

高酸值米糠油同步脱酸脱蜡工艺

邹曼¹, 王娟¹, 何东平^{1,2}, 胡传荣^{1,2}, 高盼^{1,2}

(1. 武汉轻工大学食品科学与工程学院, 武汉 430023; 2. 大宗粮油精深加工教育部重点实验室, 武汉 430023)

摘要:以95%乙醇为萃取剂,采用溶剂法对高酸值米糠原油进行同步脱酸脱蜡,以脱酸率、脱蜡率为指标,通过单因素试验和正交试验优化高酸值米糠油同步脱酸脱蜡工艺条件。结果表明:高酸值米糠油脱酸脱蜡最佳工艺条件为卵磷脂添加量0.15%(以95%乙醇质量计)、萃取时间40 min、萃取温度60℃、料液比1:2.5、萃取次数4次,在最佳工艺条件下米糠油的脱酸率和脱蜡率分别为99.45%和99.86%,精炼得率为65.67%,谷维素、植物甾醇和维生素E保留率分别为87.88%、97.64%和95.15%。

关键词:高酸值米糠油;脱酸脱蜡;营养成分

中图分类号:TS225.1;TS224.6 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2021)07-0014-06

Simultaneous deacidification and dewaxing of high acid value rice bran oil

ZOU Man¹, WANG Juan¹, HE Dongping^{1,2}, HU Chuanrong^{1,2},
GAO Pan^{1,2}

(1. College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China;

2. Key Laboratory of Bulk Grain and Oil Intensive Processing, Ministry of Education, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

Abstract: With 95% ethanol as extractant, the free fatty acid and wax in high acid value rice bran oil were removed simultaneously by solvent method. Using single factor experiment and orthogonal experiment, the process conditions for simultaneous deacidification and dewaxing of high acid value rice bran oil were optimized with the deacidification rate and dewaxing rate as indicators. The results showed that the optimal process conditions were obtained as follows: dosage of lecithin 0.15% (based on 95% ethanol mass), extraction time 40 min, extraction temperature 60℃, ratio of material to liquid 1:2.5, and the extraction times 4. Under the optimal conditions, the deacidification rate, dewaxing rate of rice bran oil and refining yield were 99.45%, 99.86% and 65.67% respectively, and the retention rates of oryzanol, phytosterols and vitamin E were 87.88%, 97.64% and 95.15% respectively.

Key words: high acid value rice bran oil; deacidification and dewaxing; nutrient

米糠油是米糠经过压榨或浸提制取的油脂^[1],米糠油含有丰富的不饱和脂肪酸和多种生物活性物质^[2],如生育酚、甾醇、 γ -谷维素和角鲨烯等^[3-5],这些生物活性物质使米糠油表现出优异的抗氧化和抗炎功效^[6-7]。米糠油是继油茶籽油、橄榄油之后又一新型健康营养食用油,被营养学家誉为“营养

保健油”。但是米糠油中的游离脂肪酸、蜡、不皂化物、磷脂、糖脂等物质会造成精炼困难^[8]。

当高酸值米糠油中的游离脂肪酸含量超过15%时,中性油的水解酸败加速,从而产生刺激性气味,影响油脂的品质^[9]。米糠中存在大量水解酶和解脂酶,导致米糠原油酸值普遍较高^[10-11],因此脱酸是米糠油精炼过程中一个重要的环节。另外,米糠的蜡含量高,制得的米糠原油蜡含量可高达3%~5%,米糠蜡的化学性质相对稳定,不容易被水解除除^[12]。少量蜡会降低油的透明度,影响其品

收稿日期:2020-09-16;修回日期:2021-05-08

作者简介:邹曼(1995),女,硕士研究生,研究方向为粮食、油脂及植物蛋白(E-mail) supremerebecca@163.com。

通信作者:高盼,讲师,博士(E-mail) gaopan925@163.com。

质。目前,大多采用冬化使蜡析出,但米糠蜡黏度较高,析出的蜡过滤困难,操作难度较大。因此,脱蜡也是米糠油精炼过程中的重要环节。对于酸值高、蜡含量高、色泽深的米糠原油采用单纯的碱炼脱酸会损失 γ -谷维素和角鲨烯等营养成分,精炼得率低,还会产生大量的有机废水,污染环境^[13]。

