

茶花黄酮提取工艺优化及抗氧化活性分析

涂剑秋 徐丹鹤 陈 龙 汪雅馨 徐佳慧 井理想 李建芳

(信阳农林学院食品科学与工程学院, 河南 信阳 464000)

摘要: [目的] 优化信阳茶花黄酮的最佳提取工艺, 并比较纯化前后茶花总黄酮的体外抗氧化活性。[方法] 以信阳茶花为原料, 采用单因素试验考察乙醇体积分数、超声时间、超声功率和料液比对黄酮得率的影响规律, 并基于 Box-Behnken 试验设计建立三因素三水平优化模型, 利用大孔吸附树脂对黄酮粗提物进行纯化, 并通过测定纯化前后茶花总黄酮对 DPPH 自由基、羟自由基的清除率, 评价其体外抗氧化活性。[结果] 优化后的提取条件为: 超声时间 61 min、乙醇体积分数 62%、料液比 1:19 (g/mL), 该条件下茶花总黄酮的提取量为 9.63 mg/g, 与预测值 (9.59 mg/g) 接近。纯化前, 茶花黄酮对 DPPH 自由基和羟自由基的最高清除率分别为 87.21% 和 55.81%; 纯化后, 清除率分别提升至 97.10% 和 60.97%。通过优化提取工艺, 信阳茶花黄酮的提取量可达 9.63 mg/g, 且纯化后的茶花黄酮对 DPPH 自由基和羟自由基的清除能力均显著高于纯化前, 表明其体外抗氧化活性得到有效提升。[结论] 超声波辅助提取结合大孔吸附树脂纯化可在较高得率基础上显著增强信阳茶花黄酮的自由基清除能力。

关键词: 茶花; 黄酮; 抗氧化; 大孔吸附树脂

Extraction process optimization of *Camellia sinensis* flavonoids and their antioxidant activity

TU Jianqiu XU Danhe CHEN Long WANG Yaxin XU Jiahui JING Lixiang LI Jianfang

(College of Food Science and Engineering, Xinyang Agriculture and Forestry University, Xinyang, Henan 464000, China)

Abstract: [Objective] To optimize the extraction process of flavonoids from Xinyang *Camellia sinensis* and to compare the *in vitro* antioxidant activities of total flavonoids before and after purification. [Methods] Using Xinyang *C. sinensis* as raw material, a one-factor test is conducted to investigate the effects of ethanol volume fraction, ultrasonic time, ultrasonic power, and material-liquid ratio on the yield of flavonoids. Subsequently, a three-factor, three-level optimization model is established based on the Box-Behnken experimental design. Additionally, a macroporous adsorption resin is utilized for the purification of flavonoid crude extracts. Finally, the *in vitro* antioxidant activity of the total flavonoids is evaluated by detecting their DPPH and hydroxyl free radical scavenging rates before and after purification. [Results] The optimized extraction conditions are: an ultrasonic time of 61 min, an ethanol volume fraction of 62%, and a solid-liquid ratio of 1:19 (g/mL). Under these conditions, the extract yield is 9.63 mg/g, which is close to the predicted value (9.59 mg/g). Before purification, the highest DPPH and hydroxyl free radical scavenging rates by *C. sinensis* flavonoids are 87.21% and 55.81%, respectively; after purification, these rates are enhanced to 97.10% and 60.97%, respectively. The optimized extraction process results in an extract yield of Xinyang *C. sinensis* flavonoids at 9.63 mg/g, alongside significantly elevated DPPH and hydroxyl free radical scavenging ability after purification, indicating effectively enhanced *in vitro* antioxidant activities. [Conclusion] Ultrasonic-assisted extraction combined with macroporous adsorbent resin purification can significantly enhance the free radical scavenging ability of Xinyang *C. sinensis* flavonoids while attaining a relatively high yield.

Keywords: *Camellia sinensis*; flavonoid; antioxidant; macroporous adsorption resin

基金项目: 河南省高等学校重点科研项目计划 (编号: 24B550016); 大别山实验室重点课题研发专项 (编号: DMLP003)

通信作者: 李建芳 (1979—), 女, 信阳农林学院教授, 硕士。E-mail: 354261477@qq.com

收稿日期: 2025-04-21 改回日期: 2026-03-05

引用格式: 涂剑秋, 徐丹鹤, 陈龙, 等. 茶花黄酮提取工艺优化及抗氧化活性分析[J]. 食品与机械, 2026, 42(6): 170-178.

Citation: TU Jianqiu, XU Danhe, CHEN Long, et al. Extraction process optimization of *Camellia sinensis* flavonoids and their antioxidant activity[J]. Food & Machinery, 2026, 42(6): 170-178.

茶花(*Camellia sinensis*)是山茶科山茶属茶树的双子花器官^[1],作为一种高附加值的天然植物资源,其在食品领域的应用潜力备受关注^[2]。研究表明,茶花不仅与茶叶具有相似的营养与活性成分谱系^[3],其茶多糖、蛋白质、黄酮类化合物及水浸出物等关键成分的含量均显著高于茶叶——其中可溶性糖含量可达茶叶的4~6倍,黄酮类化合物含量为茶叶的3倍^[4]。这种独特的生化构成赋予茶花多重开发价值,目前已延伸至茶叶窈制、保健饮品(茶/酒)开发及日化产品创新等多个领域^[5]。

值得关注的是,茶花富含的黄酮类物质展现出卓越的生理活性。现代药理学研究^[6]证实,黄酮类化合物作为高效抗氧化剂,能够通过清除自由基延缓细胞氧化损伤进程,同时改善微循环、调节脂质代谢,从而降低血清胆固醇水平。该类成分还具有调控血糖代谢、维持血压稳态、抑制心血管病变及增强机体免疫等多维度健康效应^[7]。从产业发展视角,系统构建茶花的全产业链开发体系,不仅可深度挖掘其资源价值,更能通过高值化产品创新,推动茶花资源的高效利用与茶叶产业链的可持续发展。

