

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.90044

基于分子对接探究紫苏粗提物对代谢综合征相关酶的抑制作用

Explore the inhibitory effect of *Perilla* crude extract on metabolic syndrome-related enzymes based on molecular docking

余雨婷¹ 张彦¹ 张迎² 李娜娜¹

YU Yu-ting¹ ZHANG Yan¹ ZHANG Ying² LI Na-na¹

程研¹ 郑梦迪¹ 闫平¹ 柴希艳³

CHENG Yan¹ ZHENG Meng-di¹ YAN Ping¹ CHAI Xi-yan³

(1. 西安医学院, 陕西 西安 710021; 2. 南京中医药大学, 江苏 南京 210023;

3. 西安雨润百德健康管理有限公司, 陕西 西安 710061)

(1. College of Pharmacy, Xi'an Medical University, Xi'an, Shaanxi 710021, China;

2. Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing, Jiangsu 210023, China;

3. Xi'an Yurun Baide Healthy Management Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710061, China)

摘要:目的:探讨紫苏粗提物对酶的抑制作用,阐明其对代谢综合征的药效物质基础。方法:测定紫苏粗提物中黄酮及酚酸含量;以抑制率为指标,测定紫苏粗提物对不同酶活性的抑制作用;采用分子对接预测紫苏粗提物对胰脂肪酶和淀粉酶抑制作用靶点。结果:紫苏粗提物中黄酮含量为 0.309 8 mg/mg,总酚酸含量为 58.59 mg/g。紫苏粗提物对 α -淀粉酶、黄嘌呤氧化酶、胰脂肪酶及乙酰胆碱酯酶的 IC₅₀ 值分别为 0.273, 0.244, 0.347, 0.018 mg/mL。芹菜素-5-O- β -D-葡萄糖苷、木犀草素-7-二葡萄糖苷、芹菜素-7-葡萄糖苷、山奈酚-3-O-芸香苷、迷迭香酸、芦丁等为紫苏粗提物的有效活性成分。结论:紫苏粗提物对 4 种酶都有一定的抑制活性,且呈剂量—效应关系。

关键词:代谢综合征;紫苏;黄酮;总酚酸;酶抑制剂;分子对接

Abstract: Objective: The research is to explore the enzyme inhibition of *Perilla* crude extract, and to preliminarily elucidate the pharmacological substance basis of them on hyperglycemia, hyperuric acid and hyperlipidemia. **Methods:** The content of fla-

vonoids and phenolic acid in UV extract was determined and showed the active components associated with enzyme inhibition. In vitro experiments, the inhibition of *Perilla* extracts on different enzyme activity was determined and the inhibitory activity was evaluated by IC₅₀. Molecular docking was used to predict the targets of *Perilla* crude extract on pancreatic lipase and amylase inhibition. **Results:** Flavone content in the crude UV extract was 0.309 8 mg/mg, and the total phenolic acid content was 58.59 mg/g. The IC₅₀ values of *Perilla* crude extract for α -amylase, xanthine oxidase, pancreatic lipase and acetylcholinesterase were 0.273, 0.244, 0.347 and 0.018 mg/mL, respectively. Apigenin-5-O- β -D-glucosine, xyrhinin-7-diglucoside, apigenin-7-glucosine, cannol-3-O-ruassin, rosemary acid, rutin and others were the effective active components of *perilla* crude extracts. **Conclusion:** The *Perilla* crude extracts all have certain inhibitory activities on four enzymes, and presents a dose-effect relationship.

Keywords: metabolic syndrome; *Perilla frutescens* L. Britt.; flavonoids; the total phenolic acid; enzymatic inhibitors; molecular docking

基金项目:陕西省科协提升公共素质项目(编号:2021PSL43);榆林市科技局项目(编号:CXY-2020-092);西安医学院省级大学生创新创业训练项目(编号:S202111840054)

作者简介:余雨婷,女,西安医学院在读本科生。

通信作者:张彦(1979—),女,西安医学院副教授,硕士。

E-mail: 110493988@qq.com

收稿日期:2021-07-04

紫苏(*Perilla frutescens* L. Britt.)为唇形科紫苏属植物。《中国药典》(2020 版)记载,紫苏可用于风寒感冒、咳嗽呕恶、妊娠呕吐、鱼蟹中毒等^[1]。其含有挥发油、黄酮、酚酸、花色苷等化学成分,具有抗炎、抗氧化、抑菌、抗抑郁等作用^[2]。