95%乙醇与游离脂肪酸的介电常数比较接近,而与米糠油的相差较远,因此可以用于脱除米糠原油中的游离脂肪酸。卵磷脂是一种两性表面活性剂,具有亲水性的氨基和强疏水性的脂肪碳氢链。当卵磷脂溶于95%乙醇中时,亲水基朝向水相移动,疏水基朝向醇相移动,根据卵磷脂的浓度不同,能够形成不同形状的胶束,通常为球状或棒状。这些胶束可以包裹住结构类似长方体的米糠蜡,而油的空间结构类似球体,不易被包裹,从而可以脱除米糠蜡,降低炼耗。

为简化高酸值米糠油精炼工艺,节省生产成本,本文以高酸值米糠原油为原料,经脱胶后,选用95%乙醇作为萃取剂,添加一定量的卵磷脂,采用溶剂法同步脱酸脱蜡。通过单因素试验,考察萃取温度、萃取时间、料液比、萃取次数、卵磷脂添加量对米糠油脱酸脱蜡效果的影响,在此基础上进行正交试验优化工艺条件,为高酸值米糠油精炼工艺提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

浸出米糠原油、精制米糠蜡,均购于安徽思润谷物油精炼有限公司,浸出米糠原油经过实验室脱胶处理后使用。卵磷脂(98%),河南集美化工产品有限公司;无水乙醇、甲醇、95%乙醇、邻苯二甲酸氢钾、丙酮、氢氧化钾、丁酮,均为分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;正庚烷、乙腈、甲醇、丙酮,均为色谱纯,德国默克集团有限公司。谷维素标准品、硅烷化试剂、 β -胆甾醇标准品、维生素E标准品,上海安谱科学仪器有限公司;超纯水。

1.1.2 仪器与设备

AB204.E型电子分析天平,瑞士Mettler Toledo公司;DF-101S集热式恒温加热磁力搅拌器,巩义市予华仪器有限公司;电子万用炉,北京市永光明医疗仪器厂;超级恒温水浴锅,金坛市精达仪器制造厂;低温恒温槽,南京恒星实验设备有限公司;II电加热套,上海远怀化工科技有限公司;旋涡混匀器,美国安胜;TD5A管式离心机,湖南凯达仪器有限公司;GZX-9070ME数显鼓风干燥箱,上海博讯实业有限公司医疗设备厂;Agilent 7890B气相色谱仪、

Agilent 1200高效液相色谱仪;UV765紫外分光光度计,上海精密科学仪器有限公司;HACH 2100N浊度计,上海山富科学仪器有限公司;SK3300HP超声波清洗器,上海科导超声仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 高酸值米糠油脱酸脱蜡

将一定比例的卵磷脂和95%乙醇混合,搅拌均匀使之完全溶解。在烧杯中加入100g脱胶的米糠原油,再加入含卵磷脂的95%乙醇混合溶液,使用恒温加热磁力搅拌器,设置不同温度充分搅拌,随后倒入分液漏斗,静置0.5~1h,当出现上层为醇相,下层为油相的明显分层时,取下层油相重复萃取操作,萃取完毕后两相分别使用真空旋转蒸发器旋蒸,回收乙醇。米糠油精炼得率(y_1)、脱蜡率(y_2)、脱酸率(y_3)、谷维素保留率(y_4)、植物甾醇保留率(y_5)、维生素E保留率(y_6)分别按式(1)~式(6)计算。

$$y_1 = m/m_0 \times 100\% \quad (1)$$

$$y_2 = (c_{a0} - c_a)/c_{a0} \times 100\% \quad (2)$$

$$y_3 = (c_{b0} - c_b)/c_{b0} \times 100\% \quad (3)$$

$$y_4 = c_c/c_{c0} \times 100\% \quad (4)$$

$$y_5 = c_d/c_{d0} \times 100\% \quad (5)$$

$$y_6 = c_e/c_{e0} \times 100\% \quad (6)$$

式中: m_0 为脱胶米糠原油的质量; m 为萃取后米糠油的质量; c_{a0} 为米糠原油的蜡含量; c_a 为萃取后米糠油的蜡含量; c_{b0} 为米糠原油的酸值; c_b 为萃取后米糠油的酸值; c_{c0} 为米糠原油的谷维素含量; c_c 为萃取后米糠油的谷维素含量; c_{d0} 为米糠原油的植物甾醇含量; c_d 为萃取后米糠油的植物甾醇含量; c_{e0} 为米糠原油的维生素E含量; c_e 为萃取后米糠油的维生素E含量。

