

水酶法提取栀子油工艺优化及其脂肪酸组成

曹秋霞^{1,2}, 梁文斌¹, 杨艳^{2,3}, 汤玉喜³, 唐洁³, 黎蕾³, 黄锋⁴

(1. 中南林业科技大学 生命科学与技术学院, 长沙 410004; 2. 湖南省林业科学院 省部共建木本油料资源利用国家重点实验室, 长沙 410004; 3. 湖南省林业科学院, 长沙 410004; 4. 岳阳县林业局柏祥林业工作站, 湖南 岳阳 414100)

摘要:为促进栀子的开发利用,以栀子成熟果实为原料,采用水酶法提取栀子油。采用单因素实验研究酶种类、加酶量、酶解 pH、酶解温度、液料比、酶解时间对栀子油得率的影响,在此基础上采用均匀设计实验进行工艺条件优化,并对各种酶提取的栀子油进行脂肪酸组成分析。结果表明:水酶法提取栀子油的最佳工艺条件为采用中性蛋白酶、加酶量 0.7%、液料比 3:1、酶解 pH 7、酶解温度 60℃、酶解时间 7 h,在此条件下栀子油得率为 7.27%,与空白组(3.34%)相比提高了 117.66%;栀子油中亚油酸含量最高,超过 56%,不饱和脂肪酸含量为 80%左右。不同酶提取栀子油的脂肪酸组成及含量没有显著差异。

关键词:栀子果实;栀子油;水酶法;均匀设计;脂肪酸组成

中图分类号:TS225.1; TS224 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2022)07-0022-06

Optimization of extraction of *Gardenia jasminoides* oil by aqueous enzymatic method and its fatty acid composition

CAO Qiuxia^{1,2}, LIANG Wenbin¹, YANG Yan^{2,3}, TANG Yuxi³,
TANG Jie³, LI Lei³, HUANG Feng⁴

(1. College of Life Science and Technology, Central South Forestry University of Science and Technology, Changsha 410004, China; 2. State Key Laboratory of Utilization of Woody Oil Resource, Hunan Academy of Forestry, Changsha 410004, China; 3. Hunan Academy of Forestry, Changsha 410004, China; 4. Baixiang Forestry Workstation of Yueyang County Forestry Bureau, Yueyang 414100, Hunan, China)

Abstract: In order to promote the development and utilization of *Gardenia jasminoides*, With the mature fruit of *Gardenia jasminoides* as raw material, the oil was extracted by aqueous enzymatic method. The effects of enzyme species, enzyme dosage, enzymatic hydrolysis pH, enzymatic hydrolysis temperature, liquid-material ratio and enzymatic hydrolysis time on the yield of *Gardenia jasminoides* oil were studied by single factor experiment. The process parameters were optimized by uniform design on the basis of single factor experiment. The fatty acid composition of *Gardenia jasminoides* oil extracted by different enzymes was analyzed. The results showed that the optimal process conditions were obtained as follows: with neutral protease for enzymolysis, enzyme dosage 0.7%, liquid-material ratio 3:1, enzymatic hydrolysis pH 7, enzymatic hydrolysis temperature 60℃ and enzymatic hydrolysis time 7 h. Under these conditions, the yield of *Gardenia jasminoides* oil was 7.27%, which was 117.66% higher than that of control(3.34%). The linoleic acid content in *Gardenia jasminoides* oil was the highest, exceeding 56%,

and unsaturated fatty acids content was about 80%. There was no significant difference in the fatty acid composition and content of *Gardenia jasminoides* oils extracted by different enzymes.

Key words: *Gardenia jasminoides* fruit; *Gardenia jasminoides* oil; aqueous enzymatic method; uniform design; fatty acid composition

收稿日期:2021-06-28;修回日期:2022-02-25

基金项目:重大标志性创新示范工程项目(2019XK2002)

