中图分类号：R94；R965　　文献标志码：A　　文章编号：1006－4931(2025)12－0035－06
doi:10.3969/j.issn.1006－4931.2025.12.010

打箭菊总黄酮提取工艺优化及抗氧化活性研究

张学敏，李牧珅，岳　璐，李春燕

（新乡医学院三全学院，河南 新乡　453000）

摘要：目的　优化打箭菊总黄酮的提取工艺，并考察其稳定性和抗氧化活性。**方法**　以打箭菊总黄酮含量为评价指标，在单因素试验基础上以聚乙二醇 1000（PEG1000）质量分数、硫酸铵质量分数、液料比、提取时间为考察因素，采用响应面法优化打箭菊总黄酮的提取工艺，并验证。考察温度、光照、pH 及金属离子对其稳定性的影响；并检测其 DPPH 自由基清除能力、氧化还原能力和羟基自由基清除能力。**结果**　打箭菊总黄酮的最佳提取工艺为 PEG1000 质量分数 32.5%、硫酸铵质量分数 31.5%、液料比 55 mL/g、提取时间 41 min，验证试验结果表明，此条件下打箭菊总黄酮含量为（35.47±0.09）mg/g，预测误差为 0.11%。稳定性试验结果显示，打箭菊总黄酮在温度 30～80 ℃、pH 3～12 条件下较稳定，Fe^{3+}、Ba^{2+}、Zn^{2+}、Cu^{2+}对其稳定性影响较大，且打箭菊总黄酮在阳光直射条件下稳定性差。打箭菊总黄酮清除 DPPH 自由基的能力低于维生素 C，但其氧化还原能力和清除羟基自由基的能力均强于维生素 C。**结论**　打箭菊总黄酮有一定的抗氧化活性。优化的工艺操作简便，结果稳定可靠，该研究可为打箭菊的进一步开发提供参考。

关键词：打箭菊；总黄酮；响应面法；提取工艺；抗氧化活性

Study on the Optimization of Extraction Process and Antioxidant Activity of Total Flavonoids from *Tanacetum tatsienense*

ZHANG Xuemin, LI Mushen, YUE Lu, LI Chunyan

(Sanquan College of Xinxiang Medical University, Xinxiang, Henan, China　453000)

Abstract: Objective　To optimize the extraction process of total flavonoids from *Tanacetum tatsienense*, and to investigate its stability and antioxidant activity. **Methods**　The total flavonoid content of *Tanacetum tatsienense* was used as the evaluation index, the extraction process of total flavonoids from *Tanacetum tatsienense* was optimized and validated based on single factor experiment, with polyethylene glycol 1000 (PEG1000) mass fraction, ammonium sulfate mass fraction, liquid to material ratio, and extraction time as the evaluation factors. The response surface methodology was used to optimize the extraction process of total flavonoids from Tanacetum tatsienense, and the optimized process was verified. The effects of temperature, light, pH, and metal ions on its stability were examined and its DPPH radical scavenging ability, redox ability, and hydroxyl radical scavenging ability were tested. **Results**　The optimal extraction process of the total flavonoids from *Tanacetum tatsienense* was as follows: The mass fractions of PEG1000 and ammonium sulfate were 32.5% and 31.5%, the liquid to material ratio was 55 mL/g, and the extraction time was 41 min. The verification test results showed that under this condition, the flavonoid content of *Tanacetum tatsienense* was (35.47±0.09) mg/g, with a prediction error of 0.11%. The stability test results showed that the total flavonoids of *Tanacetum tatsienense* were relatively stable under temperature of 30－80℃ and pH of 3－12. Fe^{3+}, Ba^{2+}, Zn^{2+}, Cu^{2+} had significant impacts on its stability, and the total flavonoids of *Tanacetum tatsienense* were not suitable for production and storage in places with direct sunlight. The ability of total flavonoids from *Tanacetum tatsienense* to scavenge DPPH free radicals was lower than that of vitamin C, but its redox and hydroxyl radical scavenging abilities were stronger than those of vitamin C. **Conclusion**　The total flavonoids of *Tanacetum tatsienense* have certain antioxidant activity, the method is simple, stable and reliable, which can provide reference for the further utilization of *Tanacetum tatsienense*.