目前茶花黄酮的提取工艺主要包括热回流提取法^[8]、有机溶剂萃取法以及超声辅助萃取法^[9]等技术。与传统提取方法相比,超声波辅助提取法具有提取效率高、耗时短、成本低等优势^[10],已成为黄酮类物质提取的常规强化手段。张桂娟等^[11]利用超声波提取鸡腿茎菜总黄酮,张佰荣等^[12]利用超声波辅助酶法提取向日葵花盘总黄酮,王萌萌等^[13]通过超声波辅助提取桑叶茶总黄酮。然而,目前尚未见采用超声波辅助法提取茶花总黄酮,并对其纯化工艺及纯化前后的体外抗氧化活性进行系统研究的报道。

作为全球最大的茶叶生产国,中国茶产业呈现种植规模大、消费需求旺盛的显著特征。以绿茶主产区信阳为例,其年产量达7.5万t,但伴随产生的茶花资源却面临利用率不足的困境——超过90%的茶花作为农业废弃物被直接遗弃或焚烧^[14]。

聚焦茶花黄酮这一关键功能成分,当前研究存在的主要问题是提取工艺的标准化研究尚不完善。研究拟以茶花中黄酮类物质为目标提取物,通过超声波辅助提取法优化黄酮提取工艺,并进行初步纯化,评价其抗氧化活性,以期为今后茶花黄酮类化合物组成分析及开发利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

茶花:采自信阳董家河;

亚硝酸钠:分析纯,青岛明月海藻酸钠集团有限公司;

硝酸铝、氢氧化钠:分析纯,河北永骅耐磨材料有限公司;

无水乙醇:分析纯,武汉市中天化工有限责任公司;

DPPH:分析纯,上海麦克林生化科技有限公司;

维生素C(V_C):分析纯,上海阿拉丁生化科技有限公司;

硫酸亚铁、过氧化氢、水杨酸、氯化氢:分析纯,郑州派尼化学试剂厂。

1.2 仪器与设备

分析天平:CP214型,上海奥豪斯仪器有限公司;

紫外分光光度计:A390型,上海翱艺仪器有限公司;

电热恒温水浴锅:XMTD-7000型,北京市永光明医疗仪器有限公司;

离心机:TGL-16C型,上海安亭科学仪器厂;

超声波清洗仪:SY-100型,上海宁商超声仪器有限公司;

真空干燥箱:DZF-6090型,上海一恒科学仪器有限公司;

粉碎机:MDJ-A01Y1型,小熊电器股份有限公司;

旋转蒸发仪:SY-5000型,上海亚荣生化仪器厂;

真空冷冻干燥机:FD-1A-80型,上海比朗仪器制造有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 茶花预处理 对新鲜茶花原料于干燥温度(60±2)℃、真空度≤10 Pa的条件下进行30 h连续真空干燥,干燥之后用粉碎机制成粉末,过100目筛网,于-20℃下保存。

1.3.2 芦丁标准曲线绘制 参照徐嘉鸿等^[15]的方法稍作修改,以无水乙醇配制0.2 mg/mL的芦丁标准溶液。

分别取1,2,3,4,5 mL不同体积的芦丁标准溶液于25 mL容量瓶中,加入无水乙醇使体系体积为15 mL。随后依次加入10%硝酸铝溶液和5%亚硝酸钠溶液各1 mL,混匀并避光反应10 min,之后加入4%氢氧化钠溶液10 mL,用蒸馏水定容,静置15 min。在510 nm处测定吸光值,按照上述方法得到芦丁的标准曲线和标准曲线的回归方程。

1.3.3 茶花黄酮提取液制备及浸提量计算

(1) 黄酮提取液制备:参照刘子瑄等^[16]的方法略作修改。按料液比1:20(g/mL)向茶花粉末中加蒸馏水,混匀,加入40 mL体积分数为60%的乙醇溶液,以40℃、250 W的条件超声提取40 min,3 000 r/min离心10 min,上清液即为茶花黄酮提取液。

(2) 黄酮提取量计算:参照徐嘉鸿等^[15]的方法略作修改。吸取1.0 mL茶花黄酮样品至25 mL容量瓶中,依次加入6 mL蒸馏水及1 mL 5%亚硝酸钠水溶液,混匀后静置5 min。随后加入1 mL 10%硝酸铝水溶液,混匀并继续

反应 5 min, 再加入 10 mL 4% 氢氧化钠溶液, 以蒸馏水定容, 静置 15 min。于 510 nm 处测定吸光度, 由芦丁标准曲线回归方程可得出总黄酮质量浓度, 按式(1)计算黄酮提取量。

$$Q = \frac{\rho V N}{M}, \quad (1)$$

式中:

Q ——黄酮提取量, mg/g;

ρ ——茶花总黄酮的质量浓度, mg/mL;

V ——提取液体积, mL;

N ——提取液的稀释倍数;

M ——茶花试样总质量, g。

1.3.4 单因素试验 在提取时间 40 min、料液比 1:20 (g/mL)、乙醇体积分数 60%、超声功率 250 W 的基础上, 分别考察乙醇体积分数、料液比、超声时间及超声功率对茶花黄酮提取量的影响。

1.3.5 响应面试验 在单因素试验设计基础上, 以茶花中黄酮提取量为响应值, 采用 Design-Expert 13 软件设计 Box-Behnken 试验^[17], 确定最佳工艺参数。

1.3.6 茶花黄酮纯化 参照翟连林等^[18]的方法略作修改: 将黄酮提取液分装后预冻至完全冻结 (-20 °C 预冻后转 -80 °C 进一步冻结), 再置于真空冷冻干燥机中进行冻干; 冻干前冷阱预冷 ≥ 30 min, 冷阱温度控制在 ≤ -80 °C, 系统真空度控制在 15 Pa, 冻干 24 h。取冻干样品配制成质量浓度为 1.8 mg/mL 的溶液, 置于预处理好的大孔树脂中吸附 1 h, 树脂的吸附量达到饱和时, 用体积分数 75% 的乙醇溶液洗脱, 控制 1.5 mL/min 的洗脱流量。用 20 个 10 mL 的离心管收集洗脱液, 测定各管溶液的吸光度, 以离心管的管数为横坐标, 以每管测得的吸光度为纵坐标, 得到样品的洗脱曲线。根据洗脱曲线峰值选择对应离心管内样液, 再次按上述冻干条件处理, 即得纯化后的黄酮。

