

鲍鱼内脏磷脂提取分析以及对高脂饮食小鼠的辅助降血脂作用

万可薇¹, 张帆¹, 肖亚明², 郭腾明¹, 田美玲¹, 饶建平^{3,4}, 方婷^{1*}

(1. 福建农林大学食品科学学院, 福建福州 350000) (2. 诏安海联食品有限公司, 福建漳州 363000)

(3. 大闽食品(漳州)有限公司, 福建漳州 363000)

(4. 福建省饮料用植物提取技术企业重点实验室, 福建漳州 363000)

摘要: 该研究以鲍鱼内脏磷脂 (Abalone Visceral Phospholipids, AVP) 为研究对象, 研究其对高脂饮食小鼠的降血脂作用。分析了 AVP 组分、脂肪酸组成和理化性质, 结果表明 AVP 由磷脂酰胆碱、磷脂酰乙醇胺、磷脂酰肌醇组成, 含量分别为 80.69%、3.66%、5.06%。含有 5 种饱和脂肪酸, 9 种不饱和脂肪酸 (含量为 15.97%)。AVP 为棕黄色颗粒, 有磷脂气味, 丙酮不溶物: 88.3%; 水分及挥发物: 0.8%; 正己烷不溶物: 0.1%; 酸值: 34.4 mg KOH/g; 过氧化值: 9.45 mmol/kg, 各项指标均符合国家标准。通过开展动物实验验证 AVP 对高脂饮食小鼠的辅助降血脂作用, 结果表明: 与高脂膳食组相比, 高剂量 AVP 组血清中 TG、TC、LDL 含量分别降低了 47.63%、32.02% 和 44.73%, HDL 提升了 30.78%, AI 指数降低了 64.85%。综上所述, AVP 在辅助降低高血脂症具有一定作用, 为后续开发利用鲍鱼内脏资源提供理论基础。

关键词: 鲍鱼内脏; 磷脂; 超临界二氧化碳萃取; 降血脂

文章编号: 1673-9078(2025)06-25-32

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.6.0158

Extraction and Analysis of Abalone Visceral Phospholipids and Their Auxiliary Hypolipidemic Effect on High-fat Diet Fed Mice

WAN Kewei¹, ZHANG Fan¹, XIAO Yaming², GUO Tengming¹, TIAN Meiling¹, RAO Jianping^{3,4}, FANG Ting^{1*}

(1. College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350000, China)(2. Zhao'an Hailian Food Co. Ltd., Zhangzhou 363000, China)(3. Damin Food (Zhangzhou) Co. Ltd., Zhangzhou 363000, China)(4. Fujian Provincial Key Laboratory for Extracting and Processing Technology of Edible Plant, Zhangzhou 363000, China)

Abstract: In this study, Abalone Visceral Phospholipids (AVP) was used as the research object to study its hypolipidemic effect on high-fat diet mice. The components, fatty acid composition and physicochemical properties of AVP were analyzed. The results showed that AVP was composed of phosphatidylcholine, phosphatidylethanolamine and

引文格式:

万可薇,张帆,肖亚明,等.鲍鱼内脏磷脂提取分析以及对高脂饮食小鼠的辅助降血脂作用[J].现代食品科技,2025,41(6):25-32.

WAN Kewei, ZHANG Fan, XIAO Yaming, et al. Extraction and analysis of abalone visceral phospholipids and their auxiliary hypolipidemic effect on high-fat diet fed mice [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(6): 25-32.

收稿日期: 2024-02-02

基金项目: 福建省科技创新重点项目 (高校类) (2022G02023); 福建省科技重大专项 (2021NZ033018); 福建省技术创新重点攻关及产业化项目 (2023G026); 福建省中青年教师教育科研项目 (JAT220065)

作者简介: 万可薇 (2000-), 女, 硕士, 研究方向: 食品工程, E-mail: wankewei2021@163.com

通讯作者: 方婷 (1981-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 水产品加工技术及预测微生物学, E-mail: fangting930@163.com

phosphatidylinositol, with their contents being 80.69%, 3.66% and 5.06%, respectively. There were five saturated fatty acids and nine unsaturated fatty acids (content: 15.97%). AVP was brownish-yellow particles with a phospholipid smell, acetone-insoluble matter content as 88.3%, content of water and volatiles as 0.8%, n-hexane insoluble matter content as 0.1%, acid value as 34.4 mg KOH/g, and peroxide value as 9.45 mmol/kg, all of which met the national standards. Animal experiments were carried out to verify the auxiliary hypolipidemic effect of AVP on mice fed a high-fat diet. The results showed that compared with the high-fat diet group, the serum TG, TC, and LDL levels in the high-dose AVP group decreased by 47.63%, 32.02%, and 44.73%, respectively, the serum HDL increased by 30.78%, and the AI index decreased by 64.85%. In summary, AVP plays a certain role in assisting the reduction of hyperlipidemia, which provides a theoretical basis for the subsequent development and utilization of abalone viscera resources.

