

黄粉虫不同虫龄油脂的提取及抗氧化性能研究

胡艺涵¹, 饶桂维^{2*}, 陈瑶³, 雷超¹, 张一艺⁴, 谢广发¹

¹浙江树人学院生物与环境工程学院, 浙江 杭州

²浙江树人学院交叉科学研究院, 浙江 杭州

³温州海关技术服务中心, 浙江 温州

⁴浙江树人学院团委, 浙江 杭州

收稿日期: 2023年12月21日; 录用日期: 2024年1月18日; 发布日期: 2024年1月26日

摘要

目的: 为了探索黄粉虫虫龄与黄粉虫含油率的关系, 以黄粉虫为研究对象, 饲喂不同虫龄的黄粉虫并对其油脂提取率进行研究, 并对提取到虫油进行抗氧化性能和虫油手工皂制作及性能测试。方法: 饲养30, 40, 50, 60, 70和80龄六种虫龄的黄粉虫, 冻死干燥后以石油醚为溶剂进行超声波辅助提取黄粉虫油, 而后分别将提取到六种虫龄的虫油进行抗氧化性能测试, 还进行了虫油手工皂制作及测试性能评分。结果: 黄粉虫在虫龄为80龄时提油率最高为31.96%, 且虫龄与提油率之间成正相关关系, 黄粉虫油的羟基自由基清除率 IC_{50} 为3.11 mg/mL, 黄粉虫油的DPPH清除率 IC_{50} 为3.12 mg/mL, 黄粉虫油的ABTS+清除率 IC_{50} 为3.48 mg/mL。各虫龄虫油手工皂的性能评分表现良好。

关键词

黄粉虫, 虫龄, 虫油提取, 抗氧化性能, 虫油手工皂

Study on Extraction and Antioxidant Properties of Oil from Different Instars of *Tenebrio molitor*

Yihan Hu¹, Guiwei Rao^{2*}, Yao Chen³, Chao Lei¹, Yiyi Zhang⁴, Guangfa Xie¹

¹School of Biotechnology and Environmental Engineering, Zhejiang Shuren University, Hanzhou Zhejiang

²Interdisciplinary Research Academy, Zhejiang Shuren University, Hangzhou Zhejiang

³Comprehensive Technical Service Center of Wenzhou Customs, Wenzhou Zhejiang

⁴League Committee, Zhejiang Shuren University, Hangzhou Zhejiang

Received: Dec. 21st, 2023; accepted: Jan. 18th, 2024; published: Jan. 26th, 2024

*通讯作者。

文章引用: 胡艺涵, 饶桂维, 陈瑶, 雷超, 张一艺, 谢广发. 黄粉虫不同虫龄油脂的提取及抗氧化性能研究[J]. 农业科学, 2024, 14(1): 95-104. DOI: 10.12677/hjas.2024.141012

Abstract

Objective: In order to explore the relationship between the instars of *Tenebrio molitor* and the oil content of *Tenebrio molitor*, *Tenebrio molitor* was used as the research object. *Tenebrio molitor* of different instars were fed and the oil extraction rate was studied. The antioxidant properties of the extracted oil and the hand soap production and performance test of the oil were carried out. **Method:** The 30, 40, 50, 60, 70 and 80 instars larvae of *Tenebrio molitor* were fed. After being freeze to death, the oil of *Tenebrio molitor* was extracted by ultrasonic-assisted with petroleum ether as solvent. The antioxidant properties of the oil extracted from six instars larvae of *Tenebrio molitor* were tested, and the manual soap-making and test performance scores of the oil were also carried out. **Result:** The highest oil extraction rate of *Tenebrio molitor* was 31.96% when the instar was 80, and there was a positive correlation between the instars and the oil extraction rate. The IC_{50} of hydroxyl radical scavenging rate of *Tenebrio molitor* oil was 3.11 mg/mL, the IC_{50} of DPPH scavenging rate of *Tenebrio molitor* oil was 3.12 mg/mL, and the IC_{50} of ABTS⁺ scavenging rate of *Tenebrio molitor* oil was 3.48 mg/mL. The performance scores of handmade soaps of *Tenebrio molitor* instar oil were good.

