

# 赤子爱胜蚓油脂的提取及脂肪酸组成分析

王珂欣<sup>1</sup>, 贾京华<sup>2</sup>, 刘薇<sup>1</sup>, 刘蓬宇<sup>1</sup>, 张博毅<sup>1</sup>, 高昂<sup>1</sup>

(1. 天津中医药大学 公共卫生与健康科学学院, 天津 300000; 2. 天津民生生物工程股份有限公司, 天津 300000)

**摘要:**为促进蚯蚓蛋白粉加工副产物的开发与利用,以赤子爱胜蚓渣料为原料,采用超声辅助水酶法结合酸水解法提取蚯蚓油,研究酶种类、酶解时间和加酶量对蚯蚓油得率的影响,通过正交实验确定最佳酶解条件。同时,对提取的蚯蚓油理化指标及脂肪酸组成进行分析。结果表明:超声辅助水酶法结合酸水解法提取蚯蚓油的最佳酶解条件为使用胃蛋白酶(适宜温度 50℃、pH 2.0)、酶解时间 2.0 h、加酶量 4%,在此条件下蚯蚓油得率为 11.45%;蚯蚓原油为浅棕色,稍有浑浊,稍有蚯蚓特有的土腥味,略带有油脂酸败味;蚯蚓油由 24 种脂肪酸构成,其中饱和脂肪酸含量较高,占总脂肪酸的 82.381%,主要为硬脂酸、月桂酸,单不饱和脂肪酸占总脂肪酸的 8.565%,主要为油酸、棕榈油酸,多不饱和脂肪酸占总脂肪酸的 8.995%,主要为亚油酸,另外蚯蚓油奇数碳脂肪酸含量为 13.867%。综上,超声辅助水酶法结合酸水解法对于提取蚯蚓渣料中的油脂有一定效果,具备实际应用的潜力,且得到的蚯蚓油含有丰富的奇数碳脂肪酸,营养价值较高。

**关键词:**蚯蚓油;水酶法;提取工艺;脂肪酸组成

中图分类号:TS225.6;TS209

文献标识码:A

文章编号:1003-7969(2024)07-0118-07

## Extraction and fatty acid composition analysis of *Eisenia foetida* oil

WANG Kexin<sup>1</sup>, JIA Jinghua<sup>2</sup>, LIU Wei<sup>1</sup>, LIU Pengyu<sup>1</sup>,  
ZHANG Boyi<sup>1</sup>, GAO Ang<sup>1</sup>

(1. College of Public Health and Health Sciences, Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin 300000, China; 2. Tianjin Minsheng Biological Engineering Co., Ltd., Tianjin 300000, China)

**Abstract:** In order to promote the development and utilization of by-products from earthworm protein powder processing, *Eisenia foetida* residue was used as the research object to extract earthworm oil using ultrasonic-assisted aqueous enzymatic-acid hydrolysis method. The effects of hydrolase type, enzymatic hydrolysis time and enzyme dosage on the yield of earthworm oil were studied, and the optimal enzymatic hydrolysis conditions were determined by orthogonal experiments. The physicochemical indexes and fatty acid composition of the earthworm oil were analyzed. The results showed that the optimal enzymatic hydrolysis conditions of earthworm oil were obtained as follows: with pepsin as the enzyme (optimal temperature 50℃, pH 2.0), enzymatic hydrolysis time 2.0 h and enzyme dosage 4%. Under these conditions, the yield of earthworm oil was 11.45%. The extracted crude earthworm oil was light brown, slightly cloudy, slightly earthy smell of earthworms, slightly fatty rancid taste. The earthworm oil consisted of 24 fatty acids, with high saturated fatty acid content, accounting for 82.381% of total fatty acid, mainly stearic acid and lauric acid; monounsaturated fatty acid accounted for 8.565% of total fatty

acid, mainly oleic acid and palmitoleic acid; polyunsaturated fatty acid accounted for 8.995% of total fatty acid, mainly linoleic acid. In addition, the odd-chain fatty acids content in earthworm oil was 13.867%. The ultrasonic-assisted aqueous enzymatic-acid hydrolysis

收稿日期:2023-03-29;修回日期:2024-03-18

基金项目:校企合作项目“龙络康地龙中脂肪酸的提取分析研究”;2022 年中医药重点学科建设项目“中医预防医学”

作者简介:王珂欣(2002),女,在读本科,食品卫生与营养专业(E-mail)zjzxwtxflhd@163.com。

通信作者:高昂,讲师(E-mail)gaoang1022@126.com。

method has a certain effect on the extraction of oil from earthworm residue, and has practical application potential, and the obtained earthworm oil is rich in odd-chain fatty acids and has high nutritional value.

