

# 不同方法提取黑水虻油工艺优化及品质比较分析

孔凡<sup>1</sup>, 黄宏飞<sup>1</sup>, 杨晨<sup>1</sup>, 雷芬芬<sup>1,2,3</sup>, 何东平<sup>1,2,3</sup>, 郑竟成<sup>1,2,3</sup>

(1. 武汉轻工大学食品科学与工程学院, 武汉 430023; 2. 国家粮食局粮油资源综合开发工程技术研究中心, 武汉 430023; 3. 大宗粮油精深加工教育部重点实验室, 武汉 430023)

**摘要:**以黑水虻幼虫为原料,分别采用压榨法、浸出法以及亚临界丁烷萃取法提取黑水虻油,采用单因素实验和正交实验优化了压榨和浸出制油的工艺条件,并比较3种方法的提油率、黑水虻油的理化性质和脂肪酸组成。结果表明:压榨法提取黑水虻油的最佳工艺参数为蒸炒温度140℃、蒸炒时间30 min、黑水虻幼虫粉水分含量5%,在此条件下提油率为54.10%;浸出法提取黑水虻油的最佳工艺参数为浸出温度60℃、浸出时间5 h、料液比1:5,在此条件下提油率为78.95%。3种提取方法中,浸出法的提油率最高,亚临界丁烷萃取法的次之;亚临界丁烷萃取法所得的黑水虻油的酸值和过氧化值最低,浸出法所得的黑水虻油的水分含量最低,压榨法的水分含量最高;3种提取方法的黑水虻油脂肪酸组成变化不大,黑水虻油饱和脂肪酸中月桂酸含量最高,为16%~20%,不饱和脂肪酸中亚油酸和油酸含量较高,分别约为22%和20%。

**关键词:**黑水虻油;压榨;浸出;亚临界丁烷萃取;品质比较

中图分类号:S965.112;S965.117 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2021)06-0015-06

## Process optimization and quality comparison of black soldier fly larvae oils extracted by different methods

KONG Fan<sup>1</sup>, HUANG Hongfei<sup>1</sup>, YANG Chen<sup>1</sup>, LEI Fenfen<sup>1,2,3</sup>, HE Dongping<sup>1,2,3</sup>, ZHENG Jingcheng<sup>1,2,3</sup>

(1. College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China; 2. Grain and Oil Resources Comprehensive Exploitation and Engineering Technology Research Center of State Administration of Grain, Wuhan 430023, China; 3. Key Laboratory of Deep Processing of Major Grain and Oil, Ministry of Education, Wuhan 430023, China)

**Abstract:** The black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae oils were respectively extracted from black soldier fly larvae by pressing method, leaching method and subcritical butane extraction method, and the single factor experiment and orthogonal experiment were conducted to optimize pressing method and leaching method, then the oil extraction rates, physicochemical properties and fatty acid compositions of black soldier fly larvae oils obtained by the three methods were compared. The results showed that the optimal pressing extraction conditions of black soldier fly larvae oil were obtained as follows: cooking temperature 140℃, cooking time 30 min and water content of larvae powder 5%. An extraction rate of 54.10% of black soldier fly larvae oil was achieved under the optimal pressing extraction conditions. The optimal leaching extraction parameters of black soldier fly larvae oil were obtained as follows: leaching temperature 60℃, leaching time 5 h, solid-liquid ratio 1:5. The extraction rate of black soldier fly larvae oil was 78.95% under the optimal leaching extraction conditions. The leaching extraction of black soldier fly larvae oil showed the highest oil extraction rate, followed by subcritical butane extraction

method. The acid value and peroxide value of subcritical butane extracted oil was the lowest. The moisture content in the oil obtained by leaching method was the lowest, while it was the highest in

收稿日期:2020-08-18;修回日期:2020-09-08

作者简介:孔凡(1996),男,在读硕士,研究方向为粮食、油脂及植物蛋白工程(E-mail)1439465974@qq.com。

通信作者:雷芬芬,讲师,博士(E-mail)fiona\_lei@126.com。

pressed black soldier fly larvae oil. Extraction method had no effect on the fatty acid composition of black soldier fly larvae oil, and the oil had the highest content of lauric acid in saturated fatty acids, reaching 16%–20%, and high contents of linoleic acid and oleic acid in unsaturated fatty acids, reaching about 22% and 20% respectively.