作者简介:曹秋霞(1996),女,硕士研究生,研究方向为生物制药(E-mail)CQX19961019@163.com。

通信作者:杨艳,副研究员,博士(E-mail)yangyanzupei@126.com。

梔子(*Gardenia jasminoides* Ellis)为茜草科梔子属的一种常绿灌木^[1],主要分布于湖南、江西、湖北、福建、贵州等地^[2],是我国颁布的第一批药食两用资源。研究发现,梔子成熟果实油脂含量在12%以上,梔子油中脂肪酸含量比例接近大豆油,其中以亚油酸含量最高,达40%以上,且具有较好的稳定性和较高的食用价值^[3-4]。此外,梔子油还富含甾醇、角鲨烯等活性物质^[5],具有增强免疫力、抗炎、抗衰老等作用^[6]。现代药理学研究表明,梔子油具有镇静、催眠、抗惊厥以及促进学习记忆的作用^[7]。张俊逸等^[8]研究表明,梔子油对对乙酰氨基酚致小鼠急性肝损伤具有保护作用。潘文文等^[9]研究表明,梔子油可以促进糖酵解,同时还可能通过改善健美操运动员的心肌和血液的供氧环节,改善抗缺氧和耐酸的水平,且无任何不良反应。因此,梔子油具有较高的利用价值。

我国食用油进口依存度高,梔子作为木本食用油料作物具有不与粮争地、一次栽植多年结实等优点,且研究发现梔子油中饱和脂肪酸与单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸含量的比值更接近世界卫生组织和中国营养学会提出的1:1:1的黄金比例^[10-11],符合国家粮油战略方向,可作为食用植物油的有效补充。目前国内多地建立了梔子发展合作社,梔子要作为一个产业发展,梔子油的提取方法也是实现梔子产业健康可持续发展的“助推器”。目前,梔子油提取方法主要为溶剂提取法、压榨法以及亚临界提取法等。溶剂提取法中溶剂具有毒性,且挥发性较强,对环境和梔子油的品质均会造成一定的影响;压榨法提取效率较低,浪费原料且油品颜色较深;亚临界提取法设备复杂,操作起来具有一定难度。水酶法是以水为介质通过酶的作用来破坏油料细胞壁,从而促使油脂的释放,其反应条件温和、耗能低且无需有机溶剂,所获得油脂品质高、色泽浅且副产物少,接近国家一级压榨油标准,是一种具有应用前景的提油技术^[12-13]。

本研究以梔子成熟果实为原料,从多种水解酶中遴选出最佳酶,并采用均匀设计法优化水酶法提取梔子油的工艺条件,旨在为工业化应用水酶法提取梔子油提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

梔子果实,采用高温杀青干燥后贮存1年的梔子果实。

中性蛋白酶(10万U/g)、纤维素酶(5万U/g)、 α -淀粉酶(10万U/g),上海蓝季生物公司;半纤维

素酶(10万U/g)、果胶酶(10万U/g),上海源丰生物科技有限公司;磷酸二氢钠、磷酸氢二钠,西陇科学股份有限公司。

GZX-9240MBE电热鼓风干燥箱,HL-200型高速粉碎机,FA2204电子天平,HH-4恒温水浴锅,WHY-2水浴恒温振荡器,TDL5M台式低速离心机,笔式酸度计,TRACE1300气相色谱仪。

1.2 实验方法

1.2.1 水酶法提取梔子油

参照季泽峰等^[14]的方法并进行改进。将梔子果实粉碎过0.425 mm(40目)筛,称取20 g梔子粉,加入一定量的缓冲液混合浸泡,置于90℃恒温水浴锅搅拌10 min高温灭酶,将其冷却至酶的最适反应温度,调节pH,加入一定量的酶,恒温搅拌一定时间,然后升温至90℃灭酶,于4 500 r/min离心20 min,分离出清油层和乳化层,将乳化层置于-18℃冷藏24 h,50℃水浴加热2 h,获取上层清油并与首次所得清油合并称量质量,4℃下保存备用。按下式计算梔子油得率(w)。

$$w = m_1 / M_1 \times 100\% \quad (1)$$

式中: m_1 为梔子清油质量,g; M_1 为梔子粉质量,g。

1.2.2 梔子油的脂肪酸组成分析

参考GB 5009.168—2016方法进行样品甲酯化,采用GC-MS测定梔子油的脂肪酸组成。

GC条件:HP-5弹性石英毛细管柱(30 mm \times 0.25 mm \times 0.25 μ m);载气为氦气,流速2 mL/min;升温程序为初始温度70℃,以10℃/min的速率升温至280℃;进样口温度280℃;进样量1 μ L,不分流进样。