Key words: abalone viscera; phospholipid; supercritical CO₂ extraction; reduce blood lipid

高血脂症,是指血液中的胆固醇、甘油三酯和低密度脂蛋白含量过高,高密度脂蛋白含量偏低所引起的脂质代谢障碍^[1,2]。已有研究充分表明,高血脂症是导致心血管疾病和动脉粥样硬化的重要的危险因素,其发病率明显增高^[3,4]。不健康的饮食习惯和过多的能量摄入使得高血脂症成为全球最突出的慢性病^[5]。常见的他汀类等治疗药物的副作用明显,因此,从天然物质提取物中寻找更安全有效且副作用小的调节血脂活性物质是目前预防和治疗高血脂症的研究热点^[6]。研究显示,常见的天然物质提取物如脂肪酸^[7,8]、多肽^[9,10]、多酚^[11]、多糖^[12]、黄酮类^[13]等物质能有效抑制高血脂症。

磷脂富含活性脂质尤其是 EPA,可以抑制内源性甘油三酯和胆固醇的合成,降低动脉粥样硬化因子水平,减少动脉内膜厚度^[14]。适量摄入富含 EPA 和 DHA 的磷脂可以有效降低高血脂症等慢性疾病的发病率^[15-17]。中国是鲍鱼养殖大国,其产量在 2020 年已达到 30.35 万 t^[18]。鲍鱼富含多种营养物质和特殊的海洋生物活性成分,但大量鲍鱼内脏的丢弃随着养殖规模的扩大也在困扰着鲍鱼养殖业和加工业。鲍鱼内脏副产物占总体质量的 15%~25%^[19],研究表明,从鲍鱼内脏中提取的磷脂富含多不饱和脂肪酸,是重要的保健食品功能因子,具有良好的抗菌^[20]、抗氧化^[21]、降血脂^[22]等功能活性。目前磷脂的提取方法有机溶剂萃取法^[23]、柱层析法^[24]、超临界二氧化碳萃取法^[25]等。其中有机溶剂萃取法操作简单,适用于工业化生产,但磷脂得率低,有机溶剂残留会影响磷脂品质且对环境造成污染。柱层析法适用于分离纯化单体,得到的产品纯度高,操作简单,但处理量过低,容易残留有毒的有机溶剂。超临界状态下的二氧化碳同时具有气体和流体的双重特性,使其对物质有超高的溶解和

渗透能力,萃取过程不接触氧气且不涉及化学反应,可以有效地避免破坏磷脂组分^[26]。Monjurul 等^[25]使用超临界二氧化碳和乙醇作为共溶剂萃取提取大西洋鲑鱼骨架中的磷脂。结果表明,利用超临界二氧化碳和乙醇萃取的磷脂比有机溶剂法萃取出的磷脂拥有更好的乳化效果和自由基的清除能力,可以最大程度的保留提取物的营养成分,降低损失率,且二氧化碳是大气的主要组成成分,无毒害,不会影响目标产物和环境。

本研究以鲍鱼内脏为原料,利用无水乙醇和超临界二氧化碳作共溶剂进行二次萃取得到鲍鱼内脏磷脂(Abalone Visceral Phospholipids, AVP),并对其提取工艺、理化性质和脂肪酸组成进行了研究,定性分析了 AVP 组分以及 AVP 对高血脂症小鼠的血脂调节水平的影响,旨在为综合开发利用鲍鱼内脏资源提供基础理论支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

AVP,实验室自制。TC、TG 测定试剂盒,北京利德曼生化股份有限公司;HDL、LDL 检测试剂盒,上海倍特生物科技有限公司。清洁级 ICR 雄性小鼠,80 只,购自福建医科大学实验动物中心,使用许可证号:SYXK(闽)2016-0006。高脂饲料:福州市吴氏实验动物提供,其配料比为:3%胆固醇,10%猪油,0.5%胆酸钠,86.5%基础饲料。

1.2 仪器与设备

HA220-50-1.5-C 型超临界 CO₂ 萃取装置,江苏南通华安超临界萃取有限公司;5975C 气相色谱仪,安捷伦科技有限公司;7890A 型 Agilent 质谱仪,安捷伦科技有限公司;3300 蒸发光散色检测器,格雷

斯有限公司; DE-100LB 乳化分散机, 南京布莱尔。

1.3 实验方法

1.3.1 AVP提取

使用 CO₂ 超临界萃取设备, 称取 50 g 鲍鱼内脏粉末于 500 mL 萃取釜, 设置温度 7 ℃, 打开 CO₂ 储气罐。加入乙醇, 开启夹带剂系统, 动态提取 2 h 得磷脂醇提液。旋转蒸发去除乙醇, 加入冷丙酮洗脱至无色, 真空冷冻干燥得 AVP, -20 ℃ 保存备用。提取条件为萃取压力 35 MPa, 萃取温度 50 ℃, 夹带剂流速 1.5 L/h。

