

· 实验技术及其应用 ·

# 蒙古韭总黄酮提取及其预防高脂饮食诱导小鼠肥胖的实验研究

韩雅静, 唐彬彬, 马红男, 邬子懿, 霍丽娜, 孙铭, 张然, 宋丽新, 包艳  
内蒙古科技大学包头医学院公共卫生学院, 内蒙古 包头 014040

**摘要:**目的 优化蒙古韭总黄酮的提取方法,同时探究蒙古韭总黄酮体外降糖降脂活性及其对高脂饮食诱导小鼠肥胖的预防作用。方法 以蒙古韭总黄酮得率为评价指标,通过单因素实验和 Box-behnken 响应面法,确定最佳提取工艺;利用体外实验评价蒙古韭总黄酮对胰脂肪酶以及  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制作用;雄性 C57BL/6J 小鼠随机分成对照组、高脂组、低剂量组(0.75 g/kg)、中剂量组(1.5 g/kg)、高剂量组(2.25 g/kg),每组 6 只。对照组饲喂正常饲料,其余 4 组均饲喂高脂饲料,实验进行 8 周,采集血液、肝脏、脂肪组织,对小鼠血清甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、谷草转氨酶(AST)、谷丙转氨酶(ALT)、血糖含量进行测定,苏木清-伊红染色观察肝脏与脂肪组织病理变化。结果 蒙古韭总黄酮最佳的提取条件是粒径为 90 目,采用 70%乙醇作溶剂,在料液比为 1:35 (g/ml)条件下,40 °C 功率为 65%超声 20 min,其得率为(10.43 ± 0.52) mg/g;蒙古韭总黄酮抑制胰脂肪酶与  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的半数抑制浓度(IC<sub>50</sub>)分别为 0.99 mg/ml、5.17 mg/ml;与 HFD 组相比,低剂量组各项指标均无明显改变( $P > 0.05$ ),中、高剂量组小鼠的体重、脂肪重量和脂体比降低( $P < 0.05$ ),同时血清 TC、TG、LDL-C、ALT、AST 和血糖水平也下降( $P < 0.05$ ),中、高剂量组小鼠肝脏和脂肪组织的病理变化得到改善。结论 优选的提取工艺能有效提高蒙古韭总黄酮的得率,所得蒙古韭总黄酮能够改善高脂饮食诱导的糖脂代谢紊乱从而预防肥胖。

**关键词:**蒙古韭总黄酮;生物活性;降糖降脂;肥胖

中图分类号:R284;R96 文献标志码:A 文章编号:1003-8507(2025)13-2459-07

DOI: 10.20043/j.cnki.MPM.202503244

## Extraction of total flavonoids from *Allium mongolicum* and its preventive effect on high-fat diet-induced obesity in mice

HAN Ya-jing, TANG Bin-bin, MA Hong-nan, WU Zi-yi, HUO Li-na, SUN Ming, ZHANG Ran, SONG Li-xin, BAO Yan  
School of Public Health, Baotou Medical College, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou, Inner Mongolia 014040, China

**Abstract: Objective** To optimize the extraction process of total flavonoids from *Allium mongolicum* and investigate its in vitro hypoglycemic and hypolipidemic activities as well as preventive effects on high-fat diet-induced obesity in mice. **Methods** Single-factor experiments and Box-Behnken response surface methodology were employed to determine the optimal extraction conditions. In vitro experiments evaluated the inhibitory effects on pancreatic lipase and  $\alpha$ -glucosidase activities. Male C57BL/6J mice were randomly divided into control, high-fat diet (HFD), and three treatment groups (0.75, 1.5, and 2.25 g/kg doses), with six mice per group. After 8 weeks of intervention, serum lipid profiles, liver enzymes, blood glucose, and histopathological changes were analyzed. **Results** The optimal extraction conditions yielded 10.43 ( $\pm 0.52$ ) mg/g total flavonoids. The IC<sub>50</sub> values for pancreatic lipase and  $\alpha$ -glucosidase inhibition were 0.99 mg/ml and 5.17 mg/ml, respectively. Compared with HFD group, medium and high dose groups showed significant reductions in body weight, fat mass, serum TC, TG, LDL-C, ALT, AST, and blood glucose levels ( $P < 0.05$ ), along with improved hepatic and adipose tissue pathology. **Conclusion** The optimized extraction process effectively enhances flavonoid yield from *Allium mongolicum*, and the obtained flavonoids demonstrate potential in preventing high-fat diet-induced obesity by improving glucose and lipid metabolism disorders.

**Keywords:** *Allium mongolicum* flavonoids; Bioactivity; Hypoglycemic and hypolipidemic effects; Obesity

**基金项目:**国家自然科学基金项目(82460645);内蒙古自治区自然科学基金项目(2021LHMS08017);内蒙古自治区卫生健康委医疗卫生科技计划项目(202201368);内蒙古高校青年科技英才计划项目(NJYT22119)

**作者简介:**韩雅静(1999—),女,硕士在读,研究方向:食物营养与健康

**通信作者:**包艳, E-mail: by\_1977@163.com

肥胖是一种复杂的慢性代谢性疾病,通常以体内脂肪过度堆积,导致体重增加并对健康产生不良影响为特征<sup>[1]</sup>。2024 年世界肥胖地图显示,2020 年全球有 10 亿成年人肥胖,到 2035 年人数将达到近 15 亿。对于 5~19 岁的青少年来说,2035 年,超重或肥胖比例将从 28%(4.35 亿人)上升到 39%以上(7.7 亿人)<sup>[2]</sup>。全球肥胖率的急剧上升,已成为心血管疾病、脂肪肝及多种癌症的主要危险因素<sup>[3]</sup>。机体发生糖脂代谢紊乱可以导致肥胖的发生和发展,因此,寻找新型药物或天然植物化学物来改善糖脂代谢是治疗和预防肥胖的有效策略<sup>[4-5]</sup>。