**Key words:** black soldier fly larvae oil; pressing; leaching; subcritical butane extraction; quality comparison

昆虫是世界上种类最多、生物量巨大、繁殖速度快、食物转化率高、产业化率最低的生物种群,是尚未充分开发的再生性的生物资源。随着工业的发展,国内外对脂肪酸的需求与日俱增,现有的供应不能满足工业发展要求,人们在昆虫上看到了巨大的潜力,目前对于昆虫油脂的研究也越来越多<sup>[1-5]</sup>。

黑水虻(*Hermetia illucens* L.),又名亮斑扁角水虻,是昆虫纲双翅目水虻科昆虫,原产于美洲,19世纪传入我国,如今已广泛分布于我国湖北、湖南、广东、广西、贵州等省份。黑水虻是腐食昆虫,在处理动物堆肥和其他有机垃圾中起着至关重要的作用,是典型的环境昆虫。在黑水虻的四个生长阶段中,幼虫阶段的黑水虻适用于多种领域,尤其是农业废物的处理<sup>[6]</sup>。黑水虻幼虫含油量很高,可达15%~49%。与其他昆虫相比,黑水虻幼虫不会积聚农药或霉菌毒素,且黑水虻幼虫油脂中饱和脂肪酸含量较高<sup>[2-3]</sup>。Li等<sup>[7]</sup>研究表明,不同的喂养物会改变黑水虻油的脂肪酸组成,黑水虻油饱和脂肪酸中月桂酸含量最高。在人体中,月桂酸甘油酯具有抗病毒和抗菌的作用。黑水虻油中的饱和脂肪酸主要是油酸和亚油酸,具有较高的营养价值。黑水虻油的豆蔻酸可应用于洗涤用品中<sup>[8-9]</sup>。随着黑水虻在我国的养育基地逐渐增多,作为一个富含优质油脂的昆虫,探究其生产工艺,进一步发展黑水虻加工产业,寻求高附加值的产品,有着重要意义<sup>[10-12]</sup>。本研究通过正交实验分析,以提油率为指标,确定了压榨法和浸出法提取黑水虻油的最佳工艺,并对压榨法、浸出法、亚临界丁烷萃取法提取的黑水虻油的品质进行了分析比较,以期为提高黑水虻油提取效率,提高黑水虻资源的综合利用能力提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

黑水虻幼虫(干虫),武汉天基生态能源有限公司;浓硫酸、盐酸,平煤公司;硼酸溶液,上海硼砂厂;85%硝酸、正己烷,科密欧公司;乙醚、无水乙醇、甲醇、氢氧化钠、硫代硫酸钠,国药集团化学试剂有限公司。

LYF501型家用压榨机,TDZ5-WS离心机,

RE52CS旋转蒸发仪,KDN-04A自动凯氏定氮仪,粉碎机,马弗炉,Agilent 7890A-5975C气质联用仪,亚临界萃取装置。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 压榨法提取黑水虻油

称取一定量黑水虻幼虫(干虫),用清水浸泡清洗后置于80℃烘箱中干燥至一定水分含量,在一定温度下蒸炒一定时间后,于压榨机中压榨,过滤得到黑水虻油。

#### 1.2.2 浸出法提取黑水虻油

称取一定量黑水虻幼虫(干虫),用清水浸泡清洗后置于80℃烘箱中干燥至水分含量为5%,粉碎后用滤纸包好,置于浸出罐,加入适量正己烷在一定温度下静置浸出一定时间,旋转蒸发除去正己烷,得黑水虻油。

#### 1.2.3 亚临界丁烷萃取法提取黑水虻油

称取一定量黑水虻幼虫(干虫),用清水浸泡清洗后置于80℃烘箱中干燥至水分含量为5%,粉碎,置于亚临界萃取装置中,设置萃取条件为萃取温度45℃、萃取次数4次、每次萃取时间40min、萃取压力0.5MPa。萃取完成后采用减压蒸发除去溶剂,得黑水虻油。该提取在河南省亚临界生物技术有限公司完成。

