

油莎豆低温压榨单螺杆榨油机的设计与试验研究

姚占斌¹, 相海¹, 张晔¹, 曾祥菊², 卢黎明¹

(1. 中国农业机械化科学研究院, 北京 100083; 2. 云南滇雪粮油有限公司, 云南 玉溪 653100)

摘要:研究了油莎豆的物性参数并设计适用于油莎豆低温压榨制油的小型单螺杆榨油机, 选取螺旋理论总压缩比、榨条间隙和出饼间隙 3 个因素, 以饼残油率和油样含杂率为指标对榨油机结构参数进行正交试验优化。结果表明: 自然晾晒后的油莎豆含水率约为 6.71%, 容重为 0.7 kg/L, 理论总压缩比对榨油指标的影响最为显著, 优化后的榨油机理论总压缩比为 10, 5 档榨条间隙依次为 1.2、1.0、0.8、0.8、0.6 mm, 出饼间隙为 1.5 mm, 在此参数条件下油莎豆低温压榨饼残油率为 5.1%, 油样含杂率为 7.11%。该研究可为油莎豆低温螺旋压榨制油提供参考。

关键词:油莎豆; 低温压榨; 螺旋榨油机; 理论压缩比; 残油率

中图分类号: TS222+.1; TS223 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2020)05-0132-06

Design and experimental study of single screw press for low temperature pressing of *Cyperus esculentus*

YAO Zhanbin¹, XIANG Hai¹, ZHANG Ye¹, ZENG Xiangju², LU Liming¹

(1. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China;

2. Yunnan Dianxue Grain and Oil Co., Ltd., Yuxi 653100, Yunnan, China)

Abstract: The physical properties of *Cyperus esculentus* were studied, and a small single screw press was designed for low temperature pressing of *Cyperus esculentus*. The theoretical total compression ratio, gap between cage bar, gap between cakes were used as influence factors, the residual oil rate of cake and the impurity content of crude oil were used as indicators, and the orthogonal experiment was used to optimize the structural parameters of the press. The results showed that the moisture content and bulk density of the natural dried *Cyperus esculentus* were 6.71% and 0.7 kg/L. The theoretical total compression ratio had the most significant effect on the indicators, and the optimal structural parameters were obtained as follows: theoretical total compression ratio 10, and the gap between cage bar was 1.2, 1.0, 0.8, 0.8, 0.6 mm, and the gap between cakes 1.5 mm. Under these conditions, the residual oil rate of cake was 5.1%, and the impurity content of crude oil was 7.11%. The study could provide a reference for the production of *Cyperus esculentus* oil by screw pressing.

Key words: *Cyperus esculentus*; low temperature pressing; screw press; theoretical compression ratio; residual oil rate

油莎豆是一种榨取高端食用植物油的重要原料^[1]。油莎豆油中维生素 E 含量约 56.4 mg/100 g, 且富含不饱和脂肪酸, 其中油酸、亚油酸含量分别为 64.12%、15.14%。目前国内外学者对油莎豆油提

取工艺的研究主要集中在浸出法^[2]和一些新型的制油方法, 如水酶法^[3-4]、超声波辅助提取法^[5]、超临界二氧化碳萃取法^[6]等。而对于油莎豆使用螺旋榨油机压榨制油的研究鲜有报道。

关于螺旋榨油技术的应用已有大量研究成果, 其中大部分是关于常见油料的研究, 且研究成果主要集中在压榨温度^[7-8]和原料含水率^[9]等因素对出油率、油脂品质的影响。对于榨油机螺旋的结构参数及榨笼参数调节对压榨效果的研究还很少。

收稿日期: 2019-12-09; 修回日期: 2019-12-13

基金项目: “十三五”国家重点研发计划(2016YFD0400305)

作者简介: 姚占斌(1995), 男, 在读硕士, 研究方向为油脂工艺及设备开发(E-mail) 16619950104@163.com。

通信作者: 相海, 研究员(E-mail) xh9377@263.net。

低温压榨法^[10]是一种油料在压榨前不经过蒸炒等高温处理而直接压榨的制油技术,目前低温压榨法饼残油较高。采用低温压榨法,能有效减少高温对油脂和饼营养物质的影响,提高油脂和饼的营养价值,利于饼的进一步加工利用。由于油莎豆中淀粉含量较高,饼有较高利用价值,为提高油莎豆饼的利用价值,适宜选择低温压榨法,即直接压榨不经过蒸炒的油莎豆,并控制压榨温度不超过65℃^[11]。油莎豆低温榨油后的饼中淀粉含量高于原料油莎豆,且油脂含量降低,糖类含量提高,适用于提取淀粉、糖和酿制优质白酒等^[12]。