蒙古韭(*Allium mongolicum*),也称为沙葱,是一种典型的早生百合科葱属植物,生长在高海拔沙漠、草原地区<sup>[6]</sup>,据蒙医记载,蒙古韭具有降血压、降血脂、开胃、补肾、壮阳等多种特殊功效<sup>[7]</sup>,由于其风味独特,营养价值高,已成为内蒙古地区居民最广泛食用的野生蔬菜之一。此外,蒙古韭含有多种生物活性成分,如黄酮类、烷烃类和酸类等<sup>[8]</sup>。目前,关于蒙古韭总黄酮生物活性研究主要集中在抗菌、抗氧化和抗肿瘤等方面<sup>[9-11]</sup>,但对其调节血糖血脂、改善肥胖的研究报道较少。因此,本研究先期优化了蒙古韭总黄酮的提取条件,然后研究提取物在体外对胰脂肪酶及  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制作用,最后在高脂饮食诱导的肥胖小鼠模型上评价了蒙古韭总黄酮预防肥胖的功效,可为研究预防及治疗肥胖手段提供新思路,也可为内蒙古特色资源蒙古韭的进一步深入开发和综合利用提供科学依据。

## 1 材料与方法

**1.1 主要仪器** 旋转蒸发器(上海亚荣),低温高速离心机(美国 Thermo),酶标仪(美国 Thermo)。

**1.2 主要材料** 新鲜蒙古韭采自内蒙古鄂尔多斯市;芦丁标准品、Tris-HCl 缓冲液、猪胰脂肪酶、4-硝基苯基磷酸二钠盐六水合物(disodium 4-nitro phenyl phosphate hexahydrate, PNPP)、 $\alpha$ -葡萄糖苷酶均购自上海源叶;甘油三酯(triglyceride, TG)、总胆固醇(total cholesterol, TC)、高密度脂蛋白(high density lipoprotein, HDL)、低密度脂蛋白(low density lipoprotein, LDL)、谷草转氨酶(aspartate aminotransferase, AST)、谷丙转氨酶(alaninetransaminase, ALT)试剂盒购自南京建成;血糖含量试剂盒购自江苏艾迪生;正常饲料(10 kcal%脂肪、20 kcal%蛋白质和 70 kcal%碳水化合物,编号 D12450)和高脂肪饮食(60 kcal%油脂、20 kcal%蛋白质和 20 kcal%碳水化合物,编号 D12492)购自小泰有泰责任有限公司。

**1.3 实验动物** 30 只 7 周龄 SPF 级雄性 C57BL/6J

小鼠,由北京斯贝福生物技术有限公司提供,动物许可证号:SCXK(京)2024-000,该动物实验研究得到包头医学院医学伦理审查委员会批准,批件号:包医伦审 2024 第(6)号。所有实验动物处于同一环境,自由采食、采水,动物饲养室内每日的温度和湿度范围:温度:20℃~25℃;湿度:55%~65%,12 h 明暗循环。适应性喂养 1 周后开始实验。

## 1.4 实验方法

**1.4.1 蒙古韭总黄酮提取物制备与鉴定** 参考 Zhu 等<sup>[12-13]</sup>的方法稍作修改,新鲜蒙古韭 55℃烘干,粉碎后石油醚脱脂脱色 24 h 备用,准确称取 1 g 蒙古韭粉末置于 15 ml 试管中,按照料液比 1:35 (g/ml)加入 70%乙醇溶液,超声波功率 65%,40℃下反应 20 min,抽滤取上清液旋转蒸发定容至 5 ml,冷冻干燥后得乙醇提取物。对上述乙醇提取物行初步鉴定并按照标准曲线计算得率。

**1.4.2 单因素实验** 称取蒙古韭粉末 20 g,分别考察不同粉末粒径(20~40、40~60、60~80、80~100 和 100~120 目)、乙醇浓度(50%、60%、70%、80%、90%)、提取时间(10、20、30、40 和 50 min)、液料比(15:1、25:1、35:1、45:1 和 55:1 ml/g)、提取温度(30、40、50、60 和 70℃)、超声波功率(55%、65%、75%、85%、95%)对蒙古韭总黄酮得率的影响,各平行操作 3 次,缩小各因素的优化水平范围。

**1.4.3 响应面优化实验** 依据 Box-Behnken 试验设计原理,基于 2.3 实验结果筛选出乙醇浓度、超声时间及料液比,设计三因素三水平的响应面分析方案<sup>[14]</sup>见表 1。

表 1 响应面法分析蒙古韭总黄酮的影响因素和水平

Table 1 Factors and levels of total flavonoids in *Allium mongolicum* Regel by response surface methodology

