

莞香茶总黄酮的提取工艺优化及其亚硝酸盐清除效果

戴娟秀^{1,2}, 唐光治², 梁秀碧², 陆玉婷², 李伟桥^{1,2}, 郭莲仙^{1,2}, 李林秋^{1,2*}

1. 广东医科大学公共卫生学院, 广东东莞 523808

2. 广东医科大学公共卫生学院东莞市卫生检验与检疫重点实验室, 广东东莞 523808

摘要: **目的** 优化莞香茶总黄酮的超声波辅助提取工艺和评价莞香茶总黄酮清除亚硝酸盐的效果。**方法** 以莞香茶为试样, 乙醇为溶剂, 用响应面法确定总黄酮的最佳超声提取工艺; 同时比较莞香茶、新鲜莞香叶和其他常见发酵茶总黄酮含量及其清除亚硝酸盐的能力。**结果** 响应面法预测的最佳提取条件为: 乙醇体积分数 61.98%, 超声温度 57.92 °C, 超声时间 3.47 h, 提取率预测值为 2.76%, 与实测值 2.74% 基本一致。在最佳提取条件下测得 3 个品牌莞香茶和新鲜莞香叶总黄酮提取率分别为 2.48%、2.69%、2.79% 和 2.54%。不同茶叶中的总黄酮清除亚硝酸盐效率由高到低排序为莞香茶 3 (72.85%)、莞香茶 2 (71.06%)、乌龙茶 1 (70.93%)、新鲜莞香叶 (70.35%)、乌龙茶 2 (大红袍) (69.39%)、红茶 2 (69.38%)、普洱茶 (68.87%)、莞香茶 1 (67.14%)、红茶 1 (40.38%)。**结论** 莞香茶在乙醇体积分数 61.98%、超声温度 57.92 °C、超声时间 3.47 h 时提取总黄酮的效率好, 清除亚硝酸盐的效果佳。

关键词: 莞香茶; 总黄酮; 响应面法; 提取工艺优化; 亚硝酸盐清除率

DOI: 10.20227/j.cnki.2096-3610.2025.01.009

Optimization of extraction process and nitrite-scavenging ability of total flavones from Guanxiang Tea

DAI Juanxiu^{1,2}, TANG Guangzhi², LIANG Xiubi², LU Yuting², LI Weiqiao^{1,2}, GUO Lianxian^{1,2}, LI Linqiu^{1,2*}

1. School of Public Health, Guangdong Medical University, Dongguan 523808, China

2. Dongguan Key Laboratory of Public Health Laboratory Science, School of Public Health, Guangdong Medical University, Dongguan 523808, China

Abstract: **Objective** To optimize the ultrasonic-assisted extraction technology and evaluate the nitrite-scavenging ability of total flavonoids from Guanxiang Tea. **Methods** The paper took Guanxiang Tea into the ethanol, used response surface methodology to determine the optimal ultrasonic extraction technology for total flavonoids. At the same time, the total flavonoid content and nitrite-scavenging ability of Guanxiang Tea, fresh Guanxiang leaves and other common fermented teas were compared. **Results** The results showed that the optimal extraction conditions predicted by the response surface experiment were: ethanol concentration of 61.98%, ultrasonic temperature of 57.92 °C, ultrasonic time of 3.47 h, the predicted extraction rate of 2.76%, which was in agreement with the measured value of 2.74%. Under the optimal extraction conditions, the extraction rates of total flavonoids from three brands of Guanxiang Tea and fresh Guanxiang leaves were 2.48%, 2.69%, 2.79%, and 2.54%. The removal efficiency of total flavonoids in different tea from high to low was as follows: Guanxiang tea NO.3 (72.85%), Guanxiang tea NO.2 (71.06%), Oolong tea NO.1 (70.93%), fresh Guanxiang leaves (70.35%), Oolong tea NO.2 (Dahongpo) (69.39%), black tea NO.2 (69.38%), Puer tea (68.87%), Guanxiang tea NO.1 (67.14%) and black tea NO.1 (40.38%). **Conclusion** At ethanol concentration of 61.98%, ultrasonic temperature of 57.92 °C and ultrasonic time of 3.47 h, the extraction efficiency of total flavonoids was good, and the removal of nitrite was good.

