

张宽朝, 陈杰, 马伟, 等. 响应面法优化草莓总黄酮提取工艺[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(6): 1450-1458.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2019.06.026

响应面法优化草莓总黄酮提取工艺

张宽朝¹, 陈杰², 马伟³, 何孔泉¹, 阮飞¹

(1. 安徽农业大学生命科学学院, 安徽 合肥 230036; 2. 淮南市科技情报研究所, 安徽 淮南 232008; 3. 寿县瓦埠湖农业种植专业合作社, 安徽 淮南 232212)

摘要: 以草莓为试验材料, 在单因素试验的基础上, 采用 Box-Behnken 设计, 利用响应面分析法探讨乙醇体积分数、提取温度、液料比、提取时间 4 个因素对草莓总黄酮提取率的影响。结果表明, 各因素对草莓总黄酮提取率影响大小顺序为液料比>乙醇体积分数>提取时间>提取温度; 建立了草莓总黄酮提取工艺参数的二次多项式回归模型, 由该模型优化、修正的草莓总黄酮提取条件为: 乙醇体积分数 60%、提取温度 53 ℃、液料比 47:1 (体积质量比)、提取时间 120 min, 在此条件下, 草莓总黄酮得率达到 5.89 mg/g, 与模型预测结果相近。本研究结果为草莓总黄酮类物质工业化生产的后续研究提供了参考。

关键词: 草莓; 总黄酮; 提取; 响应面优化

中图分类号: TS202.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2019)06-1450-09

Optimization on extraction technology of total flavonoids from strawberry by response surface methodology

ZHANG Kuan-chao¹, CHEN Jie², MA Wei³, HE Kong-quan¹, RUAN Fei¹

(1. School of Life Science, Anhui Agriculture University, Hefei 230036, China; 2. Huainan Institute of Science and Technology Information, Huainan 232008, China; 3. Shouxiang Wabuhu Agricultural Planting Specialized Cooperative, Huainan 232212, China)

Abstract: Based on the single factor experiment and Box-Behnken design, the effects of ethanol volume fraction, extraction temperature, liquid-to-solid ratio and extraction time on the extraction of total flavonoids from strawberry were studied by response surface methodology. The results showed that the order of factors affecting the extraction yield of total flavonoids from strawberry was liquid-to-solid ratio>ethanol volume fraction>extraction time>extraction temperature. The quadratic polynomial regression model of extraction parameters for total flavonoids from strawberry was established. The extraction conditions of total flavonoids from strawberry optimized and modified by the model were as follows: ethanol volume fraction 60%, extraction temperature 53 ℃, liquid-to-solid ratio 47:1, extraction time 120 min. Under these conditions, the yield of total flavonoids from strawberry was 5.89 mg/g, which was similar to the prediction result of the model. The results of this study provide a reference for the follow-up study on industrialized production of total flavonoids in strawberry.

Key words: strawberry; total flavonoids; extraction; response surface optimization

草莓(*Fragaria ananassa* Duch.), 又称红莓、洋

莓、地莓等, 是世界七大水果之一, 蔷薇科草莓属多年生宿根草本植物^[1-2]。草莓果实是花托膨大而成的浆果, 具有色泽鲜艳、芳香浓郁、酸甜可口等特征, 具有较高的食用价值, 是优良的鲜食和加工兼用品, 深受消费者的青睐, 享有“水果皇后”的美誉^[3-4]。研究表明, 草莓果实不仅富含蛋白质、

收稿日期: 2019-03-05

基金项目: 安徽省淮南市科技创新专项(2018A351)

作者简介: 张宽朝(1981-), 男, 安徽涡阳人, 硕士, 高级实验师, 主要从事生物化学与化学生物学研究。(E-mail) 8058186@qq.com

脂肪、糖类、膳食纤维、维生素、微量元素等营养物质,而且含有花青素、多酚等功能成分,具有预防心脑血管疾病发生,预防贫血症,增强机体抗氧化力和免疫力,防止癌细胞形成,医治失眠,减缓皮肤衰老等保健作用^[5-6]。

黄酮类化合物(Flavonoids)是植物中的一类重要次生代谢产物,是一种生理活性强的物质,具有重要的生理和药理作用^[7-8]。目前,学者已对杭菊、迷迭香、金花茶叶、花生壳、桃金娘等进行了黄酮类物质的提取和含量测定研究^[9-13]。

研究结果表明,黄酮类化合物是草莓中的主要功能因子之一,表现出良好的抗氧化性能,具有显著的生理功能,对人体健康有着重要的价值^[14-15]。目前,国内外关于草莓中黄酮类物质的研究主要集中在形成机制和生物活性等方面。冯晨静等^[16]对不同成熟度草莓果实研究发现,在绿熟期草莓类黄酮含量较高,随着果实成熟,含量逐渐下降,至紫红期再有所升高;冷藏条件下草莓果实的类黄酮含量在初始的下降后将于第2 d开始大量上升。严嘉玮等^[17]研究认为,随着草莓的成熟,黄酮类物质的含量和特征品质在不断发生变化,总黄酮与总抗氧化——亚铁还原能力和氧自由基吸收能力之间存在较高的相关性。目前,对草莓黄酮类化合物的提取研究较少。李志洲等^[18]对草莓中黄酮的提取及其抗氧化性进行了研究,扶庆权等^[6]采用正交试验设计对草莓中黄酮类物质的提取工艺进行了优化。然而,有关响应面法应用于草莓中黄酮类化合物提取的研究未见报道。因此,本研究以草莓为试验原料,采用响应面法对草莓总黄酮的乙醇浸提方法进行优化,为工业化提取草莓黄酮类物质提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜草莓来自寿县瓦埠湖农业种植专业合作社;芦丁由中国药品生物制品检定所提供;无水乙醇、亚硝酸钠、硝酸铝、氢氧化钠均为国产分析纯。

