超声波-乙醇法提取树莓酮及抗脂质过氧化研究

马永强，杨秋慧，王鑫，黎晨晨，庄星光
（哈尔滨商业大学 食品工程学院黑龙江省谷物食品与谷物资源综合加工重点实验室，哈尔滨 150076）

摘要：目的 为了探究天然树莓酮提取的最佳工艺条件，以及树莓酮的抗脂质过氧化作用。**方法** 以红树莓为原料，选用超声辅助乙醇提取法提取树莓酮，采用气相色谱法测定树莓酮含量。基于单因素实验结果，以料液比、乙醇浓度、超声时间和温度为影响因子，树莓酮得率为响应值，设计响应曲面优化实验，并研究树莓酮的抗脂质过氧化作用。**结果** 得到树莓酮最佳提取条件，料液比（g/mL）为 1∶15、乙醇体积分数为 85%、超声时间为 50 min，超声温度为 40 ℃。在此条件下验证了实验，得出树莓酮含量为 2.803 μg/g，抗蛋黄卵磷脂脂质过氧化能力趋势为 Vc 溶液>树莓酮粗提液>树莓酮标准溶液。**结论** 超声波辅助乙醇提取法可有效应用于红树莓中树莓酮的提取，且树莓酮粗提液对由 Fe^{2+}诱导的脂质过氧化有一定的抑制作用。

关键词：树莓酮；提取；响应曲面；脂质过氧化
中图分类号：TS201.1 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-3563(2020)05-0023-08
DOI：10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.05.004

Extraction of Raspberry Ketone by Ultrasound-Ethanol Method and Its Anti-lipid Peroxidation

MA Yong-qiang, *YANG Qiu-hui*, *WANG Xin*, *LI Chen-chen*, *ZHUANG Xing-guang*
(Key Laboratory for Comprehensive Processing of Grain Food and Grain Resource of Heilongjiang Province, School of Food Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin 150076, China)

ABSTRACT: The work aims to explore the optimum extraction conditions of natural raspberry ketone and the anti-lipid peroxidation effect of raspberry ketone. Red raspberry was used as the raw material to extract the raspberry ketone by ultrasonic-assisted ethanol and the content of raspberry ketone was determined by gas chromatography. Based on the single factor experiment results, the response surface optimization experiment was designed, and the anti-lipid peroxidation effect of raspberry ketone was studied by taking the ratio of material to liquid, ethanol concentration, ultrasonic time and temperature as the influencing factors, and the yield of raspberry ketone as the response value. The optimum extraction conditions of raspberry ketone were as follows: the ratio of material to liquid was 1∶15 g/mL, the concentration of ethanol was 85%, the ultrasonic time was 50 min, and the ultrasonic temperature was 40 ℃. Under these conditions, the content of raspberry ketone was 2.803 μg/g, and the trend of anti-lipid peroxidation was Vc solution>raspberry ketone crude extract>raspberry ketone standard solution. Ultrasound-assisted ethanol extraction can be effectively applied to extract raspberry ketone from red raspberry, and raspberry ketone crude extract can inhibit lipid peroxidation induced by Fe^{2+}.
KEY WORDS: raspberry ketone; gas chromatography; response surface; lipid peroxidation

收稿日期：2019-04-24
作者简介：马永强（1963—），男，硕士，哈尔滨商业大学教授，主要研究方向为天然活性物质研究及应用。
通信作者：王鑫（1984—），女，博士，工程师，主要研究方向为食品生物化学。

红树莓（*Rubus ideaus* L.）为东北地区常见小浆果木本植物，又名覆盆子、马林果、山莓果等[1]。果实中含有多种功能因子，如黄酮、酚酸等多酚类化合物，其中以鞣花酸和树莓酮为主要功能因子[2]。有研究表明，树莓酮具有抗氧化、抗炎、抗癌、增加皮肤弹性等功效[3—4]，还能通过调节糖脂代谢、改善瘦素抵抗，以及胰岛素抵抗等综合作用来降低肥胖大鼠体质量，并能预防肥胖，缓解由肥胖引起的高血脂症[5—6]。另有研究表明，树莓酮能增加胰岛素的分泌，从而具有降血糖功能[7]。

目前关于树莓酮的研究主要在合成及其功能性等方面[8]，从红树莓中提取树莓酮的研究报道较少。文中研究以红树莓果为原料，选用超声辅助乙醇提取树莓酮，采用气相色谱法测定树莓酮的含量，并以树莓酮含量为评价指标，通过单因素实验和响应曲面法优化实验条件，确定最佳提取工艺条件，并初步探究树莓酮粗提液对脂质过氧化的抑制作用，以期为树莓酮的后续研究提供实验基础，也为红树莓深加工及其相关产品的开发提供一定的科学依据。