Keywords

Tenebrio molitor, Instars, Extract of Oil from *Tenebrio molitor*, Antioxidant Performance, Handmade Soap of Oil from *Tenebrio molitor*

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

黄粉虫(*Tenebrio molitor* L)别名黄粉甲, 俗称面包虫, 其主要成分有蛋白质、脂肪、壳聚糖、维生素等[1], 是一种珍贵的资源昆虫。随着研究深入, 黄粉虫的营养价值、经济价值以及资源价值等各方面都已被人们所逐渐认识, 对其的深加工范围也是越来越广泛。例如: 食品添加剂系列[2] [3] (如黄粉虫饼干、面包、酱油和补酒等), 宠物饲料系列[4] (虫沙), 药用保健系列[5] [6] (如几丁质和氨基酸等)。黄粉虫在养殖过程中产生的虫粪[7] [8] [9]也可用作有机肥料、食用菌栽培基质、化工原料和养殖材料等。

蛋白质是动物饲料的第二大成分, 然而我国饲料蛋白质原料资源短缺, 严重制约了畜牧业的健康可持续发展[10]。黄粉虫作为当前备受关注的昆虫之一, 不仅饲养空间小、饲料转化率高、世代周期短、生物量大[11]还富含优良蛋白质。研究发现其鲜虫蛋白质含量为 16.8%, 干粉蛋白质含量 48%~54%, 蛋白质中含有人体必需的 8 种氨基酸之外还有 4 种氨基酸超过了 FAO/WHO 推荐模式值[12]。除此之外, 黄粉虫干物质中粗蛋白还能提取具有抗肿瘤、抑菌、抗氧化、免疫调节等功能的生物活性物质[13], 具有成为新型蛋白质饲料资源的潜力。

现阶段开发昆虫蛋白作为未来的优良蛋白质替代品已成为热点。黄粉虫脱脂蛋白粉的蛋白质含量高达 70%, 脂肪含量很低。它主要作为优质蛋白质的来源添加到动物饲料中[14], 约 3%脱脂蛋白粉用于普通水产品中会比 10%鱼粉更有效, 若作为食品乳液也能较大提高营养成分[15]。根据调查, 现已开发出黄粉虫蛋白粉、蛋白饼干[16]、黄粉虫蛋白饮料、蛋白棒[17] [18]等产品, 关于黄粉虫脱脂蛋白的专利申

请目前也是热点[19] [20]。

现阶段对黄粉虫的研究大部分集中在对黄粉虫蛋白方面。但黄粉虫同样也富含油脂，尤其含有丰富的不饱和脂肪酸，其中亚油酸的含量高达 24.1% [21]。从油脂的生产来看，以产植物油脂较高的油菜籽为例，若以同样面积种植油菜花和饲养黄粉虫，黄粉虫所产动物油脂是种植油菜油脂产量的 46~70 倍[22]。当前在进行黄粉虫蛋白粉的生产时，往往要进行脱脂，脱脂下来的油脂多为废弃物丢弃，或者用于生物柴油等[23] [24]方面应用，更深入的研究文献报道甚少。

如上所述，目前对黄粉虫油脂的深加工的研究较少，故本实验主要基于黄粉虫富含优质油脂的优点围绕脱脂蛋白后多余油脂的深层开发。研究关注于将不同虫龄的黄粉虫进行超声波[25]辅助提取黄粉虫油脂并比对虫龄与油脂提取得率的相关性。并探索不同虫龄虫油的抗氧化性能，再进一步进行深加工应用制作虫油手工皂[26]，对黄粉虫的这一食品原料的高附加值开发提供一个更加绿色广阔的思路。

2. 材料与方法

2.1. 供试虫源与材料

试验所用的黄粉虫幼虫均购买于山东滨州黄粉虫专业养殖厂，采用长宽高为 5 cm × 8 cm × 6 cm 的塑料盒为饲养容器，试虫在 26℃ 环境下饲养。饲养黄粉虫用的麦麸，南瓜，胡萝卜为市购；所用的椰子油、棕榈油、猪油与手工皂模板均购于网上店铺。

2.2. 试剂与仪器

试剂：95%乙醇、水杨酸、天津永大化学试剂有限公司，石油醚(60℃~90℃)江苏强盛功能化学股份有限公司，氢氧化钠 杭州萧山化学试剂厂，硫酸亚铁衢州巨化试剂有限公司，H₂O₂ 国药集团化学试剂有限公司，DPPH、ABTS⁺和过硫酸钾上海阿拉丁生化科技股份有限公司，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

仪器：BJ-8001 不锈钢粉碎机拜杰有限公司、电热恒温鼓风干燥箱 DHG-9140A 宁国沙鹰科学仪器有限公司、FA2004 电子天平上海恒平、旋转蒸发器 RV10 digitalV 德国 IKA 公司、ZNCL-GS 智能磁力搅拌器巩义市予华仪器有限责任公司、752N 紫外可见分光光度计上海佑科仪器有限公司、KQ-5200 型超声波清洗器昆山市超声仪器有限公司、SCIENTZ-18N 冷冻干燥机宁波新芝仪器有限公司。

2.3. 实验方法

2.3.1 材料处理

人工挑选个体发育健康、活力强的黄粉虫放入长宽高为 5 cm × 8 cm × 6 cm 的饲养容器，在室内饲养箱中进行饲养，并及时更换食物，清理蜕皮及虫粪。将满 30、40、50、60、70、80 虫龄的黄粉虫移出，24 h 不予喂食，饥饿处理后再次使用筛网分离虫粪[27]并放入冰箱冷冻待处理。而后将不同虫龄冻干的黄粉虫放入 55℃ 烘箱中烘干，直至质量恒定，而后用粉碎机粉碎并将虫粉用 40 目筛过筛，备用。

