

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2020.12.030

云南分心木总黄酮提取及抗氧化和对脂肪变性 L02 肝细胞的作用

Optimization of extraction technology of general flavone from Yunnan diaphragma juglandis fructus and its antioxidant activities and effects on lipid-changed L02 hepatocytes

张 凤 马雅鸽 张 希 杨婧娟 赵声兰

ZHANG Feng MA Ya-ge ZHANG Xi YANG Jing-juan ZHAO Sheng-lan

(云南中医药大学中药学院, 云南 昆明 650500)

(Faculty of Traditional Chinese Medicine, Yunnan University of Traditional Chinese Medicine, Kunming, Yunnan 650500, China)

摘要:采用单因素结合响应面试验优化云南分心木总黄酮提取工艺,研究分心木总黄酮提取物清除过氧化氢(H_2O_2)、超氧阴离子自由基($O_2^- \cdot$)、羟基自由基($\cdot OH$)和 DPPH 自由基(DPPH \cdot)的能力和降低脂肪变性 L02 肝细胞内总胆固醇(TC)和甘油三酯(TG)的作用。结果表明:云南分心木总黄酮最佳提取工艺为乙醇浓度 55%、提取温度 80 °C、提取时间 80 min,该条件下总黄酮提取得率为 9.88%;25 $\mu g/mL$ 分心木总黄酮对 DPPH \cdot 的清除率为 77.87%;1 000 $\mu g/mL$ 清除 H_2O_2 、 $O_2^- \cdot$ 、 $\cdot OH$ 分别为 89.39%,89.56%,88.04%;与模型组相比,300,400 $\mu g/mL$ 分心木总黄酮均显著降低脂肪变性 L02 肝细胞 TC 和 TG 含量。云南分心木总黄酮具有较高的体外抗氧化活性及显著降低脂肪变性 L02 肝细胞 TG 和 TC 活性。

关键词:分心木;总黄酮;提取;抗氧化;总胆固醇;甘油三酯

Abstract: The extraction process of the general flavonoids from *Diaphragma juglandis* Fructus (DJF) in Yunnan was optimized, and the ability of the general flavonoids extracts to scavenge hydrogen peroxide (H_2O_2), superoxide anion free radicals ($O_2^- \cdot$), hydroxyl free radicals ($\cdot OH$) and DPPH free radicals (DPPH \cdot) and the role of reducing fatty degeneration L02 liver

intracellular total cholesterol (TC) and triglycerides (TG) were investigated. The results showed that the best extraction process for general flavonoids from Yunnan DJF was extraction with 55% ethanol at 80 °C for 80 min. Under the control of these conditions, the extraction yield of general flavonoids was 9.88%; 25 $\mu g/mL$ general flavonoids from DJF removed 77.87% of DPPH; 89.39%, 89.56%, and 88.04% of H_2O_2 , $O_2^- \cdot$ and $\cdot OH$ were removed by 1 000 $\mu g/mL$ of general flavonoids. Compared with the model group, 300 $\mu g/mL$ and 400 $\mu g/mL$ general flavonoids from DJF significantly reduced the content of TC and TG in steatosis L02 hepatocytes. The general flavone of DJF from Yunnan present high antioxidant activity and reduced TG and TC activities of steatosis L02 hepatocytes.

Keywords: *Diaphragma juglandis* fructus; general flavone; extraction; antioxidant; total cholesterol; triglycerides

分心木又称核桃隔膜,为胡桃科植物胡桃(*Juglans regia* L.)的木质隔膜,富含黄酮类化合物,有抗炎、抗病毒、抗肿瘤、抗氧化、降低血糖及抗心脑血管疾病等作用^[1-3]。目前已有针对河北、新疆和甘肃等地的分心木黄酮提取及抗氧化活性的报道^[4-6],但未见有关分心木黄酮提取物体外降脂功效的研究报道。

中国核桃种植面积和产量世界第一,云南省又居全国之首,其种植面积 2.87×10^6 hm^2 ,年产量超过 8.50×10^5 t,分心木占整个核桃的 4%~5%,云南每年产生 $3.40 \times 10^3 \sim 4.25 \times 10^3$ t 分心木^[7-8],目前大多分心木被丢弃或焚烧,仅有少量被开发为袋泡茶、速溶茶和保健功能酒^[9-10]。试验拟采用生产成本低且适用于大批量工业生产的乙醇回流提取法提取分心木总黄酮,采用单因素

基金项目:云南省生物医药重大科技专项(编号:2018ZF013);云南省科技厅—云南中医学院联合专项重点项目[编号:2019FF002(-006)]

作者简介:张凤,女,云南中医药大学在读硕士研究生。

通信作者:赵声兰(1962—),女,云南中医药大学教授,硕士。

E-mail: zsl13330431529@163.com

收稿日期:2020-03-20

结合响应面试验优化提取工艺,并研究分心木总黄酮的体外抗氧化活性及降低脂肪变性 L02 肝细胞 TC 和 TG 的活性,以期分为心木功能产品的开发提供理论依据,为延长核桃产业链提供新思路。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