1 实验

1.1 材料与试剂

“秋福”红树莓果实采自黑龙江省尚志市，将其清洗后，经 45 ℃真空烘箱恒温烘干，粉碎过 60 目筛。

主要试剂：树莓酮标准品，纯度 98%，购自宝鸡市辰光生物科技有限公司；无水乙醇，GR，天津市科密欧化学试剂有限公司；无水乙醇，AR，天津市富宇精细化工有限公司；磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、硫酸亚铁、抗坏血酸，AR，天津市天力化学试剂有限公司；硫代巴比妥酸，AR，国药集团化学试剂有限公司；三氯乙酸，AR，天津市光复精细化工研究所。

1.2 仪器与设备

主要仪器和设备：DHG-9145A 电鼓风干燥箱，上海一恒科学仪器有限公司；FA1104B 型电子分析天平，上海越平科学仪器有限公司；SHZ-B 型恒温水浴振荡器，上海博讯实业有限公司；TG16-WS 型台式高速离心机，湖南湘仪离心机仪器有限公司；SHZ-D(III)型循环水式多用真空泵，巩义市科瑞仪器有限公司；KQ-250DE 型数控超声波清洗器，昆山市超声仪器有限公司；RE-5203 型旋转蒸发仪，上海亚荣生化仪器厂；7900 型气相色谱仪，上海天美科学仪器有限公司；UV 5100B 型紫外可见分光光度计，上海元析仪器有限公司。

2 方法

2.1 树莓酮含量的测定

2.1.1 操作条件及测定方法

操作条件参照 GB 1886.84—2016《食品安全国家标准食品添加剂覆盆子酮》。标准曲线绘制方法采用外标法。

2.1.2 树莓酮标准曲线的绘制

准确称取 0.010 g 树莓酮标准品，用色谱级无水乙醇定容至 100 mL，配置成质量浓度为 0.1 mg/mL 的标准溶液，待用。

将 6 个 50 mL 容量瓶按 1—6 依次编号，分别移取树莓酮标准溶液 1，2，3，4，5，6 mL 于相应标号的容量瓶中，用色谱级乙醇定容至刻度，摇匀，采用气相色谱仪测定树莓酮的浓度，进样量为 10 μL，以树莓酮质量浓度为横坐标、峰面积为纵坐标绘制标准曲线。

2.2 树莓酮的提取及含量测定

准确称取干燥后的红树莓粗粉 10 g，按料液比（g/mL）1∶20，2 次水提 1 h，并离心后，样品超声提取 2 次，合并 2 次提取液，旋蒸至无醇味，采用气相色谱法测定树莓酮浓度，进样量为 10 μL，计算相应浓度，利用式（1）计算树莓酮含量（*P*）。

$$P=\frac{m_1}{m} \tag{1}$$

式中：m_1 为提取的树莓酮总质量（μg）；m 为红树莓的总质量（g）。

2.3 树莓酮提取条件单因素的选择

分别以料液比、乙醇浓度、超声时间和超声温度为单因素进行实验，考察各因素对树莓酮含量的影响。采用 2.2 节中的方法提取红树莓中的树莓酮，提取条件：固定反应条件，体积分数为 85 %的乙醇溶液，40 ℃下超声提取 40 min，考察不同料液比（1∶5，1∶10，1∶15，1∶20，1∶25）对树莓酮含量的影响；固定反应条件为料液比（g/mL）1∶20，在 40 ℃下超声提取 40 min，考察不同乙醇浓度（70%，75%，80%，85%，90%）对树莓酮含量的影响；固定反应条件：料液比（g/mL）1∶20，体积分数 85%的乙醇溶液，超声温度为 40 ℃，考察不同超声时间（20，40，60，80，100 min）对树莓酮含量的影响；固定反应条件：料液比（g/mL）1∶20，体积分数 85 %的乙醇溶液，超声时间为 40 min，考察不同超声温度（20，30，40，50，60 ℃）对树莓酮含量的影响。

2.4 响应曲面法优化树莓酮提取工艺条件

基于单因素实验，采用 Box-Behnken 模型，以料

液比、乙醇浓度、超声时间、超声温度等 4 个因素为自变量，分别用 A，B，C，D 表示，每个因素选取 3 个对树莓酮含量影响较大的水平，并以+1，0，−1 分别代表自变量的高、中、低水平，以树莓酮含量为响应值建立四因素三水平的 Box-Benhnken 中心组合实验。

响应曲面实验设计因素水平及编码见表 1。

表 1　Box-Benhnken 实验设计因素水平及编码

Tab.1 Box-Benhnken experimental design factor level and coding

因素		料液比/(g·mL^{-1})	乙醇体积分数/%	超声时间/min	超声温度/℃
代码		A	B	C	D
水平	−1	1∶10	80	20	30
	0	1∶15	85	40	40
	1	1∶20	90	60	50

