

# 制油工艺对油脂品质的影响研究

赵丹,汪学德,张润阳,马宇翔

(河南工业大学粮油食品学院,郑州450001)

**摘要:**以芝麻、花生、油茶籽、油菜籽为原料,通过热榨工艺与冷榨工艺制取油脂,比较分析不同工艺制取油脂的基本理化指标、主要脂肪酸组成及含量、总酚含量、生育酚含量、甾醇含量。结果表明:不同制油工艺对4种原料制取的油脂的基本理化指标及主要脂肪酸组成及含量没有明显影响;热榨菜籽油、热榨芝麻油、热榨花生油、热榨油茶籽油的总酚含量分别是冷榨工艺的4.76、2.08、2.99、1.17倍;冷榨花生油、冷榨油茶籽油、冷榨芝麻油、冷榨菜籽油的生育酚含量分别是热榨工艺的1.19、1.17、1.12、1.07倍;冷榨芝麻油、冷榨花生油、冷榨油茶籽油、冷榨菜籽油中甾醇含量分别是热榨工艺的1.21、1.29、1.27、1.20倍。

**关键词:**热榨油;冷榨油;品质;分析

中图分类号:TS225.1;TS224 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2018)06-0011-05

## Effect of oil preparation process on oil quality

ZHAO Dan, WANG Xuede, ZHANG Runyang, MA Yuxiang

(College of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** With sesame, peanut, oil-tea camellia seed and rapeseed as raw materials, oils were extracted by hot pressing process and cold pressing process, and the basic physicochemical indexes, composition and contents of main fatty acids, polyphenol content, tocopherol content and sterol content of the oils were compared and analyzed. The results showed that different preparation processes had no significant effect on the composition and contents of main fatty acids and basic physicochemical indexes of oils extracted from the four materials. The contents of polyphenols in hot pressed rapeseed oil, hot pressed sesame oil, hot pressed peanut oil and hot pressed oil-tea camellia seed oil were 4.76, 2.08, 2.99, 1.17 times of the cold pressed oils respectively. The contents of tocopherol in cold pressed peanut oil, cold pressed oil-tea camellia seed oil, cold pressed sesame oil and cold pressed rapeseed oil were 1.19, 1.17, 1.12, 1.07 times of the hot pressed oils respectively. The contents of sterol in cold pressed sesame oil, cold pressed peanut oil, cold pressed oil-tea camellia seed oil and cold pressed rapeseed oil were 1.21, 1.29, 1.27, 1.20 times of the hot pressed oils respectively.

**Key words:** hot pressed oil; cold pressed oil; quality; analysis

随着物质生活水平的提高,人们不再仅仅满足于“吃饱”,越来越多的人开始关注如何吃的好,吃的健康,因此人们把更多的注意力放在油脂的

量营养物质如生育酚、多酚类化合物、甾醇上。经研究发现生育酚具有抗氧化作用,在改善动脉粥样硬化、预防心血管疾病及抑制肿瘤细胞生长方面具有优越的生理功能<sup>[1-3]</sup>。Lenonardis等<sup>[4]</sup>通过检测冷榨葵花籽油的氧化稳定性,证实从葵花籽中提取的酚类化合物可以比BHA更有效地抵制自动氧化。Vuorela等<sup>[5]</sup>从菜籽粕中提取出酚类化合物并证实这些酚类化合物对DPPH自由基清除率超过60%,也可抑止超过90%正己醛和超过80%氢过氧化物的形成。植物甾醇主要包括 $\beta$ -谷甾醇、菜油甾醇、

收稿日期:2017-07-17;修回日期:2018-02-11

基金项目:国家现代农业产业技术体系建设项目(CARS14-1-29)

作者简介:赵丹(1991),女,在读硕士,研究方向为油脂加工与制取(E-mail)314716193@qq.com。

通信作者:汪学德,教授,博士(E-mail)13903865584@126.com。

菜籽甾醇及豆甾醇,食用植物油是人类获取植物甾醇的主要来源之一<sup>[6]</sup>。国内外大量临床研究表明植物甾醇具有抗氧化、消炎、预防冠状动脉粥样硬化性心脏病等作用<sup>[7]</sup>。我国传统的油料作物制油工艺常见的有热榨法和溶剂萃取法,但是高温高压条件下会导致油脂中营养物质如生育酚、甾醇的损失,溶剂萃取也会导致油脂中溶剂残留。冷榨制油技术是指在低于 85℃ 的温度下借助机械外力的作用将油脂从未经蒸炒的油料中挤压出来的技术<sup>[8]</sup>。低温压榨和低温冷滤生产工艺能够最大限度保留油脂中的营养成分,所得油脂营养、健康。本试验选取芝麻、花生、油菜籽、油茶籽这 4 种常见的原料,分别采取冷榨制油、热榨制油,旨在对比不同工艺制取油脂间的营养物质含量如生育酚、甾醇、总酚含量等,为大众选择油脂提供技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

