

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2024.80300

豆油单螺旋压榨工艺参数仿真分析与试验

郭 庆 万志华

(武汉轻工大学,湖北 武汉 430048)

摘要: [目的] 探究不同工艺参数对豆油单螺旋压榨效果的影响,提高压榨工作效率和出油率。[方法] 建立水、豆油与大豆颗粒混合物的两相流欧拉模型,利用 ANSYS FLUENT 软件对豆油压榨过程中不同榨膛温度、榨膛压强、榨油机转速条件下的流体特性进行模拟分析,使用 100 型单螺旋榨油机进行验证。[结果] 豆油体积分数的极值范围为 6.06%~19.80%,流体压强的极值范围为 4.990~15.079 MPa,豆油流动速度的极值范围为 0.20~7.46 m/s。榨膛压强对豆油流动速度影响极显著($P=0.001<0.01$),榨油机转速对豆油流动速度影响显著($P=0.014<0.05$)。榨膛压强对豆油体积分数影响极显著($P=0.000<0.01$),榨油机转速对豆油体积分数影响极显著($P=0.000<0.01$)。[结论] 一定条件下,增大榨油机转速与榨膛内压强可提高豆油的流动性和出油率;榨螺的压强集中于油料运输段和初压榨段,增强榨螺在此位置的刚性强度可提高榨油机的工作稳定性。

关键词: 单螺旋榨油机;豆油压榨;工艺参数;流体特性

Simulation analysis and experimental study on processing parameters of soybean oil single screw press

GUO Qing WAN Zhihua

(Wuhan Polytechnic University, Wuhan, Hubei 430048, China)

Abstract: [Objective] To explore the influence of different process parameters on the single screw press of soybean oil, and improve the pressing efficiency and oil yield. [Methods] An Eulerian model for two-phase flow of water, soybean oil and soybean particles was established. The fluid characteristics under different chamber temperature, chamber pressure and rotary speed in the pressing process of soybean oil were simulated and analyzed by ANSYS FLUENT software, and the validation test was carried out by using 100-type single screw oil press. [Results] The extremum range of soybean oil volume fraction was 6.06%~19.80%, the extremum range of fluid pressure was 4.990~15.079 MPa, and the extremum range of soybean oil flow velocity was 0.20~7.46 m/s. The chamber pressure had a highly significant effect on the flow velocity of soybean oil ($P=0.001<0.01$), and rotary speed had a significant effect on the flow velocity of soybean oil ($P=0.014<0.05$). The chamber pressure had a highly significant effect on the volume fraction of soybean oil ($P=0.000<0.01$), and rotary speed had a highly significant effect on the volume fraction of soybean oil ($P=0.000<0.01$). [Conclusion] Under certain conditions, the fluidity and oil yield of soybean oil can be improved by increasing the rotating speed of press and the chamber pressure; The pressure of screw is concentrated in the oil transportation section and the initial pressing section. Enhancing the rigidity of screw at this position can improve the working stability of oil press.

Keywords: single screw oil press; soybean oil press; process parameters; fluid properties

豆油是一种具有高营养价值的食用植物油,不仅含有丰富的维生素、高比例的不饱和脂肪酸与矿物质,还有助于维持人体心血管健康和降低胆固醇水平。豆油的生产工艺分为化学浸出和物理压榨两种方式。化学浸出法出油率高且生产成本低,但生产过程中需使用有机溶剂,

存在一定的安全隐患。物理压榨法利用螺旋榨油机中榨螺旋产生的压力和剪切力将豆油直接从大豆中分离出来,全过程无任何化学添加剂,可以最大程度保留豆油的风味和营养价值,但出油率相对较低。随着消费者对绿色食品的追求,豆油物理压榨生产工艺的优化和效率提

基金项目:武汉轻工大学博士科研启动项目(编号:2024RZ068)

