

# 红仁核桃多肽的制备工艺优化及降血脂功能研究

吴淑娟<sup>1</sup>, 王锐<sup>2</sup>, 董兆斌<sup>3</sup>, 夏禹承<sup>1</sup>, 廖玉美<sup>4</sup>, 张润光<sup>1</sup>, 张有林<sup>1</sup>

(1. 陕西师范大学 食品工程与营养科学学院, 西安 710119; 2. 陕西省林业科技推广与国际项目管理中心, 西安 710082; 3. 陕西省商洛盛大实业股份有限公司, 陕西 商洛 726000; 4. 陕西省城固县农业机械管理站, 陕西 汉中 723200)

**摘要:**为对红仁核桃的精深加工及其保健功能提供参考,以红仁核桃分离蛋白为原料对其进行酶解制备红仁核桃多肽,采用单因素试验和正交试验优化酶解工艺条件,并经超滤分离得到3个组分的红仁核桃多肽,测定其多肽含量、胰脂肪酶抑制率和胆固醇胶束溶解度抑制率。以高血脂SD大鼠为模型,分别以活性最高的红仁核桃多肽的低、中、高剂量(200、400、800 mg/kg)饲喂大鼠28 d,测定大鼠体质量、脏器质量和血清指标,并进行组织切片观察。结果表明:红仁核桃多肽制备的最佳条件为酶解pH 9.0、底物质量分数4.0%、酶加入量(以反应体系总质量计)4.0%、酶解温度55℃,在此条件下水解度达到6.96%;分子质量小于3 kDa的组分活性最高;用红仁核桃多肽灌胃SD大鼠后能显著减缓大鼠体质量及肝脏、肾脏和附睾脂肪组织质量的增加( $p < 0.05$ ),显著或极显著降低大鼠血清总胆固醇含量、甘油三酯含量、低密度脂蛋白胆固醇含量、动脉粥样硬化指数,升高高密度脂蛋白胆固醇含量( $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ );组织切片观察结果显示红仁核桃多肽干预能抑制脂肪组织的生长和积累。红仁核桃分离蛋白酶解产物多肽具有较好的降血脂功能。

**关键词:**红仁核桃;分离蛋白;酶解;多肽;降血脂

中图分类号:TS229;Q591.5

文献标识码:A

文章编号:1003-7969(2023)06-054-07

## Optimization of the preparation process of red kernel walnut polypeptide and its hypolipidemic effect

WU Shujuan<sup>1</sup>, WANG Rui<sup>2</sup>, DONG Zhaobin<sup>3</sup>, XIA Yucheng<sup>1</sup>,  
LIAO Yumei<sup>4</sup>, ZHANG Runguang<sup>1</sup>, ZHANG Youlin<sup>1</sup>

(1. College of Food Engineering and Nutritional Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China; 2. Shaanxi Forestry Science and Technology Promotion and International Project Management Center, Xi'an 710082, China; 3. Shaanxi Shangluo Shengda Industrial Corporation Limited, Shangluo 726000, Shaanxi, China; 4. Shaanxi Chenggu County Agricultural Machinery Management Station, Hanzhong 723200, Shaanxi, China)

**Abstract:** In order to provide reference for the deep processing and health function of red kernel walnut, the red kernel walnut polypeptide was prepared by the enzymatic hydrolysis of red kernel walnut protein isolate, the single factor test and orthogonal test were used to optimize the enzymolysis process conditions. Three components of red kernel walnut polypeptide were separated by ultrafiltration, and its polypeptide content, the inhibition rates of pancreatic lipase and cholesterol micelle solubility were measured. Taking hyperlipidemia SD rats as a model, and low, medium, and high doses (200, 400, 800 mg/kg) of red

收稿日期:2022-03-28;修回日期:2023-03-04

基金项目:陕西省林业科学院科技创新计划项目(SXLK2021-0232);2020年度陕西省农业产业化发展项目;陕西省农业领域重点产业链项目(2021ZDLNY04-05)

作者简介:吴淑娟(1996),女,硕士研究生,研究方向为天然产物活性(E-mail)wsj18434760860@163.com。

通信作者:张有林,教授,博士生导师(E-mail)youlinzh@snnu.edu.cn。

kernel walnut polypeptide with the highest activity were administered to the rats for 28 d, and the body weight, organ weight, serum biochemical indicators of rats were measured and the tissue sections were observed. The results showed that the optimal conditions for the preparation of red kernel walnut polypeptide were as follows: enzymatic pH 9.0, mass fraction of substrate

4.0%, enzyme addition amount (calculated by the total mass of the reaction system) 4.0%, and enzymatic temperature 55 °C. Under these conditions, the degree of hydrolysis was 6.96%. Components with molecular mass less than 3 kDa had the highest activity. Red kernel walnut polypeptide gavage significantly reduced the increase of body weight and mass of liver, kidney and epididymal adipose tissue in SD rats ( $p < 0.05$ ), and serum total cholesterol, triglycerides, low-density lipoprotein cholesterol and arteriosclerosis index were significantly reduced in rats, while the high-density lipoprotein cholesterol content was increased ( $p < 0.05, p < 0.01$ ). The tissue section observation showed that the intervention of red walnut polypeptide could inhibit the growth and accumulation of adipose tissue. The hydrolyzed polypeptides of red kernel walnut protein isolate have a good hypolipidemic effect.