1.3.7 茶花黄酮纯度测定 将茶花黄酮溶于蒸馏水配制成 1 mg/mL 的溶液, 使用紫外—可见分光光度计, 在 190~400 nm 范围内进行全波长扫描, 判断是否有核酸及蛋白质存在^[19]。

1.3.8 茶花黄酮抗氧化活性测定

(1) DPPH 自由基清除率: 参照张会香等^[20]与杨宗玲等^[21]的方法略作修改。取 0.126 5, 0.505 1, 1.136 4, 2.020 3, 3.156 7 mg/mL 的茶花黄酮粗提取液与 DPPH 溶液、无水乙醇反应, 在 517 nm 处测定上述溶液的吸光度值。按式(2)计算 DPPH 自由基清除率。

$$I = \left(1 - \frac{A_s - A_0}{A_c}\right) \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

I ——DPPH 自由基清除率, %;

A_s ——DPPH 与茶花黄酮溶液反应后的吸光度;

A_0 ——茶花黄酮溶液的吸光度;

A_c ——未加入样品溶液反应的吸光度。

(2) 羟自由基清除率: 参照张倩茹^[22]的方法略作修改。取 5 支试管, 向每支管中分别加入 2 mL 上述稀释后的茶花黄酮粗提取液、2 mL 9 mmol/L 的 FeSO_4 溶液以及 2 mL 8.8 mmol/L 的 H_2O_2 溶液, 摇晃使其均匀后放置 10 min。然后添加 2 mL 9 mmol/L 的水杨酸乙醇溶液, 摇晃使其均匀并放置 30 min 后, 在 510 nm 处测定吸光值 (A_i)。2 mL 蒸馏水与 2 mL 9 mmol/L 的 FeSO_4 溶液、2 mL 8.8 mmol/L 的 H_2O_2 溶液按照上述步骤反应后测定吸光值 (A_0)。吸取 2 mL 上述不同浓度梯度的茶花黄酮粗提取液、2 mL 8.8 mmol/L 的 H_2O_2 溶液以及 2 mL 蒸馏水混匀后按上述步骤反应后测定吸光值 (A_j)。按式(3)计算羟自由基清除率。

$$D = \left(1 - \frac{A_i - A_j}{A_0}\right) \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

D ——羟自由基清除率, %;

A_i ——样品与茶花黄酮溶液反应的吸光度;

A_j ——茶花黄酮溶液的吸光度;

A_0 ——未添加茶花黄酮溶液的吸光度。

1.4 数据处理

将上述所得试验数据使用 SPSS 20 进行数据分析和 Origin 软件绘制图表, 使用 Design-Expert 13 软件进行响应面回归方程的建立及图形的绘制, 并对所得数据进行系统分析。

2 结果与分析

2.1 芦丁标准曲线分析

根据测得的数据, 绘制芦丁标准曲线如图 1 所示, 其标准曲线的回归方程为 $Y = 13.779X - 0.0039$, $R^2 = 0.9951$, 芦丁质量浓度在 0.00~0.04 mg/mL 范围内呈现出良好的

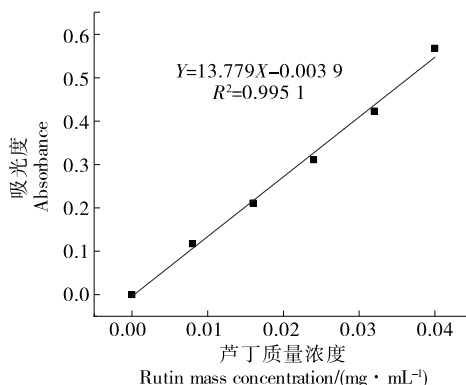


图 1 芦丁标准曲线

Figure 1 Rutin standard curves

线性关系,该曲线可用于测定茶花中黄酮含量。

2.2 单因素试验

2.2.1 乙醇体积分数对茶花黄酮提取量的影响 如图2所示,乙醇体积分数对茶花黄酮提取量具有显著影响。当乙醇体积分数由50%增加至60%时,茶花黄酮提取量随之提高;但当乙醇体积分数继续升高时,其提取量反而出现明显下降($P<0.05$)。这与许晖等^[23]的研究结果类似。主要是因为适量的乙醇体积分数可特异性溶解黄酮类物质,当乙醇体积分数过高时,体系中脂溶性物质增多,这些物质与黄酮的浸出存在竞争关系,致使黄酮提取量下降^[24]。因此,乙醇体积分数宜控制在60%左右。

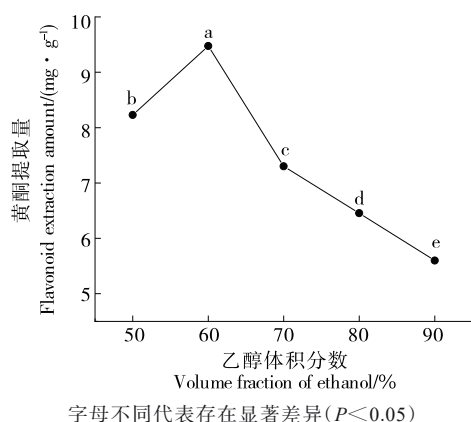


图2 乙醇体积分数对茶花黄酮提取量的影响

Figure 2 Effect of ethanol volume fraction on *C. sinensis* flavonoid extraction yield

2.2.2 料液比对茶花黄酮提取量的影响 如图3所示,料液比从1:10 (g/mL)到1:20 (g/mL)时,黄酮提取量显著上升($P<0.05$);当料液比 $>1:20$ (g/mL)时,黄酮提取量呈下降趋势($P<0.05$),该趋势与乙醇体积分数对提取量的影响具有相似特征。主要是因为适当增加溶剂可增强