通信作者:万志华(1983—),男,武汉轻工大学副教授,博士。E-mail:wanzhihua2008@163.com

收稿日期:2024-04-01 改回日期:2024-10-03

升变得至关重要。

魏文波等^[1]对影响螺旋榨油机榨油质量的关键部件磨损严重、工作性能、微观机理研究不足等问题提出了发展建议。古劲等^[2]运用 Fluent 软件探究了榨螺结构对流场压力和油料流速的影响作用,为榨油机内物料的流动特性做出解释。张丽梅等^[3]使用 Fluent 软件建立在碎花生颗粒和油的混合物充满榨膛情况下的流体域,进行油料和螺杆、榨膛的流固耦合计算,为螺杆设计、压力和温度设置等提供理论依据。Vasilachi 等^[4]对葡萄籽榨油机的双螺杆进行了有限元方法分析,为相关结构的优化提供参考。Kovalyshyn 等^[5]分析了螺杆转速和榨油机出饼口面积对能耗的影响。Kleymenova 等^[6]提出了一种压榨间隙可控并且能实现两级压榨的螺杆式榨油机的设计方案。综合上述文献,对豆油压榨过程中不同工艺参数的影响仍需进一步探究。研究基于 ANSYS Fluent 软件,对豆油在单螺旋榨油机压榨过程中不同榨膛温度、榨膛压强、榨油机转速条件下的流体特性进行模拟分析和试验,以期为提高榨油机的工作效率和出油率提供参考。

1 物理特性参数计算和模型建立

1.1 豆油物理特性参数

Peng-Robinson 状态方程是目前应用最广泛、精度最高的立方型 PVT 状态方程之一,能够同时考虑分子的体积和分子间相互作用力,对描述密度、黏度、比热等物理特性参数较为准确^[7]。由于豆油在不同的榨膛压强和榨膛温度条件下存在的物理特性会有差异,故通过 Peng-Robinson 状态方程来计算豆油在榨膛温度为 50, 80, 110 °C, 榨膛压强为 5, 10, 15 MPa 下的密度、黏度、热导率等物理特性参数。Peng-Robinson 状态方程的表达式为

$$p = \frac{RT}{V-b} - \frac{a\alpha(T)}{V(V+b)+b(V-b)}, \quad (1)$$

式中:

p ——压强, Pa;

R ——通用气体常数, J/(mol·K);

V ——摩尔体积, L/mol;

T ——温度, K;

a, b ——与临界参数有关的参数;

$\alpha(T)$ ——温度函数。

各项参数的表达式为

$$a = 0.457235 \frac{(RT_c)^2}{p_c}, \quad (2)$$

$$b = 0.077796 \frac{RT_c}{p_c}, \quad (3)$$

$$\alpha(T) = \left[1 + (0.37464 + 1.54226\omega - 0.26992\omega^2)(1 - T_r^{0.5}) \right]^2, \quad (4)$$

式中:

a, b ——与临界参数有关的参数;

$\alpha(T)$ ——温度函数;

R ——通用气体常数, J/(mol·K);

T_c ——临界温度, K;

p_c ——临界压力, Pa;

T_r ——对比温度, K;

ω ——偏心因子。

通过计算所得相关参数的结果如表 1 所示。

表 1 不同榨膛压强和榨膛温度下豆油的物理特性参数
Table 1 Physical parameters of soybean oil under different pressure and temperature of chamber

榨膛压强/MPa	榨膛温度/°C	密度/(kg·m ⁻³)	热导率/(W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	比热/(J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹)	黏度/(Pa·s)
5	50	909.926 1	0.124 3	2 098.8	0.018 4
	80	891.088 1	0.121 0	2 217.3	0.009 3
	110	872.521 9	0.117 7	2 334.0	0.005 6
10	50	905.773 3	0.124 3	2 102.2	0.018 3
	80	887.368 1	0.121 0	2 221.4	0.009 3
	110	868.970 6	0.117 7	2 338.9	0.005 6
15	50	907.868 7	0.124 3	2 100.4	0.018 4
	80	889.243 7	0.121 0	2 219.2	0.009 3
	110	870.760 7	0.117 7	2 336.3	0.005 6

1.2 模型建立

1.2.1 榨螺的几何模型尺寸参数 榨螺是螺旋榨油机核心的工作部件,其旋转不仅促使大豆沿着设备的轴向运动,同时也在大豆上作用剪切力,从而推动榨油过程的进行^[8-10]。建立的榨螺几何模型分为 7 节,前两节为油料运输段,总长度 220 mm,后 5 节为油料压榨段,总长度 488 mm,其中压榨段由 4 节锥圈连接。榨螺几何模型尺寸参数如表 2 和表 3 所示。

1.2.2 榨螺的几何模型建立 根据以上尺寸参数,利用 SolidWorks 建立简化榨螺几何模型,如图 1 所示。

表 2 榨螺直径

Table 2 Diameters of screw mm				
榨螺	外螺旋	榨螺底径	螺距	长度
1	100	66	63	110
2	100	66	63	110
3	100	66	63	97
4	100	80	63	108
5	100	80	50	50
6	100	80	50	68
7	100	80	50	75