#### 1.2.4 提油率计算

提油率( $x$ )按式(1)计算。

$$x = m_1 / (m \times c) \times 100\% \quad (1)$$

式中: $m_1$ 为提取的黑水虻油质量,g; $m$ 为黑水虻幼虫(干虫)原料的质量,g; $c$ 为黑水虻幼虫(干虫)原料的干基含油量(通过索氏抽提法测得),%。

#### 1.2.5 黑水虻幼虫(干虫)理化指标检测

水分含量测定,参照GB 5009.3—2016;粗脂肪含量测定,参照GB 5009.6—2016;粗蛋白质含量测定,参照GB 5009.5—2016;灰分的测定,参照GB 5009.4—2016。

#### 1.2.6 黑水虻油理化指标检测

酸值测定,参照GB 5009.229—2016;过氧化值测定,参照GB 5009.227—2016;水分及挥发物含量测定,参照GB 5009.236—2016。

### 1.2.7 黑水虻油脂脂肪酸组成分析

甲酯化:取 0.2 ~ 0.3 g 黑水虻油加入 2 mL 0.5 mol/L KOH - CH<sub>3</sub>OH 溶液,在 60 °C 水浴中振荡 30 min,加入 2 mL 50% BF<sub>3</sub> - CH<sub>3</sub>OH 溶液,60 °C 水浴下振荡保温 3 min,之后趁热加入 2 mL 饱和 NaCl 溶液;加入 3 mL 正己烷萃取,混匀后取上层有机相,待气相色谱 - 质谱分析。

气相色谱条件:HP - FFAP 弹性石英毛细管色谱柱(30 mm × 0.25 mm × 0.25 μm);升温程序为 60 °C 保持 3 min,以 6 °C/min 升温到 180 °C,保持 3 min,再以 6 °C/min 升温到 210 °C,保持 5 min;载气为高纯 He,流速 1.0 mL/min;进样量 1 μL;分流比 20:1;进样口温度 250 °C,压力 88 kPa;传输线温度 230 °C。

质谱条件:EI 离子源;电子能量 70 eV;离子源温度 230 °C,四级杆温度 150 °C;溶剂延迟 14 min,扫描范围(*m/z*)50 ~ 500。

利用质谱数据库检索结果,结合相关参考文献,对黑水虻油脂脂肪酸组成进行分析,采用峰面积归一化法进行定量分析。

### 1.2.8 数据处理

采用 Excel 2016 软件对正交实验结果进行分析并作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 黑水虻幼虫(干虫)的理化指标(见表 1)

表 1 黑水虻幼虫(干虫)的理化指标

项目	含量/%
粗蛋白质	45.6
粗脂肪	37.2
水分	5.1
灰分	8.3

从表 1 可以看出,黑水虻幼虫(干虫)粗脂肪含量达 37.2%,是一种潜在的优良油料资源。黑水虻幼虫(干虫)粗蛋白质含量高达 45.6%,是一种优质的蛋白质来源。因此,黑水虻幼虫在饲料、食品等行业有广阔的应用前景。

### 2.2 压榨法提取黑水虻油的单因素实验

#### 2.2.1 蒸炒温度对提油率的影响

在黑水虻幼虫粉水分含量 5%,蒸炒温度分别为 110、120、130、140、150 °C 下蒸炒 30 min 后压榨制油,考察蒸炒温度对提油率的影响,结果见图 1。由图 1 可知,随着蒸炒温度的升高,提油率先升高后降低,当蒸炒温度达到 140 °C 时,提油率最高,蒸炒温度超过 140 °C 时,提油率稍微降低。这是因为蒸炒可以破坏黑水虻的细胞结构,使蛋白质变性,油脂黏

度和表面张力降低,有利于油脂溶出,但蒸炒温度过高会使油料水分含量下降,过于干燥的油料可塑性较低,不利于油脂的溶出,导致提油率降低。

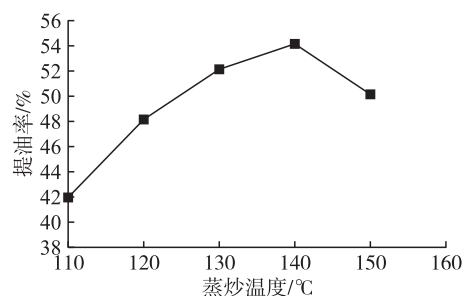


图 1 蒸炒温度对提油率的影响

#### 2.2.2 蒸炒时间对提油率的影响

将水分含量 5% 的黑水虻幼虫粉在蒸炒温度 150 °C 下分别蒸炒 10、20、30、40、50 min 后压榨制油,考察蒸炒时间对提油率的影响,结果见图 2。