**Key words:** earthworm oil; aqueous enzymatic method; extraction process; fatty acid composition

蚯蚓, 中医药用时又称地龙, 首次被记录在《神农本草经》中<sup>[1]</sup>。地龙性寒, 味咸, 归肝、脾、膀胱经, 具有清热、定惊的功效, 常用于高热神昏、惊痫抽搐, 是我国重要的中药材之一<sup>[2]</sup>。蚯蚓含有多种化学成分, 如蛋白质及多肽类、酶类、氨基酸及二肽类、核苷类、脂肪酸类、甾体化合物、溶血磷脂、无机元素等<sup>[3]</sup>, 具有抗炎<sup>[4]</sup>、抗血栓<sup>[5]</sup>、抗真菌<sup>[6]</sup>等作用, 被广泛应用于治疗脑缺血、脑卒中<sup>[7]</sup>、糖尿病<sup>[8]</sup>、气道重构<sup>[9]</sup>、烫伤<sup>[10]</sup>等疾病。蚯蚓中蛋白质类成分占其干质量的56%~66%, 除蛋白质类成分外, 脂类成分也是蚯蚓重要的基础物质, 脂类的结构与组成与蚯蚓的药理活性密切相关。赤子爱胜蚓, 又称红蚯蚓, 为正蚓科爱胜蚓属, 适宜人工养殖, 常用于生态毒性<sup>[11-12]</sup>、环境保护<sup>[13]</sup>、水产养殖<sup>[14]</sup>等方面研究。目前赤子爱胜蚓在食品加工方面主要用于蚯蚓蛋白粉的生产, 脂类成分大多保留在了副产物蚯蚓渣料中, 因此分析研究加工蚯蚓蛋白粉副产物蚯蚓渣料中油脂的提取方法及其脂肪酸组成, 对于促进蚯蚓加工副产物的开发与转化, 实现蚯蚓渣料的高值化利用, 具有一定的参考价值和应用前景, 而目前鲜有关于赤子爱胜蚓油提取分析的研究。

目前油脂的提取方法主要有水酶法、超临界CO<sub>2</sub>萃取法<sup>[15]</sup>、浸提法<sup>[16]</sup>、压榨法<sup>[16]</sup>、水剂法<sup>[17]</sup>等。水酶法是水剂法和生物酶制剂结合形成的一种“绿色、高效、安全”的油脂提取方法, 原理是利用与油料相关的一种或多种酶处理原料, 在水相中破坏油料细胞, 释放油脂, 并利用密度不同分离油水。这种方法反应条件温和, 设备要求低, 前期投入少, 常用于植物油的提取, 如南瓜籽油<sup>[18]</sup>等, 近年来被广泛应用于动物油脂的提取, 如Chen等<sup>[19]</sup>用风味蛋白酶提取虾加工副产品(如虾头、虾壳等)中的油脂。超声波在穿过液体时产生气泡, 可以加速油料传热和传质过程<sup>[20]</sup>, 因此将水酶法与超声等手段联用可提高油脂提取率, 如张秀芬等<sup>[21]</sup>采用超声辅助水酶法提取辣木籽油得到的油脂提取率明显升高, 张雅娜等<sup>[22]</sup>也通过实验证明超声时间、超声功率、超声温度等对油脂提取率有明显影响。

前期研究发现, 单纯采用水酶法提取赤子爱胜蚓渣料中油脂时, 离心后油水分离不明显, 因此本

实验采用超声辅助水酶法结合酸水解法提取其中的油脂, 通过单因素实验和正交实验探究酶种类、酶解时间、加酶量对油脂得率的影响, 得到提取蚯蚓油的最佳酶解条件, 并对提取的蚯蚓油进行理化指标测定及脂肪酸组成分析, 以期拓宽蚯蚓产品的应用, 实现产品的增值提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

#### 1.1.1 原料与试剂

赤子爱胜蚓渣料 XJL001, 天津民生生物工程有限公司; 盐酸、环己烷(均为分析纯), 天津渤化化学试剂有限公司; 氢氧化钠(分析纯), 天津市江天化工技术股份有限公司; 中性蛋白酶(50 000 U/g)、木瓜蛋白酶(10 000 U/g), 北京索莱宝科技有限公司; 胃蛋白酶(USP级, 1:3 000)、胰蛋白酶(USP级, 1:3 000), 上海源叶生物科技有限公司。

#### 1.1.2 仪器与设备

SQP电子分析天平, 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司; DZKW-S-6恒温水浴锅, 北京市永光明医疗仪器有限公司; FE28型pH计, 梅特勒-托利多公司; RW 20 digital电动搅拌器、RO 10 power磁力搅拌器, 德国IKA公司; TD20002C电子天平, 天津天马衡基仪器有限公司; BPX-52电热恒温培养箱, 上海博迅医疗生物仪器股份有限公司; SCIENTZ-IID超声细胞粉碎机, 宁波新芝生物科技股份有限公司; 7890A气相色谱仪, 安捷伦科技有限公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 蚯蚓油的提取