#### 1.1.1 原料与试剂

未脱皮芝麻为郑芝 HL03,来自河南省农业科学院;花生购买于郑州丹尼斯科学大道店;油菜籽购买于油料供应商,产地为陕西汉中;油茶籽购买于油料供应商,产地为江西。冷榨油是将上述原料筛选之后,直接用液压榨油机压榨出油,所得毛油离心、抽滤所得;热榨芝麻油和热榨花生油是将筛选后的原料水分调制为 10%,200℃ 焙炒 25~30 min 后用液压榨油机压榨出油,所得毛油经离心、抽滤所得;热榨菜籽油和热榨油茶籽油是将筛选后的原料在 100℃ 焙炒 20 min,边炒边加入 10% 热水,后趁热液压榨油,所得毛油经离心、抽滤所得。

$\alpha$ -TP、 $\beta$ -TP、 $\gamma$ -TP、 $\delta$ -TP 标准品,纯度  $\geq 99\%$ ,Sigma-Aldrich 公司;吡啶、三甲基氯硅烷(TMCS)、胆甾醇标准品,Sigma-Aldrich 公司;福林酚试剂,国药集团化学试剂有限公司;无水乙醚,95%乙醇,酚酞指示剂,三氯甲烷,冰乙酸,淀粉指示剂,硫代硫酸钠,碘化钾,三氟化硼,甲醇(分析纯),氯化钠,无水硫酸钠,碳酸钠,正己烷(色谱纯),异丙醇,氢氧化钾,无水乙醇。

#### 1.1.2 仪器与设备

AL204 分析天平:梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;LD5-10 低速离心机:北京京立离心机有限公司;7890B 气相色谱仪:安捷伦科技有限公司;2695 高效液相色谱仪:美国 Waters 公司;7890A/5975C 气相色谱-质谱联用仪:美国安捷伦公司。

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 基本理化指标的测定

酸值测定参照 GB 5009.229—2016;过氧化值测定参照 GB 5009.227—2016;碘值测定参照 GB/T 5532—2008;折光指数测定参照 GB/T 5527—2010;气味、滋味、透明度测定参照 GB/T 5525—2008。

### 1.2.2 脂肪酸组成分析

脂肪酸甲酯的制备参照 GB/T 17376—2008/ISO5509:2000 中三氟化硼法。取约 350 mg 的油于烧瓶中,加入 6 mL 氢氧化钠甲醇溶液,连接回流装置,当溶液变透明时,加 7 mL 三氟化硼甲醇溶液回流 1 min,再加正己烷回流约 1 min,撤离火源,向烧瓶中加入一定量的饱和氯化钠溶液,静置分层后,取上层液至试管中,加适量的无水硫酸钠除水,取上清液用于气相色谱分析。

气相色谱条件:HP-88 色谱柱(100 m  $\times$  250  $\mu$ m  $\times$  0.2  $\mu$ m);载气流速分别为 N<sub>2</sub> 1 mL/min, H<sub>2</sub> 30 mL/min,空气 400 mL/min;分流比 50:1;进样口温度 250℃,检测器温度 300℃;程序升温为初温 170℃,以 4℃/min 升温至 220℃,再以 1℃/min 升温至 240℃,整个程序需要时间为 32.5 min。

### 1.2.3 油脂中总酚提取与测定

焦性没食子酸标准曲线制作:精确称取没食子酸标准品 25.0 mg,用水溶解并定容至 250 mL 棕色容量瓶中,得 0.1 mg/mL 标准溶液。精确吸取标准溶液 0.0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6 mL 于 10 mL 棕色容量瓶中,再加入 1 mL 稀释的福林酚试剂,加入 3 mL 10% 碳酸钠溶液混匀后,加入纯净水定容至 10 mL 容量瓶,室温下避光放置 2 h,765 nm 测吸光度,以焦性没食子酸质量浓度( $x$ )为横坐标,吸光度( $y$ )为纵坐标绘制标准曲线,得焦性没食子酸的标准曲线方程: $y = 0.1183x + 0.0619$ ,  $R^2 = 0.9992$ 。