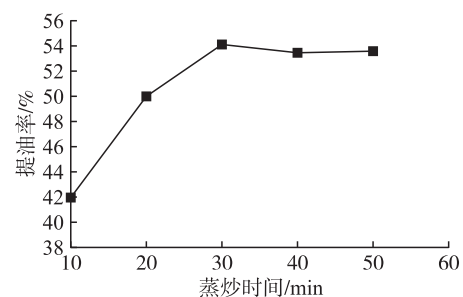


图 2 蒸炒时间对提油率的影响

由图 2 可知,随着蒸炒时间的延长,提油率呈上升趋势,当蒸炒时间超过 30 min 时,提油率略有降低。这是因为蒸炒时间延长,改善了黑水虻细胞膜的通透性,使得提油率上升,但蒸炒时间过长,油料的水分含量减小,不利于油脂的提取。

#### 2.2.3 黑水虻幼虫粉水分含量对提油率的影响

分别将水分含量为 3%、4%、5%、6%、7% 的黑水虻幼虫粉在蒸炒温度 150 °C 下蒸炒 30 min 后压榨制油,考察黑水虻幼虫粉水分含量对提油率的影响,结果见图 3。

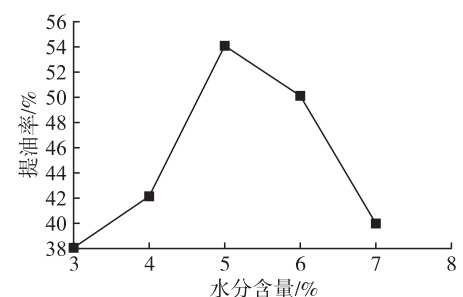


图 3 黑水虻幼虫粉水分含量对提油率的影响

由图 3 可知,随着黑水虻幼虫粉水分含量的增加,提油率上升,在水分含量为 5% 时,提油率最高,

当水分含量由5%上升到7%时,提油率下降。这是因为水分含量过高或过低时,原料入榨没有合适的可塑性与弹性,压榨时饼难以成型,油路堵塞不易流出,从而导致提油率下降。

### 2.3 压榨法提取黑水虻油的正交实验

根据单因素实验结果,选取蒸炒温度(A)、蒸炒时间(B)、黑水虻幼虫粉水分含量(C)为自变量,设计三因素三水平正交实验,压榨法正交实验因素水平见表2,正交实验结果与分析见表3。

表2 压榨法正交实验因素水平

水平	A/°C	B/min	C/%
1	130	20	4
2	140	30	5
3	150	40	6

表3 正交实验结果与分析

实验号	A	B	C	空列	提油率/%
1	1	1	1	1	40.6
2	1	2	2	2	52.0
3	1	3	3	3	47.5
4	2	1	2	3	50.0
5	2	2	3	1	50.0
6	2	3	1	2	41.4
7	3	1	3	2	41.0
8	3	2	1	3	40.6
9	3	3	2	1	48.5
$k_1$	46.7	43.9	40.9	46.4	
$k_2$	47.1	47.5	50.2	44.8	
$k_3$	43.4	45.8	46.2	46.0	
R	3.7	3.6	9.3	1.6	

由表3可知,3个因素对提油率影响的主次关系为C(黑水虻幼虫粉水分含量) > A(蒸炒温度) > B(蒸炒时间),最优方案为 $A_2B_2C_2$ ,即黑水虻幼虫粉水分含量5%、蒸炒温度140°C、蒸炒时间30 min。在最优方案下进行3次平行实验,平均提油率为54.1%。