2.5　树莓酮粗提液对蛋黄卵磷脂脂质过氧化的抑制作用

将新鲜的鸡蛋去除蛋清，用等体积 pH 值为 7.40，浓度为 0.1 mol/L 的磷酸钠缓冲溶液（PBS）与蛋黄配置成 1∶1 的悬液，在 37 ℃下磁力搅拌 10 min，再用 PBS 缓冲溶液稀释成 1∶25 的卵黄悬液，在具塞试管中依次加入质量浓度为 100，200，300，400，500，600 μg/mL 的树莓酮粗提液、树莓酮标准溶液（RK）、Vc 溶液各 1 mL，对照管中加入 PBS 缓冲液，再加入 0.4 mL 浓度为 25 mmol/L 的 $FeSO_4$，最后用 PBS 缓冲液补足至 4 mL，对照管与样品管同时置于 37 ℃下恒温水浴 15 min，取出后加入体积分数为 20% 的三氯乙酸和体积分数为 0.8%的硫代巴比妥酸各 1 mL，于 100 ℃下水浴 20 min，冷却后于 3500 r/min 下离心 10 min，取上清液于 532 nm 处测其吸光度[9]。

利用式（2）计算抑制率：

$$抑制率=\frac{(A_{对照}-A_{样品})}{A_{对照}}\times 100\% \tag{2}$$

式中：$A_{对照}$为 0.1 mL PBS 缓冲液的吸光度；$A_{样品}$为样品的吸光度。

3　结果与分析

3.1　树莓酮标准曲线的测定结果

树莓酮标准曲线见图 1。

树莓酮标准溶液浓度与峰面积之间的线性回归方程为：y=415.14x−53.714，R_2=0.9990，该方程的线性范围在 1.926~12.140 μg/mL 之间。

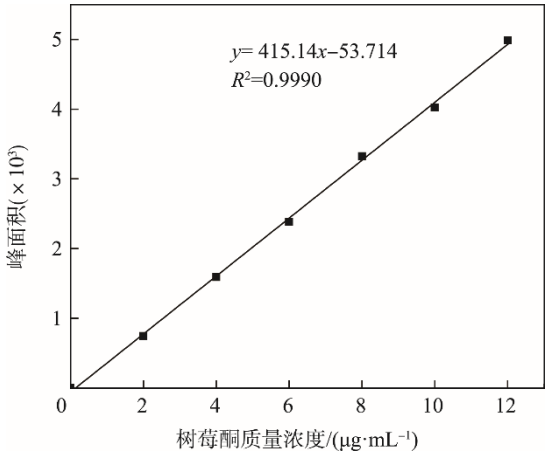

图 1　树莓酮标准曲线

Fig.1 Standard curve for raspberry ketone

3.2　超声波辅助乙醇提取树莓酮的单因素实验结果

3.2.1　料液比对树莓酮含量的影响

由图 2 可知，料液比（g/mL）在 1∶5~1∶15 时，树莓酮含量呈上升趋势，在料液比（g/mL）为 1∶15 时呈现最大值，这可能由于适当增加溶剂体积可增大物料与浸提液的接触面积，从而使树莓酮在乙醇中较多的溶出，继续增加溶剂体积会使树莓酮溶出量达到饱和[10]，在料液比（g/mL）1∶15 之后，树莓酮含量逐渐下降，这可能是由于料液比的增加会使物料溶出更多的其他物质。从提取效果和节约成本等方面考虑[11]，乙醇用量不宜过大，故选择 1∶15 的料液比（g/mL）为最佳的单因素条件。

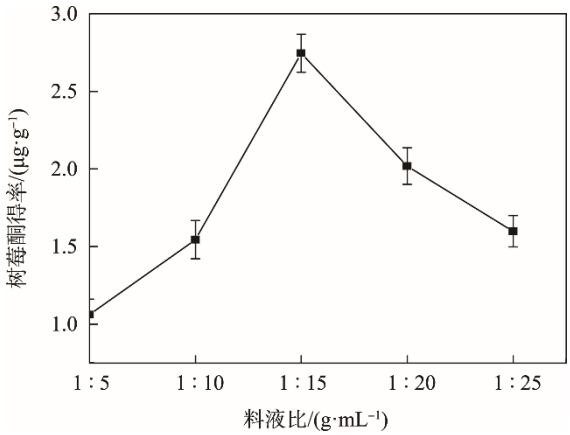

图 2　料液比对树莓酮含量的影响

Fig.2 Effect of material to liquid ratio on the content of raspberry ketone

3.2.2　乙醇浓度对树莓酮含量的影响

由图 3 可知，乙醇的体积分数为 70%~85%时，树莓酮含量呈上升趋势，并且当乙醇体积分数为 85%时呈现最大值，可能是由于随着乙醇浓度的提高，提取液中

杂质含量逐渐降低，使得树莓酮的溶解度增加[12]。随后树莓酮含量随着乙醇浓度的增加呈下降趋势，这可能是由于色素以及其他的醇溶性杂质等溶出量的增加降低了树莓酮的溶解度[13]，进而使树莓酮含量下降，故选择乙醇的体积分数 85%为最佳的单因素条件。