1.2.2 米糠油质量指标检测

酸值测定参照GB 5009.229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》(热乙醇法);水分含量测定参照GB 5009.236—2016《食品安全国家标准 动植物油脂水分及挥发物的测定》(105℃恒重法);植物甾醇测定参照GB/T 25223—2010《动植物油脂 甾醇组成和甾醇总量的测定 气相色谱法》;维生素E含量测定参照GB/T 26635—2011《动植物油脂 生育酚及生育三烯酚含量测定 高效液相色谱法》;谷维素含量测定参照LS/T 6121.1—2017《粮油检验 植物油中谷维素含量的测定 分光光度法》。

1.2.3 米糠油中蜡含量的测定

米糠原油的酸值较高,蜡含量的测定采用色谱

法^[14-16];脱酸脱蜡米糠油酸值较低,蜡含量的测定采用浊度仪法^[17]。

1.2.4 数据统计分析

采用 Excel 2019 整理和分析数据,使用 SPSS 17.0 软件对数据进行显著性分析,使用 Origin 8.5 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 米糠原油的质量指标

米糠原油质量指标如表 1 所示。由表 1 可知,米糠原油的水分含量为 0.62%,蜡含量为 3.45%,谷维素含量为 1.65%。米糠原油的酸值(KOH)为 41.81 mg/g。

表 1 米糠原油的质量指标

项目	指标
水分含量/%	0.62
酸值(KOH)/(mg/g)	41.81
蜡含量/%	3.45
谷维素含量/%	1.65
植物甾醇含量/(mg/kg)	20 288.7
V_E 含量/(mg/kg)	698.33

2.2 单因素试验

2.2.1 卵磷脂添加量的确定

以 95% 乙醇为萃取剂,在萃取次数 3 次,料液比(油与 95% 乙醇质量比)1:2,萃取温度 60℃,萃取时间 30 min,卵磷脂添加量(以 95% 乙醇质量计)分别为 0.01%、0.05%、0.1%、0.15%、0.2% 条件下,考察卵磷脂添加量对脱酸脱蜡效果的影响,结果见图 1。

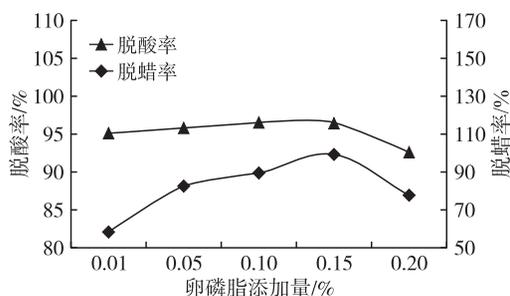


图 1 卵磷脂添加量对脱酸脱蜡效果的影响

由图 1 可知,随着卵磷脂添加量增加,脱酸率和脱蜡率呈先上升后下降的趋势。脱酸率上升的幅度较小。米糠蜡是由大量高级脂肪酸和高级一元醇所组成的一种脂类混合物,具有长碳链,空间结构类似长方体^[18-19]。米糠蜡由于其独特的结构,可被胶束包裹,容易从油中分离出来。卵磷脂是一种两性表面活性剂,具有强疏水性的脂肪碳氢链和亲水性的氨基,可溶于 95% 乙醇中,亲水基和疏水基分别朝