**Key words:** red kernel walnut; protein isolate; enzymatic hydrolysis; polypeptide; hypolipidemic

核桃(*Juglans regia* L.)是胡桃科胡桃属植物,其果实与扁桃、腰果、榛子并称为世界“四大干果”<sup>[1]</sup>,常被加工成核桃油、核桃乳<sup>[2]</sup>等产品,具有较高的营养价值。核桃仁蛋白质含量可达15%~29.7%<sup>[3]</sup>,是优质植物蛋白来源。核桃蛋白中氨基酸组成主要以疏水性氨基酸和酸性氨基酸为主<sup>[4]</sup>,是制备降血脂肽的优质原料。

现在人们的高脂饮食、久坐等生活习惯致使高脂血症、动脉粥样硬化、高血压、心脏病等疾病的发病率增高,他汀类、苯氧酸类等治疗高脂血症药物的副作用明显<sup>[5]</sup>,而天然活性多肽具有分子质量小、生物活性强、副作用小等优点,可以通过抑制胆固醇胶束溶解和吸收,改变肠肝胆汁酸循环和提高胆固醇分解代谢,以及调节脂质生成蛋白和基因起到降血脂作用,已被广泛用于保健食品<sup>[6-8]</sup>。多肽分子质量不同,作用效果不同,Marques等<sup>[9]</sup>发现分子质量小于3 kDa的豇豆蛋白多肽能较好地抑制HMGCR酶和胆固醇胶束溶解,从而发挥降血脂作用。此外,多肽的生物活性效应与肽序列密切相关<sup>[10]</sup>,组成多肽的氨基酸类型、含量及在多肽中位置也会影响其活性。研究表明,高比例疏水性氨基酸(如亮氨酸、缬氨酸等)存在的多肽具有较强的抗氧化活性和降血脂作用<sup>[11]</sup>,而抗高血压肽中芳香族和脂肪族氨基酸占比较高<sup>[12]</sup>。许多天然活性多肽如大豆蛋白多肽<sup>[13]</sup>、火麻籽多肽<sup>[14]</sup>、燕麦多肽<sup>[15]</sup>、驼血多肽<sup>[16]</sup>等均被证明具有较好的降血脂作用。核桃蛋白酶解后的产物核桃多肽被证实具有抗氧化<sup>[17]</sup>、降血压<sup>[18]</sup>、改善学习记忆<sup>[19]</sup>、调节代谢紊乱<sup>[20]</sup>等作用,而关于核桃多肽的降血脂作用研究较少<sup>[21]</sup>。

本文以红仁核桃制备的分离蛋白粉为试验材料,采用单因素试验和正交试验优化碱性蛋白酶酶解红仁核桃分离蛋白制备红仁核桃多肽的工艺条件,并选用高血脂SD大鼠模型评价红仁核桃多肽

的降血脂功能,旨在为红仁核桃的精深加工及其保健功能提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

#### 1.1.1 原料与试剂

红仁核桃分离蛋白粉(蛋白质含量88.91%),由陕西省洛南县红仁核桃基地生产的红仁核桃中提取得到。碱性蛋白酶(10 000 U/g)、胰脂肪酶(125 000 U/g),美国Sigma公司;氢氧化钠、磷酸缓冲液、盐酸、胆固醇均为分析纯,奥利司他、3 kDa超滤膜、10 kDa超滤膜、4%多聚甲醛、苏木精-伊红(HE)和油红O染色液,西安晶博生物科技有限公司;甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)试剂盒,南京建成生物研究所;SD雄性大鼠(体质量180~220 g)、普通饲料、高脂饲料(配方为玉米粉20%,面粉13%,麸、鱼粉、豆粕各5%,粗纤维、复合维生素各0.5%,矿物质1%,猪油18%,蔗糖、全脂奶粉各10%,酪蛋白8%,碳酸氢钙、动物饲料预混料各2%),第四军医大学实验动物中心。

#### 1.1.2 仪器与设备

UV-1100型紫外可见分光光度计,上海美谱达仪器有限公司;TGL-16gR型高速冷冻离心机,上海安亭科学仪器厂;Multiskan Go型全波长酶标仪,美国热电公司;BY-TR型光学显微镜,重庆奥特光学仪器有限公司;DW-HL438型超低温冰箱,合肥美菱股份有限公司。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 红仁核桃多肽的制备

取一定量的红仁核桃分离蛋白粉于一定体积0.1 mol/L磷酸缓冲液中,磁力搅拌,利用0.5 mol/L NaOH标准溶液调节pH至恒定,在设定的温度下加一定量碱性蛋白酶(以反应体系总质量计,下同)酶

