

超声波分级提取玫瑰精油和色素的工艺优化

黄俊魏, 唐琳*, 陈浩

(山东师范大学生命科学学院食品科学与工程系, 济南 250014)

摘要: **目的** 研究超声波技术分级提取玫瑰精油与色素的最佳工艺条件, 在提取玫瑰精油的同时, 增加色素的得率。**方法** 以平阴玫瑰花瓣为原料, 超声波辅助乙醇水溶液提取玫瑰中的精油与色素。通过 pH 示差法测定玫瑰色素的粗得率, 气相色谱法确定精油的相对含量。采用乙醚-石油醚混合液萃取玫瑰精油, 并使用大孔树脂纯化色素。**结果** 最佳工艺参数: 超声功率 130 W, 超声时间 20 min, 液料比 4:30(g/mL), 乙醇浓度 50%, 此时玫瑰精油得率为(0.22±0.02) mg/g, 粗提液中色素得率为(0.83±0.02) mg/g。经大孔树脂纯化后的色素得率为(0.74±0.02)mg/g。**结论** 利用超声技术实现了玫瑰花精油提取, 同时获得较高得率的色素。

关键词: 超声波; 玫瑰精油; 玫瑰色素提取

Optimization of technology for ultrasound-assisted sequential extraction of rose essential oil and pigment

HUANG Jun-Wei, TANG Lin*, CHEN Hao

(Department of Food Science and Engineering, College of Life Science, Shandong Normal University, Jinan 250014, China)

ABSTRACT: Objective To optimize the fractionation extraction of rose essential oil and pigment from Pingyin rose by ultrasound technology, not only extracted rose essential oil but also increased the yield of pigment. **Methods** Pingyin rose petals was used as raw material, the rose essential oil and pigments were extracted by ultrasonic-assisted ethanol aqueous. The rough yield of rose pigment was measured by pH-differential method, and the gas chromatography was used to determine the relative content of essential oils. The ether-petroleum ether mixture was used to extract rose essential oil, and macroporous resin was used in the purification of pigment. **Results** The optimized best extraction parameters: ultrasonic-assisted extraction time 20 min, ultrasound power 130 W, liquid-solid ratio 4:30 (g/mL), ethanol concentration 50%, then the yield of rose essential oil (0.22±0.02) mg/g, and crude yield of pigment (0.83±0.02) mg/g. The purified yield of pigment (0.74±0.02) mg/g. **Conclusion** Rose essential oil are extracted using ultrasonic technology, and the high yield of the pigment are achieved.

KEY WORDS: ultrasound; rose essential oil; rose pigment extraction

1 引言

玫瑰是我国的十大名花之一, 属蔷薇科蔷薇属多年生常绿或落叶性灌木, 在我国具有悠久的栽培

历史^[1]。平阴玫瑰以其秀丽的花形, 艳丽的花色、芬芳的香气而享誉国内外, 被誉为“中国传统玫瑰”的代表^[2]。玫瑰花性温、味甘微苦, 具有消炎、杀菌、预防流行性感冒之功效^[3], 人们常用来做玫瑰花茶、

*通讯作者: 唐琳, 副教授, 主要研究方向为天然功能性产物。E-mail: tanglin@sdsu.edu.cn

*Corresponding author: TANG Lin, Associate Professor, Natural Functional Products, Department of Food Science and Engineering, College of Life Science, Shandong Normal University, Jinan 250014, China. E-mail: tanglin@sdsu.edu.cn

玫瑰酱、玫瑰酒、玫瑰饮料,是一类药食兼具型食材^[4,5]。目前,国内外对玫瑰花的综合利用的研究报道比较少,且多数报道集中于玫瑰精油的研究,而对其所含的其他成分的应用研究更少。玫瑰精油为鲜花油之冠,具有优雅、柔和、细腻、香甜如蜜、芬芳四溢的玫瑰花香,香味很浓,其价格昂贵,有“液体黄金”之美誉^[3],在香料调香中是最重要、最常用的名贵花香料,被广泛应用于食品、高档化妆品及烟草中,同时还作药用和食品添加剂^[6]。保加利亚学者发现玫瑰精油具有通便、利尿、轻微的镇定作用以及抗组氨和抗菌作用,建议应用于肺脓肿的治疗;玫瑰精油对大鼠有促进胆汁分泌作用;有抚慰和松弛作用,可抗焦虑和神经紧张,止头痛^[7]。

