

不同工艺橡实粉多酚提取物的抗氧化及抗肠炎活性比较

周 洁¹ 刘梦林² 付湘晋² 王雅怡² 秦丹丹³

(1. 湖南东洞庭湖国家级自然保护区管理局, 湖南 岳阳 414000; 2. 中南林业科技大学食品科学与工程学院, 湖南 长沙 410004; 3. 湖南省农业科学院农产品加工与质量安全研究所, 湖南 长沙 410004)

摘要: [目的] 探究不同工艺对橡实粉多酚功能活性的影响。[方法] 以橡子、青冈、苦槠 3 种橡实为原料, 分别采用水洗法、酶解法制备橡实粉, 并从橡实粉中提取多酚, 比较了不同工艺橡实粉多酚提取物的自由基清除活性、脂肪氧合酶 (LOX) 抑制活性、环氧合酶-2 (COX-2) 抑制活性及抗肠炎活性。[结果] 橡实粉多酚提取物具有较高的自由基清除活性, 对 LOX、COX-2、果蝇肠炎均有较好的抑制活性。酶法橡实粉的多酚提取物的抗炎效果最好, 特别是酶法苦槠粉多酚提取物的 LOX、COX-2、果蝇肠炎的抑制率最高, 分别为 $(95.54 \pm 0.31)\%$ 、 $(80.62 \pm 1.49)\%$ 、 $(74.36 \pm 11.70)\%$ 。[结论] 与水洗法橡实粉的多酚提取物相比, 酶法橡实粉的抗氧化效果和抗肠炎效果更强。

关键词: 橡实; 酶解法; 多酚; 抗氧化活性; 抗肠炎活性

Comparison of antioxidant and anti-enteritis activities of polyphenol extracts from acorn powder treated with different processes

ZHOU Jie¹ LIU Menglin² FU Xiangjin² WANG Yayi² QIN Dandan³

(1. Administration Bureau of Hunan Dongting Lake National Nature Reserve, Yueyang, Hunan 414000, China; 2. College of Food Science and Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan 410004, China; 3. Hunan Institute of Agricultural Product Processing and Quality Safety, Hunan Academy of Agricultural Sciences, Changsha, Hunan 410004, China)

Abstract: [Objective] To investigate the effects of different processes on the functional activity of polyphenols in acorn powder. [Methods] Three different types of acorns, namely acorns, *Cyclobalanopsis*, and *Castanopsis sclerophylla*, are used as raw materials to prepare acorn powder by water leaching and enzymatic hydrolysis methods. Polyphenols are extracted from acorns and acorn powder. Then, polyphenol extracts from acorn powder treated by different processes and from acorns are compared according to the aspects below: free radical scavenging activity, lipoxygenase (LOX) and cyclooxygenase-2 (COX-2) inhibition, as well as anti-intestinal inflammation activities. [Results] With relatively high free radical scavenging activity, the polyphenol extracts from acorn powder exhibit ideal inhibition activities against LOX, COX-2, and *Drosophila enteritis*. The polyphenol extracts from acorn powder prepared by enzymatic hydrolysis are better in anti-enteritis effect. Especially, the polyphenol extracts from *C. sclerophylla* by enzymatic hydrolysis exhibit the highest inhibition activities against LOX, COX-2, and *Drosophila enteritis*, which are $(95.54 \pm 0.31)\%$, $(80.62 \pm 1.49)\%$, and $(74.36 \pm 11.70)\%$, respectively. [Conclusion] The antioxidant and anti-enteritis effects of the polyphenol extracts from the acorn powder by enzymatic hydrolysis are stronger than those from the acorn powder by water leaching.

Keywords: acorn; enzymatic hydrolysis; polyphenol; antioxidant activity; anti-enteritis activity

基金项目: 湖南省林业科技攻关与创新(科学研究)项目(编号: XLKY202326)

通信作者: 秦丹丹(1994—), 女, 湖南省农业科学院农产品加工与质量安全研究所助理研究员, 博士。E-mail: qdandan94@163.com

收稿日期: 2025-04-26 改回日期: 2025-07-28

引用格式: 周洁, 刘梦林, 付湘晋, 等. 不同工艺橡实粉多酚提取物的抗氧化及抗肠炎活性比较[J]. 食品与机械, 2025, 41(8): 149-154.

