

# 芝麻香油水代法连续化生产新工艺研究

宋国辉, 孙强, 游静, 张勋, 李可心, 芦鑫, 黄纪念

(河南省农业科学院 农副产品加工研究中心, 郑州 450006)

**摘要:**为提高水代法芝麻香油生产效率,以卧螺离心代替传统水代法提油中的晃油、墩油工序,探索芝麻香油水代法连续化生产新工艺,在考察离心可行性及确定模拟连续离心条件基础上,对磨酱和兑浆搅油工序工艺参数进行了优化,并采用三相卧螺离心机对优化工艺进行实际生产验证。结果表明:兑浆搅油过程中整个体系的黏度都低于 25 000 Pa·s,符合卧螺离心机对物料流动性的要求;芝麻香油水代法连续化生产新工艺最佳条件为砂轮磨 1 次+胶体磨 1 次磨酱、兑水量 85%、高速(300 r/min)剧烈搅拌 40 min+慢速(60 r/min)温和搅拌 10 min、离心速度 6 000 r/min、离心时间 1 min,在此工艺条件下提油率为(89.28±0.45)%,芝麻渣残油率为(11.92±0.25)%;生产实验验证得到水代法连续化生产新工艺的提油率为(84.74±0.62)%,芝麻渣残油率为(15.61±0.28)%、粗蛋白质含量为(43.30±0.54)%、含水量为(59.40±0.26)%、芝麻香油除不溶性杂质和水分及挥发物含量外,其他指标均符合 GB/T 8233—2018 要求。综上,新工艺可实现芝麻香油的连续化生产,节省时间,且提油效果和芝麻香油质量指标与传统水代法接近,说明以卧螺离心为关键的水代法新工艺替代传统水代法工艺是可行的。后续将在中试及更大规模上进行装备升级和工艺优化研究,提升芝麻香油水代法连续化生产新工艺的效果。

**关键词:**芝麻香油;水代法;连续化工艺;卧螺离心

中图分类号:TS224.4;TS201.1 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2025)04-0022-06

## A new continuous production process of fragrant sesame seed oil by aqueous extraction method

SONG Guohui, SUN Qiang, YOU Jing, ZHANG Xun,  
LI Kexin, LU Xin, HUANG Jinian

(Agricultural and Sideline Products Processing Research Center, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450006, China)

**Abstract:** In order to improve the production efficiency of fragrant sesame seed oil by aqueous extraction method, instead of shaking oil and pounding oil process in oil extraction by the traditional aqueous extraction method, horizontal screw centrifugation was used to explore a new continuous process for fragrant sesame seed oil by aqueous extraction method. On the basis of examining the feasibility of centrifugation and determining the basic conditions for simulation continuous centrifugation, the parameters of grinding and water adding and mixing process were optimized, and the optimized process was verified by three-phase horizontal screw centrifuge in the actual production. The results showed that

收稿日期:2023-10-17;修回日期:2024-11-06

基金项目:河南省中央引导地方科技发展资金(Z20221343042);

国家特色油料产业技术体系食品加工岗位科学家(CARS-14-1-30);河南省农业科学院科技创新团队项目(2023TD23)

作者简介:宋国辉(1980),男,副研究员,硕士,主要从事油料作物的增值转化加工研究与开发工作(E-mail) sigehe@126.com。

通信作者:黄纪念,研究员(E-mail) hjinian@sina.com。

the viscosity of the whole system during the process of water adding and mixing was lower than 25 000 Pa·s, which was in line with the requirements of horizontal screw centrifuge on the fluidity of materials. The optimal conditions for new continuous process of fragrant sesame seed oil by aqueous extraction method were wheel mill + colloid mill grinding each once, 85% of water

amount, high-speed (300 r/min) vigorous mixing 40 min, slow-speed (60 r/min) gentle mixing 10 min, centrifugal speed 6 000 r/min, centrifugal time 1 min. Under the optimal process conditions, the oil extraction rate was  $(89.28 \pm 0.45)\%$ , and the residual oil rate of sesame residue was  $(11.92 \pm 0.25)\%$ . The actual production results showed that the oil extraction rate of the new continuous process of aqueous extraction method was  $(84.74 \pm 0.62)\%$ , the residual oil rate, crude protein content and water content of sesame residue were  $(15.61 \pm 0.28)\%$ ,  $(43.30 \pm 0.54)\%$  and  $(59.40 \pm 0.26)\%$ , respectively, and the fragrant sesame seed oil produced was in compliance with GB/T 8233-2018 except for the content of insoluble impurities and water and volatiles content. In conclusion, the new process can realize the continuous production of fragrant sesame seed oil, save time, and the oil extraction effect and fragrant sesame seed oil quality indexes are close to those of the traditional aqueous extraction method, which indicates that it is feasible to replace the traditional aqueous extraction process by the new process with horizontal screw centrifugation as key. Subsequently, it is necessary to carry out research on equipment upgrading and process optimization in the pilot test and on a larger scale in the future, so as to improve the effect of the new continuous process of fragrant sesame oil by aqueous extraction method.