基于以上分析,本文进行了油莎豆低温压榨单螺杆榨油机的设计与试验研究,以饼残油率和油样含杂率为指标,对螺旋榨油机的理论总压缩比、榨条间隙和出饼间隙进行单因素试验和正交试验,为油莎豆低温螺旋压榨制油提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料

以新疆种植的自然晒干的丰产八号油莎豆为压榨原料,通过取样测定,得到油莎豆基本成分,见表1。

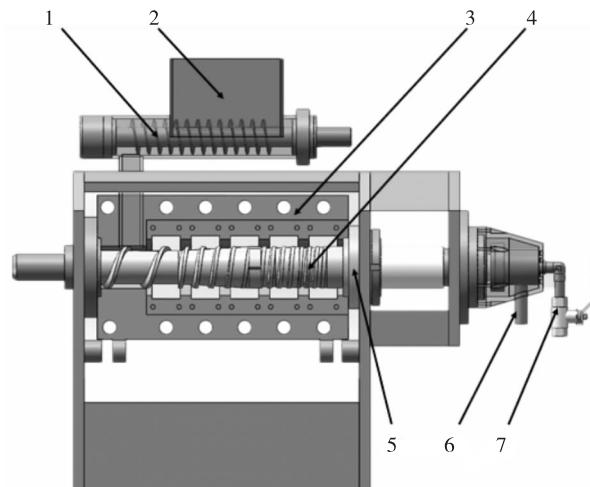
表1 油莎豆基本成分

含水率/ %	淀粉含量/ (g/100 g)	脂肪含量 (干基)/%	蛋白质含量 (干基)/%
6.71	23.9	22.5	5.46

油莎豆平均容重为0.70 kg/L。油莎豆呈不规则的球形、椭球形、扁平形,大小不一,且表面粗糙,有沟壑。随机选取100个油莎豆作为样本,用游标卡尺分别测定其最大和最小两个方向的尺寸,得到油莎豆粒径主要分布在6~17 mm,最大尺寸在10~15 mm范围内的分布较多(97%),最小尺寸在6~10 mm范围内的分布较多(99%),粒径分布的中位数为10 mm。

1.1.2 小型单螺杆榨油机

本文研究的油莎豆小型单螺杆榨油机主要由喂料、压榨、出饼、冷却和机架等部分组成,其总体结构如图1所示。喂料部分可调节油莎豆喂料速度,将料斗中的油莎豆匀速送入榨膛;压榨部分通过螺旋转动推动油莎豆向出饼端移动,同时沿轴向螺旋每个导程的空余体积依次减小,实现对油莎豆的摩擦和挤压,压榨得到的油从榨笼的榨条间隙中流出,残渣到达出饼部分形成饼;冷却部分通过向榨螺轴芯内通入冷却水,配合温度传感器可控制榨膛内温度不高于65℃。



注:1.喂料螺旋;2.料斗;3.榨笼;4.榨螺;5.出饼盘;6.出水口;7.进水口。

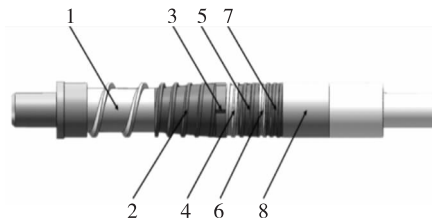
图1 榨油机主要部件示意图

1.2 试验方法

1.2.1 榨油机主要部件设计

1.2.1.1 榨螺部件设计

榨螺在推动物料前进的同时对其产生挤压、摩擦作用。本机榨螺采用套装式结构,方便更换。榨螺由螺旋、齿圈、光套和主轴等组件构成,见图2。本机榨螺有效长度设计为567 mm,即榨笼包裹的螺杆部分,入料端的主轴通过联轴器与减速机连接,出饼端主轴与冷却部件连接。