因素	水平		
	-1	0	1
A 乙醇浓度(%)	60	70	80
B 液料比(ml/g)	25	35	45
C 提取时间(min)	10	20	30

**1.4.4 蒙古韭总黄酮对胰脂肪酶以及  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的影响** 参考 Li<sup>[15]</sup>方法稍作修改来评价蒙古韭总黄酮对胰脂肪酶活性的影响,将样品(0.2、0.4、0.6、0.8 和 1 mg/ml)与胰脂肪酶(Tris-HCl 缓冲液, pH8.0)于 37℃孵育 20 min,加入 PNPP 底物后检测 405 nm 吸光度变化。评价蒙古韭总黄酮对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的影响参考 Yu<sup>[16]</sup>的方法,样品(2.4、4.8、7.2、9.6 和 12 mg/ml)与酶液(PBS, pH6.9)孵育 10 min,加入对硝基苯基- $\beta$ -D 吡喃葡萄糖苷底物后检测 405 nm 吸

光度。计算胰脂肪酶和  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制率和 IC50 值,以 mg/ml 表示。

**1.4.5 蒙古韭总黄酮对高脂饮食诱导的肥胖小鼠的影响** 30 只 7 周龄 SPF 级雄性 C57BL/6J 小鼠,须经过一周的适应性喂养,再将其随机分成五组,每组六只,分别是对照组(CON)、高脂组(HFD)、低剂量组(HFD-L)、中剂量组(HFD-M)、高剂量组(HFD-H)。CON 组小鼠给予正常维持饲料,其余四组给予高脂饲料诱导肥胖,同时 CON 组和 HFD 组灌胃 0.9%氯化钠溶液, HFD-L、HFD-M、HFD-H 组分别灌胃浓度为 0.75、1.5 和 2.25 g/kg 的蒙古韭总黄酮,每天灌胃一次,连续 8 周,每周记录小鼠体重和进食量。末次灌胃后禁食不禁水 12 h,注射戊巴比妥钠进行麻醉,摘眼球取血至 EP 管中,静置 30 min 后 3 000 r/min 离心 20 min,收集血清,测定 TC、TG、HDL-C、LDL-C、

AST、ALT 和血糖水平;剥离肝脏、附睾脂肪、肠系膜脂肪、肾周脂肪、棕色脂肪,称重,计算脂体比;肝脏、附睾脂肪进行苏木精-伊红(hematoxylin-eosin, HE)染色。

**1.5 统计分析** 使用 SPSS 26.0 软件对实验数据进行整理和分析。实验数据采用单因素方差分析,用  $(\bar{x} \pm s)$  表示,检验水准  $\alpha=0.05$ 。使用 Graphpad Prism 9.5.0 和 Design Expert 13.0 进行绘图。

## 2 结果

**2.1 蒙古韭总黄酮提取的单因素实验结果** 如图 1 所示,粉末粒径为 80~100 目、乙醇浓度为 70%、提取时间 20 min、液料比 35:1 ml/g、提取温度 40  $^{\circ}$ C、超声波功率为 65%时,均得到最大的蒙古韭总黄酮得率。

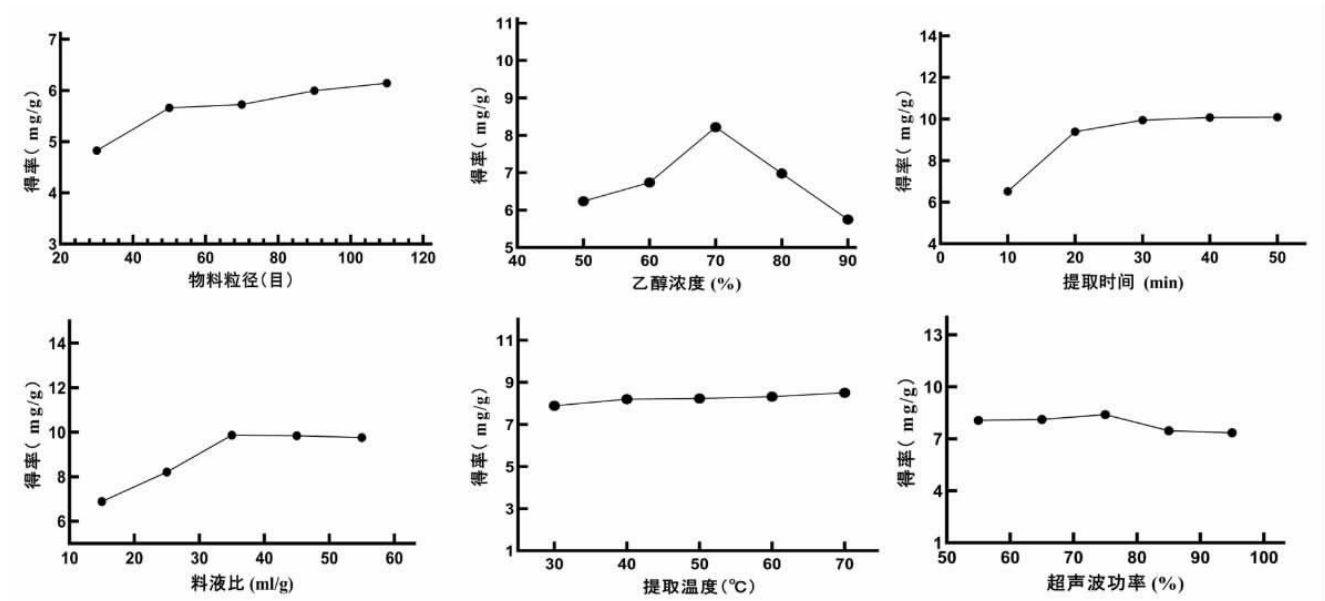


图 1 单因素实验结果

Figure 1 The results of single factor experiment

**2.2 响应面法优化超声波辅助蒙古韭总黄酮提取方法** 以蒙古韭总黄酮得率为响应值,经过回归拟合后所得各个试验因素对其得率的回归方程为:  $Y=10.84+0.604 5A+0.231 5B+0.269 1C+0.477 7AB+0.054 1AC-0.450 2BC-2.48A^2-0.587 2B^2-1.12C^2$ 。见表 2。

