

# 低温冷榨过程中油菜籽出油率影响因素仿真分析

## Simulation study of factors influencing oil yield during cold pressing of rapeseed

黄涛 宋少云 张恒 尹芳

HUANG Tao SONG Shao-yun ZHANG Heng YIN Fang

(武汉轻工大学机械工程学院, 湖北 武汉 430023)

(School of Mechanical Engineering, Wuhan Light Industry University, Wuhan, Hubei 430023, China)

**摘要:**目的:探究油菜籽在双螺旋榨油机中压榨时出油率的影响因素。方法:对油菜籽的压榨过程进行仿真,并探索榨螺转速和孔隙度两个因素对出油率的影响。结果:油菜籽出油率与孔隙度呈线性关系,孔隙度越大出油率越低;出油率与榨螺转速呈负相关。结论:当孔隙度为 0.45,榨螺转速为 20 r/min 时,油菜籽出油率最高。

**关键词:**双螺旋榨油机;油菜籽;出油率;孔隙度

**Abstract: Objective:** This study aimed to investigate the factors influencing the oil yield of rapeseed during pressing in a double screw oil press. **Methods:** To simulate the pressing process of rapeseed and to explore the effects of two factors, the speed of the press screw and the porosity, on the oil yield. **Results:** The oil yield of rapeseed was linearly related to the porosity, and a larger porosity, was associated with a lower oil yield. Moreover, the oil yield was negatively related to the speed of the press screw. **Conclusion:** The oil yield of rapeseed was highest when the porosity was 0.45 with the speed of pressing screw at 20 r/min.

**Keywords:** double screw oil press; rapeseed; oil yield; porosity

双螺旋榨油机作为一种重要的油料压榨设备,其压榨性能引起了众多研究者的关注。Mizera 等<sup>[1]</sup>研究了双螺旋榨油机中榨螺转速和喂料速度对油脂提取的影响;Amalia Kartika 等<sup>[2]</sup>以整粒葵花籽为原料,研究了喂料速度、主轴转速和料液比对出油率的影响。Bogaert 等<sup>[3]</sup>通过在螺杆上安装 16 个压力传感器和 3 个温度探头,研究了主轴转速对压榨性能和腔内油料流动的影响。任小聪等<sup>[4]</sup>对 SSYZ120/12 双螺杆榨油机进行研究,设计了一种腔内压力测试系统,并对菜籽油的压榨过程进行测试。

**基金项目:**湖北省粮食局“优质粮食工程”科技创新项目(编号:201313012)

**作者简介:**黄涛,男,武汉轻工大学在读硕士研究生。

**通信作者:**宋少云(1972—),男,武汉轻工大学教授,博士。

E-mail: 584554223@qq.com

**收稿日期:**2022-03-16 **改回日期:**2022-09-25

上述研究均是对特定的榨油机进行试验,其研究结果很难具有普遍指导意义。

李芑荃等<sup>[5]</sup>使用 ANSYS Workbench 对单螺旋榨油机榨膛温度分布情况进行了研究。米国强等<sup>[6]</sup>使用 Fluent 对螺旋榨油机压榨段进行了流场仿真。冯新东等<sup>[7]</sup>对双螺旋榨油机的榨油过程进行了仿真研究,采用 COMSOL 研究了油饼厚度和榨螺转速对出油率的影响,但是双螺旋压榨仿真缺乏物理试验数据的支撑,其可靠度有待提高。

研究拟采用 COMSOL 对双螺旋冷榨机中油菜籽的压榨过程进行仿真,与文献<sup>[4]</sup>进行对比,在此基础上对仿真模型进行修正。再以孔隙度和主轴转速为试验因素,考察其对出油率的影响,旨在提高油菜籽的出油率。

## 1 仿真模型的建立与验证

### 1.1 油饼的本构模型

油料压榨过程中,油料是从不饱和多孔介质到饱和多孔介质,其中伴随着油液的渗出,因此油液在榨膛内的渗出量直接影响出油率。仿真模型采用达西定律中多孔介质渗流模型建立。

榨膛内的油料流动用达西速度表示,将达西速度<sup>[8]</sup>代入连续性方程中:

$$\mathbf{V} \cdot \left[ -\frac{k}{\mu} \nabla p \right] = 0, \quad (1)$$

式中:

$\mathbf{V}$ ——达西速度, m/s;

$k$ ——渗透系数, cm/s;

$\mu$ ——动力黏度, Pa·s;

$p$ ——流体的孔隙压力, Pa。

柯西应力  $\sigma$  和孔隙压力  $p_f$  存在以下关系:

$$\sigma = \mathbf{C}\varepsilon - \alpha_B p_f \mathbf{I}, \quad (2)$$

式中:

$\sigma$ ——柯西应力, Pa;

$\mathbf{C}$ ——弹性矩阵,  $\mathbf{C} = \mathbf{C}(E, \nu)$ ;

$E$ ——杨氏模量, Pa;  
 $\nu$ ——泊松比;  
 $\epsilon$ ——应变张量;  
 $\alpha_B$ ——Biot-Willis 系数;  
 $p_f$ ——孔隙压力, Pa;  
 $\mathbf{I}$ ——单位矩阵。  
 流体和准静态形变满足:  
 $-\nabla \cdot \sigma = F,$  (3)  
 式中:  
 $F$ ——体力, N。

为了获取油饼在压榨过程中本构模型的仿真参数  $E$  和  $\nu$ , 使用柱塞式压榨试验机进行压榨试验, 试验装置主要由一台液压式材料试验机(控制系统 SmartTest)和一个自制的侧限排油柱塞式压榨装置组成<sup>[9]</sup>。

对油菜籽进行烘干后, 称取颗粒均匀的 15 g 油菜籽装入侧限压榨装置内, 置于材料压缩机下, 采用 4 个水平加载速率(分别为 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 kN/s)进行试验, 并使用川北方程进行拟合, 得:

$$\epsilon = \frac{V_0 - V}{V_0} = \frac{abP}{(1+bP)},$$
 (4)

式中:  
 $\epsilon$ ——应变;  
 $V_0$ ——原始体积, mm<sup>3</sup>;  
 $V$ ——压榨后的体积, mm<sup>3</sup>;  
 $P$ ——应力, Pa<sup>[10]</sup>;  
 $a, b$ ——常数(不同加载速率对应  $a, b$  值见表 1)。

4 种加载速率下油菜籽压榨过程的应力—应变关系曲线如图 1 所示。

表 1 关系函数常数

Table 1 Constant values of relational functions

| 加载速率/(kN·s <sup>-1</sup> ) | $a$  | $b$   |
|----------------------------|------|-------|
| 0.01                       | 0.86 | 0.128 |
| 0.02                       | 0.88 | 0.127 |
| 0.03                       | 0.86 | 0.125 |
| 0.04                       | 0.85 | 0.100 |

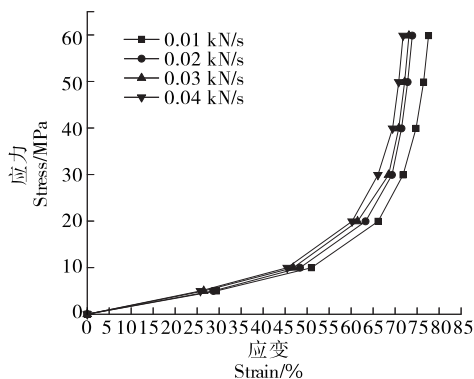


图 1 不同加载速率的应力—应变关系曲线  
 Figure 1 Stress-strain relationship curves of different loading rates

基于表 1 的数据, 结合郑晓等<sup>[11-12]</sup>的孔隙度经验公式, 设定油饼的本构模型基本参数: 密度 1 282 kg/m, 杨氏模量  $2 \times 10^5$  MPa, 泊松比 0.26, 其中泊松比和杨氏模量通过查阅文献<sup>[13]</sup>可得。

### 1.2 油饼的双螺旋压榨仿真建模及验证

为了提高仿真模型的可靠度, 使用任小聪等<sup>[4]</sup>的双螺旋榨油机, 先对榨笼和榨螺进行三维建模, 再通过榨笼对榨螺进行布尔差运算得到油饼模型, 作差后的油饼三维模型如图 2 所示; 再对各零件进行装配, 得到如图 3 所示的双螺旋榨油机简化装置。

