

# 玉米胚芽酶法辅助低温压榨制油工艺优化

赵月<sup>1,2,3</sup>, 胡晓倩<sup>1</sup>, 任健<sup>1,2,3</sup>, 孙洋<sup>1,2,3</sup>

(1. 齐齐哈尔大学食品与生物工程学院, 黑龙江齐齐哈尔 161006; 2. 植物性食品加工技术教育部工程研究中心, 黑龙江齐齐哈尔 161006; 3. 黑龙江省玉米深加工理论与技术重点实验室, 黑龙江齐齐哈尔 161006)

**摘要:**为提升粮食加工副产物玉米胚芽的综合利用价值,以玉米胚芽为原料,以出油率为指标,通过单因素试验和正交试验对玉米油的酶法辅助低温压榨法制取工艺条件进行优化,并对最优条件下制取的玉米油基本理化指标进行分析。结果表明:酶法辅助低温压榨法制取玉米油的最优工艺条件为酶解水分含量12%、纤维素酶添加量0.5%、碱性蛋白酶添加量1.0%、酶解温度45℃、酶解时间6h、压榨温度60℃、压榨压力50MPa、压榨时间60min,在此条件下玉米胚芽的出油率为41.89%,较常规低温压榨的出油率(39.68%)高;所制得的玉米油澄清、透明,呈棕红色,理化指标基本符合三级成品玉米油国家标准。综上,酶法辅助低温压榨工艺可获得品质良好的玉米油,同时出油率较常规低温压榨法有所提高。

**关键词:**玉米胚芽;酶解;低温压榨;出油率;理化指标

中图分类号:TS224.3;TS210.9 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2023)12-0040-05

## Optimization of oil extraction process of enzyme-assisted cold-pressing from corn germ

ZHAO Yue<sup>1,2,3</sup>, HU Xiaolian<sup>1</sup>, REN Jian<sup>1,2,3</sup>, SUN Yang<sup>1,2,3</sup>

(1. College of Food and Bioengineering, Qiqihar University, Qiqihar 161006, Heilongjiang, China; 2. Engineering Research Center of Plant Food Processing Technology of Ministry of Education, Qiqihar 161006, Heilongjiang, China; 3. Key Laboratory of Corn Deep Processing Theory and Technology in Heilongjiang Province, Qiqihar 161006, Heilongjiang, China)

**Abstract:** In order to improve the comprehensive utilization value of corn germ as a by-product of grain processing, the extraction conditions of corn oil by enzyme-assisted cold-pressing method were optimized by single factor test and orthogonal test with corn germ as raw material and oil yield as index, and the basic physicochemical indexes of corn oil prepared under the optimal conditions were analyzed. The results showed that the optimal conditions for extracting corn oil by enzyme-assisted cold-pressing method were as follows: enzymatic hydrolysis water content 12%, cellulase dosage 0.5%, alkaline protease dosage 1.0%, enzymatic hydrolysis temperature 45℃, enzymatic hydrolysis time 6h, pressing temperature 60℃, pressing pressure 50MPa, and pressing time 60min. Under these conditions, the oil yield was 41.89%, which was higher than that of conventional cold-pressing method (39.68%). The corn oil produced was clear, transparent and brown-red, and its physicochemical indexes basically met the national standard of third grade corn oil. In general, the enzyme-assisted cold-pressing method can obtain corn oil with good

quality, and its oil yield is higher than that of conventional cold-pressing method.

**Key words:** corn germ; enzymatic hydrolysis; cold-pressing; oil yield; physicochemical index

收稿日期:2022-11-10;修回日期:2023-08-17

基金项目:黑龙江省省属高校基本科研业务费项目(135409408)

作者简介:赵月(1989),女,讲师,博士,研究方向为粮油深加工及活性天然产物(E-mail) qslzzy@126.com。

通信作者:孙洋,研究实习员,硕士(E-mail) 670107504@qq.com。

黑龙江省是我国玉米种植及加工的主要地区之一,其玉米淀粉和酒精工业生产过程中均有大量副

产物玉米胚芽产出。玉米胚芽脂肪含量高达40%~50%，是一种高含油的油料资源。由玉米胚芽制得的玉米油含有丰富不饱和脂肪酸亚油酸<sup>[1-3]</sup>，还富含多种功能性成分如 $V_E$ 、 $V_A$ 、植物甾醇、磷脂等<sup>[4]</sup>，具有“液体黄金”的美誉。