表3 锥圈尺寸

Table 3 Dimensions of cone ring mm

锥圈	左端直径	右端直径	长度
1	66	90	18
2	80	90	21
3	80	90	24
4	80	90	27

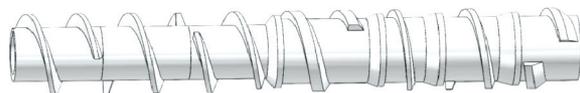


图1 榨螺几何模型

Figure 1 Geometric model of screw

1.2.3 流体模型的建立 将简化榨的螺几何模型导入到 ANSYS Fluent 软件,螺旋榨油机在进行压榨的过程中,榨螺于榨膛内做定轴旋转运动,榨膛内豆油的流体特性会由于距离榨螺的不同而产生差异^[11-13]。模型外螺旋径向距离为 100 mm,因此分别建立包裹在榨螺上直径为 110 mm 的圆柱体旋转域,建立包裹在旋转域上直径为 120 mm 的圆柱体流体域,并对旋转域中的榨螺进行切割布尔运算,使流体模型为不含榨螺的空腔圆柱体,以观察流体在榨螺上不同径向距离的流体特性,如图 2 所示^[14-17]。



图2 流体模型

Figure 2 Fluid model

利用 Fluent Meshing 对流体包裹榨螺的空腔部分进行单元尺寸为 3 mm 的网格加密,分别对所建立的流体模型进行最小单元尺寸为 3.5 mm、最大单元尺寸为 6 mm 的面网格划分和最大单元尺寸为 8 mm 的体网格划分,如图 3~图 5 所示。



图3 流体模型空腔

Figure 3 Cavity section of fluid model



图4 面网格划分情况

Figure 4 Mesh division of face

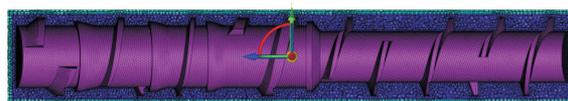


图5 体网格划分情况

Figure 5 Mesh division of volume

2 仿真试验设计和参数设置

2.1 仿真试验设计

以榨膛温度、榨膛压强和榨油机转速为试验因素设计仿真试验如表 4 所示。

表4 仿真试验设计

Table 4 Design of simulation test

试验号	榨膛温度/℃	榨膛压强/MPa	榨油机转速/(r·min ⁻¹)
1	50	5	30
2	80	5	35
3	110	5	40
4	80	10	30
5	110	10	35
6	50	10	10
7	110	15	30
8	50	15	35
9	80	15	40

2.2 流体模型的参数设置

榨油过程中,榨膛内存在水、豆油与大豆颗粒的混合物等,因此建立水、豆油和尺寸为 1.5 mm 大豆颗粒混合物的双相流欧拉模型,以豆油体积分数来体现榨取的效果^[18-21]。考虑榨螺垂直向下的重力,榨螺绕 Z 轴做定轴转动。豆油的密度、比热、黏度等物理特性参数随着榨膛温度和榨膛压强的变化而对应改变,采用 k-epsilon Realisable 湍流模型和可扩展壁面函数,选择 Phase Coupled SIMPLE 算法以稳态的形式迭代计算 1 000 次^[22-24]。建立 4 条坐标点分别为(-58, 0, 0; -58, 0, 708)的直线 1、(58, 0, 0; 58, 0, 708)的直线 2、(0, -58, 0; 0, -58, 708)的直线 3、(0, 58, 0; 0, 58, 708)的直线 4; 3 个沿 Z 轴间距为 250 mm 的径向截面;一个沿 Z 轴中心的轴向截面来观察流体压强、豆油流动速度和豆油体积分数变化^[25]。

3 结果与分析

3.1 仿真分析结果

通过仿真试验计算所得的流体压强、Z 轴方向豆油流动速度、豆油体积分数的极值结果,如表 5~表 7 所示。结果表明,在榨膛温度 80 ℃、榨膛压强 15 MPa、榨油机转速 40 r/min 的条件下,流体压强最大,为 15.079 MPa;在榨膛温度 50 ℃、榨膛压强 15 MPa、榨油机转速 35 r/min 的条件下,豆油流动速度最快,为 7.46 m/s;在榨膛温度 50 ℃、榨