Key words: *Tanacetum tatsienense*; total flavonoids; response surface methodology; extraction process; antioxidant activity

打箭菊又名鞑新菊，是菊科植物川西小黄菊 *Tanacetum tatsienense*（Bureau & Franch.）K. Bremer & Humphries）的干燥头状花序，分布于我国青海西南部、四川西南部及西北部、云南西北部及西藏东部。打箭菊为常用藏药，有活血、祛湿、抗缺氧[1]、消炎镇痛[2]等功效，常用于治疗黄水病、脑震荡、跌打损伤、湿热、肝炎[3－4]等病症。打箭菊的化学成分包括黄酮、三萜、甾体、有机酸、氨基酸及挥发油类等物质，目前报道较多的为黄酮类化合物[5－7]。有研究者以乙醇为溶剂提取打箭菊总黄酮[8]，但提取时间较长，含量较低。双水相萃取技术为新型的萃取分离技术，可根据两相中物质溶解度的差异，利用相互不溶解的特性实现目标成分的萃取和分离[9]，目前双水相提取技术已广泛用于黄酮类化合物的提取[10－13]，但尚未见双水相技术用于打箭菊总黄酮提取工艺的报道。鉴于此，本研究中以打箭菊为原料，采用超声辅助双水相的方法，通过单因素试验考察

第一作者：张学敏，女，硕士，实验师，研究方向为天然产物活性成分，（电子信箱）784555315@qq.com。

结合响应面法优选提取方案，并考察方法稳定性和提取效果。现报道如下。

1 仪器与试药

1.1 仪器

KQ5200DE型数控超声波清洗器（昆山市超声仪器有限公司）；SHB－Ⅲ型循环水式多用真空泵（郑州长城科工贸有限公司）；UH5300型紫外分光光度计（日本Hitachi公司）；凌生2500C型粉碎机（永康市红太阳机电有限公司）；ES225SM－DR（E）型电子分析天平（瑞士Precisa公司，精度为0.01 mg）；SynergySH1M型酶标仪（美国Bio Tek公司）。

1.2 试药

芦丁对照品（合肥博美生物科技有限公司，批号为LC241102，含量98%）；聚乙二醇1000（PEG1000，上海麦克林生化科技有限公司，批号C12956214）；硫酸铵（批号为20220524，含量≥99.0%），亚硝酸钠（批号为20220927，含量≥99.0%）、硝酸铝（批号为20220626，含量≥99.0%）、氢氧化钠（批号为20221117，含量≥96.0%），均购自国药集团化学试剂有限公司；1,1－二苯基－2－苦基肼自由基（DPPH，合肥巴斯夫生物科技有限公司，批号为BSF220302，含量≥98.0%）。打箭菊（购于瑞丰成中药材淘宝店，批号202205，产地西藏），由新乡医学院药学院中药学教研室副教授薛金涛鉴定为正品。

2 方法与结果

2.1 线性关系考察

参照文献[14]并调整，称取芦丁标准品0.025 5 g，精密称定，用95%乙醇溶解并定容至50 mL，得芦丁对照品溶液；分别取0.2，0.4，0.6，0.8，1.0，2.0 mL，置10 mL容量瓶中，加入5%亚硝酸钠（$NaNO_2$）溶液0.4 mL，静置6 min，再加入10%的硝酸铝[$Al(NO_3)_3$]溶液0.4 mL，静置6 min，然后加入4 mL 4%氢氧化钠（NaOH）溶液4 mL并用水定容，静置15 min，在510 nm波长处测吸光度，以芦丁质量浓度（X，μg/mL）为横坐标、吸光度值（Y）为纵坐标进行线性回归，得回归方程$Y = 12.442\,6X + 0.001\,5$（$R^2 = 0.999\,7$）。结果显示，芦丁质量浓度在9.996～99.96 μg/mL范围内与吸光度值线性关系良好。