**Key words:** fragrant sesame seed oil; aqueous extraction method; continuous process; horizontal screw centrifugation

我国是芝麻生产和消费大国,芝麻香油约占芝麻加工量的 50%,是最主要的芝麻制品<sup>[1-2]</sup>。生产芝麻香油的常规方法有水代法和压榨法<sup>[3-5]</sup>。其中:水代法是生产芝麻香油的传统工艺,该工艺条件温和,能很好地保留芝麻香油的香味,还具有净化的作用,可将芝麻高温焙炒过程中产生的烟糊味及可能产生的有害物质除去<sup>[6-8]</sup>。然而,水代法也存在着一些不足,如生产设备粗放、间歇性生产、耗时长、劳动强度大、效率低、生产成本高等<sup>[9-11]</sup>。如传统的水代法芝麻香油生产工艺中兑浆搅油和晃油、墩油等工序,主要依靠重力使湿麻渣下沉,油脂上浮,这个过程进行得非常慢,往往需要 8~12 h,甚至更长的时间以提高提油率<sup>[1-2]</sup>。因此,亟需对传统的水代法芝麻香油生产工艺进行革新,特别是进行现代装备替代、实现连续化生产和工艺标准化。

目前水代法芝麻香油的研究主要集中于以提高提油率为目标的新工艺探讨、工艺参数优化,不同加工方式对芝麻香油品质、活性物质、风味特征及危害因子影响的研究等<sup>[5, 7, 12-17]</sup>,未有涉及水代法芝麻香油生产效率提升的研究,特别是采用连续化的工艺替代传统的晃油、墩油工艺的研究。

卧螺离心机利用离心力将混合液中固体与液体分离,具有操作连续、处理能力强、操作简便等优点,目前已应用于橄榄油的水代法制取<sup>[18]</sup>。因此,本文在分析连续兑浆搅油过程中物料离心可行性及确定实验室模拟离心条件的基础上,优化了磨酱和兑浆

搅油工序的工艺参数,采用三相卧螺离心机对工艺进行验证,并与传统水代法制油工艺的提油效果和芝麻香油质量指标进行对比,以期创建芝麻香油水代法连续化生产新工艺提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验材料

国产白芝麻(以干基计粗脂肪含量 54.8%,蛋白质含量 23.2%),购自河南驻马店;乙醚、异丙醇、95%乙醇、酚酞、百里香酚酞、氢氧化钠、石油醚,均为国产分析纯。

DCCZ 5-5 电磁炒锅,许昌智工机械制造有限公司;扬烟降温机,实验室自制;M130 型胶体磨,廊坊市惠友机械有限公司;S400 型多辊磨,常州彩宝机械有限公司;6YM-130 型砂轮磨,开封兰工机械厂;LXJ-II B 低速大容量多管离心机,上海安亭科学仪器厂;NDJ-5S 型黏度计,德卡精密量仪(深圳)有限公司;D2025W 型搅拌机,上海梅颖浦仪器仪表制造有限公司;DHG-9123A 电热恒温鼓风干燥箱,上海精宏实验设备有限公司;HLW 350 型三相卧螺离心机,江苏庆丰环保有限公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 模拟连续化水代法生产芝麻香油工艺流程

模拟连续化水代法生产芝麻香油工艺流程为芝麻→炒制→扬烟吹净→磨酱→兑浆搅油→模拟连续离心→分液→芝麻香油,具体操作步骤如下:将电磁炒锅预热至 185℃,投料 10 kg,4 档火力炒制至

