

文章编号:1001-1498(2014)06-0830-06

## 丝光绿蝇油脂的性质分析

袁东强, 何 钊, 孙 龙, 赵 敏, 冯 颖\*

(中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 国家林业局资源昆虫培育与利用重点实验室, 云南 昆明 650224)

**摘要:**采用 GC-MS 和 DSC 对索氏法、浸提法、超声波协同微波法和水酶法等 4 种方法提取的丝光绿蝇幼虫油脂的脂肪酸组成及热力学性质进行分析, 为其开发和利用奠定基础。结果表明, 浸提法油脂中共有 15 种脂肪酸, 其余 3 中方法油脂均含有 17 种脂肪酸, 主要成份为油酸、亚油酸、棕榈油酸和棕榈酸 4 种, 占脂肪酸总量的 89% 左右, 棕榈酸、棕榈油酸和油酸含量分别为  $248.47 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $243.51 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $174.96 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , 不饱和脂肪酸比例较高, 约占脂肪酸含量的 65%, 其他必需脂肪酸花生四烯酸和 DHA 也有少量存在。不同方法提取的油脂的热动力学特性差异明显, 油脂的熔点及玻璃化转变温度有一定差异。浸提法提取油脂的性质较差, 超声波协同微波法是最适合丝光绿蝇幼虫油脂提取的方法, 得到的油脂品质较好, 具有开发和利用价值。

**关键词:**丝光绿蝇; 油脂; 定性; 定量; 气相色谱-质谱; DSC

中图分类号: S852.74<sup>+</sup>3

文献标识码: A

## Properties Analysis of *Lucilia sericata* Larva Fat

YUAN Dong-qiang, HE Zhao, SUN Long, ZHAO Min, FENG Ying

(Research Institute of Resources Insects, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Cultivation and Utilization of Resources Insects, State Forestry Administration, Kunming 650224, Yunnan, China)

**Abstract:** The fatty composition and thermodynamic property of *Lucilia sericata* larva fat were studied. The fat was extracted by four methods: solvent extraction, ultrasonic wave-microwave assisted extraction, soxhlet extraction and enzyme-assisted aqueous extraction. The fatty acids composition and thermodynamic property of the fat were analyzed by GC-MS and DSC respectively. 15 kinds of fatty acid were detected in the fat by solvent extraction, and 17 kinds of fatty acid were detected by the other three methods. Among them, oleic acid, linoleic acid, palmitic acid and palmitoleic acid were the major compositions, accounted for about 89% of total fatty acid. The results of quantitative analysis showed that the contents of oleic acid, palmitic acid and palmitoleic acid were  $248.47 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,  $243.51 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , and  $174.96 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  respectively. Unsaturated fatty acid ratio was higher, accounts for about 65% of the fatty acid content and there were also a little amount of linoleic acid, arachidonic acid and DHA. The thermodynamic characters of fats extracted by different methods were distinctive. The melting point and glass transition temperature were also distinctive. The results showed that the fat compositions of solvent extraction was the worst, the oil quality of ultrasonic wave-microwave assisted extraction was the best. The ultrasonic wave-microwave was the appropriate extraction method of the insect fat which has the value of development and utilization.

**Key words:** *Lucilia sericata* Meigen; fatty acid; oil; qualitative; GC-MS; DSC

收稿日期: 2014-06-15

基金项目: 国家林业局“西南特色昆虫资源及经济树种种质资源收集保存与良种繁育基地建设”项目

作者简介: 袁东强(1989—), 男, 安徽阜阳人, 硕士研究生, 从事昆虫生理生化研究, E-mail: ydq378572520@126.com

\* 通讯作者:

脂质是食物中主要的高能量营养物质,在人体中扮演着重要的角色,能够帮助消化、为体内代谢提供能量,并且是生物膜的结构和功能成份<sup>[1]</sup>。研究表明,饱和脂肪酸能够增加血液中胆固醇的浓度,饮食中不能含有较高的饱和脂肪酸,过多的摄入会引起癌变,改变细胞膜结构,增加胆结石的风险,并能降低高密度脂蛋白(HDL)的浓度。不饱和脂肪酸是人和动物生长过程中必须的营养,主要有 $\omega$ -6、 $\omega$ -3和 $\omega$ -9家族,在低浓度时具有强烈的生物学特征,可抑制脑血栓、降低血浆胆固醇的水平,对心血管疾病、甘油三酯水平,血压和关节炎产生影响<sup>[2-3]</sup>,还能够作为底物来合成具有多种活性的前列腺素。油脂不饱和度的增加能够加快低密度脂蛋白(LDL)颗粒的移动,因此,不饱和脂肪酸在饮食中的摄入非常重要,引起了重视<sup>[4-5]</sup>。膳食结构中要降低脂类总量和关注各种脂肪酸摄取的合理比例,以成人而言, $\omega$ -6/ $\omega$ -3摄入的比例最好在1:4到1:10之间,WHO建议二者比例为1:6<sup>[6]</sup>。昆虫生物类群大,繁殖速度快,体内富含油脂,昆虫油脂具有多种功能,如抗疲劳,降血糖,抗氧化,抑菌,治疗烫伤等多种功能<sup>[7-11]</sup>;昆虫油脂中还存在自然界中较为少见的奇数碳脂肪酸,如十五碳酸和十七碳酸,具有独特的生理活性功能<sup>[12]</sup>,大量研究表明,食用昆虫是油脂的重要来源,为充分利用昆虫资源,FAO目前正在大力推动昆虫的研究和利用<sup>[13]</sup>。

丝光绿蝇 *Lucilia sericata* Meigen 属双翅目,丽蝇科,绿蝇属,俗称“蝇蛆”,其人工饲养技术成熟,主要采用家禽、家畜养殖产生的粪便和餐厨垃圾为养殖饲料,且已经实现规模化养殖<sup>[14-15]</sup>,可在家禽、家畜粪便和餐厨垃圾无害化处理、环保等方面发挥重要作用,其幼虫主要作为饲料昆虫利用。目前已经对部分种类昆虫油脂进行了分析,如蜂蛹<sup>[16]</sup>、蚕蛹<sup>[17-18]</sup>、黄粉虫<sup>[19]</sup>、美洲大蠊<sup>[20]</sup>、蝼蛄<sup>[21]</sup>等,但关于丝光绿蝇油脂的报道十分有限。对油脂不同提取方法的评价另篇报道,本文主要从幼虫油脂性质和组成进行分析,对丝光绿蝇和其他昆虫油脂的开发利用具有指导意义和经济价值。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

丝光绿蝇幼虫由云南昆虫生物科技有限公司提供,老熟幼虫经开水烫漂处死、晒干后粉碎备用。

碱性蛋白酶和胰蛋白酶,异辛烷(色谱纯),三氟化硼( $\text{BF}_3$ )甲醇溶液,质量分数12%(sigma)。脂肪酸甲酯化标准品:山嵛酸甲酯、花生酸甲酯、硬脂酸甲酯、棕榈酸甲酯、木蜡酸甲酯、肉豆蔻酸甲酯、辛酸甲酯、己酸甲酯、葵酸甲酯、月桂酸甲酯、trans-亚油酸甲酯、trans-油酸甲酯、芥酸甲酯、神经酸甲酯、岩芹酸甲酯、花生烯酸甲酯、cis-油酸甲酯、DHA、cis-9-油酸甲酯、 $\alpha$ -亚麻酸甲酯、肉豆蔻油酸甲酯、花生四烯酸甲酯、棕榈油酸甲酯、cis-亚油酸甲酯(sigma)。

### 1.2 方法

1.2.1 油脂提取方法 索氏法:取5 g样品,滤纸包好置于索氏管中,烧瓶中加入150 mL的石油醚,60℃恒温水浴8 h。浸提法:取5 g样品于250 mL的烧瓶中,加入100 mL石油醚,60℃恒温水浴8 h。超微波法:取10 g样品于250 mL,加入120 mL石油醚,超声波功率300 W,微波功率300 W,温度40℃,时间10 min。水酶法:取10 g样品于100 mL瓶中,加入100 mL pH8.0的磷酸缓冲液,称取碱性蛋白酶和胰蛋白酶13.33 mg,放在50℃空气摇床中9 h,酶解液转移到离心管中8 000 rpm·min<sup>-1</sup>离心5 min,用试管吸取上层的油液。