表 2 蒙古韭总黄酮的响应面设计及分析结果

Table 2 Response surface design and analysis results of total flavonoids from Allium mongolicum Regel

实验数	因素			蒙古韭总黄酮得率 (Y:mg/g)
	A(%)	B(min)	C(ml/g)	
1	-1	-1	0	7.187 1
2	1	-1	0	7.499 4
3	-1	1	0	7.075 4
4	1	1	0	9.298 3
5	-1	0	-1	6.495 7

(续表)

实验数	因素			蒙古韭总黄酮得率 (Y:mg/g)
	A(%)	B(min)	C(ml/g)	
6	1	0	-1	7.538 0
7	-1	0	1	6.812 2
8	1	0	1	8.070 9
9	0	-1	-1	8.309 6
10	0	1	-1	9.292 4
11	0	-1	1	9.861 7
12	0	1	1	9.043 6
13	0	0	0	10.586 0
14	0	0	0	11.057 0
15	0	0	0	10.868 0

对回归模型的方差分析结果见表 3,该模型回归显著( $P<0.001$ ),表明自变量与响应值之间的模型关系显著;失拟项( $P=0.361 5$ )不显著,说明回归方程与

实际情况拟合良好;并且该模型决定系数  $R^2=0.9866$ , 提示该模型能够解释 98.66% 的响应值变化, 可以用此模型来分析和预测超声波辅助提取总黄酮的得率。由  $F$  值得到的因素贡献率为:  $A>C>B$ , 即乙醇浓度  $>$  液料比  $>$  提取时间。对模型各项进行方差分析可知, 模型中一次项 A(乙醇浓度)、交互项 A2、C2 对

蒙古韭总黄酮得率的影响为非常显著 ( $P<0.01$ ), 一次项 C(液料比)、交互项 AB、B2、BC 对 WA 总黄酮得率的影响为显著 ( $P<0.05$ ), 一次项 B(提取时间)、交互项 AC 对蒙古韭总黄酮得率的影响不显著 ( $P>0.05$ )。

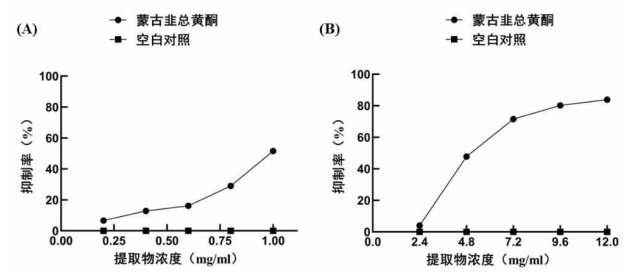
表 3 拟合回归模型的方差分析

Table 3 Analysis of variance for the fitted regression model

原始资料	平方和	$v$	均方	$F$ 值	$P$ 值	
模型	32.09	9	3.57	41.02	0.000 4	显著
A- 乙醇浓度	2.92	1	2.92	33.63	0.002 1	
B- 提取时间	0.428 7	1	0.428 7	4.93	0.077 1	
C- 液料比	0.579 3	1	0.579 3	6.66	0.049 4	
AB	0.912 6	1	0.912 6	10.50	0.023 0	
AC	0.011 7	1	0.011 7	0.1347	0.728 7	
BC	0.810 8	1	0.810 8	9.33	0.028 3	
A2	22.80	1	22.80	262.20	<0.000 1	
B2	1.27	1	1.27	14.64	0.012 3	
C2	4.66	1	4.66	53.56	0.000 7	
残差	0.434 7	5	0.086 9			
失拟误差	0.322 4	3	0.107 5	1.91	0.361 5	不显著
纯误差	0.112 4	2	0.056 2			
相关性总和	32.53	14				

以上结果表明, 蒙古韭总黄酮提取的最佳条件是物料粒径为 90 目, 70%乙醇, 料液比为 35 : 1 (ml/g), 在温度为 40 °C 时, 超声波功率为 65% 提取 20 min。在此条件下, 蒙古韭总黄酮的提取能够获得最高得率为  $(10.43 \pm 0.52)$  mg/g。

2.3 蒙古韭总黄酮对胰脂肪酶及  $\alpha$ - 葡糖苷酶的抑制活性 如图 2 所示, 随蒙古韭总黄酮浓度不断增大, 其对胰脂肪酶以及  $\alpha$ - 葡糖苷酶活性所产生的抑制率也在不断提高。此时蒙古韭总黄酮对胰脂肪酶活性的 IC50 为 0.99 mg/ml, 对  $\alpha$ - 葡糖苷酶活性的 IC50 为 5.17 mg/ml。



注: A 为胰脂肪酶; B 为  $\alpha$  葡糖苷酶。

Figure 2 Effect of total flavonoids of Allium mongolicum Regel on pancreatic lipase and  $\alpha$ -glucosidase activity

