

大豆的液压冷榨工艺及压榨特性

袁 帅¹, 李兴飞¹, 张 钊², 曹连锋², 王才立²,

孔祥珍¹, 陈业明¹, 张彩猛¹, 华欲飞¹

(1. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 山东嘉华生物科技股份有限公司, 山东 莘县 252400)

摘要:为研究大豆压榨过程中压榨特性的变化,以大豆为原料,探究了压榨时间、填料高度和压榨次数对残油率、压缩比、孔隙度、渗透率、微观结构的影响。结果表明:随着压榨时间的延长,大豆饼残油率先快速降低后趋于平缓;随着填料高度的增加,大豆饼残油率增加,压缩比减小,孔隙度增加,渗透率增加;二次压榨后大豆饼残油率降低,压缩比增加,孔隙度降低,渗透率降低;微观结构分析表明,随着填料高度的增加,细胞破碎率降低,更多的油脂残留在细胞内。因此,在实际生产中要合理控制压榨时间、填料高度和压榨次数来提高压榨效率。

关键词:大豆;冷榨;压榨特性;微观结构

中图分类号:TS224;TS222+.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7969(2023)01-0008-06

Hydraulic cold pressing technology and pressing characteristics of soybean

YUAN Shuai¹, LI Xingfei¹, ZHANG Zhao², CAO Lianfeng²,

WANG Caili², KONG Xiangzhen¹, CHEN Yeming¹,

ZHANG Caimeng¹, HUA Yufei¹

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China;

2. Shandong Jiahua Biotechnology Co., Ltd., Xinxian 252400, Shandong, China)

Abstract: In order to study the change of pressing characteristics during soybean pressing, the effects of pressing time, filler height and pressing times on residual oil rate, compression ratio, porosity, permeability and microstructure were investigated using soybean as raw material. The results showed that with the prolonging of the pressing time, the residual oil rate of soybean cake firstly decreased rapidly and then tended to be flat. With the increase of filler height, the residual oil rate of soybean cake increased, the compression ratio decreased, the porosity increased, and the permeability increased. After the secondary pressing, the residual oil rate of soybean cake decreased, the compression ratio increased, the porosity decreased, and the permeability decreased. Microstructure analysis showed that when the filler height increased, the cell fragmentation rate decreased and more oil remained within the cell. Therefore, in actual production, the pressing time, filler height and pressing times should be reasonably controlled to improve the pressing efficiency.

Key words: soybean; cold pressing; pressing characteristics; microstructure

大豆是全球主要的油料之一,同时又是主要的

植物蛋白来源。目前大豆的主要加工模式是溶剂浸出法制取大豆油和脱脂豆粕,后者进一步提取大豆蛋白^[1]。溶剂浸出法的优点是出油率高,但是存在溶剂残留,限制了油和蛋白在绿色食品、有机食品等领域的应用。直接以大豆为原料,采用水酶法同时制取油脂和蛋白,可以避免使用有机溶剂,但是存在油脂乳化严重、酶用量较大等问题,使水酶法推广应

收稿日期:2021-12-27;修回日期:2022-08-21

作者简介:袁 帅(1997),男,在读硕士,研究方向为油脂与植物蛋白加工(E-mail)547345942@qq.com。

通信作者:华欲飞,教授,博士生导师(E-mail)yfhua@jiangnan.edu.cn。

用受到限制^[2]。若将压榨制油与水提蛋白两者相结合,则能在很大程度上解决直接水酶法所遇到的问题。

根据压榨物料是否加热,压榨法分为热榨和冷榨。热榨法出油率高,但是压榨时的高温会引起脂肪酸氧化分解,油脂营养品质下降^[3],而且会导致大豆饼中蛋白质的变性,使饼的质量变差^[4]。冷榨法可最大程度保证油脂的品质,而且饼中蛋白质未变性,品质高,可以进一步提取大豆蛋白^[5]。根据压榨机器的种类,压榨法又可分为螺旋压榨和液压压榨。螺旋压榨饼残油率低,处理量大,但是在压榨过程中物料随螺杆在榨腔内运动,除了受到挤压作用外还有剪切作用,油料中蛋白质变性严重,饼只能被用作饲料,综合利用率低^[6]。液压压榨属于静态压榨,油品品质好,饼中蛋白质变性程度低,可以进一步提取蛋白。