1.3.2 磷脂标准曲线

磷酸二氢钾配制磷标准溶液, 加入硫酸联氨溶液和钼酸钠溶液, 沸水浴加热 10 min, 冷却至室温, 在 650 nm 处测定吸光值, 以含磷量为横坐标, 吸光度为纵坐标, 绘制标准曲线方程为: $y=3.4006x+0.0028$, $R^2=0.999$ 。

1.3.3 磷脂含量测定及提取率的计算

磷脂含量测定: 钼蓝比色法。与标准曲线对照, 按下列公式 (1) 计算磷脂含量:

$$X_1 = \frac{P}{m} \times \frac{V_1}{V_2} \times 26.31 \quad (1)$$

式中:

X_1 ——磷脂含量, mg/g;

P ——标准曲线查得的被测液的含磷量, mg;

m ——样品质量, g;

V_1 ——样品灰化后稀释的体积, mL;

V_2 ——比色时的被测液体积, mL。

26.31——每毫克磷相当于磷脂的毫克数。

磷脂提取率计算公式如 (2) 所示:

$$X_2 = \frac{1000 \times m_1}{X_1 \times m_2} \quad (2)$$

式中:

X_2 ——磷脂提取率, %;

m_1 ——提取的磷脂质量;

X_1 ——磷脂含量, mg/g。

m_2 ——脱去中性脂鲍鱼内脏粉末质量。

1.3.4 磷脂组分测定

采用高效液相-蒸发光散射检测器 (HPLC-ELSD) 定性分析 AVP 的组分组成情况: AVP 和磷脂标准品用正己烷: 异丙醇 (4:9, V/V) 溶解, 经 0.22 μm 滤膜过滤后注入进样瓶待检测。检测条件为: 磷脂

酰乙醇胺 (Phosphatidyl Ethanolamine, PE)、磷脂酰胆碱 (Phosphatidylcholine, PC)、磷脂酰肌醇 (Phosphatidylinositol, PI)、溶血磷脂酰胆碱 (Lysophosphatidylcholine, PC) 标准品及 AVP 样品通过 HPLC-ELSD 进行组分分离及分析。

色谱条件^[27]: 柱温 40 ℃; 流动相 A: 氯仿-甲醇-水 (1 mol/L 甲酸-三乙胺, pH 值 3, 87.5:12:0.5, V/V/V), 流动相 B: 氯仿-甲醇-水 (1 mol/L 甲酸-三乙胺, pH 值 3, 28:60:12, V/V/V); 洗脱梯度: 时间 0~20 min 内, 流动相 B 由 0% 增至 100%, 100% B 洗脱保持 5 min 后, 在 5 min 内恢复到初始 100% A 洗脱; 蒸发光散射检测器: 温度 70 ℃, 氮气雾化, 气体流量 2 L/min。

1.3.5 磷脂脂肪酸测定

根据 GB 5009.168-2016 食品安全国家标准, 食品中脂肪酸的测定。

1.3.6 磷脂感官品质及其理化指标检测

感官要求: 取 5 g 样品于洁净烧杯中, 在自然光线下观察其颜色状态, 并闻其味道。

水分及挥发物: 根据 GB 5009.3-2016 食品安全国家标准, 食品中水分的测定。

丙酮不溶物: 根据 SN/T 0802.2-1999 进出口磷脂, 丙酮不溶物检验方法测定。

正己烷不溶物、酸值、过氧化值: 根据 GB 28401-2012 食品安全国家标准, 食品添加剂磷脂附录 A3、A4、A5 所规定的方法测定。

1.3.7 高脂模型建立

50 只小鼠适应性饲养一周后, 随机分成 5 组: 1 组空白对照组和 4 组高脂模型组。其中空白对照组喂养基础饲料, 高脂模型组喂养高脂饲料建立高血脂症小鼠模型, 自由饮水摄食饲养两周后, 随机对空白对照组和高脂模型组的小鼠进行称重和断尾取血, 测量小鼠血清指标, 通过体质量、血清胆固醇和甘油三酯含量来判断小鼠高脂模型是否建立成功。

1.3.8 小鼠灌胃实验

小鼠分组与灌胃剂量: 上述 5 组小鼠, 其中空白对照组 (Control) 喂养基础饲料; 剩余 4 组喂养高脂饲料建高血脂症小鼠模型, 建模完成后, 将 4 组高脂饲料喂养的小鼠分成高脂模型组 (Hyperlipidemia Model, HM), 鲍鱼磷脂低剂量组 (LAVP), 鲍鱼磷脂中剂量组 (MAVP), 鲍鱼磷脂高剂量组 (HAVP)。其中, 所有受试物以灌胃方