Key words: Guanxiang Tea; total flavonoids; response surface methodology; extraction process optimization; nitrite removal rate

收稿日期: 2024-07-02

基金项目: 广东省基础与应用基础研究自然科学基金杰出青年项目(2023B1515020106), 广东省医学科研基金(A2021036), 东莞市社会发展科技项目(20231800939972), 东莞市科技特派员项目(20221800500752)

作者简介: 戴娟秀, 女, 讲师, 博士, E-mail: daijuanxiu@gdmu.edu.cn

通信作者: 李林秋, 女, 副教授, 博士, E-mail: linqiuli@gdmu.edu.cn

莞香树为瑞香科沉香属乔木,属国家二级保护植物,学名是土沉香,又常被称作白木香,被国家质量监督检验检疫总局认定为地理标志产品,在东莞地区尤为珍贵,不仅作为药用植物被广泛应用,还因其珍稀性而具有显著的经济价值^[1]。莞香产业具有巨大的市场潜力,至2019年,东莞的莞香产业规模已接近20亿元^[2]。经过一系列研究,科学家们发现莞香叶富含多种活性成分,包括多糖、有机酸、氨基酸、黄酮苷类及酚类等^[3-8],这些成分具有降血脂、抑菌、抗氧化、增强免疫和抗病毒等多重功效^[9-11]。然而,莞香叶并非传统药用部位,其科学研究起步较晚、产品开发应用相对较少,主要以莞香茶的形式存在^[12-13]。莞香茶,作为东莞地区的特色产品之一,是通过独特传统发酵工艺制成,备受欢迎。陈地灵等^[14]对沉香茶(莞香茶的一种)的水浸液进行了体外抗氧化和体内降血脂的探究,发现其具有良好的抗氧化能力和一定的降血脂效果。韩卫娟^[15]发现沉香茶能够修复因自由基损伤造成的DNA损伤,显示出其潜在的保健价值。本团队也针对莞香茶进行了初步研究,发现其黄酮类化合物对亚硝酸盐具有良好的清除作用^[16-17]。然而,罗翔宇等^[16]的提取方法仅采用了单因素法,其局限性较大,可能并未得到莞香茶黄酮的最优提取条件。为深入研究莞香茶中总黄酮的最佳提取条件,我们对比了莞香茶与市面上常见的5种发酵(或半发酵)茶中总黄酮含量及其清除亚硝酸盐的能力,现将结果报道如下。

1 材料和方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 茶叶样品 3种莞香茶;新鲜莞香叶,2020年采自东莞市大岭山镇莞香种植基地;5种发酵茶,即2种乌龙茶、2种红茶、1种普洱茶。

1.1.2 试剂 芦丁标准品($\geq 98\%$,北京索莱宝科技有限公司);硝酸铝、无水乙醇、盐酸萘乙二胺(分析纯,上海麦克林生化科技有限公司)。

1.1.3 仪器 紫外可见分光光度计(UV-1800型,美谱达仪器公司);超声清洗仪(G-3024GH,歌能公司);烘箱(101-3B,上海昕仪仪器仪表有限公司);电子天平(FB224,上海皓拂仪器仪表有限公司);旋涡振荡仪(Vortex.Genie2,美国SI公司);中药材粉碎机(JB-05,伊贝诺公司);不锈钢筛子(60目,晨兴公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 样品预处理 3个品牌莞香茶、新鲜莞香叶和5种发酵茶分别清洗干净后于40℃烘箱中烘干,然后置于干燥器中自然冷却,再用粉碎机粉碎、过筛(60目),装入密封袋置于干燥器中备用。

1.2.2 莞香茶总黄酮提取工艺流程 称取一定质量的茶粉,加入到一定体积一定体积分数的乙醇溶液中,置于400 W的超声清洗仪中超声提取一定的时间后过滤取上清液。

1.2.3 单因素实验 单因素实验参考前期发表的论文^[16],实验过程大致如下。

(1)乙醇体积分数对莞香茶总黄酮提取率的影响:1 g茶粉+15 mL乙醇+超声温度40℃+超声3.5 h,乙醇体积分数分别设置为40%、50%、60%、70%和80%,分光光度法测定总黄酮含量。

(2)茶叶(料)/乙醇(液)对莞香茶总黄酮提取率的影响:1 g茶粉+60%乙醇+超声温度40℃+超声3.5 h,乙醇体积分别设置为15、20、25、30 mL,分光光度法测定总黄酮含量。