Citation: ZHOU Jie, LIU Menglin, FU Xiangjin, et al. Comparison of antioxidant and anti-enteritis activities of polyphenol extracts from acorn powder treated with different processes[J]. Food & Machinery, 2025, 41(8): 149-154.

橡实又名橡果、橡栗、橡籽,是壳斗科、栎属植物的果实,遍布世界各地,是一种重要的木本粮^[1]。常见橡实包括橡子、青冈、苦槠等。橡实中含有丰富的营养物质,如淀粉、多酚、蛋白质、甾醇等,营养价值较高^[2-3]。但橡实本身具有较强的苦涩味,无法直接食用,其苦涩味主要来源于橡实中的单宁类物质^[4]。水洗橡实粉加工主要通过浸泡去除单宁。该工艺耗时、耗水^[5],并会降低橡实中营养物质。

单宁水解产物是多酚类物质^[6]。多酚具有抑菌、抗炎、抗氧化、降血糖、抗肿瘤等功能活性^[7-8]。魏园园等^[9]通过高效液相色谱法鉴定橡实仁中的多酚组成,发现橡实仁中多酚的主要成分为:槲皮素、鞣花酸、原儿茶酸、咖啡酸、阿魏酸、山奈酚等 6 种,并且其抗氧化能力强于维生素 C,还具有一定的抑菌能力。罗强^[10]通过对橡实多酚理化性质测定,发现橡实多酚具有较强的抗氧化能力和抑菌活性。于聪聪等^[11]研究表明,橡实多酚对 α -葡萄糖苷酶、 α -淀粉酶活性的抑制效果较好。近年来膳食多酚对炎症的抑制活性研究成为热点^[12-13]。但有关单宁酶水解橡子粉对其多酚含量及其活性的影响还未见报道。

研究拟以橡子、青冈、苦槠 3 种橡实为原料,分别采用浸泡法、酶解法制备橡实粉,并从橡实粉中提取多酚,比较不同工艺下橡实粉多酚提取物的自由基清除活性、脂肪氧合酶(LOX)抑制活性、环氧合酶-2(COX-2)抑制活性及抗肠炎活性,旨在为橡实的深加工提供试验依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料及设备

橡子、青冈、苦槠 3 种橡实:江苏大地农业有限公司;
残翅果蝇:实验室喂养;
单宁酶:5 万 U/g,南宁庞博生物工程有限责任公司;
纤维素酶:10 万 U/g,山东隆科特酶制剂有限责任公司;
乙醇:分析纯,郑州派尼试剂厂;
抗坏血酸钠、吐温 20:分析纯,太仓沪试试剂有限公司;
亚油酸、氢氧化钠、丙酸:分析纯,北京化工厂;
硫酸葡聚糖钠盐、柳氮磺吡啶:分析纯,上海麦克林生化科技股份有限公司;
可食用亮蓝:北京索莱宝科技有限公司;
福林酚试剂盒:北京鼎国昌盛生物技术有限责任公司;
环氧合酶-2 抑制剂试剂盒:上海碧云天生物技术有限公司;
脂氧合酶:40 U/g,上海碧云天生物技术有限公司;
电子天平:JP2204 型,天津市德安特传感技术有限公司;

紫外可见分光光度计:754N 型,上海仪电分析仪器有限公司;

多功能酶标仪:SpectraMax i3X 型,美国 Molecular Devices 公司;

高速冷冻离心机:25KR 型,长沙东旺实验仪器有限公司;

真空冷冻干燥机:YTLG 型,上海叶拓科技有限公司;

旋转蒸发仪:LC-RE-5299 型,上海力辰邦西仪器科技有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 橡实粉制备

(1) 橡实原粉:将橡实打粉,过 40 目筛。

(2) 水洗橡实粉:加橡实质量 2 倍的自来水浸泡,每 12 h 更换一次水,共浸泡 5 d,直至水无色;取出,加橡实 3 倍质量的水粉碎,过滤,沉淀 24 h,倒去上清液,加橡实 3 倍质量的水浸泡 24 h,倒去上清液,得到橡实粉,烘干过 40 目筛。

(3) 酶法橡实粉:橡实原粉为原料,加入橡实粉质量 0.4% 的复合酶($m_{\text{纤维素酶}}:m_{\text{单宁酶}}=1:2$),纤维素酶(10 万 U/g)和单宁酶(5 万 U/g),在料液比 1:1 (g/mL)、酶解温度 35 °C 下酶解 4 h;将酶解后的橡实粉进行过滤,静置沉淀 2 h,将沉淀于 40 °C 鼓风干燥箱烘干得到酶法橡实粉。