油样中总酚含量的测定参照黄丽等<sup>[9]</sup>的方法并加以改进:称取约 1 g 的油样,用 70% 的甲醇溶液提取,5 min 涡旋、5 min 超声、5 min 冷藏、4 000 r/min 离心 5 min 后取上清液至 10 mL 容量瓶中,重复上述过程 3 次,最后用 70% 的甲醇溶液定容。分别加入 1 mL 提取液、1 mL 稀释的福林酚试剂、3 mL 10% 碳酸钠溶液,最后加纯净水至 10 mL 容量瓶中定容,室温下避光放置 2 h,765 nm 测吸光度,根据标准曲线方程计算出总酚含量。

### 1.2.4 油脂中生育酚含量测定

生育酚标准曲线制作:将配制的  $\alpha$ -TP、 $\beta$ -

TP、 $\gamma$ -TP、 $\delta$ -TP 标准品溶液分别倒入液相小瓶,经 HPLC 分析,以峰面积( $y$ )为纵坐标,各标准品溶液的质量浓度( $x$ )为横坐标绘制标准曲线,得出各标准曲线的回归方程, $\alpha$ -生育酚: $y = 10\ 878\ 392.54x + 25\ 258\ 218.19$ ,  $R^2 = 0.999\ 3$ ;  $\beta$ -生育酚: $y = 20\ 061\ 004.12x + 21\ 951\ 849$ ,  $R^2 = 0.999\ 5$ ;  $\gamma$ -生育酚: $y = 17\ 790\ 996.90x + 32\ 591\ 518.63$ ,  $R^2 = 0.999\ 3$ ;  $\delta$ -生育酚: $y = 24\ 856\ 259.81x + 25\ 092\ 823.18$ ,  $R^2 = 0.999\ 5$ 。

样品前处理方法参照 GB/T 26635—2011 并参考文献[10]:准确称取 0.5 g 油样于 10 mL 容量瓶中,正己烷溶解,超声定容,静置后,取上清液过 0.22  $\mu\text{m}$  有机滤膜用于液相分析。采用 HPLC 色谱仪和荧光检测器进行检测。色谱条件:RF-10AXL 荧光检测器;大连依利特  $\text{NH}_2$  色谱柱(250 mm  $\times$  4.6 mm, 5  $\mu\text{m}$ );流动相为正己烷-异丙醇(体积比 99:1);流速 0.8 mL/min;柱温 40  $^\circ\text{C}$ ;激发波长 298 nm;发射波长 325 nm;进样量 1  $\mu\text{L}$ 。

### 1.2.5 油脂中甾醇含量测定

参照 GB/T 25223—2010/ISO12228:1999 并加以改进:准确称取 0.5 g 油样于锥形瓶中,加入 2 mol/L 氢氧化钾无水乙醇溶液 8.5 mL,剧烈振摇 30 s,在 80  $^\circ\text{C}$  下皂化 3.5 h,正己烷萃取,合并萃取液,在 40  $^\circ\text{C}$  下旋转蒸发除去溶剂。点样于已烘干的硅胶板上展开,刮下条带于玻璃管中,10 mL 的无水乙醚萃取 3 次,合并乙醚萃取液并旋干。加入 0.8 mL 吡啶和 0.2 mL TMCS,密封反应瓶,置于 105  $^\circ\text{C}$  烘箱中加热 15 min,取出冷却至室温后,氮气吹干,0.5 mL 正己烷溶解,进气相色谱仪分析。

气相色谱条件:HP-5 毛细管色谱柱;进样口温度 300  $^\circ\text{C}$ ;载气为高纯氮气;分流比 20:1;流速 1.0 mL/min;升温程序为 285  $^\circ\text{C}$  保持 30 min,10  $^\circ\text{C}/\text{min}$  升至 300  $^\circ\text{C}$ ,保持 5 min;FID 检测器温度 360  $^\circ\text{C}$ ;进样量 1  $\mu\text{L}$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同工艺所得油脂基本理化指标(见表 1)