式给予，空白对照组和高脂模型组以生理盐水代替磷脂，剂量为 0.01% (mg/kg)，其余各组灌胃的剂量分别为：低剂量组 (200 mg/kg)，中剂量组 (400 mg/kg)，高剂量组 (800 mg/kg)，各组灌胃剂量参考 Liu 等^[28]的并稍加修改。

小鼠灌胃试验：建模完成，对小鼠进行灌胃试验，灌胃剂量根据每周每组的小鼠平均体质量进行调整，连续灌胃 4 周。小鼠末次进食后，禁食 12 h，眼眶取血，分离血清，4 ℃ 保存，供后续检测血清指标。

1.3.9 血清脂质指标测定

血清中甘油三酯 (TG)、总胆固醇 (TC)、高密度脂蛋白胆固醇 (HDL) 和低密度脂蛋白胆固醇 (LDL) 浓度均按试剂盒中公式计算。动脉粥样硬化指数 (AI) 公式如 (3) 所示：

$$B = \frac{C - D}{D} \tag{3}$$

式中：

- B——动脉粥样硬化指数 (AI)；
- C——总胆固醇 (TC)，mmol/L；
- D——高密度脂蛋白胆固醇 (HDL)，mmol/L。

1.3.10 数据分析

使用 Origin 2018 软件对取得数据进行作图，实验重复至少 3 次，数值以平均值 $\bar{X} \pm SD$ 表示。

2 结果与讨论

2.1 鲍鱼内脏中磷脂含量

测定鲍鱼内脏总脂中的磷脂含量为 12.48%，略高于赵晓丹等^[29]利用正己烷 / 乙酸乙酯 (3:1, V/V) 有机溶剂提取的鲍鱼内脏磷脂含量 (11.48%)，说明超临界二氧化碳萃取法优于有机溶剂法提取鲍鱼内脏磷脂。

2.2 磷脂组分组成分析

鲍鱼内脏磷脂组分定性分析结果见图 1。由磷脂混合标准品色谱图 1a 可知，在 7.550、11.351、13.696、16.744 min 有四个色谱峰，分别对应 PE、PI、PC 和 LPC。由鲍鱼磷脂色谱图 1b 与标准谱图 1a 对比发现，鲍鱼内脏磷脂中有 PE、PI、PC 三种组分，而未发现有 LPC。

通过鲍鱼内脏磷脂组分的定量分析 (表 1) 可知，鲍鱼内脏磷脂主要的组分为 PC 含量为 80.69%，

PE 和 PI 的含量分别为 3.66% 和 5.06%。说明鲍鱼内脏磷脂的主要成分为磷脂酰胆碱。

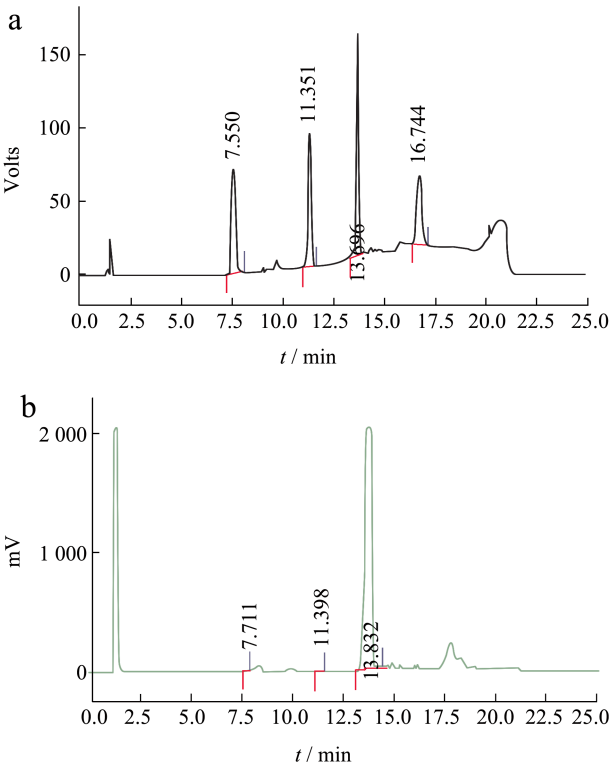


图 1 AVP 组分定性分析结果

Fig.1 Results of qualitative analysis of AVP components

注：(a) 磷脂混合标准品色谱图，(b) AVP 色谱图。

表 1 AVP 组分组成含量

Table 1 Contents of phospholipid components in abalone viscera

原料来源	磷脂组分	含量/%
鲍鱼内脏	PC	80.69 ± 0.67
	PE	3.66 ± 0.54
	PI	5.06 ± 0.76

2.3 磷脂脂肪酸组成

AVP 的脂肪酸组成，如表 2 所示。共检测出 14 种脂肪酸，其中饱和脂肪酸 5 种，含量占比为 49.87%，不饱和脂肪酸 9 种，含量占比为 32.45%，其中 EPA 的相对含量占比为 7.53%，刘艳青等^[30]发现皱纹盘鲍内脏磷脂组分 PE 中的 EPA 含量为 7.23%，与本实验的结果相近。PE 中有大约 60% 是以缩醛磷脂乙醇胺的形式存在，因此其作为脂质功能因子的开发前景广阔^[31]。进一步研究发现，服用 EPA 缩醛磷脂酰乙醇胺可以抑制 β -淀粉样蛋白的生成从而显著改善阿尔兹海默症等神经退行性疾病^[32]。

