

金花茶叶皂苷提取工艺优化及抑制脂肪酶活性研究

Extraction process optimization of saponin from the leaves of *Camellia nitidissima* Chi and its inhibition of lipase activity

陈嘉慧 吴雪辉

CHEN Jia-hui WU Xue-hui

(华南农业大学, 广东 广州 510000)

(South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510000, China)

摘要:以金花茶叶为研究对象,通过单因素试验和响应面法探讨了乙醇体积分数、料液比、提取温度与时间因素对皂苷提取效果的影响,并对其抑制胰脂肪酶的作用进行了研究。结果表明,金花茶叶皂苷的最佳提取工艺条件为:乙醇体积分数 59%、料液比 1:39 (g/mL)、提取温度 60 °C、提取时间 124 min,该条件下皂苷得率为 4.82%,与预测值接近;提取的皂苷在温度 37 °C、质量浓度 6 mg/mL、pH 7.5、反应 30 min 下对胰脂肪酶抑制率可达 84.76%。说明金花茶叶皂苷能有效抑制胰脂肪酶的活性,具有较好的降血脂作用。

关键词:金花茶叶;皂苷;提取;胰脂肪酶

Abstract: By using single factor experiment and response surface methods, the effects of ethanol volume fraction, solid-liquid ratio, extraction temperature and time on extracting saponin from the leaves of *Camellia nitidissima* Chi were discussed, and the inhibitory effect of the extracts on pancreatic lipase was also studied. The optimal extraction conditions for saponin from *C. nitidissima* Chi were determined as follows: 59% ethanol, 1:39 (g/mL) as solid-liquid ratio, extracting at 60 °C for 124 min. The yield of saponin was 4.82% under the optimized conditions, closing to the predicted result. The research results indicated that the saponin extracted with the mass concentration of 6 mg/mL (pH 7.5) at 37 °C for 30 min, had the highest inhibiting effect on pancreatic lipase, and the inhibition rate was 84.76%. The results revealed that the saponin from leaves of *C. nitidissima* Chi could effectively inhibit the activity of lipase and might have excellent

effect of lowering blood lipid.

Keywords: leaves of *Camellia nitidissima* Chi; saponin; extraction; pancreatic lipase

金花茶(*Camellia nitidissima* Chi)是山茶科山茶属金花茶组植物,主要分布于中国广西、广东和越南北部,是茶花家族中唯一花瓣为金黄色的珍稀物种^[1],2010 年被批准为国家新资源食品^[2]。

金花茶叶富含皂苷、黄酮、多酚、多糖、氨基酸等多种生物活性成分,具有提高免疫力、降血脂血糖、抗癌防癌等重要保健功能^[3]。广西壮族民间有饮用金花茶叶片习惯^[4],当地许多资料亦有记载“金花茶叶为壮族民间药,具有清热解毒,降低胆固醇、预防肿瘤等功效”^[5-6]。目前,对金花茶叶中黄酮、多酚、多糖的提取及抗氧化作用研究较多^[7-9],但未见对皂苷的提取和抑制脂肪酶的效果研究报道。据前人^[10]研究报道,植物皂苷能有效抑制脂肪酶的活性,可以升高血清中高密度脂蛋白含量,降低胆固醇、甘油三酯以及低密度脂蛋白含量,对高脂血症、心脑血管疾病以及动脉粥样硬化的治疗具有明显效果。研究拟采用乙醇提取金花茶中的皂苷,探讨其对胰脂肪酶的抑制作用,以为金花茶叶资源的开发利用提供理论依据和参考数据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

金花茶叶:摘自广东省佛山市林业科学研究所金花茶示范林,经佛山市林业科学研究所薛克娜教授级高级工程师鉴定为山茶科山茶属植物金花茶的叶,选取无病虫害,无腐烂、枯萎的金花茶叶于 50 °C 烘干 48 h 后粉碎备用;

基金项目:中央财政林业改革发展资金项目(编号:[2018] GDTK-09 号)

作者简介:陈嘉慧,女,华南农业大学在读硕士研究生。

通信作者:吴雪辉(1965—),女,华南农业大学教授,博士。

E-mail: xuehwu@scau.edu.cn

收稿日期:2020-03-23

月桂酸 4-硝基苯酯: >98.0%, 上海麦克林生化科技有限公司;

人参皂苷 Rg1: >98.0%, 北京索莱宝科技有限公司;

猪胰脂肪酶: CAS# 9001-62-1, 上海源叶生物科技有限公司;

醋酸钠、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、香草醛: 分析纯, 天津大茂化学试剂厂;

硫酸: 分析纯, 广州化学试剂厂;

乙醇、冰醋酸: 分析纯, 天津市富宇精细化工有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

多功能粉碎机: BJ-150 型, 德清拜杰电器有限公司;