分心木:南川县红云核桃加工销售有限责任公司;

芦丁:对照品,上海伊卡生物技术有限公司;

福林酚试剂、抗坏血酸(V_C):分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

DPPH:美国 Sigma 公司;

人正常 L-02 肝细胞株:中国科学院昆明动物研究所;

胎牛血清:浙江天航生物科技有限公司;

非诺贝特:法国利博福尼制药公司;

RPMI 1640 培养液、甘油三酯(TG)和总胆固醇(TC)

测定试剂盒:中生北控生物科技股份有限公司;

20%医用脂肪乳:四川科伦药业股份有限公司;

医用脂肪乳诱导液:20%医用脂肪乳 5 mL,用 10%胎牛血清稀释至 50 mL。

1.1.2 仪器与设备

紫外可见分光光度计:UV-180 型,上海精密科学仪器有限公司;

离心机:TD5A-WS 型,湖南湘仪实验室仪器有限公司;

酶标仪:INFINITE M200 PRO 型,瑞士 TECAN 公司;

CO₂ 培养箱:MCO-20AIC 型,日本三洋有限公司;

倒置显微镜:Nikoneclipse TS 100 型,尼康仪器(上海)有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 分心木总黄酮提取工艺流程

分心木→粉碎→过筛(60 目)→乙醇回流提取→过滤→离心(2 900 r/min,6 min)→分心木总黄酮提取液

1.2.2 总黄酮提取率测定 根据梁杏等^[11]的方法,以芦丁溶液质量浓度(μg/mL)为横坐标,吸光度为纵坐标,绘制芦丁标准曲线为: $y = 0.010 3x + 0.013 6$,相关系数 $R^2 = 0.997 6$,表明芦丁溶液质量浓度与吸光度呈现良好的线性关系。按式(1)计算分心木总黄酮提取率。

$$E = \frac{C \times V \times N}{M} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

E——分心木总黄酮提取率,%;

C——提取液黄酮的质量浓度,μg/mL;

V——提取液体积,mL;

N——稀释倍数;

M——分心木质量,g。

1.2.3 单因素试验 预试验表明提取次数为 2 次的分心木总黄酮提取率较提取 1 次和 3 次的高,故试验将提取次数固定为 2 次。

(1) 提取时间对分心木总黄酮提取率的影响:分别称取 2.000 0 g 分心木 5 份,于液固比($V_{乙醇} : m_{分心木}$)为 40 : 1 (mL/g)、乙醇浓度 60% 和 60 °C 条件下,分别回流提取 20,40,60,80,100 min,回流提取 2 次,计算总黄酮提取率。

(2) 乙醇浓度对分心木总黄酮提取率的影响:分别称取 2.000 0 g 分心木 8 份,按液固比($V_{乙醇} : m_{分心木}$)为 40 : 1 (mL/g),分别加入浓度为 15%,25%,35%,45%,55%,65%,75%,85%乙醇,于 60 °C 及上述确定的提取时间,回流提取 2 次,计算总黄酮提取率。

(3) 液固比对分心木总黄酮提取率的影响:分别称取 2.000 0 g 分心木 6 份,于 60 °C 及上述确定的提取时间和乙醇浓度,液固比($V_{乙醇} : m_{分心木}$)分别为 10 : 1,20 : 1,30 : 1,40 : 1,50 : 1,60 : 1 (mL/g),回流提取 2 次,计算总黄酮提取率。

(4) 提取温度对分心木总黄酮提取率的影响:分别称取 2.000 0 g 分心木 6 份,按上述确定的提取时间、乙醇浓度和液固比,分别于 40,50,60,70,80,90 °C 回流提取 2 次,计算总黄酮提取率。

1.2.4 响应面试验 在单因素试验基础上,运用 Design Expert 8.0.6 设计响应面试验,以提取时间、乙醇浓度和提取温度为因素,总黄酮提取率为响应值优化提取条件。

1.2.5 抗氧化活性研究 按张春梅等^[12]的方法检测分心木总黄酮提取物清除过氧化氢(H₂O₂)、超氧阴离子自由基(O₂⁻·)、羟基自由基(·OH)和 DPPH 自由基(DPPH·)的活性,分别按式(2)~(5)计算 H₂O₂、O₂⁻·、·OH 及 DPPH· 的清除率。

$$K_1 = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}\right) \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

K₁——H₂O₂清除率,%;

A₀——不加样品的 H₂O₂溶液吸光度值;

A₁——加样品的 H₂O₂溶液吸光度值;

A₂——不加 H₂O₂溶液的样品组吸光度值。

$$K_2 = \frac{\Delta A_{对照} - \Delta A_{样品}}{\Delta A_{对照}} \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

K₂——O₂⁻·清除率,%;

ΔA_{对照}——1 min 内对照管吸光度的变化值;