玉米油的制取方式有压榨法、溶剂萃取法、水酶法等<sup>[5-7]</sup>。压榨法多使用传统热榨，原料经高温处理，而玉米油中的脂肪酸80%以上为不饱和脂肪酸，高温会造成油脂过氧化值升高，影响油脂品质，还会导致玉米胚芽粕利用率低等问题<sup>[8]</sup>。低温压榨由于温度较低可避免高温所带来的不良影响，但具有出油率低、资源利用率低等缺点<sup>[9-11]</sup>。溶剂萃取法虽出油率高，但存在一定的溶剂残留，且需利用高温进行脱除。水酶法目前多应用于实验室研究，酶的大量使用导致经济效益降低，同时带入的大量水分<sup>[12]</sup>为后续油脂精炼带来较大影响。

本研究以玉米胚芽为原料，采用酶法辅助低温压榨的方法制油，即对玉米胚芽进行酶解预处理使其细胞壁被充分破坏，从而后续压榨工艺中促进油脂的流出，同时还可降低传统高温压榨带来的不良影响，以期提升粮食加工副产物玉米胚芽的综合利用价值，提高工业化玉米胚芽制油的出油率及产品品质提供一定的参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

#### 1.1.1 原料与试剂

玉米胚芽，购于山东。纤维素酶(5万U/g)、碱性蛋白酶(20万U/g)，北京索莱宝科技有限公司；石油醚、盐酸、氢氧化钾、乙醇、酚酞指示剂、环己烷、冰乙酸、氯化碘、淀粉指示剂，均为分析纯。

#### 1.1.2 仪器与设备

QYZ-230型自动液压榨油机，山东省泰安市良君益友机械有限公司；HHS-21-4恒温水浴锅，上海博迅实业有限公司医疗设备厂；GZX-9146MBE电热鼓风干燥箱，上海博迅实业有限公司医疗设备厂。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 油料预处理

将玉米胚芽(索氏抽提法测得粗脂肪含量为38.5%)进行清理，除去杂质后破碎，过0.425mm(40目)筛，备用。

#### 1.2.2 酶的活化

用少量蒸馏水分别溶解纤维素酶和碱性蛋白酶，在45℃下预活化30min，再按照一定比例混合、备用。

#### 1.2.3 酶法辅助低温压榨制油

称取1600g玉米胚芽粉，加入一定量活化的酶液，充分混合，同时加入蒸馏水调节水分含量(以干基玉米胚芽粉质量计)至一定值，在45℃下酶解6h，然后采用自动液压榨油机在一定温度、压力下压榨一定时间，收集油脂，过滤后即得玉米原油。按照公式(1)计算出油率(Y)。

$$Y = m_1/m_2 \times 100\% \quad (1)$$

式中： $m_1$ 为玉米原油质量，g； $m_2$ 为玉米胚芽粉中含有的油脂质量，g。

#### 1.2.4 玉米油基本理化指标的测定

水分及挥发物含量测定，参照GB/T 14489.1—2008；酸值测定，参照GB 5009.229—2016；碘值测定，参照GB/T 5532—2008；皂化值测定，参照GB/T 5534—2008；透明度、色泽测定，参照GB/T 5525—2008；折光指数测定，参照GB/T 5527—2010；过氧化值测定，参照GB 5009.227—2016。

#### 1.2.5 数据处理

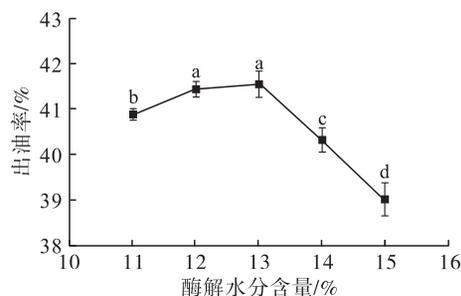
试验均重复3次，采用Origin 8.5软件进行数据分析和绘图，采用SPSS 22.0软件进行方差分析和多重比较分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 酶法辅助低温压榨制油单因素试验

#### 2.1.1 酶解水分含量对出油率的影响

在纤维素酶添加量0.5% (以玉米胚芽粉质量计)、碱性蛋白酶添加量1.0% (以玉米胚芽粉质量计)、压榨温度60℃、压榨压力40MPa、压榨时间60min条件下，考察酶解水分含量对酶法辅助低温压榨玉米胚芽出油率的影响，结果如图1所示。