以肥胖、高血糖、高尿酸血症等为主的代谢综合征 (MS) 是多种代谢紊乱在体内“聚集”的一种病理状态,可增加糖尿病、心血管疾病等的发生风险,近年来已成为全球公共健康问题^[3]。目前对 MS 的治疗均为对某一疾病的单一治疗,如降低血糖、血脂、血压水平^[4],尚缺少对 MS 的综合治疗。有效防治 MS 涉及多靶点调控^[5-6]。胰脂肪酶是胰腺腺泡细胞分泌的消化脂肪的关键酶,抑制胰脂肪酶可降低肠道中脂肪的消化和分解,治疗肥胖^[7]。黄嘌呤氧化酶(XOD)是尿酸生成的关键酶,在体内可催化次黄嘌呤氧化为黄嘌呤,进一步氧化为尿酸^[8-9]。该途径可切断尿酸生成,从而降低尿酸水平。 α -淀粉酶是重要的碳水化合物水解酶,尤其对于中国 2 型糖尿病以碳水化合物为主要食物的患者,抑制 α -淀粉酶的活性可减少餐后高血糖^[10]。乙酰胆碱酯酶(AChE)是生物神经传导中的关键性酶,AChE 抑制剂(AChEI)是当前阿尔茨海默症与中老年人痴呆最常见的疾病靶点^[11]。

目前对紫苏的研究多集中于紫苏叶、紫苏籽粕^[12]及紫苏籽油^[13]的药用、油用、香料、食用等方面,但未见关于紫苏防治 MS 及多靶点抑制作用的研究。研究拟通过 IC₅₀ 值评价抑制活性,并采用分子对接验证结果及预测更多潜在靶点,旨在为紫苏作为食品添加剂预防和治理代谢综合征的作用提供依据。

1 仪器与试剂

1.1 主要仪器

架盘药物天平:IYT-10 型,上海光正医疗仪器有限公司;

数显控温电热套:SXKW 型,北京市永光明医疗仪器厂;

电热恒温水浴锅:DZKW-D-2 型,北京市永光明医疗仪器厂;

超声波清洗器:KQ-250B 型,昆山市超声仪器有限公司;

旋转蒸发器:XD-52AA 型,上海贤德实验仪器有限公司;

干燥箱:101-1 型,上海市实验仪器总厂;

紫外可见分光光度计:UV-1100 型,上海美谱达仪器有限公司;

高效液相色谱仪:Agilent 1260 LC 型,美国安捷伦科技有限公司;

电子分析天平:SQP 型,赛多利斯科学仪器北京有限公司;

砂芯过滤器:1 000 mL,上海申迪玻璃仪器有限公司;

酶标仪:ReadMax 1900/1900Plus 型,上海闪谱生物科技有限公司。

1.2 试剂与试药

紫苏:2017—2019 年采集于陕西西安、眉县和甘肃正宁,经西安医学院生药教研室汪兴军老师鉴定为唇形科植物紫苏 *Perilla frutescens* L. Britt.;

无水乙醇:分析纯,利安隆博华天津医药化学有限公司;

没食子酸对照品:纯度 $\geq 99\%$,天津市光复精细化工厂;

芦丁、木犀草苷:HPLC $\geq 98\%$,上海源叶生物科技有限公司;

甲醇:色谱纯,广东光华科技有限公司;

黄嘌呤氧化酶:美国 Sigma 公司;

黄嘌呤:纯度 $\geq 95\%$,美国 Sigma 公司;

α -淀粉酶、3,5-二硝基水杨酸试剂(DNS):西安姚北生物科技有限责任公司;

胰脂肪酶:上海阿拉丁生化科技有限责任公司;

对硝基苯丁酸酯(PNPP):上海源叶生物科技有限公司;