ΔA_{样品}——1 min 内对照管吸光度的变化值。

$$K_3 = \left(1 - \frac{A_2 - A_3}{A_0 - A_1}\right) \times 100\%, \quad (4)$$

式中:

K_3 ——·OH 清除率, %;

A_0 ——试剂未损伤管吸光度值;

A_1 ——试剂损伤管吸光度值;

A_2 ——样品未损伤管吸光度值;

A_3 ——样品损伤管吸光度值。

$$K_4 = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_3}\right) \times 100\%, \quad (5)$$

式中:

K_4 ——DPPH 清除率, %;

A_1 ——4 mL DPPH 溶液 + 4 mL 样品溶液的吸光度值;

A_2 ——4 mL 样品提取液 + 4 mL 乙醇的吸光度值;

A_3 ——4 mL DPPH 溶液 + 4 mL 乙醇的吸光度值。

1.2.6 对脂变 L02 肝细胞总胆固醇(TC)和甘油三酯(TG)的影响 采用医用脂肪乳诱导正常 L-02 肝细胞构建脂肪变性 L-02 肝细胞模型。按曹丽娟等^[13]的方法,取对数生长期 L-02 肝细胞,用 G_0 液进行饥饿处理 24 h,造模组给予医用脂肪乳诱导液培养 48 h,对照组给予正常培养液培养 48 h,得脂肪变性 L-02 肝细胞。将脂肪变性 L-02 肝细胞分为模型组、阳性药组和给药组,对照组和模型组给予 G_0 液 2 mL,阳性药组给予非诺贝特 2 mL,给药组则分别给予 2 mL 300 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 和 400 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 分心木总黄酮。每个浓度设 3 个复孔,给药后继续培养 24 h,用

磷酸缓冲盐溶液(PBS)洗涤 2~3 次,1.5 mL 离心管收集刮取的细胞,按照试剂盒的说明书测定 TC 和 TG 含量。

1.3 数据处理

试验数据用 $\bar{x} \pm s$ 表示,采用 GraphPad Prism 7.0 软件分析,以 $P < 0.05$ 、 $P < 0.01$ 为差异具有显著统计学意义。

2 结果与分析

2.1 分心木总黄酮提取工艺优化

2.1.1 单因素试验 图 1(a)显示,随着提取时间的延长,总黄酮提取得率先升高后降低,80 min 时总黄酮提取得率最高 9.01%,在 20~80 min 时,分心木细胞壁逐渐被破坏,总黄酮物质溶出逐渐增加,提取得率逐渐提高,之后再继续延长提取时间,其他非黄酮类物质溶出,同时长时间加热破坏了溶出的黄酮,导致总黄酮提取得率下降^[14],故提取时间初步选择 80 min。图 1(b)显示,随着乙醇浓度的增大,总黄酮提取得率呈先升高后下降趋势。适当提高乙醇浓度,溶剂与总黄酮的极性靠近,总黄酮容易被提取出来,提取得率升高^[15],55%乙醇总黄酮提取得率最高 7.093%,但乙醇浓度超过 55%后,乙醇浓度增加,溶液沸点降低且高浓度乙醇和总黄酮的极性相差较大,不利于黄酮的提取,同时醇溶性杂质溶出增加,导致总黄酮提取得率下降^[16],故乙醇浓度初定为 55%。图 1(c)显示,40~80 $^{\circ}\text{C}$,温度升高总黄酮提取得率增加,80 $^{\circ}\text{C}$ 总黄酮提取得率达到最高值 10.34%。温度高于 80 $^{\circ}\text{C}$ 后,总黄