向水相和醇相,形成胶束。随着卵磷脂浓度增大,接近临界胶束浓度时,胶束变成球状,在浓度大于等于 10 倍临界胶束浓度时,胶束是棒状,继续增加浓度,会形成“反胶团”^[20-21]。蜡的空间体积为棍状,油为球形,随着卵磷脂添加量增加,脱蜡率先上升后下降;当卵磷脂添加量达到 0.05% 时,曲线上升缓慢,这是因为溶液浓度接近临界胶束浓度,导致球状胶束大量溶于油脂,脱蜡率曲线很平缓;当继续添加卵磷脂到 0.1% 时,胶束浓度超过临界胶束浓度,形成的胶团结构不规则,不利于蜡的脱除,此时脱蜡率增加平缓;继续增加卵磷脂添加量到 0.15%,此时形成棒状胶团,有利于蜡的脱除,脱蜡率明显上升;当卵磷脂添加量增加到 0.2% 时,形成“反胶团”,溶剂和油形成微乳状液,脱酸脱蜡效果均下降。因此,最佳卵磷脂添加量确定为 0.15%。

2.2.2 料液比的确定

以 95% 乙醇为萃取剂,在萃取次数 1 次,萃取温度 60℃,萃取时间 30 min,卵磷脂添加量 0.01%,料液比分别为 1:1、1:1.5、1:2、1:2.5、1:3 条件下,考察料液比对脱酸脱蜡效果的影响,结果见图 2。

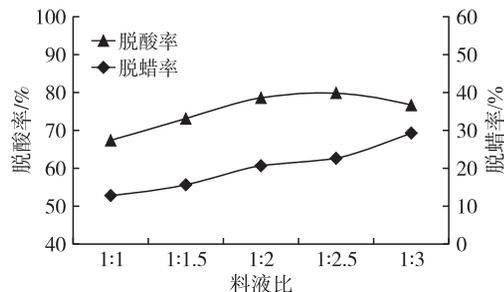


图 2 料液比对脱酸脱蜡效果的影响

由图 2 可知:当料液比从 1:1 增加到 1:2 时,米糠油酸值逐渐下降,脱酸率逐渐上升,这是因为溶剂的增多,加大了其与油中游离脂肪酸接触的机会,更多的游离脂肪酸溶解在 95% 乙醇中而被萃取出来;继续增加料液比到 1:3,脱酸率变化不大,这可能是游离脂肪酸与 95% 乙醇相互溶解达到饱和状态。脱蜡率随着 95% 乙醇用量的增加而增大。综合考虑溶剂回收、成本等问题,确定 1:2 为最合适的料液比。

2.2.3 萃取时间的确定

以 95% 乙醇为萃取剂,在萃取次数 1 次,料液比 1:3,卵磷脂添加量 0.01%,萃取温度 60℃,萃取时间分别为 10、20、30、40、50 min 条件下,考察萃取时间对脱酸脱蜡效果的影响,结果见图 3。

由图 3 可知:萃取时间从 10 min 延长到 30 min,米糠油酸值逐渐下降,脱酸率增大,这可能是因

为萃取时间的延长,增加了95%乙醇与游离脂肪酸的接触时间,两者溶解更充分,分离出的游离脂肪酸更多;当萃取时间大于30 min时,脱酸率小幅下降,这可能是随着时间推移,溶剂挥发掉了一部分,脱酸效果下降。同样,延长萃取时间,米糠蜡脱除得更彻底,但萃取时间过长溶剂挥发,脱蜡效果反而下降。综合考虑,萃取时间为30 min最佳。

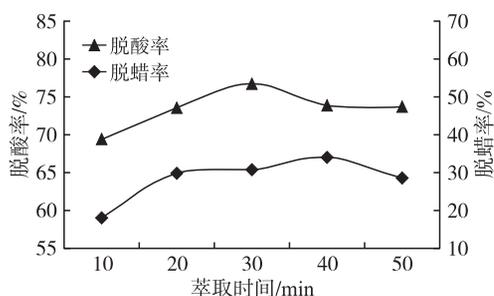


图3 萃取时间对脱酸脱蜡效果的影响

2.2.4 萃取温度的确定

以95%乙醇为萃取剂,在萃取次数1次,萃取时间20 min,卵磷脂添加量0.01%,料液比1:2,萃取温度分别为20、30、40、50、60℃条件下,考察萃取温度对脱酸脱蜡效果的影响,结果见图4。