表 5 流体压强仿真结果

Table 5 Simulation results of fluid pressure MPa

试验号	极值	试验号	极值	试验号	极值
1	4.991~5.076	4	9.989~10.078	7	14.988~15.075
2	4.991~5.077	5	9.990~10.076	8	14.991~15.078
3	4.990~5.077	6	9.987~10.078	9	14.989~15.079

表 6 豆油流动速度仿真结果

Table 6 Simulation results of soybean oil flow velocity m/s

试验号	直线 1	直线 2	直线 3	直线 4	极值
1	0.96~6.53	2.36~5.78	2.20~5.54	1.02~5.44	0.96~6.53
2	1.09~5.72	0.30~5.72	1.35~7.08	1.98~5.90	0.30~7.08
3	0.99~5.93	1.34~5.53	2.16~5.93	1.54~5.93	0.99~5.93
4	0.79~5.78	1.26~5.47	0.55~5.71	1.10~6.77	0.55~6.77
5	1.36~5.96	1.20~6.58	1.48~5.57	0.55~5.59	0.55~6.58
6	0.35~6.89	1.95~6.04	0.55~5.77	1.77~5.73	0.35~6.89
7	1.52~6.48	0.41~5.84	1.95~5.90	2.21~5.51	0.41~6.48
8	1.36~7.46	0.20~5.88	0.88~5.95	0.59~6.10	0.20~7.46
9	1.64~6.28	1.45~5.68	1.97~5.95	2.22~5.57	1.45~6.28

膛压强 15 MPa、榨油机转速 35 r/min 的条件下,豆油体积分数分布最优,为 8.43%~19.80%。

3.2 流体压强分布分析结果

通过迭代计算,所得的榨螺表面压强和流体压强在榨膛温度 50 °C、榨膛压强 5 MPa、榨油机转速 30 r/min 条件下分布情况,如图 6 和图 7 所示。由于大豆颗粒含油丰富,需要较大的压力来运输和挤压大豆以释放油脂,因此榨螺表面压强主要集中在油料运输段和初压榨段,此区域要求榨螺具有更高的强度和耐磨性。随着油脂在榨膛内逐渐被榨净,榨螺表面压强会随之减小。由于榨螺的几何形状以及物料的流动特性,流体压强在径向截面上存在分布不均现象。

3.3 豆油流动速度分析结果

在榨膛温度 50 °C、榨膛压强 5 MPa、榨油机转速 30 r/min 条件下,豆油沿 Z 轴流动速度的云图结果如图 8

表 7 豆油体积分数仿真结果

Table 7 Simulation results of soybean oil volume fraction %

试验号	直线 1	直线 2	直线 3	直线 4	极值
1	8.39~19.40	9.13~19.40	8.08~19.50	9.35~19.00	8.08~19.50
2	9.22~19.50	8.78~19.00	8.39~19.50	8.39~18.50	8.39~19.50
3	8.25~19.50	8.96~18.70	8.91~18.80	7.86~19.10	7.86~19.50
4	7.86~19.20	8.83~18.40	8.12~18.70	8.91~19.50	7.86~19.50
5	7.95~19.40	9.22~18.70	8.52~18.00	8.78~19.50	7.95~19.50
6	8.52~19.40	9.35~19.00	8.56~19.00	8.91~19.10	8.52~19.40
7	9.13~18.10	8.56~18.40	9.35~19.00	8.25~19.80	8.25~19.80
8	8.78~19.60	8.43~19.10	8.52~18.80	8.52~19.80	8.43~19.80
9	6.06~18.70	9.13~19.80	7.86~18.30	7.95~18.50	6.06~19.80

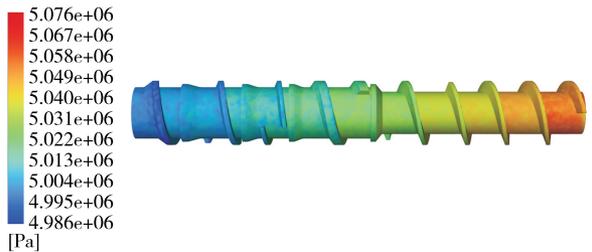


图 6 榨螺表面压强

Figure 6 Surface pressure of screw

和图 9 所示。由图 8 可知,随着压榨进行,豆油倾向于在重力作用方向的一侧累积,形成在流体域径向上的非对称分布,通过优化此分布特征可以提高大豆在榨膛中的分离性能。由图 9 可知,随着接近油料压榨段的位置,豆油流动速度逐步增加,表明了榨螺结构对豆油物理作用的显著性。豆油沿 Z 轴流动时流速在流体边缘更高,而在榨螺壁附近流速较慢,表明由于榨螺的结构存在从轴心到壁面的流速梯度,有利于榨油过程中油脂的运移和分离,在流体边缘形成的高剪切区同时也会带来更多的固体颗粒进入油品,影响其品质。

