

# 响应面法优化甜瓜籽油的超声辅助提取工艺及其品质分析

李群<sup>1</sup>, 李颜<sup>1</sup>, 董绪燕<sup>2</sup>, 赵长建<sup>1</sup>, 艾合买提江·艾海提<sup>1</sup>, 刘军<sup>1</sup>

(1. 新疆大学生命科学与技术学院, 新疆生物资源基因工程重点实验室, 乌鲁木齐 830000;

2. 青岛农业大学食品科学与工程学院, 山东 青岛 266109)

**摘要:**为提高甜瓜籽利用率, 采用超声辅助提取工艺提取甜瓜籽油, 以甜瓜籽油得率及 DPPH 自由基清除率为指标, 通过单因素实验研究超声时间、超声温度、料液比、浸提时间对甜瓜籽油提取的影响, 在此基础上采用响应面实验对提取工艺条件进行优化, 并测定提取的甜瓜籽油理化指标、总酚含量、甾醇和脂肪酸组成及含量。结果表明: 甜瓜籽油的最佳提取工艺条件为浸提时间 3 h、料液比 1:7.7、超声温度 43 °C、超声时间 41 min, 在此条件下甜瓜籽油得率为 25.64%, DPPH 自由基清除率为 60.66%; 制备的甜瓜籽油酸值(KOH)为 0.52 mg/g, 过氧化值为 0.00 mmol/kg, 碘值(I)为 133.38 g/100 g, 总酚含量为 8.72 mg/100 g; 甜瓜籽油中共检出 5 种脂肪酸, 其中亚油酸含量最高, 为 66.68%, 共检出 7 种甾醇, 总含量达 306.10 mg/100 g, 其中 $\beta$ -谷甾醇含量最高, 为 138.60 mg/100 g。甜瓜籽油营养价值较高, 可作为食用油进一步开发利用。

**关键词:**甜瓜籽油; 超声辅助提取; DPPH 自由基清除能力; 脂肪酸; 甾醇

**中图分类号:**TS225.1; TS224.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7969(2023)05-0005-07

## Optimization of ultrasonic – assisted extraction of *Cucumis melo* L. seed oil using response surface methodology and its quality analysis

LI Qun<sup>1</sup>, LI Yan<sup>1</sup>, DONG Xuyan<sup>2</sup>, ZHAO Changjian<sup>1</sup>,  
AIHAMATIJIANG Aiheti<sup>1</sup>, LIU Jun<sup>1</sup>

(1. Xinjiang Key Laboratory of Biological Resources and Genetics Engineering, College of Life Science and Technology, Xinjiang University, Urumqi 830000, China; 2. College of Food Science and Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, Shandong, China)

**Abstract:** In order to improve the utilization of *Cucumis melo* L. seeds, *Cucumis melo* L. seed oil was extracted by ultrasonic – assisted extraction. The yield of *Cucumis melo* L. seed oil and DPPH radical scavenging rate were taken as indicators, and the effects of ultrasonic time, ultrasonic temperature, solid – liquid ratio, and extraction time on the extraction of *Cucumis melo* L. seed oil were investigated by single factor experiment, then the extraction conditions were optimized by response surface methodology. The physicochemical indexes, total phenol content, composition and contents of sterol and fatty acid of extracted *Cucumis melo* L. seed oil were determined. The results showed that the optimal extraction conditions were obtained as follows: ultrasonic time 41 min, ultrasonic temperature 43 °C, solid – liquid ratio 1:7.7, and extraction time 3 h. Under these conditions, the yield of *Cucumis melo* L. seed oil was 25.64%, and the DPPH radical scavenging rate was 60.66%. The acid value, peroxide value, iodine value and total phenol content of *Cucumis melo* L. seed oil were 0.52 mgKOH/g, 0.00 mmol/kg, 133.38

收稿日期: 2022-03-18; 修回日期: 2022-12-27

基金项目: 国家自然科学基金(31960606)

作者简介: 李群(1971), 女, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为植物功效成分(E-mail) QunLi@xju.edu.cn。

g/100 g, and 8.72 mg/100 g, respectively. A total of five fatty acids were detected in *Cucumis melo* L. seed oil, of which linoleic acid had the highest content of 66.68%, and seven sterols

were detected, with a total content of 306.10 mg/100 g, of which  $\beta$ -sitosterol had the highest content of 138.60 mg/100 g. *Cucumis melo* L. seed oil has high nutritional value and can be further developed and utilized as an edible oil.