1.2 仪器和设备

FA2204B 分析天平(上海佑科科学仪器有限公司产品),HH-2J 数显恒温水浴锅(金坛市杰瑞尔电器有限公司产品),L-600 离心机(湖南湘仪离心机仪器有限公司产品),鼓风干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司产品),SHZ-D(3)循环水真空泵(上海

青浦沪西仪器厂产品),SP-722 可见分光光度计(上海光谱仪器有限公司产品),T6 紫外分光光度计(北京普析通用仪器有限公司产品)。

1.3 方法

1.3.1 芦丁标准曲线的绘制 参考张宽朝等^[19]的方法。以芦丁含量(μg)为横坐标,反应体系在 510 nm 下的吸光度为纵坐标绘制标准曲线方程: $Y = 0.0235x - 0.0017, R^2 = 0.9982$ 。

1.3.2 草莓总黄酮的提取 参考扶庆权等^[5]的方法。草莓总黄酮的提取工艺流程:称取 5.0 g 草莓浆液→乙醇浸泡→热回流提取→抽滤→离心,上清液待测。

1.3.3 草莓总黄酮得率的测定 按芦丁标准曲线绘制方法,以方法 1.3.2 所得的待测草莓总黄酮提取液代替芦丁标准溶液,将测定的吸光度代入芦丁标准曲线方程,计算得样品待测液总黄酮含量(μg)。

草莓总黄酮得率($\mu\text{g/g}$) = $(m \times V_1 \times N) / (W \times V_0 \times 1000)$

式中: m 为样品待测液总黄酮含量(μg); V_1 为总黄酮提取液体积(ml); V_0 为总黄酮含量测定所用样液的体积(ml); N 为稀释倍数; W 为试验材料质量(g)。

1.3.4 单因素试验

1.3.4.1 乙醇体积分数对提取得率的影响 在提取温度 60 ℃、液料比 40 : 1(体积质量比)、提取时间 120 min 时,设置乙醇体积分数为 40%、50%、60%、70%、80%、90%,进行总黄酮的提取,测定吸光度,计算总黄酮得率。

1.3.4.2 提取温度对提取得率的影响 在通过上述试验确定的最佳提取乙醇体积分数,以及液料比 40 : 1(体积质量比)、提取时间 120 min 时,设置提取温度分别为 40 ℃、50 ℃、60 ℃、70 ℃、80 ℃,进行总黄酮的提取,测定吸光度,计算总黄酮得率。

1.3.4.3 液料比对提取得率的影响 在通过上述试验确定的最佳提取乙醇体积分数、提取温度,以及提取时间 120 min 时,设置液料比分别为 20 : 1、30 : 1、40 : 1、50 : 1、60 : 1、70 : 1(体积质量比),进行总黄酮的提取,测定吸光度,计算总黄酮得率。

1.3.4.4 提取时间对提取得率的影响 在通过上述试验确定的最佳提取乙醇体积分数、提取温度、液料比,设置提取时间分别为 30 min、60 min、90 min、120

min、150 min、180 min,进行总黄酮的提取,测定吸光度,计算总黄酮得率。

1.3.5 响应面法试验因素水平设计 在单因素试验基础上,利用 Design-Expert 8.0.6 软件的 Box-Behnken 中心组合试验设计原理进行响应面试验。选取乙醇体积分数(A)、提取温度(B)、液料比(C)、提取时间(D)4 个因素作为自变量,编码水平为-1、0 和 1,以草莓总黄酮得率为响应值,响应面试验因素及水平见表 1。

表 1 响应面试验因素水平表

Table 1 Factors and levels for response surface design

编码水平	因素			
	乙醇体积分数(%)	提取温度(℃)	液料比(ml:g)	提取时间(min)
-1	60	50	30:1	120
0	70	60	40:1	150
1	80	70	50:1	180

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 乙醇体积分数对总黄酮得率的影响 在提取温度 60 ℃、液料比 40:1 (体积质量比)、提取时间 120 min 时,乙醇体积分数对草莓总黄酮提取的影响如图 1 所示。从图 1 可以看出,随着乙醇体积分数的增大,草莓总黄酮得率逐渐增大,当乙醇体积分数大于 70% 时,草莓总黄酮得率开始下降。这可能是由于当乙醇体积分数较低时,乙醇的含量相对较低而水的含量相对较高,黄酮提取率较低,但当乙醇体积分数过高时,色素、醇溶性杂质在提取体系中的溶出量增加,黄酮类物质的溶解度降低,导致黄酮提取率下降^[20]。方差分析结果(表 2)显示,不同乙醇体积分数对草莓总黄酮提取的影响显著($P < 0.01$)。由此,选用 70% 为乙醇最佳提取体积分数。