表 1 不同工艺所得油脂的基本理化指标

油样	折光指数( $n_{20}^D$ )	碘值(I)/(g/100 g)	酸值(KOH)/(mg/g)	过氧化值/(mmol/kg)	气味、滋味	透明度(20 $^\circ\text{C}$ , 24 h)
冷榨芝麻油	1.469(1.465 ~ 1.469)	110(104 ~ 120)	0.4( $\leq 2.0$ )	1.8( $\leq 6.0$ )	具有生芝麻油固有的气味和滋味,无异味	澄清、透明
热榨芝麻油	1.469	109	0.4	2.4	具有热榨芝麻油固有的气味和滋味,无异味	澄清、透明
冷榨花生油	1.463(1.460 ~ 1.465)	97(86 ~ 107)	0.6( $\leq 1.0$ )	1.1( $\leq 6.0$ )	具有生花生油固有的气味和滋味,无异味	澄清、透明
热榨花生油	1.463	97	0.9	3.6	具有热榨花生油固有的气味和滋味,无异味	澄清、透明
冷榨油茶籽油	1.464(1.460 ~ 1.464)	83(83 ~ 89)	0.5( $\leq 1.0$ )	5.4( $\leq 6.0$ )	具有油茶籽油固有的气味和滋味,无异味	澄清、透明
热榨油茶籽油	1.464	83	0.7	6.0	具有油茶籽油固有的气味和滋味,无异味	澄清、透明
冷榨菜籽油	1.469(1.465 ~ 1.469)	109(94 ~ 120)	0.6( $\leq 3.0$ )	1.7( $\leq 6.0$ )	具有菜籽油固有的气味和滋味,无异味	澄清、透明
热榨菜籽油	1.468	110	0.7	3.4	具有菜籽油固有的气味和滋味,无异味	澄清、透明

注:括号内的数值为国标值。

由表 1 可以看出,4 种原料制取的 8 种油脂碘值、酸值、过氧化值、折光指数均在国标范围内;透明度均显示澄清、透明;只是冷榨油的色泽较浅、风味清新,热榨油颜色较深、香味浓郁;由于热榨油是经过原料高温焙炒、高温压榨制取的,因此油脂易发生氧化反应导致其过氧化值升高,均大于冷榨油的过氧化值。

### 2.2 不同工艺所得油脂中主要脂肪酸组成(见表 2)

由表 2 可以看出,同一原料热榨油和冷榨油

的主要脂肪酸组成变化不大,说明制油工艺对主要脂肪酸的组成没有明显影响,这与陈兴誉<sup>[11]</sup>的研究结果相符合,但热榨油的不饱和脂肪酸含量均略低于冷榨油的不饱和脂肪酸含量(芝麻油除外)。通过表 2 还可以看出,芝麻油和花生油的不饱和脂肪酸中,油酸和亚油酸含量最高;油茶籽油和菜籽油的不饱和脂肪酸中,油酸含量最高。

表2 不同工艺所得油脂的主要脂肪酸组成

油样	棕榈酸	硬脂酸	油酸	亚油酸	亚麻酸	花生酸	不饱和脂肪酸
冷榨芝麻油	9.3	5.1	40.4	43.6	0.5	0.4	84.5
热榨芝麻油	8.9	5.3	40.2	44.3	0.5	0.4	85.0
冷榨花生油	11.7	4.6	43.4	37.2	0	2.0	80.6
热榨花生油	12.5	4.6	43.5	36.5	0	2.0	80.0
冷榨油茶籽油	10.5	1.8	75.5	11.2	0.3	0	87.0
热榨油茶籽油	10.6	1.8	75.2	11.1	0.3	0	86.6
冷榨菜籽油	3.8	2.2	64.4	17.5	9.0	2.0	90.9
热榨菜籽油	4.0	2.2	64.4	17.2	8.9	1.8	90.5

## 2.3 不同工艺所得油脂中总酚含量(见表3)

表3 不同工艺所得油脂中总酚含量  $\mu\text{g/g}$ 

油样	总酚含量	油样	总酚含量
热榨芝麻油	29.13	热榨油茶籽油	9.86
冷榨芝麻油	13.98	冷榨油茶籽油	8.42
热榨花生油	12.84	热榨菜籽油	38.10
冷榨花生油	4.30	冷榨菜籽油	8.01

由表3可以看出,热榨菜籽油的总酚含量最高;热榨工艺制取油脂中的总酚含量均高于其冷榨工艺制取油脂中的总酚含量,其中热榨工艺中菜籽油、芝麻油、花生油、油茶籽油的总酚含量分别是冷榨工艺的4.76、2.08、2.99、1.17倍,说明对原料经过适当的加热处理,油脂中的总酚类物质含量呈增加趋势,与李志晓等<sup>[12]</sup>对油茶籽油的研究结果一致。