称取适量蚯蚓渣料, 粉碎后过0.15 mm(100目)筛, 烘干至恒重, 按料液比1:4添加蒸馏水, 在超声细胞粉碎机中100 W、70℃下超声处理30 min, 添加一定量的蛋白酶, 调节至适宜的温度和pH, 水浴搅拌酶解一段时间后, 95℃水浴10 min灭酶, 按料(蚯蚓料渣)液比1:2.5添加2 mol/L盐酸溶液, 在80℃下水浴消化1.5 h, 添加1倍体积环己烷, 静置分层后吸取上层油相, 旋蒸后烘干至恒重。以蚯蚓油质量与原料质量的比值计算蚯蚓油得率。

#### 1.2.2 蚯蚓渣料基本成分测定

参照GB 5009.5—2016、GB/T 6432—2018测定蛋白质含量; 参照GB/T 9695.31—2008、GB/T

15672—2009 测定总糖含量;参照 GB 5009.3—2010 测定水分含量;参照 GB 5009.6—2016 采用酸水解法测定粗脂肪含量。

### 1.2.3 蚯蚓油理化指标测定

外观、气味的测定参照 GB/T 5525—2008;不溶性杂质的测定参照 GB/T 15688—2008;酸值与过氧化值的测定参考 GB 5009.229—2016、GB 5009.227—2016 及文献[23]。

### 1.2.4 蚯蚓油脂脂肪酸组成分析

参照 GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》,采用气相色谱法分析蚯蚓油脂脂肪酸组成。

甲酯化处理:取适量样品加入 2 mL 2% 氢氧化钠-甲醇溶液,85 °C 下水浴 30 min,加入 3 mL 14% 三氟化硼-甲醇溶液,于 85 °C 下水浴 30 min。水浴完成后,冷却至室温,加入 1 mL 正己烷,振荡萃取 2 min 后,静置 1 h,待分层。取上层清液 100  $\mu$ L,用正己烷定容到 1 mL,过 0.45  $\mu$ m 滤膜后进气相色谱分析。

气相色谱条件: TG-FAME 色谱柱(50 m  $\times$  0.25 mm  $\times$  0.20  $\mu$ m);载气为氮气,载气流量 0.63 mL/min;分流进样,分流比 100:1;进样口温度 270 °C;升温程序为初始温度 80 °C,保持 1 min,以 20 °C/min 升温至 160 °C,保持 1.5 min,以 3 °C/min 升温至 250 °C,保持 3 min;FID 检测器,检测器温度 280 °C。

## 2 结果与分析

### 2.1 蚯蚓渣料的基本成分

蚯蚓渣料的基本成分见表 1。

表 1 蚯蚓渣料的基本成分

成分	含量/%
蛋白质	37.30 $\pm$ 0.12
总糖	6.10 $\pm$ 0.14
水分	5.64 $\pm$ 0.09
粗脂肪	10.26 $\pm$ 0.15

由表 1 可知,蚯蚓加工副产物蚯蚓渣料的基本成分蛋白质含量为 37.30%,总糖含量为 6.10%,水分含量为 5.64%,粗脂肪含量为 10.26%。

### 2.2 蚯蚓油提取的单因素实验

#### 2.2.1 酶种类对蚯蚓油得率的影响

选用 4 种商业酶(胃蛋白酶、胰蛋白酶、中性蛋白酶、木瓜蛋白酶),在加酶量 4% (以样品质量计,下同)、酶解时间 2 h 及各酶适宜条件(胃蛋白酶温度 50 °C, pH 2.0;胰蛋白酶温度 50 °C, pH 8.0;中性蛋白酶温度 50 °C, pH 7.0;木瓜蛋白酶温度 50 °C,

pH 7.0)下,考察酶种类对蚯蚓油得率的影响,结果见图 1。

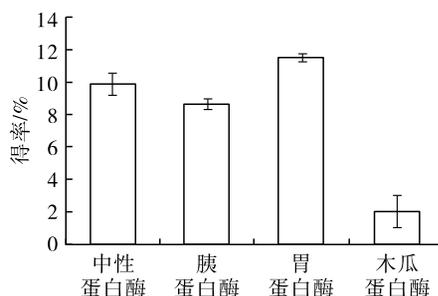


图 1 酶种类对蚯蚓油得率的影响

由图 1 可知:胃蛋白酶的蚯蚓油得率最高,为 11.490%;中性蛋白酶的蚯蚓油得率次之,为 9.865%;木瓜蛋白酶的蚯蚓油得率最低,仅为 1.995%。添加胃蛋白酶酶解的蚯蚓油得率最高可能是因为胃蛋白酶的最适 pH 为 2.0,在酸性环境下蛋白质发生变性,空间结构被破坏,酶解效率增加,从而使蚯蚓油得率增加;添加木瓜蛋白酶酶解的蚯蚓油得率最低可能是因为木瓜蛋白酶对肌肉纤维蛋白和胶原蛋白有较强的水解作用,其较多应用于畜禽肉类的嫩化研究中,但蚯蚓蛋白质成分中多为小分子活性肽、活性酶类以及游离氨基酸等低相对分子质量蛋白质类成分,其蛋白质组成与畜禽肉类差距较大,适合木瓜蛋白酶酶解的底物含量较低<sup>[24-25]</sup>。综上,胃蛋白酶为最佳酶解用酶。