## 2.4 浸出法提取黑水虻油的单因素实验

### 2.4.1 浸出温度对提油率的影响

在黑水虻幼虫粉水分含量5%,料液比1:4,浸出温度分别为20、30、40、50、60°C条件下浸出4 h,考察浸出温度对提油率的影响,结果见图4。

由图4可知,随着浸出温度的升高,提油率先上升后稍微下降。当浸出温度由20°C升到30°C时,提油率迅速上升,当浸出温度由30°C升到50°C时,提油率缓慢上升,当浸出温度为50°C时,提油率最高,当浸出温度超过50°C时,提油率略有下降。这

是因为随着温度的升高,溶剂挥发速度也会加快,在50°C后,正己烷更容易挥发,导致对油脂的萃取不够完全,使提油率下降。

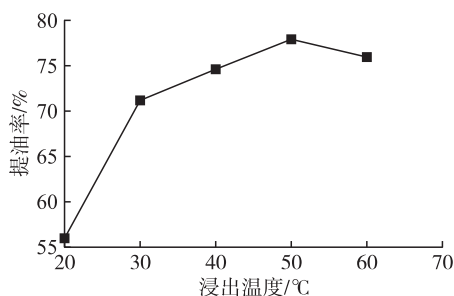


图4 浸出温度对提油率的影响

### 2.4.2 浸出时间对提油率的影响

在黑水虻幼虫粉水分含量5%,料液比1:4,浸出温度40°C条件下分别浸出2、3、4、5、6 h,考察浸出时间对提油率的影响,结果见图5。

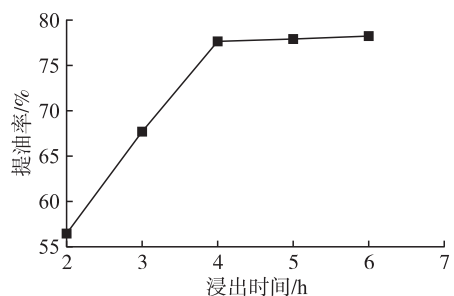


图5 浸出时间对提油率的影响

由图5可知,随着浸出时间的延长,提油率先上升,之后基本保持稳定。当浸出时间由2 h延长到4 h时,提油率随着浸出时间的延长而增加,浸出时间为4 h时,提油率最高,再延长浸出时间提油率几乎不再增加。浸出时正己烷先浸润黑水虻幼虫,进入黑水虻幼虫组织内部,黑水虻幼虫中的油脂随着正己烷的扩散运动而渗透到黑水虻细胞外,从而实现黑水虻中油脂的提取。提取初始,正己烷中含油率低,油脂从黑水虻中扩散到正己烷的扩散速率大,随着浸出时间的延长,黑水虻幼虫组织中的油脂含量减少,而混合油中油脂含量增加,黑水虻中油脂扩散达到平衡,此时,再延长浸出时间,提油率增加很少。

### 2.4.3 料液比对提油率的影响

在黑水虻幼虫粉水分含量5%,浸出时间4 h,浸出温度40°C,料液比分别为1:2、1:3、1:4、1:5、1:6条件下浸出,考察料液比对提油率的影响,结果见图6。