压榨制油通过机械作用方式对油料施加压力,当压力达到一定值时,油脂从仁细胞壁孔渗出流向仁表面并逐渐充满仁空隙。随着压力继续增大,油脂从油料皮壳上的微孔渗出流向油料表面,并逐渐充满油料空隙形成饱和多孔介质,随即产生宏观的渗流运动。当压力大到一定值时,细胞壁和皮壳破裂,渗流加速。随着油脂的不断排出,油料逐渐固结,最终形成饼^[7]。近年来,为明确油料压榨过程中压榨特性的变化情况,许多学者对油料压榨理论开展了研究,如:倪倩^[8]利用柱塞式压榨试验装置对大豆进行压榨试验,探讨了出油率与压榨压力及冷榨应力与应变的关系;郑晓等^[9]分析了菜籽仁饼的孔隙度与冷态压榨压力之间的关系;孙志先等^[10]以冷态压榨成型的大豆饼和棉籽饼为研究对象,确定了压榨压力与渗透率之间的关系;程园园^[11]通过观察油菜籽和亚麻籽子叶细胞及其压榨饼的微观结构,发现压榨过程中油料细胞结构严重变形且遭到破坏,从而实现油脂与压榨饼的固液分离。

基于绿色、健康和环保的消费背景下,大豆压榨制油成为研究热点,但对于大豆压榨过程中的压榨理论研究较少。本文以大豆为原料,通过比较不同压榨条件下残油率、压缩比、孔隙度、渗透率和微观结构的变化,确定大豆冷榨过程中油脂迁移的变化情况,优化大豆压榨工艺条件,获得低变性脱脂大豆饼,以作为提取大豆蛋白的原料,丰富大豆深加工产业。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

大豆,百粒质量(32.5 ± 0.7)g,脂肪含量($18.74 \pm$

0.12)%,蛋白质含量(44.70 ± 0.19)%,水分含量(10.78 ± 0.06)%,购自江苏青禾杂粮专业合作社。

尼罗红、异硫氰酸荧光素(FITC)、荧光增白剂,上海Sigma-Aldrich有限公司;石油醚、甲醇、无水乙醇等,均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.1.2 仪器与设备

QE200高速粉碎机,浙江屹立工贸有限公司;YS20液压榨油机,上海徐吉电气有限公司;CZR309螺旋榨油机,广州德海工业设备有限公司;CM1959冰冻切片机,德国徕卡公司;LSM710激光共聚焦显微镜,德国蔡司公司;ST310脂肪测定仪,丹麦FOSS公司。

1.2 试验方法

1.2.1 大豆压榨制油

(1)大豆预处理:将大豆放在托盘中, $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下热风干燥 $2\sim 3\text{ h}$,干燥至水分含量在 10% 以下,冷却后使用大豆脱皮机脱皮,脱皮后的大豆储藏在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱备用。

(2)液压压榨:分别取 20 、 30 、 40 、 50 g 脱皮大豆,对应的填料高度分别为 16 、 24 、 32 、 40 mm ,使用液压榨油机压榨,压榨结束后,将饼取出、破碎,再次压榨,取出压榨饼,待测。

(3)螺旋压榨:取 30 g 脱皮大豆,放入螺旋榨油机中压榨,压榨结束后,将压榨饼取出再次放入螺旋榨油机中压榨,取出压榨饼,待测。

1.2.2 残油率、蛋白质含量测定

残油率按照GB 5009.6—2016中索氏抽提法测定;蛋白质含量按照GB 5009.5—2016中凯氏定氮法测定。

1.2.3 氮溶解指数的测定

取 5 g 大豆饼,加 200 mL 去离子水,于 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下搅拌 2 h ,将大豆饼悬浮液转移到 250 mL 容量瓶中并定容,混匀后取 30 mL 于离心管中,在 $1\ 500\text{ r/min}$ 下离心 10 min ,上清液用滤纸过滤到烧杯中,滤液用凯氏定氮法测定蛋白质含量,并计算氮溶解指数,氮溶解指数=上清液氮含量/对应大豆饼中氮含量 $\times 100\%$ 。