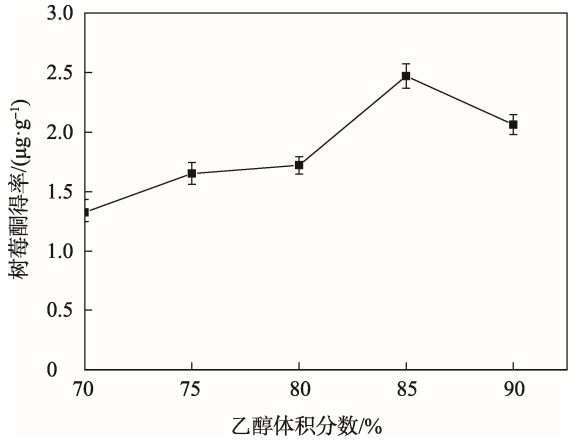

图 3 乙醇浓度对树莓酮含量的影响

Fig.3 Effect of ethanol concentration on the content of raspberry ketone

3.2.3 超声时间对树莓酮含量的影响

由图 4 可知，提取时间为 20~40 min 时，树莓酮含量呈上升趋势，并且当超声时间为 40 min 时呈现最大值。这可能是由于在较短的提取时间内，树莓酮与乙醇溶剂接触不够充分。在 40 min 后树莓酮含量下降，并趋于平缓，这可能由于超声波具有较强的机械效应和热效应[14]，长时间作用反而会破坏树莓酮，从而使其含量下降，故选择超声时间 40 min 为最佳的单因素条件。

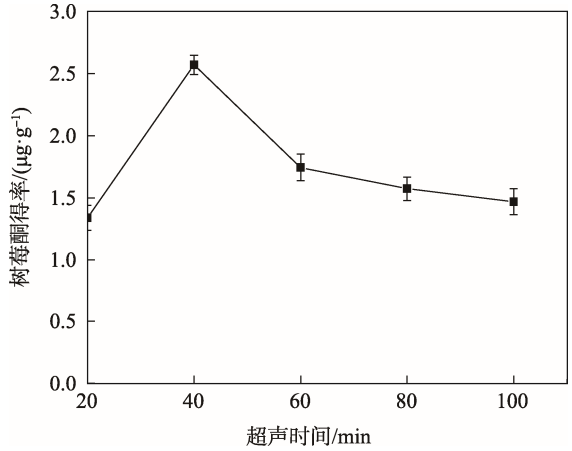

图 4 超声时间对树莓酮含量的影响

Fig.4 Effect of ultrasonic time on the content of raspberry ketone

3.2.4 超声温度对树莓酮含量的影响

由图 5 可知，超声温度在 20~40 ℃时，树莓酮含量呈上升趋势，并且当超声温度在 40 ℃时呈现最大值。这可能是由于升高温度会加快分子的溶解、渗透以及扩散的速度[15]，使树莓酮易于溶出。继续升高温度，由于大量的溶剂挥发，减少了树莓酮的溶出量，树莓酮被氧化且分子结构遭到破坏，导致树莓酮含量不再上升甚至下降[16]。故选择超声温度 40 ℃为最佳的单因素条件。

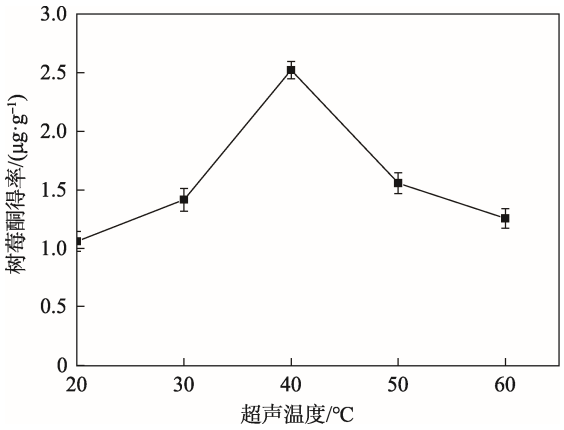

图 5 超声温度对树莓酮含量的影响

Fig.5 Effect of ultrasonic temperature on the content of raspberry ketone

3.3 超声波辅助提取树莓酮的响应曲面优化实验结果

3.3.1 响应曲面实验设计方案及结果

基于单因素实验的结果，以树莓酮含量为响应值，以乙醇浓度（A）、料液比（B）、超声温度（C）、提取时间（D）为自变量，进行四因素三水平的 29 组响应面分析实验，利用 Design Expert 8.0.6 软件对实验数据结果进行二次多项式回归拟合分析，实验方案及结果见表 2。

3.3.2 回归方程的拟合及方差分析

通过软件对所得到的实验数据进行回归拟合分析，得到回归方程：$Y=+2.74-0.18A+0.26B+0.068C-0.069D+0.15AB+0.10AC-0.013AD+0.040BC-0.097BD-0.24CD-0.71A^2-0.80B^2-0.53C^2-0.65D^2$。