在榨膛温度 50 °C、榨膛压强 5 MPa、榨油机转速 30 r/min 条件下,豆油沿 Z 轴方向 4 条直线的流动速度分

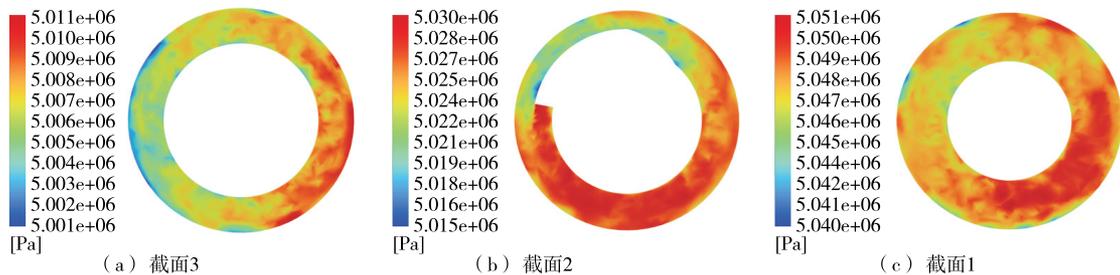


图 7 流体压强径向截面

Figure 7 Radial section of fluid pressure

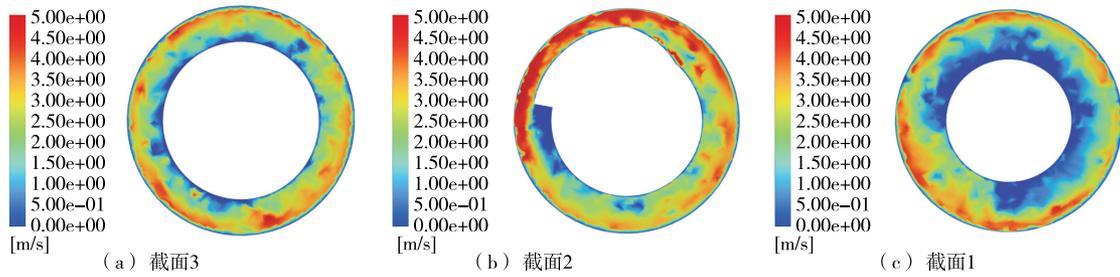


图8 豆油流动速度径向截面

Figure 8 Radial section of soybean oil flow velocity

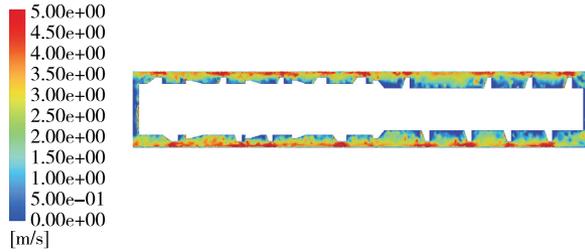


图9 豆油流动速度轴向中心截面

Figure 9 Axial central section of soybean oil flow velocity

布情况如图10所示。由图10可知,豆油流动速度受压榨过程影响明显。在压榨开始阶段,豆油流动速度迅速上升,反映了大豆受榨螺挤压下,油脂逐渐被释放。流动速度沿榨螺由高到低往复变化,这是因为豆油在沿榨螺向出料端移动时会受到更大阻力。进入榨膛较稳定区域时,豆油流动速度趋于平稳,此时豆油已经部分释放出来,而榨膛内压力的分布较为均匀,不再有剧烈的速度变化。当豆油沿着压榨段继续向前流动并逐步接近出口时,流动速度开始下降。此时释放的豆油量增多,残余的大豆压力逐渐减小,同时豆饼的形成导致榨膛通道阻力增加。