(3)超声温度对莞香茶总黄酮提取率的影响:1 g茶粉+15 mL 60%乙醇+超声3.5 h,超声温度分别设置为40、50、60、70、80℃,分光光度法测定总黄酮含量。

(4)超声时间对莞香茶总黄酮提取率的影响:1 g茶粉+15 mL 60%乙醇+超声温度40℃,超声时间分别设置为0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3、3.5、4 h,分光光度法测定总黄酮含量。

1.2.4 响应面法 根据单因素实验结果选择影响程度较大的3因素3水平作为试验因素,以总黄酮含量作为响应值,根据Box-Behnken中心组合实验设计原理采用Design-Expert 8.0.6进行响应面优化分析,具体如表1所示。

1.2.5 总黄酮含量的测定 根据《GB/T 20574-2006 蜂胶中总黄酮含量的测定方法 分光光度比色法》测定总黄酮的含量(%),即1 g茶叶中含有总黄酮的质量。

1.2.6 总黄酮清除亚硝酸盐能力实验 亚硝酸盐清除实验参考张亚安等^[18]发表文章中的方法,实验过程大致如下:准确吸取总黄酮提取液0.25 mL于10.0 mL比色管中,分别加入磷酸二氢钠-柠檬酸缓冲液(pH=3)1 mL和5 mg/L的NaNO₂溶液各1 mL,在37℃水浴30 min后取出,马上加入0.4%对氨基苯磺酸1 mL摇匀后静置3 min,再加入0.2%盐酸萘

表1 Box-Behnken 试验设计

序号	A 因素	B 因素	C 因素
1	水平1	水平1	水平2
2	水平1	水平3	水平2
3	水平2	水平3	水平3
4	水平3	水平2	水平1
5	水平2	水平2	水平2
6	水平1	水平2	水平1
7	水平2	水平2	水平2
8	水平3	水平3	水平2
9	水平2	水平3	水平1
10	水平1	水平2	水平3
11	水平2	水平2	水平2
12	水平2	水平2	水平2
13	水平2	水平2	水平2
14	水平3	水平2	水平3
15	水平2	水平1	水平3
16	水平3	水平1	水平2
17	水平2	水平1	水平1

乙二胺溶液 0.50 mL,用水稀释到刻度处后静置 15 min。在 545 nm 波长处,以等量的总黄酮提取液作参比溶液,测定样品吸光度(A_x)。同时以蒸馏水代替样品,测定样品空白吸光度(A_0),按下式计算清除率。

$$\text{清除率} = \frac{(A_0 - A_x)}{A_0} \times 100\%$$

1.3 数据处理

每个样品测量 3 次,取其平均值作为最终测定结果。实验数据采用 Microsoft Office Excel 2010、SPSS 19.0 和 Design-Expert V8.0.6 数据分析工具进行处理。

2 结果

2.1 单因素试验结果

2.1.1 乙醇浓度对莞香茶总黄酮提取率的影响 乙醇在 40%~80% 范围内对莞香茶总黄酮提取率的影响如图 1 所示。由图可知,当乙醇体积分数分别为 40%~80% 时,莞香茶总黄酮提取率分别为 1.89%、2.41%、2.68%、2.62% 及 2.55%,提示乙醇体积分数为 60% 时,莞香茶总黄酮提取率最佳。

2.1.2 茶叶(料)/乙醇(液)对莞香茶总黄酮提取率的影响 茶叶(料)/乙醇(液)对莞香茶总黄酮提取率的影响如图 2 所示。由图可知,当料液比分别为

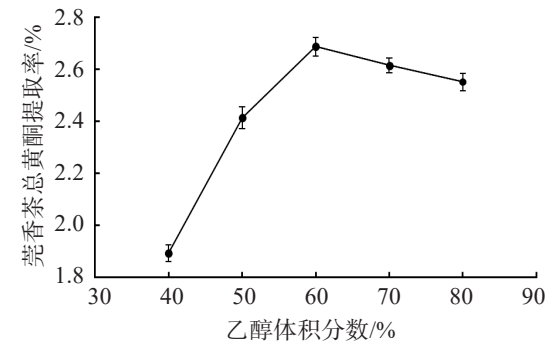


图1 不同乙醇体积分数对莞香茶总黄酮提取率的影响

1:10、1:15、1:20、1:25 及 1:30 时,莞香茶总黄酮提取率分别为 2.39%、2.73%、2.52%、2.53% 及 2.40%,提示当料:液低于 1:15 这一临界点时,莞香茶总黄酮的提取率便不再显著增加。