2.2 打箭菊总黄酮的提取

取粉碎后的药材（过3号筛）1 g，精密称定，置50 mL离心管中，按不同液料比加入聚乙二醇－硫酸铵溶液（3∶2，V/V），配制成双水相体系。置超声波清洗器中，在设定的温度（30 ℃）及功率（200 W）、频率（40 kHz）下超声不同的时间后取出，抽滤，滤液移至具塞量筒中，静置至完全分层后，读取上下相体积，取上层液体0.2 mL，置10 mL容量瓶中，按2.1项下方法在510 nm波长处测定吸光度，并计算总黄酮含量（Y'，mg/g）。公式为$Y' = (C \times V \times D)/M$，式中，C为溶液质量浓度（mg/mL），V为上层液体体积（mL），D为稀释倍数，M为样品质量（g）。

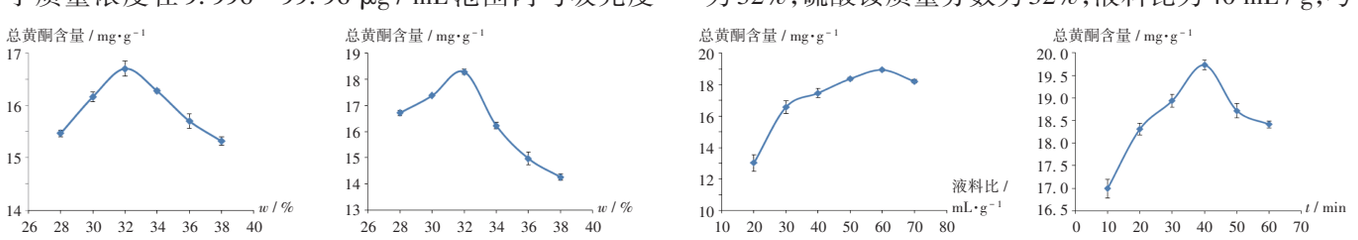
2.3 单因素试验

PEG1000质量分数：按2.2项下方法，固定提取时间30 min，硫酸铵质量分数为30%，液料比为40 mL/g，考察不同质量分数（28%，30%，32%，34%，36%，38%）的PEG1000对打箭菊总黄酮含量的影响。结果见图1 A。可见，打箭菊总黄酮含量随PEG1000质量分数变大而升高，且在PEG1000质量分数为32%时达最高。故选择32% PEG1000来构建双水相体系。

硫酸铵质量分数：按2.2项下方法，固定提取时间30 min，PEG1000质量分数为32%，液料比为40 mL/g，考察不同质量分数（28%，30%，32%，34%，36%，38%）的硫酸铵对打箭菊总黄酮含量的影响。结果见图1 B。可见，打箭菊总黄酮含量随硫酸铵质量分数变大而升高，且在硫酸铵质量分数为32%时达最高，故选择32%硫酸铵来构建双水相体系。

液料比：按2.2项下方法固定提取时间为30 min，PEG1000质量分数为32%，硫酸铵质量分数为32%，考察不同液料比（20，30，40，50，60，70 mL/g）对打箭菊总黄酮含量的影响。结果见图1 C。可见，打箭菊总黄酮含量随液料比增加而升高，且在液料比为60 mL/g时达最高，故选定液料比为60 mL/g进行试验。

提取时间：按2.2项下方法固定PEG1000质量分数为32%，硫酸铵质量分数为32%，液料比为40 mL/g，考



A. PEG1000质量分数　B. 硫酸铵质量分数　C. 液料比　D. 时间

图1 单因素试验结果

A. Mass fraction of PEG1000　B. Mass fraction of ammonium sulfate　C. Liquid to material ratio　D. Extraction time

Fig. 1 Results of the single factor test

察不同提取时间(10,20,30,40,50,60 min)对打箭菊总黄酮含量的影响。结果见图 1 D。可见,打箭菊总黄酮含量随提取时间增加而升高,且在提取时间为 40 min 时达最高,故选定提取时间为 40 min 进行试验。