解 120 min, 酶解液于 95 °C 灭酶 15 min, 冷却至室温, 调节 pH 至 7.0, 离心 (12 000 r/min, 10 min) 取上清液, 真空冷冻干燥, 得到红仁核桃多肽。

### 1.2.2 红仁核桃多肽组分的超滤分离

将酶解得到的上清液用 10.3 kDa 的超滤膜过滤分离, 收集得到分子质量分别为小于 3 kDa (WPH - I)、3 ~ 10 kDa (WPH - II)、大于 10 kDa (WPH - III) 的红仁核桃多肽液, 冷冻干燥后置于 -80 °C 冰箱中保存备用。

### 1.2.3 大鼠饲喂试验

取 30 只 8 周龄 SD 雄性大鼠, 在温度 20 ~ 22 °C、相对湿度 60%、24 h 明暗循环条件下正常饲喂, 适应一周后称其质量并随机分为 5 组, 每组 6 只, 分别为空白对照组 (ND), 高脂模型组 (HFD), 核桃多肽低、中、高剂量干预组 (LWMP、MWMP、HWMP)。ND 组每日饲喂普通饲料, 其余各组每日饲喂高脂饲料, 同时低、中、高剂量干预组每日分别灌胃 200、400、800 mg/kg<sup>[22]</sup> 的红仁核桃多肽, 饲喂 28 d。

### 1.2.4 水解度的测定

采用甲醛滴定法<sup>[23]</sup>测定水解度。

### 1.2.5 多肽含量测定

采用福林酚法<sup>[24]</sup>测定多肽含量。

### 1.2.6 胰脂肪酶抑制率和胆固醇胶束溶解度抑制率测定

参考文献<sup>[25]</sup>的方法测定胰脂肪酶抑制率, 以奥利司他作阳性对照; 参考文献<sup>[26]</sup>的方法通过处理模拟胆汁胶束溶液测定胆固醇胶束溶解度抑制率。

### 1.2.7 大鼠体质量、脏器质量测定

灌胃 28 d 后, 称量大鼠的体质量, 并解剖取肾脏、肝脏, 用生理盐水冲洗, 滤纸吸干后称量各部分

脏器质量。

### 1.2.8 大鼠血清指标测定

最后一次给药后禁食不禁水 12 h, 用麻醉剂麻醉, 取动脉血浆, 在 12 000 r/min、4 °C 条件下离心 10 min, 取上清液用试剂盒测定大鼠血清 TG、TC、HDL - C、LDL - C 指标, 并按照下式计算动脉粥样硬化指数 ( $I_A$ )。

$$I_A = (C_T - C_H) / C_H \quad (1)$$

式中:  $C_T$  为 TG 含量;  $C_H$  为 HDL - C 含量。

### 1.2.9 组织形态学观察

参考文献<sup>[27]</sup>的方法, 将大鼠组织用 4% 多聚甲醛固定, 石蜡包埋, 用 HE 和油红 O 染色, 制作切片, 切片干燥后在显微镜下观察组织形态。

### 1.2.10 数据统计与分析

所有数据都以“平均值 ± 标准差”表示, 采用 SPSS 19.0 软件进行方差分析, 采用 Duncan 法进行多重比较 ( $p < 0.05$  表示差异显著,  $p < 0.01$  表示差异极显著), 采用 Origin 8.0 软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 红仁核桃多肽制备的单因素试验

用碱性蛋白酶酶解红仁核桃分离蛋白制备红仁核桃多肽, 分别在酶解温度 55 °C、酶加入量 2.0% 及底物质量分数 2.0% 条件下考察酶解 pH 对水解度的影响, 在酶解温度 55 °C、酶解 pH 9.0 及底物质量分数 2.0% 条件下考察酶加入量对水解度的影响, 在酶解温度 55 °C、酶解 pH 9.0 及酶加入量 4.0% 条件下考察底物质量分数对水解度的影响, 在酶解 pH 9.0、酶加入量 4.0% 及底物质量分数 4.0% 条件下考察酶解温度对水解度的影响, 结果见图 1。