式中：Y 为树莓酮含量；A 为乙醇体积分数（%）；B 为料液比（g/mL）；C 为超声温度（℃）；D 为超声时间（min）。

回归方程模型及方差分析见表 3。

由表 3 可知，回归模型具有极高显著性（$P<0.0001$），表明该模型具有统计学意义，且失拟项 $P=0.0716>0.05$，不显著，意味着模型稳定，能很好地预测实际过程中树莓酮含量的变化。该模型的校正决定系数 $R^2_{Adj}=0.9215$，相关系数 $R^2=0.9607$，表明该模型的拟合度较好，实验误差小。由此可见，该模型能够反映响应值树莓酮含量的变化，可以利用该模型对乙醇超声波辅助法提取树莓酮的工艺条件进行预

表 2　响应面实验设计及树莓酮含量

Tab.2 Response surface experimental design and content of raspberry ketone

实验序号	乙醇浓度 *A*/（%）	料液比 *B*/（g·mL^{-1}）	超声温度 *C*/℃	超声时间 *D*/min	树莓酮含量/（μg·g^{-1}）
1	1(90)	0（1∶15）	1（50）	0（50）	1.108
2	1	0	–1（30）	0	0.968
3	0（85）	–1（1∶10）	1（40）	0	1.025
4	0	1（1∶20）	1	0	1.893
5	0	0	1	–1（40）	2.088
6	0	–1	–1	0	0.962
7	0	0	0	0	2.800
8	1	1	0	0	1.223
9	–1（80）	0	0	–1	1.407
10	0	0	–1	–1	1.271
11	0	0	0	0	2.652
12	0	0	0	0	2.819
13	0	1	–1	0	1.67
14	0	0	0	0	2.634
15	0	0	0	0	2.816
16	0	–1	0	1（60）	0.895
17	0	–1	0	–1	0.967
18	1	–1	0	0	0.760
19	–1	0	1	0	1.035
20	1	0	0	–1	1.015
21	0	1	0	–1	1.768
22	0	0	–1	1	1.684
23	0	1	0	1	1.309
24	–1	0	0	1	1.356
25	–1	–1	0	0	1.303
26	0	0	1	1	1.536
27	–1	0	–1	0	1.579
28	–1	1	0	0	1.166
29	1	0	0	1	0.910

表 3　回归方程模型及方差分析

Tab.3 Regression equation model and analysis of variance

方差来源	平方和	自由度	均方	*F* 值	Prob>*F*	显著性
模型	11.02	14	0.79	24.48	<0.0001	***
A	0.38	1	0.38	11.78	0.0040	**
B	0.81	1	0.81	25.19	0.0002	**
C	0.056	1	0.056	1.75	0.2047	
D	0.057	1	0.057	1.77	0.2048	
AB	0.090	1	0.090	2.80	0.1165	
AC	0.043	1	0.043	1.33	0.2676	
AD	7.290×10^{-4}	1	7.290×10^{-4}	0.023	0.8824	
BC	7.400×10^{-3}	1	7.400×10^{-3}	0.20	0.6623	
BD	0.037	1	0.037	1.16	0.2987	
CD	0.23	1	0.23	7.24	0.0176	*
A^2	5.35	1	5.35	166.45	<0.0001	***
B^2	4.18	1	4.18	130.15	<0.0001	***
C^2	1.85	1	1.85	57.67	<0.0001	***
D^2	2.70	1	2.70	83.95	<0.0001	***
残差	0.45	14	0.032			
失拟项	0.42	10	0.042	4.82	0.0716	
纯误差	0.035	4	8.627×10^{-3}			
总和	11.47	28				

注: *(P<0.05)为显著；**(P<0.01)为高度显著；***(P<0.0001)为极显著

测和分析。再结合表 3 中的 P 值可知，一次项 A，B 是高度显著的（$P<0.01$），一次项 CD（$P<0.05$）是显著的，二次项 A^2，B^2，C^2，D^2（$P<0.0001$）极显著，其他因素不显著。根据 F 值进一步可知，各个单因素对超声辅助乙醇提取红树莓中的树莓酮含量的影响顺序为料液比（B）>乙醇浓度（A）>超声时间（D）>超声温度（C）。

3.3.3　响应曲面分析

响应曲面图可以直观地反映出各因素交互作用的影响，响应值树莓酮含量对各实验因子 A，B，C，D 所构成的空间曲面见图 6。

各因素交互作用对树莓酮含量的响应曲面模型见图 6。由图 6 可知，料液比和超声温度以及超声时间和超声温度两两交互时对树莓酮含量的影响较为显著，即固定料液比（g/mL）为 1∶15 时，超声温度为 40 ℃时，树莓酮含量最高；固定超声时间为 50 min 时，超声温度为 40 ℃时，树莓酮含量最高。

结合以上响应曲面的分析结果，优化后的工艺条件：料液比（g/mL）为 1∶15.81，乙醇体积分数为 84.61 %，超声时间为 49.20 min，超声温度为 40.80 ℃。为便于实际操作，将条件改为，料液比（g/mL）为 1∶15、乙醇体积分数为 85 %、超声时间为 50 min、超声温度为 40 ℃。为了确定结果的准确性与可靠性，在此条件下进行验证实验，测得树莓酮含量为 2.803 μg/g，