1.2.4 物料压缩比的测定

压缩比是压榨前后物料体积的比值,反映物料在压榨过程中的形变程度。测定大豆压榨前后的高度,通过下式计算压缩比(ε)。

$$\varepsilon = V_0/V = H_0/H \quad (1)$$

式中: V_0 为压榨前大豆体积; V 为压榨后大豆饼体积; H_0 为压榨前大豆高度; H 为压榨后大豆饼高度。

1.2.5 物料孔隙度的测定

采用直接法测定孔隙度。取压榨后的大豆饼,直接根据其大小计算其体积(V_0),然后将饼破碎,通过甲醇排积法测定其体积,即将一定量的甲醇倒入量筒中,记录体积(V_1),然后将样品(破碎的饼)小心倒入量筒内,待所有样品都沉降到量筒底部,读取量筒内甲醇和样品的总体积(V_2),按照下式计算样品的孔隙度(e)。

$$e = [V_0 - (V_2 - V_1)] / V_0 \quad (2)$$

1.2.6 物料渗透率的测定

采用达西定律建立渗流过程中渗透率数学模型,分析压榨过程中渗透率的变化情况。根据达西定律公式计算渗透率。

$$K = Q\mu L / A\Delta P \quad (3)$$

式中: K 为渗透率, m^2 ; Q 为单位时间体积流量, m^3/s ; A 为径向面积, m^2 ; ΔP 为压力梯度, Pa ; μ 为动力黏度, $Pa \cdot s$; L 为填料高度, m 。

1.2.7 微观结构分析

根据 Bai^[12]、田凌宇^[13] 等方法并加以改进。使用激光共聚焦显微镜对样品的显微结构进行观察。使用冰冻切片机将样品切成 20 μm 厚的薄片,使用 0.1% FITC、0.1% 尼罗红和 0.1% 荧光增白剂染色。细胞壁和荧光增白剂结合发出蓝色荧光,油脂和尼罗红结合发出红色荧光,蛋白质和 FITC 结合发出绿色荧光,在 405、480 nm 和 518 nm 条件下观察样品的微观结构。

1.2.8 细胞破碎率的测定

采用 Image - Pro Plus 软件对获得的激光共聚焦图像进行处理,对压榨前后的细胞壁面积积分,然后计算细胞破碎率^[14],细胞破碎率 = (1 - 压榨后细胞壁面积/压榨前细胞壁面积) $\times 100\%$ 。

1.2.9 数据处理

试验均重复 3 次,采用 Origin 对数据分析和绘图,结果用“平均值 \pm 标准偏差”表示。

2 结果与讨论

2.1 螺旋压榨与液压压榨的大豆饼基本指标

取 30 g 脱皮大豆,分别进行螺旋压榨和液压压榨(压榨时间 30 min),测定大豆饼的残油率、蛋白质含量及氮溶解指数,结果见表 1。

表 1 螺旋压榨与液压压榨的大豆饼基本指标比较 %

项目	螺旋压榨	液压压榨
残油率	3.17 \pm 0.13	4.22 \pm 0.12
蛋白质含量	56.41 \pm 0.88	54.94 \pm 0.10
氮溶解指数	53.65 \pm 0.93	91.03 \pm 0.98

由表 1 可知,螺旋压榨与液压压榨大豆饼的残油率分别为 3.17% 和 4.22%,蛋白质含量分别为 56.41% 和 54.94%,氮溶解指数分别为 53.65% 和 91.03%。可见,与液压压榨相比,螺旋压榨大豆饼蛋白质变性严重,质量差,不适于提取大豆蛋白。

2.2 液压压榨条件对残油率的影响(见图 1)