分析天平: CPA225D 型, 德国赛多利斯集团;

循环式真空泵: SHB-III 型, 郑州世纪双科实验仪器有限公司;

旋转蒸发仪: RE-52AA 型, 上海荣亚生化仪器厂;

紫外可见分光光度计: UV-5200 型, 上海元析仪器有限公司;

电热鼓风干燥箱: 101-2A 型, 天津市泰斯特仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 金花茶叶皂苷的提取单因素试验设计 称取一定量的金花茶叶粉末, 加入适量的乙醇溶液, 在适宜的温度下提取一定的时间, 经过滤或离心分离, 收集提取液, 测定其皂苷含量。

(1) 乙醇体积分数: 适宜的金花茶叶粉末, 分别用体积分数 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100% 的乙醇溶液, 按照料液比 1: 50 (g/mL), 于 70 °C 提取 100 min。

(2) 料液比: 在提取温度 70 °C 下, 用体积分数 60% 的乙醇溶液分别按照料液比 1: 20, 1: 30, 1: 40, 1: 50, 1: 60 (g/mL) 提取 100 min。

(3) 提取温度: 金花茶叶粉末用体积分数 60% 的乙醇溶液, 在料液比 1: 40 (g/mL) 下, 分别于 50, 60, 70, 80, 90 °C 提取 100 min。

(4) 提取时间: 一定量的金花茶叶粉末按照料液比 1: 40 (g/mL) 加入体积分数 60% 的乙醇溶液, 在 70 °C 下分别提取 60, 80, 100, 120, 140 min。

1.2.2 响应面设计 在单因素试验的基础上, 选取乙醇体积分数、料液比、提取温度以及提取时间, 以皂苷得率为评价指标进行四因素三水平中心组合试验。

1.2.3 皂苷得率的测定 采用香草醛—硫酸分光光度法^[11], 以人参皂苷 Rg1 为标样进行测定。准确称取 0.005 4 g 人参皂苷 Rg1 标准品, 溶解于纯净水中, 配制成质量分数为 0.216 mg/mL 的标准溶液, 精确移取 0.0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.5, 0.7 mL 标准溶液于比色管中, 蒸干后加入 8% 香草醛—冰醋酸溶液 0.5 mL, 72% 硫酸溶液 5 mL,

充分摇匀后于 60 °C 恒温水浴 10 min, 随后立即用冰水冷却 10 min, 摇匀, 于 540 nm 处测吸光度。以人参皂苷 Rg1 吸光度为纵坐标 (Y), 标准品质量为横坐标 (X, mg) 绘制标准曲线如图 1, 用最小二乘法作线性回归, 得到的方程为: $Y = 6.7X + 0.0062$, 相关系数 $R^2 = 0.999$ 。提取的金花茶叶皂苷溶液按照标准曲线的制作方法, 测定吸光度, 由回归方程计算出皂苷含量, 并按式 (1) 计算金花茶叶皂苷得率。

$$R = \frac{m}{M \times 1000} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

R ——皂苷得率, %;

m ——提取液中皂苷含量, mg;

M ——样品质量, g。

1.2.4 胰脂肪酶活性抑制率的测定 参照赵瑜等^[12-14]的方法。取 3 mL 磷酸盐缓冲溶液和 0.08% 月桂酸 4-硝基苯酯溶液、1.0 mg/mL 胰脂肪酶溶液、金花茶叶皂苷溶液各 0.5 mL 混合均匀, 在适宜温度下恒温水浴一定时间后于 410 nm 处测吸光度为 A 。同时以不加皂苷溶液在 410 nm 处的吸光值为 A_1 , 加皂苷溶液, 不加胰脂肪酶溶液在 410 nm 处的吸光值为 A_0 。按式 (2) 计算胰脂肪酶抑制率。

$$C = \frac{A_1 - (A - A_0)}{A_1} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

C ——抑制率, %;

A ——样品组吸光度值;

A_1 ——空白组吸光度值;

A_0 ——对照组吸光度值。

1.2.5 缓冲液 pH 对金花茶叶皂苷抑制胰脂肪酶能力的影响 按 1.2.4 的方法, 分别取 pH 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0 磷酸盐缓冲溶液与 1 mg/mL 胰脂肪酶溶液、0.08% 月桂酸 4-硝基苯酯溶液和 2 mg/mL 金花茶叶皂苷溶液混合均匀, 于 37 °C 水浴 30 min, 测定胰脂肪酶的抑制率。