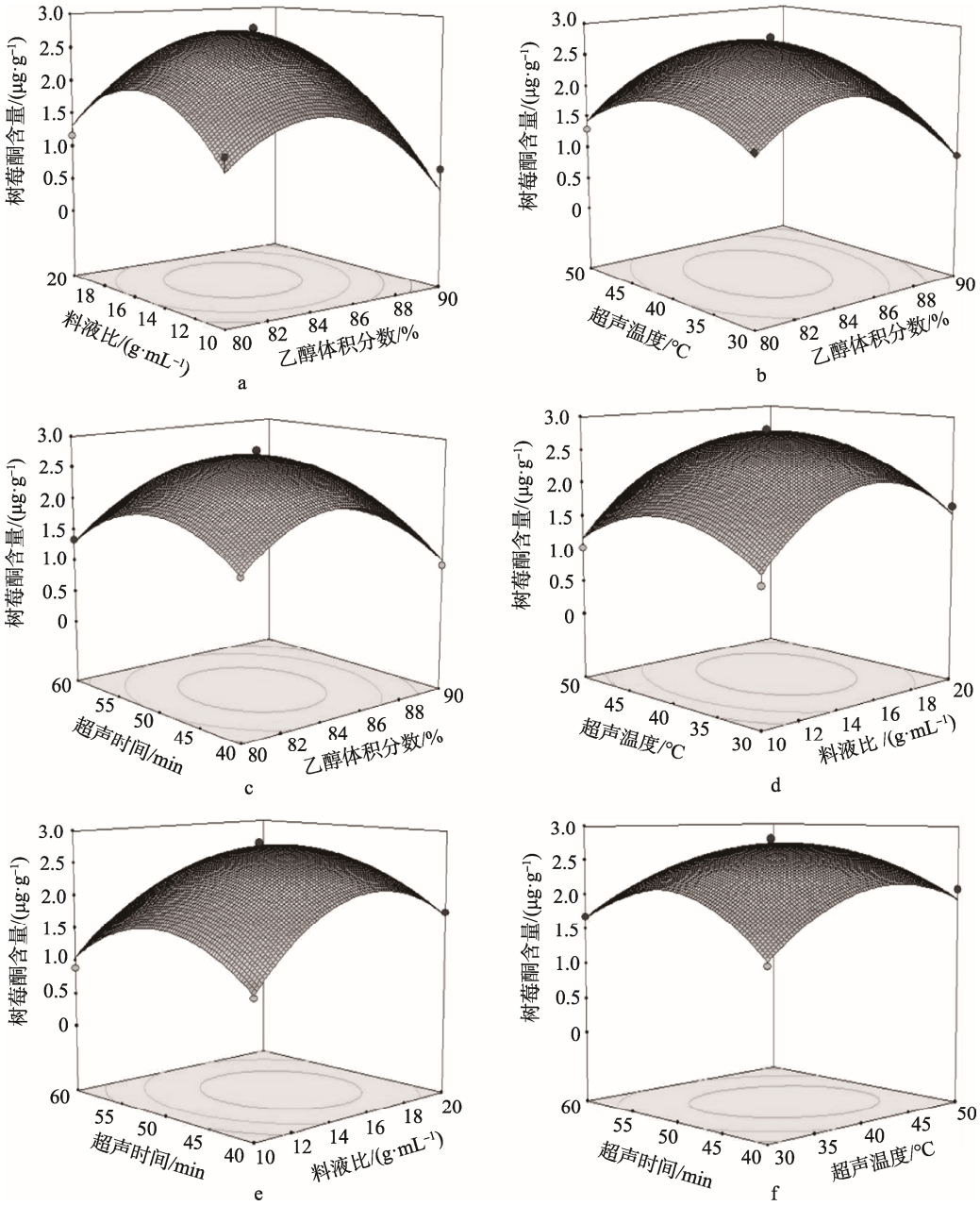

图 6　各因素交互作用对树莓酮含量的响应曲面模型

Fig.6 Response surface model for interaction of various factors on raspberry ketone content