1.2.2 橡实多酚提取 参照李杨^[14]的方法并修改。按照料液比 1:15 (g/mL)加入体积分数为 70% 的乙醇溶液,于超声功率 100 W、超声温度 40 °C 条件下超声处理 30 min,10 000 r/min 离心 10 min,取上清液,45 °C 旋转蒸发,再进行真空冷冻干燥(-40 °C,48 h)得到橡实多酚提取物。

1.2.3 橡实多酚总酚含量测定 参照奎晶等^[15]的方法。

1.2.4 橡实多酚提取物清除羟自由基能力 参照冯娇等^[16]的方法。

1.2.5 橡实多酚提取物清除超氧阴离子自由基能力 参照冯娇等^[16]的方法。

1.2.6 橡实多酚提取物的 DPPH 自由基清除率 参照张小庆等^[17]、吴海毓等^[18]的方法。

1.2.7 橡实多酚提取物对 LOX 抑制率的测定 参照吴桂玲等^[19]的方法,以亚油酸为底物。

1.2.8 橡实多酚提取物对 COX-2 抑制率的测定 采用环氧合酶-2 抑制剂试剂盒。

1.2.9 橡实多酚提取物对果蝇肠炎抑制率的测定 参照 Wang 等^[20]的方法,采用果蝇蓝精灵模型评价橡实多酚提取物抗肠炎活性。模型组中饲喂 5% DSS 溶液和 2.5% 可食用亮蓝染液,试验组饲喂 5% DSS 溶液、2.5% 可食用亮蓝染液和 0.2 mg/mL 橡实多酚液,药品对照组饲喂 5% DSS 溶液、2.5% 可食用亮蓝染液和 0.2 mg/mL 柳氮磺吡啶;在果蝇管中饲喂 12 h 后在体视镜下观察果蝇染色情况。按式(1)计算橡实多酚对果蝇肠炎的抑制率。

$$I = \frac{A_2 - A_1}{A_2} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

I ——果蝇肠炎抑制率,%;

A_1 ——出现肠道渗漏果蝇的数目;

A_2 ——总果蝇数目。

1.2.10 数据分析 所有试验进行3次平行,用SPSS 26进行数据处理,Graph Pad Prism 8进行绘图。

2 结果与分析

2.1 不同工艺下橡实多酚提取物总酚含量

如图1所示,与水洗水浸泡方法相比,酶法橡子粉多酚提取物的总酚含量略有升高,而青冈粉与苦楮粉多酚提取物总酚含量降低,可能是在酶的作用下,多酚发生降解、损失^[16]。

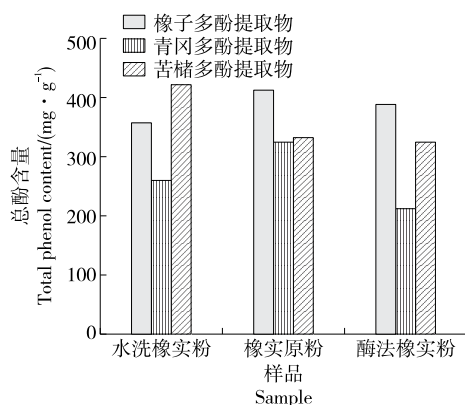


图1 橡实多酚提取物的总酚含量

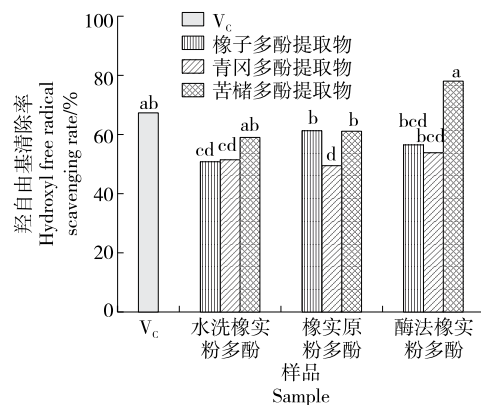
Figure 1 Total phenol content of the polyphenol extracts from acorn powder