注：不同小写字母表示有显著差异( $p < 0.05$ )，相同小写字母表示无显著差异( $p > 0.05$ )，下同

图1 酶解水分含量对出油率的影响

由图1可知，随着酶解水分含量的增加，出油率呈先上升后下降的变化趋势，当酶解水分含量为13%时，出油率最高，为41.55%。这是因为在低温压榨过程中，物料水分含量对料饼的可塑性、导热性和组织结构均有一定的影响。水分含量增加会导

致榨料可塑性增大,而榨料具有足够的可塑性后出油率会达到最佳;水分含量继续增加,则很可能会出现团块而导致料饼不能成形,出现榨料被挤出即“突变”的现象;而水分含量过少,榨料多为粉状,呈现松散状态,易焦化堵塞榨腔,不利于出油<sup>[13]</sup>。酶解水分含量为12%和13%时,出油率没有显著差异( $p > 0.05$ )。因此,酶解水分含量选择12%为宜。

### 2.1.2 纤维素酶添加量对出油率的影响

在酶解水分含量12%、碱性蛋白酶添加量1.0%、压榨温度60℃、压榨压力40 MPa、压榨时间60 min条件下,考察纤维素酶添加量对酶法辅助低温压榨玉米胚芽出油率的影响,结果如图2所示。

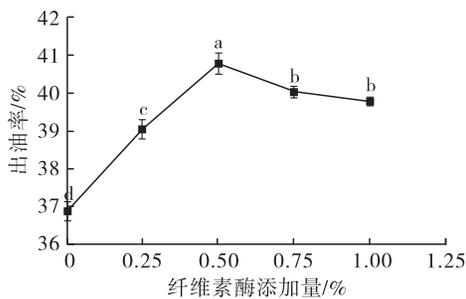


图2 纤维素酶添加量对出油率的影响

由图2可知,随着纤维素酶添加量的增加,出油率呈先上升后下降的变化趋势,在纤维素酶添加量为0.5%时,出油率最高,为40.75%。这是因为纤维素酶可以有效降解细胞壁纤维素骨架,促使油脂排出从而提高出油率,但当纤维素酶过量时,多余的酶反而会覆盖实际参与酶反应的活性中心,降低酶解效率<sup>[14]</sup>,使出油率降低。因此,纤维素酶添加量选择0.5%为宜。

### 2.1.3 碱性蛋白酶添加量对出油率的影响

在酶解水分含量12%、纤维素酶添加量0.5%、压榨温度60℃、压榨压力40 MPa、压榨时间60 min条件下,考察碱性蛋白酶添加量对酶法辅助低温压榨玉米胚芽出油率的影响,结果如图3所示。

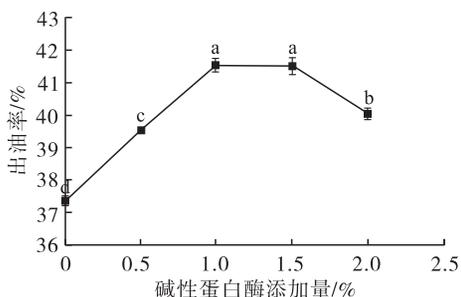


图3 碱性蛋白酶添加量对出油率的影响

由图3可知,随着碱性蛋白酶添加量的增加,出油率呈先上升后平稳再下降的变化趋势,当碱性蛋

白酶添加量为1.0%时,出油率最高,为41.52%。这是因为油脂中蛋白复合体与脂多糖等可以被碱性蛋白酶水解,其组织结构被破坏,使多数油脂以游离态存在,从而有利于提高出油率<sup>[15-16]</sup>。酶添加量过少,复合体水解不充分;酶添加量过多不仅导致生产成本提高,同时导致底物浓度不能满足酶达到其饱和状态,而使酶反应不能被促进反而受到抑制<sup>[14]</sup>。因此,碱性蛋白酶添加量以1.0%为宜。

### 2.1.4 压榨时间对出油率的影响

在酶解水分含量12%、纤维素酶添加量0.5%、碱性蛋白酶添加量1.0%、压榨压力40 MPa、压榨温度60℃条件下,考察压榨时间对酶法辅助低温压榨玉米胚芽出油率的影响,结果如图4所示。