2.4 蒙古韭总黄酮对小鼠体重和摄食量、内脏脂肪的影响 由各组小鼠的体重和摄食量变化趋势图可知, 随着小鼠饲养时间的延长, 各组小鼠的体重均产生不同程度变化, 见图 3A; 但各组之间的摄食量并不随时间变化而产生显著差异, 见图 3B; 各组小鼠内脏脂肪重量及脂体比结果显示, 相较于 CON 组, HFD 组体重、内脏脂肪重量和脂体比均增大 ( $P<0.05$ ), 与 HFD 组相比, HFD-M、HFD-H 组的体重、内脏脂肪重量和脂体比均出现不同程度的下降 ( $P<0.05$ ), HFD-L 组无明显变化 ( $P>0.05$ )。见表 4。

表 4 各组小鼠体重、内脏脂肪和脂体比 ( $\bar{x} \pm s$ )

Table 4 Body weight, visceral fat content and lipid body ratio of mice in each group ( $\bar{x} \pm s, n=6$ )

分组	体重(g)	内脏脂肪(g)	脂体比(%)
CON	23.12 $\pm$ 0.45	0.30 $\pm$ 0.10	1.28 $\pm$ 0.42
HFD	27.37 $\pm$ 0.4*	1.14 $\pm$ 0.22*	4.15 $\pm$ 0.73*
HFD-L	27.89 $\pm$ 1.78*	1.07 $\pm$ 0.24*	3.86 $\pm$ 0.01*
HFD-M	24.48 $\pm$ 1.02#	0.72 $\pm$ 0.11#	2.93 $\pm$ 0.45#
HFD-H	25.28 $\pm$ 0.6#	0.61 $\pm$ 0.13#	2.42 $\pm$ 0.53#