#### 2.2.2 酶解时间对蚯蚓油得率的影响

在胃蛋白酶添加量 4%, pH 2.0,酶解温度 50 °C,酶解时间分别为 1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 h 条件下,考察酶解时间对蚯蚓油得率的影响,结果见图 2。

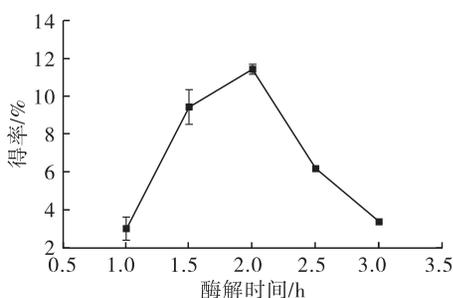


图 2 酶解时间对蚯蚓油得率的影响

由图 2 可知:当酶解时间小于 2.0 h 时,蚯蚓油得率随着酶解时间的延长而逐渐升高,酶解时间 1.0~1.5 h 时,酶解反应速率较快,1.5 h 后反应速率降低;当酶解时间为 2.0 h 时,蚯蚓油得率最高,为 11.430%;当酶解时间超过 2.0 h 时,蚯蚓油得率随着酶解时间的延长反而下降,可能是因为 2.0 h 时,胃蛋白酶已将与油脂结合的蛋白质分解

完全,如果未及时将酶灭活,胃蛋白酶与释放的油脂发生乳化作用,从而降低得率。因此,最适酶解时间为2.0 h。

### 2.2.3 加酶量对蚯蚓油得率的影响

在酶解温度50℃,酶解时间2.0 h,pH 2.0,胃蛋白酶添加量分别为2%、3%、4%、5%、6%条件下,考察加酶量对蚯蚓油得率的影响,结果见图3。

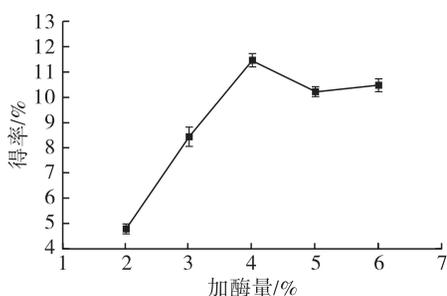


图3 加酶量对蚯蚓油得率的影响

由图3可知:当加酶量小于4%时,随着加酶量的增加,蚯蚓油得率逐渐增加;当加酶量为4%时,蚯蚓油得率最高,为11.45%;当加酶量超过4%时,随着加酶量的增加蚯蚓油得率减少,原因可能是胃蛋白酶与底物反应达到平衡后,未与底物结合的酶与已释放的油脂发生乳化作用所致。因此,最适加酶量为4%。

### 2.3 蚯蚓油提取的正交实验

在单因素实验的基础上,以蚯蚓油得率为指标,选择酶种类、酶解时间、加酶量为考察因素,在2.2.1各酶的适宜条件下,按 $L_9(3^3)$ 正交因素水平表进行三因素三水平正交实验,正交实验因素水平见表2,正交实验设计及结果见表3。

表2 正交实验因素水平

水平	A 酶种类	B 酶解时间/h	C 加酶量/%
1	胃蛋白酶	1.5	3
2	中性蛋白酶	2.0	4
3	胰蛋白酶	2.5	5

表4 蚯蚓原油理化指标

项目	标准要求	测定指标
外观	浅黄色或红棕色,稍有浑浊或分层,可有部分沉淀	浅棕色,稍有浑浊
气味	具有腥味,稍有酸败味	稍有蚯蚓特有的土腥味,略带有油脂酸败味
不溶性杂质/%	≤0.5	2.567 ± 0.180
酸值(KOH)/(mg/g)	≤2.5	2.424 ± 0.079
过氧化值/(g/100 g)	≤0.20	0.007 5 ± 0.002 5

由表4可知,超声辅助水酶法结合酸水解法提取的蚯蚓原油呈浅棕色,稍有浑浊,稍有蚯蚓特有的土腥味,略带有油脂酸败味。蚯蚓原油中不溶性杂质含量为2.567%,超过标准要求,这可能与原油中黏稠状杂质较多有关。蚯蚓原油酸值(KOH)为2.424 mg/g,过氧化值为0.007 5 g/100 g,满足标准