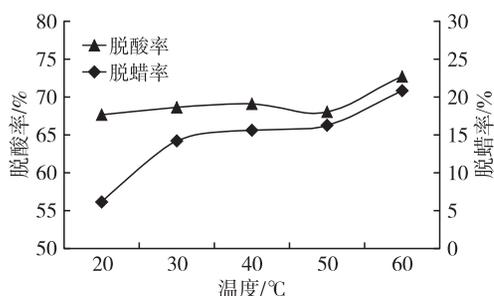


图4 萃取温度对脱酸脱蜡效果的影响

由图4可知:升高萃取温度,米糠油酸值逐渐降低,脱酸率增大,这可能是因为高温增加分子内能,内能增加进一步加速分子运动,游离脂肪酸更多更快地溶解在95%乙醇中从而被萃取出来;同时,萃取温度升高,米糠油中的蜡含量逐渐下降,脱蜡率升高,这可能是因为卵磷脂在95%乙醇中溶解会形成胶束,升高温度,胶束临界浓度上升,60℃时脱蜡效果最好,此时Krafft点是60℃。综合考虑,60℃为最佳萃取温度。

2.2.5 萃取次数的确定

在萃取温度60℃,卵磷脂添加量0.01%,萃取时间30 min,料液比1:2,萃取次数分别为1、2、3、4、5次条件下,考察萃取次数对脱酸脱蜡效果的影响,结果见图5。

由图5可知:随着萃取次数的增多,脱酸率增大,萃取4次后,脱酸率变化不大;随着萃取次数的

增多,脱蜡率逐渐上升,萃取3次后,脱蜡率上升幅度增大,萃取4次后脱蜡率变化不大。95%乙醇pH约为4.6,溶液偏酸性,谷维素不溶于酸性乙醇中^[22],溶剂的介电常数与游离脂肪酸的介电常数接近,与油脂和谷维素的介电常数相差较大,所以能有效降低米糠油的酸值;而米糠蜡的介电常数与95%乙醇的介电常数相差较远,其脱蜡效果不佳,需多次脱蜡,因此在萃取过程中添加卵磷脂,使之溶解在95%乙醇中形成胶束,脱除米糠蜡^[23-24]。游离脂肪酸的溶解量要高于蜡的溶解量,萃取多次后米糠油中游离脂肪酸变少,这也增加了95%乙醇溶解米糠蜡的能力。综合考虑溶剂的萃取效果、损耗和回收,萃取3次最佳。

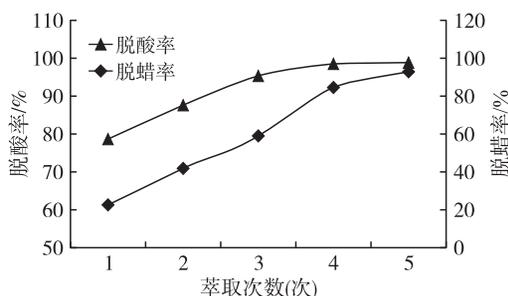


图5 萃取次数对脱酸脱蜡效果的影响

2.3 正交试验

在单因素试验基础上,选取五因素四水平 $L_{16}(4^5)$ 正交试验设计并优化高酸值米糠油同步脱酸脱蜡工艺条件,正交试验因素水平见表2,正交试验设计及结果见表3。

表2 正交试验因素水平

水平	A 卵磷脂添加量/%	B 料液比	C 萃取时间/min	D 萃取温度/℃	E 萃取次数(次)
1	0.05	1:1.0	20	30	1
2	0.10	1:1.5	30	40	2
3	0.15	1:2.0	40	50	3
4	0.20	1:2.5	50	60	4

从表3可知,各因素对脱酸脱蜡效果的影响从大到小依次为萃取次数、料液比、卵磷脂添加量、萃取温度和萃取时间。最佳工艺条件为 $A_3B_4C_3D_4E_4$,即卵磷脂添加量0.15%,料液比1:2.5,萃取时间40 min,萃取温度60℃,萃取次数4次。在最佳工艺条件下做3次平行试验,米糠油平均脱酸率和平均脱蜡率分别为99.45%、99.86%,平均精炼得率为65.67%,谷维素、植物甾醇和维生素E保留率分别为87.88%、97.64%和95.15%。表明经过优化的米糠油同步脱酸脱蜡工艺具有良好的游离脂肪酸及米糠蜡脱除效果和营养物质保留效果。