2.3.2. 油脂提取的测定

称重 1000 mL 29#圆底烧瓶的空瓶重量记为 W₁，称取黄粉虫虫粉质量适量记为 m，虫粉装入 500 mL 烧杯后，按比例倒入石油醚，放超声波清洗器上进行超声提取。据前期单因素实验法得出由超声波辅助提取黄粉虫油脂得出最佳条件[25]：以石油醚(60℃~90℃)为提取剂，提取温度为 40℃、液料比 12:1、提取时间 31 min、超声波功率 100%。分别按照上述最佳提优工艺进行提油，结束后将油脂与石油醚混合物过滤至圆底烧瓶内，用旋转蒸发器减压浓缩蒸发至石油醚完全蒸出，测量圆底烧瓶含浓缩液总重量记为 W₂。将黄粉虫油脂重量记为 M。则 $M = W_2 - W_1$ 。油脂含量(%) = $M/m \times 100\%$ 。做三组平行实验并取平均值。

2.3.3. 抗氧化指标测定

抗氧化指标的测定包括油脂的羟基自由基清除率、DPPH 清除率和 ABTS⁺清除率。

前处理：取各个虫龄黄粉虫油脂适量并利用无水乙醇配置到适合的浓度范围。

羟基自由基清除率的测定[28]：在反应体系中依次加入 9×10^{-3} mol/L 的 FeSO₄ 溶液 1.0 mL, 9×10^{-3} mol/L 的水杨酸-乙醇溶液 1.0 mL, 以及 1.0 mL 黄粉虫油, 最后加入 6×10^{-3} mL/L 的 H₂O₂ 1.0 mL, 启动反应, 在 37℃ 水浴环境中反应 0.5 h。最后在 510 nm 波长下测定样品的吸光度。空白组以相同体积蒸馏水代替样品溶液。

DPPH 清除率测定[29]：取 2 mL 0.02 mg · mL⁻¹DPPH-无水乙醇溶液与 2 mL 黄粉虫油溶液置于试管中, 充分反应后, 在 517 nm 处测定吸光度为 A, 2 mL 无水乙醇与 2 mL DPPH-无水乙醇溶液吸光度为 B, 2 mL 黄粉虫油与 2 mL 无水乙醇吸光度为 C, 以上体系均避光反应半小时, 以 VC 作为阳性对照。

ABTS⁺清除率测定[30]：取 25 mL 的 7.3 mmol · L⁻¹ABTS 溶液和 25 mL 的 2.45 mmol · L⁻¹过硫酸钾溶液, 混合后充分摇匀, 于黑暗处静置 12.5 h 后使用。取 1 mL 的混合液, 用无水乙醇溶液调节混合液的吸光值, 使其在 734 nm 波长下吸光值范围为 0.7 ± 0.02 , 并在此波长下测定吸光值, A₀ 为 2 mL ABTS⁺溶液与 1 mL 乙醇混合后的吸光度; A₁ 为 2 mL ABTS⁺溶液与 1 mL 虫油混合后的吸光度, 以上体系均反应 6 min, 以 VC 作为阳性对照。

黄粉虫油脂的羟基自由基清除率(%), DPPH 清除率(%)和 ABTS⁺清除率(%), 分别按照(1)~(3)计算[28] [29] [30]:

$$\text{羟基自由基清除率}(\%) = \frac{[A_0 - (A_x - A_{ox})]}{A_0} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{DPPH清除率}(\%) = \left(1 - \frac{A - C}{B}\right) \times 100 \quad (2)$$

$$\text{ABTS}^+(\%) = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100 \quad (3)$$

式中, A₀: 空白对照液的吸光度; A_x: 加入油液后的吸光度; A_{ox}: 不加 H₂O₂ 时萃取液的本底吸光度; A: DPPH-无水乙醇溶液与 2 mL 黄粉虫油溶液; B: 2 mL 无水乙醇与 2 mL DPPH-无水乙醇溶液吸光度; C: 2 mL 黄粉虫油与 2 mL 无水乙醇吸光度; A₀: 空白对照吸光值; A₁: 样品吸光值。

2.3.4 手工皂制作及动物油脂比例测定

以猪油为例研究手工皂油脂比例, 并以此制作不同虫龄虫油抗氧化手工皂。将烧杯置于 40℃ 的恒温水浴锅中, 在烧杯内分别加入不同比例的猪油: 棕榈油: 椰子油。比例如下: 2:1:1、1:1:1、0.5:1:1、0.2:1:1、1:3:5, 而后加入一定质量分数的 NaOH 溶液, 搅拌, 使其充分混合。用胶头滴管取适量混合物滴加到盛有 60℃ 热水的烧杯中搅拌观察, 若无泡沫产生, 则停止搅拌。将烧杯中混合物倒入模具中, 放置一段时间凝固, 制得猪油手工皂。按上一步骤中的最低比例在烧杯内分别加入不同虫龄段的虫油、棕榈油、椰子油制作虫油手工皂。