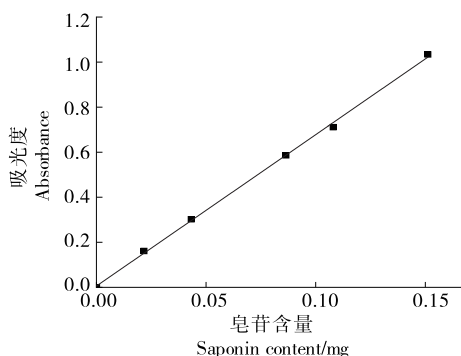


图 1 人参皂苷 Rg1 标准曲线图

Figure 1 Ginsenoside Rg1 standard curve

1.2.6 反应温度对金花茶叶皂苷抑制胰脂肪酶能力的影响 按 1.2.4 的方法,取 pH 7.5 的磷酸盐缓冲溶液与 1 mg/mL 胰脂肪酶溶液、0.08% 月桂酸 4-硝基苯酯溶液和 2 mg/mL 金花茶叶皂苷溶液混合,分别于 27,32,37,42,47 °C 水浴 30 min,测定胰脂肪酶的抑制率。

1.2.7 反应时间对金花茶叶皂苷抑制胰脂肪酶能力的影响 按 1.2.4 的方法,取 pH 7.5 的磷酸盐缓冲溶液与 1 mg/mL 胰脂肪酶溶液、0.08% 月桂酸 4-硝基苯酯溶液和 4 mg/mL 金花茶叶皂苷溶液混合,分别于 37 °C 水浴 20,30,40,50,60 min,测定胰脂肪酶的抑制率。

1.2.8 金花茶叶皂苷浓度对胰脂肪酶抑制率的影响 按 1.2.4 的方法,分别取 1,2,3,4,5,6 mg/mL 金花茶叶皂苷溶液与 pH 7.5 的磷酸盐缓冲溶液、1 mg/mL 胰脂肪酶溶液、0.08% 月桂酸 4-硝基苯酯溶液混合,于 37 °C 水浴 30 min,测定胰脂肪酶的抑制率。

2 结果与讨论

2.1 单因素试验

2.1.1 乙醇体积分数对金花茶叶皂苷得率的影响 由图 2 可以看出,随着乙醇体积分数的变大,皂苷得率呈先上升后下降趋势,当体积分数为 60% 时,皂苷得率最大。这是因为乙醇浓度过小时,体系中的溶剂极性较小利于亲水性的蛋白质、多糖等物质溶出,直到溶剂极性与皂苷极性相似时达到最大得率,而乙醇浓度过大时,乙醇会使蛋白质变性凝固,阻止溶剂进入金花茶叶细胞内,影响皂苷的溶出^{[15]27-28}。因此选择 60% 为最佳乙醇体积分数。

2.1.2 料液比对金花茶叶皂苷得率的影响 如图 3 所示,随着料液比的增加得率呈先上升后下降趋势,当料液比在 1:40 (g/mL) 时得率达到最大值。金花茶叶皂苷的提取属于固液提取,浓度差是提取动力,因为随着原料与乙醇溶液的接触面积增大,金花茶叶粉末与溶剂充分接触,物料与溶剂间浓度差增大,皂苷的传质速率加快,促进皂苷的溶出,但料液比大于 1:40 (g/mL) 时,溶剂的量太大,不利于溶剂与溶质之间充分循环交换^{[15]26-27}。

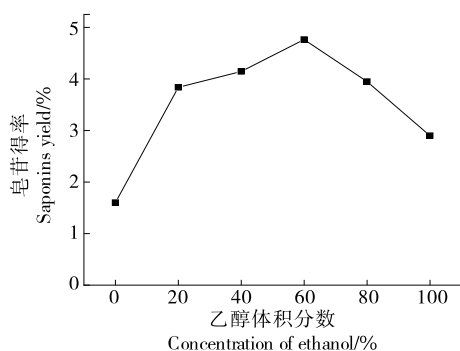


图 2 乙醇体积分数对金花茶叶皂苷得率的影响

Figure 2 Effect of concentration of ethanol on the yield of saponin from *Camellia nitidissima* Chi

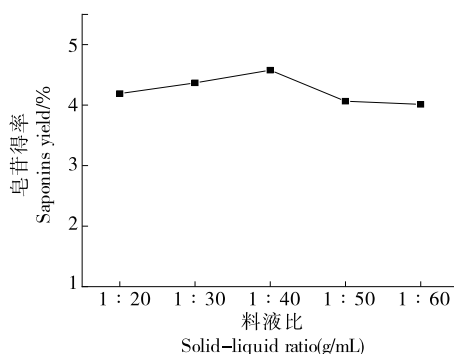


图 3 料液比对金花茶叶皂苷得率的影响

Figure 3 Effect of solid-liquid ratio on the yield of saponin from *Camellia nitidissima* Chi