2.1.2 提取温度对总黄酮得率的影响 在乙醇体积分数 70%、液料比 40:1、提取时间 120 min 时,提取温度对草莓总黄酮提取的影响如图 2 所示。由图 2 可知,随着提取温度的增加,草莓中总黄酮得率呈现先增加后下降的趋势。这可能是由于温度的升高促使提取液扩散系数增加,分子运动速度加快,利于黄酮类物质的溶解和释放,草莓总黄酮提取得率逐渐增高,但当温度过高时,影响了黄酮类物质的稳定

性,黄酮类化合物的结构被氧化而破坏,造成黄酮类物质得率降低^[21-22]。方差分析结果(表 3)显示,提取温度对草莓总黄酮提取的影响显著($P < 0.01$)。由此,选用 60 ℃ 为最佳提取温度。

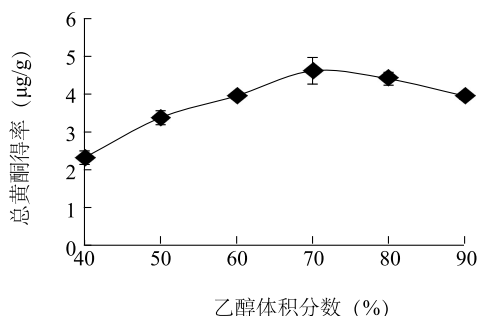


图 1 乙醇体积分数对草莓总黄酮提取的影响

Fig.1 Effect of ethanol volume fraction on extraction of total flavonoids from strawberry

表 2 乙醇体积分数对草莓总黄酮提取影响的方差分析结果

Table 2 Variance analysis for the effect of ethanol volume fraction on the extraction of total flavonoids from strawberry

	平方和	自由度	均方	F	P
组间	10.390	5	2.078	44.294	<0.01
组内	0.563	12	0.047		
总计	10.952	17			

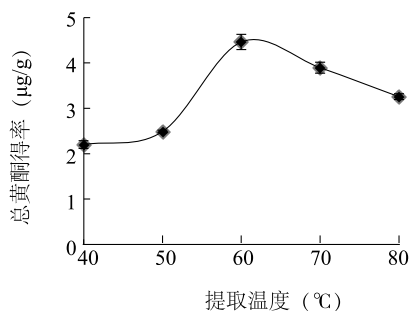


图 2 提取温度对草莓总黄酮提取的影响

Fig.2 Effect of extraction temperature on extraction of total flavonoids from strawberry

表 3 提取温度对草莓总黄酮提取影响的方差分析结果

Table 3 Variance analysis for the effect of extraction temperature on extraction of total flavonoids from strawberry

	平方和	自由度	均方	F	P
组间	10.612	4	2.653	233.261	<0.01
组内	0.114	10	0.011		
总计	10.726	14			

2.1.3 液料比对总黄酮得率的影响 在乙醇体积分数 70%、提取温度 60 ℃、提取时间 120 min 时,液料比对草莓总黄酮提取的影响如图 3 所示。由图 3 可知,在液料比小于 40 : 1(体积质量比)时,随着液料比的增加,草莓总黄酮得率逐渐增大,这可能是因为黄酮类化合物在植物细胞中以苷键、酯键等疏水键结合蛋白质、多糖等物质,适当的液料比加快了提取溶剂渗透并扩散进入细胞的速度,增加了总黄酮的溶解空间,有利于疏水键的破坏,促进了更多的黄酮类物质扩散进入溶剂系统,增大了提取量。当液料比大于 40 : 1(体积质量比)时,因为扩散达到平衡,提取溶剂的增量无法促进更多总黄酮的溶出,草莓总黄酮得率有所下降^[23-24]。方差分析结果(表 4)显示,液料比对草莓总黄酮提取的影响显著($P<0.01$)。由此,从草莓总黄酮提取量和原料节省方面考虑,选用 40 : 1(体积质量比)为最佳提取液料比。

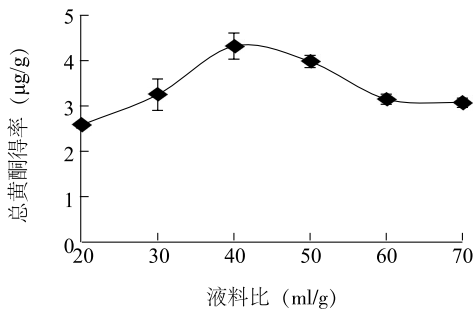


图 3 液料比对草莓总黄酮提取的影响
Fig.3 Effect of liquid-to-solid ratio on extraction of total flavonoids from strawberry

表 4 液料比对草莓总黄酮提取影响的方差分析结果
Table 4 Variance analysis for the effect of liquid-to-solid ratio on extraction of total flavonoids from strawberry

	平方和	自由度	均方	<i>F</i>	<i>P</i>
组间	6.176	5	1.235	38.272	<0.01
组内	0.387	12	0.032		
总计	6.563	17			

2.1.4 提取时间对总黄酮得率的影响 在乙醇体积分数 70%、提取温度 60 ℃、提取液料比 40 : 1(体积质量比)时,提取时间对草莓总黄酮得率的影响如图 4 所示。从图 4 可以看出,总黄酮的提取量随提取时间的增加呈现先增加后降低的趋势。提取时间为 150 min 时,草莓总黄酮提取量最高。其后,可能因为提取时间过长,对黄酮类物质结构造成破