注: 与 CON 组相比, \* $P<0.05$ ; 与 HFD 组相比, # $P<0.05$ 。

Note: Compared with CON, \* $P<0.05$ ; Ratio with HFD, # $P<0.05$ 。

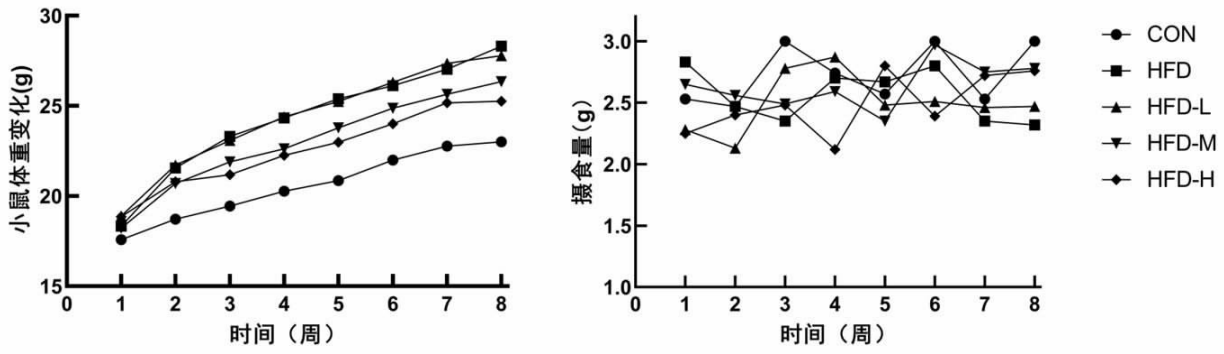


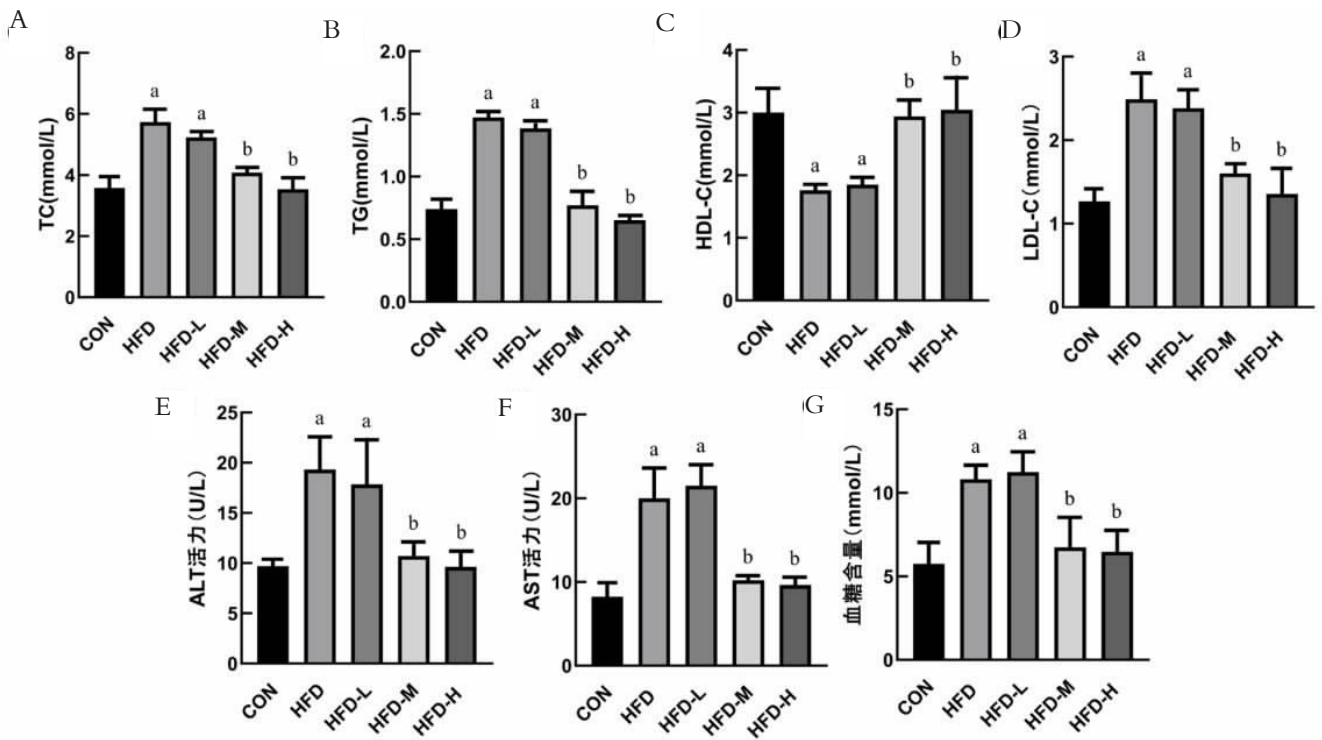
图3 各组小鼠体重与摄食量变化趋势

Figure 3 Trend of weight and food intake change of mice in each group

2.5 蒙古韭总黄酮对小鼠血清生化指标水平的影响

各组小鼠血清生化结果显示,与 CON 组相比, HFD 组小鼠血清的 TG、TC、LDL-C、ALT、AST 和血糖水平都显著升高( $P < 0.05$ );与 HFD 组相比,中、高剂量蒙古韭总黄酮干预后的小鼠血清 TG、TC、LDL-C、

ALT、AST 和血糖含量出现不同程度的下降 ( $P < 0.05$ ),低剂量组无明显改变( $P > 0.05$ ),此外,中、高剂量组小鼠 HDL-C 含量显著升高( $P < 0.05$ ),低剂量组无明显改变( $P > 0.05$ )。见图 4。



注:A 为甘油三酯;B 为总胆固醇;C 为高密度脂蛋白;D 为低密度脂蛋白;E 为谷丙转氨酶;F 为谷草转氨酶;G 为血糖;与 CON 组相比,<sup>a</sup>即  $P < 0.05$ ;与 HFD 组相比,<sup>b</sup>即  $P < 0.05$ 。

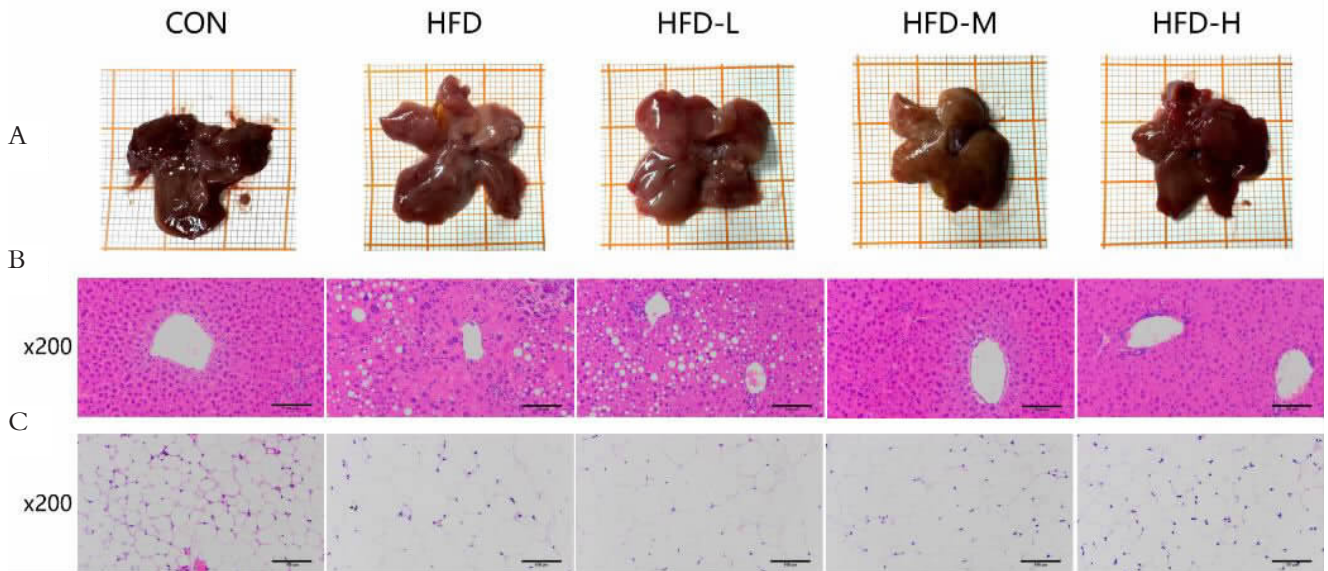
图4 各组血清生化指标水平

Figure 4 The levels of serum biochemical indexes in each group

2.6 蒙古韭总黄酮对小鼠肝脏及脂肪组织病理的影响

肝脏形态学分析显示,CON 组肝脏呈现典型鲜红色外观且体积适中,见图 5A。HFD 组及 HFD-L 组则表现出显著肝肿大及特征性苍白色改变,提示脂质蓄积异常。与 HFD 组相比,HFD-M、HFD-H 组肝脏色泽恢复,体积较 HFD 组缩小。肝组织病理学观察发现,CON 组肝小叶结构完整,肝细胞呈放射状排列,