在 Comsol Multiphysics 中导入图 3 所示的三维模型, 多孔介质参数: 渗透率  $1.36 \times 10^{-20}$  m<sup>2</sup>, 孔隙度  $-265.56P^{-0.7}$ 。流体模型参数: 流体可压缩性  $4 \times 10^{-10}$  Pa<sup>-1</sup>, 密度 945 kg/m<sup>3</sup>, 动力黏度 0.003 Pa·s。双螺旋榨油机内摩擦系数: 榨螺与油饼以及油饼与榨笼之间均为 0.46。

使用上述参数进行仿真, 并将仿真结果与文献<sup>[4]</sup>进行对比, 结果见表 2。

由表 2 可知, 在油菜籽压榨过程中, 相对于压力的试验值而言, 仿真值的平均计算精度达 87.8%。事实上, 由于影响出油率的因素众多, 加上传感器自身也存在测量

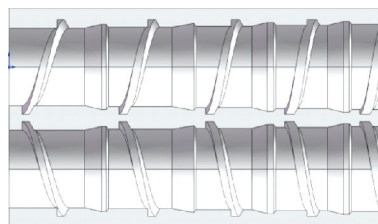
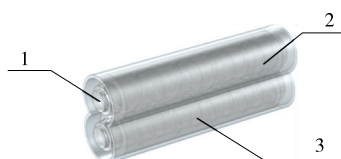


图 2 油饼模型

Figure 2 Oil cake model



1. 榨螺 2. 榨笼 3. 油饼

图 3 双螺旋榨油机简化总装

Figure 3 Simplified version

表 2 压力传感器的测定值与仿真值

Table 2 Measured and simulated values of high temperature melt pressure sensor

| 测试点离进料口距离/cm | 试验值/MPa | 仿真值/MPa |
|--------------|---------|---------|
| 60.7         | 3.98    | 4.51    |
| 70.0         | 4.01    | 4.63    |
| 79.2         | 4.06    | 4.98    |
| 97.4         | 5.12    | 4.96    |
| 114.8        | 4.65    | 4.97    |

误差,对于这种复杂情况进行仿真,87.8%的仿真精度已较高。因此可以用该双螺旋压榨仿真模型开展双螺旋榨油机的压榨性能仿真试验。

## 2 仿真试验设计与结果

### 2.1 试验方案设计

定义出油率为:

$$\rho = \frac{m_1}{m} \times 100\%, \quad (5)$$

式中:

$\rho$ ——出油率,%;

$m_1$ ——出油质量,g;

$m$ ——油饼总质量,g。

根据文献[14-15]可知,榨油机榨螺转速和孔隙度对榨油机榨膛内部物料的压榨出油状态有着重要影响,因此选择榨螺转速和孔隙度作为仿真试验的两个因素。由于目前该设备进行压榨油菜籽时一般转速为20 r/min,因此榨螺转速选择 10,20,30,40 r/min 4 个水平值,孔隙度选择 0.15,0.30,0.45 3 个水平值,进行两因素多水平试验。

### 2.2 仿真结果

由表 3 可知,经过多次仿真试验,油饼体积和出油体积由仿真后经过编制程序进行积分计算得到,出油率由出油体积除以油饼体积所得。数据表明,在转速为 20 r/min,孔隙度为 0.45 时出油率最高,为 88.12%。

由图 4 和图 5 可知,在油料压榨过程中,其主要应力集中在两个榨螺之间,并且越靠近压榨末端,应力越大,是由于榨螺之间的间隙进一步减小导致。由达西定律可知,速度压降与油液渗出速度呈正相关。在压榨过程中,油饼的应力状态直接影响油液的渗流速度。