坏,导致提取量开始降低^[25]。方差分析结果(表 5)显示,提取时间对草莓总黄酮提取的影响显著($P<0.01$)。由此,选用 150 min 为最佳提取时间。

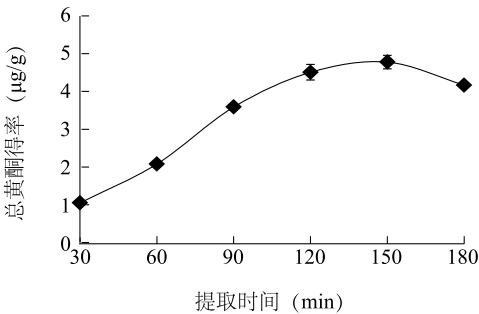


图 4 提取时间对草莓总黄酮提取的影响
Fig.4 Effect of extraction time on extraction of total flavonoids from strawberry

表 5 提取时间对草莓总黄酮提取影响的方差分析结果
Table 5 Variance analysis for the effect of extraction time on extraction of total flavonoids from strawberry

	平方和	自由度	均方	<i>F</i>	<i>P</i>
组间	33.116	5	6.623	392.293	<0.01
组内	0.203	12	0.017		
总计	33.319	17			

2.2 响应面分析

2.2.1 响应面分析方案 根据 Box-Behnken 试验设计原理,在单因素试验结果基础上,对总黄酮的提取方法进行 4 因素 3 水平研究。试验设计与响应结果如表 6 所示。

2.2.2 方差分析及模型建立 用 Design-Expert10 软件对表 6 试验数据作回归模型方差分析,结果如表 7 所示。通过回归拟合,可得总黄酮得率预测值对编码自变量的回归方程为:

草莓总黄酮得率 $Y(\text{mg/g}) = 15.499\ 8 - 0.493\ 9A + 0.249\ 1B + 0.553\ 0C - 0.149\ 9D + 0.003\ 0AB + 0.001\ 6AC + 0.003\ 4AD + 0.002\ 3BC + 0.003\ 9BD - 0.002\ 1CD - 0.002\ 1A_2 - 0.009\ 5B_2 - 0.005\ 5C_2 - 0.000\ 8D_2$ 。

由表 7 可知,方差分析显著性检验结果表明该模型回归显著,失拟项不显著($P=0.636\ 7>0.05$),该模型具有统计学意义。通过数据可看出,方程的 1 次项 C 对响应值的影响显著,2 次项 B_2 对响应值的影响极显著, C_2 、 D_2 对响应值的影响显著,交互项 AD 、 BD 对响应值的影响极显著。

表 6 Box-Behnken 试验响应结果

Table 6 The response results for Box-Behnken

试验序号	各因素编码值				总黄酮得率 (mg/g)	试验序号	各因素编码值				总黄酮得率 (mg/g)
	A	B	C	D			A	B	C	D	
1	-1	-1	0	0	4.16	16	0	1	1	0	3.78
2	1	-1	0	0	2.35	17	-1	0	-1	0	3.68
3	-1	1	0	0	3.67	18	1	0	-1	0	2.96
4	1	1	0	0	3.05	19	-1	0	1	0	4.68
5	0	0	-1	-1	2.85	20	1	0	1	0	4.58
6	0	0	1	-1	3.65	21	0	-1	0	-1	4.26
7	0	0	-1	1	3.98	22	0	1	0	-1	1.98
8	0	0	1	1	2.25	23	0	-1	0	1	1.76
9	-1	0	0	-1	5.11	24	0	1	0	1	4.18
10	1	0	0	-1	2.78	25	0	0	0	0	3.49
11	-1	0	0	1	2.46	26	0	0	0	0	4.60
12	1	0	0	1	4.24	27	0	0	0	0	5.05
13	0	-1	-1	0	2.85	28	0	0	0	0	4.62
14	0	1	-1	0	1.75	29	0	0	0	0	5.23
15	0	-1	1	0	3.98						

A、B、C、D 分别为乙醇体积分数、提取温度、液料比、提取时间。

表 7 回归模型方差分析结果

Table 7 Variance analysis of regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	24.071 4	14	1.719 4	4.299 9	0.005 0 **
A	1.203 3	1	1.203 3	3.009 3	0.104 7
B	0.075 2	1	0.075 2	0.188 1	0.671 1
C	1.960 2	1	1.960 2	4.902 1	0.043 9 *
D	0.258 1	1	0.258 1	0.645 5	0.435 1
AB	0.354 0	1	0.354 0	0.885 4	0.362 7
AC	0.096 1	1	0.096 1	0.240 3	0.631 6
AD	4.223 0	1	4.223 0	10.561 0	0.005 8 **
BC	0.202 5	1	0.202 5	0.506 4	0.488 4
BD	5.522 5	1	5.522 5	13.810 8	0.002 3 **
CD	1.600 2	1	1.600 2	4.001 9	0.065 2
A ₂	0.282 2	1	0.282 2	0.705 8	0.415 0
B ₂	5.882 8	1	5.882 8	14.712 0	0.001 8 **
C ₂	1.961 0	1	1.961 0	4.904 0	0.043 9
D ₂	3.514 5	1	3.514 5	8.789 1	0.010 2 *
残差	5.598 2	14	0.399 9		
失拟误差	3.766 3	10	0.376 6	0.822 4	0.636 7
纯误差	1.831 9	4	0.458 0		
总误差	29.669 5	28			