由图6可知,随着料液比的增加,提油率先快速增加,后缓慢增加,当料液比由1:2提高到1:5时,提油率提高的速度较快,在料液比达到1:5后,提油

率增加的速度变缓。溶剂用量小时,不能完全提取出黑水虻中的油脂,当溶剂用量达到一定程度时,黑水虻中大部分油脂被提取出来,再增加溶剂用量对提取油脂的帮助不大。

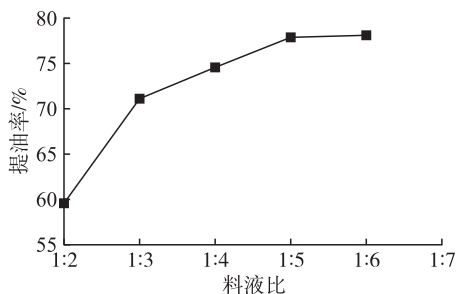


图6 料液比对提油率的影响

### 2.5 浸出法提取黑水虻油的正交实验

根据单因素实验结果,选取浸出时间(A)、浸出温度(B)、料液比(C)为自变量,设计三因素三水平正交实验,浸出法正交实验因素水平见表4,正交实验结果与分析见表5。

表4 浸出法正交实验因素水平

水平	A/h	B/℃	C
1	3	40	1:4
2	4	50	1:5
3	5	60	1:6

表5 正交实验结果与分析

实验号	A	B	C	空列	提油率/%
1	1	1	1	1	64.77
2	1	2	2	2	74.39
3	1	3	3	3	73.59
4	2	1	2	3	74.39
5	2	2	3	1	77.77
6	2	3	1	2	65.49
7	3	1	3	2	75.49
8	3	2	1	3	77.98
9	3	3	2	1	78.95
$k_1$	70.92	71.55	69.41	73.83	
$k_2$	72.55	76.71	75.91	71.79	
$k_3$	77.47	72.68	75.62	75.32	
R	6.55	5.16	6.50	3.53	

由表5可看出,3个因素对提油率影响的主次顺序为A(浸出时间)>C(料液比)>B(浸出温度),最优方案为 $A_3B_2C_2$ ,即浸出时间5h、浸出温度50℃、料液比1:5。在最优方案下进行3次平行实验,平均提油率为77.1%,低于正交表中 $A_3B_3C_2$ 的提油率(78.95%)。因此,选择 $A_3B_3C_2$ 为最优方案,即浸出时间5h、浸出温度60℃、料液比1:5。

### 2.6 不同方法提取黑水虻油的提油率比较

按照1.2.3采用亚临界丁烷法萃取黑水虻油,提油率为68.08%。3种方法的提油率对比结果见图7。

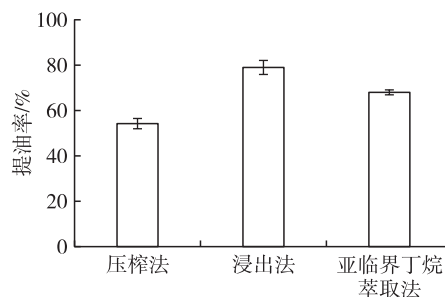


图7 3种提油方法的提油率比较

由图7可知,3种提油方法中浸出法的提油率最高,压榨法的提油率最低。

### 2.7 不同方法提取的黑水虻油理化性质的比较(见表6)

表6 不同方法提取的黑水虻油理化性质比较

提油方法	酸值(KOH)/(mg/g)	过氧化值/(mmol/kg)	水分及挥发物/%
压榨法	2.99	1.31	2.47
浸出法	2.97	1.62	1.18
亚临界丁烷萃取法	2.74	1.08	1.34

由表6可看出,压榨法和浸出法提取的黑水虻油酸值(KOH)相差不大,亚临界丁烷萃取法的最低(2.74 mg/g)。在过氧化值方面,浸出法的过氧化值最高(1.62 mmol/kg),压榨法的次之,亚临界丁烷萃取法的最低。亚临界丁烷萃取法提取的黑水虻油酸值和过氧化值低于压榨法和浸出法,可能是因为亚临界萃取过程中很少会溶入氧气,这与李鸽等<sup>[13]</sup>的研究结果一致。浸出法和亚临界丁烷萃取法都是利用溶剂对油脂进行浸出,而压榨法是采用机械压力将油脂从油料中挤压出来,所以压榨法提取的黑水虻油水分及挥发物含量最高(2.47%)。

### 2.8 不同方法提取的黑水虻油脂肪酸组成比较(见表7)

由表7可知,3种方法提取的黑水虻油脂肪酸组成基本相同,说明不同提取方法对黑水虻油脂肪酸组成影响不大。黑水虻油中饱和脂肪酸主要是月桂酸和软脂酸。月桂酸在人体中可转化为月桂酸甘油酯,具有抗病毒和抗菌的作用;同时月桂酸可以用于制备液体洗涤剂,添加月桂酸的液体洗涤剂具有刺激性弱、起泡性强和去渍性强的优点。黑水虻油中不饱和脂肪酸主要为亚油酸和油酸,同时还含有一定量的ARA和EPA。