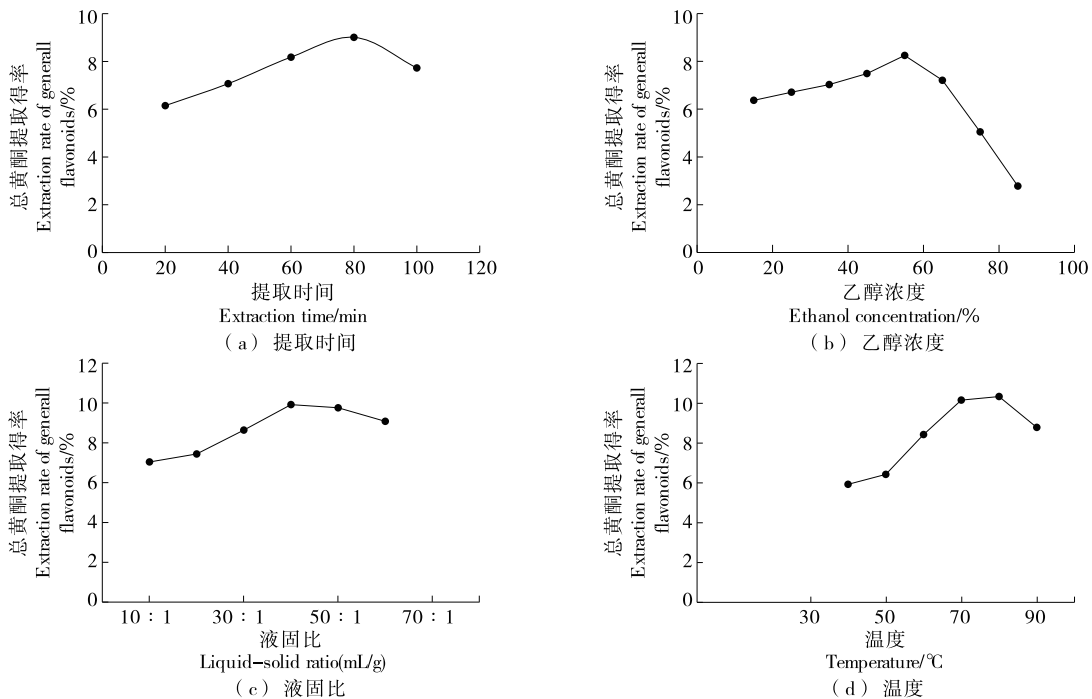


图 1 乙醇浓度、提取时间、温度和液固比对分心木总黄酮提取得率的影响

Figure 1 Effects of ethanol concentration, extraction time, temperature and liquid-solid ratio on the yield of flavone extraction

酮提取得率随温度的升高反而下降,温度过高,乙醇挥发增加,使乙醇浓度降低及温度过高杂质溶出增加,导致总黄酮提取得率下降^[17],故初步确定提取温度 80 ℃。图 1(d) 显示,随液固比增加,总黄酮提取得率先升高后下降,在液固比($V_{乙醇} : m_{分心木}$)20 : 1~40 : 1 (mL/g)范围,增加溶剂用量到液固比($V_{乙醇} : m_{分心木}$)40 : 1 (mL/g)时,总黄酮提取得率最高 9.92%,之后继续增加溶剂反而会使其他醇溶性杂质容易溶解,使总黄酮提取得率下降,且溶剂过多增加回收成本,故液固比($V_{乙醇} : m_{分心木}$)取 40 : 1 (mL/g)。

2.1.2 响应面试验优化提取工艺 实际生产中液固比过高会消耗大量溶剂,增大后续浓缩及回收溶剂的操作难度,增加能耗及生产成本,故将液固比($V_{乙醇} : m_{分心木}$)固定为 40 : 1 (mL/g)。以提取时间、乙醇浓度和提取温度为考察因素,总黄酮提取得率为响应值设计响应面试验,试验因素与水平见表 1,结果见表 2。

用 Design-Expert 8.0.6 软件对表 2 数据进行多元回归拟合和方差分析,得总黄酮提取得率回归模型:

表 1 试验因素与水平

Table 1 Factors and levels in the experiment

水平	A 提取时间/min	B 乙醇浓度/%	C 提取温度/℃
-1	60	45	65
0	80	55	80
1	100	65	95

表 2 响应面试验及结果

Table 2 Response surface test and results

试验号	A	B	C	Q 总黄酮提取得率/%
1	-1	0	-1	6.65
2	0	1	-1	6.99
3	0	1	1	8.34
4	0	0	0	10.15
5	0	0	0	9.27
6	-1	1	0	8.73
7	-1	1	1	8.55
8	0	0	0	9.54
9	1	-1	0	8.34
10	1	0	-1	7.16
11	1	1	0	8.21
12	-1	-1	0	7.97
13	1	0	1	8.52
14	0	-1	-1	7.19
15	0	0	0	10.02
16	0	-1	1	8.14
17	0	0	0	9.81

$$Q = 9.76 + 0.041A + 0.079B - 0.22AB - 0.14AC + 0.10BC - 0.70A^2 - 0.75B^2 - 1.34C \quad (6)$$

由表 3 可知,回归模型具有统计学意义($P < 0.001$), $R^2 = 0.9601$, $R_{adj}^2 = 0.9089 > 0.8$,说明该模型拟合度良好,失拟项 $P = 0.6693 > 0.05$,不具有统计学意义,说明失拟不显著,误差小,稳定性好,可用来预测分心木总黄酮提取得率。从 P 值可以得出,因素 C、 C^2 、 A^2 、 B^2 对分心木总黄酮提取得率的影响高度显著,其影响由大到小为: $C^2 > C > B^2 > A^2$ 。

AB、AC 和 BC 交互作用对分心木总黄酮提取得率影响的响应面和等高线见图 2~4。图 2 显示,提取时间不变时,总黄酮提取得率随乙醇浓度增加而增加,55%时出现极值后降低;乙醇浓度不变时,总黄酮提取得率随提取时间增加先升高后降低。从图 2(b)可看出,等高线呈椭圆形,说明 AB 交互作用对分心木黄酮提取量的影响较大。图 3 显示,提取温度比提取时间对分心木总黄酮提取得率的影响大,总黄酮提取得率随温度增加而增加,在 80 ℃时出现极值后降低,等高线呈椭圆形,说明 AC 交互作用对黄酮提取量的影响较大,且图 3(b)的等高线没有图 2(b)扁平,说明 AB 交互作用对黄酮提取量的影响大于 AC。图 4 显示,分心木总黄酮提取得率随乙醇浓度的增加先升高后降低,随提取温度的增加而升高。图 4(b)的等高线没有图 3(b)扁平,说明 BC 的交互作用没有 AB、AC 对试验结果影响大。