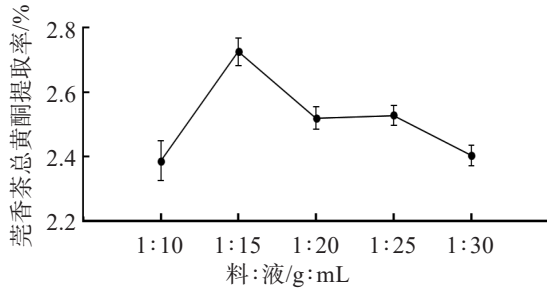


图2 不同料液比对莞香茶总黄酮提取率的影响

2.1.3 超声温度对莞香茶总黄酮提取率的影响 超声温度对莞香茶总黄酮提取率的影响如图 3 所示。由图可知,当超声温度与乙醇体积分数分别为 40~80 ℃ 时,莞香茶总黄酮提取率分别为 1.84%、2.51%、2.63%、2.58% 及 2.39%,提示超声温度对黄酮提取率的影响十分明显。

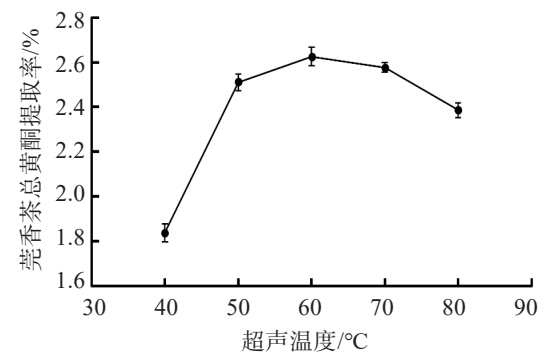


图3 不同超声温度对莞香茶总黄酮提取率的影响

2.1.4 超声时间对莞香茶总黄酮提取率的影响 超声时间对莞香茶总黄酮提取率的影响如图 4 所示。由图可知,当超声提取时间为 0~3.5 h 时,莞香茶总黄酮提取率分别为 1.69%、1.87%、2.00%、2.13%、2.27%、2.46%、2.69% 及 2.25%,提示超声时间的长

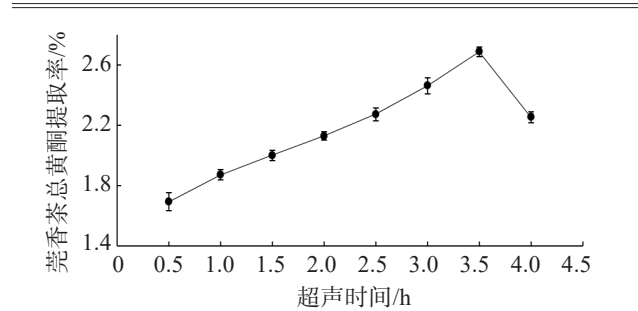


图4 不同超声时间对莞香茶总黄酮提取率的影响

短对莞香茶总黄酮的提取率具有显著影响。

2.2 响应面法

2.2.1 响应面设计及结果 根据单因素实验结果，我们选取乙醇体积分数、超声温度和超声时间3种因素的各3个水平，以莞香茶总黄酮提取率作为响应值，设计实验因素与水平表(如表2)。试验设计及结果见表3。

2.2.2 模型的建立及其显著性检验 采用 Box-Behnken 法以 Design-Expert 8.0.6 进行数据分析，对表3数据进行拟合，得到以下二次多项回归方程： $Y = -2.73A^2 - 2.69B^2 - 2.71C^2 - 0.063AB - 0.035AC - 0.21BC + 0.076A - 0.080B - 0.064C + 7.74$ 。式中Y为总黄酮提取率(%),A为乙醇体积分数(%),B为超声温度(°C),C为超声时间(h)。回归模型各项系数的显著性检验结果和方程的方差分析结果见表4。根据响应面法的原理^[19]分析表4结果可知，该回归模型是显著的($P < 0.01$)，回归模型的决定系数 $R^2 = 0.9999$ 与校正决定系数 $R^2_{adj} = 0.9998$ 接近，失拟项

表2 响应面因素及水平表			
水平	A (乙醇体积分数/%)	B (超声温度/°C)	C (超声时间/h)
1	50%	50 °C	3.0 h
2	60%	60 °C	3.5 h
3	70%	70 °C	4.0 h