由图 6 和图 7 可知,在油菜籽压榨过程中,油液的出油状态呈周期性波动。在出油周期的 1/4 阶段,进入榨

表 3 试验设计及结果<sup>†</sup>

Table 3 Experimental design and result

| 试验号 | A  | B    | 油饼体积/<br>cm <sup>3</sup> | 出油体积/<br>cm <sup>3</sup> | 出油率/<br>% |
|-----|----|------|--------------------------|--------------------------|-----------|
| 1   | 10 | 0.15 | 5 449.28                 | 4 124.01                 | 75.68     |
| 2   | 10 | 0.30 | 5 449.28                 | 4 264.60                 | 78.26     |
| 3   | 10 | 0.45 | 5 449.28                 | 4 322.36                 | 79.32     |
| 4   | 20 | 0.15 | 5 449.28                 | 4 645.51                 | 85.25     |
| 5   | 20 | 0.30 | 5 449.28                 | 4 770.30                 | 87.54     |
| 6   | 20 | 0.45 | 5 449.28                 | 4 801.90                 | 88.12     |
| 7   | 30 | 0.15 | 5 449.28                 | 4 611.72                 | 84.63     |
| 8   | 30 | 0.30 | 5 449.28                 | 4 682.02                 | 85.92     |
| 9   | 30 | 0.45 | 5 449.28                 | 4 727.25                 | 86.75     |
| 10  | 40 | 0.15 | 5 449.28                 | 4 059.71                 | 74.50     |
| 11  | 40 | 0.30 | 5 449.28                 | 4 164.34                 | 76.42     |
| 12  | 40 | 0.45 | 5 449.28                 | 4 285.31                 | 78.64     |

油的预备状态,之后榨螺旋转 90°进一步将油饼进行输送及挤压。当榨膛内的油饼压力达到 35 MPa 时,油菜籽开始大量出油,随着油饼的进一步压榨,油饼中的油液减少,出油速度逐渐减小。随着物料的持续喂入,开始新一轮的出油。整个榨油周期中,中间 1/2 周期流量较大,前

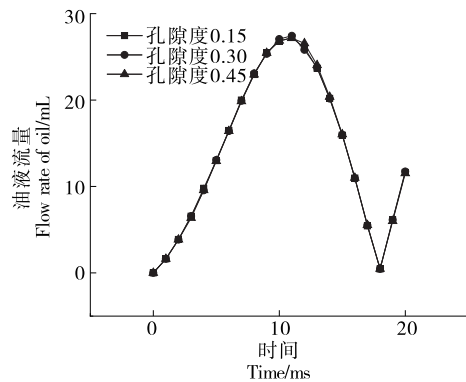


图 6 不同孔隙度下流量与时间的关系

Figure 6 Flow rate versus time for different porosity

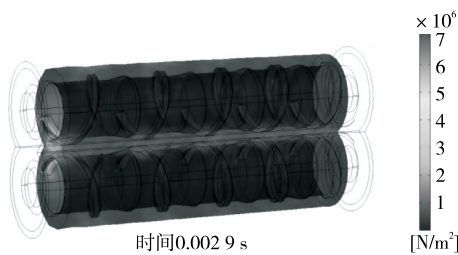


图 4 油饼应力云图

Figure 4 Oil cake stress cloud diagram

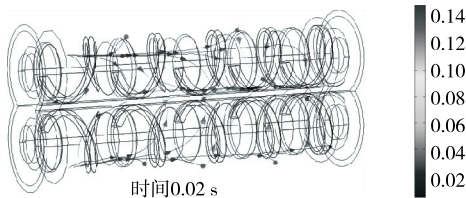


图 5 油液流速图

Figure 5 Oil flow rate graph

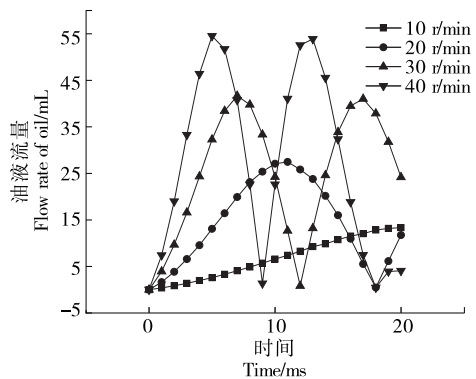


图 7 不同榨螺转速下流量与时间的关系

Figure 7 Flow rate versus time for different speeds

后 1/4 周期流量占比较小。由此可得,出油的总量取决于榨油的中间 1/2 周期。

由图 6 可知,在榨螺转速不变的情况下,不同孔隙度对应的流量峰值不同,说明油料在压榨过程中所受的应力不同。当孔隙度较小时,榨螺无法对油菜籽饼进行进一步压榨,导致出油减小。当孔隙度较大时,在油菜籽经过榨油机主要出油阶段时还属于预压榨状态,油料压榨不充分,出油量不多。因此,采用该设备进行油菜籽压榨时,需要对油菜籽进行合适的预压榨处理,从而达到最佳出油状态。