考虑原料的充分利用、生产成本和能耗,料液比选 1:40 (g/mL) 为适宜。

2.1.3 提取温度对金花茶叶皂苷得率的影响 由图 4 可知,随着温度的升高,得率先上升后下降,提取温度在 70 °C 时,金花茶叶皂苷得率达到最大值,因为随着温度升高,分子扩散运动加快,有助于皂苷的溶出。但是温度超过 70 °C 时,温度过高,蒸气压上升^{[15]25-26},乙醇蒸发加快而冷凝不充分,导致提取瓶中乙醇浓度减少;甚至皂苷结构上含有一COOH 和一OH,其在溶液中呈自然弱酸性,在温度较高和含有醇溶液条件下会发生催化水解反应,水解后生成的皂苷元极性低,只可以溶于低极性溶剂,从而导致皂苷得率降低,这一结果与张正茂等^[16]报道相似。因此 70 °C 为最佳提取温度。

2.1.4 提取时间对金花茶叶皂苷得率的影响 由图 5 可以看出,随着时间的延长皂苷得率先增加再下降,超过 120 min 后皂苷得率下降。因为随着时间的延长,皂苷的溶出率增加,但到达一定程度后,随着提取时间的延长,杂质溶出,导致扩散系数降低,增大传质阻力,阻止皂苷的溶出^[17-18],影响金花茶叶皂苷得率,所以选取提取时间为 120 min 为适宜。

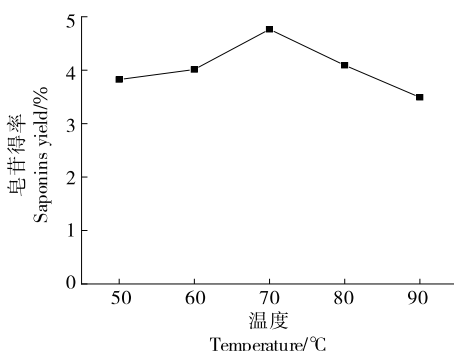


图 4 取温度对金花茶叶皂苷得率的影响

Figure 4 Effect of extraction temperature on the yield of saponin from *Camellia nitidissima* Chi

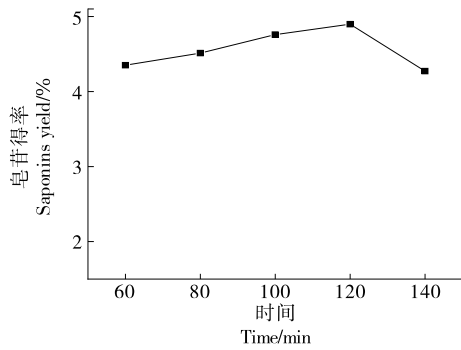


图 5 提取时间对金花茶叶皂苷得率的影响

Figure 5 Effect of extraction time on the yield of saponin from *Camellia nitidissima* Chi

2.2 响应面优化与分析

2.2.1 响应面优化 以乙醇体积分数、料液比、提取温度和提取时间为影响因素(见表 1),根据 Box-Behnken 原理设计四因素三水平中心组合试验,试验结果见表 2。

采用 Design-Expert 8.0.6 软件对响应面试验结果进行回归拟合分析,从模型中删除不显著变量,优化得到响应面方程为:

$$Y = 4.61 + 0.17B - 0.25C + 0.27BC - 1.03A^2 - 0.31B^2 - 0.18D^2 \quad (3)$$

由表 3 可知,回归模型显著($P < 0.0001$),失拟项不显著($P > 0.05$), $R^2 = 0.9286$, $CV = 5.6\%$,说明置信度较好,表明该回归模型值与试验值拟合较好,误差较小,能较好地反映影响因素与皂苷得率之间的关系,可解释 92.86%的响应值,因此可以用该模型对金花茶叶皂苷的得率进行分析和预测。各因素对皂苷得率的影响大小为提取温度>料液比>乙醇体积分数>提取时间。一次项 C 及二次项 A^2 、 B^2 对皂苷得率影响极显著($P < 0.01$),一次项 B、交互项 BC 与二次项 D^2 对皂苷得率影响显著($P < 0.05$)。

2.2.2 响应面分析 各个因变量之间的交互作用对响应值——皂苷得率的响应面三维图见图 6,其中料液比和提取温度的交互作用响应面曲面坡度陡峭,说明对金花茶叶皂苷得率影响显著。利用已建立的数学模型优化出最优

表 1 响应面试验因素与水平表

Table 1 Factors and level of Box-Behnken test

水平	A 乙醇体积分数/%	B 料液比 (g/mL)	C 提取温度/℃	D 提取时间/min
1	40	1 : 30	60	100
0	60	1 : 40	70	120
-1	80	1 : 50	80	140