表3 Box-Behnken 试验设计及结果				
序号	A(乙醇体 积分数/%)	B(超声温 度/°C)	C(超声时 间/h)	总黄酮提 取率(%)
1	3	3	2	2.25
2	3	1	2	2.57
3	2	1	1	2.25
4	1	2	3	2.20
5	2	2	2	2.71
6	3	2	3	2.25
7	2	2	2	2.75
8	1	1	2	2.26
9	2	1	3	2.55
10	3	2	1	2.46
11	2	2	2	2.74
12	2	2	2	2.73
13	2	2	2	2.77
14	1	2	1	2.27
15	2	3	1	2.54
16	1	3	2	2.19
17	2	3	3	2.01

表4 响应面法结果方差分析表					
方差来源	平方和	自由度	均方	F	P
模型	0.96	9	0.11	108.50	< 0.000 1
A	0.047	1	0.047	47.36	0.000 2
B	0.051	1	0.051	52.13	0.000 2
C	0.033	1	0.033	33.10	0.000 7
AB	0.016	1	0.016	15.91	0.005 3
AC	4.900E-003	1	4.900E-003	4.99	0.060 6
BC	0.17	1	0.17	175.36	< 0.000 1
A ²	0.23	1	0.23	231.74	< 0.000 1
B ²	0.15	1	0.15	154.76	< 0.000 1
C ²	0.19	1	0.19	193.59	< 0.000 1
残差	6.875E-003	7	9.821E-004		
失拟项	4.875E-003	3	1.625E-003	3.25	0.142 3
纯误差	2.000E-003	4	5.000E-004		
总差	0.97	16			

$P=0.1423>0.05$,说明该回归模型与实验数据拟合程度高,误差小。因此,可以用该模型分析和预测莞香茶总黄酮的提取效果。模型中的A、B、C、AB、BC、 A^2 、 B^2 、 C^2 差异极显著,AC项差异不显著。A、B的 P 值一致,说明A、B影响程度极度相似,均大于C。从F值可得3个因素对得率的影响程度为 $A>B>C$,即乙醇体积分数>超声温度>超声时间。

2.2.3 响应面分析与工艺优化 用Design-Expert软件对表3数据进行三元二次回归拟合,各两因素交互作用响应面图如图5~7所示。从图中可知,乙醇体积分数(A)的曲面相对超声温度(B)的曲面较陡,超声温度(B)的曲面相对超声时间(C)较陡。综上,确定回归模型预测的最佳工艺条件为:乙醇体积分数61.98%,超声温度57.92℃,超声时间3.47 h,提取率预测值为2.76%。考虑到实际的操作条件,确定