**Key words:** *Cucumis melo* L. seed oil; ultrasonic-assisted extraction; DPPH radical scavenging ability; fatty acid; sterols

甜瓜是一种重要的葫芦科园艺作物,在世界范围内广泛种植。我国是世界上最大的甜瓜生产及消费国,联合国粮农组织(FAO)数据显示,2020年我国甜瓜产量达1 386.54万t,占世界产量的48%。甜瓜主要利用部位为果肉,可被加工为脆片、果汁、果酱、果酒、果醋等产品<sup>[1]</sup>,而甜瓜籽大部分被弃置,造成了一定的资源浪费以及环境污染。甜瓜籽占全果质量的3.4%~7.0%<sup>[2]</sup>,籽中含有27.6%的油脂,甜瓜籽油中不饱和脂肪酸含量较高<sup>[3]</sup>,还含有功能性生物活性成分如甾醇、生育酚、酚类物质等<sup>[4]</sup>,具有抗炎<sup>[5]</sup>、降血糖<sup>[6]</sup>、降胆固醇<sup>[7]</sup>等作用,极具应用潜力和开发前景。

目前,甜瓜籽油的提取方法主要为超临界萃取法<sup>[8]</sup>和低温压榨法<sup>[9]</sup>。超临界萃取法生产成本较高<sup>[10]</sup>,低温压榨法得率较低<sup>[11]</sup>。超声辅助法溶剂用量低、出油率高<sup>[12]</sup>,在油脂提取方面已得到广泛应用,但在甜瓜籽油提取中的应用研究报道较少。

对油脂提取工艺的评价常见的指标有油脂得率、生物活性物质含量、抗氧化性、氧化稳定性、酸值、过氧化值等<sup>[13-14]</sup>。近年来,研究者常采用其中2~3个指标共同评价提取工艺条件<sup>[14]</sup>。研究发现,生物活性物质含量与自由基清除率呈正相关<sup>[15]</sup>。自由基清除能力常被用于评价抗氧化性,其中DPPH法因简单、快速、操作简便而被广泛应用于抗氧化性的评价。

为得到得率高、品质好的甜瓜籽油,本文采用超声辅助法提取甜瓜籽油,以甜瓜籽油得率及DPPH自由基清除率为考察指标,采用单因素实验和响应面实验对提取工艺条件进行了优化,同时对甜瓜籽油的理化指标,总酚含量,甾醇、脂肪酸组成及含量进行了测定,以期对甜瓜籽油的开发利用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

#### 1.1.1 原料及试剂

甜瓜籽(西州蜜),由新疆冰雪果业有限责任公司提供。

1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、没食子酸,上海源叶生物科技有限公司;正己烷、甲醇,天

津市富宇精细化工有限公司;韦氏试剂,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;无水碳酸钠、氢氧化钠、甲醇、无水乙醇、盐酸、无水乙醚等,国药集团化学试剂有限公司;5 $\alpha$ 胆甾烷、植物甾醇标准品,美国Sigma-Aldrich公司。

#### 1.1.2 仪器与设备

DG160C中药材粉碎机,浙江省瑞安市春海药材器械厂;KQ2200DB超声波清洗机,昆山超声仪器有限公司;RE-52旋转蒸发仪,上海亚荣仪器有限公司;SHB-III循环水式真空泵,上海力辰科技有限公司;DHG-9145A电热恒温鼓风干燥箱,上海齐欣科学仪器;BS200S电子天平,德国Sartorius公司;Sorvall Stratos高速冷冻离心机,赛默飞世尔科技有限公司;DMT-2500多管旋涡混合仪,湖北詹氏科工贸有限公司;7890气相色谱仪,美国安捷伦公司;752紫外可见分光光度计,上海菁华科技仪器有限公司;CR-410色度色差仪,日本Konica Minolta公司。