玫瑰花除了含有精油外,还含有丰富的色素。玫瑰花色素中所含的主要成分是黄酮类物质和花色苷^[8]。玫瑰花色素主要成分为矢车菊素-3-葡萄糖苷。花色苷是一种安全、无毒的水溶性天然色素,并且具有许多功能性质,如抗氧化、抗炎、抗突变、清除体内自由基、抑菌抗病毒、抗心脑血管疾病、保护胃黏膜、改善视力、预防糖尿病、保护肝脏等药理活性,对人体具有良好的保健功能,已被应用于食品、保健品、医药等行业^[9-11]。近年来,人们越来越多地意识到了使用天然色素的安全性和必要性^[12]。

超声波提取法是一种新型的提取技术,具有快速、安全、节能、提取效率高等优点,已经被广泛应用于功能性成分的提取。超声波能够产生强烈振动效果、较高的加速度、强烈的空化效应以及搅拌作用,产生的局部高温和巨大压力,可以快速破坏植物组织的细胞结构^[13],使溶剂快速渗透到细胞中,能够达到高效快速地提取植物组织中功能性成分的目的。为了实现玫瑰花资源的综合利用,本研究利用超声波辅助溶剂提取技术分级提取玫瑰精油和色素(见图1),并对提取工艺进行了优化,以期高效、经济地开发利用玫瑰花资源,提高玫瑰花的附加值提供理论及实验依据。

2 材料与方法

2.1 材料、试剂与仪器

材料:玫瑰花(山东平阴重瓣玫瑰,采于5月盛花期)

试剂:乙醇(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);氯化钾(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);

三水醋酸钠(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);盐酸(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);正己烷(色谱级,天津市科密欧化学试剂有限公司);壬烷(色谱级,天津市科密欧化学试剂有限公司);石油醚(沸程30℃~60℃,国药集团化学试剂有限公司);乙醚(分析纯,国药集团化学试剂有限公司)

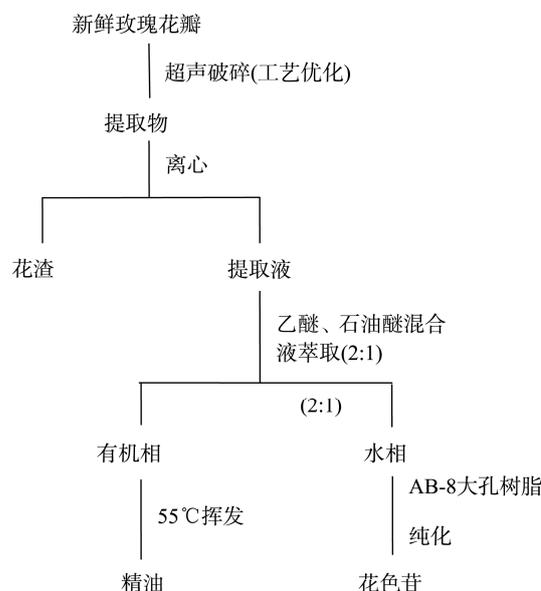


图1 超声分级提取工艺路线图

Fig. 1 The process route of ultrasound sequential extraction

仪器: UV-1700 紫外可见分光光度计(日本岛津公司); JY92-II 超声波细胞粉碎机(上海新芝生物科技股份有限公司); DK-450B 型电热恒温水浴槽(上海森信实验仪器有限公司); 高速冷冻离心机(centrifuge 5810 R); 电子天平 AR1530(梅特勒-托利多仪器上海有限公司); 万分之一电子天平 DV214(美国奥豪斯公司); GC-2014 气相色谱仪(美国安捷伦公司)。

2.2 玫瑰精油和色素提取的工艺优化

2.2.1 超声前处理

称取适量冷冻鲜玫瑰花花瓣,加入30 mL乙醇水溶液,在超声波一定功率条件下超声辅助提取一段时间得到玫瑰花破碎液,将玫瑰花破碎液放入高速冷冻离心机,在6000 r/min条件下离心10 min后,获得含功能性有效成分的上清液。

2.2.2 玫瑰精油相对含量的测定

采用气相色谱内标法测定玫瑰花精油的相对含量^[14]。取8 mL上清液,加入10 mL的离心管中,加入1 μL的色谱级壬烷作内标物,加入1 mL的色谱级

正己烷萃取,震荡5 min,经6000 r/min离心1 min,将正己烷层取入1.5 mL的离心管中,4℃保存,供气相色谱分析使用。用微量进样针取1 μL正己烷层进行气相色谱分析,将每克玫瑰花中香茅醇的峰面积与内标物的峰面积比值作为指标,来反映优化实验中精油含量的相对变化。色谱条件:KB-5毛细管柱(30 m×0.32 mm,0.25 μm),氢火焰离子化检测器(FID);升温程序:从50℃到220℃,速率3℃/min,220℃保持10 min;载气(N₂)流速0.5 mL/min;进样量1 μL,分流比1:5;延迟时间:4 min,进样口温度250℃,检测器温度250℃。