180℃时,观察芝麻色泽,待捻开后呈枣红色时,关火,并泼水降温,以余温继续焙炒5 min;将炒制好的芝麻迅速转移至扬烟降温机的料筒中,密封上盖,开启鼓风机至芝麻温度降至50℃以下;收集降温后的芝麻,选择石磨、砂轮磨、胶体磨、多辊磨单独或组合对芝麻进行磨酱;取一定量磨制好的油酱,加入一定比例的热水/热盐水,采用框式搅拌器在一定转速下搅拌一段时间后,于离心机中在不同转速下连续离心1 min,离心后分别收集上层清液和下层湿麻渣,将上层清液转移至分液漏斗中,静置分层后弃去下层水相,收集上层油相即得芝麻香油。

### 1.2.2 提油率的计算

按式(1)计算芝麻提油率( $R$ )。

$$R = \frac{m_1}{m \times 0.548} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $m_1$ 为芝麻香油的质量,g; $m$ 为投料量,g;0.548为芝麻中粗脂肪含量。

### 1.2.3 黏度的测定

将黏度计的转子插入要测定的物料中,每10 s记录一次读数,记录每分钟内的最大值、最小值,并计算平均值。

### 1.2.4 芝麻渣含水量、残油率和粗蛋白质含量的测定

参照 GB 5009.3—2016,采用直接干燥法测定含水量;参照 GB 5009.6—2016,采用索氏抽提法测定芝麻渣的干基残油率;参照 GB/T 6432—2018,采用凯氏定氮法测定芝麻渣的干基粗蛋白质含量,氮换算系数取6.25。

### 1.2.5 芝麻香油质量指标的测定

参照 GB 5009.236—2016 测定水分及挥发物含量;参照 GB/T 15688—2008 测定不溶性杂质含量;参照 GB 5009.229—2016 测定酸值;参照 GB 5009.227—2023 测定过氧化值。

### 1.2.6 数据处理

采用软件 IBM SPSS Statistics 20 对数据进行分析,采用 WPS Office 软件绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 兑浆搅油过程中物料离心可行性

在砂轮磨磨酱2次,兑水量85%(以油酱质量计,下同),搅拌速度150 r/min条件下,进行兑浆搅油,兑浆搅油过程中混合酱体黏度的变化曲线如图1所示。

卧螺连续化离心分离需要物料有较好的流动性。黏度过大会造成输送困难、物料分布不均等问

题,影响离心机的稳定性,实际生产中一般要求物料黏度低于50 000 Pa·s。由图1可知,整个兑浆搅油过程中酱体黏度都低于25 000 Pa·s,符合卧螺离心机对物料流动性的要求。因此,可采用离心方式进行芝麻香油与麻渣(油渣)的分离。

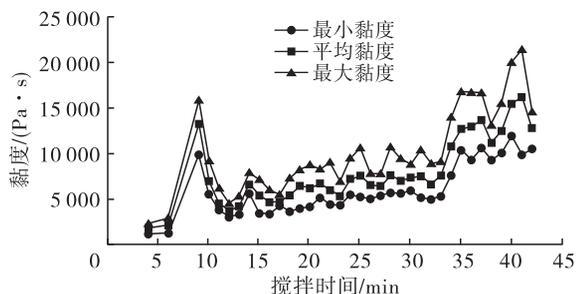


图1 兑浆搅油过程中混合酱体的黏度变化曲线

Fig.1 Viscosity change curve of the complex paste during the oil water mixing process

### 2.2 模拟连续离心条件的考察

卧螺离心机属于一种生产型设备,一直以来缺乏实验型的卧螺离心装置。卧螺离心机在工作时,物料是连续性地通过离心机,在离心机中仅存留1~3 min,为了更接近卧螺连续离心的工作状态,本实验采用实验室低速大容量多管离心机,设定离心时间为1 min,用来模拟卧螺离心。按1.2.1方法,在砂轮磨磨酱2次,兑水量分别为85%、120%、150%,搅拌速度150 r/min,搅拌时间60 min,离心时间1 min的条件下,模拟水代法连续化制备芝麻香油,考察离心转速和离心次数对芝麻渣残油率的影响,结果如表1所示。