1.2.2 油脂 GC-MS 分析 (1)样品处理:甲酯化:准确称取4种油样250 mg于100 mL的烧瓶中,加入5 mL的氢氧化钠甲醇溶液,60℃水浴回流直至油滴消失,每30~60 s缓慢摇动烧瓶,以防止氢氧化钠形成固态附着在瓶壁上。冷却至室温后加入5 mL的三氟化硼甲醇溶液,继续水浴煮沸3 min,从冷凝器顶部加入7 mL异辛烷,取下冷凝器,拿出烧瓶,立即加入20 mL饱和氯化钠溶液,塞住烧瓶猛烈振摇30 s,继续加入氯化钠溶液至烧瓶颈部,静置分层。吸取上层异辛烷溶液,用0.45  $\mu\text{m}$ 的有机滤膜过滤,4℃保存备用。(2)色谱条件:采用GC-MS(ThermoFisher)测定脂肪酸组成,色谱柱:TR-5MS柱(30 m×0.25 mm,25  $\mu\text{m}$ ),升温程序:初温100℃,保持3 min,5℃·min<sup>-1</sup>升温到250℃恒温40 min,载气为He,流速为1.0 mL·min<sup>-1</sup>,进样量为2  $\mu\text{L}$ ,分流比50:1,进样口温度250℃。电子轰击(EI)离子源,电子能量70 eV,接口温度250℃,离子源温度250℃,扫描质量范围40~450 m·z<sup>-1</sup>,全扫描方式。

1.2.3 油脂 DSC 热动力学分析 采用差示扫描量热仪 DSC 测定油脂热力学,称取5 mg的油脂置于坩

锅内并压盖,精确到 0.1 mg。DSC 升温程序为开始温度 33℃,以 5℃·min<sup>-1</sup>升温到 80℃,恒温 5 min,从 80℃以 5℃·min<sup>-1</sup>降温到 -60℃,恒温 5 min,然后在以 5℃·min<sup>-1</sup>升温到 80℃,降温过程采用液氮降温。

1.2.4 数据分析 GC-MS 测定的化学成份质谱图用计算机谱图库检索并与 NIST 标准图库及脂肪酸标准品图谱进行比对,数据分析采用 EXCEL2010 进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 脂肪酸组成成分

丝光绿蝇幼虫 4 种油脂的脂肪酸甲酯的总离子流图见图 1、2、3、4,采用面积归一法对脂肪酸甲酯的组成及相对含量进行分析(表 1-表 2)。

分析表明,索氏法、浸提法、超声波协同微波法和水酶法等 4 种方法提取的油脂中主要含有脂肪酸、烷烃、醇、萜和胆固醇等,脂肪酸的含量分别达到 98.27%、88.67%、98.14% 和 98.85%,其中油酸、亚油酸、棕榈油酸和棕榈酸 4 种含量最高,占脂肪酸总量的 89.22%、85.93%、89.04% 和 89.80%,硬脂酸含量较低,浸提法中含有较多的溶质,含量占到了 11.33%,脂肪酸含量明显低于其余 3 种方法。浸提法油脂中,共鉴定出 15 种脂肪酸,其余 3 种方法均鉴定出 17 种脂肪酸并且成份和含量相近,油脂中不饱和脂肪酸含量较高,占总脂肪酸含量的 60% 以上,其中单不饱和脂肪酸含量达到 50% 以上,脂肪酸中含有一定量对人体健康起着重要作用的奇数碳脂肪酸十五碳酸、十七碳酸和十七碳烯酸。浸提法中肉豆蔻油酸、十五碳酸、十七碳烯酸和花生油酸 4

种脂肪酸含量明显要高于其余 3 种方法,分别为 1.57%、2.26%、2.07% 和 1.09%,但是未检测到 DHA 和月桂酸,亚油酸的含量要低于其余 3 种方法。