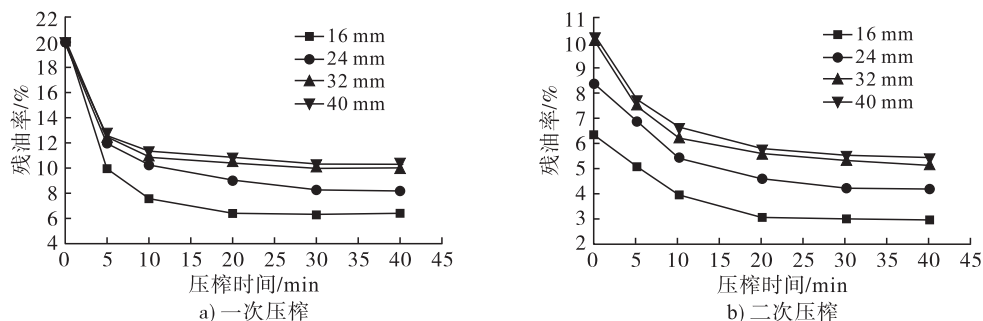


图 1 不同填料高度下残油率的变化

由图 1 可知,随着压榨时间的延长,残油率先急剧降低随后趋于平缓,相同压榨时间下残油率随着填料高度的增加而增加。一次压榨时,当填料高度为 16 mm 时,压榨 5 min 大豆饼残油率即可达到 9.91%,压榨 20 min 时可以达到 6.36%;而当填料高度增加到 24 mm 时,压榨 30 min 残油率不再发生变化,为 8.26%;填料高度继续增加,达到压榨终点时残油率仍然会更大幅度增加,当填料高度为 32 mm 和 40 mm 时,达到压榨终点时的

残油率分别为 10.02% 和 10.26%。一次压榨后,大豆饼还存在较高的残油,需要二次压榨降低残油率^[15]。二次压榨时,填料高度为 16 mm 时,最终残油率可以达到 3.01%;但是填料高度增加,残油率仍继续增加,填料高度为 40 mm 时,达到压榨终点时残油率仍有 5.55%。在较高的填料高度下,即使延长压榨时间和增加压榨次数也不能大幅降低饼的残油率,所以选择合适的填料高度尤为重要。

2.3 液压压榨条件对压缩比的影响(见图2)

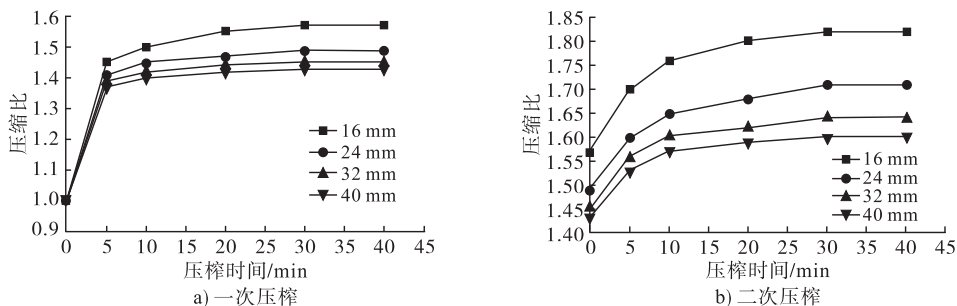


图2 不同填料高度下压缩比的变化

压缩比反映物料在压榨过程中被压缩的程度。由图2可知,压缩比随着压榨时间的延长而增加,到达压榨终点后不再增加。压缩比越大说明物料受挤压程度越大,排出的油脂越多,残油率越低。此外,压缩比还随着填料高度的增加而减小,物料在外界压力作用时存在抵抗作用,压榨时填料高度越高,抵抗作用越大,故在相同压力的条件下,高填料高度的

压缩比要小于低填料高度的压缩比。一次压榨达到终点后,压缩比不再增加,压榨压力和物料变形阻力达到平衡,物料不能进一步被破碎,油脂不能进一步排出到细胞外。继续二次压榨,原先的大豆饼结构被破坏,物料重填后疏松,大豆饼再一次被压缩,压缩比再次增加。

2.4 液压压榨条件对孔隙度的影响(见图3)