表 2 响应面试验设计结果

Table 2 BBD and saponin yield results

编号	A	B	C	D	Y 皂苷得率/%
1	0	-1	0	1	4.42
2	-1	-1	0	0	3.64
3	0	0	0	0	4.76
4	0	0	-1	-1	3.84
5	1	0	0	1	3.47
6	1	0	1	0	4.13
7	0	-1	0	-1	4.58
8	1	1	0	0	3.27
9	-1	0	0	-1	3.08
10	0	0	0	0	4.80
11	0	0	0	0	4.53
12	1	-1	0	0	3.13
13	1	0	-1	0	3.48
14	-1	0	0	1	3.19
15	0	0	-1	1	4.25
16	0	-1	1	0	4.13
17	0	0	1	1	4.58
18	0	-1	-1	0	4.34
19	-1	0	1	0	3.83
20	0	1	-1	0	3.44
21	0	1	0	-1	4.06
22	1	1	0	-1	3.27
23	0	0	0	-1	4.76
24	-1	0	-1	0	3.39
25	-1	1	0	0	2.97
26	0	1	0	1	4.31
27	0	0	0	0	4.74
28	0	1	1	0	4.31
29	0	0	0	0	4.62

条件为乙醇体积分数 58.71%、料液比 1 : 38.69 (g/mL)、提取温度 60 ℃、提取时间 123.94 min,考虑实际操作,修正工艺条件为乙醇体积分数 59%、料液比 1 : 39 (g/mL)、提取温度 60 ℃、提取时间 124 min,此条件下的金花茶叶皂苷含量为 4.82%,与理论预测值 4.838%相差较小,说明该模型可行,优化结果可靠。

2.3 金花茶叶皂苷体外抑制胰脂肪酶能力

2.3.1 缓冲液 pH 对金花茶叶皂苷抑制胰脂肪酶能力的影响 从图 7 可以直观看出,随着 pH 的增大,金花茶叶皂苷对胰脂肪酶抑制率先增加后趋于平缓;在缓冲液 pH 为 7.5 时对胰脂肪酶抑制率有最佳效果,为 52.44%。因

表 3 回归模型方差分析和系数显著性检验[†]

Table 3 Various analysis and significance test of regression model

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	9.040	14	0.650	13.00	<0.000 1	* *
A	0.058	1	0.058	1.17	0.298 1	
B	0.350	1	0.350	7.02	0.019 1	*
C	0.750	1	0.750	15.06	0.001 7	* *
D	0.033	1	0.033	0.66	0.431 2	
AB	0.970	1	0.097	1.96	0.183 1	
AC	0.011	1	0.011	0.21	0.652 5	
AD	2.287×10^{-3}	1	2.287×10^{-3}	0.05	0.833 2	
BC	0.290	1	0.290	5.83	0.030 0	*
BD	0.043	1	0.043	0.86	0.368 9	
CD	0.088	1	0.088	1.77	0.205 2	
A ²	7.140	1	7.140	143.67	<0.000 1	* *
B ²	0.720	1	0.720	14.47	0.001 9	* *
C ²	0.094	1	0.094	1.90	0.189 7	
D ²	0.270	1	0.270	5.42	0.035 4	*
残差	0.700	14	0.050			
失拟项	0.650	10	0.650	5.29	0.061 2	
纯误差	0.049	4	0.012			
总差	9.740	28				