见图 5B;而 HFD 组及 HFD-L 组表现为肝细胞肿胀及脂滴空泡化,HFD-M 和 HFD-H 组脂滴空泡面积显著减少,且肝索结构基本恢复正常。脂肪组织切片分析进一步发现,HFD 和 HFD-L 组脂肪细胞直径较 CON 组增加,呈现病理性肥大特征;HFD-M 和 HFD-H 组脂肪细胞体积回缩,见图 5C。



注:A 肝脏外观;B 肝脏组织学染色(HE 染色,  $\times 200$ );C 附睾脂肪组织学染色(HE 染色,  $\times 200$ )。

图 5 各组小鼠肝脏、脂肪组织外观及病理学染色

Figure 5 Appearance and pathological staining of liver and adipose tissue in mice of each group

### 3 讨论

肥胖是一种复杂的代谢性疾病,其特征是身体脂肪过度积累<sup>[17]</sup>。长期高脂饮食是导致肥胖和高脂血症的危险因素之一<sup>[18]</sup>。课题组优化了蒙古韭总黄酮的提取方法,通过体外实验探讨蒙古韭总黄酮对胰脂肪酶、 $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的影响,同时通过动物实验考察蒙古韭总黄酮对高脂饮食诱导的肥胖小鼠血清生化指标和肝脏、脂肪组织病理的影响。

$\alpha$ -葡萄糖苷酶是一种由肠慢性上皮分泌的碳水化合物水解酶,可以刺激双糖和寡糖分解为可吸收的碳水化合物,是必不可少的消化酶<sup>[19]</sup>。此外,胰脂肪酶由胰腺分泌,可以在肠道中催化脂肪中的甘油三酯水解为游离脂肪酸和甘油单酯,是脂质消化中最重要的酶<sup>[20]</sup>。研究发现,蒙古韭总黄酮对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶和胰脂肪酶活性有一定的抑制作用,从而推测蒙古韭总黄酮在体内也可以通过抑制这两种关键酶来调节血糖和血脂代谢从而改善宿主肥胖。

蒙古韭总黄酮干预组小鼠的摄食量与 HFD 组和 CON 组并无明显差异,但体重却呈现剂量依赖性下降,说明蒙古韭总黄酮对高脂饮食诱导的肥胖小鼠的改善作用并不依赖于食欲抑制。TC 和 LDL-C 异常升高会增加肥胖的风险, HDL-C 可以清除血管内的 LDL-C,当机体内脂肪代谢紊乱时,上述指标就会出现异常<sup>[21]</sup>。灌胃中、高剂量蒙古韭总黄酮显著降低了小鼠血清 TG、TC、LDL-C 含量,提高 HDL-C 水平,表明蒙古韭总黄酮可以改善宿主脂肪代谢紊乱。高脂饮食会对肝脏产生脂毒性进而导致肝损伤,血清中 ALT、AST 水平代表肝脏的损伤程度<sup>[22]</sup>。中、高剂量组

小鼠血清 ALT、AST 水平降低接近 CON 组水平,低剂量组无明显改变,说明一定剂量的蒙古韭总黄酮具有降低高脂饮食诱导肥胖小鼠肝脏脂毒性的作用,减轻肝损伤程度。肝脏和脂肪组织 HE 染色可以看出,蒙古韭总黄酮低剂量组干预并没有对小鼠肝脏和脂肪组织产生明显影响,中、高剂量干预后,肝脏外观恢复并接近 CON 组,脂质沉积和脂肪细胞肥大得到显著改善,表明蒙古韭总黄酮对肝脏和脂肪组织可能呈剂量依赖型保护。

综上所述,在优化的提取工艺下,蒙古韭总黄酮得率为  $(10.43 \pm 0.52)$  mg/g,蒙古韭总黄酮对胰脂肪酶和  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的活性有一定的抑制作用, IC<sub>50</sub> 分别为 0.99 和 5.17 mg/ml。一定剂量的蒙古韭总黄酮改善了高脂饮食诱导的肥胖小鼠的血清生化指标与肝脏、脂肪组织病理变化从而预防肥胖。本研究为肥胖的预防和治疗提供了新的潜在手段,也为蒙古韭在功能食品和植物药领域的产业化应用奠定了转化基础。

利益冲突声明 本研究不存在任何利益冲突

### 参考文献

- [1] Chen LP, Lei YF, Lu CX, et al. Puniceic acid ameliorates obesity-related hyperlipidemia and fatty liver in mice via regulation of intestinal flora and lipopolysaccharide-related signaling pathways[J]. Food & Function, 2024, 15(9): 5012-5025.
- [2] World Obesity Federation. World obesity atlas 2024 [R]. London: World Obesity Federation, 2024.
- [3] Lei YF, Chen JL, Wei H, et al. Hypolipidemic and anti-inflammatory properties of Abacopterin A from Abacopteris penangiana in high-fat diet-induced hyperlipidemia mice[J]. Food and Chemical Toxicology,