2.3.5. 手工皂性能测定

手工皂性能指标的测定[26]包括手工皂的 pH 值的测定、起泡度的测定、不易软化度的测定和清洁力的测定。

将制作好的不同虫龄虫油的手工皂, 猪油皂以及雕牌皂分装完毕, 放置 48h 以上后再进行性能测试。

pH 值的测定: 称取皂样 1 g 于烧杯中, 加入 50 mL 蒸馏水。将烧杯放置于 70℃ 恒温水浴锅中, 并持续搅拌, 待皂样完全溶解后, 将其定容于 100 mL 容量瓶中, 摇匀待用。用玻璃棒蘸取适量待测液, 用精

密 pH 试纸进行测定。

起泡度的测定：本实验以泡沫体积占被测皂样溶液体积的百分比来测定皂样的起泡力。取皂样 0.2 g 溶于水中，放入 100 mL 容量瓶稀释制得皂样溶液，取 10 mL 皂溶液倒入 50 mL 试管中，振荡 1 min 后，测量泡沫体积。

不易软化度的测定：本实验以皂样浸泡前后的质量差占初始质量的百分比 s 来判定皂样的不宜软化度。取 5 g 样品称重并记录初始质量，将样品放入烧杯中，加水 100 mL 浸没，浸泡 10 h，取出皂样后，放入蒸发皿中存放 24 h，待其干燥后再次称重，记录两次差值。

清洁力的测定：本实验以皂样清洗后的剩余污渍面积来判定皂样的清洁力。取 5 cm×5 cm 白棉布若干，滴入酱油使棉布全部被浸润，放置 10 h 备用。取等量皂样进行清洗，观察污渍残留情况，记录剩余污渍面积。

手工皂性能的起泡度的测定(%), 不易软化度的测定(%), 分别按照(4)~(5) [26]计算:

$$f = V_f / V_t \times 100\% \quad (4)$$

$$s = (m_0 - m) / m_0 \times 100\% \quad (5)$$

式中, f : 起泡力; V_f : 泡沫体积, 单位为 mL; V_t : 被测皂样溶液体积, 单位为 mL; s : 不易软化度; m : 浸泡干燥后的皂样质量, 单位为 g; m_0 : 浸泡前的皂样质量, 单位为 g。

2.3.6. 手工皂性能评价指标量化

以总分 100 分为计[31], 由于不同指标之间的差异性, 对四个指标设定相应权重, 具体量比例见表 1:

Table 1. Quantitative evaluation table of hand-made soap quality

表 1. 手工皂品质量化评价表

项目 item	分值范围 Score range	评价标准 Evaluation criteria	分值 score
pH 值 pH value	0~25	$8 \leq \text{pH} \leq 9$	20~25
		$9 \leq \text{pH} \leq 11$	10~20
		$\text{pH} > 11$	0~10
起泡力 Foaming power	0~30	$f = 0\% \sim 15\%$	0~10
		$f = 15\% \sim 30\%$	10~20
		$f = 30\%$ 以上	20~30
不易软化度 Resistance to softening	0~10	$s = 1\% \sim 0\%$	5~10
		$s = 10\% \sim 1\%$	0~5
清洁力 Cleaning power	0~35	污渍完全清除	20~35
		剩余少量污渍	10~20
		剩余大量污渍	0~10

2.4. 数据处理

利用 Origin 2019 进行数据处理和分析, 所有试验均重复至少三次, 取平均值。

3. 结果与分析

3.1. 不同虫龄对油脂提取率的影响

由图 1 可知随着黄粉虫虫龄的增大, 黄粉虫幼虫的平均提油率呈现明显的上升趋势并在 80 d 虫龄段时达到提油率最高点 31.86%。总体共有 3 段较为明显的提油率增长坡度, 第一段是 30~40 d, 提油率增

加高达 10.64%，第二段和第三段分别是 40~50 d 和 60~70 d，提油率分别增加了 5.18%，4.83%。由此可知，黄粉虫幼虫在虫龄大于 50 d 的范围中都含有较丰富的油脂。