N,N-二甲基甲酰胺、磷酸盐缓冲液(PBS)、乙酰胆碱酯酶、5,5-二硫代-2-硝基苯甲酸(DTNB)、多奈哌齐:美国 Sigma 公司。

1.3 分子对接软件及数据库

采用 SYBYL-X2.1.1 分子模拟软件(USA)、ChemDraw 绘图软件;采用 TCMSP(<https://old.tcm-sp.com/>)、RCSB(<https://www.rcsb.org/pdb>)和 Pubchem(<http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>)数据库。

1.4 方法

1.4.1 粗提物的制备 称取紫苏叶 100 g,用 60%乙醇回流提取两次,每次 1 h,合并提取液,过滤,滤液减压浓缩至无醇味,置于水浴锅中浓缩得醇提物浸膏,50 °C 烘干得紫苏粗提物。

1.4.2 总酚酸含量测定 采用福林酚法^[14]。

1.4.3 总黄酮含量测定 采用亚硝酸钠—硝酸铝—氢氧化钠比色法^[15]。

1.4.4 木犀草苷含量测定 采用高效液相法,色谱条件:Agilent 5 HC C₁₈ 250 mm \times 4.6 mm,柱温为室温,以甲醇—0.1%甲酸水($V_{\text{甲醇}}:V_{\text{甲酸水}}$ 为 45:55)为流动相,流速 1.0 mL/min,波长 360 nm。

1.4.5 体外 α -淀粉酶活性抑制试验 参照文献^[16-17]的方法并修改。精密称取 1 g α -淀粉酶,用 PBS 缓冲液配置成 0.02 g/mL 溶液,待用。精密称 1 g 可溶性淀粉,先用少量沸水溶解,再定容至 100 mL,煮沸至溶液澄清,取上清液备用。并按式(1)计算 α -淀粉酶的抑制率。

$$R_1 = \left(1 - \frac{A_3 - A_4}{A_1 - A_2}\right) \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

R_1 ——抑制率, %;

A_1 ——空白组吸光度;

A_2 ——空白对照组吸光度;

A_3 ——抑制组吸光度;

A_4 ——抑制对照组吸光度。

1.4.6 体外 XOD 活性抑制试验 称取 30 mg 黄嘌呤, 加入 2 mL 氨水超声溶解, 用磷酸钾缓冲液配制成 0.1 mmol/L 的溶液, 用时稀释至 0.01 U/L。取 5 U 黄嘌呤氧化酶, 配制成 0.5 U/mL, 用时稀释至 0.1 U/mL, 现配现用。以黄嘌呤为底物, 通过酶标仪检测 3 种药材的 XOD 抑制活性。设置紫苏粗提物质量浓度分别为 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.40 mg/mL, 设置空白组、空白对照组、抑制组和抑制对照组, 每组总体积 200 μ L。将各样品和 50 μ L 黄嘌呤(0.01 U/L)共孵育 5 min。加入 50 μ L XOD (0.1 U/L)引发反应(XOD 需在 25 $^{\circ}$ C 预孵 30 min 以稳定酶活), 混匀, 测定 295 nm 处吸光度, 按式(1)计算 XOD 抑制率, 并以别嘌醇片为阳性对照^[18]。

1.4.7 胰脂肪酶活性抑制测定 参照 Liang 等^[19]的方法并修改。称取 0.05 g 胰脂肪酶用缓冲液溶解定容至 50 mL, 8 000 r/min 离心 10 min, 取上清液稀释得胰脂肪酶溶液。称取 0.156 g PNPP, 溶于 0.25 mL *N,N*-二甲基酰胺, 缓冲液定容得底物溶液。按式(1)计算 PNPP 抑制率。

1.4.8 乙酰胆碱酯酶活性抑制试验 将乙酰胆碱酯酶配置成 1.2 mmol/L 溶液待用, 用时稀释 10 倍。称取 ATCh 3.5 mg 定容至 10 mL。称取 24 mg DTNB 于 10 mL 容量瓶。96 孔板中每孔加入 PBS 100 μ L, 乙酰胆碱酯酶(溶于 pH 7.5 PBS 中) 20 μ L, 样品溶液 20 μ L, 0.12 mmol/L ATCh 20 μ L 作为酶反应底物。37 $^{\circ}$ C 培养 30 min, 加入 20 μ L 质量分数为 4% 的 SDS 终止反应, 加入 0.6 mmol/L DTNB 20 μ L, 测定 405 nm 处吸光度, 按式(2)计算乙酰胆碱酯酶抑制率, 并以多奈哌齐为阳性药。

$$R = [1 - (A_{\text{样品}} - A_{\text{背景}}) / A_{\text{空白}}] \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