表3 正交试验设计及结果

试验号	A	B	C	D	E	脱酸率/%	脱蜡率/%	脱酸率隶属度	脱蜡率隶属度	综合分数
1	1	1	1	1	1	55.85	8.78	0.00	0.00	0.00
2	1	2	2	2	2	80.85	41.54	0.58	0.36	0.45
3	1	3	3	3	3	94.43	81.87	0.90	0.81	0.85
4	1	4	4	4	4	98.75	98.96	1.00	1.00	1.00
5	2	1	2	3	4	90.62	90.23	0.81	0.90	0.87
6	2	2	1	4	3	92.88	90.25	0.86	0.90	0.89
7	2	3	4	1	2	85.19	47.75	0.68	0.43	0.53
8	2	4	3	2	1	75.20	38.45	0.45	0.33	0.38
9	3	1	3	4	2	81.68	48.88	0.60	0.44	0.51
10	3	2	4	3	1	70.32	30.78	0.34	0.24	0.28
11	3	3	1	2	4	98.11	98.21	0.99	0.99	0.99
12	3	4	2	1	3	94.81	96.35	0.91	0.97	0.95
13	4	1	4	2	3	88.77	72.59	0.77	0.71	0.73
14	4	2	3	1	4	96.12	93.13	0.94	0.94	0.94
15	4	3	2	4	1	74.99	35.84	0.45	0.30	0.36
16	4	4	1	3	2	88.69	58.36	0.77	0.55	0.64

综合分数

k_1	0.57	0.53	0.63	0.60	0.25
k_2	0.67	0.64	0.66	0.64	0.53
k_3	0.68	0.68	0.67	0.66	0.85
k_4	0.67	0.74	0.64	0.69	0.95
R	0.11	0.21	0.04	0.09	0.70

注:脱酸率隶属度 = $\frac{\text{脱酸率} - \text{脱酸率最小值}}{\text{脱酸率最大值} - \text{脱酸率最小值}}$; 脱蜡率隶属度 = $\frac{\text{脱蜡率} - \text{脱蜡率最小值}}{\text{脱蜡率最大值} - \text{脱蜡率最小值}}$; 综合分数 = $0.4 \times \text{脱酸率隶属度} + 0.6 \times \text{脱蜡率隶属度}$ 。

3 结论

以95%乙醇为萃取剂,对高酸值米糠油进行同步脱酸脱蜡,采用单因素试验考察了卵磷脂添加量、料液比、萃取次数、萃取温度、萃取时间对米糠油脱酸脱蜡效果的影响,在此基础上采用正交试验进行条件优化,得到最佳工艺条件为:料液比1:2.5,萃取次数4次,萃取温度60℃,卵磷脂添加量0.15%,萃取时间40 min。在最佳工艺条件下,米糠油的脱酸率为99.45%,脱蜡率为99.86%,精炼得率为65.67%,维生素E保留率为95.15%,谷维素保留率为87.88%,植物甾醇保留率为97.64%。该工艺的精炼得率较低,有待于在以后的研究中改进,但脱酸脱蜡效果好,营养成分保留率较高,醇相分离物可进一步综合利用,前景广阔,为高酸值米糠油工业生产提供了理论依据。

参考文献:

- [1] 刘靖. 食品生物化学[M]. 北京:中国农业出版社, 2007:52-54.
- [2] LIU R J, LIU R R, SHI L, et al. Effect of refining process on physicochemical parameters, chemical compositions and in vitro antioxidant activities of rice bran oil[J]. LWT - Food Sci Technol, 2019, 109: 26-32.
- [3] PATEL M, NAIK S N. Gamma-oryzanol from rice bran oil: a review[J]. J Entific Ind Res, 2004, 63(7):569-578.
- [4] 张松涛, 杨振娟, 徐子谦, 等. 稻米油脱酸工艺的选择和产品方案的设计[J]. 中国油脂, 2005, 30(10): 45-46.
- [5] HEGSTED M, WINDHAUSER M M, MORRIS S K, et al. Stabilized rice bran and oat bran lower cholesterol in humans[J]. Nutr Res, 1993, 13(4):387-398.
- [6] RAO Y P C, SUGASINI D, LOKESH B R. Dietary gamma