2.2.3 色素含量的测定

采用pH示差法测定玫瑰花色苷的含量^[15]。提取完精油后,准确量取0.25 mL的玫瑰花色素上清液,分别加入pH 1.0缓冲液和pH 4.5缓冲液3 mL,稀释13倍后,40℃保温20 min^[16],加快花色苷达到平衡,分别在最大吸收波长520 nm和700 nm波长处测量其吸光度值,根据朗伯-比尔定律 $A=\epsilon bc$,结合Fuleki的研究^[17],对玫瑰花花瓣中的玫瑰色素含量进行定量分析。

2.2.4 pH示差法

(1) 缓冲液的配制^[18]

pH 1.0的缓冲液:准确称取1.86 g氯化钾,加蒸馏水约980 mL,加入盐酸调节pH 1.0,用蒸馏水稀释至1000 mL。

pH 4.5的缓冲液:准确称取54.43 g三水醋酸钠,加蒸馏水约960 mL,加入盐酸调节pH 4.5,用蒸馏水稀释至1000 mL。

(2) 玫瑰花色素含量的计算公式^[17]

$$A=(A_{520\text{ nm}}-A_{700\text{ nm}})_{\text{pH}1.0}-(A_{520\text{ nm}}-A_{700\text{ nm}})_{\text{pH}4.5}$$

$$C=\frac{A \times M_w \times DF}{\epsilon \times L \times 1000} \quad (1)$$

$$\text{色素得率}(\text{mg/g})=\frac{C \times V}{M} \times 1000 \quad (2)$$

式(1)中:A为吸光度; M_w 为矢车菊素-3-葡萄糖苷分子量(取449.2); DF 为稀释倍数; ϵ 为矢车菊素-3-葡萄糖苷的摩尔消光系数(取26900 L/(mol·cm)); L 为比色皿光程(1 cm)。式(2)中: C 为玫瑰花色素含量(g/mL); V 为乙醇水溶液体积(mL); M 为玫瑰花质量(g)

2.2.5 单因素试验

超声功率、超声时间、料液比、乙醇浓度、温度以及提取液pH值^[19]对玫瑰精油和色素的提取都具有比较显著的影响。但在酸性条件下,提取液对超声波

细胞粉碎机的超声探头具有较强的腐蚀性,既会折损仪器使用寿命,又会因为腐蚀探头而溶出的金属离子而对提取液造成较大污染;又因为在超声粉碎玫瑰花瓣的过程中,提取液会产生局部的高温,对于实验温度不易控制,所以本单因素试验不考虑提取液pH值及温度对提取效果的影响。主要考虑的影响因素有超声功率、超声时间、料液比和乙醇浓度。在以下实验中每次实验均重复3次。

(1) 超声功率的选择

准确称取5.0 g玫瑰花样品,加入30 mL 40%乙醇水溶液,在超声时间15 min的条件下,研究超声功率(650 W)分别为10%、15%、20%、25%、30%时对玫瑰花精油和色素提取效果的影响。

(2) 乙醇浓度的选择

准确称取5.0 g玫瑰花样品,加入30 mL不同浓度的乙醇水溶液,在25%超声功率,超声时间15 min的条件下,研究乙醇水溶液提取剂浓度分别为30%、40%、50%、60%、70%时对玫瑰花精油和色素提取效果的影响。

(3) 超声时间的选择

准确称取5.0 g玫瑰花样品,加入30 mL 40%乙醇水溶液,在25%超声功率的条件下,研究超声时间分别为10 min、15 min、20 min、25 min、30 min时对玫瑰花精油和色素提取效果的影响。

(4) 料液比的选择

分别准确称取2.0 g、3.0 g、4.0 g、5.0 g、6.0 g玫瑰花样品,加入30 mL 40%乙醇水溶液,在25%超声功率,超声时间25 min的条件下,研究不同玫瑰花样品质量对玫瑰花精油和色素提取效果的影响。

2.2.6 正交试验

根据单因素试验的结果,将提取精油和色素的最优条件包含其中,采用 $L_{16}(4^5)$ 正交表进行正交试验,因素水平表如表1,以玫瑰色素的得率和每克玫瑰花中精油香茅醇的峰面积比为评价标准,来确定最佳的提取条件。