2.2 橡实多酚提取物的自由基清除能力

如图2所示,除酶法苦楮粉多酚提取物外,其他橡实多酚提取物(多酚质量浓度0.2 mg/mL)对羟自由基的清除率均低于阳性对照(V_c)组;与水洗橡实多酚提取物相比,酶法橡子粉与青冈粉多酚提取物的羟自由基清除率基本持平,而酶法苦楮粉多酚提取物的羟自由基清除率从 $(59.34 \pm 8.85)\%$ 提高至 $(78.58 \pm 3.02)\%$ ($P < 0.05$)。

如图3所示,橡实多酚提取物(多酚质量浓度为0.4 mg/mL)具有很强的超氧阴离子自由基清除能力,但弱于阳性对照组;与橡实原粉多酚提取物相比,水洗橡实粉多酚提取物的超氧阴离子自由基清除率显著降低($P < 0.05$);相比于水洗方法,酶法橡子粉和苦楮粉多酚提取物的超氧阴离子自由基清除能力显著提升($P < 0.05$)。

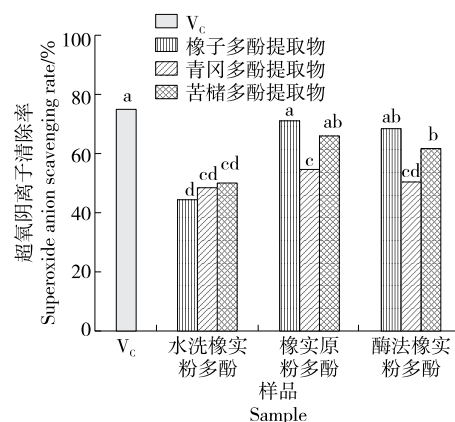
如图4所示,橡实多酚提取物(多酚质量浓度为0.25 mg/mL)均具有一定的DPPH自由基清除能力,其中水洗法橡子粉与橡实原粉多酚提取物的DPPH自由基清



小写字母不同代表样品间的差异显著($P < 0.05$)

图2 橡实多酚提取物清除羟自由基能力

Figure 2 Hydroxyl free radical scavenging capacity of polyphenol extracts from acorn powder



小写字母不同代表样品间的差异显著($P < 0.05$)

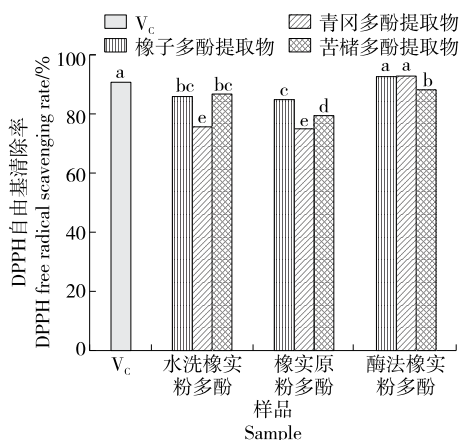
图3 橡实多酚提取物清除超氧阴离子自由基能力

Figure 3 Superoxide anion scavenging rate of polyphenols extracts from acorn powder

除能力要弱于阳性对照组,而酶法橡实粉多酚提取物的DPPH自由基清除能力最高;酶法橡子粉和青冈粉多酚提取物的DPPH自由基清除能力与阳性对照组基本一致。

2.3 橡实多酚提取物对LOX、COX-2的抑制率

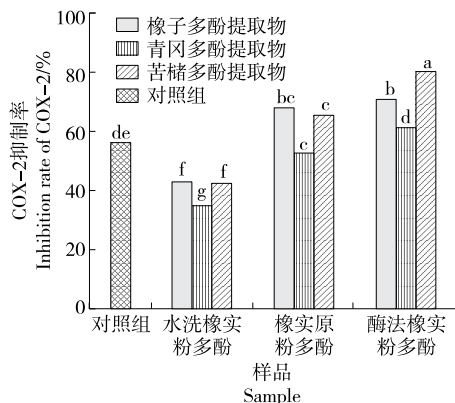
花生四烯酸氧化代谢是炎症关键途径。LOX是花生四烯酸的氧化反应的第一个催化酶。COX-2是一种诱导型酶,可以参与花生四烯酸代谢,可以诱导机体发生严重的炎症与发热反应^[21-22]。因此,抑制LOX、COX-2活性是缓解治疗炎症的重要策略。如图5所示,9种橡实多酚(质量浓度为0.3 mg/mL)对COX-2均具有抑制活性,抑制率介于 $(35.01 \pm 1.26)\%$ 与 $(80.62 \pm 1.49)\%$ 之间。其中水洗方法组的COX-2抑制率最低,相比于水洗方法,酶法加工使3种橡实粉多酚的COX-2抑制活性有显著提升($P < 0.05$),其中酶解法苦楮粉多酚提取物的COX-2抑制率最高。