由图 7 可知,在孔隙度不变的情况下,榨螺转速越快,油液的出油周期越小,且出油峰值越高。这是因为榨螺转速越快,油菜籽被压实的时间越短,油饼有效渗透率降低,大量出油阶段无充足时间渗流,从而导致出油不充分。当榨螺转速越小时,油液的出油周期变得越长,且出油峰值也越低。这是因为榨螺转速越慢,油菜籽被压实的时间越长,油液会重复吸收到细胞中,也会导致出油不充分。因此,该设备进行油菜籽压榨应采用一个合适的主轴转速。

综上,油料的孔隙度和榨螺转速均对油菜籽出油有影响,主要包括:① 榨油机工作状态中物料的压榨状态;② 一个出油周期内的出油充分程度。

### 3 结论

试验表明,相对于压力的试验值而言,仿真值的平均仿真精度达到 87.8%,证实了仿真的可行性。对于该试验设备而言,最佳的榨螺转速为 20 r/min,孔隙度为 0.45,此时出油率最高,为 88.12%。由于双螺旋榨油机的压榨原理大体一致,因此,通过调整榨螺转速和油料预压榨状态均可进一步提高榨油机的出油率。根据经验,温度和油料含水率也是影响出油率和油品质量的重要因素,后续将加入温度场和多相流场进行多物理场仿真,从而得到更加准确的结果。

#### 参考文献

[1] MIZERA C, HERAK D, HRABÉ P, et al. Extraction of oil from rapeseed using duo screw press[J]. *Agronomy Research*, 2018, 16(1): 118-123.

[2] AMALIA KARTIKA I, PONTALIER P Y, RIGAL L. Twin-screw extruder for oil processing of sunflower seeds: Thermo mechanical pressing and solvent extraction in a single step[J]. *Industrial Crops and Products*, 2010, 32(3): 297-304.

[3] BOGAERT L, MATHIEU H, MHEMDI H, et al. Characterization of oil seeds mechanical expression in an instrumented pilot screw press[J]. *Industrial Crops and Products*, 2018, 121: 106-113.

[4] 任小聪, 陈戈, 郑晓, 等. 双螺杆榨油机膛内压力分布测试及研究[J]. *中国油脂*, 2016, 41(4): 100-104.

REN X C, CHEN G, ZHENG X, et al. Test and research on chamber pressure distribution of twin-screw press[J]. *China Oils and Fats*, 2016, 41(4): 100-104.

[5] 李芑荃, 谭雪松, 张黎骅, 等. 基于 ANSYS Workbench 对单螺旋榨油机榨膛温度分布情况的研究[J]. *中国油脂*, 2020, 45(12): 137-141.

LI P Q, TAN X S, ZHANG L H, et al. Temperature distribution of single screw oil press barrel based on ANSYS Workbench[J]. *China Oils and Fats*, 2020, 45(12): 137-141.

[6] 米国强, 黄志刚, 胡淑珍, 等. 基于 Fluent 的螺旋榨油机压榨段流场仿真[J]. *食品与机械*, 2021, 37(3): 85-88.

MI G Q, HUANG Z G, HU S Z, et al. Research on simulation of flow field in press section of screw press based on Fluent[J]. *Food & Machinery*, 2021, 37(3): 85-88.

[7] 冯新东, 宋少云, 杨海沧. 双螺旋榨油机中油料出油率影响因素的仿真[J]. *食品与机械*, 2021, 37(3): 81-84, 88.

FENG X D, SONG S Y, YANG H L. The simulation study on factors influencing the oil yielding rate of oil seeds in twin-screw press[J]. *Food & Machinery*, 2021, 37(3): 81-84, 88.

[8] 张东, 刘晓丽, 王恩志. 非均匀多孔介质等效渗透率的普适表达式[J]. *水文地质工程地质*, 2020, 47(4): 35-42.

ZHANG D, LIU X L, WANG E Z. A universal expression of the equivalent permeability of heterogeneous porous media [J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2020, 47(4): 35-42.