2.4 响应面试验

模型建立:以 PEG1000 质量分数(因素 A,%),硫酸铵质量分数(因素 B,%),液料比(因素 C,mL/g),提取时间(因素 D,min)为考察因素,以打箭菊总黄酮含量为目标,设计四因素三水平 29 个试验点的响应面分析。因素与水平见表 1,试验设计与结果见表 2,方差分析见表 3。根据表 2 结果,通过 Design Expert 8.0.6 软件逐步递减回归,得回归模型方程:$Y'' = 34.99 - 0.48A - 1.28B + 1.08C + 0.91D + 0.39AB + 0.41AC - 0.36AD + 0.59BC + 0.24BD + 0.043CD - 2.03A^2 - 1.93B^2 - 1.12C^2 - 1.98D^2$。由表 3 可知,该模型较显著,符合要求,精确性及通用性较好,且变异度较小。可见,该模型的稳定性相对理想,可用作分析判断打箭菊总黄酮的提取效果。

响应面交互作用:PEG1000 质量分数和硫酸铵质量分数、PEG1000 质量分数和液料比、硫酸铵质量分数和液料比交互作用显著,而另外 3 对指标交互作用不显著,与方差分析结果一致。详见图 2。

最佳提取工艺验证:通过软件分析预测得出,打箭菊总黄酮的最佳提取工艺为,PEG1000 质量分数 32.37%、硫酸铵质量分数 31.65%、液料比 54.87 mL/g、提取时间 40.77 min,此条件下打箭菊总黄酮含量的预测值为 35.51 mg/g。结合实际需求分别修正为 32.5%,31.5%,55 mL/g,41 min,进行验证试验,测得打箭菊总黄酮含量为 35.47 mg/g,预测误差为 0.11%,与理论预测值无显著差异。

2.5 稳定性试验

温度:取 6 个离心管,各加入打箭菊总黄酮提取液 1 mL,置 30,40,50,60,70,80 ℃水浴锅中,恒温 60 min 后,冷却至室温,取适量,按标准曲线法测定吸光度。结果见图 3 A。可见,打箭菊总黄酮吸光度在 30~80 ℃范围内变化较小。因此,其可在此温度条件下生产储存。

金属离子:取 9 个离心管,各加入打箭菊总黄酮提取液 1 mL,分别加入蒸馏水及浓度均为 0.1 mol/L 的氯化钠(NaCl)、氯化钾(KCl)、三氯化铁($FeCl_3$)、氯化钡($BaCl_2$)、氯化钙($CaCl_2$)、三氯化镁($MgCl_2$)、硫酸锌($ZnSO_4$)、硫酸铜($CuSO_4$)溶液,各 50 μL,反应 60 min,测定吸光度。结果见图 3 B。可见,加入 Na^+、K^+、Ca^{2+}、Mg^{2+} 对打箭菊总黄酮的吸光度影响较小。Fe^{3+}、Zn^{2+}、Cu^{2+} 使打箭菊总黄酮吸光度降低,可能与络合反应有关[15-16]。Ba^{2+} 使打箭菊总黄酮的吸光度明显增大,可

表 1 因素与水平

Tab. 1 Factors and levels

水平	因素 A(%)	因素 B(%)	因素 C(mL/g)	因素 D(min)
-1	30	30	50	30
0	32	32	60	40
1	34	34	70	50