[†] * 表示影响显著(P<0.05), * * 表示影响极显著(P<0.01)。

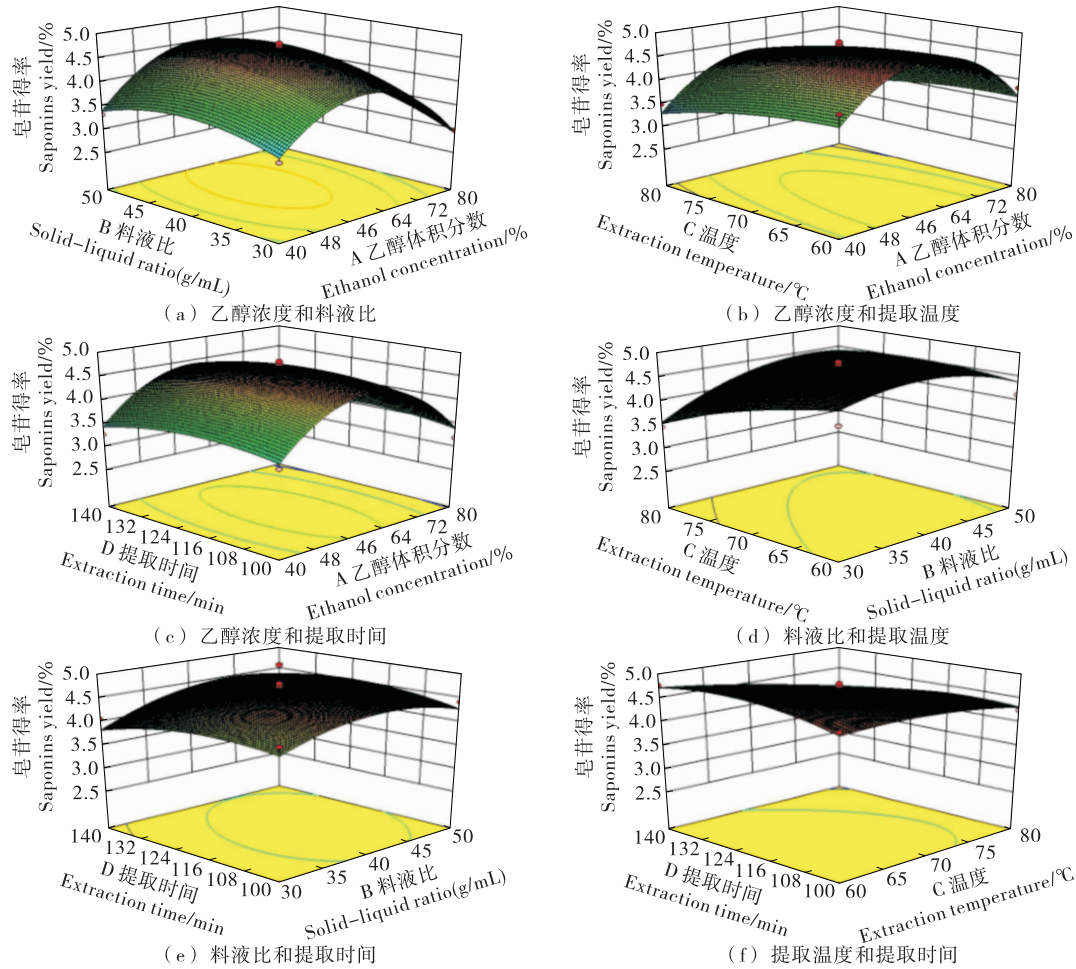


图 6 各因素对皂苷得率的交互作用

Figure 6 Interaction of various factors and total saponin yield

为 pH 可以改变胰脂肪酶分子结构,在最适 pH 条件下,胰脂肪酶分子活性基团部位与最适底物结合,发挥出胰脂肪酶的最佳催化效果,pH 偏高或偏低环境下,会改变胰脂肪酶分子的二级、三级构象,影响酶与底物结合效率,从而影响胰脂肪酶的活性,改变胰脂肪酶的抑制率^[19],所以选取 pH 7.5 为胰脂肪酶的最适 pH。

2.3.2 反应温度对金花茶叶皂苷抑制胰脂肪酶能力的影响 由图 8 可知,抑制率随着温度的升高先上升后下降,当温度为 37 °C 时对胰脂肪酶有最佳抑制作用,抑制率为 51.28%。动物来源的酶的最适温度一般为 35~40 °C,温度若高于最适温度,会破坏酶分子的构象^[20],此时酶的整体三维结构受到破坏,次级键崩解,酶失去活性,从而降低胰脂肪酶的抑制率。因此选取温度 37 °C 为胰脂肪酶最佳反应温度。

2.3.3 反应时间对金花茶皂苷抑制胰脂肪酶能力的影响

从图 9 可以看出,反应时间为 20~40 min 时,胰脂肪酶的抑制率随着时间的递增先上升后趋于平缓;40 min 后,胰脂肪酶的抑制率随着时间的递增呈下降趋势。当皂苷与胰脂肪酶刚混合时,由于两者结合不充分,抑制率较低,随着时间的增加,二者结合逐渐充分,有效接触增

多,抑制率上升,反应时间>30 min 时,金花茶叶皂苷与胰脂肪酶之间有效基团已充分接触反应,相互作用趋于饱和,导致两者的浓度减小,二者结合速率降低,反应时间进一步延长,胰脂肪酶的抑制率呈下降趋势^[21],所以 30 min 为胰脂肪酶的最佳反应时间。

2.3.4 金花茶叶皂苷浓度对胰脂肪酶抑制率的影响 由图 10 可知,金花茶叶皂苷浓度为 1~6 mg/mL 时,胰脂肪酶的抑制率随着金花茶叶皂苷浓度的增加呈两个阶段上升趋势;1~4 mg/mL 时,胰脂肪酶结合位点未饱和,胰脂肪酶的抑制率急剧升高;4~6 mg/mL 时,胰脂肪酶和金花茶叶皂苷两者充分相互接触,结合位点达到饱和,故抑制率增加缓慢。皂苷浓度为 6 mg/mL 时,对胰脂肪酶的抑制率达到最大值为 84.76%。

3 结论

通过单因素试验,选择合适的因素水平进行响应面优化,研究了金花茶叶提取皂苷的最佳工艺条件,并对金花茶叶提取的皂苷进行抑制脂肪酶活性研究。试验结果表明,金花茶叶皂苷最佳提取条件为乙醇体积分数 59%、料液比 1:39 (g/mL)、提取温度 60 °C、提取时间