理论值与实际值无明显差异，证明响应曲面优化的树莓酮提取工艺可行。

由图 7 可知，树莓酮标准品色谱峰峰形对称性较好，出峰时间为 4.703 min。

由图 8 可知，树莓酮粗提液在 4.751 min 处出现的峰与树莓酮标准品出峰时间相近，即判定超声波辅助乙醇法提取物为树莓酮。

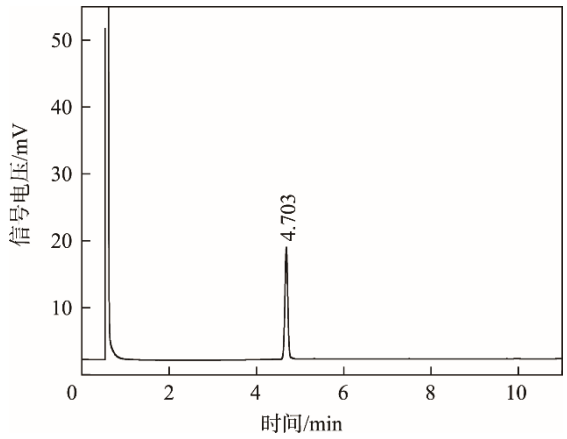

图 7　树莓酮标准品的气相色谱

Fig.7 Gas chromatograph of standard raspberry ketone

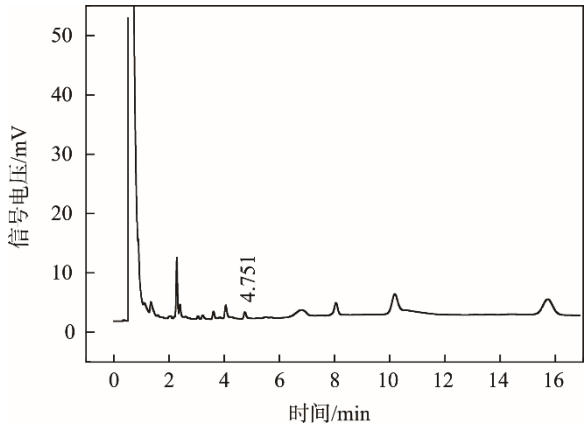

图 8　最优提取条件下树莓酮粗提液的气相色谱

Fig.8 Gas chromatography of raspberry ketone crude extract under optimal extraction conditions

3.4　树莓酮粗提液对卵黄脂蛋白脂质过氧化的抑制作用

从图 9 可以看出，在一定的浓度范围内，树莓酮对卵黄脂蛋白脂质过氧化的抑制作用呈上升趋势，且在样品质量浓度为 400 μg/mL 时，其抑制作用最大，此时，总的抗脂质过氧化能力趋势为 Vc 溶液>树莓酮粗提液>树莓酮标准溶液；当质量浓度超过 400 μg/mL 时，抑制率与样液质量浓度成反比关系，这可能由于样液质量浓度过高导致反应体系不稳定、粗提液杂质溶出量增多等，但具体原因仍需进一步研究。

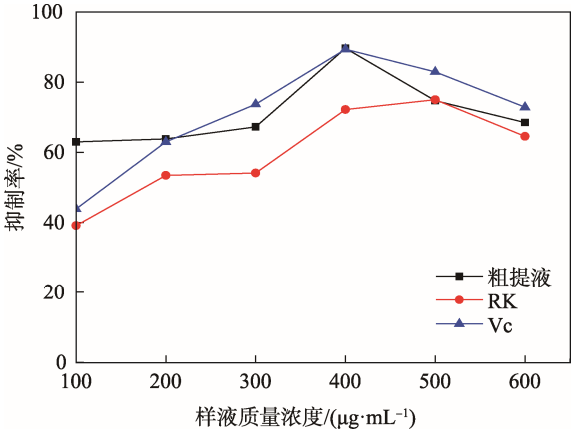

图 9　树莓酮对卵黄脂蛋白脂质过氧化的抑制作用

Fig.9 Inhibitory effect of raspberry ketone on lipid peroxidation of yolk lipoprotein

4　结语

以红树莓为原料，采用超声波辅助法提取树莓酮，选取料液比、乙醇浓度、超声时间、超声温度等 4 个单因素，研究其对树莓酮含量的影响。通过响应曲面设计原理建立了树莓酮含量的回归模型，得到最佳的提取工艺条件：料液比（g/mL）为 1∶15，乙醇体积分数为 85 %，超声时间为 50 min，超声温度为 40 ℃。在此条件下树莓酮含量为 2.803 μg/g，与预测值 2.778 μg/g 接近，证明模型是可靠的。抗脂质过氧化实验结果说明，树莓酮粗提液可抑制脂质过氧化，其抑制程度与样液浓度呈先增加后减弱的趋势，但其作用机制和途径仍有待进一步研究。

参考文献：

[1]　王迎，齐国辉，张雪梅,等. 不同结果期红树莓果实中主要功能性成分含量变化[J]. 食品工业科技，2017(23): 40—44.
WANG Ying, QI Guo-hui, ZHANG Xue-mei, et al. Changes of Main Functional Components in Red Raspberry Fruits at Different Fruiting Stages[J]. Food Industry Science and Technology, 2017(23): 40—44.

[2]　司旭，陈芹芹，毕金峰，等. 树莓主要功能性成分研究进展[J]. 食品工业科技, 2015, 36(4): 376—381.
SI Xu, CHEN Qin-qin, BI Jin-feng, et al. Research Progress on Main Functional Components of Raspberry[J]. Food Industry Science and Technology, 2015, 36(4): 376—381.

[3]　王丽丽. 树莓酮对非酒精性脂肪性肝炎干预作用及机理研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2011: 6—7.
WANG Li-li. Intervention Effect and Mechanism of Raspberry Ketone on Nonalcoholic Steatohepatitis[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2011: 6—7.