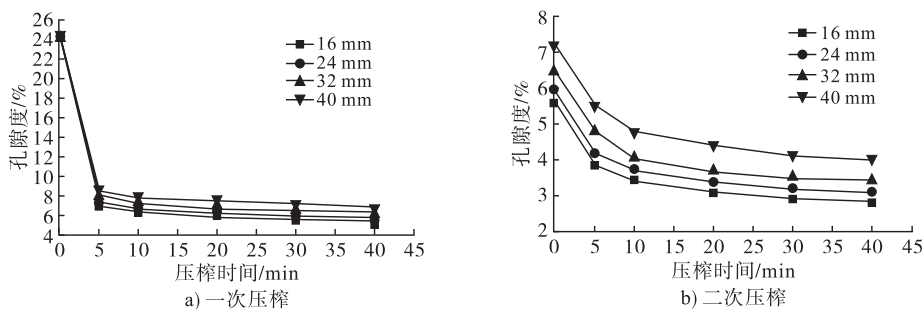


图3 不同填料高度下孔隙度的变化

油料在压榨过程中,随压榨时间的延长,油脂不断渗出,当压榨时间到一定值后,油料颗粒将互相黏结最终形成油料饼。与此同时渗出的油脂沿油料饼中的孔隙向外渗流。压榨效率的高低主要受油脂在油料饼中渗流的影响,渗流速度越快,压榨效率越高,而影响渗流的最主要因素是油料饼的孔隙结构,而孔隙的宏观结构特性可用孔隙度描述与表征^[8]。由图3可知,还未开始压榨时,初始样品的孔隙度为24.24%,压榨5 min样品孔隙度大幅度降低,填料高度16、24、32、40 mm样品对应的孔隙度分别降至7.02%、7.51%、8.11%、8.57%,继续压榨5 min,孔隙度降低很小。因

此,孔隙度的降低主要发生在压榨的前5 min内。这是因为初始压榨时,物料之间较为松散,油脂通过物料之间的缝隙被挤压出来,随着压榨时间的延长,油脂不断排出,物料之间更加紧密,孔隙度也随之减小,达到压榨终点,不再有油脂渗出后,孔隙度降到最低。此外,相同压榨时间下,孔隙度随着填料高度的增加而增加,与大豆饼残油率的变化趋势一致。孔隙的存在一方面有利于油脂的渗流,另一方面将油脂留在孔隙中,导致大豆饼中油脂无法排干净。继续二次压榨,孔隙度再次下降,将原先残存在孔隙中的部分油脂排出。

2.5 液压压榨条件对渗透率的影响(见图4)

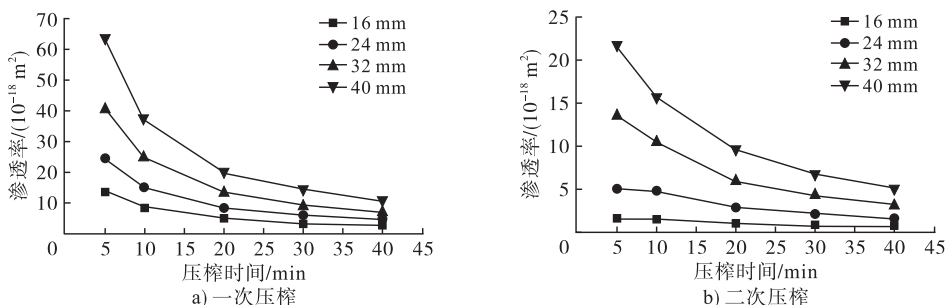
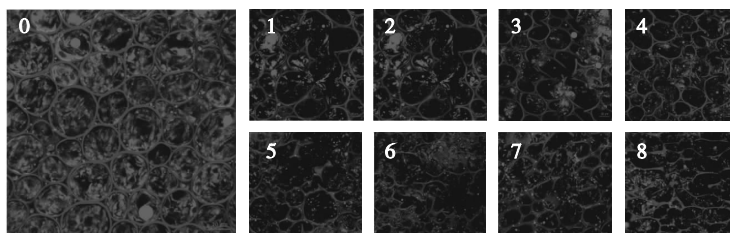


图4 不同填料高度下渗透率的变化

由图4可知,渗透率随压榨时间的延长而降低,这是因为压榨初期,物料具有很高的孔隙度,内部有大量的毛细管路,油脂可以通过这些毛细管路流出,故渗透率大,随着压榨的继续,孔隙度大幅度减小,毛细管路被阻塞,渗透率减小,油脂流出变得困难。另外,渗透率随填料高度的增加而增加,是因为较高