表3 正交实验设计及结果

实验号	A	B	C	得率/%
1	1	1	1	9.024
2	1	2	3	10.231
3	1	3	2	6.185
4	2	1	3	2.378
5	2	2	2	9.892
6	2	3	1	5.274
7	3	1	2	7.136
8	3	2	1	7.075
9	3	3	3	2.875
$k_1$	8.480	6.180	7.123	
$k_2$	5.847	9.067	7.737	
$k_3$	5.697	4.777	5.160	
R	2.783	4.290	2.577	

由表3可知,3个因素对蚯蚓油得率影响程度大小依次为 $B > A > C$ ,最佳因素水平组合为 $A_1B_2C_2$ ,即使用胃蛋白酶、酶解时间2.0 h、加酶量4%。

### 2.4 验证实验

在正交实验得到的蚯蚓油提取最佳酶解条件下进行3组平行验证实验,蚯蚓油得率分别为11.45%、11.48%、11.42%,平均值为11.45%,平行组之间无显著差异( $p > 0.05$ )。不经超声辅助水酶法处理,仅使用酸水解法对蚯蚓渣料中粗脂肪进行测定时,粗脂肪含量为10.26%(表1),低于使用了超声辅助水酶法的蚯蚓油得率(11.45%),且二者具有显著差异( $p < 0.05$ ),说明超声辅助水酶法对于提高蚯蚓渣料中油脂的提取率有一定效果,具备实际应用潜力。

### 2.5 蚯蚓油理化指标

蚯蚓原油外观、气味与不溶性杂质含量评价参照SC/T 3502—2016《鱼油》;酸值与过氧化值评价以GB 10146—2015《食品安全国家标准 食用动物油脂》为标准。蚯蚓原油的理化指标测定结果如表4所示。

中所规定的酸值(KOH)小于或等于2.5 mg/g及过氧化值小于或等于0.20 g/100 g的要求,说明本实验得到的蚯蚓油基本符合国标要求。

### 2.6 蚯蚓油脂肪酸组成

蚯蚓油脂肪酸组成及含量见表5。

表5 蚯蚓油脂脂肪酸组成及含量

脂肪酸	含量/%
癸酸(C10:0)	0.090
十一碳酸(C11:0)	0.255
月桂酸(C12:0)	13.364
十三碳酸(C13:0)	2.600
肉豆蔻酸(C14:0)	7.223
十五碳酸(C15:0)	2.519
棕榈酸(C16:0)	10.342
十七碳酸(C17:0)	6.898
硬脂酸(C18:0)	25.021
花生酸(C20:0)	1.709
二十一碳酸(C21:0)	0.242
山嵛酸(C22:0)	5.859
二十三碳酸(C23:0)	1.353
木蜡酸(C24:0)	4.906
棕榈油酸(C16:1)	2.286
油酸(C18:1n9c)	5.892
二十碳烯酸(C20:1)	0.387
亚油酸(C18:2n6c)	5.118
花生二烯酸(C20:2)	2.252
二十碳三烯酸(C20:3n6)	0.354
二十碳三烯酸(C20:3n3)	0.325
花生四烯酸(C20:4n6)	0.456
二十碳五烯酸(C20:5n3)	0.107
二十二碳六烯酸(C22:6n3)	0.383
饱和脂肪酸	82.381
单不饱和脂肪酸	8.565
多不饱和脂肪酸	8.995

由表5可知,超声辅助水酶法结合酸水解法提取的蚯蚓油中共检测出24种脂肪酸。其中,饱和脂肪酸14种,主要包括硬脂酸、月桂酸、棕榈酸等,占总脂肪酸的82.381%;单不饱和脂肪酸3种,为油酸、棕榈油酸和二十碳烯酸,占总脂肪酸的8.565%;多不饱和脂肪酸7种,主要包括亚油酸、花生二烯酸等,占总脂肪酸的8.995%。含量大于5%的脂肪酸共8种,依次为硬脂酸、月桂酸、棕榈酸、肉豆蔻酸、十七碳酸、油酸、山嵛酸、亚油酸。月桂酸是母乳中的重要成分之一,可以起到抗菌作用<sup>[26]</sup>;棕榈酸是一种高级饱和脂肪酸,可能有助于预防血管疾病<sup>[27-28]</sup>;油酸是一种Omega-9单不饱和脂肪酸,具有抗炎<sup>[29]</sup>等功能;亚油酸是一种人体必需脂肪酸,具有抗炎<sup>[30]</sup>、抗氧化<sup>[31]</sup>等功能。

动植物或微生物中奇数碳脂肪酸含量普遍很低,然而蚯蚓油中奇数碳脂肪酸含量相对较高,为13.867%。奇数碳脂肪酸属于高附加值脂肪酸,研究发现,奇数碳脂肪酸对自身免疫病、过敏、银屑病