表 2 试验设计与结果

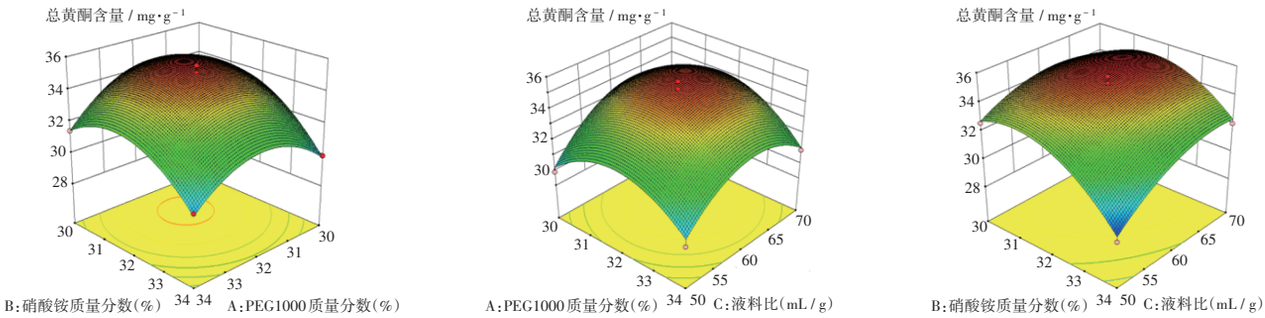
Tab. 2 Design and results of test

序号	因素 A	B	C	D	总黄酮含量($\bar{X}\pm s$,mg/g)	序号	因素 A	B	C	D	总黄酮含量($\bar{X}\pm s$,mg/g)
1	1	0	1	0	33.16	16	0	0	0	0	35.07
2	-1	0	0	-1	29.89	17	-1	0	0	1	32.76
3	1	0	0	-1	29.45	18	1	0	0	1	30.90
4	0	0	1	-1	32.23	19	0	0	-1	-1	30.27
5	-1	0	1	0	33.15	20	1	-1	0	0	31.43
6	1	0	-1	0	30.12	21	1	1	0	0	29.82
7	0	1	-1	0	28.60	22	0	1	0	-1	28.85
8	0	0	0	0	34.83	23	0	-1	0	-1	31.80
9	0	-1	-1	0	32.58	24	-1	-1	0	0	33.14
10	-1	1	0	0	29.96	25	0	1	0	1	31.25
11	0	0	1	1	33.71	26	0	-1	0	1	33.25
12	-1	0	-1	0	31.76	27	0	1	1	0	32.02
13	0	0	0	0	34.76	28	0	0	0	0	35.52
14	0	-1	1	0	33.63	29	0	0	-1	1	31.58
15	0	0	0	0	34.79						

表 3 方差分析结果

Tab. 3 Results of the analysis of variance

方差来源	离差平方和	n	均方	F 值	P 值
模型	105.69	14	7.55	63.05	< 0.000 1
A	2.79	1	2.79	23.27	0.000 3
B	19.58	1	19.58	163.54	< 0.000 1
C	14.05	1	14.05	117.30	< 0.000 1
D	10.01	1	10.01	83.63	< 0.000 1
AB	0.62	1	0.62	5.20	0.038 8
AC	0.68	1	0.68	5.71	0.031 5
AD	0.51	1	0.51	4.24	0.058 7
BC	1.41	1	1.41	11.74	0.004 1
BD	0.23	1	0.23	1.90	0.189 9
CD	0.01	1	0.01	0.06	0.807 0
A^2	26.63	1	26.63	222.41	< 0.000 1
B^2	24.08	1	24.08	201.14	< 0.000 1
C^2	8.08	1	8.08	67.50	< 0.000 1
D^2	25.30	1	25.30	211.34	< 0.000 1
残差	1.68	14	0.12		
失拟项	1.27	10	0.13	1.26	0.443 5
误差	0.40	4	0.10		
总和	107.37	28			