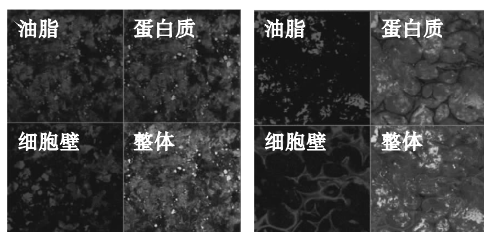
填料高度下的孔隙度要大于低填料高度下的。当一次压榨达到终点后,物料保持相对静止的状态,物料向外排油的孔隙被堵塞,油脂难以排出,继续二次压榨,破除原先的大豆饼结构,排油路径再次恢复,所以渗透率又回升。

2.6 微观结构的比较(见图5、图6)



注:0为未压榨大豆;1~4分别为填料高度16、24、32、40 mm下的一次压榨大豆饼(压榨时间30 min);5~8分别为填料高度16、24、32、40 mm下的二次压榨大豆饼(压榨时间30 min)

图5 大豆液压压榨前后的显微结构



a) 螺旋压榨

b) 液压压榨

注:压榨物料30 g脱皮大豆;液压压榨时间30 min

图6 螺旋压榨和液压压榨大豆饼的显微结构比较

由图5可知:压榨前的大豆组织切片,大豆细胞排列紧密,细胞壁完整,油脂以油体的形式分布在细胞内;压榨后的大豆饼组织切片,原先整齐的细胞结构遭到了严重破坏,细胞壁破损,油脂渗出细胞,同时还有部分油脂仍残留在细胞内;细胞结构的破损随着填料高度的增加而减小,由于物料的堆积作用,压力的传递受到限制,导致细胞破碎程度减小;二次

压榨的细胞结构破碎程度要大于一次压榨的,细胞结构的进一步破损,使更多内部的油脂排出,但是细胞结构的破损不够彻底,所以还有部分油脂仍残留在细胞内。

由图6可知,螺旋压榨和液压压榨的大豆饼显微结构有明显差异,在细胞破碎程度方面,螺旋压榨的细胞结构破碎程度要大于液压压榨的,在油脂和蛋白质的分布方面,螺旋压榨的残余油脂分布更广,油脂的显微图像与蛋白质的显微图像基本重合,与蛋白质结合紧密,而液压压榨的残余油脂主要聚集在部分未破碎的细胞壁周边,蛋白质的含量高,广泛分布在细胞内部,其中部分与残余油脂结合,更多的仍以单独的蛋白质形式存在,蛋白质和油脂的独立存在有利于后期蛋白质的提取,便于大豆综合加工利用。

2.7 细胞破碎率和残油率的比较(见表2)

表2 不同填料高度下细胞破碎率和残油率

填料高度/mm	一次压榨		二次压榨	
	细胞破碎率/%	残油率/%	细胞破碎率/%	残油率/%
16	46.82 ± 2.22	6.36 ± 0.36	65.70 ± 2.92	3.01 ± 0.15
24	35.07 ± 0.83	8.26 ± 0.25	60.17 ± 2.22	4.24 ± 0.19
32	31.14 ± 1.14	10.32 ± 0.43	53.95 ± 1.95	5.36 ± 0.26
40	24.33 ± 0.55	10.08 ± 0.51	48.25 ± 2.35	5.55 ± 0.20

注:压榨时间30 min

由表2可知,一次压榨填料高度16 mm时,细胞破碎率为46.82%,残油率为6.36%,随着填料高度的增加,细胞破碎率减小,残油率增加,当填料高度为40 mm时,细胞破碎率为24.33%,残油率为10.08%。二次压榨填料高度16 mm时,细胞破碎

率达到65.70%,残油率也仅为3.01%,填料高度40 mm时,细胞破碎率为48.25%,残油率为5.55%。一次压榨对于细胞结构的破碎有限,当达到压榨终点后,物料难以再被挤压,而二次压榨时物料重新排列,细胞再次被破碎,残油率降低。