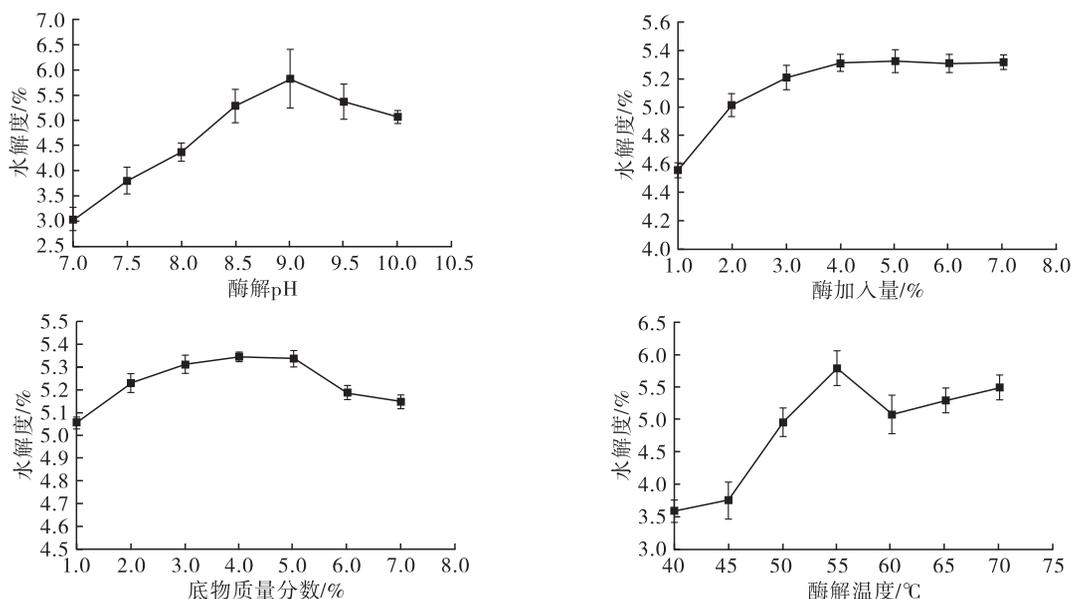


图 1 不同酶解条件对红仁核桃分离蛋白水解度的影响

由图1可看出,水解度随着酶解 pH 的增加呈先增大后减小的趋势,当酶解 pH 为 9.0 时,水解度达到最大值(5.82%),这可能是不同的 pH 使酶分子的带电状态与底物分子的解离状态发生改变<sup>[28]</sup>,从而影响水解度。另外,过高或过低的 pH 均会造成酶分子活性部位空间结构被破坏,影响酶的稳定性。因此,本试验以 9.0 为最佳酶解 pH。

由图1可看出,随着酶加入量的增加,水解度不断增加,酶加入量达到 4.0% 以上,水解度趋于平缓,这是因为底物已经达到饱和,剩余的酶无法与蛋白质分子结合。因此,本试验以 4.0% 为最佳酶加入量。

由图1可看出,随着底物质量分数的增大,酶与底物充分接触,当底物质量分数为 4.0% 时,水解度达到最大值(5.35%),随后水解度呈下降趋势,这可能是由于底物质量分数过大,体系黏度增大,阻碍了酶与底物的结合,限制了酶促反应。因此,本试验以 4.0% 为最佳底物质量分数。

由图1可看出,水解度随着酶解温度升高呈先增大再减小再增大趋势,当酶解温度为 55℃ 时,水解度达到最大(5.79%)。这可能是在较低温度下随温度升高活化分子的有效碰撞增加,从而酶解效率增加,而温度过高会破坏酶的分子构象,酶被钝化,导致酶解效率降低。因此,本试验以 55℃ 为最佳酶解温度。

## 2.2 红仁核桃多肽制备的正交试验

在单因素试验的基础上,以酶解 pH(A)、酶加入量(B)、底物质量分数(C)、酶解温度(D)为因素,以水解度为评价指标进行  $L_9(3^4)$  正交试验优化红仁核桃多肽制备条件,每组试验重复 3 次。正交试验因素及水平见表 1,正交试验设计及结果见表 2。

由表 2 可看出,各因素对红仁核桃分离蛋白水解度的影响主次顺序为  $A > D > B > C$ ,即酶解 pH > 酶解温度 > 酶加入量 > 底物质量分数。以水解度为试验指标,制备红仁核桃多肽的最优组合为  $A_2B_2C_2D_2$ ,即酶解 pH 9.0、酶加入量 4.0%、底物质量分数 4.0%、酶解温度 55℃,在此条件下进行 3 次验证试验,水解度达 6.96%。

表 1 正交试验因素及水平

水平	A 酶解 pH	B 酶加入量/%	C 底物质量分数/%	D 酶解温度/℃
1	8.5	3.0	3.0	50
2	9.0	4.0	4.0	55
3	9.5	5.0	5.0	60

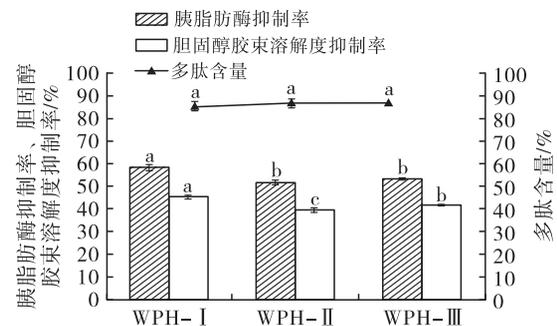
表 2 正交试验设计及结果

试验号	A	B	C	D	水解度/%
1	1	1	1	1	5.63 ± 0.03
2	1	2	2	2	5.89 ± 0.10
3	1	3	3	3	5.02 ± 0.22
4	2	1	2	3	6.19 ± 0.07
5	2	2	3	1	6.51 ± 0.08
6	2	3	1	2	6.39 ± 0.13
7	3	1	3	2	5.64 ± 0.10
8	3	2	1	3	5.07 ± 0.10
9	3	3	2	1	5.34 ± 0.08
$k_1$	5.51	5.82	5.70	5.83	
$k_2$	6.36	5.82	5.81	5.97	
$k_3$	5.35	5.58	5.72	5.43	
R	1.01	0.24	0.11	0.54	