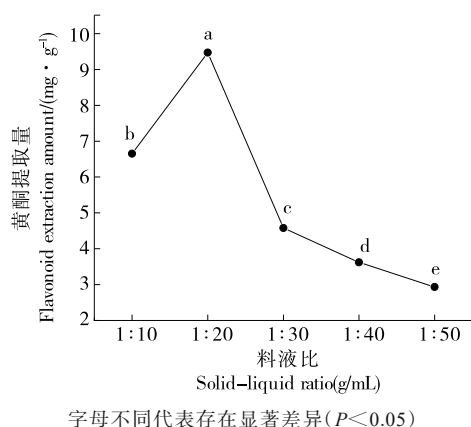
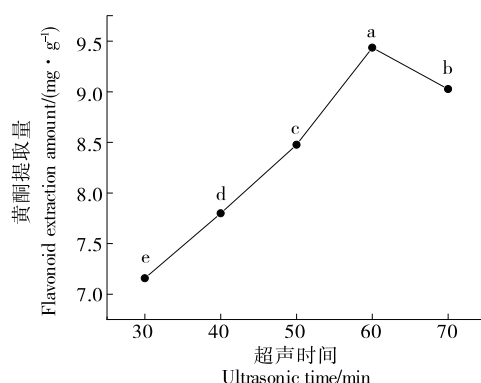


图3 料液比对茶花黄酮提取量的影响

Figure 3 Effect of solid-liquid ratio on *C. sinensis* flavonoid extraction yield

固液传质效率^[25],但溶剂过量会降低单位体积溶质浓度梯度,降低传质驱动力,并削弱黄酮类物质的溶解选择性^[26]。此外,溶剂过量会加剧细胞壁破裂程度,导致果胶和多糖等大分子竞争性溶出^[27]。因此,料液比宜控制在1:20 (g/mL)左右。

2.2.3 超声时间对茶花黄酮提取量的影响 如图4所示,超声处理时间对茶花黄酮提取量具有明显影响,在不同超声时间下,其提取量变化表现出先升高后降低的特征,其中60 min下,黄酮提取量最大,为9.44 mg/g。主要是由于超声波的空穴效应可以促进黄酮类物质溶出,而超声时间过长,溶出部分的黄酮类化合物可能会由于长时间的超声波机械效应发生氧化分解,导致黄酮的提取量降低^[28]。因此,超声时间宜控制在60 min左右。



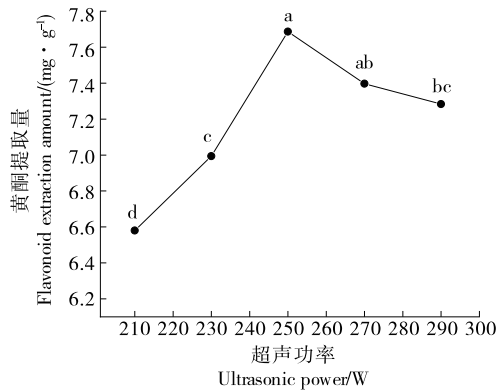
字母不同代表存在显著差异($P<0.05$)

图4 超声时间对茶花黄酮提取量的影响

Figure 4 Effect of ultrasonic time on *C. sinensis* flavonoid extraction yield

2.2.4 超声功率对茶花黄酮提取量的影响 如图5所示,黄酮提取量随超声功率增加呈先升后降的变化趋势,与李湘等^[29]的研究结论一致。当超声功率为250 W时,黄酮提取量达到峰值,此后随着功率继续增加黄酮提取量显著下降($P<0.05$)。主要是因为适度超声空化效应可促进黄酮类物质的溶出,而高超声功率下可能会导致植物细胞壁破裂程度过大^[30],溶出更多的多糖、蛋白质等竞争性物质。此外,超声处理的热效应也可能导致溶液的局部过热,造成热敏性成分失活^[31]。因此,过高的超声功率不利于茶花黄酮的有效提取,超声功率宜控制在250 W左右。

2.2.5 单因素显著性分析 通过SPSS进行单因素数据分析,结果表明,不同因素对茶花黄酮提取量的影响程度存在明显差异,其中乙醇体积分数、料液比及超声时间均达到极显著水平($P<0.01$),而超声功率的影响为显著水平($P<0.05$)。根据各因素对应的 F 值大小确定其对茶花黄酮提取量的影响强度依次为:料液比 $>$ 乙醇体积分



字母不同代表存在显著差异 ($P<0.05$)

图5 超声功率对茶花黄酮提取量的影响

Figure 5 Effect of ultrasonic power on *C. sinensis* flavonoid extraction yield

数>超声时间>超声功率。因此,选取对提取效果影响极显著的3个因素进行后续响应面试验。

2.3 响应面试验

2.3.1 响应面试验设计与结果 根据单因素试验的分析结果,确定对茶花黄酮提取量影响极显著的因素。以超声时间、料液比和乙醇体积分数作为考察变量,茶花黄酮提取量作为响应指标,采用 Box-Behnken 响应面分析方法对提取工艺参数进行优化。各试验因素及其对应水平见表1,响应面试验的设计方案及结果见表2。

表1 响应面试验因素水平表

Table 1 Factors and levels of response surface experiment

编码水平	A 超声时间/ min	B 料液比 (g/mL)	C 乙醇体积分数/%
-1	50	1:10	50
0	60	1:20	60
1	70	1:30	70

2.3.2 方差分析 采用二次多项式模型对表2数据进行响应面拟合,得到回归方程:

$$Y=9.47+0.35A-0.55B+0.48C+0.24AB-0.35AC+0.35BC-0.88A^2-1.47B^2-0.74C^2。(4)$$

方差分析结果表明,该回归模型极显著性($P<0.01$),且失拟项不显著($P>0.05$),说明模型拟合程度较高,误差处于可接受范围内。模型的决定系数(R^2)为0.996 6,校正决定系数(R^2_{Adj})为0.992 3,表明该模型能够解释99.23%的响应值变异。变异系数为1.30% ($<10\%$),信噪比为44.821 (>4),表明模型具有优异的预测精度和重复性。根据回归模型 F 值评估,各因素对茶花黄酮提取率的影响强度依次为:料液比>乙醇体积分数>超声时间。

2.3.3 因素交互作用分析 超声时间、料液比和乙醇体

表2 响应面试验设计及结果

Table 2 Designs and results of response surface experiment

试验号	A	B	C	黄酮提取量/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)
1	0	0	0	9.61
2	0	0	0	9.33
3	1	1	0	7.09
4	0	-1	1	7.86
5	0	0	0	9.45
6	-1	0	-1	6.61
7	1	-1	0	7.78
8	0	1	-1	5.96
9	1	0	-1	8.07
10	0	0	0	9.53
11	-1	-1	0	7.64
12	0	-1	-1	7.68
13	-1	1	0	5.98
14	0	1	1	7.56
15	-1	0	1	8.32
16	0	0	0	9.43
17	1	0	1	8.39