[4]　MORIMOTO C, SATOH Y, HARA M , et al. Anti-obese Action of Raspberry Ketone[J]. Life Sciences,

2005, 77(2): 194—204.

[5] 孟宪军, 杨磊, 李斌. 树莓酮对高血脂症大鼠血脂及炎症因子的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(13): 267—270.
MENG Xian-jun, YANG Lei, LI Bin. Effects of Raspberry Ketone on Blood Lipids and Inflammatory Factors in Hyperlipidemic Rats[J]. Food Science, 2012, 33(13): 267—270.

[6] LUO T, MIRANDA-GARCIA O, ADAMSON A, et al. Development of Obesity is Reduced in High-fat Fed Mice Fed Whole Raspberries, Raspberry Juice Concentrate, and a Combination of the Raspberry Phytochemicals Ellagic Acid and Raspberry Ketone[J]. Berry Res, 2016, 6(2): 213—223.

[7] 谢欣梅, 庞晓斌, 李晓婷. 覆盆子酮对糖尿病模型小鼠的降血糖作用及其机制研究[J]. 中国药学杂志, 2012, 47(23): 1899—1904.
XIE Xin-mei, PANG Xiao-bin, LI Xiao-ting. Hypoglycemic Effect of Raspberry Ketone on Diabetic Mice and Its Mechanism[J]. Chinese Journal of Pharmacy, 2012, 47(23): 1899—1904.

[8] 黎庆涛, 王远辉, 王丽. 树莓功能因子研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2011(2): 172—177.
LI Qing-tao, WANG Yuan-hui, WANG Li. Advances in Functional Factors of Raspberry[J]. Chinese food additives, 2011(2): 172—177.

[9] 旷慧, 冯建文, 范倩, 等. 红树莓多酚的组分分析及体外抗脂质过氧化活性[J]. 食品科学, 2018, 39(3): 83—89.
KUANG Hui, FENG Jian-wen, FAN Qian, et al. Component Analysis and in Vitro Anti-lipid Peroxidation Activity of Polyphenols from Raspberry[J]. Food Science, 2018, 39(3): 83—89.

[10] 王佳慧, 于欣悦, 廖声玲, 等. 树莓中鞣花酸提取工艺的优化[J]. 中国林副特产, 2017(4):14—17.
WANG Jia-hui, YU Xin-yue, LIAO Sheng-ling, et al. Optimizing the Extraction Process of Ellagic Acid from Raspberry[J]. China Forest By-product, 2017(4): 14—17.

[11] 钟姣姣, 李万林. 超声波辅助提取菊花中总黄酮工艺条件研究[J]. 皮革与化工, 2014(3): 17—20.
ZHONG Jiao-jiao, LI Wan-lin. Ultrasound-assisted Extraction of Total Flavonoids from Chrysanthemum[J]. Leather and Chemical Industry, 2014(3): 17—20.

[12] 王宗成, 蒋玉仁, 刘小文, 等. 响应面优化生姜茎叶总黄酮提取工艺及其抗氧化活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2015, 27(9): 1582—1588.
WANG Zong-cheng, JIANG Yu-ren, LIU Xiao-wen, et al. Response Surface Methodology for Extracting Total Flavonoids from Ginger Stems and Leaves and their Antioxidant Activities[J]. Research and Development of Natural Products, 2015, 27(9): 1582—1588.

[13] 陈飞, 何先元, 周卯勤, 等. 超声辅助提取四齿四棱草中总黄酮及其抗氧化活性[J]. 天然产物研究与开发, 2016(1): 96—101.
CHEN Fei, HE Xian-yuan, ZHOU Mao-qin, et al. Ultrasound-assisted Extraction of Total Flavonoids and their Antioxidant Activity[J]. Research and Development of Natural Products, 2016(1): 96—101.

[14] 张昌军, 原方圆, 邵红兵. 超声波法在提取多糖类化合物中的应用研究[J]. 化工时刊, 2007, 21(2): 54—56.
ZHANG Chang-jun, YUAN Fang-yuan, SHAO Hong-bing. Study on the Application of Ultrasound in Extracting Polysaccharide Compounds[J]. Chemical Journal, 2007, 21(2): 54—56.

[15] 蒋琼凤, 温拥军, 袁志辉. 半边莲总黄酮提取工艺及抑菌活性的研究[J]. 天然产物研究与开发, 2015, 27(5): 865—869.
JIANG Qiong-feng, WEN Yong-jun, YUAN Zhi-hui. Study on Extraction Technology and Antibacterial Activity of Total Flavonoids from Lobelia Chinensis[J]. Research and Development of Natural Products, 2015, 27(5): 865—869.

[16] 赵瑞艳. 红树莓果实中黄酮类物质最佳提取工艺研究[J]. 特产研究, 2006, 28(2): 40—43.
ZHAO Rui-yan. Study on the Optimum Extraction Technology of Flavonoids from Red Raspberry Fruit[J]. Study on Specialty, 2006, 28(2): 40—43.