由表1可知,兑水量、离心转速和离心次数都影响芝麻渣残油率。在相同的离心转速和离心次数下,兑水量85%时,芝麻渣残油率最低。在相同兑水量和离心转速下,与离心1次相比,离心2次芝麻渣残油率大幅度下降。可见,在离心转速一定时,适当延长物料在卧螺离心机中的停留时间可增强分离效果。在相同兑水量和离心次数下,离心转速越高,芝麻渣残油率越低,分离效果越好,因此应尽量选择分离因数高的离心机。综上,在离心转速(离心力)为6 000 r/min(3 220 g),离心2次(2 min),兑水量85%时,芝麻渣残油率达到传统工艺的水平(残油率12%左右)。从设备选型角度来看,大部分卧螺离心机的转速为(3 000 ± 500) g,可满足要求。碟片式离心机、管式离心机虽然有更高的转速,但更适用于轻相和重相的分离或者含少量固相的三相分离,不适用于固相湿麻渣含量占50%以上的水代法芝麻香油的连续分离。

表 1 不同离心转速和离心次数下的芝麻渣残油率

Table 1 Oil content in sesame residue by different centrifugal speeds and times

离心次数(次)	离心转速/(r/min)(离心力/g)	残油率/%		
		85% 兑水量	120% 兑水量	150% 兑水量
1	3 000(805)	37.22 ± 2.00 <sup>a</sup>	38.84 ± 0.72 <sup>a</sup>	46.83 ± 0.76 <sup>a</sup>
	4 000(1 431)	29.41 ± 0.32 <sup>b</sup>	35.98 ± 0.45 <sup>b</sup>	43.22 ± 0.61 <sup>b</sup>
	5 000(2 236)	25.92 ± 0.25 <sup>c</sup>	33.12 ± 0.45 <sup>c</sup>	42.36 ± 0.43 <sup>bc</sup>
	6 000(3 220)	17.70 ± 0.27 <sup>d</sup>	26.17 ± 0.61 <sup>d</sup>	41.29 ± 0.65 <sup>c</sup>
2	3 000(805)	25.64 ± 0.63 <sup>a</sup>	28.65 ± 0.54 <sup>a</sup>	36.66 ± 0.84 <sup>a</sup>
	4 000(1 431)	19.67 ± 0.55 <sup>b</sup>	21.39 ± 0.52 <sup>b</sup>	26.28 ± 0.47 <sup>b</sup>
	5 000(2 236)	16.92 ± 0.65 <sup>c</sup>	17.67 ± 0.40 <sup>c</sup>	22.70 ± 0.57 <sup>c</sup>
	6 000(3 220)	11.55 ± 0.32 <sup>d</sup>	13.20 ± 0.57 <sup>d</sup>	20.28 ± 0.39 <sup>d</sup>

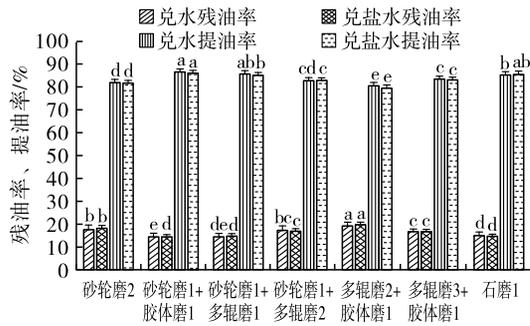
注:相同离心次数下同列不同字母表示具有显著差异( $p < 0.05$ )

Note: Different letters in the same column for the same times of centrifuges indicate significant differences ( $p < 0.05$ )

### 2.3 磨酱工序工艺条件的优化

#### 2.3.1 磨酱方式对提油率和芝麻渣残油率的影响

在兑水/盐水(NaCl 质量分数为 1%)量 85%、搅拌速度 150 r/min、搅拌时间 60 min、离心转速 6 000 r/min、离心时间 1 min 的条件下,考察磨酱方式对提油率和芝麻渣残油率的影响,结果如图 2 所示。



注:同一指标下(残油率/提油率)不同字母表示差异显著( $p < 0.05$ );磨酱方式后的数字表示磨酱次数。下同

Note: Under the same index (residual oil rate/oil extraction rate), different letters indicate significant difference ( $p < 0.05$ ). The number following the grinding method indicates the grinding times. The same below

图 2 不同磨酱方式下提油率和芝麻渣残油率

Fig. 2 Extraction rate of sesame seed oil and oil content in sesame residue under different grinding methods

由图 2 可知,采用热盐水和热水兑浆的提油率和芝麻渣残油率相近,说明兑质量分数 1% 的 NaCl 对芝麻香水代法连续化生产工艺的提油率影响不大,因此后续只考虑兑水磨浆。不同磨酱方式的提油率和芝麻渣残油率有一定差异,其中砂轮磨 1 次 + 胶体磨 1 次和砂轮磨 1 次 + 多辊磨 1 次磨酱的效果比较好,与传统石磨的工艺效果接近,表明从提油效果来说,砂轮磨和胶体磨联用或者砂轮磨和多辊磨