MS条件:EI离子源,电离电压70 eV,溶剂延迟时间5 min,离子源温度280℃,质量扫描范围(m/z)30~400。根据峰面积归一化法计算脂肪酸含量。

1.2.3 数据统计

所有实验均设计3个重复,采用DPS软件进行回归分析,利用Origin 2018绘制图表。

2 结果与讨论

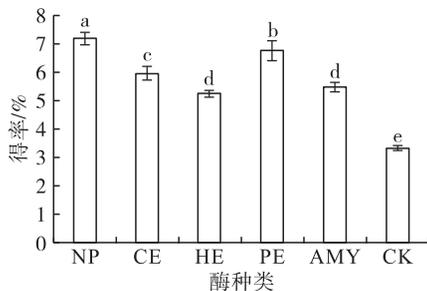
2.1 酶种类对梔子油得率的影响

2.1.1 单一酶对梔子油得率的影响

考察中性蛋白酶、果胶酶、纤维素酶、半纤维素酶、 α -淀粉酶5种酶对梔子油得率的影响。分别在5种酶的最适pH以及最适温度(见表1)、液料比4:1、加酶量3%、酶解时间4 h条件下提取梔子油,同时设计对照组(CK,对照组不加酶,反应温度50℃,不调节pH,其他反应条件均与水酶法相同),计算梔子油得率,结果见图1。

表1 5种酶的最适温度和pH

酶种类	温度/℃	pH
中性蛋白酶	50	7.0
果胶酶	50	3.5
纤维素酶	50	4.8
半纤维素酶	50	4.8
α -淀粉酶	55	5.0



注: NP. 中性蛋白酶; CE. 纤维素酶; HE. 半纤维素酶; PE. 果胶酶; AMY. α -淀粉酶; CK. 对照。下同

图1 单一酶对栀子油得率的影响

由图1可以看出,与对照组相比,5种酶对栀子油得率均有促进作用,其中中性蛋白酶的效果最好,栀子油得率为7.19%,与对照组(3.34%)比提高了115.27%,果胶酶和纤维素酶次之。可能是由于栀子果实中大部分油滴被纤维素以及果胶等包裹,且与蛋白质结合形成脂蛋白复合物,因此果胶酶、纤维素酶以及中性蛋白酶对栀子油得率的促进作用较大^[3]。另外,中性蛋白酶不仅能破坏脂蛋白、脂多糖等复合物使其释放油脂^[15],也能破坏蛋白质结构减少乳化现象的产生从而使油脂释放率更高。因此,选择中性蛋白酶进行复合酶的筛选。

2.1.2 复合酶对栀子油得率的影响

将2.1.1筛选出的酶与其他酶两两复合进行实验,实验条件为:加酶量3%,酶配比1:1,液料比4:1,酶解时间4h,酶解pH和酶解温度分别为两种酶适宜反应范围的折中点。复合酶对栀子油得率的影响见图2。

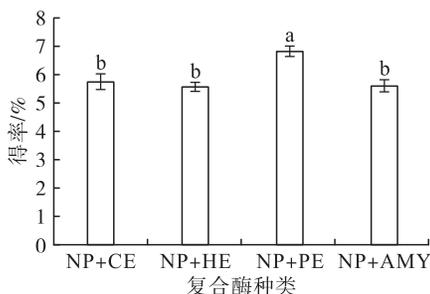


图2 复合酶对栀子油得率的影响

从图2可以看出,中性蛋白酶与果胶酶复合的栀子油得率最高,为6.82%,与对照组相比栀子油得率提高了104.19%,中性蛋白酶与纤维素酶复合次之,栀子油得率为5.75%,与对照组相比提高了

72.16%,可能是由于栀子果肉中含有丰富的果胶且大部分脂质与蛋白质结合形成复合物,所以这两种酶复合对细胞壁的破坏程度较高,促进油脂的释放。但从栀子油得率来看,中性蛋白酶水解的效果优于其与其他酶复合的效果,可能是在两种酶复合时,由于酶解时间分配以及酶解温度、酶解pH与单一酶的最适温度、pH差异较大,且酶与酶之间的相互作用会使酶解液产生更多的乳化层,使油脂不易游离^[16],导致栀子油得率较低。因此,选择中性蛋白酶进行单因素实验。