2.3 玫瑰精油的提取

通过正交试验获得最佳工艺条件,做三次平行实验。分别称取4g新鲜玫瑰花样品,超声3次,之后6000 r/min离心10 min,合并上清液,用20 mL 1:2石油醚、乙醚混合液萃取^[21],萃取3次,合并萃取液,在通风橱55℃的水浴锅中挥干,可得精油,用万分之一天平称量,计算精油的得率。

2.4 色素的提取及纯化

将萃取完精油的提取液, 移取 0.25 mL, 测定色素得率。剩余清液用 pH=2.0 的盐酸水溶液稀释 7 倍。称取 20 g 湿 AB-8 树脂湿法装柱(1 cm×35 cm), 提取液过柱吸附流速 7.2 BV/h(BV 为树脂床体积), 收集流出液, 每 10 mL 一管, 直至流出液吸光值为上柱液的 10%时(泄漏点), 即认为树脂吸附饱和, 停止吸附, 洗脱, 洗脱剂为 pH=1 的 70%的酸性乙醇水溶液, 洗脱流速 2.7 BV/h, 收集洗脱液, 旋蒸浓缩, 可得纯的色素浓缩液^[22]。

3 结果与讨论

3.1 气相色谱图

如图 2 所示, 保留时间 5.58 min 时, 为内标物壬烷的峰, 保留时间 56.81 min 时, 为香茅醇的峰, 根据研究表明^[20], 香茅醇为平阴玫瑰精油中成分含量最多的组分, 远远高于其他组分。本文将香茅醇与内标的峰面积比再除以物料的质量(消除因物料质量变化引起的峰面积变化), 即每克玫瑰花中香茅醇与内

标的峰面积比作为指标, 研究不同影响因素变化导致的玫瑰精油的相对含量的变化。

3.2 各单因素最优条件的确定

3.2.1 超声功率的确定

在 5.0 g 玫瑰花样品中, 加入 30 mL 40%乙醇水溶液, 超声 15 min 的条件下, 超声功率对玫瑰精油和色素提取效果的影响见图 3。

根据图 3 可知, 随着超声功率的增大, 玫瑰精油的相对含量和色素的得率也在不断增大, 因为随着超声功率的提高, 剪切力、机械振荡强度和空化效应将不断增加, 提高了玫瑰花瓣的破碎程度, 细胞内的更多的有效功能成分溶于溶剂。在超声功率 20%(650 W)时, 即 130 W 时, 精油的相对含量达到最大; 在超声功率 25%(650 W)时, 即 162.5 W 时, 玫瑰花色素的得率达到最大值, 提取效果最好。再随着超声功率的增大, 玫瑰精油的相对含量和色素的得率开始下降, 可能是由于超声功率过大, 超声的热效应引起溶剂温度的升高, 产生了氧化破坏作用而引起的。

表 1 因素水平表

Table 1 Factors and levels of orthogonal experiment

水平	因素			
	A 时间(min)	B 功率(650 W)	C 料液比(g/30 mL)	D 乙醇浓度
1	15	15%	3	30%
2	20	20%	4	40%
3	25	25%	5	50%
4	30	30%	6	60%