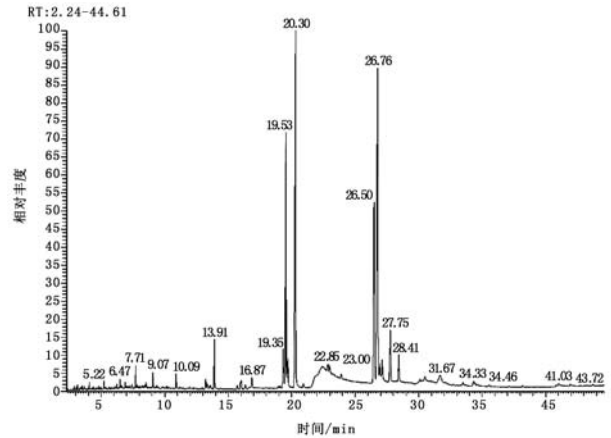


图 2 浸提法丝光绿蝇幼虫脂肪酸甲酯总离子流图

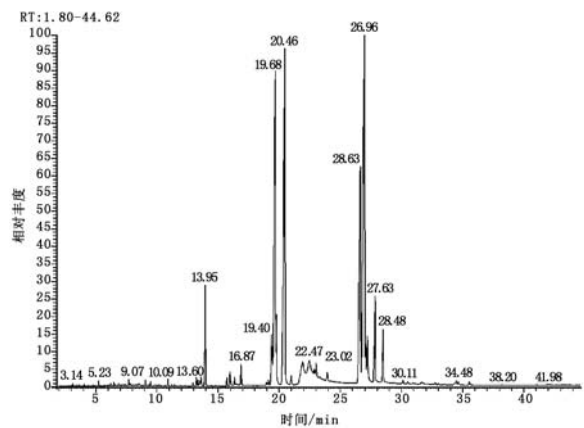


图 3 超声波协同微波法丝光绿蝇幼虫脂肪酸甲酯总离子流图

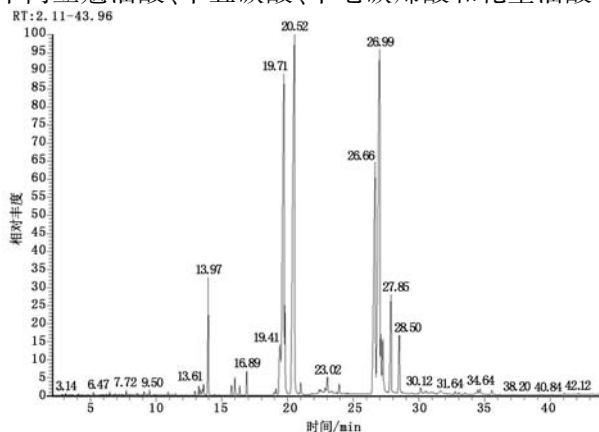


图 1 索氏法丝光绿蝇幼虫脂肪酸甲酯总离子流图

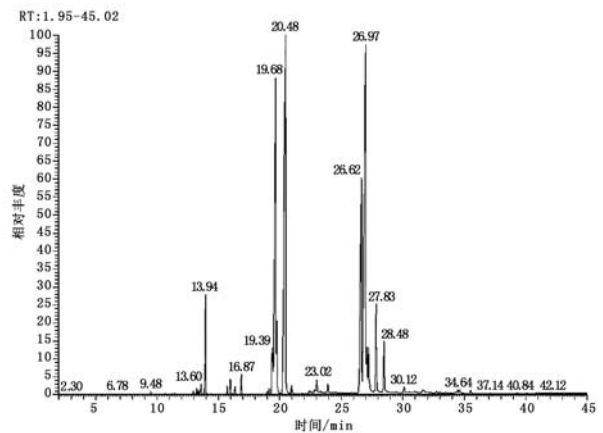


图 4 超声波协同微波法丝光绿蝇幼虫脂肪酸甲酯总离子流图

表1 4种方法脂肪酸甲酯的组成及相对含量

序号	保留时间/min	脂肪酸名称	索氏法相对含量/%	浸提法相对含量/%	超声波协同微波法相对含量/%	水酶法相对含量/%
1	9.5	月桂酸(12:0)	0.08	0	0.09	0.07
2	13.01	肉豆蔻油酸(14:1 $\Delta^9$ <sub>c</sub> )	0.84	1.57	0.87	0.75
3	13.97	肉豆蔻酸(14:0)	2.77	2.44	2.68	2.79
4	16.21	十五碳酸(15:0)	1.47	2.26	1.72	1.37
5	19.14	棕榈油酸(16:1 $\Delta^9$ <sub>c</sub> )	22.74	21.77	22.68	22.56
6	20.52	棕榈酸(16:0)	23.16	25.10	23.96	24.74
7	23.02	十七碳烯酸(17:1 $\Delta^9$ <sub>c</sub> )	0.87	2.07	0.66	0.74
8	23.93	十七碳酸(17:1)	0.31	0.34	0.32	0.31
9	26.66	亚油酸(18:2 $\Delta^9$ <sub>c,12</sub> <sub>c</sub> )	16.27	12.09	16.16	15.73
10	26.97	油酸(18:1 $\Delta^9$ <sub>c</sub> )	27.05	26.97	26.24	26.77
11	27.85	硬脂酸(18:0)	3.52	3.95	3.76	3.60
12	32.74	EPA(20:5 $\Delta^5$ <sub>c,8</sub> <sub>c,11</sub> <sub>c,14</sub> <sub>c,17</sub> <sub>c</sub> )	0.11	0.08	0.09	0.09
13	33.01	花生四烯酸(20:4 $\Delta^5$ <sub>c,8</sub> <sub>c,11</sub> <sub>c,14</sub> <sub>c</sub> )	0.07	0.05	0.05	0.05
14	34.64	花生油酸(20:1 $\Delta^9$ <sub>c</sub> )	0.54	1.09	0.51	0.23
15	35.54	花生酸(20:0)	0.17	0.15	0.17	0.16