2.2 栀子油提取单因素实验

2.2.1 加酶量对栀子油得率的影响

在液料比3:1、酶解温度50℃、酶解pH7、酶解时间4h的条件下,考察中性蛋白酶加酶量对栀子油得率的影响,结果见图3。

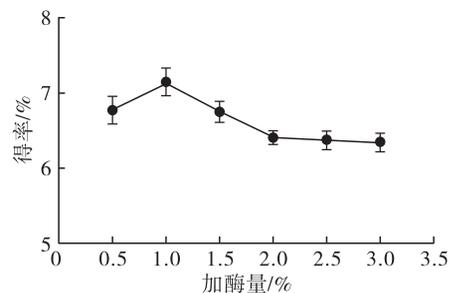


图3 加酶量对栀子油得率的影响

从图3可以看出,随着加酶量的增加,栀子油得率呈先增加后减少的趋势,当加酶量为1%时,栀子油得率达到最高,为7.13%。当加酶量较少时,栀子油得率随着加酶量的增大而提高,可能由于酶与反应底物分子碰撞的概率变大,反应速度提高,可促进栀子油的释放^[17]。但随着加酶量的持续增加,底物与酶的反应达到饱和^[18],同时过多酶导致乳化现象严重,栀子油得率减少。因此,选择加酶量为1%。

2.2.2 液料比对栀子油得率的影响

在加酶量1%、酶解时间4h、酶解温度50℃、酶解pH7的条件下,考察液料比对栀子油得率的影响,结果如图4所示。

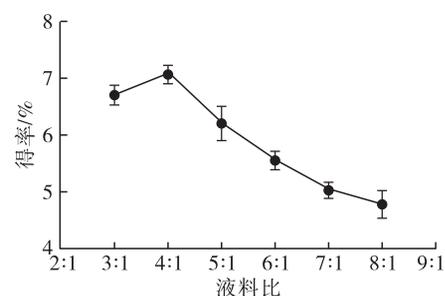


图4 液料比对栀子油得率的影响

从图4可以看出,随着液料比的增大,栀子油得率呈先增加后减少的趋势,在液料比为4:1时栀子油得率达到最大,为7.07%。可能是因为当液料比较小时,溶液比较黏稠,酶与底物接触不够充分,所以反应不完全,且油脂不易从残渣中释放出来^[19]。随着液料比的增加,两者充分接触,达到最佳反应效果。液料比过大时,降低了酶的浓度,使酶分子与底物分子之间的碰撞概率下降,导致只有部分底物反应。因此,选择液料比为4:1。