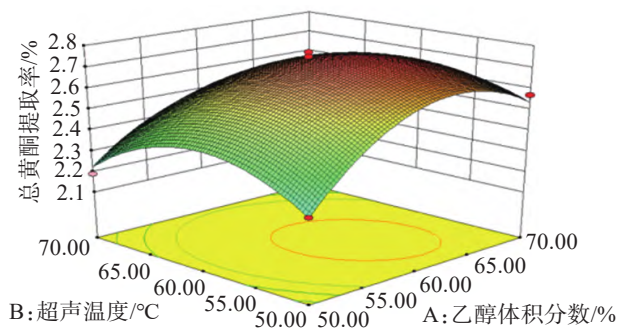


图5 超声温度与乙醇体积分数对莞香茶总黄酮提取率的影响

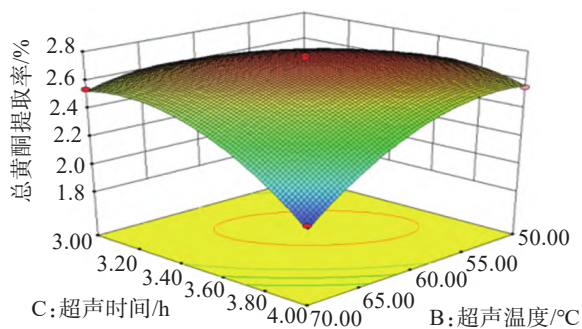


图6 超声时间与超声温度对莞香茶总黄酮提取率的影响

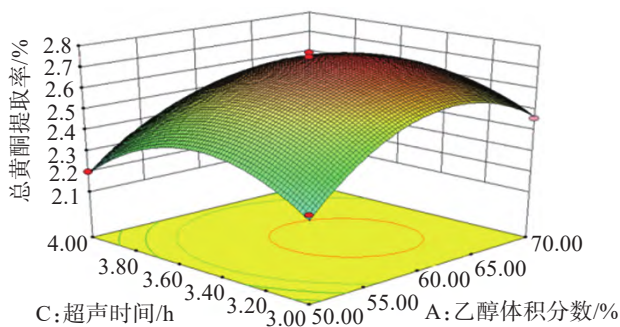


图7 超声时间与乙醇体积分数对莞香茶总黄酮提取率的影响

总黄酮提取的最优工艺为:乙醇60%、超声温度60℃、料:液为1:15、超声时间3.5 h。在此条件下管香茶总黄酮提取率为2.74%($n=5$),与理论值2.76%较为接近,提示在此优化条件下提取莞香茶内总黄酮效果好。

2.3 不同品牌莞香茶与新鲜莞香叶总黄酮含量比较

在预测的最佳工艺条件下提取不同品牌莞香茶以及新鲜莞香叶的总黄酮,结果如图8所示。由图可知,莞香茶1、莞香茶2和莞香茶3的总黄酮提取率分别为2.48%、2.69%和2.79%,新鲜莞香叶总黄酮提取率为2.54%。

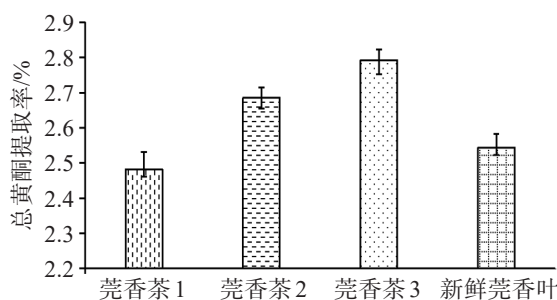


图8 不同品牌莞香茶及新鲜莞香叶中总黄酮含量比较

2.4 莞香茶与其他发酵茶总黄酮清除亚硝酸盐能力比较

用预测的最佳工艺条件分别提取不同品牌莞香茶、新鲜莞香叶及其它常见发酵茶的总黄酮,然后进行清除亚硝酸盐能力,结果详见图9。由此可知,不同茶叶中的总黄酮清除亚硝酸盐效率由高到低排序为莞香茶3(72.85%)、莞香茶2(71.06%)、乌龙茶1(70.93%)、新鲜莞香叶(70.35%)、乌龙茶2(大红袍)(69.39%)、红茶2(69.38%)、普洱茶(68.87%)、莞香茶1(67.14%)、红茶1(40.38%)。其中莞香茶总黄酮含量与清除亚硝酸盐的能力存在

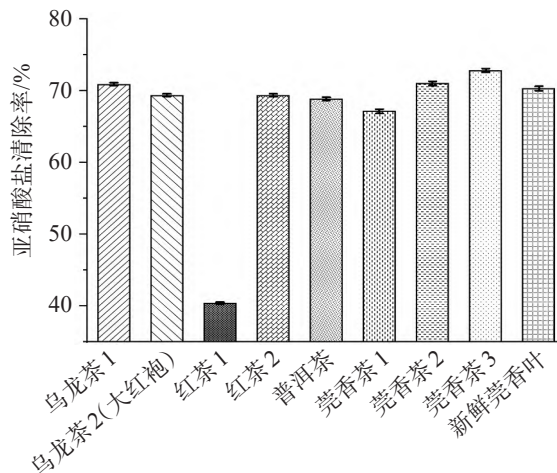


图9 莞香茶与5种发酵茶中的总黄酮对亚硝酸盐清除能力比较

明显的量效关系,清除效率从高到低依次为莞香茶3(72.85%)、莞香茶2(71.06%)、新鲜莞香叶(70.35%)、莞香茶1(67.14%),与其总黄酮含量(从高到低)的排序一致,且新鲜莞香叶的亚硝酸盐清除效率与莞香茶3、莞香茶2比较,差异不明显。为更加全面地评价莞香茶清除亚硝酸盐的能力,我们还将莞香茶黄酮与5种常见发酵茶中总黄酮清除亚硝酸盐效果作对比。除了莞香茶1,其余两个品牌的清除能力比其他茶种更强,其中,莞香茶3更是比红茶1高出1.8倍。对比于其他常见发酵茶,本研究的结果提示虽然新鲜莞香叶中含有丰富的总黄酮,但不同的制作工艺、茶叶的产地及年份等因素均会影响茶叶中的总黄酮含量及其清除亚硝酸盐的能力。