16	40.11	DHA(22:6 $\Delta^4$ <sub>c,7</sub> <sub>c,10</sub> <sub>c,13</sub> <sub>c,16</sub> <sub>c,19</sub> <sub>c</sub> )	0.02	0	0.01	0.01
17	43.15	山嵛酸(22:0)	0.03	0.09	0.04	0.04

表2 4种方法脂肪酸甲酯构成

	索氏法	浸提法	超声波协同微波	水酶法
脂肪酸外的溶质峰面积百分数/%	1.73	11.33	1.86	1.15
脂肪酸峰面积百分数/%	98.27	88.67	98.14	98.85
奇数碳脂肪酸百分数/%	2.64	4.67	2.70	2.42
不饱和脂肪酸含量百分数/%	68.49	65.68	67.27	66.92
单不饱和脂肪酸百分数/%	52.03	53.47	50.96	51.04
多不饱和脂肪酸百分数/%	16.46	12.21	16.31	15.88

## 2.2 脂肪酸组成定量结果

用GC-MS分析24种不同浓度的脂肪酸甲酯标准品,总离子流图见图5,采用面积归一法,画出标准曲线,对月桂酸、肉豆蔻油酸、肉豆蔻酸、棕榈油酸、棕榈酸、亚油酸、油酸、硬脂酸、花生四烯酸、花生油酸、花生酸、DHA、山嵛酸等13种脂肪酸进行定量,结果见表3。

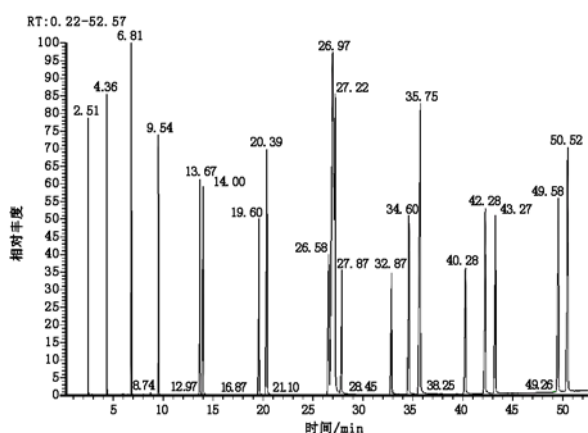


图5 24种脂肪酸甲酯标准品总离子流色谱图

4种方法提取的油脂中脂肪酸含量较高的主要是棕榈油酸、棕榈酸、油酸、亚油酸和硬脂酸等5种,浸提法提取的油脂中脂肪酸含量和其余3种方法区别较大,该5种脂肪酸含量明显低于其余3种方法,索氏法、超声波协同微波法和水酶法中棕榈酸含量最高,分别为 $248.47 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $195.61 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $219.65 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,高于浸提法中的 $31.19 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,不饱和脂肪酸棕榈油酸其次,分别为 $243.51 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $184.88 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $200.03 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,并且含有少量的对人体具有重要作用的DHA,索氏法提取油脂作为传统的油脂提取方法,得到的油脂脂肪酸的成份及含量效果比较好,不饱和脂肪酸棕榈油酸、油酸和亚油酸含量得到很好的保留。