## 2.3 红仁核桃多肽组分的超滤分离及多肽含量和活性

红仁核桃多肽经超滤分离后得到 WPH-I、WPH-II、WPH-III 3 个组分,各组分得率分别为  $(78.37 \pm 0.92)\%$ 、 $(11.81 \pm 1.07)\%$ 、 $(2.01 \pm 0.11)\%$ 。

胰脂肪酶可将膳食甘油三酯水解为甘油和脂肪酸,促进脂类吸收,抑制胰脂肪酶活性可以预防肥胖和高血脂<sup>[29]</sup>,另外,胆固醇胶束溶解度对人体胆固醇吸收也至关重要<sup>[30]</sup>。红仁核桃多肽 3 个组分的多肽含量及其对胰脂肪酶和胆固醇胶束溶解度抑制率见图 2。



注:同一指标不同的小写字母表示差异显著( $p < 0.05$ )

图 2 红仁核桃多肽各组分多肽含量及对胆固醇胶束溶解度抑制率和胰脂肪酶抑制率的影响

由图 2 可看出,3 个组分的多肽含量均在 85% 以上,并且无显著差异。以奥利司他为对照的胰脂肪酶抑制率为 94.74%。WPH-I 的胰脂肪酶抑制率(58.48%)和胆固醇胶束溶解度抑制率(45.41%)均高于其他 2 个组分,符合活性高的多肽分子质量一般较小的原理<sup>[8]</sup>。因此,使用多肽 WPH-I 进行大鼠饲喂试验。

## 2.4 红仁核桃多肽对大鼠体质量及脏器质量的影响

表3为红仁核桃多肽对雄性SD大鼠体质量及脏器质量的影响。由表3可看出,按1.2.3的方法饲喂大鼠28 d后,与ND组相比,HFD组大鼠体质量,肝脏、肾脏及附睾脂肪质量均显著增加( $p < 0.05$ ),说明

造模成功,各干预组大鼠体质量均显著低于HFD组( $p < 0.05$ ),说明红仁核桃多肽能够抑制大鼠体质量增长。各干预组大鼠肝脏、肾脏及附睾脂肪质量随着红仁核桃多肽灌胃剂量的增加而降低,说明红仁核桃多肽具有抑制大鼠脏器脂肪组织增多的作用。

表3 红仁核桃多肽对雄性SD大鼠体质量及脏器质量的影响

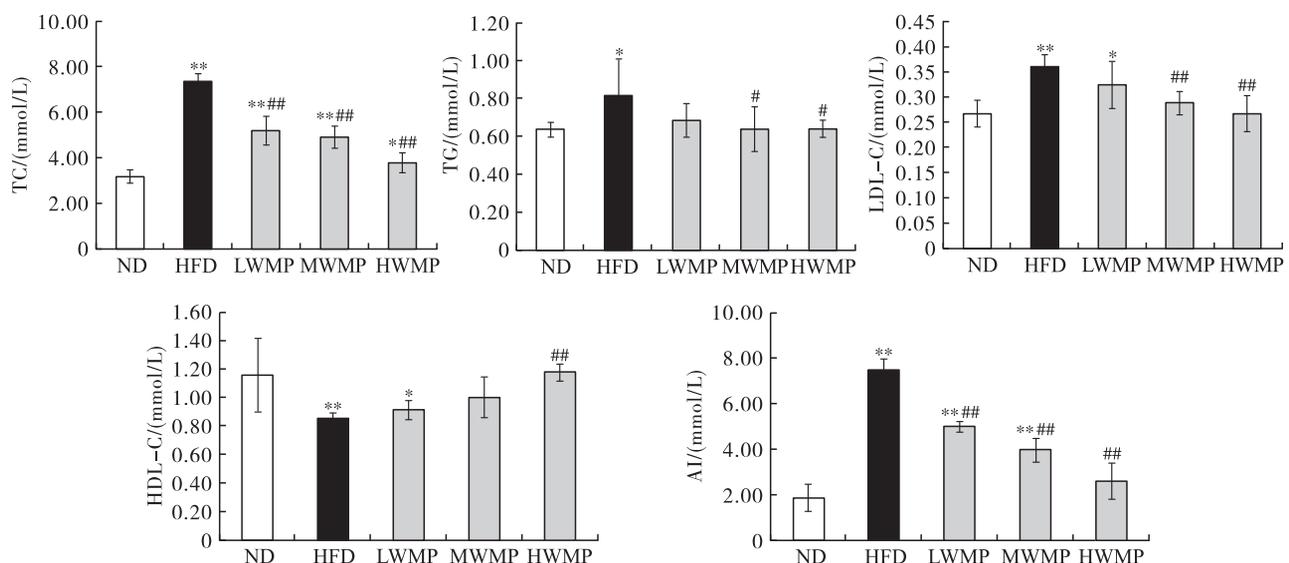
项目	ND	HFD	LWMP	MWMP	HWMP
体质量	358.74 ± 12.74 <sup>c</sup>	429.25 ± 10.40 <sup>a</sup>	402.26 ± 14.08 <sup>b</sup>	389.90 ± 10.25 <sup>b</sup>	387.77 ± 7.11 <sup>b</sup>
肝脏	7.72 ± 0.40 <sup>b</sup>	9.13 ± 0.34 <sup>a</sup>	9.06 ± 0.45 <sup>a</sup>	8.83 ± 0.24 <sup>a</sup>	8.68 ± 0.16 <sup>ab</sup>
肾脏	2.14 ± 0.14 <sup>b</sup>	2.40 ± 0.13 <sup>a</sup>	2.19 ± 0.12 <sup>ab</sup>	2.10 ± 0.09 <sup>b</sup>	2.08 ± 0.09 <sup>b</sup>
附睾脂肪	2.04 ± 0.36 <sup>b</sup>	3.67 ± 0.53 <sup>a</sup>	3.25 ± 0.46 <sup>ab</sup>	2.67 ± 0.6ab	2.64 ± 0.32 <sup>ab</sup>