均有效果,可使炎症过程正常化,从而起到抗炎作用<sup>[32]</sup>。另外,十五碳酸对人乳癌细胞MCF-7/SC具有选择性细胞毒性,可起到抗癌作用<sup>[33]</sup>;十七碳酸能够降低2型糖尿病患病风险<sup>[34]</sup>;血浆磷脂中十五碳酸与十七碳酸浓度与心血管疾病呈负相关<sup>[35]</sup>。在工业应用方面,奇数碳脂肪酸还是生产农药除草剂、香皂、化妆品、洗涤剂等工业化产品的重要原料物质<sup>[36]</sup>。综上,蚯蚓油是一种营养价值较高,具有巨大应用潜力和应用前景的高品质油脂。

### 3 结论

以蚯蚓蛋白粉加工副产物——赤子爱胜蚓渣料为研究对象,通过单因素实验和正交实验得出超声辅助水酶法结合酸水解法提取蚯蚓油的最佳酶解条件为使用胃蛋白酶、酶解时间2.0 h、加酶量4%,在此条件下,蚯蚓油得率为11.45%。提取的蚯蚓原油为浅棕色,稍有浑浊,稍有蚯蚓特有的土腥味,略带有油脂酸败味,酸值、过氧化值符合GB 10146—2015标准要求。蚯蚓油中检出24种脂肪酸,饱和脂肪酸占总脂肪酸的82.381%,单不饱和脂肪酸占总脂肪酸的8.565%,多不饱和脂肪酸占总脂肪酸的8.995%,其中含量较高的脂肪酸为硬脂酸、月桂酸、棕榈酸、油酸、亚油酸等。蚯蚓中奇数碳脂肪酸含量相对较高,具有较高的营养价值。

### 参考文献:

- [1] NAMBA T, MA Y H, INAGAKI K. Insect-derived crude drugs in the Chinese Song dynasty[J]. J Ethnopharmacol, 1988, 24(2/3): 247-285.
- [2] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 北京:中国医药科技出版社, 2020: 1088.
- [3] 李思维, 郝二伟, 杜正彩, 等. 广地龙化学成分和药理作用的研究进展及其质量标志物(Q-Marker)的预测分析[J]. 中草药, 2022, 53(8): 2560-2571.
- [4] 吕金胜, 吴畏, 孟德胜, 等. 地龙醇提物抗炎及镇痛作用的研究[J]. 中国药师, 2003, 6(1): 16-18.
- [5] 张经纬, 杨万青, 马韞楠, 等. 通俗环毛蚓抗血栓活性蛋白成分的快速富集及活性考察[J]. 中国实验方剂学杂志, 2021, 27(22): 166-171.
- [6] FIOŁKA M J, CZAPLEWSKA P, MACUR K, et al. Anti-Candida albicans effect of the protein-carbohydrate fraction obtained from the coelomic fluid of earthworm *Dendrobaena veneta* [J/OL]. PLoS One, 2019, 14(3): e0212869 [2023-03-29]. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212869>.
- [7] 袁庆, 殷孟兰, 张彤, 等. 中药地龙治疗缺血性脑损伤的药理研究进展[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2022, 20(19): 3574-3577.
- [8] 何清香, 伍文耀. 复方地龙胶囊联合生脉片治疗糖尿病