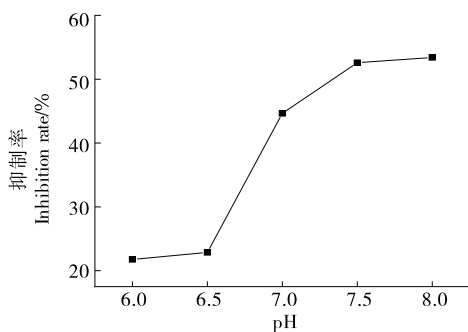


图 7 缓冲液 pH 对胰脂肪酶抑制率的影响

Figure 7 Inhibition rate of pancreatic lipase by saponin at different pH

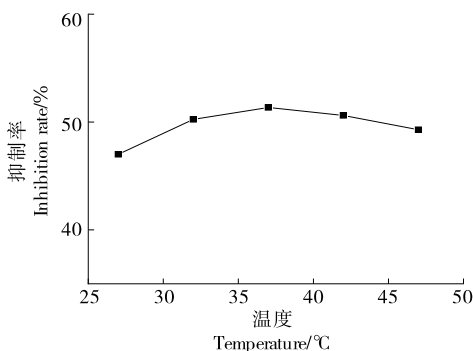


图 8 反应温度对胰脂肪酶抑制率的影响

Figure 8 Inhibition rate of pancreatic lipase by saponin at different temperature

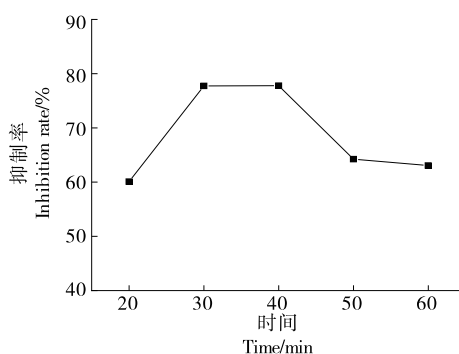


图 9 反应时间对胰脂肪酶抑制率的影响

Figure 9 Inhibition rate of pancreatic lipase by saponin at different time

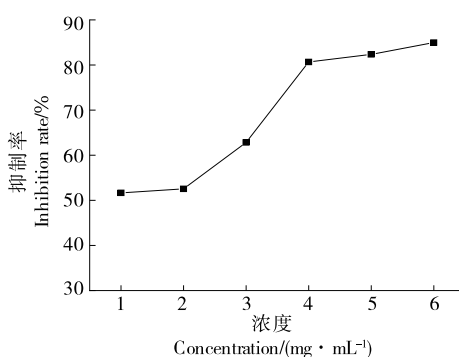


图 10 皂苷浓度对胰脂肪酶抑制率的影响

Figure 10 Effects of different saponin concentrations on pancreatic lipase inhibition rate

124 min,此条件下的金花茶叶皂苷得率为4.82%;金花茶叶提取的皂苷对胰脂肪酶的抑制试验表明,皂苷提取物在37℃、质量浓度在6 mg/mL、pH 7.5、反应30 min下,脂肪酶抑制率达到84.76%;并且金花茶叶皂苷浓度与胰脂肪酶的抑制作用呈剂量效应,浓度越高,抑制效果越好,说明金花茶叶皂苷是一种良好的胰脂肪酶抑制剂,具有较好的降血脂应用前景。后续可以利用现代分析方法深入研究金花茶叶皂苷对胰脂肪酶的抑制机理。