小写字母不同代表样品间的差异显著 ($P < 0.05$)

图 4 橡实多酚提取物清除 DPPH 自由基能力

Figure 4 DPPH free radical scavenging rate of polyphenols extracts from acorn powder



阳性对照为 50 nmol/L 塞来西布;小写字母不同代表样品间的差异显著 ($P < 0.05$)

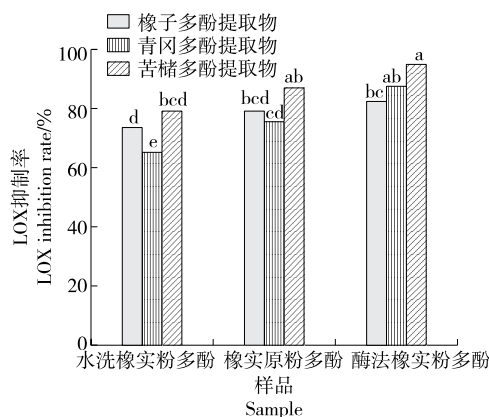
图 5 橡实多酚提取物对 COX-2 的抑制率

Figure 5 COX-2 inhibition rate of polyphenol extracts from acorn powder

如图 6 所示, 9 种橡实多酚提取物 (质量浓度为 0.4 mg/mL) 对 LOX 均具有显著的抑制作用 ($P < 0.05$), 抑制率介于 $(65.60 \pm 2.69)\%$ 与 $(95.54 \pm 0.31)\%$ 之间, 其中水洗橡实粉多酚提取物的 LOX 抑制率在 9 种橡实粉多酚中最低。酶法加工使橡实粉多酚提取物的 LOX 抑制率显著提升 ($P < 0.05$), 最高达到 95.54%; 苦槠多酚提取物的 LOX 抑制率最高, 与水洗方法相比, 酶法苦槠粉多酚提取物的 LOX 抑制率从 79.68% 提高至 95.54%。

2.4 橡实多酚提取物对果蝇肠炎的抑制率

图 7 为 9 种橡实多酚提取物对果蝇肠炎的抑制作用。柳氮磺吡啶对果蝇肠炎的抑制率为 61.54%, 9 种橡实粉多酚提取物对果蝇肠炎的抑制率介于 $(33.33 \pm 8.88)\%$ 与 $(74.36 \pm 11.75)\%$ 之间, 其中水洗橡子粉的多酚提取物对

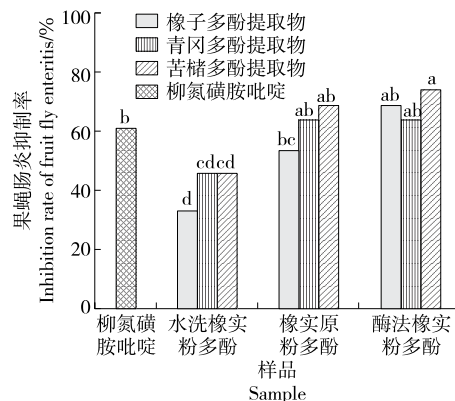


小写字母不同代表样品间的显著差异 ($P < 0.05$)

图 6 橡实多酚提取物对 LOX 的抑制率

Figure 6 LOX inhibition rate of polyphenol extracts from acorn powder

果蝇肠炎抑制率最低, 而酶法加工使苦槠粉多酚提取物对果蝇肠炎的抑制作用最高。酶法加工的 3 种橡实粉多酚提取物对果蝇肠炎的抑制作用均高于阳性药物柳氮磺吡啶组。



小写字母不同代表样品间的差异显著 ($P < 0.05$)

图 7 橡实多酚提取物的果蝇肠炎抑制率

Figure 7 Inhibition rates against *Drosophila* enteritis of polyphenol extracts from acorn powder