** 表示差异极显著 ($P < 0.01$); * 表示差异显著 ($P < 0.05$)。

F 值可直观地反映各因素影响的大小,且 F 值越大,则其对响应值的影响也越大。通过对各因素的影响程度进行分析可以发现, $F_A = 3.009 3$, $F_B = 0.188 1$, $F_C = 4.902 1$, $F_D = 0.645 5$, 各因素对草莓总黄酮得率影响大小顺序为液料比 > 乙醇体积分数 > 提取时间 > 提取温度。

2.2.3 因素交互作用分析 为进一步探讨乙醇体积分数、提取温度、液料比、提取时间对响应值的影响,可视化分析各因素间的交互作用,绘制二因素之间交互作用的等高线和响应面图,如图 5~图 10 所示。等高线图和响应面三维图可用于解释自变量之间的相互作用,而且能够直观反映变量间相互作用^[26]。由图可知,响应面开口向下,表明随着因素的增大,响应值随之增大,当响应值达到极值后,因素增大但响应值逐渐减小^[27]。通过对图中等高线形状、密度和响应面曲面倾斜度的分析,可知乙醇体积分数与提取时间、提取温度与提取时间的交互作用对响应值的影响显著。因素交互作用的分析结果验证了回归模型方差分析结果。

2.2.4 最优工艺条件确定与模型验证 经软件分析该模型可得,草莓总黄酮提取的最佳条件为乙醇体积分数 60%、提取温度 52.59 °C、液料比 46.50 : 1 (体积质量比)、提取时间 120 min,在此条件下,总黄酮得率的理论值可达 6.003 5 mg/g。

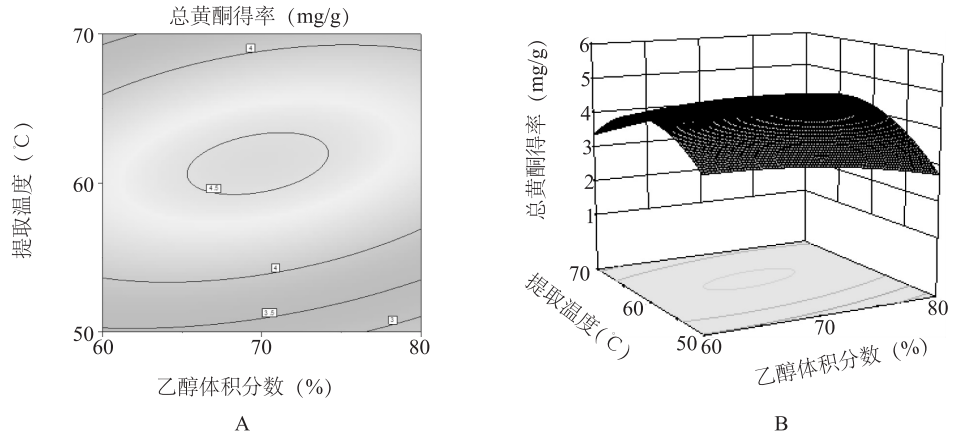


图 5 乙醇体积分数及提取温度对草莓总黄酮提取交互作用的等高线(A)和响应面图(B)

Fig.5 Contour(A) and response surface map(B) of the interaction between ethanol volume fraction and temperature on the extraction of total flavonoids from strawberry

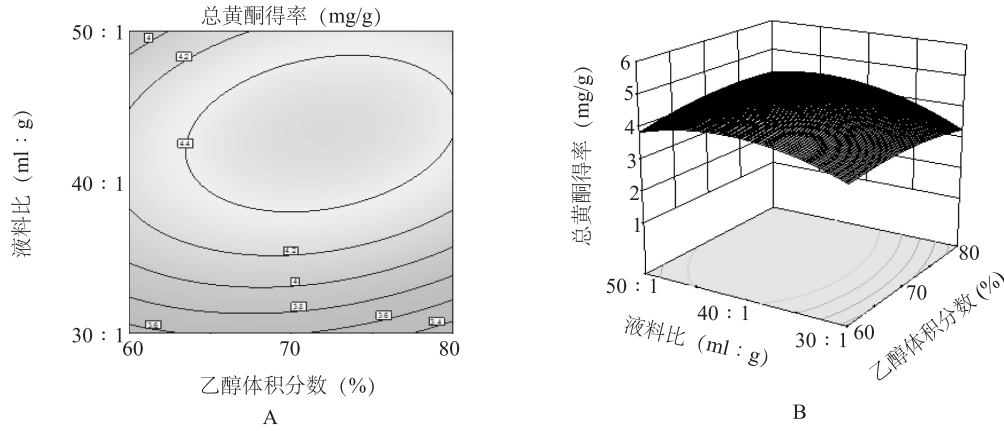


图 6 乙醇体积分数及液料比对草莓总黄酮提取交互作用的等高线(A)和响应面图(B)

Fig.6 Contour(A) and response surface map(B) of interaction between ethanol volume fraction and liquid-to-solid ratio on the extraction of total flavonoids from strawberry