注:1.1#螺旋;2.2#螺旋;3.齿圈;4.3#螺旋;5.4#螺旋;6.5#螺旋;7.6#螺旋;8.光套。

图2 榨螺部件示意图

为适用于低温压榨和油莎豆整粒压榨,选择连续式螺旋,即相邻螺旋的螺牙相互连接,这样设计使榨膛内压力更大,工作时回料少,压榨时间较短。

榨螺包括6节螺旋,其中1#、3#、5#螺旋为圆柱底螺旋,主要作用是向前推进物料、2#、4#、6#螺旋为锥底螺旋,在推进物料向前的同时可以形成瞬时高压,达到挤压出油目的。螺旋结构参数见表2。

物料每次经过锥底螺旋的大径后,压力得到适度释放,物料内部形成新的油路,利于出油和多级压榨。1#螺旋的结构参数决定了榨油机的处理量。由粒径分布统计结果可知,99%油莎豆粒径最小尺寸

在 6 ~ 10 mm 范围内,粒径分布的中位数为 10 mm,据此将 1#螺旋底径与榨膛内壁距离设计为 10.5 mm,这样可以确保油莎豆能够进入榨膛并且避免其在榨膛内滚动或滑动,有利于物料被高效挤压、破裂和摩擦。

表 2 螺旋结构参数

螺旋 编号	螺旋外径/ mm	螺旋底径/ mm	牙顶宽度/ mm	推料面倾角 $\alpha/(\circ)$	背面倾角 $\beta/(\circ)$
1#	95	76	8	0	40
2#	95	94.5/76	8	0	40
3#	95	88	8	0	30
4#	95	94/88	8	0	30
5#	95	88	8	0	30
6#	95	93.5/88	8	0	30

2#螺旋后放置 1 个齿圈^[13],齿圈旋转会给予前进中的物料径向压力和周向摩擦力,可增加物料受到的剪切力,加速物料的破碎,配合螺旋使压缩比分配更高效、合理,有助于简化榨螺结构,缩短榨螺长径比。

6#螺旋后连接光套,即表面光滑的套筒,通过改变套筒外径可以调节出饼间隙的大小。

1.2.1.2 冷却部件的设计

榨螺轴芯内可以通入冷却水(见图 1),在出饼端的主轴末端护罩上设计进水口和出水口。进水阀门打开后,冷却水通过空心主轴内的一根细长水管流到进料端,之后在空心主轴和进水管的间隙内流经整根主轴,回到出饼端,从而达到冷却榨膛的目的。配合温度传感器,可将榨膛内温度控制在 65 ℃ 以下,达到低温压榨的要求。

1.2.1.3 转速和处理量的确定

本文的小型单螺杆榨油机,为方便试验中改装配件和节约试验物料,设计产量约为 1 t/d,结合国产中小型榨油机^[14]动力参数,按比例缩小电机功率及主轴转速,确定使用功率 3 kW 的六级电机,为提供足够的扭力,选择主轴转速为 11 r/min。

1.2.2 预试验

为观察和检测榨油机压榨装置的可靠性,选择理论总压缩比为 9.02 的榨螺组合,5 档榨条间隙分别为 1.2、1.0、0.8、0.8、0.8 mm,出饼间隙为 2.0 mm 的组合进行油莎豆低温压榨预试验。试验过程中榨膛温度有效控制在 65 ℃ 以下,榨油机出油、出饼正常,电流稳定保持在额定电流之下。通过预试验可知该榨油机油莎豆最大处理量达 40 kg/h,喂料后 3 min 左右即有油液从榨条间隙中滴落,喂料后 6 min 榨油机出饼端有榨饼排出,15 min 后出饼连

续,即该机进入了完整的工作状态。

1.2.3 单因素试验

分别以螺旋理论总压缩比、榨条间隙和出饼间隙为因素,每个因素取 5 个水平进行试验,通过饼残油率和油样含杂率衡量试验榨油机榨油效果的优劣。每次试验将前 15 min 内得到的饼舍弃,收集余下的饼,使用 GB 5009.6—2016 中的方法检测饼残油率,收集榨机榨取的油脂,使用 GB/T 15688—2008 中的方法检测油样不溶性杂质含量。每次试验压榨时间为 1 h。