## 1.2 实验方法

### 1.2.1 甜瓜籽油的超声辅助提取工艺流程

甜瓜籽→除杂→粉碎→过0.425 mm(40目)筛→加一定量正己烷→在一定温度超声处理一定时间(功率100 W)→常温浸提一定时间→抽滤→旋蒸→氮吹→甜瓜籽油。

按下式计算甜瓜籽油得率( $y$ )。

$$y = m_{\text{油}}/m_{\text{粉}} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $m_{\text{油}}$ 、 $m_{\text{粉}}$ 分别为甜瓜籽油和甜瓜籽粉质量。

### 1.2.2 DPPH自由基清除能力的测定

配制甜瓜籽油无水乙醇溶液(甜瓜籽油与无水乙醇体积比为1:1.9)。将2 mL 0.2 mmol/L的DPPH溶液、2 mL无水乙醇加入到2 mL甜瓜籽油无水乙醇溶液中,摇匀后黑暗中反应30 min,测定517 nm处吸光度( $A_1$ )。取2 mL无水乙醇,加入2 mL 0.2 mmol/L的DPPH溶液,测定其517 nm处吸光度( $A_0$ ),另以2 mL无水乙醇为空白对照,测定其517 nm处吸光度( $A_2$ )。按下式计算甜瓜籽油样品的DPPH自由基清除率( $x$ )。

$$x = [1 - (A_1 - A_2)/A_0] \times 100\% \quad (2)$$

### 1.2.3 综合评分的计算

综合甜瓜籽油得率( $y$ )及其 DPPH 自由基清除率( $x$ )计算综合评分( $Y$ ),具体见式(3)。

$$Y = 50\%y + 50\%x \quad (3)$$

### 1.2.4 甜瓜籽油理化指标的测定

酸值参照 GB 5009.229—2016 进行测定,碘值参照 GB/T 5532—2008 进行测定,过氧化值参照 GB 5009.227—2016 进行测定。

### 1.2.5 甜瓜籽油中总酚含量的测定

采用 Folin - Ciocalteu 法测定总酚含量。参考文献[16]制备甜瓜籽油总酚提取液,取 1 mL 总酚提取液,加入 5 mL 蒸馏水、1 mL 福林酚、3 mL 7.5 g/mL 碳酸钠溶液,暗反应 2 h 后于 765 nm 处测定

吸光度,带入以 0 ~ 50  $\mu\text{g/mL}$  没食子酸标准溶液质量浓度( $x$ )为横坐标,765 nm 处吸光度( $y$ )为纵坐标绘制的标准曲线中( $y = 10.729x + 0.0036, R^2 = 0.9996$ ),计算甜瓜籽油样品的总酚含量。

### 1.2.6 甜瓜籽油中脂肪酸、甾醇组成及含量的测定

参考 GB 5009.168—2016 测定脂肪酸组成及含量,参考于坤等<sup>[17]</sup>的方法测定甾醇组成及含量。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素实验

#### 2.1.1 超声时间对甜瓜籽油得率及 DPPH 自由基清除率的影响

在超声温度 40  $^{\circ}\text{C}$ 、料液比 1:8、浸提时间 3 h 的条件下,考察超声时间对甜瓜籽油得率及 DPPH 自由基清除率的影响,结果如图 1 所示。