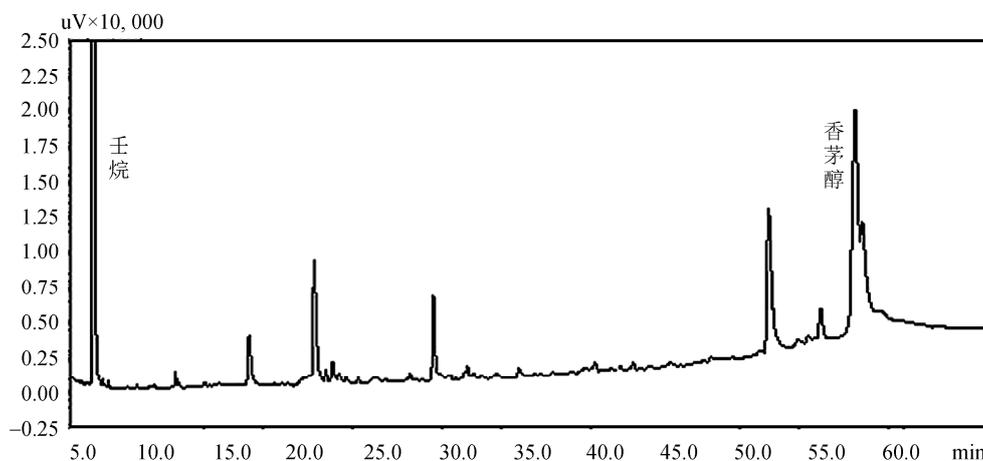


图 2 平阴玫瑰精油气相色谱图

Fig. 2 The gas chromatograph of Pingyin rose essential oil

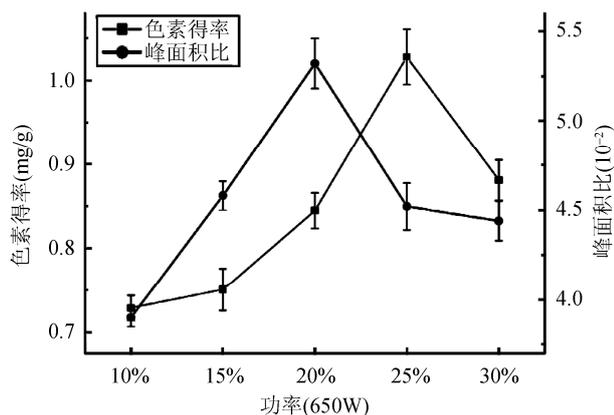


图 3 超声功率对提取效果的影响

Fig. 3 Effect of ultrasonic power on the extraction

3.2.2 乙醇浓度的确定

称取 5.0 g 玫瑰花样品, 加入 30 mL 不同浓度的乙醇水溶液, 在 25% 超声功率, 超声时间 15 min 条件下, 研究不同乙醇水溶液提取剂浓度对玫瑰精油和色素提取效果的影响见图 4。

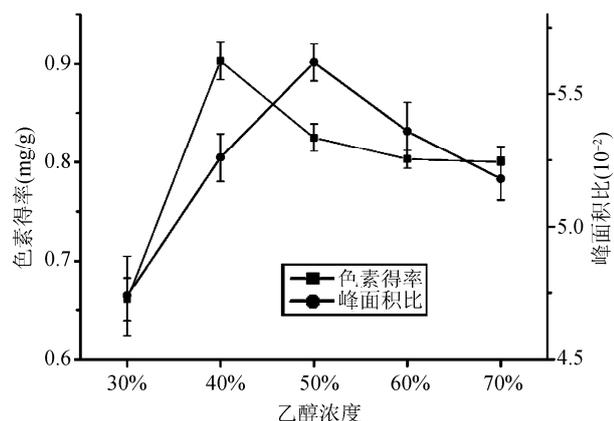


图 4 乙醇浓度对提取效果的影响

Fig. 4 Effect of ethanol concentration on the extraction

根据图 4 可知, 随着乙醇浓度的增加, 溶剂的黏度降低, 扩散系数增大, 溶剂的渗透能力随之增大, 传质效率提高, 有利于功能性成分从玫瑰花细胞液泡内溶出, 因此提取的色素和精油的含量不断提高。在乙醇浓度为 40% 时, 玫瑰花色苷的得率最大, 色素提取效果最好; 在乙醇浓度为 50% 时, 溶剂的脂溶性增加, 此时玫瑰精油的相对含量最大。随着乙醇浓度的进一步增加, 由于提取液的介电常数降低、极性变弱等原因, 造成精油和色素溶出上一定程度上的降低。

3.2.3 超声时间的确定

在 5.0 g 玫瑰花样品中, 加入 30 mL 40% 乙醇水

溶液, 25% 超声功率的条件下, 研究超声时间对玫瑰花精油和色素提取效果的影响, 见图 5。

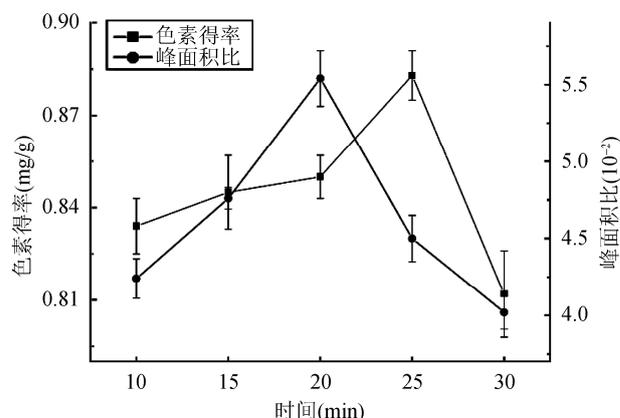


图 5 超声时间对提取效果的影响

Fig. 5 Effect of ultrasonic time on the extraction

根据图 5 可知, 随着时间的增加, 超声对玫瑰花细胞破碎越来越充分, 精油和色素的溶出不断提高。在超声时间 20 min 时, 精油的相对含量最高; 超声 25 min 时的色素提取效果最佳。之后, 玫瑰精油和色素提取效果明显下降, 可能是由于超声时间过长, 超声溶剂产生的自由基的氧化作用而破坏了有效成分的结构; 也可能是超声时间过长, 提取液温度升高而引起有效成分的降解。