## 2.3 油脂 DSC 热力学分析

4种方法提取的油脂的DSC热力学分析结果表明,索氏法油脂的熔点是 $-9.78^\circ\text{C}$ ,玻璃化转变温度是 $-22.73^\circ\text{C}$ ,浸提法油脂的熔点是 $-9.82^\circ\text{C}$ ,玻璃化转变温度是 $-24.73^\circ\text{C}$ ,超声波协同微波法的油脂熔点是 $-9.91^\circ\text{C}$ ,玻璃化转变温度是 $-22.11^\circ\text{C}$ ,水

表3 13种脂肪酸定量分析结果

序号	保留时间	脂肪酸名称	索氏法/ (mg·g <sup>-1</sup> )	浸提法/ (mg·g <sup>-1</sup> )	超微波/ (mg·g <sup>-1</sup> )	水酶法/ (mg·g <sup>-1</sup> )
1	9.5	月桂酸(12:0)	1.87	0	1.77	1.57
2	13.01	肉豆蔻油酸(14:1Δ <sup>9c</sup> )	11.09	3.02	8.99	8.49
3	13.97	肉豆蔻酸(14:0)	34.67	4.20	25.70	28.97
4	19.14	棕榈油酸(16:1Δ <sup>9c</sup> )	243.51	26.86	184.88	200.03
5	20.52	棕榈酸(16:0)	248.47	31.19	195.61	219.65
6	26.66	亚油酸(18:2Δ <sup>9c,12c</sup> )	59.26	7.96	44.10	48.79
7	26.97	油酸(18:1Δ <sup>9c</sup> )	174.96	15.85	132.44	140.26
8	27.85	硬脂酸(18:0)	43.82	6.24	35.71	37.20
9	33.01	花生四烯酸(20:4Δ <sup>5c,8c,11c,14c</sup> )	2.55	1.67	2.19	2.23
10	34.64	花生油酸(20:1Δ <sup>9c</sup> )	6.18	2.63	4.93	3.20
11	35.54	花生酸(20:0)	4.32	3.02	4.00	4.01
12	40.11	DHA(22:6Δ <sup>4c,7c,10c,13c,16c,19c</sup> )	2.04	0	1.93	1.94
13	43.15	山嵛酸(22:0)	1.89	1.68	1.83	1.86

酶法油脂的熔点是 -7.80℃,玻璃化转变温度是 -12.70℃。水酶法油脂的熔点比其余3种高,玻璃化转变温度也明显比其余3种高,不同的方法对油脂热动力学具有不同的影响。

### 3 结论与讨论

4种提取方法,超声波协同微波法是最高效的油脂提取方法(另见它文),丝光绿蝇幼虫油脂共含有17种脂肪酸,以油酸、亚油酸、棕榈油酸和棕榈酸4种脂肪酸为主,占脂肪酸总量的89%左右,其中棕榈酸、棕榈油酸和油酸含量分别达到248.47 mg·g<sup>-1</sup>、243.51 mg·g<sup>-1</sup>、174.96 mg·g<sup>-1</sup>。不饱和脂肪酸比例较高,占脂肪酸含量的60%以上,主要为棕榈油酸和油酸,棕榈油酸和油酸必需脂肪酸十五碳酸、花生四烯酸、DHA也有少量存在。浸提法造成脂肪酸成份的破坏,含量下降,提取油脂组成最差,超声波协同微波法,得到的油脂品质较好,是最适合的油脂提取方法,且丝光绿蝇幼虫油脂不饱和程度高,品质较好。

本研究共鉴定出丝光绿蝇幼虫油脂脂肪酸17种,不饱和脂肪酸含量高于饱和脂肪酸含量,单不饱和脂肪酸远高于多不饱和脂肪酸,油酸、棕榈酸和棕榈油酸含量较高,与Barlow报道的双翅目昆虫中含有较高的棕榈酸相符,与黄粉虫,蜚螂油脂体内含有15%甚至更低的报道具有较大差异<sup>[18, 22, 23]</sup>。棕榈油酸是主要的单不饱和脂肪酸之一,是内生性脂质合成的重要产物,血清胆固醇甲酯中棕榈油酸的含量直接影响到肝脂库中的碳转化为脂肪酸<sup>[24]</sup>,与人体肥胖具有非常显著的相关性,但是具体的机制并不清楚<sup>[25]</sup>。棕榈酸和棕榈油酸与人体糖尿病也有