用 Design-Expert 8.0.6 软件对表 2 中的试验结果进行优化分析,得分心木总黄酮最优提取条件为乙醇浓度 55.25%,提取温度 80.70 ℃,回流提取时间 80.46 min,总黄酮提取得率 9.84%。结合实际,将最优提取条件调整

表 3 总黄酮提取得率的回归方程方差分析表[†]

Table 3 Analysis of variance for regression equation of flavonoid extraction yield

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	17.460	9	1.940	18.73	0.000 4
A	0.014	1	0.014	0.13	0.727 7
B	0.050	1	0.050	0.48	0.511 2
C	3.860	1	3.860	37.30	0.000 5
AB	0.200	1	0.200	1.91	0.209 3
AC	0.073	1	0.073	0.70	0.429 2
BC	0.040	1	0.040	0.39	0.554 0
A^2	2.040	1	2.040	19.65	0.003 0
B^2	2.370	1	2.370	22.88	0.002 0
C^2	7.590	1	7.590	73.29	<0.000 1
残差	0.730	7	0.100		
失拟误差	0.210	3	0.071	0.56	0.669 3
纯误差	0.510	4	0.130		
总和	18.190	16			

[†] $R^2 = 0.9601$, $R_{adj}^2 = 0.9089$ 。

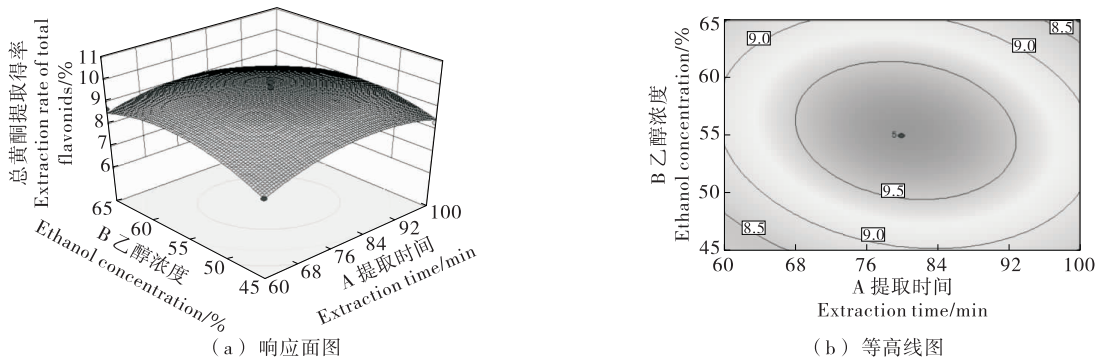


图 2 提取时间和乙醇浓度对总黄酮提取得率的交互影响

Figure 2 Interactive effects of extraction time and ethanol concentration on flavone extraction yield

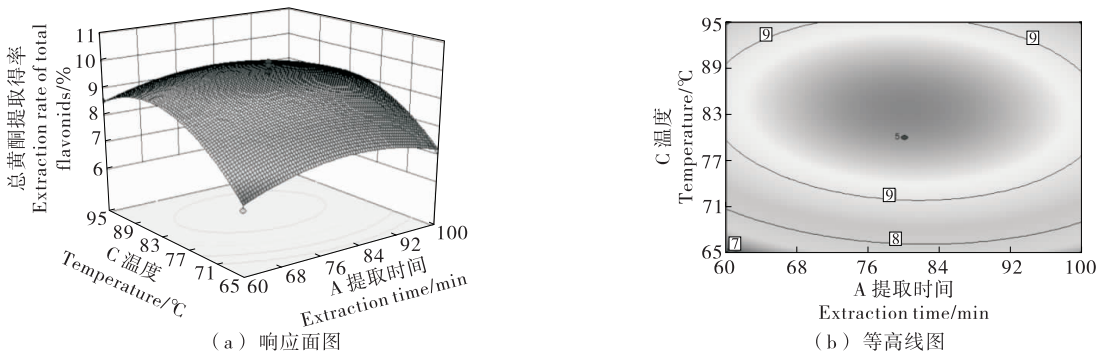


图 3 提取时间和提取温度对总黄酮提取得率的交互影响

Figure 3 Interactive effects of extraction time and temperature on flavonoid extraction yield