表3 响应面方差分析结果[†]

Table 3 Response surface ANOVA results

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	22.52	9	2.50	230.43	0.000 1	**
A	0.97	1	0.97	88.95	0.000 1	**
B	2.39	1	2.39	219.79	0.000 1	**
C	1.81	1	1.81	167.07	0.000 1	**
AB	0.24	1	0.24	21.66	0.002 3	**
AC	0.48	1	0.48	44.47	0.000 3	**
BC	0.50	1	0.50	46.41	0.000 3	**
A ²	3.28	1	3.28	301.93	0.000 1	**
B ²	9.04	1	9.04	832.06	0.000 1	**
C ²	2.31	1	2.31	212.30	0.000 1	**
残差	0.08	7	0.01			
失拟项	0.03	3	0.01	0.93	0.504 1	不显著
纯误差	0.05	4	0.01			
总和	22.60	16				

[†] *为显著 ($P<0.05$); **为极显著 ($P<0.01$); $R^2=0.996\ 6$; $R^2_{Adj}=0.992\ 3$; 变异系数为1.30%; 信噪比为44.821。

积分数3个因素之间的交互作用对茶花黄酮提取量影响的响应面分析图如图6所示。在响应面图中,曲面坡度越陡,投影所形成的等高线就越密集,两因素的交互作用影响就越大。由图6可知,超声时间、料液比和乙醇体积分

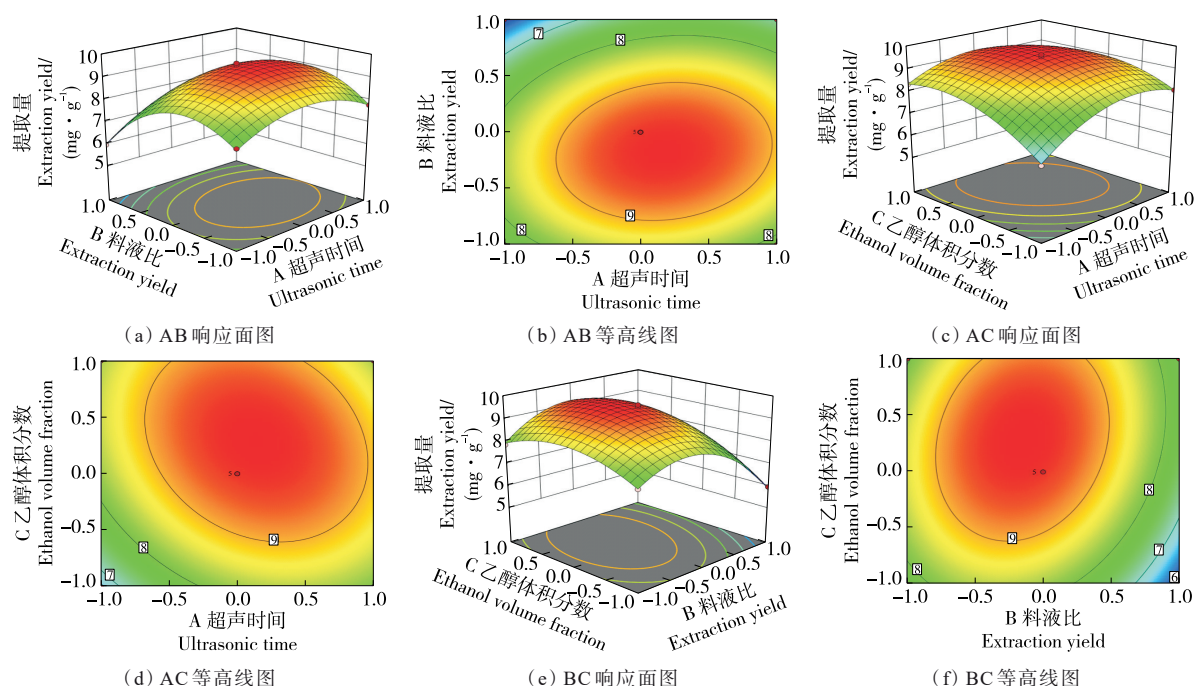


图6 因素交互作用对茶花黄酮提取量影响的响应面图和等高线图

Figure 6 Response surface and contour plots showing the effects of factor interactions on *C. sinensis* flavonoid extraction yield

数3个因素之间的交互作用的强弱依次为 $BC > AC > AB$ 。

2.3.4 最佳提取工艺验证 经过响应面验证后,得到最优的茶花黄酮提取工艺为超声时间 61.26 min,料液比 1:19 (g/mL),乙醇体积分数 62.57%,该条件下的预测值为 9.59 mg/g。为方便试验操作,将其调整为超声时间 61 min,料液比 1:19 (g/mL),乙醇体积分数 62%。验证实验重复 3 次,结果取其平均值,测得黄酮提取量为 9.63 mg/g(相对标准偏差为 0.21%),与预测值接近。说明建立的模型可以用于指导茶花黄酮的提取工艺。

2.4 茶花黄酮纯化

2.4.1 洗脱曲线分析 将按最优方案提取茶花黄酮提取液放入旋转蒸发器中去除乙醇,随后冷冻干燥得到固体,根据 1.3.6 中的方法绘制洗脱曲线。由图 7 可知,洗脱过程中仅出现一个明显洗脱峰,该峰对应连续收集的多个离心管,其中第 4 号管和第 5 号管处于峰顶区域,吸光度较高。因此,选取第 4 号管和第 5 号管内的洗脱液合并,冷冻干燥后得到纯化的茶花黄酮。

2.4.2 纯度鉴定 组成蛋白质的各种氨基酸在可见光区无光吸收,而在紫外光区仅色氨酸、酪氨酸和苯丙氨酸紫外线有吸收能力^[32]。其中色氨酸的最大吸收波长为 279 nm,酪氨酸的为 278 nm,苯丙氨酸的为 259 nm,因此可在紫外光区 280 nm 处对蛋白质含量进行评估^[33]。此外,核酸(包括 DNA 或 RNA)中的嘌呤碱和嘧啶碱均具有共轭双键,使碱基、核苷、核苷酸和核酸在紫外光区 240~