表 2 鲍鱼内脏磷脂脂肪酸组成

Table 2 Fatty acid composition of abalone visceral phospholipids

脂肪酸	相对含量/%
豆蔻酸（14:0）	11.7 ± 0.11
十五碳酸（C15:0）	2.82 ± 0.85
棕榈酸（C16:0）	27.35 ± 0.97
棕榈油酸（C16:1）	1.96 ± 0.89
硬脂酸（C18:0）	7.2 ± 1.05
油酸（C18:1）	11.32 ± 1.01
亚油酸（C18:2）	2.00 ± 0.87
花生酸（C20:0）	0.8 ± 0.77
花生一烯酸（C20:1）	3.2 ± 1.16
α-亚麻酸（C18:3）	0.73 ± 1.74
花生二烯酸（20:2）	2.74 ± 1.17
8.11.14-二十碳三烯酸（C20:3）	0.025 ± 1.27
二十碳四烯酸（C20:4）	2.97 ± 1.24
二十碳五烯酸 EPA（C20:5）	7.53 ± 0.88
饱和脂肪酸（SFA）	49.87 ± 1.74
单不饱和脂肪酸（MUSFA）	16.48 ± 1.15
多不饱和脂肪酸（PUSFA）	15.97 ± 1.09

2.4 AVP感官品质及理化性质分析

AVP 的各项指标参数见下表 3。和国家标准对比，AVP 从颜色、气味、状态等感官指标均符合国家标准，而丙酮不溶物、干燥减值、正己烷不溶物、酸值、过氧化值等理化性质也均达到了食品添加剂磷脂的国家标准。

表 3 AVP感官理化指标		
Table 3 Sensory physical and chemical indexes of abalone visceral phospholipids		
项目	食品添加剂磷脂标准	鲍鱼内脏磷脂
颜色	黄色至棕色	棕黄色
气味	具有磷脂特有的 气味，无异味	无异味
状态	粘稠液状、膏状、 粉状或颗粒状	颗粒状
丙酮不溶物/%	≥60	88.3 ± 0.55
水分及挥发物/%	≤2.0	0.8 ± 0.19
正己烷不溶物/%	≤0.3	0.1 ± 0.33
酸值（以 KOH 计） /(mg/g)	≤36	34.4 ± 0.88
过氧化值/(meq/kg)	≤10	9.45 ± 0.79

2.5 小鼠高脂模型建立

表 4 ICR小鼠高血脂症模型建立指标

Table 4 Indexes for establishing hyperlipidemia model in ICR mice

组别	体质量/g	TG 含量/ (mmol/L)	TC 含量/ (mmol/L)
空白组	30.16 ± 1.04	0.91 ± 0.14	2.14 ± 0.13
高脂血症模型组	34.2 ± 1.12**	1.93 ± 0.11**	4.18 ± 0.12**

注：** 差异极显著 ($P<0.01$); * 差异显著 ($P<0.05$)。

以普通饲料和高脂饲料分别喂养 ICR 小鼠两周后，小鼠体质量及血清中甘油三酯和胆固醇的含量如表 4 所示，高脂饲料喂养组小鼠的体质量及血清中甘油三酯和胆固醇的含量，均极显著高于空白对照组的小鼠。说明 ICR 小鼠的高脂血症模型成功建立。

2.6 AVP对小鼠体质量变化的影响

小鼠体质量变化直观反映实验过程中小鼠的营养状况和生长状态。在 小鼠经过适应性喂养一周后，随机分组称重，各组体质量无显著性差异 ($P>0.05$)。灌胃实验结束后，HM 组平均体质量为 48.94 g，LAVP、MAVP 及 HAVP 组小鼠平均体质量分别为 46.79、43.23 及 41.64 g，Control 组小鼠体质量为 41.56 g。显然，与 HM 组相比，AVP 干预后的小鼠体质量显著降低，且具有量效关系。随着 AVP 的添加量增多，体重降低的趋势越显著。