- 周围神经病变临床观察[J]. 中医临床杂志, 2020, 32(9): 1718 - 1721.
- [9] 张秋凤, 李薇, 吴晓东. 气道重构的发病机制与地龙的药理作用[J]. 医学综述, 2018, 24(6): 1115 - 1120.
- [10] PONIEDZIAŁEK B, ROSIŃSKA J, RZYMSKI P, et al. Polysaccharide - protein complex from coelomic fluid of *Dendrobaena veneta* earthworm exerts a multi - pathway antiplatelet effect without coagulopathy and cytotoxicity[J/OL]. Biomed Pharmacother, 2022, 151: 113205[2023 - 03 - 29]. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2022.113205>.
- [11] HE F, LIU R, TIAN G, et al. Ecotoxicological evaluation of oxidative stress - mediated neurotoxic effects, genetic toxicity, behavioral disorders, and the corresponding mechanisms induced by fluorene - contaminated soil targeted to earthworm (*Eisenia fetida*) brain[J/OL]. Sci Total Environ, 2023, 871: 162014[2023 - 03 - 29]. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162014>.
- [12] BAO X, XU W, CUI J, et al. NMR - based metabolomics approach to assess the ecotoxicity of prothioconazole on the earthworm (*Eisenia fetida*) in soil[J/OL]. Pestic Biochem Physiol, 2023, 190: 105320[2023 - 03 - 29]. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2022.105320>.
- [13] 陈静, 陈金洁, 杨倩楠, 等. 蚯蚓生态类型和密度对水浇地土壤综合质量的影响[J]. 南方农业学报, 2022, 53(7): 1899 - 1907.
- [14] MUSYOKA S N, LITI D, OGELLO E O, et al. Earthworm, *Eisenia fetida*, bedding meal as potential cheap fishmeal replacement ingredient for semi - intensive farming of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*[J]. Aquac Res, 2020, 51(6): 2359 - 2368.
- [15] SUN Q, SHI J, SCANLON M, et al. Optimization of supercritical - CO<sub>2</sub> process for extraction of tocopherol - rich oil from canola seeds[J/OL]. LWT - Food Sci Technol, 2021, 145: 111435[2023 - 03 - 29]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111435>.
- [16] 马文广, 宋碧清, 郑昀晔, 等. 烟籽油提取工艺的优化及脂肪酸评价[J]. 浙江农业科学, 2021, 62(9): 1860 - 1866.
- [17] 李万山. 小分子表面活性剂辅助水剂法制备花生油和蛋白质的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2021.
- [18] PROMMABAN A, KUANCHOOM R, SEEPUAN N, et al. Evaluation of fatty acid compositions, antioxidant, and pharmacological activities of pumpkin (*Cucurbita moschata*) seed oil from aqueous enzymatic extraction[J/OL]. Plants, 2021, 10(8): 1582[2023 - 03 - 29]. <https://doi.org/10.3390/plants10081582>.
- [19] CHEN W, HUANG G, JIA Z, et al. Optimization of aqueous enzymatic extraction of oil from shrimp processing by - products using response surface methodology[J]. Food Sci Technol, 2019, 39(Suppl 1): 231 - 236.
- [20] 李杨, 张雅娜, 齐宝坤, 等. 水酶法提油工艺的预处理方法研究进展[J]. 大豆科技, 2019(S1): 316 - 319, 354.
- [21] 张秀芬, 黄珍玲, 吴玲玲, 等. 响应面法优化超声辅助水酶法提取辣木籽油[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(21): 108 - 114.
- [22] 张雅娜, 王辰, 吴奇芯, 等. 超声辅助水酶法提取黄秋葵籽油的研究[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(7): 141 - 147.
- [23] 杨定法, 牛若楠, 赵声兰. 植物油酸价、过氧化值的测定方法研究[J/OL]. 中国油脂: 1 - 9[2023 - 03 - 29]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1099.20221111.1721.002.html>.
- [24] LI C, CHEN M, LI X, et al. Purification and function of two analgesic and anti - inflammatory peptides from coelomic fluid of the earthworm, *Eisenia foetida*[J]. Peptides, 2017, 89: 71 - 81.
- [25] XU J H, CAO H J, ZHANG B, et al. The mechanistic effect of bromelain and papain on tenderization in jumbo squid (*Dosidicus gigas*) muscle[J/OL]. Food Res Int, 2020, 131: 108991[2023 - 03 - 29]. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.108991>.
- [26] 汤佳宁, 王永侠, 刘金松, 等. 中链脂肪酸及其酯对致病细菌的抑菌作用[J]. 浙江农业学报, 2021, 33(9): 1611 - 1616.
- [27] SANDERS T A B, FILIPPOU A, BERRY S E, et al. Palmitic acid in the sn - 2 position of triacylglycerols acutely influences postprandial lipid metabolism[J]. Am J Clin Nutr, 2011, 94(6): 1433 - 1441.
- [28] HU Y, FAN Y, ZHANG C, et al. Palmitic acid inhibits vascular smooth muscle cell switch to synthetic phenotype via upregulation of miR - 22 expression[J]. Aging, 2022, 14(19): 8046 - 8060.
- [29] HONG J H, LEE Y C. Anti - inflammatory effects of *Cicadidae periostracum* extract and oleic acid through inhibiting inflammatory chemokines using PCR arrays in LPS - induced lung inflammation *in vitro*[J/OL]. Life, 2022, 12(6): 857[2023 - 03 - 29]. <https://doi.org/10.3390/life12060857>.
- [30] VALENZUELA C A, BAKER E J, MILES E A, et al. Differential inflammatory responses in cultured endothelial cells exposed to two conjugated linoleic acids (CLAs) under a pro - inflammatory condition[J/OL]. Int J Mol Sci, 2022, 23(11): 6101[2023 - 03 - 29]. <https://doi.org/10.3390/ijms23116101>.

筛、二道棉壳平面回转筛、风选器分离的棉仁经绞龙输送至二道棉仁平面回转筛,上层筛的筛上物棉壳进入棒条筛,下层筛的筛下物棉仁进入下道工序,下层筛的筛上物进入垂直吸风道进行风选,大部分容重轻的棉壳吸入风管道,经旋风刹克龙