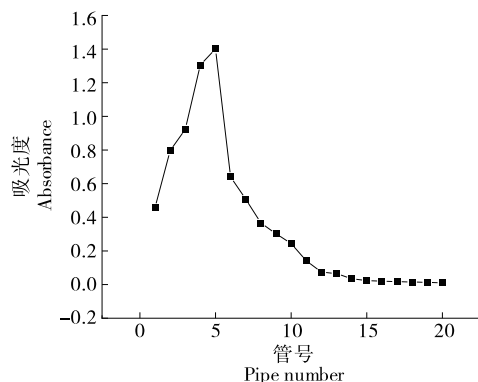


图7 洗脱曲线

Figure 7 Elution curves

290 nm 波段有一个强烈的吸收峰,最大吸收值在 260 nm 附近^[34]。在茶花黄酮的紫外—可见光 200~400 nm 范围内扫描结果如图 8 所示,观察到纯化后的茶花黄酮在 260 nm(核酸特征吸收峰)和 280 nm(蛋白质特征吸收峰)处均未检测到特征吸收峰,说明纯化后的茶花黄酮中不存在核酸及蛋白质。

2.5 茶花黄酮抗氧化活性分析

2.5.1 DPPH 自由基清除活性 由图 9 可知,在 0.126 5~3.156 7 mg/mL 的质量浓度范围内,纯化前后的茶花黄酮对 DPPH 自由基清除率均呈现显著剂量效应关系。当质量浓度达到 3.156 7 mg/mL 时,纯化后的茶花黄酮对 DPPH 自由基的清除率达到 $(97.10 \pm 0.85)\%$,较纯化前提

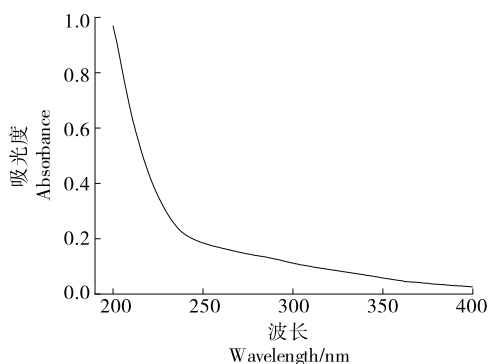
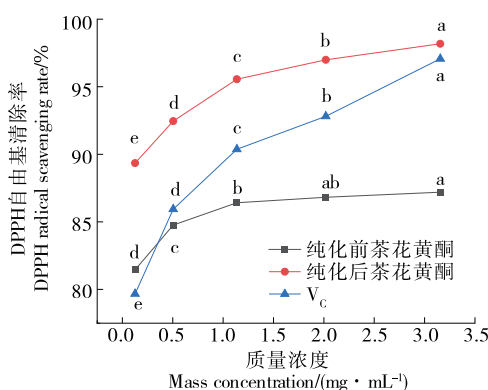


图 8 茶花黄酮的紫外—可见光扫描图谱

Figure 8 UV-visible absorption spectrum of *C. sinensis* flavonoids

同一曲线上的字母不同代表存在显著差异 ($P < 0.05$)

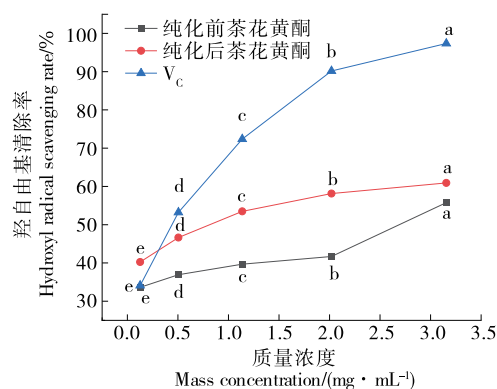
图 9 V_c 与黄酮样品 DPPH 自由基清除率的比较Figure 9 Comparison of DPPH free radical scavenging rates between vitamin C (V_c) and flavonoid samples

升 11.34% ($P < 0.05$); 且在相同质量浓度下, 纯化后的茶花黄酮样品对 DPPH 自由基的清除率整体高于 V_c 。值得注意的是, 在整个测试浓度区间, 纯化前后的茶花黄酮对 DPPH 自由基的清除率始终维持在 75% 以上, 这与马蕊等^[35]针对 11 种茶花的研究结论相印证。结果表明, 茶花黄酮具有突出的自由基清除能力, 且纯化工艺可显著提升其体外抗氧化活性。

2.5.2 羟自由基清除活性 由图 10 可知, 质量浓度为 0.126 5~3.156 7 mg/mL 时, 茶花黄酮对羟自由基清除率逐渐上升, 质量浓度为 3.156 7 mg/mL 时纯化前后茶花黄酮对羟自由基的清除率分别为 55.81%, 60.97%; 在相同质量浓度下, 纯化后的茶花黄酮样品对羟自由基的清除能力整体低于 V_c 。结果表明, 茶花黄酮具有突出的自由基清除能力, 且纯化工艺可显著提升其体外抗氧化活性。

3 结论

该研究以信阳茶花为原料, 采用超声波辅助提取法



同一曲线上的字母不同代表存在显著差异 ($P < 0.05$)

图 10 V_c 与黄酮样品羟自由基清除率的比较Figure 10 Comparison of hydroxyl free radical scavenging rates between V_c and flavonoid samples

优化了总黄酮的提取工艺。通过单因素及响应面实验, 确定最佳工艺条件为料液比 1:19 (g/mL)、乙醇体积分数 62%、超声时间 61 min, 此条件下黄酮提取量为 9.63 mg/g, 与预测值 (9.59 mg/g) 吻合良好。经大孔吸附树脂纯化后, 茶花黄酮对 DPPH 自由基和羟自由基的清除率分别由纯化前的 87.21% 和 55.81% 提升至 97.10% 和 60.97%, 表明纯化工艺能显著增强其体外抗氧化活性。研究结果表明, 超声波辅助提取结合大孔吸附树脂纯化是一种高效、可行的茶花黄酮制备方法, 可在保证较高提取率的同时, 有效提升产物的自由基清除能力。后续研究可进一步探讨茶花黄酮的具体组成、其他生物活性及其在功能食品中的应用潜力。

参考文献

- [1] 刘丹. 茶树花生长过程中内含成分变化及茶树花茯砖茶开发研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2021: 9.
LIU D. Study on the changes of ingredients in the growth process of tea blossom and the development of tea blossom Fu brick tea[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2021: 9.
- [2] 侯玲, 沈娴, 陈琳, 等. 茶树花蛋白质碱提和酶提工艺优化及其功能性质[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2016, 42(4): 442-450.
HOU L, SHEN X, CHEN L, et al. Optimization on alkaline and enzymatic extraction of tea flower protein and its functional properties[J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences), 2016, 42(4): 442-450.
- [3] 张欣欣, 奚迪, 张华琳, 等. 茶树花的生化成分及生理活性研究进展[J]. 农业技术与装备, 2022(1): 18-20.
ZHANG X X, XI D, ZHANG H L, et al. Research progress of biochemical components and physiological activities of tea flowers[J]. Agricultural Technology & Equipment, 2022(1): 18-20.