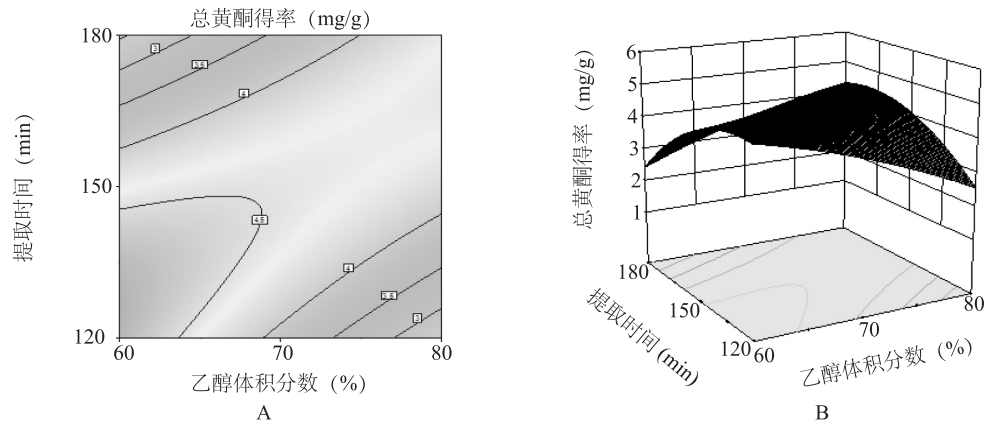


图 7 乙醇体积分数及提取时间对草莓总黄酮提取交互作用的等高线(A)和响应面图(B)

Fig.7 Contour(A) and response surface map(B) of the interaction between ethanol volume fraction and extraction time on the extraction of total flavonoids from strawberry

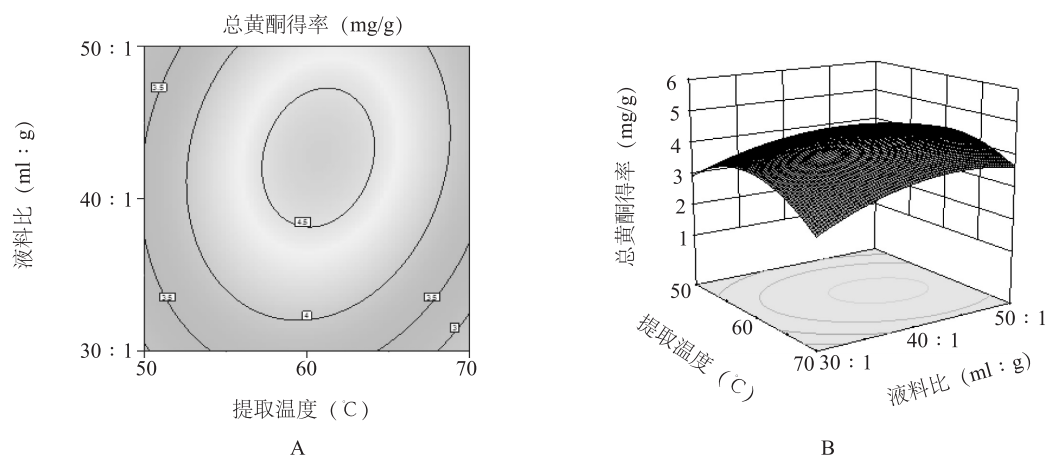


图8 提取温度及液料比对草莓总黄酮提取交互作用的等高线(A)和响应面图(B)

Fig.8 Contour(A) and response surface map(B) of interaction between extraction temperature and liquid-to-solid ratio on the extraction of total flavonoids from strawberry

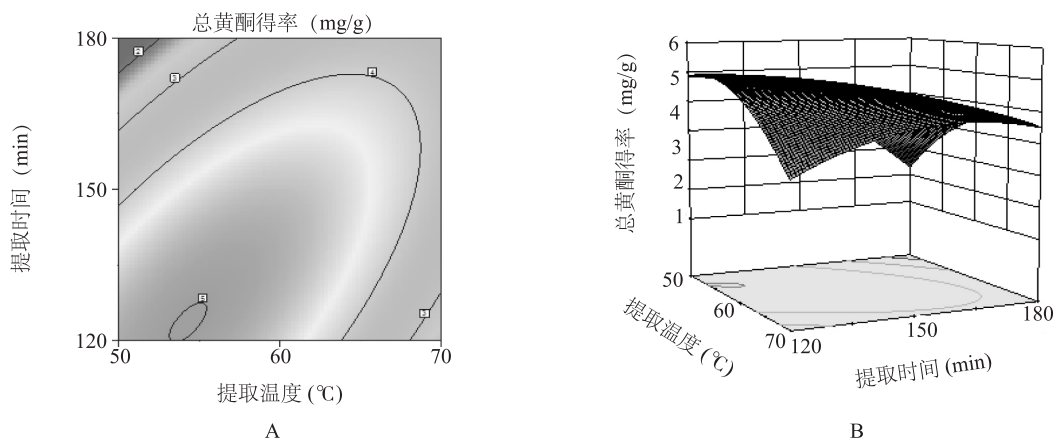


图9 提取温度及提取时间对草莓总黄酮提取交互作用的等高线(A)和响应面图(B)