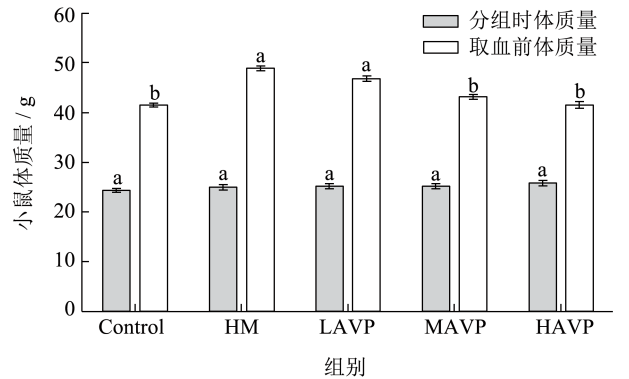


图 2 AVP 对 ICR 小鼠体质量的影响

Fig.2 Effect of AVP on body weight in ICR mice

注：不同小写字母表示组间数据差异显著 ($P<0.05$)。下同。

2.7 AVP对小鼠血清中TG和TC浓度的影响

AVP 对小鼠血清中 TG 和 TC 浓度的影响如图 3 所示。相比于 HM 组，AVP 各组中的 TG、TC 浓度均呈显著 ($P<0.05$) 下降的趋势。HAVP

组血清中 TG、TC 水平分别降低了 47.63% 和 32.02%。表明高剂量 AVP 对小鼠血清中 TG、TC 的代谢均有不同程度的促进作用, 干预降血脂效果显著。

与 Control 相比, HAVP 的 TC 浓度无显著性差异 ($P>0.05$), 高剂量 AVP 可以使高脂血症小鼠血清 TC 水平降至接近正常水平, 其原因可能是磷脂更易被吸收, 生物利用度更高, 生物活性功能更强^[33]。

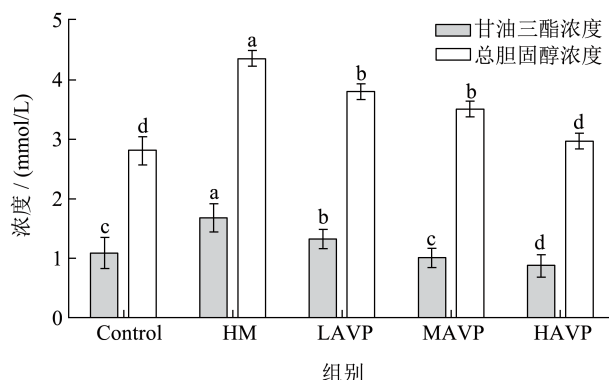


图 3 AVP 对 ICR 小鼠血清甘油三酯和总胆固醇含量的影响

Fig.3 AVP of ICR mice serum triglyceride and total cholesterol levels

2.8 AVP对小鼠血清中HDL和LDL浓度的影响

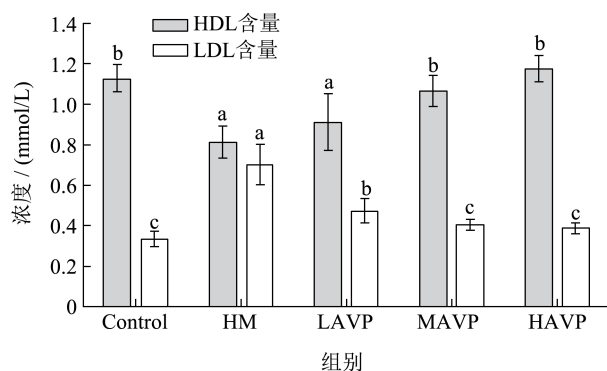


图 4 鲍鱼内脏磷脂对 ICR 小鼠血清 HDL-C 和 LDL-C 含量的影响

Fig.4 Effects of abalone visceral phospholipid on serum HDL-C and LDL-C contents in ICR mice

AVP 对小鼠血清中 HDL 和 LDL 浓度的影响如图 5 所示。与 HM 组相比, LAVP 的 HDL 水平提高了 10.75%, LDL 水平降低了 32.19%; HAVP 的 HDL 水平提高了 30.78%, LDL 水平降低了 44.73%, 表明高剂量的鲍鱼内脏磷脂可以有效提升高脂血症小鼠血清中 HDL 水平。与 Control 相比, MAVP 和 HAVP 组无显著性差异 ($P<0.01$), 这表

明一定剂量下的 AVP 降脂作用明显。

2.9 AVP对小鼠动脉粥样硬化指数 (Atherogenic Index, AI) 的影响

AI 与心脑血管发病的危险性高低有直接的关系, AI 数值越大表明得动脉粥样硬化的可能性越大。AVP 对高脂血症小鼠血清 AI 的影响如图 5 所示。HM 和其余各组均存在极显著差异 ($P<0.01$), 表明各剂量组均能显著降低高脂血症小鼠的 AI; 与 Control 相比, HAVP 组与其不存在显著性差异 ($P>0.05$), 表明高剂量 AVP 可以有效改善动脉粥样硬化; 原因可能是磷脂形式 n-3 多不饱和脂肪酸在肝脏和白色脂肪等组织中可以更有效地吸收^[34]。