R ——乙酰胆碱酯酶抑制率, %;

$A_{\text{样品}}$ ——加入样品的反应体系的吸光度;

$A_{\text{背景}}$ ——以 PBS(pH 7.5)代替酶液的反应体系的吸光度;

$A_{\text{空白}}$ ——以样品溶剂代替样品的反应体系的吸光度。

1.4.9 分子对接预测作用机制与靶点

(1) 小分子结构: 将化合物 3D 结构导入 SYBYL-X2.1.1 中生成表单, 再分别放入摩尔区进行能量最小化和加电荷处理, 将处理好的结构保存至 database 数据库中, 以备后续对接。

(2) 蛋白质结构: 从 RCSB 蛋白质数据库中下载胰脂肪酶和 α -淀粉酶的靶点蛋白晶体结构, 利用 SYBYL-X2.0 软件中的 Surflex-Dock 模块对其进行结构处理, 用于设定对接口袋。

(3) Surflex-Dock 对接及评分标准: Surflex-Dock 用于分子对接, Cscore 用于评价结合打分的一致性, 配体模式用于对接小分子化合物到受体的结合部位, 小分子配体与相关蛋白的亲合力打分用于评价其结合力, 亲合力打分越高, 结合力越强、结合活性越高。用 Total-Score 打分函数对小分子与靶标相互作用进行评分, Total-Score 函数综合考虑了极性作用、疏水作用、焓和溶剂化等因素, 该值愈大, 对接复合物越稳定, 小分子化合物与大分子蛋白质的匹配结合作用越好。Total-Score 等于 8 为阈值, 8 分以上为匹配结合作用良好。

1.4.10 试验数据处理 使用 Origin 8.5 软件进行数据处理和作图, 采用 SPSS Statistics 23.0 软件计算 IC_{50} 值。

2 结果与分析

2.1 样品提取率

紫苏叶醇提取后最终得到干燥品 18.59 g, 提取率为 18.59%。

2.2 总酚酸含量

没食子酸标准曲线方程为 $y = 5.453 0x + 0.375 9$, $R^2 = 0.975 4$, 吸光度与浓度呈良好的线性关系。试验测得紫苏粗提取物中总酚酸含量为 58.59 mg/g。

2.3 总黄酮含量

芦丁标准曲线方程为 $y = 4.821 8x - 0.003 8$, $R^2 = 0.995 5$, 吸光度与浓度线性关系良好, 试验测得紫苏粗提取物中黄酮含量为 0.309 8 mg/mg。

2.4 木犀草苷含量

木犀草苷标品及样品的色谱图见图 1, 木犀草苷保留时间为 8.236, 峰面积为 106.9。采用外标法测得样品中木犀草苷含量为 0.819 4 mg/g。

试验发现, 木犀草苷标准品的进样量与峰面积的积分值的线性方程为 $Y = 19.772X - 3.85$, $R^2 = 0.999 2$, 当木犀草苷质量浓度为 38~152 mg/mL 时线性关系良好。精密密度试验的 RSD 为 0.36%, 表明仪器的精密密度良好。重复性试验的 RSD 为 1.97%, 表明该方法重复性较好。稳定性试验的 RSD 为 1.52%, 表明供试品溶液在 36 h 内稳定性良好。

2.5 紫苏粗提物对 α -淀粉酶的抑制活性

由图 2 可知, 紫苏粗提物对 α -淀粉酶活性抑制作用的 IC_{50} 值为 0.273 mg/mL, 表明紫苏粗提物对 α -淀粉酶活性有一定的抑制作用, 即紫苏中含有的活性成分能够抑制血糖水平, 后续可对其进行进一步研究。