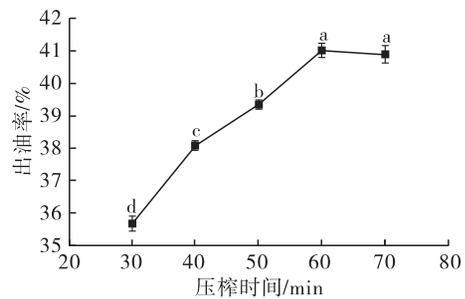


图4 压榨时间对出油率的影响

由图4可知,随着压榨时间的延长,出油率呈先上升后平稳的变化趋势。压榨初期,原料中大量油脂经压榨析出,达到峰值后,出油量变化不大。延长压榨时间,使油料中油脂充分流出,从而可提高出油率;但压榨时间也不宜过长,否则热量损失较多,还会影响生产能力。因此,压榨时间选择60 min为宜。

### 2.1.5 压榨温度对出油率的影响

在酶解水分含量12%、纤维素酶添加量0.5%、碱性蛋白酶添加量1.0%、压榨压力40 MPa、压榨时间60 min条件下,考察压榨温度对酶法辅助低温压榨玉米胚芽出油率的影响,结果如图5所示。

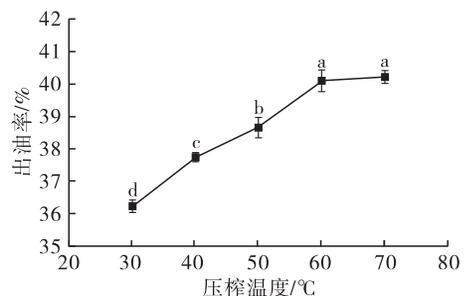


图5 压榨温度对出油率的影响

由图5可知,随着压榨温度的升高,出油率呈先升高后平稳的变化趋势,当压榨温度为60℃时,出油率最高,为40.22%,之后出油率变化不显著

( $p > 0.05$ )。这可能是因为在压榨时适当的高温有利于保持油料必要的可塑性和降低油脂黏度,从而有利于出油率的提高。同时,高温导致饼中酶被破坏和抑制,利于饼的安全储存和利用。但是温度过高会导致油脂及饼粕的有效营养成分遭到破坏,还会导致饼粕蛋白质变性<sup>[17]</sup>,综合利用率降低。因此,压榨温度选择 60℃ 为宜。

### 2.1.6 压榨压力对出油率的影响

在酶解水分含量 12%、纤维素酶添加量 0.5%、碱性蛋白酶添加量 1.0%、压榨温度 60℃、压榨时间 60 min 条件下,考察压榨压力对酶法辅助低温压榨玉米胚芽出油率的影响,结果如图 6 所示。

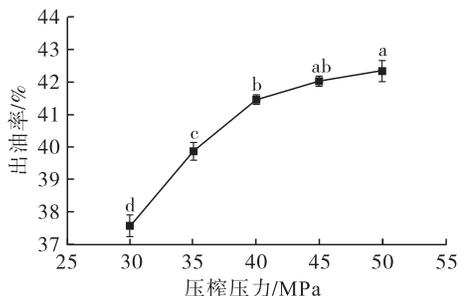


图 6 压榨压力对出油率的影响

由图 6 可知,随着压榨压力的增加,出油率呈明显升高的趋势,但当压榨压力由 45 MPa 升至 50 MPa 时,出油率并无显著提高( $p > 0.05$ )。其原因在于压榨压力增加时,作用于饼的机械外力增大,油脂更易析出<sup>[18]</sup>;而当压榨压力达到一定值后,油料会逐步被压实、硬化,油路被阻塞或封闭<sup>[19]</sup>,出油率提高不显著。因此,压榨压力选择 45 MPa 为宜。

## 2.2 酶法辅助低温压榨制油正交试验

通过单因素试验,在酶解水分含量 12%、复合酶添加量 1.5%、压榨时间 60 min 条件下,以复合酶配比(纤维素酶与碱性蛋白酶质量比)(A)、压榨温度(B)、压榨压力(C)为试验因素,以出油率为考察指标,采用  $L_9(3^4)$  正交试验对玉米胚芽酶法辅助低温压榨制油的工艺条件进行优化。正交试验因素水平见表 1,正交试验结果与分析见表 2。

由表 2 可知,3 个因素对出油率影响程度为  $B > A > C$ ,即压榨温度对出油率的影响最大,其次为复合酶配比,压榨压力的影响最小。3 个因素最优水平组合为  $A_2B_2C_3$ ,即复合酶配比 1:2、压榨温度 60℃、压榨压力 50 MPa。在最优条件下进行验证试验,得到玉米胚芽出油率为 41.89%,较未经酶法预处理所得的常规低温压榨(对照试验,未加酶)的出油率(39.68%)有所提高,这一试验结果与朱秀清<sup>[20]</sup>、王志军<sup>[21]</sup>等的研究结果相一致。