2.2.3 酶解 pH 对栀子油得率的影响

在加酶量1%、酶解时间4 h、酶解温度50℃、液料比4:1的条件下,考察酶解 pH 对栀子油得率的影响,结果如图5所示。

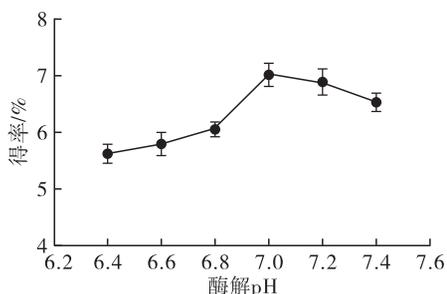


图5 酶解 pH 对栀子油得率的影响

由图5可以看出,随着酶解 pH 不断增大,栀子油得率呈现先增大后减小的趋势。当酶解 pH 为7时,栀子油得率达到最大,为7.02%。因此,选择酶解 pH 为7。

2.2.4 酶解时间对栀子油得率的影响

在加酶量1%、酶解温度50℃、液料比4:1、酶解 pH 7的条件下,考察酶解时间对栀子油得率的影响,结果如图6所示。

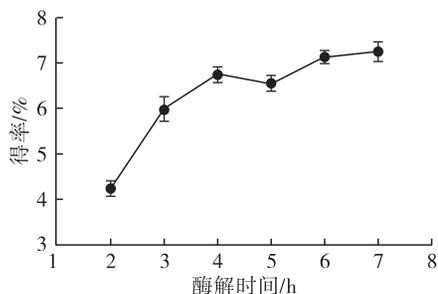


图6 酶解时间对栀子油得率的影响

由图6可以看出,随着酶解时间的不断延长,栀子油得率先增加后稍下降再增加,可能是由于酶解时间越长,酶与底物反应得更充分。考虑时间成本,选择酶解时间为7 h。

2.2.5 酶解温度对栀子油得率的影响

在加酶量1%、液料比4:1、酶解 pH 7、酶解时

间7 h的条件下,考察酶解温度对栀子油得率的影响,结果如图7所示。

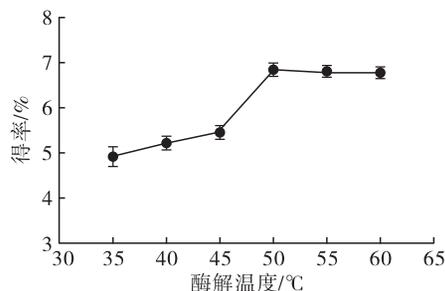


图7 酶解温度对栀子油得率的影响

从图7可以看出,随着酶解温度的升高,栀子油得率呈先增加后稍减少的趋势,在酶解温度50℃时,栀子油得率达到最高,为6.82%。酶解温度较低,酶的活性较低,不利于反应的进行;随着酶解温度升高,酶的活性不断增强,催化效果提高,但温度过高时,会破坏蛋白质结构,引起酶变性或失活,导致栀子油得率降低。因此,选择酶解温度为50℃。

2.3 均匀设计法优化水酶法提取栀子油工艺

2.3.1 均匀设计实验与结果

根据均匀设计原理结合单因素实验结果,以栀子油得率为指标,利用 DPS 软件以加酶量、酶解 pH、酶解温度、酶解时间、液料比为因素设计五因素六水平的均匀设计实验,均匀设计方案与结果如表2所示。

表2 均匀设计方案与结果

实验号	X_1 加酶量/%	X_2 酶解温度/℃	X_3 液料比	X_4 酶解 pH	X_5 酶解时间/h	Y 得率/%
1	1.5	60	8:1	6.8	3	4.88
2	2.0	40	5:1	7.4	2	5.98
3	0.5	35	6:1	6.6	5	5.67
4	1.0	55	4:1	7.2	6	6.97
5	2.5	50	3:1	6.4	4	5.93
6	3.0	45	7:1	7.0	7	5.01

2.3.2 均匀设计优化

运用 DPS 软件对实验结果进行二次多项式逐步回归分析,以栀子油得率为评价指标分别对各因素进行拟合,得到二次多元回归方程: $Y = 7.0606 - 0.3340 X_1^2 - 0.0562 X_3^2 + 0.1563 X_1 X_3 + 0.0016 X_2 X_5$ 。回归方程相关系数(R)为0.9997,调整相关系数(R_a)为0.9986, F 为441.4456, p 为0.0357。 p 小于0.05,显著,说明回归准确性较好。同时说明 X_1 与 X_3 、 X_2 与 X_5 存在交互作用, X_1^2 、 X_3^2 与栀子油得率存在负相关关系, $X_1 X_3$ 、 $X_2 X_5$ 与栀子油得率存在正相关关系。

2.3.3 单因子效应分析

根据二次多项式逐步回归分析得出回归方程的通径系数,结果见表3。

表3 各个因素对Y值的通径系数

因素	通径系数
X_1^2	-1.497 1
X_3^2	-1.536 1
X_1X_3	1.350 6
X_2X_5	0.194 4

注:决定系数为0.999 4,剩余通径系数为0.023 8

由表3可知,各因素对得率的影响大小为 X_1X_3 (1.350 6) > X_2X_5 (0.194 4) > X_1^2 (-1.497 1) > X_3^2 (-1.536 1),表明在水酶法提油过程中,加酶量和液料比交互作用对栀子油得率影响最大,起决定性作用,其次为酶解温度和酶解时间的交互作用。

而酶解pH对栀子油得率无显著影响,故酶解pH在6.4~7.4之间可取任意水平。

2.3.4 模型验证实验

根据二次回归方程的数学模型进行综合分析得到水酶法提取栀子油最佳工艺条件:加酶量0.655 4%,酶解时间7 h,酶解pH 6.979 2,酶解温度59.949 1℃,液料比3:1。在最佳条件下,栀子油得率预测值为7.37%。为了便于实际操作,将最佳工艺条件修正为加酶量0.7%、液料比3:1、酶解pH 7、酶解温度60℃、酶解时间7 h。在修正工艺条件下进行3次验证实验,栀子油得率为7.27%,与理论预测值接近,表明均匀设计所建模型有效。另外,Durbin-Watson统计量d为1.877 140 44,接近2,进一步说明所建模型有效。