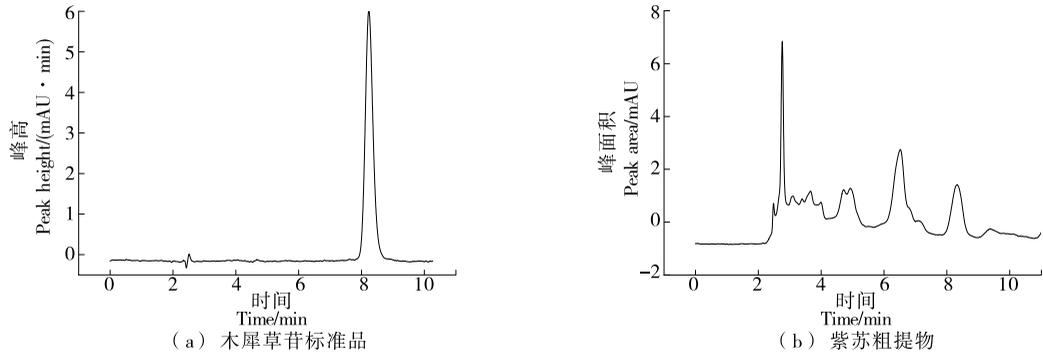


图 1 标准品和样品的色谱图
Figure 1 Chromatography of the standards and samples

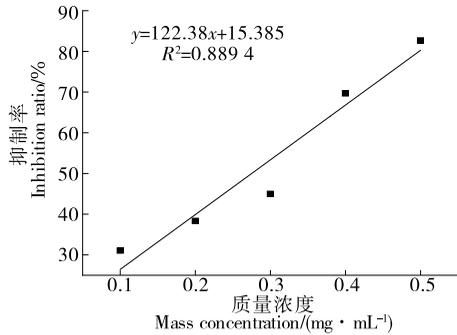


图 2 紫苏粗提物对淀粉酶的抑制曲线
Figure 2 Amylase inhibition curves of crude extracts of *Perilla*

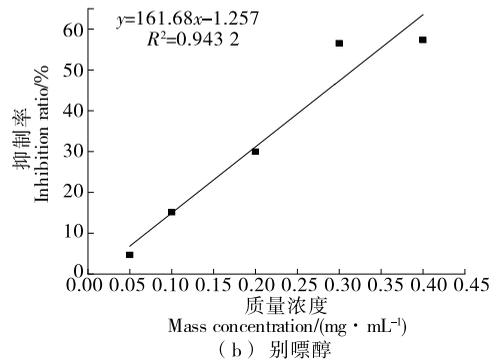
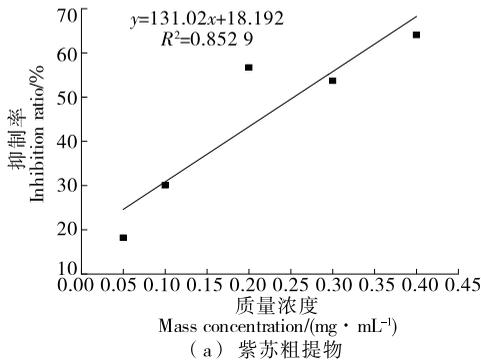


图 3 紫苏粗提物质量浓度与 XOD 酶抑制率的量效关系

Figure 3 The dose-effect relationship between sample concentration and XOD enzyme inhibition rate

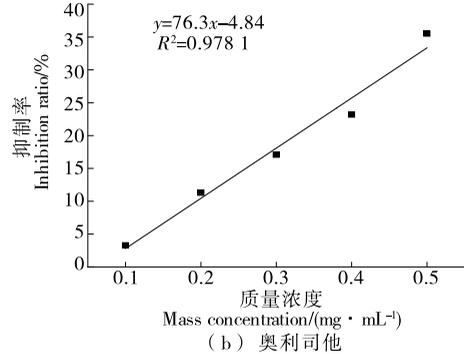
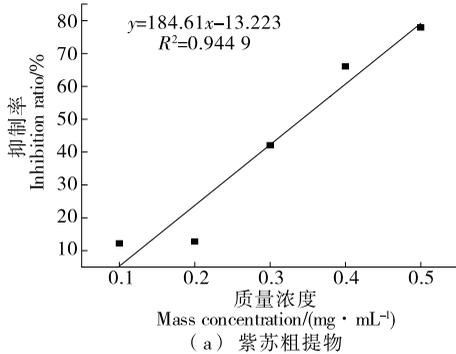