表 1 正交试验因素水平

水平	A 复合酶配比	B 压榨温度/℃	C 压榨压力/MPa
1	1:1	50	40
2	1:2	60	45
3	1:3	70	50

表 2 正交试验结果与分析

试验号	A	B	C	空列	出油率/%
1	1	1	1	1	38.76
2	1	2	2	2	39.52
3	1	3	3	3	38.54
4	2	1	2	3	41.55
5	2	2	3	1	41.89
6	2	3	1	2	38.88
7	3	1	3	2	40.56
8	3	2	1	3	40.78
9	3	3	2	1	39.09
$k_1$	38.94	40.29	39.47	39.91	
$k_2$	40.77	40.73	40.05	39.65	
$k_3$	40.14	38.84	40.33	40.29	
R	1.83	1.89	0.86	0.64	

## 2.3 玉米油基本理化指标

对最优酶法辅助低温压榨制油工艺条件下制得的玉米油的基本理化指标进行分析,结果如表 3 所示。

表 3 玉米油的基本理化指标

项目	指标
色泽	棕红色
透明度	澄清、透明
折光指数( $n_{20}$ )	$1.41 \pm 0.03$
水分及挥发物含量/%	$0.13 \pm 0.01$
酸值(KOH)/(mg/g)	$3.51 \pm 0.21$
碘值(I)/(g/100 g)	$99.89 \pm 2.45$
过氧化值/(mmol/kg)	$1.85 \pm 0.04$
皂化值(KOH)/(mg/g)	$183.86 \pm 3.22$

由表 3 可知,酶法辅助低温压榨法制取的玉米油澄清、透明,呈棕红色。对比玉米油国家标准(GB/T 19111—2017)发现,本文制取的玉米油基本符合三级成品玉米油质量指标的相关要求。

## 3 结论

本试验以复合酶对玉米胚芽进行酶解辅助处理,而后进行低温压榨制油,经单因素试验和正交试验确定了玉米油制取的最优工艺条件。在最优工艺条件下,玉米胚芽出油率最高,可达 41.89%,高于常规低温压榨制油工艺的(39.68%)。所制取的玉米油理化指标基本符合三级成品玉米油国家标准。因此,酶法辅助低温压榨制油工艺所得玉米油品质较好,且出油率较常规低温压榨工艺有所提高。

