

# 牡丹籽发酵油工艺优化及功效活性研究

韩婕珺<sup>1</sup>, 龚天贵<sup>1</sup>, 王斌<sup>1</sup>, 武梦雪<sup>2</sup>, 陆跃乐<sup>2\*</sup>

(1. 美出莱(杭州)化妆品有限责任公司, 浙江 杭州 310000; 2. 浙江工业大学, 浙江 杭州 310014)

**摘要:**本研究旨在生产一款具有强渗透性、感官效果良好并具有较强活性的护肤油——牡丹籽发酵油。对菌株培养时间及后续处理工艺条件进行优化,对比发酵油与牡丹籽原油的感官评价、理化性质及功效作用。种子液培养时间根据生长曲线得到最佳培养时间为14 h。通过单因素实验和正交实验设计分析得到最佳的工艺条件:处理温度30℃,处理时间2 d,离子液体添加量3%,液油比为1:1。发酵油的感官评分远高于处理前的牡丹籽油,达到93,比处理前油样高出13分;发酵油的理化性质在反应中未受到破坏,并具有较好的乳化能力、较低的表面张力;发酵油的抗氧化活性也强于处理前的牡丹籽油,包括DPPH清除率和 $\cdot O_2$ 清除率。综合来看,最佳工艺条件得到的发酵油与未处理的牡丹籽油相比较具有良好的感官效果、理化性质、乳化能力及抗氧化活性。

**关键词:**牡丹籽油;发酵油;工艺优化;感官评价;抗氧化活性

中图分类号:TQ658

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2024)S1-0235-05

DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2024.S1.043

## Process optimization of peony seeds fermented oil and research on efficacy and activity

HAN Jie-jun<sup>1</sup>, GONG Tian-gui<sup>1</sup>, WANG Bin<sup>1</sup>, WU Meng-xue<sup>2</sup>, LU Yue-le<sup>2\*</sup>

(1. Meichulai (Hangzhou) Cosmetics Co., Ltd., Hangzhou 310000, China;

2. Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

**Abstract:** This study aims to produce fermented oil, a skin care oil with strong permeability, good sensory effect and strong activity. Firstly, the culture time of the strain and the subsequent processing conditions are optimized, and then the sensory evaluation, physicochemical property test and efficacy effects of fermented oil and crude peony seed oil are compared. The optimal strains seed liquid culture time is 14 hours according to the growth curve. Through single factor test and orthogonal experimental design, the optimal process conditions are obtained as follows: treatment temperature is 30°C, treatment time is 2 days, ionic liquid dosage is 3%, and liquid-oil ratio is 1:1. The sensory evaluation score of the fermented oil is much higher than that of crude peony seed oil, reaching 93 scores, which is 13 scores higher than that of the crude oil sample. The physicochemical properties of fermented oil have not been damaged in the reaction, and the fermented oil possesses better emulsifying activity and lower surface tension. The antioxidant activity of the fermented oil is also stronger than that of crude peony seed oil, including DPPH scavenging rate and  $\cdot O_2$  scavenging rate. In a sum, the fermented oil obtained under the optimal process conditions has better sensory effects, physicochemical properties, emulsification capacity and antioxidant activity than the untreated peony seed oil.

**Key words:** peony seeds oil; fermented oil; process optimization; sensory evaluation; antioxidant activity

近几年以油养肤的理念深入人心,油中的脂肪酸与人体肌肤表面构造相似,可以渗透皮肤表层清除自由基,从而达到抗氧化的功效,同时对肌肤无刺激性和过敏性影响<sup>[1-2]</sup>。牡丹籽油中亚麻酸含量较高<sup>[3]</sup>,与亚麻籽油均属于亚麻酸型油脂。且牡丹籽油还含有多种活性物质,其中生育酚和角鲨烯含量均高于亚麻籽油<sup>[4]</sup>,具有防晒、抗氧化、抑菌等护肤功效<sup>[5]</sup>;但仍存在很多问题,如植物油本身长链脂肪酸脂过多,使其黏度增大,从而导致涂抹性能和清爽感下降<sup>[6]</sup>。因此,有必要对其进行加工处理,使其渗透性和肤感更好。