- oryzanol plays a significant role in the anti-inflammatory activity of rice bran oil by decreasing pro-inflammatory mediators secreted by peritoneal macrophages of rats[J]. *Biochem Biophys Res Commun*, 2016, 479(4): 747-752.
- [7] WILSON T A, NICOLOSI R J, WOOLFREY B, et al. Rice bran oil and oryzanol reduce plasma lipid and lipoprotein cholesterol concentrations and aortic cholesterol ester accumulation to a greater extent than ferulic acid in hypercholesterolemic hamsters[J]. *J Nutr Biochem*, 2007, 18(2):105-112.
- [8] KAIMAL T N B, VALI S R, RAO B V S K, et al. Origin of problems encountered in rice bran oil processing[J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2015, 104(4):203-211.
- [9] 何东平. 油脂精炼与加工工艺学[M]. 北京:化学工业出版社,2005:40-67.
- [10] SINGH S, SINGH R P. Deacidification of high free fatty acid-containing rice bran oil by non-conventional reesterification process[J]. *J Oleo Sci*, 2009, 58(2): 53-56.
- [11] 刘健,汪涛,胡雷雨,等. 高酸值米糠油色泽与精炼工艺条件的相关性研究[J]. *农业科技与装备*, 2018(2): 40-41,43.
- [12] 谢莹. 米糠油制取及精炼工艺的研究[D]. 长沙:中南林业科技大学, 2013.
- [13] HOED V V, DDPAMELAERE G, AYALA J V, et al. Influence of chemical refining on the major and minor components of rice brain oil[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2006, 83(4):315-321.
- [14] 柴杰,薛雅琳,金青哲,等. 葵花籽油中蜡含量测定[J]. *中国油脂*, 2015,40(12):92-95.
- [15] BAÜMLER E, CARELLI A A, CECI L N. Improved method for the determination of wax esters in vegetable oils[J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2012,114(11):1312-1319.
- [16] MARTINI S, AN M C. Determination of wax concentration in sunflower seed oil[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2000,77(10):1087-1093.
- [17] MORRISON W H. Rapid determination of wax in sunflower seed oil[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1982,59(7):284-285.
- [18] 梅方义. 卵磷脂非离子表面活性剂混合胶束的制备及性质研究[D]. 江苏 无锡:江南大学,2012.
- [19] 何东平. 米糠加工技术[M]. 北京:中国轻工业出版社,2014:218-220.
- [20] 蒋庆哲. 表面活性剂与应用[M]. 北京:中国石化出版社,2006:334-356.
- [21] SUN Y, BAI S, GU L, et al. Effect of hexanol as a cosolvent on partitioning and mass transfer rate of protein extraction using reversed micelles of CB-modified lecithin[J]. *Biochem Eng J*, 1999,3(1):9-16.
- [22] 张云霞,刘敦华. 谷维素在功能性食品中的开发应用[J]. *粮油加工*,2008(5):106-110.
- [23] 胡立志,朱秀清,冯晓,等. 食用油和脂肪酸的介电特性[J]. *食品工业科技*,2010(12):82-86.
- [24] 张春娥,薛文通,张泽俊,等. 食用植物油介电特性的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2011(1):349-352.

(上接第6页)

统计资料中,2019年加工能力为年处理油料16862.8万t,全年处理油料合计为8327.1万t,这与油脂界常用的全国油料处理能力约为2.5亿t相比存在约1/3的差距。与此同时,2019年我国进口各类油料合计为9330.8万t,我国国产油料产量为6570.4万t(含油茶籽),其中约有4000万t用于榨油,连同进口油料全年需要处理的油料约为1.3亿t,所以统计中的油料处理量约占实际处理量的

2/3,也有约1/3的差距。另外,小麦粉加工、大米加工统计数据也存在同样的情况,2019年我国生产小麦13360万t,进口小麦349万t,合计13709万t,而统计资料中当年只处理小麦9756.3万t;2019年我国稻谷产量为20961万t,统计资料中当年处理稻谷11213.1万t,与实际存在差距。对此,建议在使用这些数据时,要适当加以分析,但作者认为上述统计数据都是业内可以分析使用的权威统计数据。