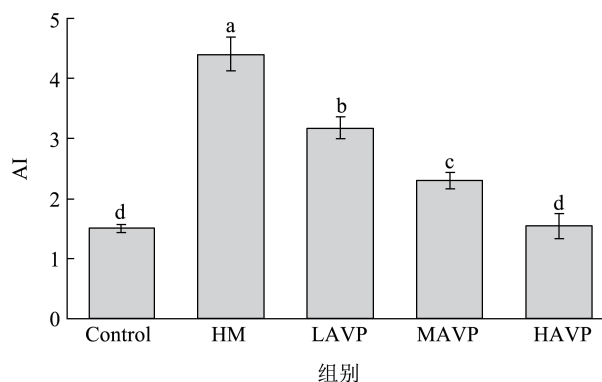


图 5 鲍鱼内脏磷脂对 ICR 小鼠动脉粥样硬化指数的影响

Fig.5 Effect of abalone visceral phospholipid on atherosclerosis index in ICR mice

3 结论

本研究通过超临界二氧化碳结合无水乙醇做共溶剂提取 AVP 的工艺条件: 萃取压力 35 MPa, 萃取温度 50 °C, 夹带剂流速 1.5 L/h 时磷脂提取率为 88.85%。AVP 组分包括磷脂酰胆碱 (PC) 80.69%; 磷脂酰乙醇胺 (PE) 3.66%; 磷脂酰肌醇 (PI) 5.06%。其脂肪酸组成为: 14 种脂肪酸, 其中饱和脂肪酸 5 种, 含量占比为 49.87%, 不饱和脂肪酸 9 种, 含量占比为 32.45%。AVP 为棕黄色颗粒, 有特殊的鲍鱼磷脂味道; 丙酮不溶物 88.3%; 水分及挥发物 0.8%; 正己烷不溶物 0.1%; 酸值 34.4%; 过氧化值 9.45%, 符合国家食品添加剂磷脂标准。高剂量 AVP 可以显著的改善高脂血症小鼠的血清指标, 与高脂膳食组相比, 高剂量 AVP 组血清中 TG、TC、LDL 含量分别降低了 47.63%、32.02% 和 44.73%, HDL 提升了 30.78%, AI 指数降低了 64.85%, 为后