2.5 橡实多酚提取物的抗氧化及抗肠炎活性相关性分析

对橡粉多酚提取物的抗氧化及抗肠炎活性进行相关性分析, 结果如图 8 所示。橡实多酚提取物对果蝇肠炎抑制率与对 LOX 抑制率呈显著正相关 ($r = 0.74, P < 0.05$), 与 COX-2 抑制率呈极显著正相关 ($r = 0.82, P < 0.01$); 羟自由基抑制率与 LOX 抑制率呈显著正相关 ($r = 0.76, P < 0.05$), 与 COX-2 呈显著正相关 ($r = 0.71, P < 0.01$); 超氧阴离子自由基清除率与 COX-2 抑制率呈显著正相关 ($r = 0.79, P < 0.05$); 橡实多酚提取物对 LOX 抑制率与 COX-2 抑制率呈极显著正相关 ($r = 0.85, P < 0.01$)。

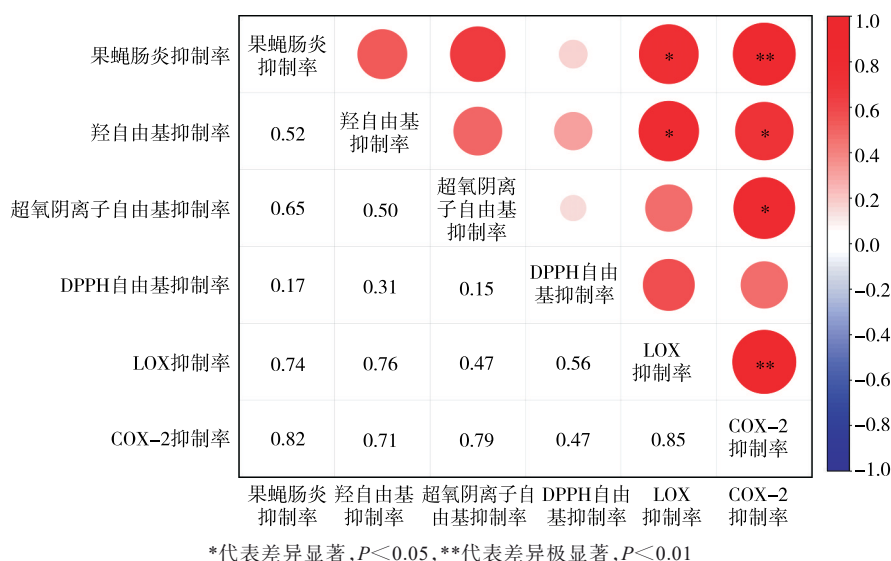


图8 橡实多酚提取物的抗氧化及抗肠炎活性相关性分析热图

Figure 8 Heatmap of correlation analysis on antioxidant and anti-inflammation activities of polyphenol extracts from acorn powder

LOX、COX-2属于诱导型酶蛋白,可以催化花生四烯酸转化成前列腺素,刺激下游信号通路,改变血管通透性,介导体内产生局部或全身炎症。Wang等^[23]研究发现,L-茶氨酸可以减轻DSS诱导的小鼠结肠炎,同时也发现COX-2的表达被抑制。橡实多酚提取物对果蝇肠炎抑制率与LOX、COX-2抑制率显著正相关,说明抑制LOX、COX-2可能是缓解果蝇肠道炎症的一种有效策略。林欣等^[24]的研究也发现,多酚对果蝇肠炎抑制活性与多酚对LOX的抑制率呈显著正相关。氧化应激与炎症紧密相关^[25],但从图8中未发现自由基清除率与肠炎抑制率之间存在显著正相关关系,具体原因尚需进一步研究。

3 结论

以橡子、青冈、苦槠3种橡实为原料,分别采用浸泡法、酶解法制备橡实粉,并从橡实粉中提取多酚,比较了不同工艺橡实粉多酚提取物的自由基清除活性、脂肪氧合酶抑制活性、环氧化酶-2抑制活性及抗肠炎活性。酶法橡实粉的多酚提取物对脂肪氧合酶、环氧化酶-2和果蝇肠炎抑制效果优于水洗法橡实粉的多酚提取物。其中,酶法苦槠粉多酚提取物对脂肪氧合酶、环氧化酶-2的抑制率最高,分别为95.54%,80.62%。酶法苦槠粉多酚提取物对果蝇肠炎抑制率也最高,为74.36%。抑制环氧化酶-2和脂肪氧合酶的活性可能是橡实类多酚抑制果蝇肠炎的机制之一。后续还需进一步解析不同工艺橡实粉多酚分子组成及橡实粉多酚抑制肠炎的分子机制。

参考文献

- [1] 王玉洁. 橡子资源制备生物质环保木材胶黏剂及其应用研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2024: 8.