密切关系,棕榈酸具有较强的促胰岛素效应<sup>[26]</sup>,对β-细胞的翻转和功能具有明显的影响,能够在β-细胞中通过葡萄糖介导的细胞凋亡途径调控胰岛素水平<sup>[27]</sup>,同时棕榈酸能够增加人体总脂蛋白和低密度脂蛋白水平,增加心血管疾病的风险,所以饮食中应控制棕榈酸的含量<sup>[28]</sup>。

油酸是重要的单不饱和脂肪酸之一,主要来源于橄榄,其含量高低是评价食用油脂的重要指标,同时油酸和亚油酸的含量高低对人体健康具有重要作用,长期摄入富含油酸的食物,可以降低血压、减少高血压的风险,能够同时在体内和细胞中通过分子水平调控G蛋白偶联信号,进而调控血压<sup>[29-31]</sup>。奇数碳脂肪酸在大多数的哺乳动物组织中是很罕见的,但是在反刍动物中,奇数碳脂肪酸氧化提供的能量相当于他们所需能量的25%,17碳的脂肪酸在脂肪代谢中发挥着重要的作用,可以经过β-氧化产生7个乙酰-CoA和一个丙酰-CoA。在皮下脂肪组织和血清中的奇数碳脂肪酸的水平已经被人类用来作为反刍动物脂肪摄入的指标,同时研究证实奇数碳脂肪酸在体内和体外都具有抗肿瘤活性<sup>[32-34]</sup>,由于自然界中奇数碳脂肪酸在大多数动物中不存在,所以丝光绿蝇中奇数碳脂肪酸具有潜在药物开发价值。本研究发现丝光绿蝇体内油脂含量丰富,油酸、亚油酸、棕榈酸、棕榈油酸等含量丰富,该4种脂肪酸都具有重要的生理功能,表明丝光绿蝇幼虫油脂具有较高的开发利用价值。

### 参考文献:

- [1] Burtis C A, Ashwood E R, Aldrich J E. Tietz fundamentals of clinical chemistry[M]. WB Saunders company, 1996.