联用可以代替石磨磨酱。又因胶体磨的效率远高于多辊磨,因此确定砂轮磨和胶体磨联用为最佳磨酱方式。

#### 2.3.2 磨酱次数对提油率和芝麻渣残油率的影响

在兑水量 85%、搅拌速度 150 r/min、搅拌时间 60 min、离心转速 6 000 r/min、离心时间 1 min,砂轮磨和胶体磨联用磨酱模式下,考察磨酱次数(考虑砂轮磨仅为粗磨,只改变胶体磨次数)对提油率和芝麻渣残油率的影响,结果如图 3 所示。

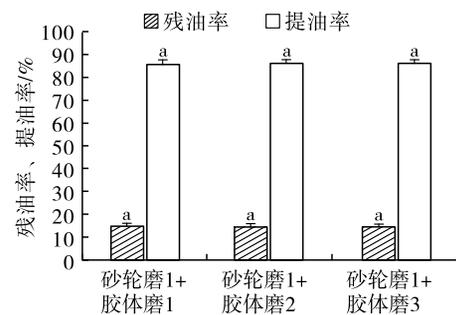


图 3 不同磨酱次数下提油率和芝麻渣残油率

Fig. 3 Extraction rate of sesame seed oil and oil content in sesame residue under different grinding times

由图 3 可知,增加胶体磨磨酱次数,提油率和芝麻渣残油率无显著差异。因此,选择砂轮磨 1 次 + 胶体磨 1 次磨酱最佳。

### 2.4 兑浆搅油工序工艺条件的优化

#### 2.4.1 搅拌时间对提油率和芝麻渣残油率的影响

在砂轮磨 1 次 + 胶体磨 1 次磨酱、兑水量 85%、搅拌速度 200 r/min、离心速度 6 000 r/min、离心时间 1 min 的条件下,考察搅拌时间对提油率和芝麻渣残油率的影响,结果如图 4 所示。

由图 4 可知,随着搅拌时间的延长,提油率升高,芝麻渣残油率下降,搅拌时间超过 50 min 时,提

油率和芝麻渣残油率均无显著变化,因此选择最佳搅拌时间为 50 min。

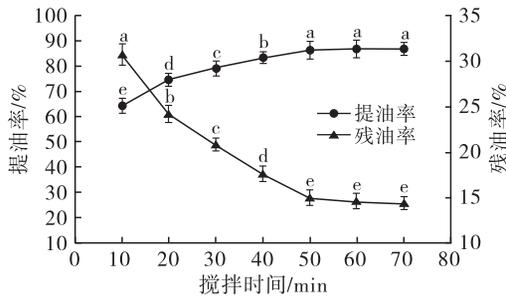


图4 不同搅拌时间下提油率和芝麻渣残油率

Fig. 4 Extraction rate of sesame seed oil and oil content in sesame residue under different mixing time

#### 2.4.2 搅拌模式对提油率和芝麻渣残油率的影响

在砂轮磨 1 次 + 胶体磨 1 次磨酱、兑水量 85%、离心速度 6 000 r/min、离心时间 1 min 的条件下,考察中速(200 r/min 搅拌 50 min)、中速(200 r/min 搅拌 30 min) + 低速(100 r/min 搅拌 20 min)、高速(300 r/min 搅拌 50 min)、慢速(60 r/min 搅拌 50 min)、高速(300 r/min 搅拌 40 min) + 慢速(60 r/min 搅拌 10 min) 5 种搅拌模式对提油率和芝麻渣残油率的影响,结果如图 5 所示。

由图 5 可知,除了中速和高速模式,其他模式之间的提油率和芝麻渣残油率都具有显著差异。其中单一的高速、中速和慢速搅拌模式的提油效果都较差。两种混合模式的提油效果优于单一模式。其中,高速 + 慢速搅拌模式的芝麻渣残油率最低,为(11.92 ± 0.25)%,提油率最高,为(89.28 ± 0.45)%。在搅油前期,主要发生的是水取代油脂的进程,热水快速分散到油酱中,与油酱中的非脂固体成分充分

表2 两种水代法芝麻香油制取工艺的出油效果对比

Table 2 Comparison of sesame seed oil extraction effects between two aqueous extraction methods %