## 2.4 不同工艺所得油脂中生育酚含量(见表4)

8种油脂中均只含有生育酚,不含有生育三烯酚。由表4可以看出,8种油脂中生育酚组分存在差异。芝麻油中仅含有 $\gamma$ -TP,油茶籽油和菜籽油

表5 不同工艺所得油脂中甾醇含量

油样	菜籽甾醇	菜油甾醇	豆甾醇	谷甾醇	总量
热榨芝麻油	n. d.	1 193.45	198.91	1 503.34	2 895.70
冷榨芝麻油	n. d.	862.77	259.04	2 390.43	3 512.24
热榨花生油	n. d.	142.43	657.45	441.05	1 240.93
冷榨花生油	n. d.	280.40	178.52	1 139.68	1 598.60
热榨油茶籽油	n. d.	95.10	88.69	1 623.36	1 807.15
冷榨油茶籽油	n. d.	117.43	43.55	2 140.40	2 301.38
热榨菜籽油	490.91	1 954.21	97.71	2 802.93	5 345.76
冷榨菜籽油	626.81	2 429.98	44.84	3 333.47	6 435.10

由表5可以看出,除热榨花生油外,谷甾醇在各植物油中含量最高;菜籽甾醇只存在于菜籽油中;同一原料热榨工艺制取油脂所得的甾醇含量均低于冷榨工艺中的甾醇含量,其中冷榨工艺中芝麻油、花生油、油茶籽油、菜籽油中甾醇含量分别是热榨工艺的1.21、1.29、1.27、1.20倍,这是因为植物甾醇在高温环境或者光照等条件下容易发生氧化,生成甾醇

中含有 $\alpha$ -TP、 $\gamma$ -TP、 $\delta$ -TP,花生油中含有 $\alpha$ -TP、 $\beta$ -TP、 $\gamma$ -TP、 $\delta$ -TP;4种原料中,热榨工艺制取的油脂中生育酚含量均低于冷榨工艺制取油脂中生育酚含量,其中冷榨工艺中花生油、油茶籽油、芝麻油、菜籽油的生育酚含量分别是热榨工艺中的1.19、1.17、1.12、1.07倍,说明生育酚对光和热较敏感,易发生氧化分解和聚合<sup>[13]</sup>。

表4 不同工艺所得油脂中生育酚含量  $\mu\text{g/g}$ 

油样	$\alpha$ -TP	$\beta$ -TP	$\gamma$ -TP	$\delta$ -TP	总量
冷榨芝麻油	n. d.	n. d.	470.19	n. d.	470.19
热榨芝麻油	n. d.	n. d.	419.54	n. d.	419.54
冷榨花生油	171.05	14.58	137.73	17.38	340.74
热榨花生油	138.09	18.70	125.33	3.85	285.97
冷榨油茶籽油	203.91	n. d.	6.31	2.41	212.63
热榨油茶籽油	169.52	n. d.	10.00	2.01	181.53
冷榨菜籽油	167.91	n. d.	470.23	18.06	656.20
热榨菜籽油	150.50	n. d.	451.67	8.91	611.08

## 2.5 不同工艺所得油脂中甾醇含量(见表5)

氧化物<sup>[14]</sup>。

## 3 结论

(1)同一原料热榨油和冷榨油的基本理化指标变化不明显,主要脂肪酸的组成变化也不明显。

(2)4种原料中,热榨工艺制取油脂中的总酚含量均高于冷榨工艺制取油脂中的总酚含量,其中热榨工艺中菜籽油、芝麻油、花生油、油茶籽油的总酚

含量分别是冷榨工艺的4.76、2.08、2.99、1.17倍。

(3)4种原料制得的8种油脂中生育酚组分和含量有差异,其中冷榨工艺中花生油、油茶籽油、芝麻油、菜籽油的生育酚含量分别是热榨工艺中生育酚含量的1.19、1.17、1.12、1.07倍。

(4)同一原料热榨工艺制取油脂中的甾醇含量均低于冷榨工艺中的甾醇含量,其中冷榨工艺中芝麻油、花生油、油茶籽油、菜籽油中甾醇含量分别是热榨工艺的1.21、1.29、1.27、1.20倍。