1.2.3.1 理论总压缩比对榨油指标的影响试验

螺旋榨油机的榨膛压力是影响出油效果的重要因素^[15]。榨膛压力主要是靠榨膛空余体积的逐步缩小,迫使榨料压缩而形成的。理论总压缩比(ε) = V_j/V_{CH} ,即进料端首节螺旋一个导程的空余体积(V_j)与末节螺旋一个导程内的空余体积(V_{CH})之比, ε 值通常为 6 ~ 20.8。

固定 1#、2# 螺旋参数,调整末 4 节螺旋的螺距和长度,使理论总压缩比约为 7、8、9、10、11,合理分配压缩比,设计并制造 5 组螺旋,参数及理论压缩比如表 3 所示。满负荷进料,5 档榨条间隙分别选择 1.2、1.0、0.8、0.8、0.8 mm,出饼间隙为 2.0 mm,进行压榨试验。

表 3 螺旋理论压缩比单因素试验分组

试验号	理论压缩比					
	1#螺旋	2#螺旋	3#螺旋	4#螺旋	5#螺旋	6#螺旋
1	1	2.35	3.83	5.29	5.50	7.16
2	1	2.35	4.45	6.09	6.36	8.17
3	1	2.35	4.45	6.09	7.20	9.02
4	1	2.35	5.70	7.62	7.90	9.91
5	1	2.35	5.70	7.62	8.75	10.84

1.2.3.2 榨条间隙对榨油指标的影响试验

该榨油机的榨笼是由左右对开的两个榨笼壳装配组合而成,每个榨笼壳由榨笼支撑板、压板和榨条组成,榨笼沿轴向被支撑板分为 6 段,其中第 1 段对应榨笼内的进料口,设计为封闭结构,其余 5 段需要排布榨条,榨条间安放垫片,垫片的厚度决定了滤油缝隙的大小。随着榨膛内物料颗粒粒径的减小,榨条间隙一般沿轴向推进方向依次减小。

结合类似油料榨油机调试经验设置 5 组排布榨条方式(见表 4),满负荷进料,榨螺理论总压缩比为 9.02,出饼间隙为 2.0 mm,进行压榨试验。由于前两档榨条对应榨膛内的位置压力较小,且物料颗粒较大,通常不会发生漏料,因此 5 组试验的前两档榨条间隙相同。

表4 榨条间隙单因素试验分组

试验号	榨条间隙/mm				
	第1档	第2档	第3档	第4档	第5档
1	1.2	1.0	1.0	0.8	0.8
2	1.2	1.0	1.0	0.8	0.6
3	1.2	1.0	0.8	0.8	0.8
4	1.2	1.0	0.8	0.8	0.6
5	1.2	1.0	0.8	0.6	0.6

1.2.3.3 出饼间隙对榨油指标的影响试验

榨膛中的物料经过挤压出油后,至榨螺上的光套部分,光套与榨笼末端的出饼盘形成一圈缝隙,至此,压力完全释放,物料形成饼。通过改变出饼端光套外径,可以调节出饼间隙大小。本文选择出饼间隙分别为1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 mm,理论总压缩比为9.02,5档榨条间隙选择1.2、1.0、0.8、0.8、0.8 mm进行单因素试验,测试出饼间隙对榨油指标的影响。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 理论总压缩比对榨油指标的影响(见图3)

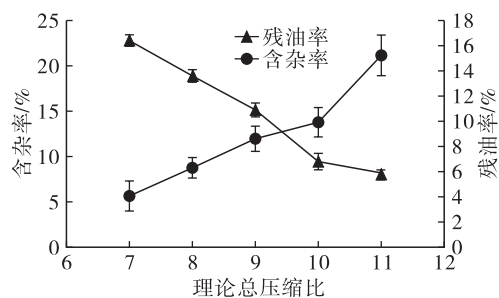


图3 理论总压缩比的影响

由图3可知,螺旋理论总压缩比为7时,饼残油率达16.4%,油样含杂率为5.65%,观察发现饼质地松软,虽然有少量油脂流出,但榨膛内压力明显不足,不适用于压榨油莎豆。随着螺旋理论总压缩比的增大,榨膛内压力增加,饼残油降低,同时有更多的物料从榨条间隙中被挤出,导致获得的油脂中含杂率上升。试验过程中发现,满负荷进料条件下,理论总压缩比为11的螺旋在工作时会引起主电机工作电流超过额定电流。可能是由于螺旋压缩比过大,导致物料所受的压力和摩擦阻力过大,榨螺需要的扭力增加,此时需要人为降低进料速度。故选择理论总压缩比约为8、9、10的榨螺组合进行正交试验。