[9] 郑晓, 李智, 林国祥, 等. 菜籽与脱皮菜籽冷榨的应力应变关系研究[J]. *农机化研究*, 2004(6): 187-189, 192.

ZHENG X, LI Z, LIN G X, et al. Research on stress-strain of rapeseed by uniaxial pressing under double-surface for flow of fluids through a porous medium [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2004(6): 187-189, 192.

[10] 冯新东, 宋少云, 尹芳, 等. 脱壳油桐籽压榨的应力—应变关系研究[J]. *武汉轻工大学学报*, 2020, 39(1): 18-21.

FENG X D, SONG S Y, YIN F, et al. Study on the stress-strain relationship of hulled tung seed press [J]. *Journal of Wuhan Polytechnic University*, 2020, 39(1): 18-21.

[11] 郑晓, 宛农, 林国祥, 等. 基于孔隙度的冷榨菜籽仁饼微观结构研究[J]. *中国油脂*, 2004(12): 14-17.

ZHENG X, WAN N, LIN G X, et al. Research on microstructure of cold pressed cakes from decorticated rapeseed based on porosity[J]. *China Oils and Fats*, 2004(12): 14-17.

[12] 王经洲, 郑晓, 宛农, 等. 基于扫描电镜图像分析的菜籽仁饼孔隙结构分形研究[J]. *农业工程学报*, 2008(3): 16-20.

WANG J Z, ZHENG X, WAN N, et al. Fractal character of the pore structure of dehulled rapeseed cake based on scanning electron microscopy image analysis[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008(3): 16-20.

[13] 李诗龙. 油菜籽的物理特性浅析[J]. *中国油脂*, 2005(2): 17-20.

LI S L. Simple analysis of physical property of rapeseed[J]. *China Oils and Fats*, 2005(2): 17-20.

(下转第 169 页)

### 3 结论

刺梨提取物能降低由脂多糖诱导 RAW264.7 细胞 NO 的释放增加,且呈剂量依赖关系,表现出较强的体外抗炎活性。体内试验发现刺梨提取物对葡聚糖硫酸钠诱导的溃疡性结肠炎具有较好的预防作用,主要体现在能够逆转由葡聚糖硫酸钠所引起的体重降低、结肠长度缩短、结肠湿重指数增加、脾脏指数及疾病活动指数增加;HE 染色结果显示,刺梨提取物各组炎性细胞浸润、隐窝破坏程度均降低,提示刺梨提取物能降低炎症的严重程度和范围,对溃疡性结肠炎临床症状和肠道黏膜层显示了较好的保护和修复作用。刺梨提取物对葡聚糖硫酸钠诱导的溃疡性结肠炎的治疗作用,其可能的机制为下调 Keap1 的表达水平,上调 Nrf2 的表达水平,其作用可能与 Keap1/Nrf2/ARE 信号通路有关。由于刺梨提取物的主要成分为刺梨苷、野蔷薇苷、委陵菜酸、野蔷薇酸和氧代坡模酸<sup>[14]</sup>,推测刺梨提取物的抗炎作用及治疗溃疡性结肠炎可能与以上成分有关,有待进一步深入研究。