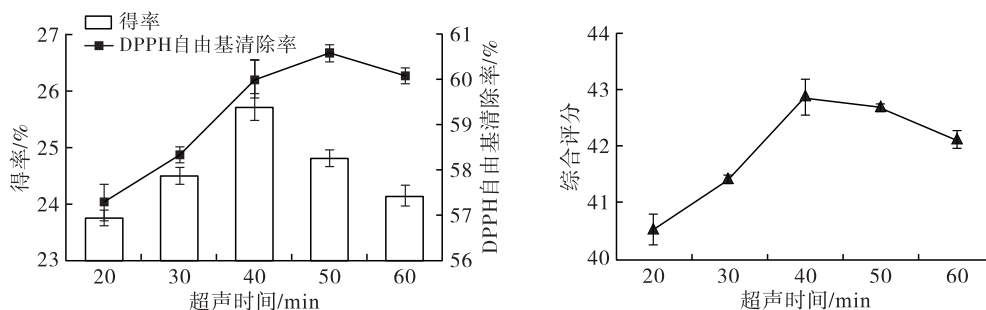


图1 超声时间对甜瓜籽油提取的影响

由图 1 可看出,随着超声时间的延长,甜瓜籽油得率及 DPPH 自由基清除率均先上升后下降,二者分别于超声时间 40、50 min 时达到最大值,分别为  $(25.71 \pm 0.24)\%$ 、 $(60.57 \pm 0.18)\%$ ,之后再延长超声时间,甜瓜籽油得率和 DPPH 自由基清除率均呈下降趋势。超声的空化作用产生微小气泡,这些微小气泡膨胀和破裂,破坏了细胞壁<sup>[18]</sup>,使油溶入正己烷,从而使得率随着超声时间的延长而增加,同时胞内具有抗氧化活性的物质如生育酚、甾醇等也随之溶出,DPPH 自由基清除率增大。但超声时间

过长,造成溶剂挥发<sup>[19]</sup>和生物活性物质分解<sup>[14]</sup>,使甜瓜籽油得率和 DPPH 自由基清除能力下降。综合评分在超声时间 40 min 时达到最大值,为  $42.86 \pm 0.32$ 。因此,选择最优的超声时间为 40 min。

#### 2.1.2 超声温度对甜瓜籽油得率及 DPPH 自由基清除率的影响

在超声时间 40 min、料液比 1:8、浸提时间 3 h 的条件下,考察超声温度对甜瓜籽油得率及 DPPH 自由基清除率的影响,结果如图 2 所示。

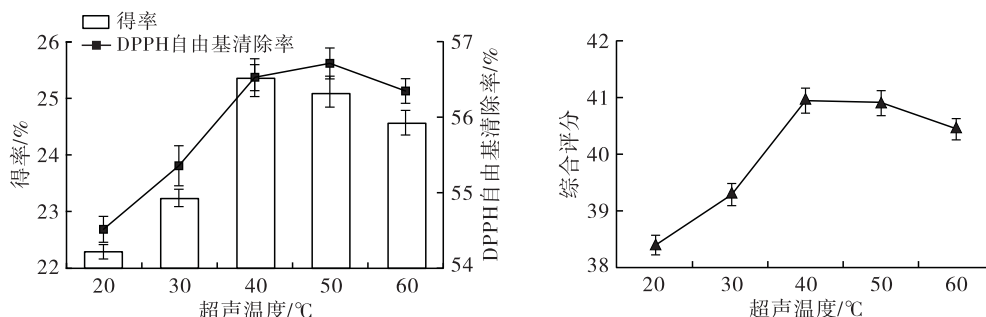


图2 超声温度对甜瓜籽油提取的影响

由图 2 可看出,随着超声温度的升高,甜瓜籽油得率和 DPPH 自由基清除率均先上升后略微下降,二者分别在 40、50  $^{\circ}\text{C}$  达到最大值,分别为  $(25.36 \pm$

$0.33)\%$ 、 $(56.72 \pm 0.19)\%$ 。温度升高使体系内分子运动速度加快,从而促进油脂的溶出,但当温度过高时溶剂挥发速度过快,减少了与样品的接触,从而

导致得率下降<sup>[20]</sup>,同时温度的升高也破坏了热敏性生物活性物质,使其 DPPH 自由基清除能力下降<sup>[19]</sup>。综合评分于超声温度 40℃ 时达到最大值,为  $40.94 \pm 0.21$ 。因此,选择最优的超声温度为 40℃。