2.1.2 榨条间隙对榨油指标的影响(见图4)

由图4可知,第3档榨条为1.0 mm的2个试验组,油样含杂率均高于20%,饼残油率均高于14%。推测原因是榨条间隙过大,造成间隙漏料,即冒渣严

重,影响毛油品质,同时影响榨膛内压力的形成,造成饼残油高。第3档榨条间隙为0.8 mm的3个试验组,随着最后两档榨条间隙依次减小,油样含杂率逐渐降低,饼残油率也维持在10%左右。推测第5组试验中残油率升高是由于榨条间隙过小,出油不畅,或排油通道过小,出油槽发生堵塞,导致榨膛内滴积油液,油料与油再次混合所致。确定第3档榨条间隙为0.8 mm,调整最后两档榨条的间隙进行正交试验。

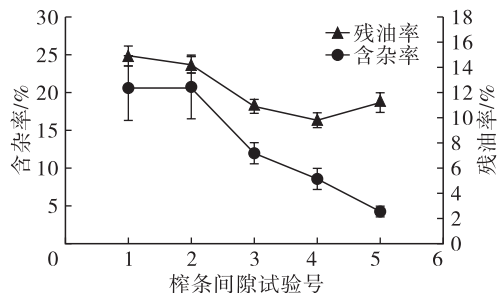


图4 榨条间隙的影响

2.1.3 出饼间隙对榨油指标的影响(见图5)

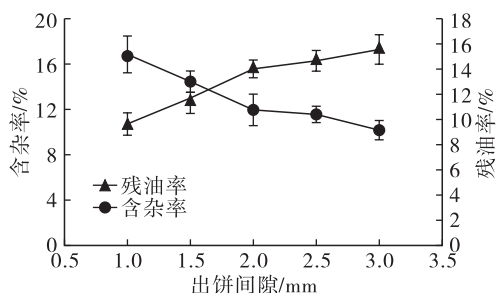


图5 出饼间隙的影响

由图5可知,在螺旋总压缩比不变的前提下,随着出饼间隙增大,残油率增加,含杂率下降。推测是由于饼成型压力减小,榨膛内形成的最大压力也随之减小,因此物料压榨不充分,同时导致不溶性杂质难以与油脂一起被挤出。出饼间隙过小会造成入料口流油,即回油,还可能造成榨膛压力过大,螺旋轴停止转动,即闷车;出饼间隙过大,榨膛内无法形成足够大的压力环境。因此,选择1.5、2.0、2.5 mm的出饼间隙进行正交试验。

2.2 正交试验

2.2.1 正交试验设计及结果

根据榨油机调试经验可知,螺旋理论总压缩比、榨条间隙和出饼间隙对榨油效果的影响较大,且可能存在交互作用。在单因素试验基础上,以螺旋理论总压缩比、榨条间隙和出饼间隙为考察因素,以饼残油率和油样含杂率为指标,进行三因素三水平正交试验,运用SPSS20.0软件对试验数据进行分析。正交试验因素水平见表5,正交试验设计及结果见

表6,正交试验方差分析见表7。

采用综合加权评分法可综合考虑最佳参数组合对饼残油率和油样含杂率的影响,综合加权评分值越小越好。饼残油率的高低直接关系到该设备及粮油生产企业的经济效益,在实际生产中油样含杂率可通过过滤吸附等精炼工艺降低,因此在这里饼残油率权重取0.7,油样含杂率权重取0.3。综合加权评分按下式计算。

$$Y = \frac{Y_{1j} - Y_{1\min}}{Y_{1\max} - Y_{1\min}} \times 70 + \frac{Y_{2j} - Y_{2\min}}{Y_{2\max} - Y_{2\min}} \times 30$$

式中: Y 为综合加权评分值; Y_{1j} 为第 j 号试验的残油率; $Y_{1\min}$ 为残油率的最小值; $Y_{1\max}$ 为残油率最大值; Y_{2j} 为第 j 号试验的油样含杂率; $Y_{2\min}$ 为油样含杂率最小值; $Y_{2\max}$ 为油样含杂率最大值。