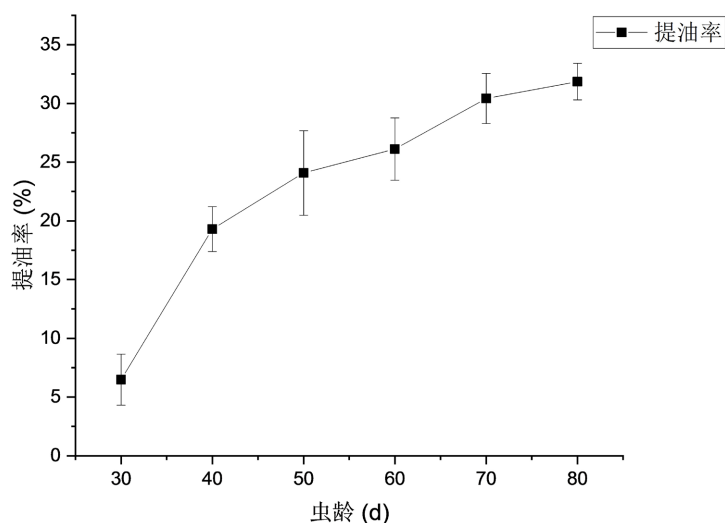


Figure 1. Relationship between mealworms of different age groups and oil extraction rate

图 1. 不同虫龄黄粉虫与提油率之间的关系

3.2. 不同虫龄油脂的羟基自由基清除率

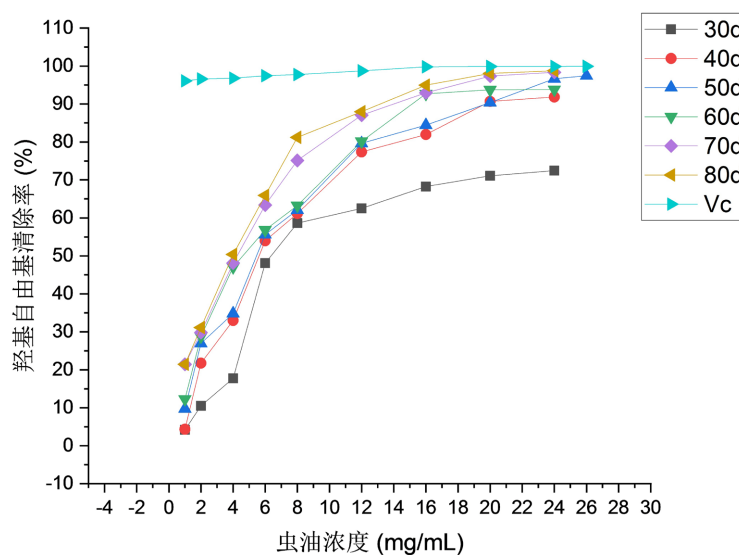


Figure 2. Hydroxyl free radical scavenging rate of oil from different age groups

图 2. 不同虫龄黄粉虫虫油羟基自由基清除率

由图2可知,在质量浓度小于 20 mg/mL 时,黄粉虫油对羟基自由基的清除率随虫油浓度增高而增加;当超过 20 mg/mL 时,羟基自由基的清除率不再随黄粉虫油浓度上升而提高,基本维持在一个恒定水平。故试验选取 80 d 虫龄黄粉虫油浓度范围为 1~20 mg/mL,待测样品平行检测 3 次,对其羟基自由基清除率进行线性拟合,具有良好量效关系: $y = 0.1171x + 0.1368$, $R^2 = 0.9557$ 。由线性曲线计算得黄粉虫油羟基自由基的 IC_{50} 值为 3.11 mg/mL。由此可知,黄粉虫油脂具有良好的羟基自由基清除率。

3.3. 不同虫龄油脂的 DPPH 清除率

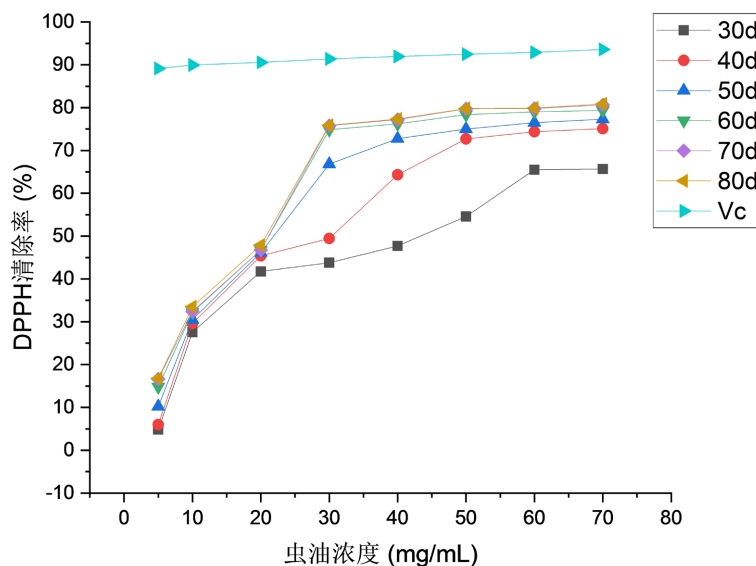


Figure 3. DPPH clearance rate of oil from different age groups

图 3. 不同虫龄黄粉虫虫油 DPPH 清除率

由图 3 可知, 在质量浓度小于 50 mg/mL 时, 黄粉虫油对 DPPH 的清除率随虫油浓度增高而增加; 当超过 50 mg/mL 时, DPPH 的清除率不再随黄粉虫油浓度上升而提高, 基本维持在一个恒定水平。同上得出 $y = 0.1356x + 0.0774$, $R^2 = 0.9134$ 。并由线性曲线计算得黄粉虫油 DPPH 的 IC_{50} 值为 3.12mg/mL。由此可知, 黄粉虫油脂具有良好的 DPPH 清除率。