3 讨论

本研究发现乙醇体积分数、料/液、超声温度、超声时间等因素均可影响莞香茶中总黄酮的提取,且通过响应面法可获得莞香茶总黄酮的最佳提取条件。

乙醇体积分数在40%~60%时,乙醇的增加可提高提取率,可能与其提升黄酮类化合物溶解度有关^[19]。而当乙醇体积分数过高时,又会使得一些醇溶性杂质和色素等物质的浸出量增多,上述这些物质结合乙醇-水分子,与黄酮类化合物形成竞争关系,最终导致黄酮的提取率出现下降^[20]。此外,乙醇体积分数过高,其成本也增加。综合上述因素,选择乙醇体积分数为60%时是一个比较合适的平衡点。而本研究结果与课题组前期结果^[16]相似,说明方法重复性好。

料/液为1/15时莞香茶总黄酮的提取率最佳,这一现象背后的原因可能是当料/液达到1/15时,莞香茶中的黄酮成分已基本被完全溶解出来^[20]。

已知温度升高,分子的运动速度加快,分子的扩散能力增强,可能是这种扩散能力的提升增加了黄酮分子与乙醇水溶液相互接触的机会,从而使得黄酮类化合物更易溶出^[19]。当超声温度超过60℃时,黄酮提取率会略有降低,这可能是由于高温条件下,黄酮中的部分热不稳定化合物可能发生氧化反应^[20],进而影响了黄酮的提取效率,导致其提取率下降。综合考虑,莞香茶总黄酮在超声温度为60℃时为适宜。

较短的超声时间无法使黄酮充分溶出,导致提

取率偏低。而过长的超声时间又可能引发问题,如部分黄酮的氧化和分解,从而同样降低提取率。此外,长时间的超声还会促使蛋白质、糖类等大量溶出^[20],这无疑增加了后续分离工作的难度。综合考虑,建议提取莞香茶总黄酮时超声3.5 h为宜。

响应面法可以通过拟合各个因素与响应值的关系,模拟得到最佳的实验条件,该方法直观、全面、快捷,被广泛运用在各种物质的提取工艺优化中^[21-22]。包芮宁等^[23]用响应面法发现乙醇体积分数对魔芋葡甘聚糖含量的影响大于超声时间;而王育红等^[24-25]用响应面法研究提取黄酮工艺的结果提示超声温度的影响大于超声时间,我们的结果与其相似。

3个品牌莞香茶中的总黄酮含量与新鲜莞香叶中的有微小差异,可能是因为不同厂家莞香叶的发酵工艺不同,使得制得的莞香茶黄酮总量稍有变化。此外,总黄酮提取率的差异还有可能源于不同品牌茶叶产地和采摘时间的差异。截至2018年,东莞全市共种植莞香树大约2万亩,数量超过120万株,主要集中在大岭山、寮步、清溪、凤岗、樟木头和东莞植物园^[2],而不同种植基地的种植方式和土地条件等因素对莞香叶的品质也会产生影响。

本实验采用响应面法优化得到莞香茶黄酮的最佳提取条件[60%乙醇、60℃、料液比1:15(g:mL)、3.5 h],3个品牌莞香茶和新鲜莞香叶总黄酮提取率分别为2.48%、2.69%、2.79%和2.54%,亚硝酸盐的清除率分别为67.14%、71.06%、72.85%和70.35%,其中莞香茶3、莞香茶2清除亚硝酸盐能力均优于乌龙茶、红茶和普洱茶。

参考文献:

- [1] 国家质量监督检验检疫总局.《质检总局关于批准对西山焦枣等产品实施地理标志产品保护的公告》(2015年第96号)[Z]. 2015-08-21.
- [2] 曹丽娟. 东莞莞香文化产业走在全国前列莞香产业规模近20亿元[N]. 东莞日报, 2019-11-25.
- [3] WANG S, WANG F, YUE C. Chemical constituents from the petioles and leaves of *Aquilaria sinensis*[J]. *Biochem Syst Ecol*, 2015, 61: 458-461.
- [4] 汪元元, 王少康, 戴月, 等. 白木香叶的研究进展[J]. *江苏预防医学*, 2019, 30(1): 59-61.
- [5] 王昊, 丁旭坡, 曾军, 等. 沉香种质资源、品质评价与形成机制研究进展[J]. *中国科学: 生命科学*, 2024, 54(10): 1885-1906.
- [6] SUN J, WANG S, XIA F, et al. Five new benzophenone