- 2011, 49(12): 3206–3210.
- [ 4 ] He ZW, Guo JY, Zhang HW, et al. Atractylodes macrocephala Koidz polysaccharide improves glycolipid metabolism disorders through activation of aryl hydrocarbon receptor by gut flora–produced tryptophan metabolites [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 253(Pt 4): 126987.
- [ 5 ] Zhang YX, Zhang LF, Li ZY, et al. Gualou–Xiebai–Banxia–Tang regulates liver–gut axis to ameliorate metabolic syndrome in HFD–fed mice[J]. Phytomedicine, 2024, 132: 155320.
- [ 6 ] Qu H, Guo Z, Ma L, et al. Antifungal effects and active compounds of the leaf of Allium mongolicum Regel [J]. Front Chem, 2022, 10: 993893.
- [ 7 ] Wang WY, Li J, Zhang HZ, et al. Phenolic compounds and bioactivity evaluation of aqueous and methanol extracts of Allium mongolicum Regel[J]. Food Sci Nutr, 2019, 7(2): 779–787.
- [ 8 ] Zhao LH, Sun XY, Wu J, et al. Effects of allium mongolicum regel and its extracts on the quality of fermented mutton sausages [J]. Food Sci Nutr, 2022, 10(1): 169–178.
- [ 9 ] Wang B, Liu CX, Guo Z, et al. Association of dietary inflammatory index with constipation: Evidence from the National Health and Nutrition Examination Survey [J]. Food Sci Nutr, 2024, 12 (3): 2122–2130.
- [ 10 ] 萨茹丽, 杨斌, 玉梅, 等. 沙葱总黄酮体外抗菌、抗病毒、抗肿瘤活性的研究[J]. 饲料工业, 2018, 39(8): 54–58.
- Sa RL, Yang B, Yu M, et al. The effects of the antibacterial, antiviral and antitumor activities of allium mongolicum regel flavonoids in vitro[J]. Feed Industry, 2018, 39(8): 54–58.(In Chinese)
- [ 11 ] 贺新平, 田存章, 钱保陆, 等. 沙葱总黄酮物质提取工艺优化及其生物活性研究[J]. 中国调味品, 2024, 49(4): 182–185, 200.
- He XP, Tian CZ, Qian BL, et al. Optimization of extraction technology and biological activity of total flavonoids from Allium mongolicum Regel[J]. China Condiment, 2024, 49(4): 182–185, 200. (In Chinese)
- [ 12 ] 竹娟, 王译晗, 陈立莉, 等. 芍药花提取物中黄酮的测定及其体外抗氧化和降脂活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2024, 36(11): 1838–1844, 1899.
- Zhu J, Wang YH, Chen LL, et al. Determination of flavonoids in Paeonia lactiflora flower extracts and their in vitro antioxidant and hypolipidemic activities [J]. Natural Product Research and Development, 2024, 36(11): 1838–1844, 1899.(In Chinese)
- [ 13 ] 王兆丹. 菊花黄酮的提取、分析及其降血脂作用机制研究[D]. 南京: 东南大学, 2022.
- Wang ZD. Extraction, analysis and hypolipidemic mechanism of chrysanthemum flavonoids [D]. Nanjing: Southeast University, 2022. (In Chinese)
- [ 14 ] 王超, 唐年初, 刘诚毅. 忧遁草总皂苷的提取工艺及其抗氧化活性研究[J]. 食品与生物技术学报, 2023, 42(5): 63–70.
- Wang C, Tang NC, Liu CY. Extraction of total saponins from clinacanthus nutans and its antioxidant activity [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2023, 42(5): 63–70.(In Chinese)
- [ 15 ] 李莹. 凤尾竹 C–糖苷黄酮的体内代谢及预防肥胖作用与机制研究[D]. 南昌: 江西农业大学, 2022.
- Li Y. Study on metabolism of C– glucoside flavonoids in Eichhornia crassipes in vivo, its obesity prevention effect and mechanism [D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2022.(In Chinese)
- [ 16 ] Yang YJ, Zhang PL, Huang Z, et al. Phenolics from Sterculia nobilis Smith pericarp by–products delay carbohydrate digestion by uncompetitively inhibiting  $\alpha$ –glucosidase and  $\alpha$ –amylase[J]. LWT, 2023, 173(1): 114339.
- [ 17 ] Kim H, Jeon YE, Kim SM, et al. Agaricus bisporus Extract Exerts an Anti–Obesity Effect in High–Fat Diet–Induced Obese C57BL/6N Mice by Inhibiting Pancreatic Lipase–Mediated Fat Absorption[J]. Nutrients, 2023, 15(19): 4225.
- [ 18 ] Wang JH, Dong JN, Zhong FR, et al. Microbiome–Metabolome analysis insight into the effects of the extract of phyllanthus emblica L. on High–Fat Diet–Induced hyperlipidemia [J]. Metabolites, 2024, 14(5): 257.
- [ 19 ] Tomasik P, Horton D. Enzymatic conversions of starch [J]. Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry, 2012, 68: 59–436.
- [ 20 ] Limcharoen T, Pouyfung P, Ngamdokmai N, et al. Inhibition of  $\alpha$ –Glucosidase and pancreatic lipase properties of mitragyna speciosa (Korth.)havl.(kratom)leaves [J]. Nutrients, 2022, 14(19): 3909.
- [ 21 ] 姚轶俊, 鞠兴荣, 王立峰. 荞麦多酚干预对高脂膳食诱导小鼠的降脂作用及其调控机制 [J]. 中国农业科学, 2023, 56(5): 981–994.
- Yao YJ, Ju XR, Wang LF. Lipid–Lowering effects and its regulation mechanism of buckwheat polyphenols in High–Fat Diet–Induced obese mice[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2023, 56(5): 981–994.(In Chinese)
- [ 22 ] Petrescu M, Vlaicu SI, Ciur̃nean L, et al. Chronic Inflammation–A Link between nonalcoholic fatty liver disease (NAFLD)and dysfunctional adipose tissue[J]. Medicina (Kaunas, Lithuania), 2022, 58(5): 641.

收稿日期: 2025–03–15