注:同行不同字母表示差异显著( $p < 0.05$ )

## 2.5 红仁核桃多肽对大鼠血清指标的影响

高脂饮食会导致肥胖,引发高脂血症、动脉粥样硬化、脂肪肝等疾病,血清中的TC、TG、LDL-C以

及HDL-C常被用作血脂检测指标<sup>[31]</sup>,AI用于衡量动脉粥样硬化程度。各组大鼠血清指标水平测定结果见图3。



注: \*、\*\* 分别表示与空白对照组比较差异显著( $p < 0.05$ )、差异极显著( $p < 0.01$ ); #、## 分别表示与模型组比较差异显著( $p < 0.05$ )、差异极显著( $p < 0.01$ )

图3 红仁核桃多肽对大鼠血清指标的影响

由图3可看出,与ND组相比,HFD组的TC、TG、LDL-C、AI均显著或极显著升高( $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ),HDL-C极显著降低( $p < 0.01$ ),这与杨子明等<sup>[32]</sup>的研究结果一致。TG是脂肪酸和甘油在脂肪酸合成酶的作用下形成的脂肪分子,能有效反映血脂水平。与HFD组相比,红仁核桃多肽干预能降低大鼠TG水平,且中、高剂量具有显著降低作用( $p < 0.05$ ),可能是红仁核桃多肽抑制了TG形成过程中脂肪酸合成酶的表达。高密度脂蛋白作为体内脂质的清道夫,通过结合胆固醇转运到肝脏中代谢为胆汁酸排出体外达到降血脂的目的<sup>[33]</sup>。与HFD组相比,红仁核桃多肽干预组大鼠的HDL-C水平升

高,且高剂量组存在极显著升高作用( $p < 0.01$ )。与HFD组相比,红仁核桃多肽干预组大鼠的TC水平和AI水平均极显著降低( $p < 0.01$ ),LDL-C水平均降低,且中、高剂量组存在极显著降低作用( $p < 0.01$ )。综上,红仁核桃多肽有较好的预防动脉粥样硬化和降血脂功能。

## 2.6 红仁核桃多肽对大鼠组织病理变化的影响

为验证高脂饮食及红仁核桃多肽干预对脏器脂质积累的影响,本试验对SD大鼠附睾脂肪组织和肝脏组织分别进行HE、油红O染色,显微镜观察结果分别见图4、图5。由图4可看出,HFD组大鼠脂肪细胞体积大,排列疏松,MWMP组和HWMP组大

鼠脂肪细胞体积明显减小,细胞形态与ND组差异不大,说明红仁核桃多肽能抑制脂肪细胞的生长。由图5可看出,HFD组存在大量脂滴被染成红色,细胞结构被破坏,红仁核桃多肽干预组随干预剂量的

增加肝脏组织状态趋于正常,HWMP组虽仍存在少量脂滴,但与ND组相比无明显差异,说明红仁核桃多肽在一定程度上改善因高脂饮食引起的脂肪增加,降低脂肪积累量。

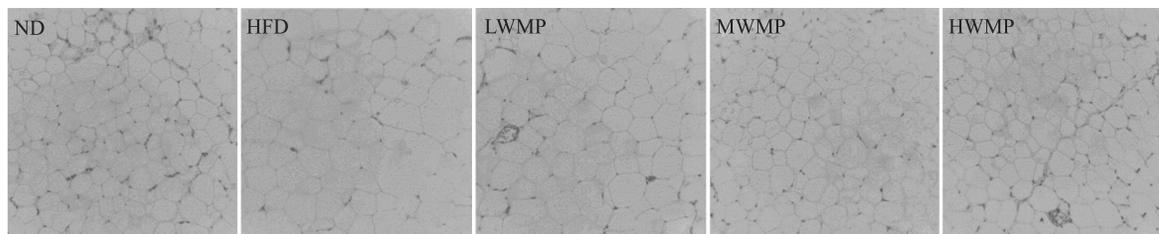


图4 红仁核桃多肽对灌胃大鼠HE染色附睾脂肪组织的影响(200×)