续开发利用鲍鱼内脏磷脂资源利用其降血脂功能提供基础理论依据。

参考文献

- [1] LEE S, YOUN B. Hypolipidemic roles of casein-derived peptides by regulation of trans-intestinal cholesterol excretion and bile acid synthesis [J]. *Nutrients*, 2020, 12(10): 3058.
- [2] BELLO O Y, KURI A, RIOS M, et al. Familial combined hyperlipidemia: current knowledge, perspectives, and controversies [J]. *Revista De Investigacion Clinica-clinical and Translational Investigation*, 2018, 70(5): 224-236.
- [3] BRUNHAM L R, BAKER S, MAMMEN A, et al. Role of genetics in the prediction of statin-associated muscle symptoms and optimization of statin use and adherence [J]. *Cardiovascular Research*, 2018, 114(8): 1073-1081.
- [4] PIRILLO A, CASULA M, OLMASTRONI E, et al. Global epidemiology of dyslipidaemias [J]. *Nature Reviews Cardiology*, 2021, 18(10): 689-700.
- [5] TADDEI C, ZHOU B, BIXBY H, et al. Repositioning of the global epicentre of non-optimal cholesterol [J]. *Nature*, 2020, 582(7810): 73-77.
- [6] LIN P, SHEN N, YIN F, et al. Sea cucumber-derived compounds for treatment of dyslipidemia: A review [J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2022, 13: 1000315.
- [7] 刘鸿斌.注射级玉米卵磷脂对高脂饮食大鼠的降血脂作用[J].*中国油脂*,2020,45(12):49-55.
- [8] 杨芝芝,赵晓丹,叶佳,等.鲍鱼内脏磷脂提取纯化工艺及抗氧化特性研究[J].*河南工业大学学报(自然科学版)*, 2023,44(3):11-17,41.
- [9] 白宝清,贾槐旺,张锦华,等.紫苏籽粕抗氧化肽的纯化、鉴定及降血脂功效研究[J].*中国粮油学报*,2022,37(7): 92-101.
- [10] 吴淑娟,王锐,董兆斌,等.红仁核桃多肽的制备工艺优化及降血脂功能研究[J].*中国油脂*,2023,48(6):54-60.
- [11] 石浩,何小娥,丁仁惠,等.油茶多酚提取物对SD大鼠降血脂和抗氧化作用的影响[J].*食品研究与开发*,2021, 42(4):28-34.
- [12] 赵绮,赵则月关颖,等.不同分子量玉米须多糖降血脂比较及机制研究[J].*中国食品添加剂*,2023,34(5):241-248.
- [13] 李珊,刘耀耀,刘哲,等.狭果茶藨子黄酮提取工艺优化及其体外降血脂活性[J].*食品研究与开发*,2021,42(3):73-79.
- [14] BERGE R K, RAMSVIK M S, BOHOV P, et al. Krill oil reduces plasma triacylglycerol level and improves related lipoprotein particle concentration, fatty acid composition and redox status in healthy young adults-a pilot study [J]. *Lipids in Health and Disease*, 2015, 14: 163.
- [15] DING L, ZHANG L Y, WEN M, et al. Eicosapentaenoic acid-enriched phospholipids improve atherosclerosis by mediating cholesterol metabolism [J]. *Journal of Functional Foods*, 2017, 32(1): 90-97.
- [16] PAROLINI C, BJORN DAL B, BUSNELLI M, et al. Effect of dietary components from antarctic krill on atherosclerosis in apoE-deficient mice [J]. *Molecular Nutrition & Food Research*, 2017, 61(12): 1700098.
- [17] RUNDBLAD A, HOLVEN K B, BRUHEIM I, et al. Effects of krill oil and lean and fatty fish on cardiovascular risk markers: a randomised controlled trial [J]. *Journal of Nutritional Science*, 2018, 7: e3.
- [18] 陈敏,高广春,田新朋,等.皱纹盘鲍内脏抗氧化肽的制备及活性分析[J].*食品科技*,2022,47(6):159-166.
- [19] JANG H L, LICEAGA A M, YOON K Y. Purification, characterisation and stability of an antioxidant peptide derived from sandfish (*Arctoscopus japonicus*) protein hydrolysates [J]. *Journal of Functional Foods*, 2016, 20: 433-442.
- [20] 何晓彤,王晨,孙力军,等.鲍鱼内脏酶解物可调节肠道菌群及短链脂肪酸缓解小鼠系统低度炎症[J].*微生物学杂志*,2022,42(6):94-102.
- [21] 陈胜军,杨少玲,刘先进,等.鲍鱼及其副产物综合加工利用研究进展[J].*肉类研究*,2019,33(10):76-81.
- [22] YIN M Y, MATSUOKA R, XI Y C, et al. Comparison of egg yolk and soybean phospholipids on hepatic fatty acid profile and liver protection in rats fed a high-fructose diet [J]. *Foods*, 2021, 10(7): 1569.
- [23] 周莉,张明浩,姚家旭,等.南极磷虾油提取方法及生理活性研究进展[J].*食品工业科技*,2021,42(12):362-368.
- [24] PATIL V V, GALGE R V, THORAT B N. Extraction and purification of phosphatidylcholine from soyabean lecithin [J]. *Separation and Purification Technology*, 2010, 75(2): 138-144.
- [25] HAQ M, CHUN B S. Characterization of phospholipids extracted from Atlantic salmon by-product using supercritical CO₂ with ethanol as co-solvent [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 178: 186-195.
- [26] 李雪萌,姜宝杰,张雅,等.超临界CO₂萃取技术在食品中的应用[J].*粮食与油脂*, 2020, 33(1): 18-20.
- [27] RODRIGUEZ L M, FONTECHA J. Major lipid classes separation of buttermilk, and cows, goats and ewes milk by high performance liquid chromatography with an evaporative light scattering detector focused on the

- phospholipid fraction [J]. *Journal of Chromatography A*, 2010, 1217(18): 3063-3066.
- [28] BINXIONG L, ZHEN J, CHANGCHENG L, et al. Hypolipidemic and anti-atherogenic activities of crude polysaccharides from abalone viscera [J]. *Food Science & Nutrition*, 2020, 8(5): 2524-2534.
- [29] 赵晓丹,陈艺晖,陈继承,等.不同溶剂对皱纹盘鲍内脏脂质的提取及其组分对比分析[J].*现代食品科技*,2017, 33(6):202-206.
- [30] 刘艳青,李兆杰,楼乔明,等.皱纹盘鲍内脏脂质分析[J].*水产学报*,2012,6:989-992.
- [31] 楼乔明,杨文鸽,张进杰,等.皱纹盘鲍内脏脂质及其脂肪酸组成分析[J].*中国食品学报*,2013,13(5):220-226.
- [32] CHE H X, ZHOU M M, ZHANG T T, et al. EPA enriched ethanolamine plasmalogens significantly improve cognition of Alzheimer's disease mouse model by suppressing beta-amyloid generation [J]. *Journal of Functional Foods*, 2018, (41): 9-18.
- [33] DING L, ZHANG L Y, WEN M, et al. Eicosapentaenoic acid-enriched phospholipids improve atherosclerosis by mediating cholesterol metabolism [J]. *Journal of Functional Foods*, 2017, 32: 90-97.
- [34] DING L, ZHANG T T, CHE H, et al. Dha-Enriched phosphatidylcholine and Dha-Enriched phosphatidylserine improve age-related lipid metabolic disorder through different metabolism in the senescence-accelerated mouse [J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2018, 120(6): 1700490.