图 4 紫苏粗提物对胰脂肪酶的抑制曲线

Figure 4 Pancreatic lipase inhibition curves of the crude extracts

2.6 紫苏粗提物对黄嘌呤氧化酶的抑制活性

由图 3 可知,紫苏粗提物和别嘌醇对黄嘌呤氧化酶活性抑制作用的 IC₅₀ 值分别为 0.244,0.319 mg/mL。与阳性对照药别嘌醇相比,紫苏粗提物对黄嘌呤氧化酶有一定的抑制活性,说明紫苏中的活性成分可以降低尿酸水平。

2.7 紫苏粗提物对胰脂肪酶的抑制活性

由图 4 可知,紫苏粗提物和奥利司他对胰脂肪酶活性抑制作用的 IC₅₀ 值分别为 0.347,0.614 mg/mL。与阳性药奥利司他相比,紫苏粗提物有较好的抑制胰脂肪酶作用,表明紫苏粗提物可以降脂、治疗肥胖代谢综合征。

2.8 紫苏粗提物对乙酰胆碱酯酶的抑制活性

由图 5 可知,紫苏粗提物对乙酰胆碱酯酶活性抑制作用的 IC₅₀ 值为 0.018 mg/mL,说明紫苏粗提物对乙酰胆碱酯酶有抑制作用,但相对阳性药多奈哌齐(0.008 mg/mL)较差,需对粗提物进行深入研究。

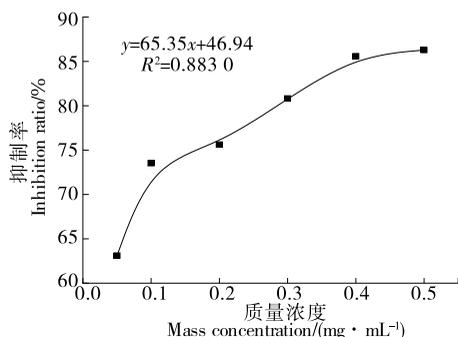


图 5 紫苏粗提物对乙酰胆碱酯酶的抑制曲线

Figure 5 Inhibition curve of *Perilla* on acetylcholinesterase

2.9 分子对接预测紫苏与胰脂肪酶和淀粉酶抑制作用靶点

将 32 种化合物与胰脂肪酶蛋白数据库中 11pa、11pb、1n8s 3 个靶标蛋白进行分子对接,共分子对接 96 次,将 32 种化合物与 α-淀粉酶的一个靶标蛋白 5u3a 对接 32 次,对接最佳结果见表 1~表 3,其中,与 1n8s 对接无化合物得分 > 8。由表 1~表 3 可知,芹菜素-5-O-β-D-葡萄糖苷、木犀草素-7-二葡萄糖苷酸、芹菜素-7-葡萄糖苷、山奈酚-3-O-芸香苷、迷迭香酸、芦丁等为紫苏粗提物的有效活性成分。

3 结论

探究了紫苏粗提物对 α-淀粉酶、黄嘌呤氧化酶、胰脂肪酶、乙酰胆碱酯酶的体外抑制活性。结果表明,紫苏粗

表 1 与胰脂肪酶 11pa 对接最佳结果

Table 1 Best results for docking with pancreatic lipase 11pa

名称	结构	Total-Score
芹菜素-5-O-β-D-葡萄糖苷		8.985 2
迷迭香酸		8.232 6

表 2 与胰脂肪酶 11pb 对接最佳结果

Table 2 Best results for docking with pancreatic lipase 11pb

名称	结构	Total-Score
木犀草素-7-二葡萄糖苷酸		9.948 4
山奈酚-3-O-芸香苷		8.529 8
芦丁		8.215 4

表 3 与 α-淀粉酶 5u3a 对接最佳结果

Table 3 Best results for docking with-amylase 5u3a

名称	结构	Total-Score
芹菜素-7-葡萄糖苷		8.619 6

提物对 4 种酶均有抑制作用,表明紫苏粗提物可有效防治以肥胖、高血糖、高尿酸血症等为主的代谢综合征。但多靶点体外筛选模型仅为代谢综合征的治疗提供参考,后续将通过体内整体动物试验深入探究紫苏粗提物的降脂、降糖、降尿酸作用。