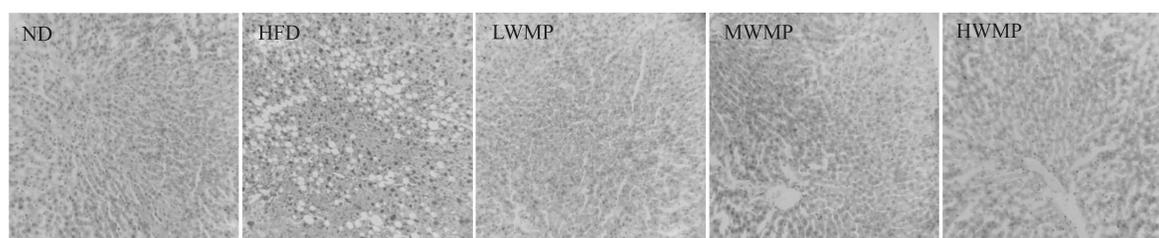


图5 红仁核桃多肽对灌胃大鼠油红O染色肝脏组织的影响(400×)

### 3 结论

本试验采用碱性蛋白酶酶解红仁核桃分离蛋白制备红仁核桃多肽,优化得到最佳酶解条件为底物质量分数4.0%、酶解pH9.0、酶加入量4.0%、酶解温度55℃,在此条件下水解度达到6.96%。经超滤筛选多肽组分后发现,分子质量小于3 kDa的组分对胰脂肪酶抑制率达到58.48%,对胆固醇胶束溶解度抑制率达到45.41%,具有较好的抑制作用。红仁核桃多肽对高脂饮食引起的高脂血症大鼠进行干预可以减缓大鼠体质量、脏器质量的增加,明显降低血清中TC、TG、LDL-C、AI水平,提高HDL-C水平。经过组织切片观察,红仁核桃多肽干预在一定程度上能够抑制脂肪组织的生长和积累,说明红仁核桃多肽在降血脂方面具有一定潜力,可为降血脂天然产物和功能性食品的开发提供新资源。

#### 参考文献:

- [1] 程赞,赵晓燕,张晓伟,等.核桃分离蛋白酶解产物结构与功能的变化[J].中国油脂,2022,47(6):85-91.
- [2] 赵晶,张筠,陈喜君,等.乳酸菌发酵核桃乳的研究进展[J].粮食与油脂,2020,33:29-31.
- [3] 张亭,杜倩,李勇.核桃的营养成分及其保健功能的研究进展[J].中国食物与营养,2018,24(7):64-69.
- [4] 张庆祝,丁晓雯,陈宗道,等.核桃蛋白质研究进展[J].粮食与油脂,2003(5):21-23.
- [5] 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]. Cardiovasc Res, 2018, 114(8): 1073-1081.

- [6] LAU J L, DUNN M K. Therapeutic peptides: historical perspectives, current development trends, and future directions [J]. Bioorgan Med Chem, 2018, 26(10): 2700-2707.
- [7] 朱梦媛,李冲伟.植物源功能肽的制备、生理活性与应用研究进展[J].食品科学,2021,42(17):372-378.
- [8] HOWARD A, UDENIGWE C C. Mechanisms and prospects of food protein hydrolysates and peptide-induced hypolipidaemia [J]. Food Funct, 2013, 4(1): 40-51.
- [9] MARQUES M R, SOARES FREITAS R A, CORREA CARLOS A C, et al. Peptides from cowpea present antioxidant activity, inhibit cholesterol synthesis and its solubilisation into micelles [J]. Food Chem, 2015, 168: 288-293.
- [10] MAESTRI E, PAVLICEVIC M, MONTORSI M, et al. Meta-analysis for correlating structure of bioactive peptides in foods of animal origin with regard to effect and stability [J]. Compr Rev Food Sci Food Saf, 2019, 18(1): 3-30.
- [11] SHAZLY A B, HE Z, EL-AZIZ M A, et al. Fractionation and identification of novel antioxidant peptides from buffalo and bovine casein hydrolysates [J]. Food Chem, 2017, 232: 753-762.
- [12] YOUSR M, HOWELL N. Antioxidant and ACE inhibitory bioactive peptides purified from egg yolk proteins [J]. Int J Mol Sci, 2015, 16(12): 29161-29178.