表7 不同方法提取的黑水虻油脂脂肪酸组成比较 %

脂肪酸	压榨法	浸出法	亚临界丁烷萃取法
月桂酸	17.96	16.407	19.498
豆蔻酸	5.292	5.206	5.268
软脂酸	16.607	16.816	16.239
棕榈油酸	4.905	5.195	5.036
硬脂酸	8.106	11.918	6.210
油酸	21.852	18.295	22.712
亚油酸	22.171	22.696	21.743
亚麻酸	2.037	2.265	2.189
花生四烯酸(ARA)	0.590	0.641	0.609
EPA	0.480	0.507	0.496
饱和脂肪酸	47.965	50.401	47.215
不饱和脂肪酸	52.035	49.599	52.785

### 3 结 论

以黑水虻的提油率为指标,采用单因素实验和正交实验对压榨法和浸出法的提取工艺进行了优化,并对压榨法、浸出法和亚临界丁烷萃取法提取的黑水虻油品质进行比较。结果表明:压榨法提取黑水虻油的最佳工艺参数为蒸炒温度 140℃、蒸炒时间 30 min、黑水虻幼虫粉水分含量 5%,在此条件下提油率为 54.10%;浸出法提取黑水虻油的最佳工艺参数为浸出温度 60℃、浸出时间 5 h、料液比 1:5,在此条件下提油率为 78.95%;3种提取方法中,浸出法的提油率最高,亚临界丁烷萃取法次之;压榨法所得的黑水虻油水分含量和酸值最高;浸出法所得的黑水虻油水分含量最低,过氧化值最高;亚临界丁烷萃取法所得的黑水虻油的酸值和过氧化值最低;3种提取方法的黑水虻油脂肪酸组成差异不明显,黑水虻油中饱和脂肪酸主要是月桂酸,含量为 16%~20%,不饱和脂肪酸主要是油酸和亚油酸,含量分别约为 20%和 22%。

#### 参考文献:

- [1] 徐歆歆,王文韬,薛荣荣,等. 三种昆虫油脂理化性质及脂肪酸组成的初步研究[J]. 饲料工业,2020,41(14): 31-34.
- [2] THIRUMALAI SAMY G, MALIK P K, KOLTE A P, et al.

- Effect of silkworm (*Bombyx mori*) pupae oil supplementation on enteric methane emission and methanogens diversity in sheep [J]. Anim Biotechnol, 2020(8):1-13.
- [3] MAI H C, DAO N D, LAM T D, et al. Purification process, physicochemical properties, and fatty acid composition of black soldier fly (*Hermetia illucens* Linnaeus) larvae oil[J/OL]. J Am Oil Chem Soc, 2019, 96(11):1303-1311 [2020-07-20]. <https://doi.org/10.1002/aocs.12263>.
- [4] 钦凌宇,杨瑞金,华霄,等. 乙醇水提法提取蚕蛹油研究[J]. 食品与生物技术学报,2019,38(9):85-91.
- [5] 胡滨,吕苏,陈一资,等. 超声波辅助提取黄粉虫油的工艺优化及脂肪酸组成分析[J]. 中国油脂,2016,41(1): 11-16.
- [6] TRINH T X, NGUYEN, JEFFERY K, et al. Influence of resources on *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larval development [J]. J Med Entomol, 2013, 50: 898-906.
- [7] LI S, JI H, ZHANG B, et al. Influence of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae oil on growth performance, body composition, tissue fatty acid composition and lipid deposition in juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian) [J]. Aquaculture, 2016, 465:43-52.
- [8] 刘晓庚,廖晓峰,徐明生,等. 昆虫油脂及其功能性成分开发利用研究[J]. 粮食与油脂,2002(2):24-27.
- [9] 李梦雪. 脂肪酸在洗涤剂中的应用及发展[J]. 中国洗涤用品工业,2018(8):71-74.
- [10] 柴志强,王付彬,郭明昉,等. 水虻科昆虫及其资源化利用研究[J]. 广东农业科学,2012,39(10):182-185,195.
- [11] 安新城. 黑水虻生物处置餐厨废弃物的技术可行性分析[J]. 环境与可持续发展,2016,41(3):92-94.
- [12] DIENER S, ZURBRUEGG C, TOCKNER K. Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates [J]. Waste Manag Res, 2009, 27(6):603-610.
- [13] 蹇李鸽,李进伟,刘元法. 萃取方式对小麦胚芽油品质的影响研究[J]. 中国油脂,2015,40(5):50-53.