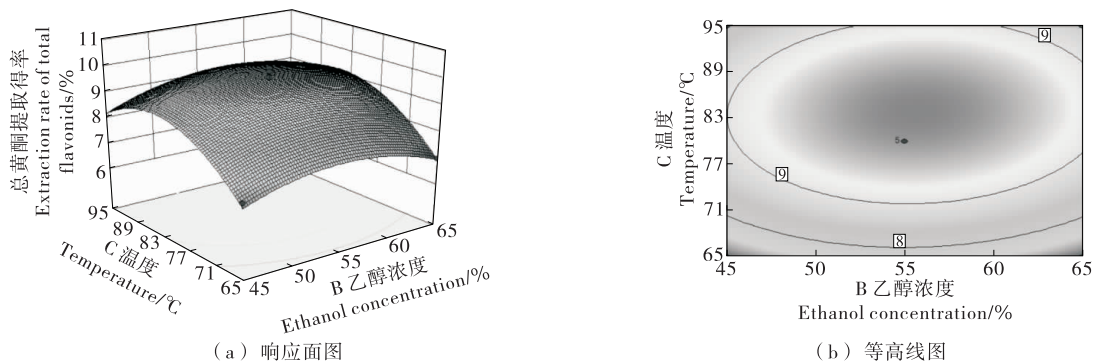


图 4 提取温度和乙醇浓度对总黄酮提取得率的交互影响

Figure 4 Interactive effects of extraction temperature and ethanol concentration on flavone extraction yield

为乙醇浓度 55%，提取温度 80 °C，回流提取时间 80 min。在此条件下，进行 3 次平行验证实验，总黄酮提取得率 9.88%，与预测值较吻合，证明该响应面优化试验结果可靠。有文献^[4-5]报道分心木中黄酮提取得率为 5.17%~6.70%，低于试验分心木黄酮提取得率，可能是因为不同地区分心木黄酮含量有所差别，或是因为不同提取条件对提取得率有影响。

2.2 分心木总黄酮体外抗氧化活性

如图 5 所示，试验范围内分心木总黄酮对 H₂O₂、O₂⁻、·OH 和 DPPH· 的清除力随浓度增加而上升。

浓度为 1 000.00 μg/mL 时，分心木总黄酮和 V_C 对 H₂O₂ 的清除力分别达到了 89.39%，99.38%，对 O₂⁻· 清除率为 89.56%，98.51%，对 ·OH 清除率为 88.04%，94.85%；浓度为 25 μg/mL 时，分心木总黄酮和 V_C 对 DPPH 的清除能力分别为 77.87%，95.55%。在 0.00~62.50 μg/mL 浓度范围内，分心木总黄酮对 ·OH 的清除能力强于同等浓度的 V_C，62.50 μg/mL 后，V_C 的清除能力强于分心木总黄酮。试验结果表明，云南核桃分心木总黄酮对 H₂O₂、O₂⁻·、·OH 和 DPPH· 具有显著的清除能力，抗氧化活性高。

2.3 分心木总黄酮对脂变 L02 肝细胞 TC 和 TG 的影响

由表 4 可知,与正常组相比,模型组 TC 和 TG 含量显著升高($P < 0.001$),说明脂变 L02 肝细胞模型建立成功;与模型组相比,阳性药非诺贝特组和分心木总黄酮

300,400 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 剂量组的 TC 和 TG 含量均显著降低,且分心木总黄酮降低脂变 L02 肝细胞 TC 和 TG 呈剂量效应。试验结果表明,分心木总黄酮降低脂肪变性 L02 肝细胞 TC 和 TG 的活性高。