参考文献

- [1] 曾秋文. 金花茶皂甙的分离纯化及化学结构研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2010: 1.
- [2] 张武君, 黄颖桢, 陈青瑛, 等. 综合评分法优化金花茶叶提取工艺及抗氧化活性分析[J]. 中药材, 2020(2): 408-414.
- [3] 朱成豪, 唐辉, 柴胜丰, 等. 嫁接与实生金花茶的叶片和花朵营养成分分析与评价[J]. 食品工业科技, 2019, 40(20): 329-333, 347.
- [4] 秦小明, 宁恩创, 李建强. 金花茶食品新资源的开发利用[J]. 广西热带农业, 2005(2): 20-22.
- [5] 韦英亮, 陈秋虹, 盘杨桂, 等. 金花茶叶皂甙A对照品的制备[J]. 食品科技, 2018, 43(1): 227-230.
- [6] 贺栋业, 李晓宇, 王丽丽, 等. 金花茶化学成分及药理作用研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志, 2016, 22(3): 231-234.
- [7] 黄永林, 文永新, 陈月圆, 等. 金花茶叶中总黄酮提取及动态变化研究[J]. 食品科学, 2009, 30(6): 72-75.
- [8] 颜栋美, 李仁菊, 丘华, 等. 金花茶多酚提取工艺的研究[J]. 现代食品科技, 2007(9): 45-49.
- [9] 许子竞, 廖敏富, 陈海燕, 等. 金花茶叶多糖超声波辅助提取工艺优化和含量测定[J]. 食品科学, 2010, 31(4): 53-58.
- [10] 冯印, 高超, 于钧宇, 等. 款冬总皂苷提取优化及其降脂抗氧化作用研究[J]. 食品工业, 2018, 39(6): 169-174.
- [11] 龙妍, 张佳玉, 刘红梅, 等. 人参饮品中人参皂甙含量的测定[J]. 现代食品, 2018(2): 77-80.
- [12] 赵瑜, 周家春, 张靖伟, 等. 紫娟茶提取物对血管紧张素转换酶、 α -淀粉酶和胰脂肪酶的体外抑制作用[J]. 食品工业科技, 2017, 38(19): 11-20.
- [13] 张丹, 姚正颖, 侯北伟, 等. 香水莲花提取物对胰脂肪酶活性的抑制作用[J]. 食品科技, 2017, 42(3): 227-231.
- [14] 赵瑜. 紫娟茶中多酚类物质的功能性探究[D]. 上海: 华东理工大学, 2017: 42-43.
- [15] 付盼娟. 无患子皂苷的分离纯化及性能研究[D]. 上海: 上海应用技术大学, 2016.
- [16] 张正茂, 张振伟, 阚玲. 湖北利川山药零余子皂苷的提取工艺研究[J]. 中国食品添加剂, 2018(9): 71-76.
- [17] 李霄, 薛成虎, 弓莹, 等. 响应面分析法优化黑豆中皂苷的提取工艺及其抗氧化性研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(9): 235-241.
- [18] 邵青. 山丹鳞茎总皂甙提取纯化及其抗氧化、抑菌活性研究[D]. 延安: 延安大学, 2016: 18-19.
- [19] 耿杰, 张洪梅, 周泉城. 文冠果壳皂苷抑制胰脂肪酶活性的研究[J]. 现代食品科技, 2014, 30(11): 89-92, 132.
- [20] 冉琳, 何钢, 梁立, 等. 黑木耳多糖对胰脂肪酶活性的抑制作用[J]. 食品工业科技, 2017, 38(22): 56-60.
- [21] 褚盼盼, 门玉倩, 孔令悦, 等. 黑豆红色素抑制胰脂肪酶催化反应动力学研究[J]. 食品科技, 2018, 43(5): 302-307.

(上接第134页)

- [2] SHUSTANOV A, YAKIMOV P. CNN design for real-time traffic sign recognition[J]. Procedia Engineering, 2017, 201: 718-725.
- [3] 刘云, 杨建滨, 王传旭. 基于卷积神经网络的苹果缺陷检测算法[J]. 电子测量技术, 2017, 40(3): 108-112.
- [4] 裴悦琨, 连明月, 姜艳超, 等. 基于机器视觉的樱桃缺陷检测与识别[J]. 食品与机械, 2019, 35(12): 137-140, 226.
- [5] 伍锡如, 雪刚刚, 刘英璇. 基于深度学习的水果采摘机器人视觉识别系统设计[J]. 农机化研究, 2020, 42(2): 177-182, 188.
- [6] 秦东辉, 周辉, 赵雄波, 等. 基于卷积神经网络图像识别算法的加速实现方法[J]. 航天控制, 2019, 37(1): 22-27.
- [7] 王巍, 周凯利, 王伊昌, 等. 卷积神经网络(CNN)算法的FPGA并行结构设计[J]. 微电子学与计算机, 2019, 36(4): 57-62, 66.
- [8] MA Yu-fei, SUDA N, CAO Yu, et al. ALAMO: FPGA acceleration of deep learning algorithms with a modularized RTL compiler[J]. Integration, 2018, 62(6): 14-23.
- [9] 訾晶, 张旭欣, 金婕. 基于FPGA动态重构的快速车牌识别系统[J]. 传感器与微系统, 2019, 38(12): 69-72.
- [10] DANOPOULOS D, KACHRIS C, SOUDRIS D. Acceleration of image classification with Caffe framework using FPGA[C]// 2018 7th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCAS). Thessaloniki; IEEE, 2018: 1-4.
- [11] RETTKOWSKI J, BOUTROS A, GHRINGER D. HW/SW Co-Design of the HOG algorithm on a Xilinx Zynq SoC[J]. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2017, 109(11): 50-62.
- [12] 吴进, 赵隽, 李聪, 等. 机器视觉中边缘检测算法的SDSoC加速实现[J]. 计算机工程与应用, 2019, 55(12): 208-214.
- [13] Vivado design suite user guide high-level synthesis UG902 (v2017.3) [EB/OL]. [2017-10-04]. <http://china.xilinx.com/support/documentation>.