微生物发酵在医药、农业和化工等多个领域得

到广泛的应用<sup>[7]</sup>,微生物的转化主要是因为微生物在生长过程中会产生大量的生物酶<sup>[8]</sup>。离子液体具有挥发少、理化特性稳定、提取力强、可重复使用的优势<sup>[9]</sup>,在化学合成、生物催化等多种应用领域中都能很好的应用<sup>[10]</sup>。将微生物发酵技术和离子液体相结合使用,离子液体可以作为生物催化反应的介质<sup>[11]</sup>,使反应体系更加优越。

发酵油即油菌株种子液发酵处理后得到的油,通过菌株发酵产生的酶促进水与油的相互作用,并水解甘油三酯,降低分子量,进而经过分离精制得到发酵油。基于上述植物油的缺陷和新技术的优势,本研究以牡丹籽油为例进行了菌株发酵工艺优化,

收稿日期:2024-01-15;修回日期:2024-05-23

作者简介:韩婕珺(1976-),女,博士,工程师,研究方向为化妆品原料开发和应用,15623207393@163.com;陆跃乐(1986-),男,博士,副教授,研究方向为发酵工程,通讯联系人,luyuele@zjut.edu.cn。

并添加离子液体辅助定向发酵。为了解发酵油的相关优势,对处理前后的油样进行了各方面的比较分析,包括感官评价、理化性质、乳化效果、表面张力及抗氧化活性等。

## 1 材料与方法

### 1.1 主要材料与试剂

#### 1.1.1 原材料来源

菌株采自于中国最北端最低温度可达到 $-58^{\circ}\text{C}$ 的大兴安岭,从 300 多株极端野生菌中得到了优质益生菌植物乳杆菌 *Lactobacillus plantarum*-JJL-1,目前保存在中国微生物菌种保藏中心,保藏号为:CGMCC No.24962。选择特色植物产地菏泽、功效成分俱佳的牡丹籽油作为发酵底油。

#### 1.1.2 试剂

实验室自制纯水。无水硫酸钠、邻苯三酚、无水葡萄糖、无水乙酸钠、磷酸氢二钾、七水合硫酸镁、柠檬酸氢二铵、一水合硫酸锰、正己烷、无水乙醇、盐酸和吐温-80,国药集团化学试剂有限公司;DPPH、抗坏血酸,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;蛋白胨、牛肉膏、酵母粉及琼脂,英国 Oxiod 公司;三羟甲基氨基甲烷(Tris),上海麦克林生化科技有限公司;以上试剂均为分析纯。

### 1.2 仪器

实验室纯水机 Sspring-S20,厦门锐思捷水纯化技术有限公司;超声波清洗仪 SB-5200DTD,宁波新芝生物科技股份有限公司;分析天平 2011F145-11,赛多利科学仪器有限公司;生化培养箱 LRH-250,上海一恒科学仪器有限公司;可见分光光度计 7200,龙尼柯(上海)仪器有限公司;真空泵 ZK-26/100,杭州米欧仪器有限公司;立式高压蒸汽灭菌锅 LDZF-75L-1,上海申安医疗器械厂;恒温水浴锅 HH-4,常州申光仪器有限公司;超净工作台 SW-CJ-1D,苏净安泰空气技术有限公司;恒温振荡器 HZQ-X300C,上海一恒科学仪器有限公司。

### 1.3 研究方法

#### 1.3.1 培养基制备

种子培养基(MRS 液体培养基<sup>[12]</sup>):牛肉膏 10 g、酵母粉 5 g、葡萄糖 5 g、蛋白胨 10 g、柠檬酸氢二铵 2 g、磷酸氢二钾 2 g、一水合硫酸锰 0.05 g、无水乙酸钠 5 g 和七水合硫酸镁 0.2 g,吐温-80 1 mL,蒸馏水 1 L,pH 6.8,121 $^{\circ}\text{C}$  高温灭菌 20 min。将各组分准确称量后,加入蒸馏水,充分搅拌,至各组分完全溶解。高温高压灭菌。