工艺	提油率	芝麻渣残油率	芝麻渣含水量	芝麻渣粗蛋白质含量
传统工艺	88.27 ± 0.47	12.45 ± 0.24	62.21 ± 0.33	44.94 ± 0.29
连续化新工艺	84.74 ± 0.62	15.61 ± 0.28	59.40 ± 0.26	43.30 ± 0.54

表3 两种水代法工艺制取的芝麻香油的质量指标

Table 3 Quality indicators of sesame seed oil prepared by two aqueous extraction methods

工艺	色泽	气味、滋味	透明度 (20℃)	酸值(KOH)/ (mg/g)	过氧化值/ (g/100 g)	不溶性杂质含量/%	水分及挥发物含量/%
传统工艺	橙红色	具有浓郁的芝麻油固有香味和滋味,口感好,无异味	微浊	1.0	0.007	0.05	0.05
连续化新工艺	橙红色	具有浓郁的芝麻油固有香味和滋味,口感好,无异味	微浊	1.1	0.011	0.07	0.25

由表 2 可知:水代法连续化新工艺的提油率为(84.74 ± 0.62)%,芝麻渣残油率为(15.61 ± 0.28)%、粗蛋白质含量为(43.30 ± 0.54)%、含水

且均一地接触,并进一步与油酱中的非脂成分紧密结合,形成含水芝麻渣,将油脂取代出来,这个过程需要快速搅拌,加快取代进程;当油酱中的大部分油脂被取代并释放出来后,再慢速搅拌,使芝麻渣缓慢聚集下沉,油脂聚集上浮。因此,选择高速 + 慢速作为最佳的搅拌模式。

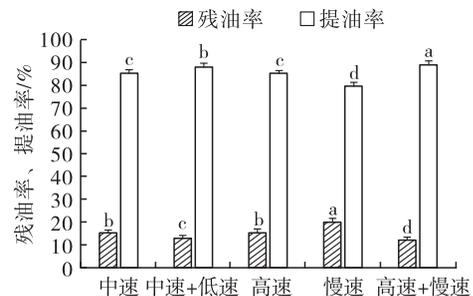


图5 不同搅拌模式下提油率和芝麻渣残油率

Fig. 5 Extraction rate of sesame seed oil and oil content in sesame residue by different mixing modes

#### 2.5 实际生产验证

根据模拟的水代法连续化生产工艺优化实验获得的最佳参数,采用三相卧螺离心机进行实际生产验证,考察芝麻香水代法连续化生产新工艺在生产中的可行性。设置砂轮磨 1 次 + 胶体磨 1 次磨酱,兑水量 85%,搅拌模式高速 + 慢速,三相卧螺离心机转速 2 900 g。传统水代法工艺以传统的晃油、墩油方法进行油酱分离,每 2 h 撇油 1 次,共撇油 4 次至无油撇出为止,其余条件与水代法连续化生产工艺相同(两种方法均不涉及 1.2.1 中的分液)。两种水代法芝麻香油制取工艺提油效果及其所得芝麻香油质量指标分别见表 2、表 3。

量为(59.40 ± 0.26)%;与传统水代法工艺相比,水代法连续化新工艺提油率降低 3.53 百分点,芝麻渣残油率提高 3.16 百分点,芝麻渣粗蛋白质含量降低

1.64 百分点,芝麻渣含水量降低 2.81 百分点,提油效果稍低于传统水代法工艺。

由表 3 可知,水代法连续化新工艺制取的芝麻香油的色泽、气味、滋味、透明度与传统水代法工艺一致,酸值与过氧化值均符合 GB/T 8233—2018 中一级芝麻香油标准,但不溶性杂质和水分及挥发物含量超过该标准要求(不溶性杂质含量 $\leq 0.05\%$ ,水分及挥发物含量 $\leq 0.20\%$ ),后续可采用精制或者改进分离工艺来改善。综上,水代法连续化新工艺的提油效果与制取的芝麻香油质量指标与传统水代法工艺的接近,但新工艺可实现连续化生产,节省时间,说明以卧螺离心为关键的水代法连续化新工艺替代传统工艺是可行的。