豆油流动速度方差分析结果如表8所示。结果表明,榨膛温度对豆油流动速度影响不显著($P=0.495>0.05$),榨膛压强对豆油流动速度影响极显著($P=0.001<0.01$),榨油机转速对豆油流动速度影响显著($P=0.014<0.05$)。

3.4 豆油体积分数分析结果

在榨膛温度 50 °C、榨膛压强 5 MPa、榨油机转速

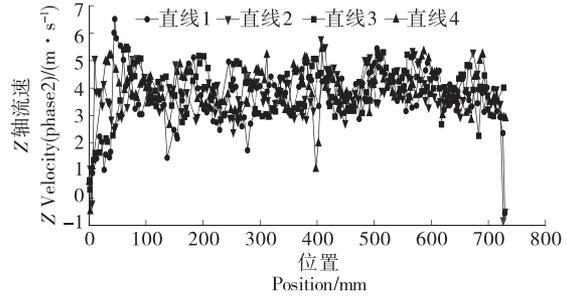


图10 沿Z轴方向直线的豆油流动速度分布曲线

Figure 10 Soybean oil flow velocity distribution curve along the straight line in the Z-axis direction

表8 豆油流动速度方差分析结果

Table 8 Variance analysis results of soybean oil flow velocity

因素	平方和	自由度	均方	F值	P值
榨膛温度	0.059	2	0.030	1.021	0.495
榨膛压强	52.534	2	26.267	904.720	0.001
榨油机转速	4.222	2	2.111	72.713	0.014

30 r/min 条件下豆油体积分数分布云图如图11和图12所示。由图11可知,豆油的分布主要集中在流体的内部区域。由于榨螺的旋转与豆饼之间形成遮蔽效应和在挤压过程中豆油与榨螺表面间的摩擦作用和剪切力,限制了油脂贴近榨螺表面,导致油脂在接触面附近分布稀疏。

在榨膛温度 50 °C、榨膛压强 5 MPa、榨油机转速 30 r/min 条件下,沿Z轴方向4条直线的豆油体积分数

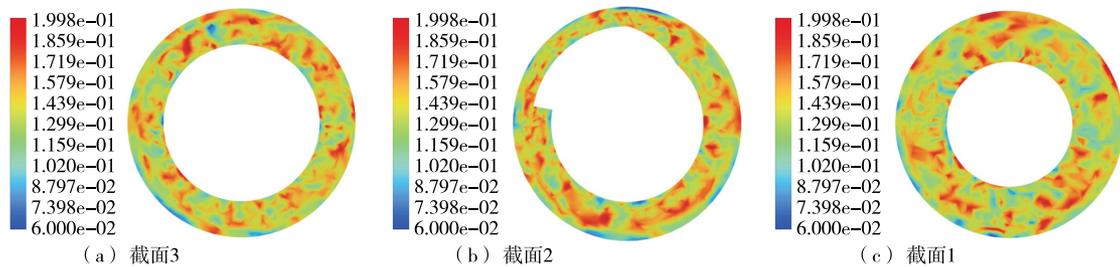


图11 豆油体积分数径向截面

Figure 11 Radial section of soybean oil volume fraction



图 12 豆油体积分数轴向中心截面

Figure 12 Axial central section of soybean oil volume fraction

布曲线如图 13 所示。由图 13 可知,在压榨的早期阶段,豆油体积分数变化较大,这是由于油脂在初期被迅速挤出。随着压榨过程延续,可挤压油脂的减少以及压榨隔渣的积累导致提取速率的下降,从而使体积分数变化逐渐减小。

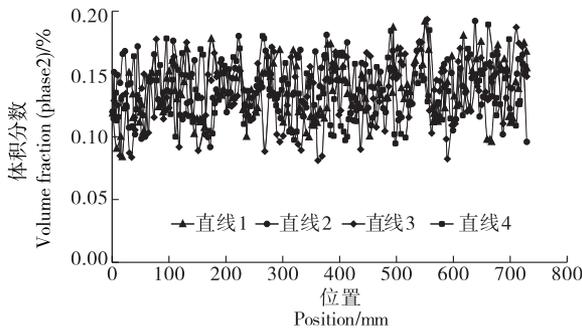


图 13 沿 Z 轴方向直线的豆油体积分数分布曲线

Figure 13 Volume fraction distribution curve of soybean oil along the straight line in the Z-axis direction