- [13] GALVEZ A F. Identification of lunasin as the active component in soy protein responsible for reducing LDL cholesterol and risk of cardiovascular disease [J/OL]. *Circulation*, 2012, 126, 21: A10693[2022-03-28]. [https://www.ahajournals.org/doi/abs/10.1161/circ.126.suppl\\_21.A10693](https://www.ahajournals.org/doi/abs/10.1161/circ.126.suppl_21.A10693).
- [14] 魏连会, 宋淑敏, 董艳, 等. 火麻籽多肽对高脂饮食喂养大鼠血脂的影响 [J]. *食品科学*, 2021, 42(11): 161-167.
- [15] 马超月. 燕麦多肽的制备及其降血脂和降血压效果研究 [D]. 江苏镇江:江苏大学, 2018.
- [16] 王旭. 驼血多肽对高脂血症大鼠血脂调节及肝脏保护作用的研究 [D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2020.
- [17] LIU C L, GUO Y, ZHAO F R, et al. Potential mechanisms mediating the protective effects of a peptide from walnut (*Juglans mandshurica* Maxim.) against hydrogen peroxide induced neurotoxicity in PC12 cells [J]. *Food Funct*, 2019, 10(6): 3491-3501.
- [18] LIU M, DU M, ZHANG Y C, et al. Purification and identification of an ACE inhibitory peptide from walnut protein [J]. *J Agric Food Chem*, 2013, 61(17): 4097-4100.
- [19] LI W, ZHAO T, ZHANG J, et al. Effect of walnut protein hydrolysate on scopolamine-induced learning and memory deficits in mice [J]. *J Food Sci Technol*, 2017, 54(10): 3102-3110.
- [20] LI Q Y, KANG X Y, SHI C C, et al. Moderation of hyperuricemia in rats via consuming walnut protein hydrolysate diet and identification of new antihyperuricemic peptides [J]. *Food Funct*, 2018, 9(1): 107-116.
- [21] 唐涌泽. 降胆固醇核桃多肽的制备及其活性研究 [D]. 山西晋中:山西农业大学, 2020.
- [22] WANG G L, ZHANG Y L, ZHANG R G, et al. The protective effects of walnut green husk polysaccharide on liver injury, vascular endothelial dysfunction and disorder of gut microbiota in high fructose-induced mice [J]. *Int J Biol Macromol*, 2020, 162: 92-106.
- [23] 杨文博, 张英华. 蛋白质水解度的测定方法研究 [J]. *中国调味品*, 2014, 39(3): 88-90.
- [24] DE SOUZA E C, COIMBRA J S D R, DE OLIVEIRA E B, et al. Recovery of casein-derived peptides with in vitro inhibitory activity of angiotensin converting enzyme (ACE) using aqueous two-phase systems [J]. *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci*, 2014, 973: 84-88.
- [25] ANNA P, IWONA M, MALGORZATA R, et al. In vitro inhibitory effect on digestive enzymes and antioxidant potential of commonly consumed fruits [J]. *J Agric Food Chem*, 2014, 62(20): 4610-4617.
- [26] KIRANA C, ROGERS P F, BENNETT L E, et al. Naturally derived micelles for rapid in vitro screening of potential cholesterol-lowering bioactives [J]. *J Agric Food Chem*, 2005, 53(11): 4623-4627.
- [27] 王志. 基于有效微生物发酵的黄大茶提取物对酒精性肝损伤小鼠的保护作用 [D]. 合肥:安徽大学, 2020.
- [28] 尹乐斌, 刘丹, 何平, 等. 酶法制备豆清液多肽工艺优化及其抗氧化活性研究 [J]. *中国调味品*, 2021, 46(9): 65-68, 80.
- [29] SULTANA R, ALASHI A M, ISLAM K, et al. Inhibitory activities of polyphenolic extracts of Bangladeshi vegetables against  $\alpha$ -amylase,  $\alpha$ -glucosidase, pancreatic lipase, renin, and angiotensin-converting enzyme [J/OL]. *Foods*, 2020, 9(7): 844[2022-03-28]. <https://doi.org/10.3390/foods9070844>.
- [30] WOOLLETT L A, WANG Y, BUCKLEY D D, et al. Micellar solubilisation of cholesterol is essential for absorption in humans [J]. *Gut*, 2006, 55(2): 197-204.
- [31] YUJI T, MASATO K, SHINJI K, et al. Low levels of low-density lipoprotein cholesterol and endothelial function in subjects without lipid-lowering therapy [J/OL]. *J Clin Med*, 2020, 9(12): 3796[2022-03-28]. <https://doi.org/10.3390/jcm9123796>.
- [32] 杨子明, 刘金磊, 颜小捷, 等. 核桃多肽对D-半乳糖诱导老年小鼠血脂水平的影响 [J]. *食品科学*, 2015, 36: 181-184.
- [33] CHEN H P, ZENG F, LI S M, et al. Spirulina active substance mediated gut microbes improve lipid metabolism in high-fat diet fed rats [J]. *J Funct Foods*, 2019, 59: 215-222.