- [4] 李旭艳. 不同品种茶树花茶的品质形成分析[D]. 南京: 南京农业大学, 2021: 1-2.
- LI X Y. Analysis on the quality formation of tea flowers beverage from different varieties[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2021: 1-2.
- [5] 朱建新, 程福建, 林全女, 等. 茶树花资源综合利用及保健功效研究进展[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(6): 7-9.
- ZHU J X, CHENG F J, LIN Q N, et al. Research progress on the comprehensive utilization and health efficacy of tea flower resources[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2021, 49(6): 7-9.
- [6] ZENG F F, GE Z W, LIMWACHIRANON J, et al. Antioxidant and tyrosinase inhibitory activity of *Rosa roxburghii* fruit and identification of main bioactive phytochemicals by UPLC Triple TOF/MS[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2017, 52(4): 897-905.
- [7] 赵彦巧, 卜凡真, 王月, 等. 紫苏叶黄酮超声辅助提取工艺优化及其抗氧化活性[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(6): 146-152.
- ZHAO Y Q, BO F Z, WANG Y, et al. Optimization of ultrasound-assisted extraction and antioxidant activities of flavonoids from *perilla frutescens* leaves[J]. Food Research and Development, 2023, 44(6): 146-152.
- [8] 生吉萍, 宿文凡, 石家豪, 等. 茶树花黄酮类化合物研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(4): 1 019-1 026.
- SHENG J P, SU W F, SHI J H, et al. Research progress of flavonoids in tea flower[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(4): 1 019-1 026.
- [9] 陈龙, 杨晓聪, 邢淑婕, 等. 茶花多酚提取工艺优化及其抗氧化、降血糖活性分析[J]. 食品与生物技术学报, 2025, 44(8): 97-106.
- CHEN L, YANG X C, XING S J, et al. Extraction process optimization and antioxidant and blood glucose-lowering effect evaluation of polyphenols from *Camellia japonica* flowers[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2025, 44(8): 97-106.
- [10] 王蒙蒙, 崔敬爱. 蹄叶橐吾黄酮提取工艺优化及其抗氧化活性分析[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(20): 144-152.
- WANG M M, CUI J A. Optimization of extraction process of flavonoids from *Ligularia fischeri* and analysis of antioxidant activity[J]. Food Research and Development, 2023, 44(20): 144-152.
- [11] 张桂娟, 李大亮, 吕文博, 等. Box-Behnken设计优化鸡腿堇菜总黄酮超声提取工艺及抗氧化活性研究[J]. 食品与发酵科技, 2025, 61(1): 80-87.
- ZHANG G J, LI D L, LV W B, et al. Box-Behnken design optimization of the ultrasonic extraction of total flavonoids from *Viola acuminata* ledeb and research on its antioxidant activity[J]. Food and Fermentation Science & Technology, 2025, 61(1): 80-87.
- [12] 张佰荣, 刘翰轩, 邓钧尉. 超声波辅助酶法提取向日葵花盘总黄酮及其抗氧化活性研究[J]. 粮食与油脂, 2024, 37(9): 119-123, 128.
- ZHANG B R, LIU H X, DENG J W. Study on ultrasound assisted enzymatic extraction of total flavonoids from sunflower disk and its antioxidant activity[J]. Cereals & Oils, 2024, 37(9): 119-123, 128.
- [13] 王萌萌, 姚恒, 党玉东, 等. 超声波辅助提取桑叶茶总黄酮的工艺优化及其抗氧化能力研究[J]. 现代食品, 2024, 30(13): 92-95, 100.
- WANG M M, YAO H, DANG Y D, et al. Study on optimization of ultrasound-assisted extraction of total flavonoids from mulberry leaf tea and its antioxidant activity[J]. Modern Food, 2024, 30(13): 92-95, 100.
- [14] 吴钊豹, 李安生, 付仕皓, 等. 茶树花的品质成分及功效研究进展[J]. 安徽农学通报, 2024, 30(7): 94-98.
- WU Z M, LI A S, FU S H, et al. Research progress on quality components and efficacy of tea plant flowers[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2024, 30(7): 94-98.
- [15] 徐嘉鸿, 刘美美, 戚滇杰, 等. 金花茶总黄酮双水相提取工艺优化及其抗氧化活性分析[J]. 食品工业科技, 2022, 43(3): 155-161.
- XU J H, LIU M M, QI D J, et al. Optimization of aqueous two-phase extraction technology of total flavonoids from the flowers of *Camellia chrysantha* and analysis of its antioxidant activity[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(3): 155-161.
- [16] 刘子瑄, 孔馨逸, 陈璐, 等. 汉麻叶黄酮提取工艺及抗氧化活性研究[J]. 中国调味品, 2022, 47(8): 187-190.
- LIU Z X, KONG X Y, CHEN L, et al. Study on extraction process and antioxidant activity of flavonoids from *cannabis sativa* leaves[J]. China Condiment, 2022, 47(8): 187-190.
- [17] 周丹蓉, 郑少泉, 蒋际谋. 响应面法优化枇杷花总黄酮超声波辅助提取工艺的研究[J]. 热带作物学报, 2012, 33(7): 1 219-1 224.
- ZHOU D R, ZHENG S Q, JIANG J M. Optimization of ultrasonic extraction for flavonoids from loquat flowers with response surface methodology[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2012, 33(7): 1 219-1 224.
- [18] 翟连林, 赵静, 党丽娟. 响应面法优化凉粉草总黄酮纯化工艺及其成分分析与抗运动性疲劳作用研究[J]. 粮食与油脂, 2024, 37(11): 123-129.
- ZHAI L L, ZHAO J, DANG L J. Study on optimization of purification process of total flavonoids from *Mesona chinensis* by response surface methodology and analysis of its components and anti-exercise fatigue effect[J]. Cereals & Oils, 2024, 37(11): 123-129.
- [19] FENG Y Y, JI H Y, DONG X D, et al. An alcohol-soluble polysaccharide from *Atractylodes macrocephala* Koidz induces apoptosis of Eca-109 cells[J]. Carbohydr Polym, 2019, 226: 115136.