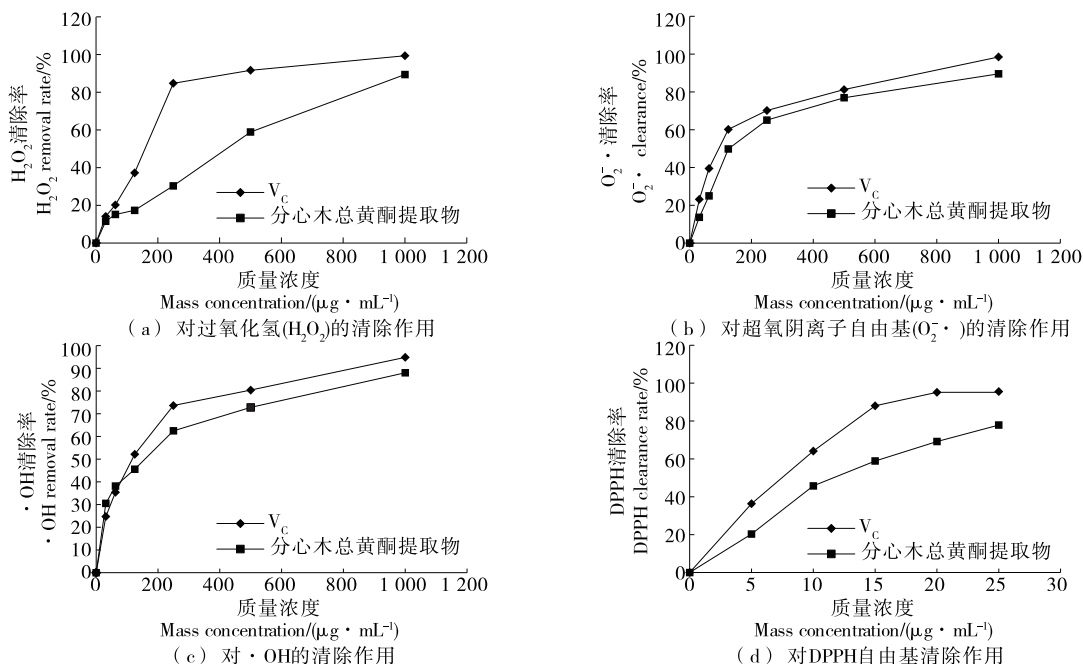


图 5 分心木总黄酮对自由基的清除作用

Figure 5 Free radical scavenging effect of distractive wood flavonoids

表 4 分心木总黄酮对脂变 L02 肝细胞 TC 和 TG 的影响[†]

Table 4 Effects of distracting flavonoids on TC and TG in Steatosis L02 liver cells

组别	剂量/ $(\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1})$	TC/ $(\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1})$	TG/ $(\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1})$
正常组	—	0.102 1 ± 0.030 1	0.729 5 ± 0.013 5
模型组	—	0.405 0 ± 0.115 3 ^{##}	1.388 0 ± 0.052 5 ^{##}
非诺贝特组	100	0.221 0 ± 0.071 9 [*]	0.990 6 ± 0.108 9 ^{**}
分心木总黄酮低剂量组	300	0.240 7 ± 0.050 9 [*]	0.961 2 ± 0.159 4 ^{**}
分心木总黄酮高剂量组	400	0.138 4 ± 0.027 6 ^{**}	0.858 2 ± 0.139 3 ^{**}

[†] 与对照组比较, #表示差异显著($P < 0.05$), ##表示差异极显著($P < 0.01$);与模型组比较, *表示差异显著($P < 0.05$), **表示差异极显著($P < 0.01$)。

3 结论

试验采用响应面设计法优化云南核桃分心木总黄酮提取最优条件:乙醇浓度 55%、提取温度 80 °C、提取时间 80 min、液固比($V_{\text{乙醇}} : m_{\text{分心木}}$)40 : 1 (mL/g),此条件下分心木总黄酮提取率为 9.88%,高于文献^[4-5]报道的(5.17%~6.70%)。抗氧化及降低 TG、TC 的研究发现,云南分心木总黄酮具有较高的抗氧化活性和降低脂肪变性 L02 肝细胞 TC 及 TG 的活性,说明分心木黄酮可开发作为食品、药品、化妆品等行业的天然抗氧化剂,可开发为降脂药物。试验未对分心木总黄酮物质进行纯化分离,未进行分心木总黄酮体内降脂作用研究,后续可采用大孔吸

附树脂、硅胶及凝胶进行分离纯化,采用高脂模型大鼠或小鼠进行分心木总黄酮的降脂作用研究,探究分心木黄酮抗氧化及降脂的量效关系、物质基础及作用机制。

参考文献

[1] ELIZUR Arnon, APPEL Michael Y, NACHSHON Liat, et al. Walnut oral immunotherapy for desensitisation of walnut and additional tree nut allergies (Nut CRACKER): A single-centre, prospective cohort study[J]. Lancet Child Adolesc Health, 2019, 3(5): 312-321.
 [2] 杨明珠, 田新雁, 肖朝江, 等. 核桃分心木化学成分与生物活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2012, 24(12): 1 707-1 711.

(下转第 182 页)

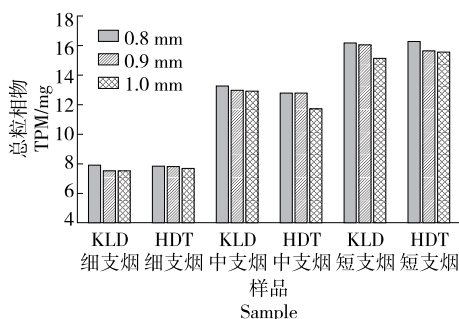


图 9 总颗粒物变化

Figure 9 Comparison of TPM amount

相比,HDT 气流烘丝卷制时的机台平整盘位置值增大,压实量减小;相同的烟支重量下,HDT 气流烘丝卷制的烟支吸阻升高,硬度增大,端部落丝减小;切丝宽度对烟支含末率和主流烟气常规指标有显著性影响($P < 0.05$);随着切丝宽度的减小,烟支含末率升高,中、细支卷烟空头率降低,主流烟气中的 CO 量、焦油量、总颗粒物、烟碱增加。

在中、细、短支卷烟开发过程中,气流干燥烟丝由于比滚筒干燥烟丝有更好的填充性能,在相同的吸阻控制条件下,可采用气流干燥烟丝来降低单支卷烟重量和焦油、一氧化碳等的释放量,气流干燥烟丝在降本增效和降焦减害上有着一定的优势^[11-14]。针对短支烟开发过程中端部落丝较高的问题,可通过提高短支烟烟丝的填充性能来改善短支烟端部落丝。针对中、细支卷烟空头率较高的问题,可通过减小切丝宽度来改善卷烟空头率。为进一步提升中、细、短支卷烟的生产效率和质量稳定性,后续还需进一步加深中、细、短支卷烟制丝工艺与卷接工艺关联影响等方面的研究。

参考文献

[1] 王金棒,洪广峰,高健,等. 细支烟研究综述[J]. 中国烟草学报, 2018, 24(5): 91-101.