- [2] Gibney M J, Vorster H H, Kok F J. Introduction to human nutrition [J]. The human nutrition textbook series (1), 2002.
- [3] Voet D, Voet J G. Biochemistry. Hoboken [J]. John Wiley & Sons, 2004, 1:591.
- [4] Mattson F H, Grundy S M. Comparison of effects of dietary saturated, monounsaturated, and polyunsaturated fatty acids on plasma lipids and lipoproteins in man. [J]. Journal of lipid research, 1985, 26(2):194-202.
- [5] Goodnight S H, Harris W S, Connor W E, et al. Polyunsaturated fatty acids, hyperlipidemia, and thrombosis. [J]. Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology, 1982, 2(2):87-113.
- [6] 王华志, 王道波, 李秋霖, 等. 油脂中脂肪酸成分与人体健康 [J]. 粮油加工, 2010(06):16-19.
- [7] 何钊, 冯颖, 孙龙, 等. 黄粉虫多糖响应面法提取及抗氧化活性 [J]. 食品与生物技术学报, 2011(05):641-647.
- [8] 翁梁, 温鲁, 杨芳, 等. 不同提取方法对蛹虫草多糖抗氧化性的影响 [J]. 食品科技, 2008(11):180-182.
- [9] Kerridge A, Lappin Scott H, Stevens J R. Antibacterial properties of larval secretions of the blowfly, *Lucilia sericata* [J]. Medical and Veterinary Entomology, 2005, 19(3):333-337.
- [10] Casteels P, Ampe C, Jacobs F, et al. Apidaecins: antibacterial peptides from honeybees. [J]. The EMBO journal, 1989, 8(8):2387.
- [11] 陈淑媛. 蝇蛆油脂化学成分、理化特性及其对动物实验性烫伤治疗药效的研究 [D]. 华中农业大学, 2007.
- [12] 廉振民, 李文宾, 刘万霞, 等. 中国昆虫油脂的开发利用及研究现状 [J]. 延安大学学报:自然科学版, 2008(01):59-63.
- [13] Van Huis A, Van Isterbeeck J, Klunder H, et al. Edible insects: future prospects for food and feed security [J]. FAO Forestry Paper (FAO), 2013.
- [14] 王纲荣, 周克明, 陈红兵, 等. 南昌口岸蝇、蚊类的本底调查报告 [J]. 中国国境卫生检疫杂志, 2001(05):287-289.
- [15] 余小辉, 涂小云. 丝光绿蝇研究概况 [J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2010(04).
- [16] 张海生, 陈锦屏. 蜂蛹脂肪超声波提取工艺研究及脂肪酸成分分析 [J]. 天然产物研究与开发, 2007(02):299-302.
- [17] 段爱莉, 高贵田, 潘静. 气相色谱-质谱联用法对蚕蛹油中脂肪酸成分分析 [J]. 蚕桑通报, 2011(01):14-16.
- [18] 林春梅, 周鸣谦. 不同方法提取蚕蛹油的 GC-MS 分析 [J]. 中国粮油学报, 2013(01):112-116.
- [19] 李福伟, 王文亮, 李恩霞, 等. GC-MS 法测定黄粉虫脂肪酸组成及含量的研究 [J]. 食品研究与开发, 2008(10):92-94.
- [20] 蒙松年, 肖小芹, 汪世平, 等. 美洲大蠊中脂溶性化学成分的分析 GC-MS 研究 [J]. 中南药学, 2008(01):23-25.
- [21] 郭澄, 魏道智. 超临界萃取蜈蚣脂肪酸成分及其气相色谱-质谱分析 [J]. 分析化学, 2006(S1):15-18.
- [22] 张旭, 董晓萍, 邓斌贝, 等. GC-MS 分析蜈蚣油脂的化学成分 [J]. 华西药学杂志, 2006(03):247-248.
- [23] 刘可春, 侯海荣, 韩利文, 等. 黄粉虫脂肪油中脂肪酸的 GC-MS 分析 [J]. 中国食物与营养, 2008(10):30-31.
- [24] Lands W E. Long-term fat intake and biomarkers. [J]. The American journal of clinical nutrition, 1995, 61(3):721S-725S.
- [25] Okada T, Furuhashi N, Kuromori Y, et al. Plasma palmitoleic acid content and obesity in children [J]. The American journal of clinical nutrition, 2005, 82(4):747-750.
- [26] McGarry J D, Dobbins R L. Fatty acids, lipotoxicity and insulin secretion [J]. Diabetologia, 1999, 42(2):128-138.
- [27] Maedler K, Spinas G A, Dytar D, et al. Distinct effects of saturated and monounsaturated fatty acids on  $\beta$ -cell turnover and function [J]. Diabetes, 2001, 50(1):69-76.
- [28] Lichtenstein A H, Appel L J, Brands M, et al. Diet and lifestyle recommendations revision 2006 A scientific statement from the American Heart Association nutrition committee [J]. Circulation, 2006, 114(1):82-96.
- [29] Alonso A, Martínez-González M á. Olive oil consumption and reduced incidence of hypertension: the SUN study [J]. Lipids, 2004, 39(12):1233-1238.
- [30] Perona J S, Vögler O, Sánchez-Domínguez J M, et al. Consumption of virgin olive oil influences membrane lipid composition and regulates intracellular signaling in elderly adults with type 2 diabetes mellitus [J]. The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences, 2007, 62(3):256-263.
- [31] Terés S, Barcelo-Coblijn G, Benet M, et al. Oleic acid content is responsible for the reduction in blood pressure induced by olive oil [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2008, 105(37):13811-13816.
- [32] Wongtangtharn S, Oku H, Iwasaki H, et al. Effect of branched-chain fatty acids on fatty acid biosynthesis of human breast cancer cells. [J]. Journal of nutritional science and vitaminology, 2004, 50(2):137-143.
- [33] Wolk A, Vessby B, Ljung H, et al. Evaluation of a biological marker of dairy fat intake. [J]. The American journal of clinical nutrition, 1998, 68(2):291-295.
- [34] Smedman A E, Gustafsson I, Berglund L G, et al. Pentadecanoic acid in serum as a marker for intake of milk fat: relations between intake of milk fat and metabolic risk factors [J]. The American journal of clinical nutrition, 1999, 69(1):22-29.