输送至棒条筛,而经垂直吸风道风选去除棉壳后的棉仁被输送至下道工序。

### 3 棉籽仁壳分离新工艺和传统工艺的对比

棉籽仁壳分离新工艺和传统工艺设备、工艺参数对比如表1所示,工艺指标对比如表2所示。

表1 新工艺和传统工艺设备、工艺参数对比

设备	传统工艺	新工艺
调质器	无	出料温度 50 ~ 60 °C,水分含量 9% ~ 10%
剥壳机	上辊间距 0.4 ~ 0.5 mm,下辊间距 0.3 ~ 0.4 mm	上辊间距 0.35 ~ 0.45 mm,下辊间距 0.25 ~ 0.35 mm
阶梯筛	筛孔 $\phi 4 \sim 6$ mm	筛孔 $\phi 4 \sim 5$ mm
吸提器	无	轻相无棉籽(棉仁)
一道平面回转筛	一层筛孔 $\phi 4 \sim 6$ mm,二层编织网 1.18 mm(16目)	一层筛孔 $\phi 3 \sim 4.5$ mm,二层编织网 0.6 mm(30目)
二道棉壳平面回转筛	一层筛孔 $\phi 3$ mm,二层编织网 1.18 mm(16目)	一层筛孔 $\phi 3 \sim 4$ mm,二层编织网 0.6 mm(30目)
二道棉仁平面回转筛	无	一层筛孔 $\phi 4 \sim 5$ mm,二层编织网 0.6 mm(30目)
棒条筛	筛孔 $\phi 4 \sim 6$ mm	筛孔 $\phi 4 \sim 6$ mm

表2 新工艺和传统工艺指标对比

项目	传统工艺	新工艺
剥壳前光籽水分含量	未关注	9 ~ 10
阶梯筛筛上物壳中含仁率	1 ~ 3	3 ~ 5
吸提器分离后棉壳含仁率		0.5 ~ 0.8
阶梯筛筛下物仁中含壳率	15 ~ 18	12 ~ 15
一道平面回转筛仁中含壳率	8 ~ 10	5 ~ 7
二道棉仁平面回转筛仁中含壳率		1 ~ 2
棉仁含壳率	10 ~ 15	2 ~ 4
棉壳含仁率	0.5 ~ 0.8	0.1 ~ 0.3
棉仁中 0.6 mm(30目)筛下细粉比例	25 ~ 35	15 ~ 20

## 4 结 语

通过对剥壳前光棉籽进行调质处理,剥壳后筛分

和风选系统设计、优化,棉仁含壳率由工艺改造前的 10% ~ 15% 下降至 2% ~ 4%,棉仁中 0.6 mm(30目)筛下细粉比例由 25% ~ 35% 下降至 15% ~ 20%,经过浸出(脱脂脱酚)后可生产出蛋白质含量为 60% ~ 65% 的棉籽蛋白产品,提高了棉籽附加值。

### 参考文献:

- [1] 邵会, 陈运霞, 崔平永, 等. 棉籽加工过程中仁壳分离工艺的研究[J]. 中国油脂, 2013, 38(9): 95-97.
- [2] 常栋科, 武文斌, 原富林, 等. 垂直吸风道风选器的仿真分析及研究[J]. 粮食与饲料工业, 2015(5): 9-13.
- [3] 徐安平. 完善棉籽剥壳及仁壳分离工艺条件[J]. 中国油脂, 2001, 26(1): 57-59.
- [4] 王宏平. 大豆脱皮工艺的研究与应用[J]. 中国油脂, 2003, 28(4): 74-76.
- [5] doi.org/10.3390/nu12061663.
- [6] PRADA M, WITTENBECHER C, EICHELMANN F, et al. Association of the odd-chain fatty acid content in lipid groups with type 2 diabetes risk: A targeted analysis of lipidomics data in the EPIC-Potsdam cohort[J]. Clin Nutr, 2021, 40(8): 4988-4999.
- [7] JENKINS B, WEST J A, KOULMAN A. A review of odd-chain fatty acid metabolism and the role of pentadecanoic acid (C15:0) and heptadecanoic acid (C17:0) in health and disease[J]. Molecules, 2015, 20: 2425-2444.
- [8] ZHANG L S, LIANG S, ZONG M H, et al. Microbial synthesis of functional odd-chain fatty acids: A review[J/OL]. World J Microbiol Biotechnol, 2020, 36(3): 35 [2023-03-29]. https://doi.org/10.1007/S11274-020-02814-5.
- [9] MORVARIDZADEH M, ESTÊVÃO M D, MORVARIDI M, et al. The effect of conjugated linoleic acid intake on oxidative stress parameters and antioxidant enzymes: A systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials[J/OL]. Prostaglandins Other Lipid Mediat, 2022, 163: 106666 [2023-03-29]. https://doi.org/10.1016/j.prostaglandins.2022.106666.
- [10] 白松, 侯正杰, 高庚荣, 等. 微生物合成奇数链脂肪酸研究进展[J]. 中国生物工程杂志, 2022, 42(6): 76-85.
- [11] TO N B, NGUYEN Y T K, MOON J Y, et al. Pentadecanoic acid, an odd-chain fatty acid, suppresses the stemness of MCF-7/SC human breast cancer stem-like cells through JAK2/STAT3 signaling[J/OL]. Nutrients, 2020, 12(6): 1663 [2023-03-29]. https://

(上接第123页)