## 参考文献:

- [1] MAKI K C, LAWLESS A L, KELLEY K M, et al. Corn oil improves the plasma lipoprotein lipid profile compared with extra-virgin olive oil consumption in men and women with elevated cholesterol: results from a randomized controlled feeding trial[J]. *J Clin Lipidol*, 2015, 9(1): 49-57.
- [2] 王旭, 赵月, 李婷婷, 等. 天然抗氧化剂对玉米油稳定性的影响[J]. *食品科学*, 2018, 39(16): 7-12.
- [3] ZHANG Z, WANG Y, MA X, et al. Characterisation and oxidation stability of monoacylglycerols from partially hydrogenated corn oil[J]. *Food Chem*, 2015, 173: 70-79.
- [4] 杨洋, 高航. 玉米油的营养功能及提取工艺研究[J]. *江苏调味副食品*, 2016, 33(4): 5-8.
- [5] HAN C, LIU Q, JING Y, et al. Ultrasound-assisted aqueous enzymatic extraction of corn germ oil: analysis of quality and antioxidant activity[J]. *J Oleo Sci*, 2018, 67(6): 745-754.
- [6] JIA Y, KUMAR D, WINKLER-MOSER J K, et al. Recoveries of oil and hydrolyzed sugars from corn germ meal by hydrothermal pretreatment: a model feedstock for lipid-producing energy crops[J]. *Energies*, 2020, 13: 91-103.
- [7] YILMAZ S, GUNESER E, AYDENIZ B. Cold pressed versus refined winterized corn oils: quality, composition and aroma[J/OL]. *Grasas Aceites*, 2017, 68(2): 194 [2022-11-10]. <https://doi.org/10.3989/GYA.1168162>.
- [8] AKINOSO R, ABOABA S A, OLAYANJU T. Effects of moisture content and heat treatment on peroxide value and oxidative stability of un-refined sesame oil[J]. *Afr J Food Agric Nutr Dev*, 2010, 10(10): 4268-4285.
- [9] SENEVIRATNE R W, BELTRANENA E, NEWKIRK R W, et al. Processing conditions affect nutrient digestibility of cold-pressed canola cake for grower pigs[J]. *J Anim Sci*, 2011, 89(8): 2452-2461.
- [10] 肖怀秋, 李玉珍, 林亲录, 等. 响应面优化冷榨花生粕酶法制备多肽工艺的研究[J]. *中国粮油学报*, 2013, 28(9): 50-55.
- [11] COFRADES S, SERRANO A, AYO J, et al. Characteristics of meat batters with added native and preheated defatted walnut[J]. *Food Chem*, 2008, 107(4): 1506-1514.
- [12] 邓博心. 预烘烤对花生水酶法制油油脂释放行为及品质的影响[D]. 江苏无锡: 江南大学, 2018.
- [13] 肖小年, 桂静芬, 刘唤, 等. 冷榨法制备紫苏子油及其脂肪酸组分分析[J]. *中国食品学报*, 2018, 18(2): 183-190.
- [14] 赵月, 江连洲, 韩翠萍, 等. 复配生物酶法提取黑米花色苷工艺研究[J]. *中国食品学报*, 2017, 17(10): 99-106.
- [15] DICKEY L C, KURANTZ M J, PARRIS N. Oil separation from wet-milled corn germ dispersions by aqueous oil extraction and aqueous enzymatic oil extraction[J]. *Ind Crop Prod*, 2008, 27(3): 303-307.
- [16] 姜欢笑, 蒲彪, 周婷. 响应面法同步优化花椒冷榨饼中蛋白质和油脂的提取工艺[J]. *中国油脂*, 2015, 40(3): 15-19.
- [17] EVANGELISTA R L, ISBELL T A, CERMAK S C. Extraction of pennycress (*Thlaspi arvense* L.) seed oil by full pressing[J]. *Ind Crop Prod*, 2012, 37(1): 76-81.
- [18] 潘小平, 刘浦泳, 王国通. ZY338型螺旋榨油机的创新与研制[J]. *中国油脂*, 2009, 34(7): 55-58.
- [19] EZEHO, GORDON M H, NIRANJAN K. Enhancing the recovery of tiger nut (*Cyperus esculentus*) oil by mechanical pressing: moisture content, particle size, high pressure and enzymatic pre-treatment effects[J]. *Food Chem*, 2016, 194: 354-361.
- [20] 朱秀清, 曾剑华, 房媛媛, 等. 纤维素酶结合碱性蛋白酶提高冷榨大豆出油率的工艺优化[J]. *中国油脂*, 2019, 44(5): 13-17.
- [21] 王志军, 朱佳伟. 酶法辅助适温压榨制取红花籽油工艺技术[J]. *中国油脂*, 2017, 42(3): 24-29.
- [14] 魏伊楚, 樊金拴, 徐丹. 元宝枫油成分、加工工艺及功能性研究进展[J]. *中国油脂*, 2018, 43(1): 34-38.
- [15] 葛智勤, 金文华, 黄楠, 等. 低温结晶法纯化元宝枫籽油中神经酸[J]. *中国油脂*, 2021, 46(4): 99-102.
- [16] 付一笑. 蒜头果光合生理及其种子中神经酸的提取纯化[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2020.
- [17] 林秀椿, 王建中, 武建云. 荆条籽油的理化性质和神经酸的分离提纯[J]. *中国油脂*, 2008, 33(10): 37-39.
- [18] 邵婷, 覃小丽, 钟金锋, 等. 辣木籽油的提取方法及其应用[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(17): 286-293.
- [19] 罗庆华, 宋英杰, 王海磊, 等. 低温结晶法富集鳃鱼内脏油中多不饱和脂肪酸[J]. *中国油脂*, 2015, 40(10): 36-39.
- [20] 许宁侠, 崔宁, 王培, 等. 响应面法优化元宝枫种仁油中神经酸的分离纯化工艺[J]. *中药材*, 2022, 45(6): 1440-1443.
- [21] 王晓玲, 杨青, 刘高强, 等. 低温结晶法富集马尾松毛虫幼虫中的多不饱和脂肪酸[J]. *食品与发酵工业*, 2010, 36(9): 70-74.

(上接第30页)