MRS 固体培养基:同以上培养基,琼脂 18 g。

#### 1.3.2 发酵油生产流程

##### (1) 菌株生长曲线测定

将植物乳杆菌活化后接种到 1 L 种子液培养基中,在 30 $^{\circ}\text{C}$ 、180 r/min 培养箱中培养,每隔 2 h 取 2 mL 的培养液,并在 600 nm 下测定其 OD 值,绘制菌株生长曲线<sup>[12]</sup>。

##### (2) 处理流程

在上述种子液培养基中加入一定比例的牡丹油,加入一定量离子液体[BetaineC<sub>16</sub>][H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>]<sup>[13]</sup>(甜菜碱类离子液体具有较好的渗透调节物质),放入摇床培养箱中摇床培养足够的时间,随后离心、留油层、抽滤后即得发酵油。

#### 1.3.3 单因素实验

对处理温度、处理时间、料液比、离子液体添加量进行单因素实验,设置不同处理温度(20 $^{\circ}\text{C}$ , 25 $^{\circ}\text{C}$ , 30 $^{\circ}\text{C}$ , 35 $^{\circ}\text{C}$ , 40 $^{\circ}\text{C}$ )、处理时间(0.5 d, 1 d, 1.5 d, 2 d, 2.5 d, 3 d, 3.5 d, 4 d)、液油比(1:0.5, 1:0.8, 1:1, 1:1.2, 1:1.5)、离子液体添加量(1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8%),以感官评分的结果作为评判标准。

#### 1.3.4 正交试验

在单因素试验的基础上,选取发酵温度、发酵时间及离子液体添加量进行三因素三水平的正交试验,正交试验因素水平如表 1。

表 1 正交试验的因素与水平

水平	因素		
	发酵温度/ $^{\circ}\text{C}$	发酵时间/d	离子液体添加量/%
1	25	1.5	3
2	30	2.0	4
3	35	2.5	5

#### 1.3.5 理化特性测定

过氧化值测定参考 GB/T 5538—2005《动植物油脂过氧化值的测定》;酸值测定参考 GB/T 5530—2005《动植物油脂酸值和酸度测定》;皂化值测定参考 GB/T 5534—2008《动植物油脂皂化值的测定》;水分及挥发物含量测定参考 GB/T 5528—2008《动植物油脂水分及挥发物含量测定》;碘值测定参考 GB/T 5532—2022《动植物油脂碘值的测定》。

#### 1.3.6 感官评价

请 60 名(男女各 30 名)经过训练的检查员对处理前后的两种油样的使用感进行检查并求出其平均分。

透明度、气味、滋味测定参考 GB/T 5525—2008《植物油脂透明度、气味、滋味鉴定法》<sup>[13]</sup>, 发酵油感官评价的评分细则见表 2。

表 2 发酵油感官评价的评分细则

评分项目	满分	细则与要求	评价分值
香味	20	清新宜人	20
		无香气	↓
		异味	0
色泽	20	无色	20
		浅黄色	↓
		深黄色	0
透明度	20	透明度高	20
		透明度一般	↓
		透明度低	0
肤感	20	清爽感	20
		厚重感	↓
		黏滞感	0
吸收效果	20	吸收快	20
		较快	↓
		慢	0

### 1.3.7 乳化能力及表面张力测定

为了测定乳化活性,参考张志秋<sup>[14]</sup>的方法测定乳化活性及乳化稳定性。在 10 mL 的 pH=7 的缓冲液中分别溶解 1 mL 的处理前牡丹籽油和处理后牡丹籽油,搅拌 2 min 乳化之后放置 10 min,观察比较两者的乳化能力。