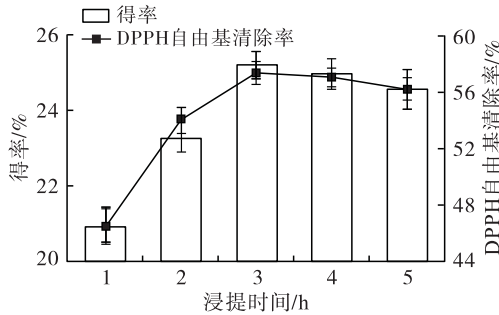


图3 浸提时间对甜瓜籽油提取的影响

由图3可看出,随着浸提时间的延长,甜瓜籽油得率及 DPPH 自由基清除率先增大后略有下降,二者均在浸提时间 3 h 时达最大值,分别为  $(25.22 \pm 0.36)\%$ 、 $(57.36 \pm 0.82)\%$ 。在浸提时间 3 h 时已浸提完全,后续继续延长浸提时间,溶剂挥发导致得率降低<sup>[21]</sup>,且生物活性物质氧化会使 DPPH 自由基清除率下降。综合评分于 3 h 时达到最大值,为

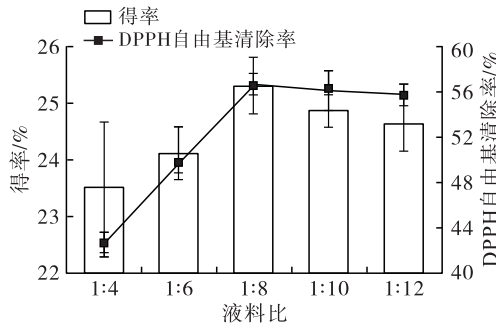


图4 料液比对甜瓜籽油提取的影响

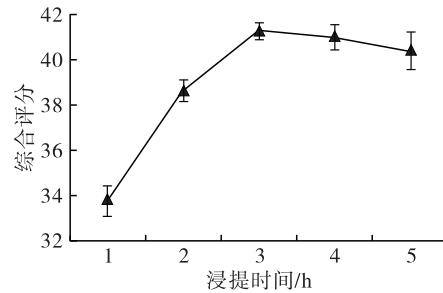
由图4可看出,随着料液比的升高,甜瓜籽油得率及 DPPH 自由基清除率均先上升后略微下降,二者均在料液比 1:8 时达到最大值,分别为  $(25.30 \pm 0.50)\%$ 、 $(56.66 \pm 0.94)\%$ 。料液比增大,可能会通过降低体系黏度及扩大两体系间的浓度梯度促进扩散<sup>[14]</sup>,从而促进油和抗氧化物质的溶出,使得率和 DPPH 自由基清除率增大;料液比过高反而会造成其他杂质的溶出<sup>[22]</sup>,使 DPPH 自由基清除率降低。综合评分在料液比 1:8 时达到最大值。因此,选择最优的料液比为 1:8。

## 2.2 响应面优化实验

在单因素实验的基础上,以料液比(A)、超声时间(B)、超声温度(C)、浸提时间(D)为自变量,以综合评分(Y)为响应值,采用 Design-Expert 8.0.6 分析软件,根据 Box-Behnken 设计原理,设计了四因

## 2.1.3 浸提时间对甜瓜籽油得率及 DPPH 自由基清除率的影响

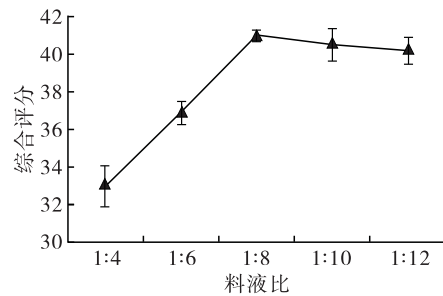
在超声时间 40 min、超声温度 40℃、料液比 1:8 的条件下,考察浸提时间对甜瓜籽油得率及 DPPH 自由基清除率的影响,结果如图3所示。



$41.29 \pm 0.37$ 。因此,选择最优的浸提时间为 3 h。

## 2.1.4 料液比对甜瓜籽油得率及 DPPH 自由基清除率的影响

在超声时间 40 min、超声温度 40℃、浸提时间 3 h 的条件下,考察料液比对甜瓜籽油得率及 DPPH 自由基清除率的影响,结果如图4所示。



素三水平的 Box-Behnken 中心组合实验,响应面实验因素水平见表1,响应面实验设计及结果见表2,回归模型方差分析见表3。

表1 响应面实验因素水平

水平	料液比	超声时间/ min	超声温度/ ℃	浸提时间/ h
-1	1:6	30	30	2
0	1:8	40	40	3
1	1:10	50	50	4

对表2数据进行回归拟合,得到拟合方程:  $Y = 44.37 + 0.18A - 0.06B + 0.29C + 0.31D + 0.012AB - 0.14AC - 0.06AD + 0.013BC + 0.28BD - 0.047CD - 0.087A^2 - 0.53B^2 - 0.31C^2 - 0.40D^2$ 。