#### 参考文献

- [1] 谭蓓, 吴东. 溃疡性结肠炎[J]. 英国医学杂志中文版, 2017, 20(7): 387-392.  
TAN B, WU D. Ulcerative colitis[J]. The BMJ, Chinese Edition, 2017, 20(7): 387-392.
- [2] 杨宝玲, 王原, 冯小萌, 等. 溃疡性结肠炎的研究进展[J]. 世界最新医学信息文摘, 2018, 18(38): 112-114.  
YANG B L, WANG Y, FENG X M, et al. Research progress of ulcerative colitis[J]. World Latest Medicine Information (Electronic Version), 2018, 18(38): 112-114.
- [3] 李军祥, 陈諝. 溃疡性结肠炎中西医结合诊疗共识意见(2017年)[J]. 中国中西医结合消化杂志, 2018, 26(2): 105-111, 120.  
LI J X, CHEN J. Consensus opinion on the diagnosis and treatment of ulcerative colitis by integrated traditional Chinese and Western medicine (2017) [J]. Chin Integr Trad West Med Dig, 2018, 26(2): 105-111, 120.
- [4] 国家中医药管理局(中华本草)编委会. 中华本草[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1999: 235-237.  
State Administration of Traditional Chinese Medicine of the PRC (SATCM). The Chinese materia medica[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 1999: 235-237.
- [5] 付阳洋, 刘佳敏, 卢小鸾, 等. 刺梨主要活性成分及药理作用研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41(13): 328-335, 342.  
FU Y Y, LIU J M, LU X L, et al. Research progress on main active components and pharmacological effects of *Rosa roxburghii* Tratt [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(13): 328-335, 342.
- [6] XU J W, VIDYARTHI S K, BAI W B, et al. Nutritional constituents, health benefits and processing of *Rosa roxburghii*: A review [J]. Journal of Functional Foods, 2019, 60: 103456.
- [7] 姚娟, 吴平安, 李芸, 等. Keap1-Nrf2-ARE 信号通路及其激活剂的研究进展[J]. 中国药理学通报, 2019, 35(10): 1342-1346.  
YAO J, WU P A, LI Y, et al. Research progress of small molecule activators in Keap1-Nrf2-ARE signaling pathway [J]. Chinese Pharmacological Bulletin, 2019, 35(10): 1342-1346.
- [8] TKACHEV V O, MENSCHCHIKOVA E B, ZENKOV N K. Mechanism of the Nrf2/Keap1/ARE signaling system [J]. Biochemistry (Moscow), 2011, 76: 407-422.
- [9] WEI S S, CHI J, ZHOU M M, et al. Anti-inflammatory lindenane sesquiterpenoids and dimers from *Sarcandra glabra* and its upregulating AKT/Nrf2/HO-1 signaling mechanism [J]. Industrial Crops & Products, 2019, 137: 367-376.
- [10] FU L J, XING L J, HAO Y J, et al. The anti-inflammatory effects of dry-cured ham derived peptides in RAW264.7 macrophage cells [J]. Journal of Functional Foods, 2021, 87: 104827.
- [11] SOHA H E, AMR S, EMAN O O, et al. Design and synthesis of methoxyphenyl-and coumarin-based chalcone derivatives as anti-inflammatory agents by inhibition of NO production and down-regulation of NF- $\kappa$ B in LPS-induced RAW264.7 macrophage cells [J]. Bioorganic Chemistry, 2021, 107: 104630.
- [12] 张君红, 李洪梅, 黄雪, 等. 黄连素对溃疡性结肠炎大鼠的治疗作用及其机制[J]. 山东医药, 2019, 59(5): 40-43.  
ZHANG J H, LI H M, HUANG X, et al. Therapeutic effect of berberine on ulcerative colitis rats and its mechanism[J]. Shandong Medical Journal, 2019, 59(5): 40-43.
- [13] 赵佩, 刘志龙, 高进贤, 等. 铁皮石斛提取物对溃疡性结肠炎 BALB/c 小鼠的治疗作用[J]. 中国药理学通报, 2019, 35(2): 235-240.  
ZHAO P, LIU Z L, GAO J X, et al. Therapeutic effects of *Dendrobium officinale* extract on ulcerative colitis model of BALB/c mice[J]. Chinese Pharmacological Bulletin, 2019, 35(2): 235-240.
- [14] CHEN F J, LI L Q, PENG M, et al. Identification of triterpenoids and hepatoprotective property of fructus *Rosa roxburghii* against alcohol-induced liver injury by regulating Keap1-Nrf2 signaling[J]. Phytomedicine Plus, 2021, 1(4): 100102.

(上接第 94 页)

- [14] 阮竞兰, 张学阁, 杨丽彦. 双螺旋榨油机榨螺参数与榨膛内压力的关系研究[J]. 中国油脂, 2013, 38(9): 89-92.  
RUAN J L, ZHANG X G, YANG L Y. Relationship between worm parameters and barrel pressure of twin-screw press[J]. China Oils and Fats, 2013, 38(9): 89-92.
- [15] 胡志刚, 邱云峰, 涂德先. 榨膛内压力对榨螺应力应变及油料出油率的影响[J]. 食品与机械, 2014, 30(6): 85-88.  
HU Z G, QIU Y F, TU D X. Effects of squeezing chamber pressure on squeeze screws and plant oil[J]. Food & Machinery, 2014, 30(6): 85-88.