采用吊铂金板法<sup>[15]</sup>,利用 A101 型全自动表面张力仪测定处理前牡丹籽油和发酵油的表面张力。

### 1.3.8 抗氧化活性测定

#### (1) DPPH 清除率测定

参考陈蓬凤等<sup>[16]</sup>的方法,将处理前后的油样和抗坏血酸分别配制成 5、10、20、30、40、50 mg/mL 的乙醇溶液,取 2 mL 样品溶液,加入 2 mL 0.4 mmol/L DPPH-乙醇溶液,混匀后避光反应 30 min,于波长 517 nm 处测定吸光度  $A_i$ ;用无水乙醇替代油样和抗坏血酸测定吸光度  $A_j$ ;另用无水乙醇代替 DPPH-乙醇溶液测定空白吸光度  $A_0$ 。DPPH·清除率计算见式(1)。

$$\text{DPPH} \cdot \text{清除率}(\%) = \frac{\{[1 - (A_i - A_j)] / A_0\} \times 100\%}{(1)}$$

式中  $A_i$  为样品溶液与 DPPH-乙醇溶液的吸光度; $A_0$  为 DPPH-乙醇溶液的吸光度; $A_j$  为样品溶液与乙醇混合液的吸光度。

#### (2) 超氧阴离子自由基清除率

超氧阴离子自由基( $\cdot\text{O}_2^-$ )的清除能力测试参考梁思琪等<sup>[17]</sup>的方法。将处理前后的油样和抗坏血酸钠分别配制成 5、10、20、40、80 mg/mL 的乙醇溶液,分别取 1 mL 加入 4.5 mL Tris-HCl 溶液(pH=8.2, 0.05 mol/L),常温放置 10 min,再分别加入 0.1 mL 6 mmol/L 邻苯三酚溶液,混匀后反应 3 min,最后加入 0.1 mL 1 mol/L 盐酸溶液,于波长 325 nm 处分别测定吸光度  $A_m$ ;用蒸馏水替代油样和抗坏血酸测定吸光度  $A_n$ ;另用蒸馏水代替邻苯三酚测得参比吸光度  $A_q$ 。 $\cdot\text{O}_2^-$ 清除率计算见式(2)。

$$\cdot\text{O}_2^- \text{清除率}(\%) = \frac{\{[1 - (A_m - A_n)] / A_q\} \times 100\%}{(2)}$$

## 2 结果与分析

### 2.1 种子液生物量测定

种子液培养时间的生物量曲线见图 1。

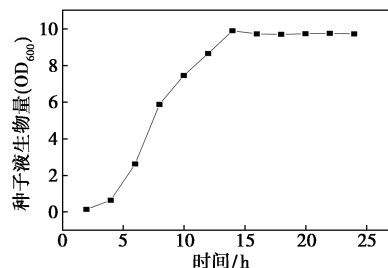


图 1 种子液培养时间的生物量曲线

由图 1 可知,培养时间对乳酸杆菌生物量有明显的影响,乳酸杆菌 4 h 时进入对数生长期,在 14 h 时 OD<sub>600</sub> 值最高,此后进入平缓期,无明显的涨幅,综合考虑,将种子液的培养时间确定为 14 h。