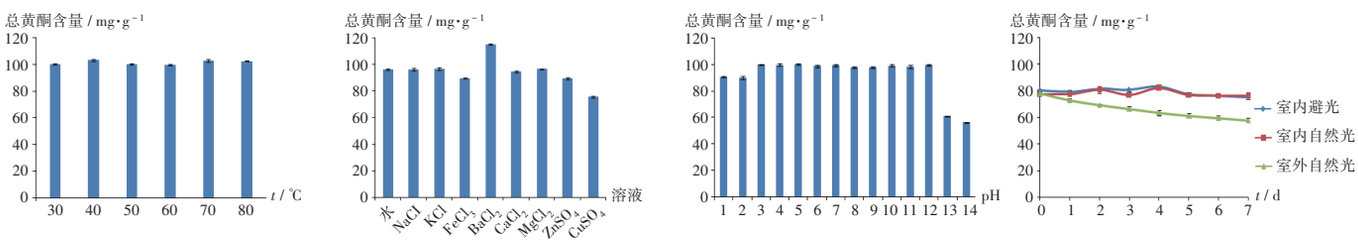
a b c

a. PEG1000 质量分数和硫酸铵质量分数 b. PEG1000 质量分数和液料比 c. 硫酸铵质量分数和液料比

图 2 各因素之间的交互作用

a. Mass fraction of PEG1000 and ammonium sulfate b. Mass fraction of PEG1000 and liquid to material ratio c. Mass fraction of ammonium sulfate and liquid to material ratio

Fig. 2 The interactions between various factors



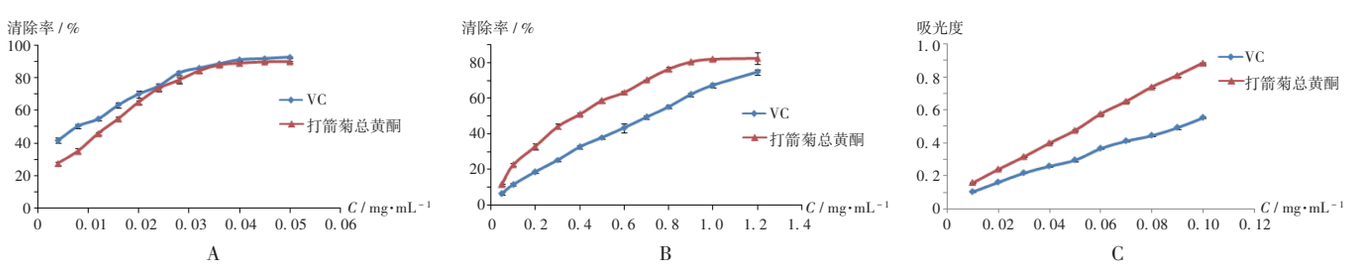
A B C D

A. 温度 B. 金属离子 C. pH D. 光照

图 3 稳定性试验结果

A. Temperature B. Metal ions C. pH D. Light

Fig. 3 Results of stability test



A B C

A. 清除 DPPH 自由基试验 B. 清除羟基自由基试验 C. 氧化还原试验

图 4 抗氧化活性试验结果

A. DPPH free radical scavenging test B. Hydroxyl radical scavenging test C. Oxidation - reduction test

Fig. 4 Results of antioxidant activity test

能与杂质生成有关[17]。因此，在生产和储存打箭菊总黄酮时应避免引入 Fe^{3+}、Zn^{2+}、Cu^{2+} 和 Ba^{2+}。

pH：取 14 个离心管，各加入打箭菊总黄酮提取液 1 mL，分别加入 pH 为 1，2，3，4，5，6，7，8，9，10，11，12，13，14 的溶液 0. 6 mL，放置 60 min，测定吸光度。结果见图 3 C。可见，打箭菊总黄酮吸光度在 pH 3 ~ 12 的范围内吸光度相对稳定，pH < 3 时略有下降，pH > 12 时明显下降，可能与强酸性或强碱性破坏总黄酮结构有关。因此，打箭菊总黄酮可在 pH 3 ~ 12 的环境下生产储存。