3.2.4 料液比的确定

在不同质量玫瑰花样品中, 加入 30 mL 40% 乙醇水溶液, 25% 超声功率, 超声时间 25 min 的条件下, 研究不同玫瑰样品质量对玫瑰花精油和色素提取效果的影响, 见图 6。

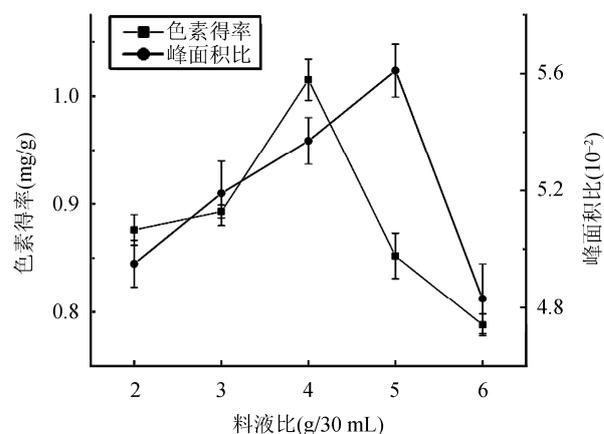


图 6 料液比对提取效果的影响

Fig. 6 Effect of solid-liquid ratio on the extraction

根据图6可知,物料质量较少时,超声对玫瑰花细胞破碎比较充分,但可能伴有一定程度的降解,导致提取效果不好,并存在溶剂浪费问题。当料液比达到4:30(g/mL)时玫瑰色素的得率最佳;当料液比达到5:30(g/mL)时玫瑰精油的提取效果最佳。之后,随着物料的增加提取的有效成分含量下降,可能是由于物料浓度过高,提取液传质效率降低而引起提取效果的降低。

3.3 正交试验结果及分析

根据各单因素的试验结果,采用表1进行正交试验设计,通过玫瑰色素得率来确定最佳的色素提取工艺条件见表2。

根据表2的数据,通过极差比较可以得知,影响玫瑰色素提取效果的因素的主次顺序为C(料液比)>D(乙醇浓度)>B(超声功率)>A(超声时间),所以超声波辅助提取平阴玫瑰色素的最佳工艺条件为

表2 正交试验结果
Table 2 Orthogonal experimental data and results

实验号	因素				实验结果	
	A	B	C	D	色素得率(mg/g)	精油峰面积比(10^{-3})
1	1	1	1	1	0.69	4.17
2	1	2	2	2	0.95	5.74
3	1	3	3	3	0.83	5.62
4	1	4	4	4	0.82	4.33
5	2	1	2	3	0.86	5.85
6	2	2	1	4	0.74	5.53
7	2	3	4	1	0.91	4.76
8	2	4	3	2	1.02	5.24
9	3	1	3	4	0.81	4.73
10	3	2	4	3	0.86	5.28
11	3	3	1	2	0.90	5.09
12	3	4	2	1	0.85	4.53
13	4	1	4	2	0.82	4.39
14	4	2	3	1	0.76	4.82
15	4	3	2	4	0.94	4.45
16	4	4	1	3	0.72	4.21
K ₁	0.822	0.795	0.762	0.802		
K ₂	0.883	0.827	0.900	0.922		
K ₃	0.855	0.895	0.855	0.817		
K ₄	0.810	0.853	0.852	0.828		
K ₁ '	4.965	4.785	4.750	4.570		
K ₂ '	5.345	5.343	5.143	5.115		
K ₃ '	4.908	4.980	5.103	5.240		
K ₄ '	4.468	4.578	4.690	4.760		
R	0.073	0.100	0.138	0.120		
R'	0.877	0.765	0.453	0.670		

C₂D₂B₃A₂, 即料液比 4:30 (g/mL), 乙醇浓度 40%, 超声时间 20 min, 超声功率 25%(650W); 影响精油提取效果的因素的主次顺序为 A(超声时间)>B(超声功率)>D(乙醇浓度)>C(料液比), 所以提取精油的最佳工艺条件为 A₂B₂D₃C₂, 即超声时间 20 min, 超声功率 20%(650 W), 乙醇浓度 50%, 料液比 4:30(g/mL)。