2.4 不同种类酶提取栀子油的脂肪酸组成(见表4)

表4 不同种类酶提取栀子油的脂肪酸组成及含量

脂肪酸	HE	CE	PE	NP	AMY	NP+HE	NP+CE	NP+PE	NP+AMY	%
豆蔻酸	0.26±0.01	0.25±0.00	0.25±0.01	0.25±0.06	0.27±0.06	0.27±0.06	0.24±0.06	0.25±0.06	0.25±0.01	
棕榈酸	14.93±0.01	14.54±0.02	14.75±0.02	14.89±0.03	14.80±0.02	15.32±0.03	15.12±0.03	15.58±0.02	15.15±0.01	
十七碳酸	0.15±0.01	0.15±0.01	0.14±0.00	0.14±0.01	0.14±0.01	0.14±0.01	0.14±0.00	0.15±0.01	0.14±0.01	
硬脂酸	4.20±0.02	4.31±0.02	4.20±0.01	4.28±0.02	4.31±0.02	4.16±0.03	4.29±0.01	4.19±0.02	4.21±0.01	
花生酸	0.47±0.01	0.47±0.00	0.45±0.01	0.47±0.00	0.48±0.01	0.44±0.01	0.47±0.00	0.44±0.01	0.45±0.01	
山嵛酸	0.17±0.01	0.14±0.00	0.14±0.00	0.13±0.00	0.16±0.01	0.14±0.01	0.14±0.01	0.13±0.00	0.13±0.00	
棕榈油酸	0.19±0.01	0.19±0.01	0.20±0.01	0.19±0.00	0.19±0.00	0.20±0.01	0.19±0.01	0.21±0.01	0.20±0.01	
油酸	22.77±0.02	22.41±0.03	22.30±0.01	22.43±0.01	22.49±0.01	22.33±0.01	22.22±0.01	22.52±0.01	22.40±0.01	
二十碳烯酸	0.24±0.01	0.23±0.01	0.22±0.01	0.23±0.01	0.23±0.00	0.22±0.01	0.23±0.01	0.22±0.01	0.21±0.00	
亚油酸	55.75±0.03	56.43±0.02	56.44±0.01	56.23±0.01	56.08±0.02	55.86±0.01	56.08±0.01	55.41±0.02	55.97±0.01	
亚麻酸	0.85±0.01	0.88±0.01	0.89±0.01	0.86±0.01	0.84±0.02	0.92±0.02	0.87±0.01	0.92±0.02	0.87±0.02	

注:HE. 半纤维素酶;CE. 纤维素酶;PE. 果胶酶;NP. 中性蛋白酶;AMY. α -淀粉酶

由表4可知:亚油酸含量最高的为果胶酶提取栀子油,高达56.44%;其次为纤维素酶(56.43%)以及中性蛋白酶(56.23%)的。单一酶提取栀子油中油酸、亚油酸、花生酸总体高于复合酶的,而复合酶提取栀子油的亚麻酸、棕榈酸含量整体比单一酶的高。单一酶提取栀子油的不饱和脂肪酸含量整体略高于复合酶提取栀子油的。整体来看,不同酶单一或复合提取栀子油的脂肪酸组成及含量无显著差异。

本文水酶法提取栀子油中亚油酸含量较高,孙谔等^[20]采用索氏提取法和冷榨法提取的栀子油中亚油酸含量分别为50.33%和50.58%,而李昊阳等^[21]的超临界萃取法为50.45%,正己烷萃取法为52.51%。栀子油的亚油酸含量接近核桃油的亚油酸含量,因此栀子油可作为一种高级小型木本油料来开发。

3 结论

以高温杀青干燥贮藏1年的栀子果实为原料,采用均匀设计优化水酶法提油工艺。结果表明:水酶法提取栀子油最佳工艺条件为中性蛋白酶加酶量0.7%、液料比3:1、酶解pH 7、酶解温度60℃、酶解时间7 h,在此条件下栀子油得率为7.27%。栀子油中共检测出6种饱和脂肪酸以及5种不饱和脂肪酸,其中亚油酸含量高达56%以上,总不饱和脂肪酸含量达到80%左右。