### 2.2 单因素试验

#### 2.2.1 发酵温度

感官评价在护肤品中是非常重要的一项指标,因此选择使用感官评分来进行工艺优化。发酵温度对发酵油感官评分的影响见图 2。

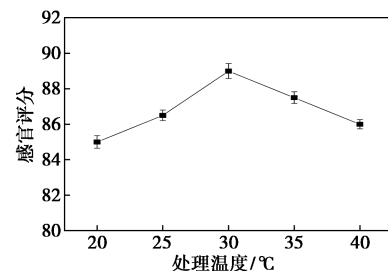


图 2 发酵温度对发酵油感官评分的影响

由图 2 可知,在发酵温度为 30℃ 时得到最高的

感官评分, 低于或者高于 30℃ 的效果都不好, 有可能是因为 30℃ 时菌株产生的活化成分具有最高活性, 反应更加的彻底。

### 2.2.2 发酵时间

发酵时间对于整个反应体系具有重要影响, 时间太短反应不全面, 时间太长也许会产生不必要的物质从而影响感官与活性。处理时间对发酵油感官评分的影响见图 3。

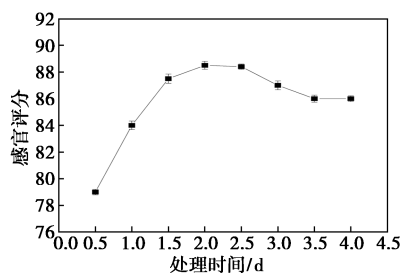


图 3 处理时间对发酵油感官评分的影响

由图 3 可知, 当处理时间少于 2 d 时, 发酵油的感官效果随时间呈正相关提升, 而处理时间多于 2 d 时出现不同程度的降低。因此, 选择处理时间为 1.5 d、2 d、3 d 进行正交试验。

### 2.2.3 离子液体添加量

在发酵油的工艺中, 定向发酵和超分子体系构建会直接影响到发酵油的感官效果及活性作用, 因此, 作为控制定向发酵和超分子体系的离子液体的添加量非常重要。离子液体添加量对发酵油感官评分的影响见图 4。

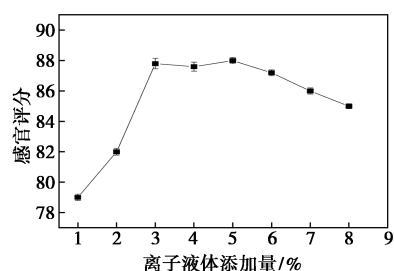


图 4 离子液体添加量对发酵油感官评分的影响

由图 4 可知, 当离子液体添加量低于 3% 时, 感官评分随着离子液体添加量的增加而上升; 当离子液体添加量在 3%~5% 之间时, 感官评分没有明显的变化; 当离子液体添加量大于 5% 之后, 感官评分出现下降。该结果表明在 3%~5% 范围内的离子液体添加量均可得到较好的感官效果。

### 2.3 正交试验

通过正交试验设计工艺优化参数进行极差分析。正交试验设计结果见表 3。

表 3 正交试验设计结果

试验号	因素			感官评价
	A	B	C	
	(处理温度)/ ℃	(处理时间)/ d	(离子液体添加量)/ %	
1	25(1)	1.5(1)	3(1)	90.260
2	25	2(2)	5(3)	90.675
3	25	2.5(3)	4(2)	90.500
4	30(2)	1.5	5	91.170
5	30	2	4	91.625
6	30	2.5	3	91.370
7	35(3)	1.5	4	90.530
8	35	2	3	90.930
9	35	2.5	5	90.970
$K_1$	271.44	271.96	272.56	
$K_2$	274.17	273.23	272.66	
$K_3$	272.43	272.84	272.82	
$k_1$	90.48	90.65	90.94	
$k_2$	91.39	91.08	90.89	
$k_3$	90.81	90.95	90.85	
R	0.91	0.43	0.09	

从表 3 可以看出, 在所选的因素水平下对发酵油感官效果影响由大到小的顺序为发酵温度>发酵时间>离子液体添加量。发酵最优水平为  $A_2B_2C_1$ , 即发酵温度为 30℃、发酵时间为 2 d、离子液体添加量为 3%。

### 2.4 处理前后感官评价比较

用于护肤品的油, 感官效果非常重要, 处理前后感官评分比较见表 4。

表 4 处理前后感官评分比较

样品	评分项目					总分
	香气	色泽	透明度	肤感	吸收效果	
处理前油样	15	16	19	15	15	80
处理后油样	18	18	19	19	19	93

由表 4 得出, 处理后牡丹籽油的感官要更好。处理前牡丹籽油有明显的厚重的油味, 但是处理后的油味变淡, 香气更为清透; 处理后色泽上要稍微浅一些, 更适合用于后续加工; 至于透明度, 处理前后的透明度都很好, 证明处理工艺不会使油变浑浊; 处理前后的肤感的差异较大, 处理前的肤感厚重, 有一定的黏滞性, 但处理后的肤感清爽, 延展性强; 处理后的吸收效果有明显的提升, 涂抹皮肤后很明显更加迅速地渗透进皮肤, 很可能是因为发酵过程中菌株代谢产物使分子量较大的甘油三酯分解成小分子甘油二酯、甘油单酯、脂肪酸衍生物等使其更容易被