参考文献

- [1] 张运晖, 赵瑛, 欧巧明. 紫苏叶化学成分及生物活性研究进展[J]. 甘肃农业科技, 2020(12): 69-76.
ZHANG Yun-hui, ZHAO Ying, OU Qiao-ming. Progress in the chemical composition and bioactivity of *Perilla* leaves[J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 2020(12): 69-76.
- [2] 王亚凤, 张祖湘, 何瑞杰, 等. 黄精地上部位化学成分及其胰脂肪酶抑制活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2020, 32(11):

- 1 811-1 817.
WANG Ya-feng, ZHANG Zu-xiang, HE Rui-jie, et al. Study on the aboveground chemical composition of yellow essence and the inhibitory activity of pancreatic lipase[J]. Research and Development of Natural Products, 2020, 32(11): 1 811-1 817.
- [3] 潘颖, 孔令东. 中药干预防代谢综合征的基础研究进展[J]. 世界科学技术: 中医药现代化, 2016, 18(9): 1 441-1 446.
PAN Ying, KONG Ling-dong. Basic research progress of traditional Chinese medicine intervention in metabolic syndrome [J]. World Science and Technology: Modernization of Traditional Chinese Medicine, 2016, 18(9): 1 441-1 446.
- [4] 李可, 吴成亚, 张秀媛. 五苓散加减治疗痰浊内阻证老年肥胖代谢综合征临床疗效及对炎症指标的影响[J]. 湖北中医药大学学报, 2021, 23(3): 103-106.
LI Ke, WU Cheng-ya, ZHANG Xiu-yu. The clinical effect of senile obesity metabolic syndrome and its effect on the inflammatory index[J]. Journal of Hubei University of Traditional Chinese Medicine, 2021, 23(3): 103-106.
- [5] 刘莉, 李卫忠, 王师菡, 等. 中医药多靶点干预防代谢综合征机制研究概述[J]. 中国实验方剂学杂志, 2021, 27(3): 214-221.
LIU Li, LI Wei-zhong, WANG Si-han, et al. Overview of the mechanism of TCM multi-target intervention in metabolic syndrome[J]. Chinese Journal of Experimental Square Pharmacology, 2021, 27(3): 214-221.
- [6] WU Hao-ran, TIAN Jia-xing, DAI Dan, et al. Efficacy and safety assessment of traditional Chinese medicine for metabolic syndrome[J]. BMJ Open Diabetes Research & Care, 2020, 8(1): e001181.
- [7] 杨海洋, 汪国鹏, 杨文宁, 等. 黄芩素、槲皮素、高良姜素对黄嘌呤氧化酶靶点占有率的模拟分析[J]. 中国实验方剂学杂志, 2021, 27(14): 147-154.
YANG Hai-yang, WANG Guo-peng, YANG Wen-ning, et al. Simulation analysis of xuletin and xerine oxidase target[J]. Chinese Journal of Experimental Square Pharmacology, 2021, 27(14): 147-154.
- [8] 洪鑫月, 吴健妹, 罗小乔, 等. 多酚化合物对黄嘌呤氧化酶抑制作用的研究进展[J]. 食品与机械, 2021, 37(2): 1-8.
HONG Xin-yue, WU Jian-mei, LUO Xiao-qiao, et al. Research progress of inhibitory effects of polyphenolic compounds on xanthine oxidase[J]. Food & Machinery, 2021, 37(2): 1-8.
- [9] 陈雨滢, 王莹莹, 杜若童, 等. 槲皮素、芦丁、没食子酸抑制黄嘌呤氧化酶的活性及动力学特性[J]. 现代食品科技, 2020, 36(12): 118-124.
CHEN Yu-cen, WANG Ying-ying, DU Ruo-tong, et al. Inhibitory effect of quercetin, rutin and gallic acid on xanthine oxidase and kinetic characteristics[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(12): 118-124.
- [10] 赵二劳, 赵三虎, 范建凤, 等. 天然产物中活性成分对 α -淀粉酶抑制作用研究进展[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(19): 199-203.