3.4. 不同虫龄油脂的 ABTS⁺清除率

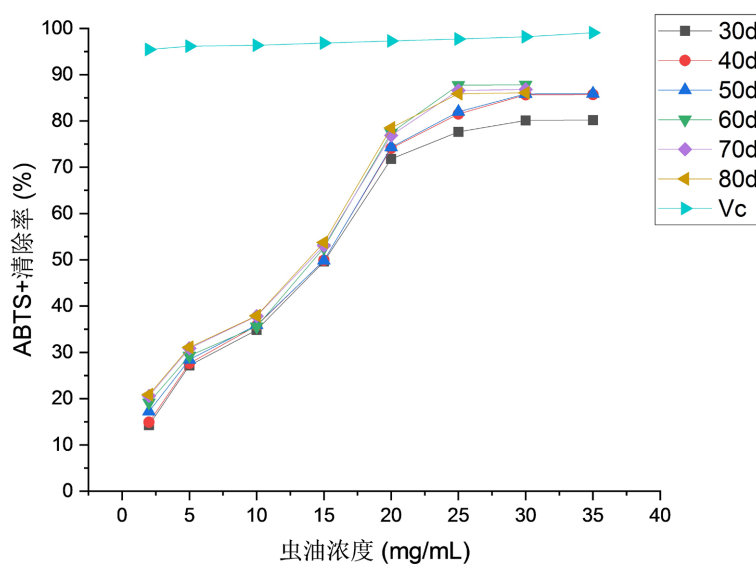


Figure 4. ABTS⁺ clearance rate of oil from different age groups

图 4. 不同虫龄黄粉虫虫油 ABTS⁺清除率

由图 4 可知, 在质量浓度小于 25 mg/mL 时, 黄粉虫油对 ABTS⁺的清除率随虫油浓度增高而增加;

当超过 25 mg/mL 时, ABTS⁺的清除率不再随黄粉虫油浓度上升而提高, 基本维持在一个恒定水平。同上对 ABTS⁺的清除率进行线性拟合, 得出 $y = 0.1442x - 0.0017$, $R^2 = 0.9636$ 。并由线性曲线计算得黄粉虫油 ABTS⁺的 IC₅₀ 值为 3.48mg/mL。由此可知, 黄粉虫油脂具有良好的 ABTS⁺清除率。

3.5. 雕牌皂、猪油皂、不同虫龄虫油皂的手工皂性能对比

采用猪油:棕榈油:椰子油分别为 2:1:1、1:1:1、0.5:1:1、0.2:1:1、1:3:5 五种比例做出的猪油皂皆制作成功, 故实验中不同虫龄虫油都采取虫油:棕榈油:椰子油为 0.2:1:1。

Table 2. Performance evaluation of hand-made soap

表 2. 手工皂性能评分

皂类名称	pH 值(评分)	起泡力(评分)	不易软化度(评分)	清洁力(评分)	总分
雕牌皂	9.3 (15)	50% (30)	0.02% (9)	污渍完全清除(35)	89
猪油皂	8.8 (25)	20% (15)	8% (2)	污渍完全清除(35)	77
30 虫龄虫油皂	8.8 (25)	15% (10)	8% (2)	污渍完全清除(35)	72
40 虫龄虫油皂	8.8 (25)	16% (11)	7% (2)	污渍完全清除(35)	73
50 虫龄虫油皂	8.8 (25)	22% (16)	7% (2)	污渍完全清除(35)	78
60 虫龄虫油皂	8.8 (25)	20% (15)	7% (2)	污渍完全清除(35)	77
70 虫龄虫油皂	8.8 (25)	20% (15)	6% (3)	污渍完全清除(35)	78