人体吸收,也更加的清爽,明显没有了处理前的厚重感。

## 2.5 理化特性比较

一般情况下,酸价在 0.1~0.6 mg KOH/g 是油脂的最佳范围,抗氧化值用于判断油脂的变质情况,皂化值大小与油脂平均分子质量成反比,碘值反应油脂的不饱和和脂肪酸含量的高低,碘值越高的油脂不饱和键越高,越容易引起变质<sup>[18]</sup>。处理前后油样理化性质对比如表 5 所示。由表 5 可见,处理反应对理化性质没有造成破坏,各项指标均在国家要求范围内。

表 5 处理前后油样理化性质对比

指标	处理前油样	处理后油样
抗氧化值/(mmol·g <sup>-1</sup> )	0.69	0.78
皂化值/(mg KOH·g <sup>-1</sup> )	76.8	80.22
酸价/(mg·g <sup>-1</sup> )	0.28	0.22
碘值/(g·100 g <sup>-1</sup> )	76.66	81.45
水分及挥发物/%	0.065	0.069

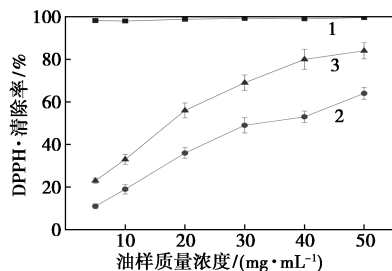
## 2.6 乳化特性比较

通过乳化性测定实验发现,处理后油样能够形成均一的乳化体系,而处理前的油样则有明显的分层现象,因此,处理后的油样乳化能力明显强于处理前的油样。分别对处理前和处理后的油样进行表面张力测定,处理后油样的表面张力为 24.3 mN/m,处理前油样的表面张力为 29.4 mN/m,发酵油的表面张力明显小于处理前的牡丹籽油。从乳化能力和表面张力的对比结果看出,经过工艺处理后得到的发酵油渗透性和吸收性更强,更适合应用到护肤品中。

## 2.7 抗氧化能力比较

### 2.7.1 DPPH 自由基清除能力

处理前后油样的 DPPH·清除能力见图 5。



1—Vc;2—发酵前油样;3—发酵后油样

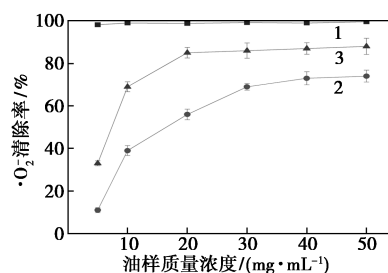
图 5 处理前后油样的 DPPH·清除能力

由图 5 可知,处理前油样和处理后油样均随着浓度的增加对 DPPH·清除率不断增加。在使用浓度为

50 mg/mL 时,处理后油样的 DPPH·清除率为 84%,而处理前油样的 DPPH·清除率为 61%。由此可以看出在相同的浓度下,处理后发酵油的清除率均比处理前油样更高。这表明经过处理工艺后产生的发酵油 DPPH·清除能力有明显提高。

### 2.7.2 ·O<sub>2</sub> 清除能力

处理前后油样的·O<sub>2</sub>清除率见图 6,可以看出,·O<sub>2</sub>清除率随着浓度的增加而增加,处理后油样在 20 mg/mL 之前急速增长,但该浓度之后增长缓慢,最高清除率达到 88%,IC<sub>50</sub>为 7.04 mg/mL。而处理前油样在 40 mg/mL 之前增长较快,但之后趋于平缓,IC<sub>50</sub>为 9.76 mg/mL。处理前油样最高·O<sub>2</sub>清除率低于处理后油样,且处理后油样的 IC<sub>50</sub>浓度更低。因此,处理后所得的发酵油的·O<sub>2</sub>清除能力高于未处理的油样。