WANG Y J. Preparation and application of eco-friendly wood adhesive from acorn resources[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2024: 8.

- [2] GUO C, HAN F, GENG S, et al. The physicochemical properties and Pickering emulsifying capacity of acorn starch [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 239: 124289.
- [3] RAKI S, PETROVI S, KUKI J, et al. Influence of thermal treatment on phenolic compounds and antioxidant properties of acorn acorn from Serbia[J]. Food Chemistry, 2007, 104(2): 830-834.
- [4] PAPOTI V T, KIZAKI N, SKALTSI A, et al. The phytochemical rich potential of acorn (*Quercus aegilops*) products and by products[J]. Food Science Biotechnology, 2018, 27: 819-828.
- [5] 高立琼, 陈丽冰, 杨倩, 等. 橡子淀粉制备及其理化性质研究[J]. 食品科技, 2015, 40(4): 215-218.
- GAO L Q, CHEN L B, YANG Q, et al. Preparation of acorn starch and its physicochemical properties[J]. Food Technology, 2015, 40(4): 215-218.
- [6] 孙雨晴, 陶新, 徐子伟. 单宁酶水解石榴皮多酚的工艺优化及酶解产物鉴定[J]. 动物营养学报, 2018, 30(1): 262-273.
- SUN Y Q, TAO X, XU Z W. Process optimization of hydrolysis of pomegranate peel polyphenols by tannase and hydrolysates identification[J]. Journal of Animal Nutrition, 2018, 30(1): 262-273.
- [7] BERTELLI A, BIAGI M, CORSINI M, et al. Polyphenols: from theory to practice[J]. Foods, 2021, 10(11): 2595.
- [8] 文书尧, 姚依乐, 叶琳霖, 等. 谷物多酚的提取及在水产品保鲜中的应用[J]. 食品与机械, 2025, 41(5): 184-197.
- WEN S Y, YAO Y L, YE L L, et al. Extraction of cereal polyphenols and their application in aquatic products[J]. Food