表5 正交试验因素水平

水平	A 理论总压缩比	B 最后两档榨条间隙/mm	C 出饼间隙/mm
1	8	0.8、0.8	1.5
2	9	0.8、0.6	2.0
3	10	0.6、0.6	2.5

表6 正交试验设计及结果

试验号	A	B	C	空列	残油率/%	含杂率/%	综合加权评分
1	1	1	1	1	13.8	9.89	78.19
2	1	2	2	2	13.6	2.70	59.12
3	1	3	3	3	15.6	1.60	70.00
4	2	1	3	2	11.4	12.56	68.45
5	2	2	1	3	8.3	7.26	34.33
6	2	3	2	1	11.2	4.25	46.62
7	3	1	2	3	6.8	13.78	40.19
8	3	2	3	1	5.3	6.98	13.25
9	3	3	1	2	6.2	6.59	18.41

综合加权评分

k_1	69.10	62.28	43.64	46.02
k_2	49.80	35.57	48.65	48.66
k_3	23.95	45.01	50.57	48.17
R	45.15	26.71	6.93	2.64

表7 正交试验方差分析

指标	方差来源	平方和	自由度	均方	F	P
残油率	A	101.696	2	50.848	750.213	0.001 **
	B	6.409	2	3.204	47.279	0.021 *
	C	3.042	2	1.521	22.443	0.043 *
	误差	0.136	2	0.068		
含杂率	A	31.284	2	15.642	81.202	0.012 *
	B	106.480	2	53.240	276.379	0.004 **
	C	1.776	2	0.888	4.611	0.178
	误差	0.385	2	0.193		
综合加权评分	A	3 079.527	2	1 539.629	260.194	0.004 **
	B	1 100.827	2	550.413	93.019	0.011 *
	C	76.721	2	38.361	6.483	0.134
	误差	11.834	2	5.917		

注:*代表显著($P < 0.05$);**代表极显著($P < 0.01$)。

由表6、表7可知,3个因素的极差值(R)均大于空列的,所以各因素的效应 R 可靠,对油莎豆低温压榨效果的影响程度顺序为 $A > B > C$,即螺旋理论总压缩比对榨油效果(残油率和含杂率)的影响最大,榨条间隙次之,出饼间隙的影响最小。榨油效

果最佳的参数组合方案是 $A_3B_2C_1$,即理论总压缩比为10,榨条间隙依次为1.2、1.0、0.8、0.8、0.6 mm,出饼间隙为1.5 mm。

2.2.2 验证试验

以正交试验确定的最佳参数进行验证试验,每

组试验重复3次,结果如表8所示。

试验号	饼残油率	油样含杂率	%
1	5.0	7.12	
2	5.2	7.23	
3	5.1	6.99	
平均值	5.1±0.1	7.11±0.12	

由表8可知,在最佳参数组合下,油莎豆试验榨油机的饼残油率为5.1%,油样含杂率为7.11%,综合加权评分为13.57%。

3 结论

油莎豆物性参数的研究表明,该批次自然晒干的油莎豆含水率为6.71%,容重为0.70 kg/L,粒径分布范围为6~17 mm,且99%的油莎豆最小尺寸在6~10 mm范围内。结合油莎豆特性,设计制造出功率3 kW、主轴转速11 r/min的小型单螺杆榨油机。低温压榨预试验结果表明该榨油机最大处理量约40 kg/h,喂料3 min后开始出油,15 min后出饼连续。针对油莎豆低温压榨,以饼残油率和油样含杂率为指标,对榨油机结构参数进行正交试验优化,结果表明:影响榨油机榨油效果的主次因素依次为螺旋理论总压缩比、榨条间隙、出饼间隙。对试验数据进行分析,得出适用于油莎豆低温压榨的榨油机最佳结构参数组合:理论总压缩比为10,榨条间隙依次为1.2、1.0、0.8、0.8、0.6 mm,出饼间隙为1.5 mm。在最佳条件下,榨油机工作电流稳定,出油、出饼情况正常,饼残油率为5.1%,油样含杂率为7.11%。该参数可以满足油莎豆低温压榨实际生产需求,对于放大压榨产量有指导意义。

参考文献:

[1] 王瑞元, 王晓松, 相海. 一种多用途的新兴油料作

(上接第131页)