光照：取 3 个离心管，各加入打箭菊总黄酮提取液 1 mL，分别于室内避光、室内自然光、室外自然光的环境下放置 1，2，3，4，5，6，7 d，测定吸光度。结果见图 3 D。可见，打箭菊总黄酮在室内避光和室内自然光的环境下，其吸光度基本保持不变。而其在室外自然光的条件下吸光度随着储存时间延长持续下降。因此，生产、储存、使用打箭菊总黄酮时应避免阳光直射。

2. 6 抗氧化活性试验

清除 DPPH 自由基能力：制备质量浓度分别为 0. 004，0. 008，0. 012，0. 016，0. 020，0. 024，0. 028，0. 032，0. 036，0. 040，0. 045，0. 050 mg / mL 的打箭菊总黄酮溶液。以相同质量浓度的维生素 C 做对照，计算 DPPH 自由基的清除率[18]。结果见图 4 A。可见，打箭菊总黄酮质量浓度 < 0. 04 mg / mL 时，DPPH 自由基清除率随质量浓度的增大而升高；打箭菊总黄酮质量浓

度≥0.04 mg/mL时，DPPH自由基清除率随质量浓度增加变化趋于平缓。维生素C也具有相同趋势，但维生素C整体清除率略高于打箭菊总黄酮。即打箭菊总黄酮有一定的清除DPPH自由基的能力。

氧化还原能力：制备质量浓度分别为0.01，0.02，0.03，0.04，0.05，0.06，0.07，0.08，0.09，0.10 mg/mL的打箭菊总黄酮溶液，于700 nm波长处测定吸光度值，以相同质量浓度的维生素C做对照[19]，吸光度越大证明其氧化还原力越强。结果见图4 B，随着质量浓度的增加，打箭菊总黄酮和维生素C的羟基自由基清除率均随之升高，当打箭菊总黄酮质量浓度达0.9 mg/mL后，其羟基自由基清除率变化趋于平缓，而维生素C仍呈直线上升趋势，但在设定的质量浓度范围内（0.05～1.2 mg/mL），前者自由基清除率均高于后者。表明在此质量浓度范围内打箭菊总黄酮有较好的抗氧化活性。

清除羟基自由基能力：制备质量浓度分别为0.05，0.10，0.20，0.30，0.40，0.50，0.60，0.70，0.80，0.90，1.00，1.20 mg/mL的打箭菊总黄酮溶液，的方法并加以调整，以相同质量浓度的维生素C做对照[20]，计算羟基自由基的清除率。结果见图4 C。可见，在设定的质量浓度范围（0.01～0.10 mg/mL）内，二者的吸光度均随质量浓度的增加而变大，即还原力更强。可见，打箭菊总黄酮的还原力良好且明显强于维生素C。

3 讨论

相较于传统方法，本研究中以超声辅助双水相法提取打箭菊中黄酮类成分，用时较短，能很好地降低成本。采用PEG1000－硫酸铵双水相溶剂作为提取溶剂，具有绿色、低成本的特点，用于药用植物成分分离优势明显。

单因素试验中，随着PEG1000含量的增加，其亲水性增大，使打箭菊总黄酮更易富集在上层液体中，含量随之升高；但当PEG1000的含量大于32%后，聚乙二醇层的系统黏度变大，影响分子传质，打箭菊总黄酮的含量反而会下降。打箭菊总黄酮含量在硫酸铵质量分数为32%时最高，可能原因为硫酸铵是强电解质，在水中解离成铵根正离子和硫酸根负离子，形成水合离子的能力增强，使硫酸铵层与聚乙二醇层相比而言可夺取更多的水分子，故下层液体体积增加，上下层液体体积比下降[11,21－22]，进而使打箭菊总黄酮在上层液体中的富集减少，打箭菊总黄酮含量下降。同时，提取溶剂的增加可使打箭菊与双水相体系充分接触，有利于打箭菊总黄酮的提取，当液料比超过60 mL/g时，上层液体该总黄酮质量浓度基本达到饱和状态，同时可能伴随其他物质的溶出，使打箭菊总黄酮含量呈下降趋势[17]。而随着超声时间的延长，产生的能量破坏了打箭菊细胞壁，有利于黄酮成分的溶出[23]，但超声提取40 min后随着超声时间的进一步延长，该总黄酮中的某些黄酮类成分发生氧化、降解或缩合等反应而被破坏，使含量有所下降[24]。