- [20] 张会香, 杨世军, 蓝华生, 等. 超声波辅助法提取百香果壳中黄酮的工艺及其抗氧化性研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(1): 123-129.
- ZHANG H X, YANG S J, LAN H S, et al. Study on extraction and antioxidant activity of flavonoids from shells of passion fruit with ultrasonic-assisted method[J]. Food Research and Development, 2020, 41(1): 123-129.
- [21] 杨宗玲, 李晗, 范方宇, 等. 超声辅助酶法提取无籽刺梨果渣中黄酮的工艺优化及其抗氧化活性[J]. 食品工业科技, 2021, 42(13): 184-192.
- YANG Z L, LI H, FAN F Y, et al. Ultrasound-assisted enzymatic extraction of flavonoids from Rosa sterilis pomace and its antioxidant activity[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(13): 184-192.
- [22] 张倩茹. 玉米芯多糖的菌酶协同发酵工艺及其体外活性研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018: 7-9.
- ZHANG Q R. Fermentation of corncob by microorganism and enzyme to produce polysaccharides and its *in vitro* activity[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2018: 7-9.
- [23] 许晖, 张斌, 马龙, 等. 超声波辅助提取花生壳总黄酮工艺优化[J]. 蚌埠学院学报, 2012, 1(1): 6-11.
- XU H, ZHANG B, MA L, et al. Optimization of technology for ultrasonic-assisted extraction of total flavonoids from peanut hulls[J]. Journal of Bengbu University, 2012, 1(1): 6-11.
- [24] 贾庆超. 超声辅助离子液体和酶解法提取鸡枞菌多酚及其抗氧化性研究[J]. 食品与机械, 2024, 40(12): 161-169.
- JIA Q Z. Study on ultrasound assisted ionic liquid and cellulolytic enzyme extraction of collybia albuminosa polyphenols and its antioxidant activity[J]. Food & Machinery, 2024, 40(12): 161-169.
- [25] 任蕊蕊, 孙建瑞, 范嘉琦, 等. 基于深共晶溶剂的桔梗多糖提取、表征及抗氧化活性[J]. 食品工业科技, 2025, 46(21): 299-308.
- REN R R, SUN J R, FAN J Q, et al. Extraction, characterization and antioxidant activity of polysaccharide from platycodon grandiflorum based on deep eutectic solvent[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(21): 299-308.
- [26] 曹雪丽, 韩笑, 李屿恺, 等. 响应面法优化泰山女儿茶总黄酮提取工艺及其抗氧化活性研究[J]. 广东化工, 2024, 51(6): 7-10, 60.
- CAO X L, HAN X, LI Y K, et al. Optimization of extraction process by response surface methodology and antioxidant activity of total flavonoids from the Nv'er tea of Mount Tai[J]. Guangdong Chemical Industry, 2024, 51(6): 7-10, 60.
- [27] BAI C L, CHEN R Z, CHEN Y B, et al. Plant polysaccharides extracted by high pressure: a review on yields, physicochemical, structure properties, and bioactivities[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 263: 129939.
- [28] RAO M V, SENGAR A S, RAWSON A, et al. Ultrasonication—a green technology extraction technique for spices: a review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 116: 975-991.
- [29] 李湘, 文瑶. 响应面法优化荞麦花黄酮提取工艺研究[J]. 云南化工, 2023, 50(8): 38-41.
- LI X, WEN Y. Response surface methodology to optimize the extraction process of buckwheat flower flavonoids[J]. Yunnan Chemical Technology, 2023, 50(8): 38-41.
- [30] LAI J J, ZHOU P, LI X Z, et al. Ultrasound-assisted deep eutectic solvent extraction of flavonol glycosides from Ginkgo biloba: optimization of efficiency and mechanism[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2025, 114: 107254.
- [31] 许思嘉, 罗诗烨, 王朝丽, 等. 超声解晶对枇杷蜜理化特性的影响[J]. 食品科学, 2025, 46(13): 292-303.
- XU S J, LUO S Y, WANG C L, et al. Effect of ultrasonic decrystallisation on physicochemical properties of loquat honey[J]. Food Science, 2025, 46(13): 292-303.
- [32] 董欣, 王丽燕. 氨基酸紫外光谱的再测定[J]. 德州学院学报, 2015, 31(2): 44-46.
- DONG X, WANG L Y. The determination of amino acids of ultraviolet absorption spectrum[J]. Journal of Dezhou University, 2015, 31(2): 44-46.
- [33] 徐澜, 安伟. 紫外分光光度法同时测定色氨酸和酪氨酸[J]. 光谱实验室, 2011, 28(5): 2 320-2 323.
- XU L, AN W. Simultaneous determination of tryptophan and tyrosine by UV spectrophotometry[J]. Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory, 2011, 28(5): 2 320-2 323.
- [34] 张发宇, 余金卫, 张浏, 等. 巢湖蓝藻藻蓝蛋白纯化过程中紫外—可见吸收光谱特征分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2017, 37(3): 806-810.
- ZHANG F Y, YU J W, ZHANG L, et al. UV-vis spectrum characteristics of phycocyanin purification in water from Chao Lake[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2017, 37(3): 806-810.
- [35] 马蕊, 林勇, 滕翠琴, 等. 茶树花体外抗氧化活性[J]. 食品工业, 2019, 40(6): 218-221.
- MA R, LIN Y, TENG C Q, et al. Antioxidant activity *in vitro* of tea flowers[J]. The Food Industry, 2019, 40(6): 218-221.