- & Machinery, 2025, 41(5): 184-197.
- [9] 魏园园, 刘琪, 梁宗瑶, 等. 栓皮栎橡子果仁多酚抗氧化与抑菌活性研究[J]. 食品工业科技, 2019, 40(20): 42-48.
- WEI Y Y, LIU Q, LIANG Z Y, et al. Antioxidative and antibacterial activity of polyphenols in *Quercus variabilis* acorn nutlet[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(20): 42-48.
- [10] 罗强. 栓皮栎橡子果仁多酚组分及功能性评价[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2018: 42-46.
- LUO Q. Polyphenol components and functional evaluation of *Quercus variabilis* acorn nutlet[D]. Xianyang: Northwest Agriculture and Forestry University, 2018: 42-46.
- [11] 于聪聪, 姚玉阳, 耿雪营, 等. 橡实不同极性萃取物对 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶抑制作用研究[J]. 天然产物研究与发, 2022, 34(11): 1 838-1 845, 1 899.
- YU C C, YAO Y Y, GENG X Y, et al. Inhibitory effects of different polar extracts of acorns on α -amylase and α -glucosidase[J]. Natural Product Research and Development, 2022, 34(11): 1 838-1 845, 1 899.
- [12] 林鹏程, 曹峻茜, 解万翠. 膳食多酚改善炎症性肠病的作用机制研究进展[J]. 食品与机械, 2021, 37(9): 205-210.
- LIN P C, CAO J H, XIE W C. Research progress on the mechanism of dietary polyphenols in improving inflammatory bowel disease[J]. Food & Machinery, 2021, 37(9): 205-210.
- [13] 陈誉, 罗磊, 王硕, 等. 咖啡果壳多酚的提取及抗氧化和抗炎特性[J]. 食品与生物技术学报, 2022, 41(8): 104-111.
- CHEN Y, LUO L, WANG S, et al. Antioxidant and anti-inflammatory properties of polyphenols extracted from coffee cherry husks[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2022, 41(8): 104-111.
- [14] 李杨. 茶籽乙醇提取物抗果蝇肠炎活性评价及机制初步研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2023: 22.
- LI Y. Evaluation of the anti-drosophila enteritis activity and preliminary study on the mechanism of ethanolic extract of *Camellia* seeds[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2023: 22.
- [15] 奎晶, 宋晓凡, 马晓花, 等. 鹿角菜多酚提取工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 中国食品添加剂, 2023, 34(9): 98-106.
- KUI J, SONG X F, MA X H, et al. Optimization of extraction process of polyphenols from *Pelvetia siliquosa* and their antioxidant activity[J]. China Food Additives, 2023, 34(9): 98-106.
- [16] 冯娇, 肖海鸿. 不同产地银柴胡黄酮含量及其抗氧化活性研究[J]. 中国食品添加剂, 2021, 32(5): 8-12.
- FENG J, XIAO H H. Study on the flavonoids content and antioxidant activity of *Stellaria dichotoma* var. *lanceolata* cultivated from different areas[J]. China Food Additives, 2021, 32(5): 8-12.
- [17] 张小庆, 苏伟航, 孙芸, 等. 响应面法优化沙枣叶多酚提取工艺及体内外抗氧化活性研究[J]. 化学与生物工程, 2024, 41(9): 15-22.
- ZHANG X Q, SU W H, SUN Y, et al. Optimization in extraction process of polyphenols from *Elaeagnus angustifolia* L. leaves by response surface methodology and its antioxidant activities in vitro and in vivo[J]. Chemistry & Bioengineering, 2024, 41(9): 15-22.
- [18] 吴海毓, 何冰桃, 杨静, 等. 富集多酚青稞红曲米发酵工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2024, 40(8): 135-143, 151.
- WU H Y, HE B T, YANG J, et al. Optimization of fermentation process conditions of polyphenol-enriched highland barley monascus rice and its antioxidant activity research[J]. Food & Machinery, 2024, 40(8): 135-143, 151.
- [19] 吴桂玲, 孙赛兰, 冯定坤, 等. 虎杖根中黄酮类化合物对脂氧合酶活性抑制[J]. 广州化工, 2020, 48(3): 63-65, 94.
- WU G L, SUN S L, FENG D K, et al. Inhibition on activity of lipoygenase by flavonoids from root of *Polygonum cuspidatum*[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2020, 48(3): 63-65, 94.
- [20] WANG S L, YANG L, LIN X, et al. Rapid screening of phenolic compounds with anti-enteritis activity from *Camellia oleifera* oil using a smurf drosophila model and molecular docking methods[J]. Molecules, 2023, 29(1): 76.
- [21] 马悦, 胡相卡, 赵艳丹, 等. 基于 COX-2 酶活性的柴胡生物质量评价研究[J]. 中药药理与临床, 2019, 35(3): 91-95.
- MA Y, HU X K, ZHAO Y D, et al. Study on bio-quality evaluation of *Bupleurum chinensis* based on COX-2 enzyme activity[J]. Pharmacology and Clinics of Chinese Materia Medica, 2019, 35(3): 91-95.
- [22] 马悦, 邵平, 胡相卡, 等. 基于 COX-2 酶活性的瘀血痹片生物质量评价[J]. 锦州医科大学学报, 2022, 43(1): 17-20, 25.
- MA Y, SHAO P, HU X K, et al. Study on bio-quality evaluation of Yuxuebi Tablets based on COX-2 enzyme activity[J]. Journal of Jinzhou Medical University, 2022, 43(1): 17-20, 25.
- [23] WANG D X, CAI M, WANG T T, et al. Ameliorative effects of *L*-theanine on dextran sulfate sodium induced colitis in C57BL/6J mice are associated with the inhibition of inflammatory responses and attenuation of intestinal barrier disruption[J]. Food Research International, 2020, 137: 109409.
- [24] 林欣, 詹森, 周湘人, 等. 油茶籽多酚提取物生物活性的研究[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(1): 108-115.
- LIN X, ZHAN M, ZHOU X R, et al. Biological activities of polyphenol extracts from *camellia oleifera* seeds[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2023, 38(1): 108-115.
- [25] 杨红, 唐莉, 李毅, 等. 8 种食品水提液的抗氧化和抗炎活性比较[J]. 食品与机械, 2023, 39(11): 192-197.
- YANG H, TANG L, LI Y, et al. Comparative studies on the antioxidant and anti-inflammatory activities of water extracts from eight kinds of foods[J]. Food & Machinery, 2023, 39(11): 192-197.