[2] 朱伯和,黎礼丽,张强,等. 国产中支卷烟发展现状与市场前景分析[J]. 商场现代化, 2019(11): 1-2.

[3] 张力. 短支烟供给创新需求实践探索[N]. 东方烟草报, 2017-01-07(4).

[4] 袁海霞,郑茜,张胜化,等. 适应细支卷烟加工特性的柔性风选系统优化设计[J]. 食品与机械, 2019, 35(9): 122-126.

[5] 丁美宙,刘欢,刘强,等. 梗丝形态对细支卷烟加工及综合质量的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(9): 197-202.

[6] 高明奇,顾亮,李明哲,等. 不同规格中细支卷烟醋纤束性能研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(6): 196-200.

[7] 王天怡,高尊华,范磊,等. 基于灰色关联法的短支烟烟丝结构优化研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(7): 210-214.

[8] 王宗英,史建新,王永红,等. 切丝宽度对中式卷烟烟丝结构、烟支理化指标及感官质量的影响[J]. 烟草科技, 2020, 53(1): 81-88.

[9] 王高杰,彭玉富. 不同切丝宽度对卷烟质量的影响[J]. 轻工科技, 2017, 33(5): 107-108.

[10] 于存峰,于录,杨雷,等. 模块加工中叶丝宽度组合对卷烟质量的影响[J]. 烟草科技, 2011(6): 9-11.

[11] 王宗英,彭军仓,徐磊,等. 两种干燥工艺下叶丝加工质量的对比分析[J]. 烟草科技, 2012(11): 5-9.

[12] 高辉,邱昌桂,徐南山,等. 不同干燥方式对烟丝加工质量的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2016, 31(1): 127-135.

[13] 马逢时,周暉,刘传冰,等. 六西格玛管理统计指南[M]. 北京:中国人民大学出版社, 2007: 268-331.

[14] 凌军,杜宇,张天栋,等. 烟叶加工工艺过程中的降焦减害技术研究[J]. 湖北农业科学, 2018, 57(5): 5-8.

(上接第 146 页)

[3] 南京中医药大学编著. 中药大辞典: 上[S]. 2 版. 上海: 上海科学技术出版社, 2006: 638.

[4] 程艳刚,谭金燕,李国艳,等. 响应面法优化分心木总黄酮提取工艺[J]. 辽宁中医药大学学报, 2018, 20(2): 40-43.

[5] 赵娟娟. 响应面法优化核桃分心木黄酮类物质提取研究[J]. 衡水学院学报, 2018, 20(1): 13-17.

[6] 何薇,严成,熊雪媛,等. 超高压提取核桃分心木总黄酮工艺及动力学模型研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(21): 186-191.

[7] 张永利. 在首届中国核桃节开幕式上的讲话[J]. 河北林业, 2011(5): 6-8.

[8] 代佳和,田洋,杨舒雯,等. 云南省核桃产业发展现状及对策[J]. 农产品加工, 2019(2): 78-82.

[9] 石建春,段雅洁,李志刚,等. 核桃分心木袋泡茶制作及冲泡工艺[J]. 食品工业, 2020, 41(6): 93-97.

[10] 张旭,曹丽娟,陈朝银,等. 核桃隔开发利用的研究进展[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(23): 5 793-5 797.

[11] 梁杏,陈朝银,赵声兰,等. 响应面法优化核桃饼粕多酚提取工艺[J]. 食品科技, 2015(6): 241-246.

[12] 张春梅,陈朝银,赵声兰,等. 核桃内种皮多酚提取工艺及其体外抗氧化活性的初步研究[J]. 中国酿造, 2014, 33(7): 130-134.

[13] 曹丽娟,张旭,陈朝银,等. 原花青素对 MSG 诱导的肥胖小鼠及脂肪变性 L-02 肝细胞的降脂作用[J]. 中国酿造, 2016, 35(8): 155-158.

[14] 周旋,许明祥,蔡文卓,等. 女贞子总黄酮超声辅助提取工艺及体外抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(3): 182-188.

[15] 姜文倩,郑丹婷,韩伟. 吐温 60 协同微波提取甘草黄酮的优化[J]. 南京工业大学学报(自然科学版), 2020(5): 1-11.

[16] 许建本,苏秀芳,黄妹胶. 黄花草总黄酮超声辅助提取工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2020, 36(2): 176-181.

[17] 刘晶晶,赵泓筠,韩曜平,等. 响应面法优化菊花脑黄酮提取工艺[J]. 食品科学, 2012, 33(16): 68-71.