由实验可以看出, 精油和色素的最优条件和各影响因素主次, 并不一致。由于功能性成分本身的特异性和结构成分的复杂性, 对花瓣的破碎程度, 提取剂极性大小, 溶剂的传质速率等要求不尽相同。并且精油和色素都为易降解、易氧化、不稳定的功能性物质, 易受提取过程中温度升高, 机械、空化效应剧烈, 溶剂产生的自由基等影响而降解, 从而对提取结果产生影响。考虑到精油的价值高于色素, 并且色素最优提取条件与精油提取最优条件相差不大, 所以选择精油的最优条件作为本实验的最优条件, 即超声时间 20 min, 超声功率 20%(650 W), 乙醇浓度 50%, 料液比 4:30(g/mL)。

3.4 玫瑰精油的提取及色素的分离纯化结果

通过最佳工艺条件, 做 3 次平行实验。将有机溶剂挥发, 可得到微量淡黄色粘稠液体, 具有强烈的玫瑰花香, 此时玫瑰精油得率为(0.22±0.02) mg/g; pH 示差法测得粗提液中色素得率为(0.83±0.02) mg/g, 经过 AB-8 大孔树脂纯化, 吸附率为 90%, 解吸率为 99%, 可得到纯化的色素得率为(0.74±0.02) mg/g。

4 结 论

通过实验可以看出, 超声辅助溶剂分级提取玫瑰精油和色素, 并通过内标法测定精油的相对含量变化是可行的。在得到高精油得率的同时, 色素也取得较高的得率, 实现了玫瑰花资源的高效利用, 避免了资源浪费。实验研究了超声功率、超声时间、料液比和乙醇浓度 4 个因素对玫瑰精油和色素得率的提取效果的影响, 通过正交试验优化了提取工艺, 即: 超声功率 130 W, 超声时间 20 min, 料液比 4:30(g/mL), 50%乙醇水溶液。通过最优条件, 测得玫瑰精油得率为(0.22±0.02) mg/g, 粗提液中色素得率为(0.83±0.02) mg/g, 纯化的色素得率为(0.74±0.02) mg/g。

参考文献

[1] 牟宗慧. 山东玫瑰花原花青素含量测定及质量标准研究[D].

济南: 山东中医药大学, 2009.

Mou ZH. Determination of proanthocyanins and study on the quality standard in rosa rugosa of Shandong province [D]. Jinan: Shandong University of Traditional Chinese Medicine, 2009.

[2] 李子江. 平阴玫瑰花花色苷提取工艺及性质的研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2010.

Li ZJ. Study of the extraction process and properties of anthocyanin from Pingyin roses [D]. Jinan: Shandong Normal University, 2010.

[3] 胡晓燕, 沈才洪, 敖宗华, 等. 玫瑰花有效成分及玫瑰花酒的研究进展[J]. 酿酒科技, 2014, 11: 68-72.

Hu XY, Shen CH, Ao ZH, *et al.* Research progress in the active ingredients of rose and rose wine [J]. Liquor-making Sci Technol, 2014, 11: 68-72.

[4] 谢秋涛. 超临界 CO₂ 提取玫瑰精油工艺优化及副产物综合利用研究[D]. 长沙: 中南大学, 2013.

Xie QT. Research on optimization of processing parameters for supercritical carbon dioxide extraction of rose essential oil and comprehensive utilization of by products [D]. Changsha: Central South University, 2013.

[5] 贾佼佼, 苗明三. 玫瑰花的化学、药理及应用分析[J]. 中医学报, 2014, 29(196): 1337-1338.

Jia JJ, Miao MS. Analysis of chemistry, pharmacology and clinical application for rose [J]. China J Chin Med, 2014, 29(196): 1337-1338.

[6] 陈伟, 孟宪军, 王立男. 玫瑰花红色素提取工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(3): 50-52.

Chen W, Meng XJ, Wang LN. Studies on the extraction technology of red pigment from rose [J]. Food Res Dev, 2006, 27(3): 50-52.

[7] 马希汉, 王永红, 胡亚云, 等. 精油玫瑰研究[J]. 西北林学院学报, 2004, 19(4): 138-141.

Ma XH, Wang YH, Hu YY, *et al.* Advances in the research of oil-bearing roses [J]. J Northwest For Univ, 2004, 19(4): 138-141.

[8] 冯作山, 杜鹃, 李勇, 等. 玫瑰色素的纯化及成分初步鉴定[J]. 食品科技, 2006, (10): 152-155.

Feng ZS, Du J, Li Y, *et al.* Purification and preliminary components identification of rose pigment [J]. Food Sci Technol, 2006, (10): 152-155.

[9] 应丽亚. 玫瑰精油化学成分及其功能性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.