豆油体积分数方差分析如表 9 所示。结果表明,榨膛温度对豆油体积分数影响不显著 ($P=0.057>0.05$),榨膛压强对豆油体积分数影响极显著 ($P=0.000<0.01$),榨油机转速对豆油体积分数影响极显著 ($P=0.000<0.01$)。

表 9 豆油体积分数方差分析结果

Table 9 Variance analysis results of soybean oil volume fraction

因素	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
榨膛温度	0.206	2	0.103	16.617	0.057
榨膛压强	558.793	2	279.397	44 983.355	0.000
榨油机转速	43.779	2	21.890	3 524.270	0.000

4 压榨试验验证

利用 100 型单螺旋榨油机进行试验验证,每次试验大豆喂入量为 5 kg,结果如表 10 所示。结果表明,在榨膛温度 50 °C、榨膛压强 15 MPa、榨油机转速 35 r/min(试验 8)条件下,大豆出油率最高。试验值与仿真试验结果基本一致,误差约 5%。

表 10 压榨试验结果

Table 10 Results of squeezing test

试验号	出油率/%		试验号	出油率/%	
	仿真试验值	试验值		仿真试验值	试验值
1	19.06	18.61	6	19.14	18.65
2	19.13	18.70	7	19.20	19.00
3	19.03	18.56	8	19.33	19.04
4	18.90	18.54	9	18.92	18.73
5	18.95	18.59			

5 结论

为了解决豆油单螺旋压榨工作效率低和出油率低等问题,运用 Fluent 软件对豆油压榨过程中不同榨膛温度、榨膛压强、榨油机转速条件下的流体特性进行仿真分析,探究了工作条件对豆油压榨效果的影响和提高压榨效率的最优工作条件。结果表明,榨膛压强对豆油的流速和体积分数影响极显著;榨油机转速对豆油的流速影响显著,对豆油的体积分数影响极显著;豆油在流体域径向内存在非对称分布和速度梯度。该研究只针对理想状态下的压榨过程和简化的结构进行了分析,后期可通过增加工作条件、建立完整的结构模型等进一步提高仿真的准确性。

参考文献

[1] 魏文波, 韩鹏, 张经宇, 等. 螺旋榨油机研究现状及发展建议[J]. 农业技术与装备, 2021(1): 17-19, 22.
WEI W B, HAN P, ZHANG J Y, et al. Research status and development suggestions of screw press[J]. Agricultural Technology & Equipment, 2021(1): 17-19, 22.

[2] 古劲, 黄志刚, 米国强, 等. 基于 Fluent 单螺杆榨油机主压榨段流场仿真研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(4): 80-86.
GU J, HUANG Z G, MI G Q, et al. Research on simulation of flow field in main press section of single screw press based on fluent[J]. Food & Machinery, 2019, 35(4): 80-86.

[3] 张丽梅, 黄志刚, 宋宇, 等. 基于 CFD 的单螺旋榨油机榨膛流场特性分析与试验[J]. 中国油脂, 2021, 46(7): 133-137.
ZHANG L M, HUANG Z G, SONG Y, et al. Characteristics and experiment of flow field in barrel of single stage screw press based on CFD[J]. China Oils and Fats, 2021, 46(7): 133-137.

[4] VASILACHI C, BIRIŞ S S. Modelling by finite element method of the twin-screw of a press for obtaining grape seed oil[J]. E3s Web of Conferences, 2019, 112: 03022.

[5] KOVALYSHYN S, TOMYUK V. Research on power consumption of screw press for pressing of oil from rape seed [J]. Bio Web of Conferences, 2018, 10: 02011.

[6] KLEYMENOVA N L, BOLGOVA I N, KOPYLOV M V, et al. Improving screw systems for producing cold pressed oil[J].