由表3可知,模型极显著( $p < 0.01$ ),失拟项不显著( $p > 0.05$ ),该回归模型的决定系数( $R^2$ )为

0.95,调整决定系数( $R_{Adj}^2$ )为0.90,说明模型拟合度良好,可以进行超声波辅助提取甜瓜籽油工艺的进一步预测和分析。模型的一次项A、C、D,交互项AC、BD,二次项均极显著。4个因素对综合评分影响的大小顺序为 $D > C > A > B$ ,即浸提时间 > 超声温度 > 料液比 > 超声时间。

表2 响应面实验设计及结果

实验号	A	B	C	D	Y
1	0	0	0	0	44.47
2	0	1	-1	0	43.65
3	1	0	0	1	43.86
4	0	1	1	0	43.81
5	0	-1	0	1	43.55
6	0	-1	0	-1	43.64
7	0	0	1	-1	43.57
8	0	1	0	1	43.93
9	0	-1	-1	0	43.61
10	0	0	-1	-1	43.21
11	0	0	0	0	44.51
12	0	0	0	0	44.52
13	1	0	-1	0	43.79
14	-1	0	0	-1	43.47
15	-1	0	0	1	44.13
16	1	0	1	0	43.69
17	1	1	0	0	43.55
18	0	0	0	0	44.34
19	0	0	-1	1	43.93
20	0	0	1	1	44.10
21	0	0	0	0	44.47
22	1	0	0	-1	43.68
23	-1	1	0	0	43.35
24	-1	0	-1	0	43.31
25	-1	-1	0	0	43.58
26	-1	0	1	0	44.34
27	1	-1	0	0	43.68
28	0	-1	1	0	43.72
29	0	1	0	-1	42.92

表3 回归模型方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F	p	显著性
模型	4.54	14	0.32	19.53	< 0.000 1	**
A	0.52	1	0.52	31.55	< 0.000 1	**
B	0.03	1	0.03	1.49	0.242 8	
C	0.56	1	0.56	33.66	< 0.000 1	**
D	0.66	1	0.66	39.92	< 0.000 1	**
AB	2.50E-003	1	2.50E-003	0.15	0.703 8	
AC	0.32	1	0.32	19.23	0.000 6	**

续表3

方差来源	平方和	自由度	均方	F	p	显著性
AD	0.06	1	0.06	3.47	0.083 6	
BC	6.25E-004	1	6.25E-004	0.04	0.848 9	
BD	0.30	1	0.30	18.23	0.000 8	**
CD	9.03E-003	1	9.03E-003	0.54	0.473 1	
A <sup>2</sup>	0.78	1	0.78	47.01	< 0.000 1	**
B <sup>2</sup>	1.80	1	1.80	108.47	< 0.000 1	**
C <sup>2</sup>	0.62	1	0.62	37.40	< 0.000 1	**
D <sup>2</sup>	1.05	1	1.05	63.10	< 0.000 1	**
残差	0.23	14	0.02			
失拟项	0.21	10	0.02	4.09	0.093 3	
净误差	0.02	4	5.17E-003			
总离差	4.77	28				

注:\*\*表示极显著( $p < 0.01$ )

经过模型预测甜瓜籽油的最佳提取工艺条件为浸提时间 3.33 h、料液比 1:7.67、超声温度 42.83℃、超声时间 40.42 min,此时 Y 为 44.52。考虑实际情况,将最佳提取工艺条件调整为浸提时间 3 h、料液比 1:7.7、超声温度 43℃、超声时间 41 min,经验证实验,此条件下甜瓜籽油的得率为(25.64±0.08)%,DPPH 自由基清除率为(60.66±0.35)%,综合评分为 43.15±0.21,与预测值相差不大,模型具有一定的实用价值。Rabadan 等<sup>[11]</sup>通过液压机低温压榨制备甜瓜籽油,得率仅为(6.80±0.63)%,Mariod 等<sup>[23]</sup>通过索氏提取法提取甜瓜籽油 6 h,得率为 22.33%~23.33%,本研究甜瓜籽油得率为(25.64±0.08)%,相较于低温压榨法得率更高,相较于索氏提取法得率略高且浸提时间缩短。