1—Vc;2—发酵前油样;3—发酵后油样

图 6 处理前后油样的·O<sub>2</sub>清除能力

## 3 结论

本研究旨在开发一款创新型的护肤油,命名为发酵油。通过对牡丹籽油进行处理加工,使之具有强渗透性、感官效果良好并具有较强活性。

(1)使用筛选出的菌株培养种子液,通过其生长曲线得到最佳培养时间为 14 h,此刻其生物量达到最高。

(2)通过单因素试验和正交试验设计分析得到最佳的工艺条件:处理温度 30℃,处理时间 2 d,离子液体添加量 3%。

(3)在上述工艺下得到的发酵油与牡丹籽原油进行了感官评价和理化性质的对比分析。结果表明,发酵油的感官评分远高于未处理的牡丹籽油,评分达到 92;而其理化性质在工艺处理下并没有受到破坏,仍具有良好的稳定性;发酵油的乳化能力也高于原油,且其表面张力较小,这符合我们对护肤品用油的期待。

(下转第 245 页)

- designs for photothermal water vaporization towards clean water and energy production[J]. *Energy Environ Sci*, 2019, 12: 841.
- [6] Arachchige I U, Brock S L. Sol-gel assembly of cds nanoparticles to form porous aerogel networks[J]. *Journal of the American Chemical Society*, 2006, 128(24): 7964-7971.
- [7] Wen Y, Rentería-Gómez Á, Day G S, *et al.* Integrated photocatalytic reduction and oxidation of perfluorooctanoic acid by metal-organic frameworks: Key insights into the degradation mechanisms[J]. *Journal of the American Chemical Society*, 2022, 144(26): 11840-11850.
- [8] Sánchez J, Moreno A, Mondragón F, *et al.* Morphological and structural properties of MoS<sub>2</sub> and MoS<sub>2</sub>-amorphous silica-alumina dispersed catalysts for slurry-phase hydroconversion[J]. *Energy & Fuels*, 2018, 32(6): 7066-7077.
- [9] Chen L, Wang J, Yu L, *et al.* Experimental investigation on the nanosilica-reinforcing polyacrylamide/polyethylenimine hydrogel for water shutoff treatment[J]. *Energy & Fuels*, 2018, 32(6): 6650-6656.
- [10] Liu K, Pan X, Chen L, *et al.* Ultrasoft self-healing nanoparticle-hydrogel composites with conductive and magnetic properties[J]. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2018, 6(5): 6395-6403.
- [11] Duan Y, Weng M, Zhang W, *et al.* Multi-functional carbon nanotube paper for solar water evaporation combined with electricity generation and storage [J]. *Energy Convers Manage*, 2021, 241: 114306.
- [12] Wani T A, Gupta V, Garg P, *et al.* In situ latent heat transfer for nearly 100% condensation in single-stage interfacial solar steam generation[J]. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2023, 11(26): 9595-9600.
- [13] Akbal F. Photocatalytic degradation of organic dyes in the presence of titanium dioxide under UV and solar light: Effect of operational parameter[J]. *Environ Prog*, 2005, 24: 317.
- [14] Gopalakrishnan D, Damien D, Shaijumon M M. MoS<sub>2</sub> quantum dot-interspersed exfoliated MoS<sub>2</sub> nanosheets [J]. *ACS Nano*, 2014, 8(5): 5297-5303.
- [15] Koppens F H L, Mueller T, Avouris P, *et al.* Photodetectors based on graphene, other two-dimensional materials and hybrid systems [J]. *Nat Nanotechnol*, 2014, 9: 780.
- [16] He M, Herr A E. Polyacrylamide gel photopatterning enables automated protein immunoblotting in a two-dimensional microdevice [J]. *Journal of the American Chemical Society*, 2010, 132(8): 2512-2513.
- [17] Jiang B P, Zhang L, Guo X L, *et al.* Poly(*N*-phenylglycine)-based nanoparticles as highly effective and targeted near-infrared photothermal therapy/photodynamic therapeutic agents for malignant melanoma[J]. *Small*, 2017, 13: 1602496.
- [18] Gao L, Zhang X, Fan L, *et al.* Algae-based approach for desalination: An emerging energy-passive and environmentally friendly desalination technology [J]. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2021, 9(26): 8663-8678. ■