本研究由于供试材料是通过高温杀青且贮存1年的陈旧栀子果实,受温度、湿度以及脂肪酸氧化等因素的影响,栀子油得率相对较低。为能更全面地指导栀子产业的开发利用,还需进一步从贮藏时间、贮藏条件以及不同贮藏处理对油脂成分的影响等方面进行综合分析,以期对栀子的开发利用提供技术指导 and 理论支持。

参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 一部[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015.
- [2] 潘媛, 谭均, 陈大霞, 等. 不同杀青方式对栀子有效成分及体外抗氧化活性的影响[J]. 天然产物研究与开发, 2018, 30(9): 1484-1488.
- [3] 袁源见, 罗光明, 杨晓娟, 等. 栀子油化学成分提取工艺及功效的研究进展[J]. 中国油脂, 2017, 42(6): 20-24.
- [4] 徐志丰. 不同种类栀子油的理化性质比较[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2017.
- [5] 朱颖洁, 杨亚洁, 李群和, 等. 栀子油的生物活性成分及抗氧化活性评价[J]. 现代食品科技, 2021, 37(2): 103-113, 102.
- [6] 李昊阳, 王飞运, 刘华敏, 等. 不同方法制备的栀子果油的理化性质比较[J]. 现代食品科技, 2016(9): 1-8.
- [7] 李宝莉, 陈雅慧, 杨暄, 等. 栀子油的提取和对中枢神经系统的作用[J]. 第四军医大学学报, 2008, 29(23): 2152-2155.
- [8] 张俊逸, 罗光明, 柴华文, 等. 栀子油对对乙酰氨基酚致小鼠急性肝损伤的保护作用[J]. 中国油脂, 2019, 44(11): 127-130.
- [9] 潘文文, 宋智梁. 栀子油对健美操运动员无氧代谢下运动能力的影响[J]. 中国油脂, 2018, 43(4): 69-71.
- [10] 孟祥河, 刘晓颖, 邹盈, 等. 水酶法制备栀子油的研究[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(10): 117-124.
- [11] 孙辰茹. 栀子油适度加工工艺研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2019.
- [12] 张会彦, 刘壮, 欧阳伶俐, 等. 水酶法提取胡麻籽油的工艺研究[J]. 中国油脂, 2017, 42(6): 5-8.
- [13] 杨潇, 初柏君, 惠菊, 等. 水酶法制取玉米胚芽油和葵花籽油的研究现状[J]. 粮食与食品工业, 2019, 26(2): 1-5, 10.
- [14] 季泽峰, 方学智, 宋丽丽, 等. 水酶法提取山核桃油工艺及其对油脂品质影响[J]. 食品工业, 2019, 40(2): 73-77.
- [15] 张丽, 李雅雯, 侯旭杰. 响应面法优化水酶法提取核桃油工艺及其细胞形态研究[J]. 食品工业, 2015, 36(2): 88-93.
- [16] 王丽媛, 杨志伟. 响应面优化水酶法提取鳄梨油工艺[J]. 食品科技, 2018, 43(4): 235-241.
- [17] 李静, 姚茂君, 李俊, 等. 响应面法优化牡丹籽油的水酶法提取工艺[J]. 中国油脂, 2014, 39(10): 14-18.
- [18] 喻峰, 熊华, 吕培蕾, 等. 核桃粕酶解工艺研究[J]. 食品与发酵工业, 2006(5): 89-91.
- [19] 舒奕, 王梓昂, 郭艾, 等. 响应面优化碱性蛋白酶提取火麻仁油的研究[J]. 中国油脂, 2014, 39(3): 1-5.
- [20] 孙谔, 刘强, 杨艳, 等. 不同提取方法对栀子果油品质的影响[J]. 经济林研究, 2020, 38(2): 228-234.
- [21] 李昊阳, 王飞运, 刘华敏, 等. 不同方法制备的栀子果油的理化性质比较[J]. 现代食品科技, 2016, 32(9): 209-215.

· 公益广告 ·



节能减排 提质增效
油脂加工 精准适度

《中国油脂》宣