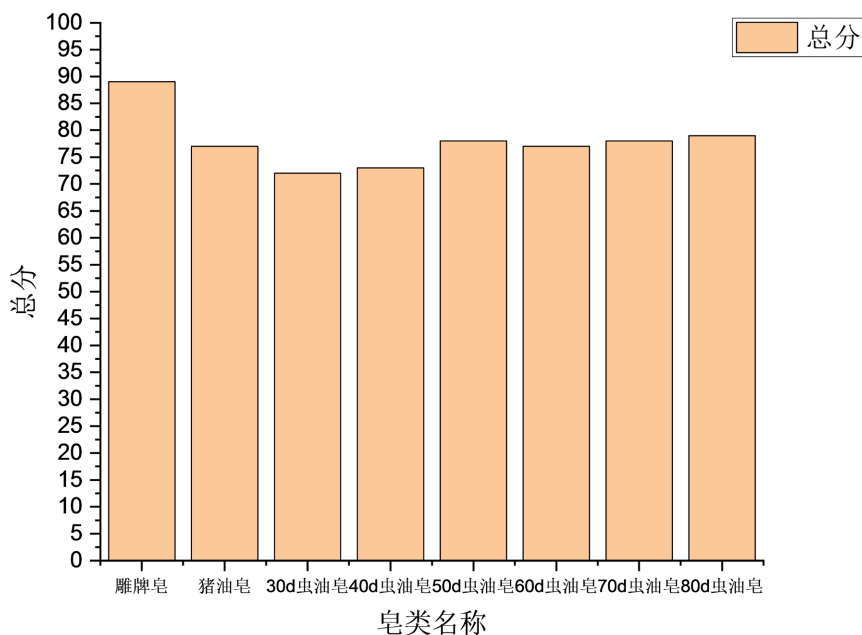


Figure 5. Comparison of total score of three kinds of hand-made soap

图 5. 3 种手工皂总分对比图

根据表 2 的评分结果与图 5 的对比图综合看出, 雕牌皂在性能评分总分中占最高, 猪油皂与虫油皂差别不大, 除了起泡力与不易软化度中稍落后于雕牌皂, 其他性能测试的评分都表现良好。分析结果表明, 虫油可作为一种性能良好的油脂来制作手工皂, 研究初步说明将黄粉虫油脂开发用于制作抗氧化手工皂具有可行性。

4. 结论

对黄粉虫的研究主要集中在黄粉虫所富含的蛋白质上, 但黄粉虫脱脂蛋白粉后得到的油脂多作为废弃物处理, 或仅用于生物柴油的应用。如若按照一批鲜虫产量约 40,000~60,000 kg/667 m² 来计算, 折成干重, 则有 13,330~20 000 kg/667 m²。黄粉虫蛋白质含量按 48% 计算, 蛋白质产量可达 6400~9600 kg/667 m²。当以同样的面积来计算黄粉虫的产油量, 按照含油量 28%, 可产黄粉虫油脂 600 kg/667 m²。

本实验表明, 黄粉虫油脂的含量丰富, 其最高提油率可达 31.86%。且本实验还研究了各个虫龄段的提油率, 研究发现只要在 50 d 以上虫龄的黄粉虫提油率都可稳定在 25% 以上。对各个虫龄段的黄粉虫油的抗氧化性能测试都表现良好, 可进一步开发出具有抗氧化功能相关的产品。例如本实验研究的黄粉虫油抗氧化护肤手工皂, 经实验测试其手工皂多个性能表现良好, 证明利用黄粉虫油来开发手工皂具有良好前景。

本实验的完成, 为黄粉虫的全流程绿色使用提供了一个思路。饲养黄粉虫若利用 1 kg 黄粉虫油脂制作手工皂, 就可以得到约 10 kg 黄粉虫脱脂蛋白。在饲喂黄粉虫所产生的黄粉虫粪可作为畜禽饲料添加剂或生产有机蔬菜及花卉的基肥, 同时, 实验饲养的黄粉虫老熟幼虫可作为种源加以利用, 而黄粉虫每次成长所蜕的虫皮还有待对其进一步的开发利用。