Fig.9 Contour(A) and response surface map(B) of interaction between extraction temperature and time on extraction of total flavonoids from strawberry

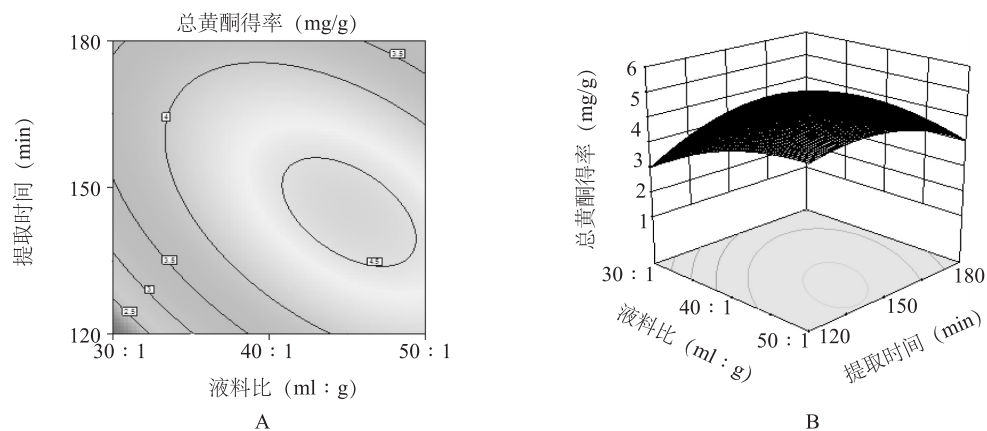


图10 液料比及提取时间对草莓总黄酮提取交互作用的等高线(A)和响应面图(B)

Fig.10 Contour(A) and response surface map(B) of interaction between liquid-to-solid ratio and extraction time on extraction of total flavonoids from strawberry

基于对条件可操作性的考虑,进一步将最佳提取工艺条件修正为乙醇体积分数 60%、提取温度 53℃、液料比 47:1(体积质量比)、提取时间 120 min,经 3 次验证性试验,总黄酮得率为 5.89 mg/g,与预测值相差为 1.89%,说明通过响应面优化后的提取条件可靠。

3 讨论

草莓是一种大众型消费水果,含有丰富的生物活性物质。随着经济社会的不断发展,草莓因其独特的口感与生理功效已成为研究的新热点。草莓中的多酚、黄酮等抗氧化物质对人类健康的作用正越来越受到重视,其抗氧化活性的高低正成为衡量草莓品质的重要指标之一^[28]。作为很强的抗氧化剂,黄酮类物质在有效清除体内自由基,阻止细胞退化和衰老,改善血液循环,促进胆固醇降低等方面有着重要价值。随着近年来植物黄酮类化合物研究的不断深入,黄酮类化合物在食品、医药等领域的应用日益广泛,草莓中的主要营养生理学功能成分黄酮类物质具有广阔的研究和开发前景。

植物中黄酮类物质的提取方法很多,如水浸提法、有机溶剂浸提法、超声波辅助提取法、生物酶提取法等。有机溶剂浸提法常选用甲醇、乙醇、乙酸乙酯、石油醚、乙醚等有机溶剂作为提取剂。根据相似相溶原理,乙醇法浸提黄酮类物质的实质在于黄酮类物质从植物材料内部向有机溶剂转移的过程。考虑到乙醇的极性,以及乙醇无毒、无污染、无刺激性气味等优点,研究确定乙醇作为草莓黄酮类物质提取的有效溶剂。

本研究在单因素试验的基础上,采用 Box-Behnken 设计,对草莓总黄酮的乙醇浸提工艺进行了优化,发现试验条件下各因素对草莓总黄酮得率影响大小顺序为液料比>乙醇体积分数>提取时间>提取温度。建立了草莓总黄酮提取工艺参数的二次多项式回归模型,由该模型优化、修正的草莓总黄酮提取条件为:乙醇体积分数 60%、提取温度 53℃、液料比 47:1(体积质量比)、提取时间 120 min,在此条件下,草莓总黄酮提取得率为 5.89 mg/g,与模型预测结果相近。比扶庆权等^[6]正交试验法所得到的草莓黄酮类物质提取量(5.13 mg/g)略高,这可能是因为试验材料的差异;但低于刘文旭等^[29]测定的草莓全果和果渣中的总黄酮含量(7.04 mg/g、

14.23 mg/g),这可能是因为提取过程中有效物质的损失,同时,也说明提取工艺仍然有着较大的改进空间。

本研究利用响应面分析方法优化获得草莓总黄酮乙醇浸提的最优工艺参数,可提高草莓资源的有效利用,为草莓总黄酮类物质工业化生产的后续研究奠定基础。

参考文献:

- [1] KALT W, FORNEY C F, MARTIN A, et al. Antioxidant capacity vitamin C, phenolics, and anthocyanins after fresh storage of small fruits[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47(11): 4638-4644
- [2] 苏代发,童江云,杨俊誉,等.中国草莓属植物种质资源的研究、开发与利用进展[J].云南大学学报(自然科学版),2018,40(6):1261-1276
- [3] 余璐璐,曹中权,朱春娇,等.不同浓度水杨酸处理对草莓采后保鲜的影响[J].植物生理学报,2015,51(11):2047-2053.
- [4] 吉沐祥,杨勇,彭燕琼,等.江苏草莓生产现状与消费需求调查分析及其发展建议[J].江苏农业科学,2017,45(16):336-340.
- [5] 罗学兵,贺良明.草莓的营养价值与保健功能[J].中国食物与营养,2011,17(4):74-76.
- [6] 扶庆权,徐鉴.正交试验法优化草莓中总黄酮的提取工艺研究[J].中国食品添加剂,2011(6):130-135.
- [7] 延玺,刘会青,邹永青,等.黄酮类化合物生理活性及合成研究进展[J].有机化学,2008,28(9):1534-1544.
- [8] 扶庆权,侯佩,陈能.响应面法优化芦蒿叶总黄酮的提取工艺[J].食品科学,2013,34(4):94-98.
- [9] LIU Y H, MOU X, ZHOU D Y, et al. Extraction of flavonoids from *Chrysanthemum morifolium* and antitumor activity *in vitro*[J]. Experimental & Therapeutic Medicine, 2018, 15(2):1203-1210.
- [10] SARAH M, MOHAMED K. Enhancement of total phenolic and flavonoids extraction from *Rosmarinus officinalis* L. using electromagnetic induction heating (EMIH) process[J]. Physiology and Molecular Biology of Plants, 2018, 24(5):889-897.
- [11] LIU Y, LUO Y, LAN Z Q, et al. Ultrasonic-assisted extraction and antioxidant capacities of flavonoids from *Camellia fascicularis* leaves[J]. CyTA - Journal of Food, 2018, 16(1):105-112.
- [12] LIANG G Y, DENG Y, JU T, et al. Continuous high voltage electrical discharge extraction of flavonoids from peanut shells based on 'annular gap type' treatment chamber[J]. Food Chemistry, 2018, 256(1):350-357.
- [13] 袁媛,余修亮,陈宇欢,等.桃金娘花青素和黄酮的提取方法比较及其抗氧化能力研究[J].中国食品学报,2018,18(9):144-151.
- [14] PARK D, PARK Y, LEE Y H, et al. A Comparative study of phenolic antioxidant activity and flavonoid biosynthesis-related gene

- expression between summer and winter strawberry cultivars[J]. J Food Sci, 2017, 82(2): 341-349.
- [15] CRECELIUS A C, HÖLSCHER D, HOFFMANN T, et al. Spatial and temporal localization of flavonoid metabolites in strawberry fruit (*Fragaria* × *Ananassa*) [J]. J Agric Food Chem, 2017, 65(17): 3559-3568.
- [16] 冯晨静, 关军锋, 杨建民, 等. 草莓果实成熟期花青苷、酚类物质和类黄酮含量的变化[J]. 果树学报, 2003, 20(3): 199-201.
- [17] 严嘉玮, 路洪艳, 李 莉, 等. 2 种草莓成熟过程中果实特征品质指标的变化[J]. 食品科学, 2017, 38(4): 125-132.
- [18] 李志洲, 刘军海. 草莓中黄酮的提取及其抗氧化性研究[J]. 食品研究与开发, 2007, 128(7): 31-34.
- [19] 张宽朝, 文 汉, 胡雅萍, 等. 贡菊黄酮抗小鼠急性肝损伤作用的研究[J]. 天然产物研究与开发, 2014, 26(2): 183-187, 214.
- [20] 邵金华, 李 涛, 杨 艳. 微波辅助工业乙醇提取废弃洋葱皮中总黄酮工艺研究[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(3): 237-239.
- [21] LIU W, YU Y Y, YANG R Z. Optimization of total flavonoid compound extraction from *Gynura medica* leaf using response surface methodology and chemical composition analysis[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2010, 11(11): 4750-4763.
- [22] 孙 朦, 王鸿飞, 李艳霞, 等. 辣木叶总黄酮提取工艺优化及抗氧化能力研究[J]. 核农学报, 2018, 32(9): 1772-1780.
- [23] 崔美林, 苏玉芳, 高 红. 不同加工方式对基于双水相体系提取的小米黄酮的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(5): 156-161.
- [24] 焦昆鹏, 马丽苹, 朱文学, 等. 响应面法优化花生茎叶黄酮的提取工艺及其抗氧化活性研究[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(2): 89-95.
- [25] 朱海霞, 张小芳, 高 洋, 等. 萝卜籽粕中黄酮的提取及纯化工艺研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(1): 159-162.
- [26] 熊苏慧, 唐 洁, 李诗卉, 等. 一种新型天然低共熔溶剂用于玉竹总黄酮的绿色提取[J]. 中草药, 2018, 49(10): 2378-2386.
- [27] 范金波, 蔡茜彤, 冯叙桥, 等. 牛蒡根多酚和黄酮超高压提取工艺优化及体外抗氧化活性[J]. 食品科学, 2015, 36(6): 69-75.
- [28] 张豫超, 谢 鸣, 陈俊伟, 等. 不同采收期草莓果实抗氧化物质含量和抗氧化活性的变化[J]. 浙江农业学报, 2009, 21(3): 250-254.
- [29] 刘文旭, 黄午阳, 曾晓雄, 等. 草莓、黑莓、蓝莓中多酚类物质及其抗氧化活性研究[J]. 食品科学, 2011, 32(23): 130-133.

(责任编辑: 陈海霞)