- [3] 张羽霄, 杜宣利, 杨帆, 等. 油脂无水脱皂工艺的研究进展[J]. 中国油脂, 2014, 39(5):12-14.
- [4] 忠良. 中粮集团“无水脱皂”节能减排工作获得重大突破[J]. 粮食与食品工业, 2009(5):11.
- [5] 王高林, 杨帆, 杜宣利, 等. 大豆油无水脱皂技术的研究[J]. 中国油脂, 2014, 39(2):17-20.
- [6] 李星, 李超, 徐远明, 等. 菜籽油无水脱皂工艺研究[J]. 农业机械, 2012(36):43-45.
- [7] 宋云花, 孙博, 刘鑫, 等. 响应面法优化无水脱皂工艺的研究[J]. 食品工业科技, 2012(23):272-275.
- [8] 孟橘, 倪芳妍, 杨帆, 等. 油脂加工过程中重金属危害的研究[J]. 中国油脂, 2008, 33(1):16-19.
- [9] 袁建, 何海艳, 何荣, 等. 大豆油食用期氧化稳定性的

物——油莎豆[J]. 中国油脂, 2019, 44(1):8-11.

- [2] 侯朝雷, 相海, 曾祥菊, 等. 油莎豆油的脂肪酸组成及其提取工艺研究进展[J]. 粮油食品科技, 2018, 26(3):38-41.
- [3] 陈星, 张连云, 邹险峰. 水酶法提取油莎豆油的研究[J]. 中国油脂, 2009, 34(4):7-8.
- [4] 严寒, 秦焯, 田志宏. 水酶法提取油莎豆油的工艺研究[J]. 中国油脂, 2009, 34(3):9-11.
- [5] 胡炜东, 蔡永敏, 杨俊峰. 超声波辅助提取油莎豆油工艺的研究[J]. 食品与机械, 2013, 29(2):109-112, 129.
- [6] LASEKAN O, ABDULKARIM S M. Extraction of oil from tiger nut (*Cyperus esculentus* L.) with supercritical carbon dioxide (SC-CO₂) [J]. LWT - Food Sci Technol, 2012, 47(2):287-292.
- [7] 杨金娥, 黄庆德, 郑畅, 等. 烤籽温度对压榨亚麻籽油品质的影响[J]. 中国油脂, 2011, 36(6):28-31.
- [8] 杨金娥, 黄庆德, 黄凤洪, 等. 冷榨亚麻籽油吸附精炼工艺研究[J]. 中国油脂, 2012, 37(9):19-22.
- [9] 程园园, 刘大川, 刘晔, 等. 紫苏籽、花生仁压榨特性的研究[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(5):100-105.
- [10] 忻耀年. 油料低温压榨的概念和应用范围[J]. 中国油脂, 2005, 30(2):20-22.
- [11] 刘大川, 刘金波, 刘晓琴, 等. LYZX34型适温/低温螺旋榨油机的研制[J]. 中国油脂, 2013, 38(4):75-78.
- [12] 刘玉兰, 田瑜, 王璐阳, 等. 不同制油工艺对油莎豆油品质影响的研究[J]. 中国油脂, 2016, 41(7):1-5.
- [13] 常培生. 外齿形榨圈及有该榨圈的螺旋轴及有该螺旋轴的榨油机:CN201310167506.7[P]. 2013-08-21.
- [14] 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册(下册)[M]. 北京:中国农业科学技术出版社, 2007:1614-1621.
- [15] 雕鸿荪. 油料预处理及压榨工艺学[M]. 南昌:江西科学技术出版社, 1985:143-168.

研究[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(8):36-38.

- [10] ERIKSSON C E. Lipid oxidation catalysts and inhibitors in raw materials and processed foods [J]. Food Chem, 1982, 9(1/2):3-19.
- [11] 栾霞, 王瑛瑶, 张蕊, 等. 油脂储藏过程中茴香胺值、过氧化值的变化研究[J]. 粮油加工, 2009(12):77-79.
- [12] 王勇, 黄昭先, 李晓龙, 等. 丙醛+正己醛含量评价DHA/ARA粉末油脂氧化情况的可行性研究[J]. 中国油脂, 2018, 43(8):29-31.
- [13] CARNEIRO H C F, TONON R V, GROSSO C R F, et al. Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials [J]. J Food Eng, 2013, 115(4):443-451.