Ying LY. The research of chemical components and functions of essential oil of Rosa damascene [D]. Hangzhou: Zhejiang

- University, 2012.
- [10] 王本晓, 彭向前, 乔伟, 等. 玫瑰花中花色苷的分析方法研究[J]. 食品与药品, 2009, 11(11): 42-44.
Wang BX, Peng XQ, Qiao W, *et al.* Study on assay of anthocyanins in flowers of rose rugosa Thunb [J]. Food Drug, 2009, 11(11): 42-44.
- [11] 徐渊金, 杜琪珍. 花色苷生物活性的研究进展[J]. 食品与机械, 2006, 22(6): 154-157.
Xu YJ, Du QZ. Review on anthocyanins bioactivities [J]. Food Mach, 2006, 22(6): 154-157.
- [12] 周学森. 苦水玫瑰精油及花渣中色素的提取纯化[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2010.
Zhou XS. Ku-shui rose essential oil and rose residue pigment extraction and purification [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2010.
- [13] 王秀环, 孙伟卫, 季新燕, 等. 迷迭香精油提取工艺研究进展[J]. 山西中医院学报, 2015, 16(1): 73-76.
Wang XH, Sun WW, Ji XY. Review on extraction of essential oil from Rosmarinus officinalis [J]. J Shanxi Coll Tradit Chin Med, 2015, 16(1): 73-76.
- [14] Jannat M, Rold'an-Gutiérrez J, Ruiz-Jiménez MD, *et al.* Ultrasound-assisted dynamic extraction of valuable compounds from aromatic plants and flowers as compared with steam distillation and superheated liquid extraction [J]. Talanta, 2008, (75): 1369-1375.
- [15] 唐琳, 李子江, 赵磊, 等. 两种 pH 值法测定玫瑰花花色苷含量的比较[J]. 食品科学, 2009, 18: 310-313.
Tang L, Li ZJ, Zhao L, *et al.* Comparison of Two pH Methods for Determining Anthocyanins from flower petals of rose [J]. Food Sci, 2009, 18: 310-313.
- [16] 孙婧超, 刘玉田, 赵玉平, 等. pH 示差法测定蓝莓酒中花色苷条件的优化[J]. 中国酿造, 2011, 11: 171-174.
Sun JC, Liu YT, Zhao YP, *et al.* Optimization of analytical condition of determining anthocyanins content in blueberry wine by pH-differential method [J]. China Brewing, 2011, 11: 171-174.
- [17] Fuleki T, Francis FJ. Quantitative method for anthocyanins: 2. determination of total anthocyanin and degradation index for cranberry juice [J]. Food Sci, 1968, 33(1): 78-83.
- [18] 刘洪海, 张晓丽, 杜平, 等. pH 示差法测定烟 73 葡萄中花青素含量[J]. 中国调味品, 2009, 34(4): 110-111, 117.
Liu HH, Zhang XL, Du P, *et al.* Determination the anthocyanin content in Yan73 grape by pH-differential method [J]. China Condiment, 2009, 34(4): 110-111, 117.
- [19] 葛芹, 马晓军. 食用玫瑰花色素的提取及其稳定性研究[J]. 食品工业科技, 2012, (14): 146-152.
Ge Q, Ma XJ. Study on the extraction and stability of anthocyanins from edible rose [J]. Food Sci Technol Ind, 2012, (14): 146-152.
- [20] 吴秋霞, 张军, 傅道祖, 等. 平阴玫瑰精油的成分分析[J]. 色谱, 1991, 3(3): 179-181.
Wu QX, Zhang J, Fu DZ, *et al.* Study on the constituents of essential oil of Pingyin roses [J]. Chin J Chromatogr, 1991, 3(3): 179-181.
- [21] 杨月云, 王小光, 杨鹏坤, 等. 超声波提取红玫瑰精油工艺优化[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(12): 306-308.
Yang YY, Wang XG, Yang PK, *et al.* Optimization of technology for ultrasound-assisted extraction of rose essential oil [J]. Jiangsu Agric Sci, 2014, 42(12): 306-308.
- [22] 赵垒. 平阴玫瑰花苷纯化工艺优化、分子修饰及应用研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2011.
Zhao L. Study of the purification process optimization, molecular modification and application of anthocyanin from Pingyin roses [D]. Jinan: Shandong Normal University, 2011.

(责任编辑: 白洪健)

作者简介



黄俊巍, 硕士研究生, 主要研究方向为天然功能性成分。

E-mail: 18754151931@163.com

唐琳, 副教授, 主要研究方向为天然功能性产物。

E-mail: tanglin@sdsu.edu.cn