- Russian Engineering Research, 2023, 43(2): 131-134.
- [7] 布鲁斯, 普劳斯尼茨, 奥康奈尔. 气液物性估算手册[M]. 赵红玲, 王凤坤, 陈圣坤, 等译. 北京: 化学工业出版社, 2006: 85-90.
- BRUCE E P, PRAUSNITZ J M, O'CONNELL J P. The properties of gases and liquids[M]. ZHAO H L, WANG F K, CHEN S K, et al trans. Beijing: Chemical Industry Press, 2006: 85-90.
- [8] 黄涛, 宋少云, 张恒, 等. 低温冷榨过程中油菜籽出油率影响因素仿真分析[J]. 食品与机械, 2023, 39(1): 91-94, 169.
- HUANG T, SONG S Y, ZHANG H, et al. Simulation study of factors influencing oil yield during cold pressing of rapeseed[J]. Food & Machinery, 2023, 39(1): 91-94, 169.
- [9] 李心蕊. 螺旋榨油机应用研究及其传动系统改进[J]. 南方农机, 2021, 52(18): 59-61.
- LI X R. Application research and transmission system improvement of screw press[J]. China Southern Agricultural Machinery, 2021, 52(18): 59-61.
- [10] 刘彩虹, 成小飞, 王春风. 小型螺旋榨油机结构设计[J]. 南方农机, 2021, 52(12): 53-55.
- LIU C H, CHENG X F, WANG C F. Structure design of small screw press[J]. China Southern Agricultural Machinery, 2021, 52(12): 53-55.
- [11] 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 filed in press section of screw press based on fluent[J]. Food & Machinery, 2021, 37(3): 85-88.
- [12] 文佳星, 李维. 榨油机发展技术浅见[J]. 科学技术创新, 2021(9): 152-153.
- WEN J X, LI W. Opinions on the development technology of screw press[J]. Scientific and Technological Innovation, 2021(9): 152-153.
- [13] 王伟. 双螺杆榨油机的改进及优化[J]. 农村经济与科技, 2019, 30(16): 297-298.
- WANG W. Improvement and optimization of twin screw press [J]. Rural Economy and Science-Technology, 2019, 30(16): 297-298.
- [14] 姚占斌, 相海, 张晔, 等. 油莎豆低温压榨单螺杆榨油机的设计与试验研究[J]. 中国油脂, 2020, 45(5): 132-137.
- YAO Z B, XIANG H, ZHANG Y, et al. Design and experimental study of single screw press for low temperature pressing of cyperus esculentus[J]. China Oils and Fats, 2020, 45(5): 132-137.
- [15] 夏红. 小型核桃榨油机榨油装置设计与试验[D]. 成都: 四川农业大学, 2020: 35-41.
- XIA H. Small walnut oil press design and test of oil press[D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2020: 35-41.
- [16] 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.
- [17] FAKAYODE A O, AJAV A E. Development, testing and optimization of a screw press oil expeller for moringa (*Moringa oleifera*) seeds[J]. Agricultural Research, 2019, 8(1): 102-115.
- [18] LEE K Y, KIM A N, KIM H J, et al. Effect of oil pressing and packaging under oxygen-free conditions on yield, oxidative stability, antioxidant activity, and physicochemical characteristics of perilla oil[J]. LWT-Food Science and Technology, 2023, 179: 114647.
- [19] MUÑOZ A M, CASIMIRO-GONZALES S, GÓMEZCOCA R B, et al. Comparison of four oil extraction methods for sinami fruit (*Oenocarpus mapora* H. Karst): evaluating quality, polyphenol content and antioxidant activity[J]. Foods, 2022, 11(10): 1 518.
- [20] NURJANAH S, ADSHMIRAJ J A, KRAMADIBRATA M A M, et al. Study on the pressing process of kemiri sunan's oil (*Reutealis trisperma*) using screw-press machine at different feed material levels[J]. Iop Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, 355: 012074.
- [21] RUSINEK R, SIGER A, MARZENA G W, et al. Application of an electronic nose for determination of pre-pressing treatment of rapeseed based on the analysis of volatile compounds contained in pressed oil[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2020, 55(5): 2 161-2 170.
- [22] GARCÍA-GONZÁLEZ A, VELASCO J, VELASCO L, et al. Characterization of press and solvent extraction oils from new sunflower seeds with modified phytosterol compositions[J]. Journal of The Science of Food and Agriculture, 2020, 101(1): 101-109.
- [23] SOLMAZ A, TORBATI M, AZADMARD-DARMIRCHI S, et al. Effect of refining on the quality of oils extracted by cold press from black cumin (*Nigella sativa* L.) seed and by solvent from its cake[J]. International Journal of Food Science Technology, 2023, 58(12): 6 475-6 484.
- [24] HUANG Y, LIU C S, GE Z F, et al. Influence of different thermal treatment methods on the processing qualities of sesame seeds and cold-pressed oil[J]. Food Chemistry, 2022, 404: 134683.
- [25] KABUTEY A, HERÁK D, MIZERA Ć. Assessment of quality and efficiency of cold-pressed oil from selected oil seeds[J]. Foods, 2023, 12(19): 3 636.