响应面试验中通过方差分析可知，模型交互项AD、BD、CD影响不显著，而模型的其他交互项、一次项和二次项的影响相对显著。各因素条件对打箭菊总黄酮含量的影响由高到低为：硫酸铵质量分数＞液料比＞提取时间＞PEG1000质量分数，据此结果可针对性优化打箭菊总黄酮的提取工艺。

通过稳定性试验和体外抗氧化试验可知，打箭菊总黄酮在30～80 ℃、pH 3～12的环境下较稳定，金属离子Fe^{3+}、Zn^{2+}、Cu^{2+}、Ba^{2+}及阳光直射会影响其稳定性。同时本研究中还采用体外抗氧化试验对打箭菊总黄酮的抗氧化活性进行了评价。结果表明，打箭菊总黄酮有一定的抗氧化活性，后期可在此基础上开展体内抗氧化试验、抑菌试验及其他药理学研究。

参考文献

[1] 严海英，李永芳，钱　蔚. 藏药川西小黄菊抗缺氧作用研究[J]. 安徽农业科学，2011，39(20)：12151.
[2] 张　凌，张道英，顿　珠，等. 藏药打箭菊抗炎镇痛作用的初探[J]. 江西中医学院学报，2009，21(5)：61－62.
[3] 林朝展，陈德金，贝日·泽仁达瓦，等. 打箭菊对D－半乳糖胺所致大鼠急性肝损伤的保护作用[J]. 中药药理与临床，2011，27(5)：79－81.
[4] 夏玉英，祝晨蔼，林朝展，等. 基于UPLC－Triple TOF MS/MS和网络药理学技术分析打箭菊总黄酮部位保肝活性成分及其潜在靶点研究[J]. 中药材，2018，41(7)：1609－1614.
[5] 徐凯节，白　央，阿　萍，等. 藏药材打箭菊的化学成分研究[J]. 时珍国医国药，2010，21(11)：3018－3019.
[6] 张亚梅，杜小浪，钟国跃. 藏族药打箭菊的研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志，2015，21(19)：222－225.
[7] 泽仁达瓦，林朝展. UPLC－Triple TOF MS/MS技术分析打箭菊总黄酮部位的化学成分[J]. 西藏科技，2018(7)：43－45.
[8] 张道英，张　凌，许怀远. 藏药打箭菊总黄酮的提取研究[J]. 时珍国医国药，2007，18(2)：440－441.
[9] 俞耀文，戴国庆，华浩立，等. 乙醇－硫酸铵双水相体系提取桃花总黄酮及其抗氧化性能[J]. 食品工业科技，2022，43(4)：187－195.
[10] 赵泰霞，周圆圆，郑谦波，等. 超声波－双水相法提取辣蓼中总黄酮的工艺优化[J]. 中国饲料，2023(11)：30－35.
[11] 高　利，岳　璐，杨增航，等. 超声辅助双水相体系优化辛夷总黄酮提取工艺及其抗氧化活性研究[J]. 饲料研究，2023，46(4)：90－94.
[12] 朱杰帆，陈忠航，俞　杰，等. 超声波辅助双水相提取花生壳总黄酮及其抗氧化活性[J]. 中国粮油学报，2023，38(9)：175－183.
[13] 杨春燕，卫　强，胡健力，等. 超声辅助双水相提取南方红豆杉总黄酮的工艺研究[J]. 山东化工，2023，52(3)：34－36.
[14] 严绪华，梅　凌，方振峰. 木蝴蝶总黄酮提取工艺优选[J]. 中国药业，2022，31(7)：48－53.