#### 参考文献:

- [1] 刘慧坤, 孙文广, 陈炳卿. 生育三烯酚抗肿瘤作用研究进展[J]. 毒理学杂志, 2008, 22(5):392-394.
- [2] WADA S, SATOMI Y, MURAKOSHI M, et al. Tumor suppressive effects of tocotrienol in vivo and in vitro [J]. *Cancer Lett*, 2005, 229(2):181-191.
- [3] 刘玉兰, 王莹辉, 张振山, 等. 4种油脂煎炸过程中维生素E组分含量变化的研究[J]. 中国油脂, 2015, 40(12):48-52.
- [4] LENONARDIS D A, MACCIOLA V, ROCCO D A. Oxidative stabilization of cold - pressed sunflower oil using phenolic compounds of the same seeds[J]. *J Sci Food Agric*, 2003, 83(6):523-528.
- [5] VUORELA S, MEYER A S, HEINONEN M. Impact of isolation method on the antioxidant activity of rapeseed meal phenolics [J]. *J Agric Food Chem*, 2004, 52(26):8202-8207.
- [6] 王素君, 李培武, 张良晓, 等. 超声波辅助提取植物油中甾醇和生育酚[J]. 中国油料作物学报, 2016, 38(3):373-378.
- [7] RAICHT R F, COHEN B I, FAZZINI E P, et al. Protective effect of plant sterols against chemically induced colon tumors in rats[J]. *Cancer Res*, 1980, 40(2):403-405.
- [8] 赵瑞, 郑阳, 张武平, 等. 冷榨法制取葡萄籽油的最好工艺条件研究[J]. 北京农学院学报, 2009, 24(3):59-62.
- [9] 黄丽, 於洪建, 吴巍, 等. 枸杞多酚提取物中总多酚的测定[J]. 药物评价研究, 2012, 35(4):273-275.
- [10] 刘玉兰, 彭团儿, 马宇翔. 米糠油及其脱臭馏出物中生育酚和生育三烯酚的分析检测[J]. 中国油脂, 2010, 35(3):70-74.
- [11] 陈兴誉. 油茶籽油三种不同制油方法比较研究[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学, 2011.
- [12] 李志晓, 金青哲, 叶小飞, 等. 制油工艺对油茶籽油品质的影响[J]. 中国油脂, 2015, 40(4):47-51.
- [13] 谷克仁, 梁少华. 植物油料资源综合利用[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2001.
- [14] 郭锐, 庞敏, 操丽丽, 等. 甾醇在油炸过程中迁移规律的研究[J]. 农产品加工, 2017(6):1-5.
- [9] 范国欣, 孙晓薇, 潘希荣. 米糠油中谷维生素含量的测定[J]. 粮油食品科技, 2010, 18(1):20-21.
- [10] 林丹, 吴雪辉, 杨公明. 米糠油氧化稳定性研究及货架期预测[J]. 现代食品科技, 2012, 28(10):1323-1326.
- [11] LOYPIMAI P, MOONGNGRAM A, CHOTTANOM P. Impact of stabilization and extraction methods on chemical quality and bioactive compounds of rice bran oil [J]. *Emir J Food Agric*, 2015, 27(11):849-856.
- [12] 李俊杰, 李珂, 莫玉花, 等. 米糠油酸法脱胶工艺及对 $\gamma$ -谷维生素、 $\beta$ -谷甾醇损失的影响研究[J]. 中国油脂, 2017, 42(4):16-31.
- [13] 陆介安. 色拉油磷含量对其品质的影响[J]. 中国油脂, 2004, 29(2):19-20.
- [14] PATEL M, NAIK S N. *Gamma - oryzanol from rice bran oil—a review* [J]. *J Sci Ind Res*, 2004, 63(7):569-578.

(上接第10页)

- [3] 付旭恒, 吴伟, 吴晓娟. 米糠贮藏时间对米糠可溶性膳食纤维抗氧化性质的影响[J]. 中国油脂, 2017, 42(8):32-36.
- [4] KIM S M, CHUNG H J, LIM S T. Effect of various heat treatments on rancidity and some bioactive compounds of rice bran[J]. *J Cereal Sci*, 2014, 60(1):243-248.
- [5] 高洋, 肖志刚, 刘海飞, 等. 全脂米糠过氧化物酶挤压钝化参数研究[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(6):79-86.
- [6] 赵勇, 万辉, 郭善辉. 对米糠油国标酸值等几个指标的探讨[J]. 粮食与食品工业, 2011, 18(3):51-54.
- [7] 刘玉兰, 郑来宁, 王动民, 等. 米糠挤压膨化对其毛油品质及脱色效果的影响[J]. 粮食与油脂, 2015, 28(8):45-49.
- [8] 吴伟, 吴晓娟, 蔡勇建, 等. 米糠贮藏期间米糠球蛋白的结构变化[J]. 食品科学, 2017, 38(1):252-257.