综上所述, 以黄粉虫为对象, 提取其黄粉虫油脂并制作抗氧化手工皂具有可行性。这不仅节约资源, 还为黄粉虫这一食品原料的高附加值开发提供了一个广阔绿色的前景。

基金项目

浙江树人学院 2023 年国家级大学生创新创业训练计划项目(202311842009X)。

参考文献

- [1] 朱琳, 王向誉, 聂磊, 等. 黄粉虫的主要功能成分及其应用研究进展[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(3): 10-12, 14.
- [2] 解昕媛, 罗仕园, 刘松奇, 等. 黄粉虫在食品领域的应用及研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(18): 300-305.
- [3] 吴福中, 林华峰, 刘志红, 等. 中国黄粉虫产品开发利用的现状及其对策[J]. 中国农学通报, 2005, 21(8): 72-75.
- [4] 王金花, 赵建国, 王德化, 等. 日粮中添加黄粉虫粪对文昌鸡生长性能的影响[J]. 农技服务, 2013, 30(1): 53-54.
- [5] 陈荣, 陈彤. 汉虾(黄粉虫)食品的研究[C]//编者信息. 第五届生物多样性保护与利用高新科学技术国际研讨会论文集. 北京: 中国生物多样性保护基金会, 2005: 179-182.
- [6] 叶韵. 黄粉虫丝氨酸蛋白酶样酶基因克隆与原核表达研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 广东工业大学, 2012.
- [7] 许齐爱, 彭伟录, 李小玺, 等. 经济昆虫黄粉虫与大麦虫研究进展[J]. 安徽农学通报, 2008, 14(21): 158-160.
- [8] 黄正团, 潘红平. 黄粉虫高效养殖技术一本通[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [9] 熊晓莉, 王超, 李宁. 黄粉虫粪基吸附剂的制备工艺优化及其吸附性能[J]. 环境工程学报, 2016, 10(11): 6720-6726.
- [10] 陈继发. 黄粉虫的营养特性及其在畜禽饲料中的应用效果[J]. 中国畜牧兽医, 2021, 48(7): 2424-2430.
- [11] Mancini, S., Fratini, F., Turchi, B., et al. (2019) Former Foodstuff Products in *Tenebrio molitor* Rearing: Effects on Growth, Chemical Composition, Microbiological Load, and Antioxidant Status. *Animals*, **9**, 484-492. <https://doi.org/10.3390/ani9080484>
- [12] 王振, 李子明. 黄粉虫加工工艺研究[J]. 粮油加工, 2008(10): 76-78.
- [13] Benzertiha, A., Kieronczyk, B., Kolodziejewski, P.A., et al. (2020) *Tenebrio molitor* and *Zophobas morio* Full-Fat Meals as Functional Feed Additives Affect Broiler Chickens' Growth Performance and Immune System Trait. *Poultry Science*, **99**, 196-206. <https://doi.org/10.3382/ps/pez450>
- [14] Hua, K., Cobcroft, J.M., Cole, A., et al. (2019) The Future of Aquatic Protein: Implications for Protein Sources in Aquaculture Diets. *One Earth*, **1**, 316-329. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.018>
- [15] Aybar, M., Simões, S., Sales, J.R., Santos, J., Figueira, D. and Raymundo, A. (2023) *Tenebrio molitor* as a Clean Label

Ingredient to Produce Nutritionally Enriched Food Emulsions. *Insects*, **14**, Article 147.

<https://doi.org/10.3390/insects14020147>

- [16] Djouadi, A., Sales, J.R., Carvalho, M.O. and Raymundo, A. (2022) Development of Healthy Protein-Rich Crackers Using *Tenebrio molitor* Flour. *Foods*, **11**, Article 702. <https://doi.org/10.3390/foods11050702>
- [17] 于桂香, 李昱喆, 李维胜, 等. 黄粉虫蛋白功能饮料的开发利用[J]. 山东农业科学, 2006(4): 72-73.
- [18] 陈娟, 于斌, 李颖, 等. 黄粉虫能量棒的研制[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(1): 187-190.
- [19] 青岛新农康源生物工程有限公司. 一种低温生产脱脂黄粉虫蛋白粉的方法[P]. 中国专利, CN202110478802.3. 2021-08-03.
- [20] 广东泽和诚生物科技有限公司. 一种富含多种微量元素的脱脂黄粉虫蛋白饲料及其制备方法[P]. 中国专利, CN202010971411.0. 2020-11-27.
- [21] 郑自奋, 崔芸, 林勇, 等. 黄粉虫油理化性质及营养特性的研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(16): 5162-5170.
- [22] 沈晓昆, 孙剑华, 姜哲, 等. 黄粉虫养殖新论[J]. 江苏农业科学, 2008(3): 277-279.
- [23] 奚增军, 徐世才. 补充营养对黄粉虫幼虫生长发育的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医(下半月), 2018(1): 151-153.
- [24] 杜娟. 资源昆虫黑水虻的利用与开发探讨[J]. 现代农业科技, 2020(12): 221-222.
- [25] 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.
- [26] 党明岩, 王磊, 罗浩天. 基于动物油脂的手工皂制备工艺研究[J]. 电大理工, 2021(1): 7-10.
- [27] 王圣印, 骆伦伦, 丁筠, 等. 不同秸秆对黄粉虫生长及海藻糖含量变化的研究[J]. 环境昆虫学报, 2018, 40(1): 52-57.
- [28] 韩勇. 水蔓菁挥发油的提取及抗氧化研究[J]. 中国饲料, 2023(1): 72-77.
- [29] 王娅, 李荣, 姜子涛, 等. 凹唇姜虫油的提取及清除游离基活性研究[J]. 中国调味品, 2022, 47(6): 175-181.
- [30] 贾秀稳, 张立华, 李先如, 等. 石榴花精油成分分析及清除自由基能力评价[J]. 食品科学, 2015, 36(24): 152-155.
- [31] 赵琪, 周跃花, 张萌, 等. 食用菜籽油制作手工皂的实验研究[J]. 山东化工, 2017, 46(20): 14-15, 18.