(上接第 239 页)

(4) 对发酵油与牡丹籽油的抗氧化活性进行比较,结果表明,发酵油的抗氧化活性强于牡丹籽原油,发酵油的 DPPH·清除率可达到84%;·O<sub>2</sub><sup>-</sup>清除率达到 88% (IC<sub>50</sub> = 7.04 mg/mL)。

综合以上,通过最佳工艺条件得到的发酵油具有良好的感官效果、理化性质、乳化能力及抗氧化活性,对植物油用于护肤品行业具有重要意义。

### 参考文献

- [1] 毛方华,王鸿飞,周明亮.山茶油的功能特性[J]. *食品科技*, 2010, 35(1): 181-185.
- [2] 王姝畅,吴亚妮.山茶油在化妆品应用中的功效研究[J]. *香料香精化妆品*, 2018, (1): 67-71.
- [3] 张延龙,韩雪源,牛立新,等.9种野生牡丹籽油主要脂肪酸成分分析[J]. *中国粮油学报*, 2015, 30(4): 72-75, 79.
- [4] 张东,薛雅琳,段章群,等.牡丹籽油和亚麻籽油化学组成分析与比较[J]. *中国油脂*, 2017, 42(10): 34-38.
- [5] 刘向慧,张岩松,袁铭,等.牡丹不同部位的护肤功效研究进展[J]. *山东化工*, 2020, 49(23): 71-73.
- [6] 董绍军.油性皮肤用精华油须讲究[J]. *家庭医学*, 2022, (1): 45.
- [7] 朱向东.微生物发酵工艺优化研究进展[J]. *化工管理*, 2019, (16): 202, 205.
- [8] 谭文中.微生物发酵中草药及其活性物质的研究进展[J]. *现代盐化工*, 2021, 48(2): 12-13.
- [9] 刘晓雨,陈召,赵晓昱,等.离子液体在药物提取中的应用[J]. *应用化工*, 2019, 48(9): 2256-2259.
- [10] De Gaetano Y, Mohamadou A, Boudesocque S, *et al.* Ionic liquids derived from esters of glycine betaine: Synthesis and characterization [J]. *Journal of Molecular Liquids*, 2015, 207: 60-66.
- [11] 王普,周丽敏,何军邀,等.离子液体在生物催化反应中的应用进展[J]. *浙江工业大学学报*, 2008, 36(6): 622-627.
- [12] 付丽,甄玉国,赵巍,等.乳酸杆菌 BRF01 发酵条件的优化[J]. *中国饲料*, 2014, (17): 31-33.
- [13] 段章群,薛雅琳.我国油料油脂品质评价标准的研究与展望[J]. *粮油食品科技*, 2023, 31(5): 101-109.
- [14] 张志秋.基于不同结构乳化剂的活性原油界面性能及流变性能研究[D].大庆:东北石油大学, 2020.
- [15] 李静,邓毛程,陈维新,等.植物油生物合成表面活性剂及产物分析[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(4): 171-176.
- [16] 陈鹏飞,梅新,黄士荣,等.不同品种马铃薯薯尖的总酚、总黄酮含量及抗氧化活性比较[J]. *现代食品科技*, 2021, 37(3): 132-138.
- [17] 梁思琪,郑祝,管佩瑶,等.尖叶四照花籽油理化性质及抗氧化活性分析[J]. *粮食与油脂*, 2023, 36(5): 94-97.
- [18] 粟春兰,杨宪,郑红,等.木香籽油理化性质及脂肪酸组成分析[J]. *粮食与油脂*, 2023, 36(1): 75-77. ■