### 3 结 论

本文研究了芝麻香油水代法连续化生产新工艺,对水代法工艺进行优化,并采用三相卧螺离心机对优化工艺进行验证。结果表明:兑浆搅油过程中混合酱体的黏度都低于 25 000 Pa·s,符合卧螺离心机对物料流动性的要求;芝麻香油水代法连续化生产新工艺最佳条件为砂轮磨 1 次+胶体磨 1 次磨酱、兑水量 85%、高速(300 r/min)剧烈搅拌 40 min+慢速(60 r/min)温和搅拌 10 min、离心速度 6 000 r/min、离心时间 1 min,在此工艺条件下提油率为(89.28 $\pm$ 0.45)%,芝麻渣残油率为(11.92 $\pm$ 0.25)%。采用三相卧螺离心机进行生产实验验证,得到水代法连续化生产新工艺的提油率为(84.74 $\pm$ 0.62)%,芝麻渣残油率为(15.61 $\pm$ 0.28)%、粗蛋白质含量为(43.30 $\pm$ 0.54)%、含水量为(59.40 $\pm$ 0.26)%,所制芝麻香油除不溶性杂质和水分及挥发物含量超过 GB/T 8233—2018 要求外,其他指标均符合标准要求,证明以卧螺离心为关键的水代法连续化新工艺替代传统水代法工艺是可行的。下一步工作将在中试及更大规模上进行装备、工艺等的匹配性研究,优化芝麻香油水代法连续化生产新工艺的效果,并采用精制或者改进分离工艺以降低芝麻香油中不溶性杂质和水分及挥发物的含量,以达到国家标准的要求。

### 参考文献:

[1] 赵雷振,邱敏,黄志强,等. 水代法小磨香油提取工艺优化[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(1): 64-67, 73.  
[2] 尚小磊,侯利霞,刘玉兰,等. 水代法制油工艺研究现

状[J]. 农业机械, 2012(18): 37-39.

- [3] 任勇,汪学德. 炒籽条件对压榨芝麻油品质影响[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(3): 61-64.  
[4] 王楠楠,汪学德,刘宏伟,等. 焙炒对压榨芝麻油品质及抗氧化活性的影响研究[J]. 中国油脂, 2019, 44(9): 7-11.  
[5] 张丽霞,宋国辉,曹艳明,等. 电加热转筒焙炒对不同工艺生产芝麻油品质的影响[J]. 食品与机械, 2012, 28(6): 197-201.  
[6] 张雅娜,齐宝坤,郭丽,等. 水酶法芝麻油与其他工艺芝麻油品质差异研究[J]. 中国油脂, 2019, 44(9): 36-40, 46.  
[7] 汪学德,王合宝,刘玉兰. 降低芝麻油中的苯并[ $\alpha$ ]芘含量工艺参数的研究[J]. 粮油加工, 2010(10): 29-31.  
[8] 陈帮军. 湿芝麻渣干燥工艺及关键装备设计[D]. 郑州: 河南工业大学, 2018.  
[9] 从珊. 焙炒工艺对水代芝麻油风味及品质的影响[D]. 郑州: 河南工业大学, 2013.  
[10] 张丽霞,宋国辉,黄纪念,等. 加工工艺对芝麻香油中木脂素含量的影响[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(11): 55-59.  
[11] 任勇,汪学德. 焙炒条件对芝麻油中多环芳烃含量的影响[J]. 粮油食品科技, 2016, 24(1): 29-33.  
[12] 陈刘杨,刘玉兰,马宇翔. 焙炒条件对芝麻油品质的影响[J]. 粮油加工, 2010(7): 15-19.  
[13] 赵赛茹,张丽霞,黄纪念,等. 焙炒时间对芝麻油风味及芝麻氨基酸含量的影响[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(8): 30-38.  
[14] 马雪停,尹文婷,李诗佳,等. 炒籽温度对芝麻油香气活性组分和感官品质的影响[J]. 中国油脂, 2021, 46(8): 6-11.  
[15] 孟醒,孙强,宋国辉,等. 蒸制对水代法制香油提油率及风味物质的影响[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(9): 90-95.  
[16] 王合宝,张海洋,汪学德. 温度对焙炒芝麻品质的影响[J]. 中国油脂, 2010, 35(11): 71-72.  
[17] 任勇. 芝麻油加工过程对多环芳烃形成的影响[D]. 郑州: 河南工业大学, 2016.  
[18] TAMBORRINO A, LEONE A, ROMANIELLO R, et al. Comparative experiments to assess the performance of an innovative horizontal centrifuge working in a continuous olive oil plant[J]. Biosyst Eng, 2015, 129: 160-168.