- glycosides from the leaves of *Aquilaria sinensis* (Lour.) Gilg[J]. Chinese Chem Lett, 2014, 25(12): 1573-1576.
- [7] 张健, 陆颖珊, 温嘉倩, 等. 柱前衍生-高效液相色谱法检测测定沉香叶中 γ -氨基丁酸的含量[J]. 广东医科大学学报, 2019, 37(5): 510-512.
- [8] YANG M X, LIANG Y G, CHEN H R, et al. Isolation of flavonoids from wild *Aquilaria sinensis* leaves by an improved preparative high-speed counter-current chromatography apparatus[J]. J Chromatogr Sci, 2018, 56(1): 18-24.
- [9] SILVA A, SILVA V, IGREJAS G, et al. Valorization of winemaking by-products as a novel source of antibacterial properties: new strategies to fight antibiotic resistance[J]. Molecules, 2021, 26(8): 2331.
- [10] 王健, 王萍. 毛酸浆果提取物对RAW264.7细胞的免疫调节作用[J]. 现代食品科技, 2022, 38(9): 100-110.
- [11] 王曦, 刘斌, 应剑, 等. 白木香叶功能研究进展及品质影响因素分析[J]. 热带农业科学, 2021, 41(3): 48-58.
- [12] 王再花, 陈显鹏, 杜志坚, 等. 白木香叶茶原料选择及其品质分析[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(4): 129-134.
- [13] 许利嘉, 刘海波, 马培, 等. 沉香叶茶饮的研究进展[J]. 中国现代中药, 2021, 23(9): 1525-1533.
- [14] 陈地灵, 吴祎, 林励, 等. 沉香茶提取物的体外抗氧化和体内降血脂作用评价[J]. 现代食品科技, 2013(6): 8-11, 52.
- [15] 韩卫娟. 沉香茶保护DNA氧化损伤的活性及其机制研究[D]. 广州: 广州中医药大学, 2013.
- [16] 罗翔宇, 刘朝晖, 仇楚惠, 等. 莞香叶及成茶中黄酮类化合物的提取及其对亚硝酸盐的清除率研究[J]. 生物学通报, 2018, 53(11): 44-47.
- [17] 梁婧瑶, 谢宇荀, 赖成泽, 等. 莞香茶对亚硝酸盐的清除效率研究[J]. 广州化工, 2019, 47(14): 89-91.
- [18] 张亚安, 缪将能, 王梦云, 等. 模拟胃液下柿叶提取物清除亚硝酸盐的研究[J]. 化学研究与应用, 2016, 28(2): 196-199.
- [19] CHA J, KIM C T, KIM T E, et al. Optimization of subcritical extraction process for cinnamon (*Cinnamomum Cassia Blume*) using response surface methodology[J]. Food Sci Biotechnol, 2019, 28(6): 1703-1711.
- [20] 曹春艳. 响应面法优化银杏叶黄酮提取工艺[J]. 中国食品学报, 2014, 14(4): 78-86.
- [21] 陈康, 戴志远, 沈清, 等. 响应面法提取南极磷虾磷脂及其分子种组成的测定[J]. 南方水产科学, 2017, 13(3): 104-112.
- [22] 邝鑫, 尚红梅, 姜玉杰. 响应面优化串叶松香草总黄酮的提取工艺及其抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2018, 39(4): 137-142, 149.
- [23] 包芮宁, 吴卫国, 廖卢艳, 等. 响应面法优化魔芋葡甘聚糖的纯化工艺[J]. 食品工业科技, 2023, 45(7): 210-216.
- [24] 王育红, 张晓宇, 钱志伟. 响应面优化低共熔溶剂提取黄精黄酮工艺及其生物活性研究[J]. 中国食品添加剂, 2023(6): 116-123.
- [25] 罗蓉, 蔡旭, 薛宏坤, 等. 响应面法优化超声辅助低共熔溶剂提取山楂总黄酮工艺[J]. 食品工业科技, 2022, 43(22): 229-237.
- (责任编辑: 林加西)