ZHAO Er-luo, ZHAO San-hu, FAN Jian-feng, et al. Progress in the inhibition of active ingredients in natural products on α -amylase[J]. Food Research and Development, 2020, 41(19): 199-203.
- [11] 张剑, 张博, 贺茂芳, 等. 毛细管电泳法测定天麻素对乙酰胆碱酯酶活性的抑制[J]. 色谱, 2020, 38(9): 1 102-1 106.
ZHANG Jian, ZHANG Bo, HE Mao-fang, et al. Determination of gastrodin activity inhibition on acetylcholinesterase by capillary electrophoresis[J]. Chromatography, 2020, 38(9): 1 102-1 106.
- [12] 范三红, 贾槐旺, 张锦华, 等. 不同提取方法对紫苏籽粕蛋白功能性质的影响[J]. 中国调味品, 2021, 46(12): 61-69.
FAN San-hong, JIA Huai-wang, ZHANG Jin-hua, et al. Effects of different extraction methods on the functional properties of perilla seed meal protein[J]. Chinese Condiments, 2021, 46(12): 61-69.
- [13] 郭旭, 田荣荣, 张东. 紫苏油的提取工艺和药理功能研究进展[J]. 粮油食品科技, 2021, 29(5): 120-130.
GUO Xu, TIAN Rong-rong, ZHANG Dong. Research progress on extraction technology and pharmacological functions of perilla oil[J]. Grain, Oil and Food Technology, 2021, 29(5): 120-130.
- [14] 谭永兰. 紫苏籽壳多酚的提取及应用研究[D]. 太原: 中北大学, 2019: 8-9.
TAN Yong-lan. Extraction and application of Perilla seed shell polyphenol[D]. Taiyuan: North Central University, 2019: 8-9.
- [15] 李晓雪. 紫苏黄酮的提取工艺优化、含量分析及降糖活性研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2020: 9-10.
LI Xiao-xue. Optimization of extraction technology, content analysis and hypoglycemic activity of flavonoids from Perilla[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2020: 9-10.
- [16] 曾傲琼, 让一峰, 杨瑞金, 等. 条斑紫菜多糖对 α -淀粉酶的抑制效果[J]. 中国生物制品学杂志, 2019, 32(4): 396-402.
ZENG Ao-qiong, RANG Yi-feng, YANG Rui-jin, et al. Inhibition effect of striped seaweed polysaccharide on α -amylase[J]. Chinese Journal of Biology Products, 2019, 32(4): 396-402.
- [17] 田丝竹, 李绪文, 臧爽, 等. 10 种野生植物果实对 α -淀粉酶和酪氨酸酶的抑制作用及其酚类化合物含量和抗氧化活性研究[J]. 分析化学, 2021, 49(3): 449-459.
TIAN Si-zhu, LI Xu-wen, ZANG Shuang, et al. Inhibitory effect of ten wild plant fruits on α -amylase and tyrosinase and their phenolic compound content and antioxidant activity [J]. Analytical Chemistry, 2021, 49(3): 449-459.
- [18] 张瑛毓, 普布多吉, 卢聪, 等. 基于黄嘌呤氧化酶活性抑制和斑马鱼高尿酸血症模型的降尿酸功效食材筛选[J]. 食品工业科技, 2021, 42(12): 334-339.
ZHANG Ying-yu, PU Bu-do-ji, LU Cong, et al. Screening of uric acid lowering materials based on xanthine oxidase inhibition and zebrafish hyperuricemia model [J]. Food Industry Science and Technology, 2021, 42(12): 334-339.
- [19] 王远, 郑雯, 蔡珺璐, 等. 辣木叶黄酮结构分析及其对胰脂肪酶的抑制作用[J]. 食品科学, 2018, 39(2): 31-37.
WANG Yuan, ZHENG Wen, CAI Jun-jun, et al. Structural analysis of Moringa leaves and its inhibitory effect on pancreatic lipase[J]. Food Science, 2018, 39(2): 31-37.