3 结论

通过分析大豆冷榨过程中压榨特性的变化情况,发现大豆饼的残油率随着压榨时间的延长而降低,随着填料高度的增加而增加,其主要原因是在压榨过程中,大豆本身存在塑性,对挤压变形存在抗性,故当填料高度增加,压缩比降低,孔隙度增加,渗透率增加。通过观察显微结构发现,随着填料高度的增加,细胞破碎率降低,更多的油脂残留在细胞内。因此,在实际生产中要合理控制压榨时间、填料高度和压榨次数来提高压榨效率。

参考文献:

- [1] 蔺建学,徐速,江连洲. 油料作物制油工艺现状与冷榨制油的研究进展[J]. 大豆科技, 2013(1):29-35.
- [2] 江连洲,李杨,王妍,等. 水酶法提取大豆油的研究进展[J]. 食品科学, 2013, 34(9): 302-308.
- [3] NIE R, ZHANG Y R, ZHANG H, et al. Effect of different processing methods on physicochemical properties, chemical compositions and in vitro antioxidant activities of *Paeonia lactiflora* pall seed oils [J/OL]. Food Chem, 2020, 332:127408[2021-12-15]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127408>.
- [4] 李默馨,王玉,李振岚,等. 浓香大豆油制备工艺研究[J]. 大豆科技, 2010(2): 29-32.
- [5] KAI Y, TRXA B, YHF C, et al. Effects of ultrasonic pre-treatment on physicochemical properties of proteins extracted from cold-pressed sesame cake [J/OL]. Food Res Int, 2020,139:109907[2021-12-15]. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109907>.
- [6] BHUIYA M, RASUL M, KHAN M, et al. Comparison of oil extraction between screw press and solvent (*n*-hexane) extraction technique from beauty leaf (*Calophyllum inophyllum* L.) feedstock[J/OL]. Ind Crop Prod, 2020, 144:112024[2021-12-15]. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.112024>.
- [7] 郑晓. 油料压榨理论与试验研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2005.
- [8] 倪倩. 采用水相酶法对冷榨大豆饼提取大豆油和大豆蛋白的研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2008.
- [9] 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, 29(12):14-17.
- [10] 孙志先,郑晓,林国祥,等. 冷态压榨植物油料饼渗透率的分形模型研究[J]. 农业机械, 2013(9): 49-52.
- [11] 程园园. 几种油料的压榨特性研究及压榨饼及压榨油的品质评价[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2015.
- [12] BAI Y P, ZHOU H M, ZHU K R, et al. Effect of thermal treatment on the physicochemical, ultrastructural and nutritional characteristics of whole grain highland barley [J/OL]. Food Chem, 2020, 346(16):128657[2021-12-15]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128657>.
- [13] 田凌宇. 低温碱提水代法逆流提取油菜籽油和蛋白质[D]. 江苏 无锡: 江南大学, 2019.
- [14] 邹锋扬,金心怡,叶乃兴,等. 细胞破损率计算新方法[J]. 福建茶叶, 2011(6): 24-25.
- [15] 赵哲,张绍英,丁玉振,等. 液压榨油机低温浸榨杏仁油的工艺研究[J]. 食品科学, 2009,30(8):142-146.
- [16] GHAZANI S M, MARANGONI A G. Minor components in canola oil and effects of refining on these constituents: a review[J]. J Am Oil Chem Soc, 2013, 90(7): 923-932.
- [17] PAISAN S, CHETPATTANANONDH P, CHONGKHONG S. Assessment of water degumming and acid degumming of mixed algal oil[J]. J Environ Eng, 2017, 5(5): 5115-5123.
- [18] 张红,王凤霞,刘美霞,等. 影响油菜籽毛油脱胶因素的研究[J]. 云南化工, 2019, 46(10): 39-41.
- [19] YOON J S, NISHIFUJI K, IWASAKI T. Supplementation with eicosapentaenoic acid and linoleic acid increases the production of epidermal ceramides in in vitro canine keratinocytes[J/OL]. Vet Dermatol, 2020, 31(5):419-e112[2021-10-01]. <https://doi.org/10.1111/vde.12881>.
- [20] 姚英政,董玲,梁强,等. 脱胶与脱酸对菜籽油挥发性组分的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(6):247-252.

(上接第7页)