry*, 2012(1): 26-27.]
- [21] 黄来发. 食品增稠剂[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2009. [HUANG Laifa. Food Thickening Agent[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2009.]
- [22] 顾晓雨, 李雨蒙, 陈玺之, 等. 响应面法优化蓝靛果果汁脱涩工艺[J]. 包装工程, 2022, 43(1): 115-123. [GU Xiaoyu, LI Yumeng, CHEN Xizhi, et al. Optimization of destringency process of *Lonicera edulis* juice by response surface methodology[J]. *Packaging Engineering*, 2022, 43(1): 115-123.]
- [23] 李慧. 陈皮多糖血糖调节作用及其口服液的制备研究[D]. 重庆: 西南大学, 2020. [LI Hui. Study on the blood glucose regulation of polysaccharides originated from tangerine peel and Oral Liquid Preparatio[D]. Chongqing: Southwest University, 2020.]
- [24] 郑化, 吴斌, 徐运波. 水溶性壳聚糖对黄芪水提液絮凝性能的影响[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2009, 13(12): 2273-2277. [ZHENG Hua, WU Bin, XU Yunbo. Effect of water-soluble chitosan on flocculability of Huangqi water-extract solution[J]. *Journal of Clinical Rehabilitative Tissue Engineering Research*, 2009, 13(12): 2273-2277.]
- [25] 杨婧曦. 银杏饮料的制备工艺及其稳定性研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2014. [YANG Jingxi. Study on processing and sta-

- bility of ginkgo juice[D]. Jinan: Qilu University of Technology, 2014.]
- [26] 王华, 牛生洋, 李华, 等. 羧甲基纤维素(CMC)稳定葡萄酒石机理的研究[J]. *中国食品学报*, 2006, 7(4): 86–89. [WANG Hua, NIU Shengyang, LI Hua, et al. Tartaric stability of wines by carboxymethyl cellulose (C. M. C) [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2006, 7(4): 86–89.]
- [27] 马妮. 藏药二十五味松石丸对大鼠急性酒精性肝损伤的保护作用及机制研究[D]. 成都: 西南民族大学, 2020. [MA Ni. The protective effect and mechanism of Tibetan medicine Ershi-wuwei Songshi Pills on the chronic alcoholic liver injury [J]. Chengdu: Southwest Minzu University, 2020.]
- [28] 安苗青, 赖玉健, 徐雅园, 等. 不同方式制备的猴头菇提取物对大鼠急性胃黏膜损伤保护作用对比[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(2): 360–367. [AN Miaoqing, LAI Yujian, XU Yanan, et al. Comparison of protective effects of *Hericium erinaceus* extracts prepared by different methods on acute gastric mucosal injury in rats [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(2): 360–367.]
- [29] 赵素丽. 叶黄素对大鼠慢性酒精性肝损伤和肠道屏障功能影响研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2023. [ZHAO Suli. Effects of lutein on chronic alcoholic liver injury and intestinal barrier function in rats [D]. Qingdao: Qingdao University, 2023.]
- [30] 刘少凯. 略阳乌鸡育成期蛋白质需要量的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015. [LIU Shaokai. Requirement of dietary protein of Lueyang Black-boned Chicken during the growing period [D]. Yangling: Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, 2015.]
- [31] KIM J Y, WOO E E, LEE I K, et al. New antioxidants from the culture broth of *Hericium coralloides* [J]. *J Antibiot*, 2018, 71(9): 822–825.
- [32] CHEN L, ZHANG S S, BARNSTABLE C J, et al. PEDF induces apoptosis in human endothelial cells by activating p38 MAPK kinase dependent cleavage of multiple caspases [J]. *Biochem Bioph Res Co*, 2006, 348(4): 1288–1295.
- [33] KOBAYASHI N, KATAOKA T, ONO A, et al. Role of p38 mitogen-activated protein kinase in the healing of gastric ulcer in rats [J]. *J Physiol Pharmacol*, 2001, 52(2): 195–210.