### 2.3 甜瓜籽油的理化指标

在最佳提取条件下制备的甜瓜籽油澄清、透明,基本理化指标测定结果如表 4 所示。

表4 甜瓜籽油理化指标

项目	指标
酸值(KOH)/(mg/g)	0.52±0.15
过氧化值/(mmol/kg)	0.00
碘值(I)/(g/100 g)	133.38±0.34

注:表中结果为3次的“平均值±标准偏差”。下同

由表 4 可看出,甜瓜籽油的过氧化值为 0.00 mmol/kg,酸值(KOH)为(0.52±0.15)mg/g,符合 GB 2716—2018 要求。碘值(I)为(133.38±0.34)g/100 g,表明甜瓜籽油不饱和程度较高。

### 2.4 甜瓜籽油总酚含量及甾醇、脂肪酸组成(见表5)

酚类化合物具有抗氧化、抗炎等功效,在油脂中,酚类物质可以提高油脂的氧化稳定性,有利于延长油脂货架期,还可以改善油脂的色泽、风味等感官

特性<sup>[24]</sup>。由表 5 可看出,甜瓜籽油总酚含量为(8.72±0.23)mg/100 g,高于大豆油、玉米油、葵花籽油的总酚含量(<6 mg/100 g)<sup>[25]</sup>。

由表 5 可知,甜瓜籽油中脂肪酸由亚油酸、油酸、棕榈酸、硬脂酸和  $\gamma$ -亚麻酸组成,其中亚油酸含量最高,为(66.68±0.21)%。张慧君等<sup>[26]</sup>测定了 50 个品种甜瓜籽油的脂肪酸组成,其中亚油酸含量为 49.8%~75.01%,油酸含量为 8.15%~31.29%,硬脂酸含量为 4.71%~8.42%,棕榈酸含量为 7.50%~13.28%,本研究结果与之相近。

植物油是甾醇的良好来源。由表 5 可知,甜瓜籽油共检出 7 种甾醇,总含量为(306.10±13.60)mg/100 g,其中  $\beta$ -谷甾醇的含量最高,为(138.60±5.70)mg/100 g。总甾醇含量与 Alves 等<sup>[27]</sup>报道的甜瓜籽油总甾醇含量为 191.00~369.38 mg/100 g 相符。

表 5 甜瓜籽油总酚含量及甾醇、脂肪酸组成

成分	含量
总酚/(mg/100 g)	8.72±0.23
总甾醇/(mg/100 g)	306.10±13.60
胆固醇	8.65±0.85
菜籽甾醇	1.35±0.15
菜油甾醇	57.25±2.65
豆甾醇	9.00±0.30
$\beta$ -谷甾醇	138.60±5.70
$\Delta 5$ -燕麦甾醇	83.20±4.00
$\Delta 7$ -燕麦甾醇	8.05±0.05
脂肪酸/%	
棕榈酸	8.97±0.05
硬脂酸	6.05±0.01
油酸	17.91±0.10
亚油酸	66.68±0.21
$\gamma$ -亚麻酸	0.39±0.06

### 3 结论

本研究通过单因素实验和响应面实验对甜瓜籽油的超声辅助提取工艺条件进行优化,并对提取的甜瓜籽油理化指标、总酚含量、脂肪酸和甾醇组成及含量进行了测定。结果表明:最佳提取工艺条件为浸提时间 3 h、料液比 1:7.7、超声温度 43℃、超声时间 41 min,在此条件下甜瓜籽油得率为 25.64%,DPPH 自由基清除率为 60.66%。以此工艺获得的甜瓜籽油酸值(KOH)为 0.52 mg/g,过氧化值为 0.00 mmol/kg,碘值(I)为 133.38 g/100 g,总酚含量为 8.72 mg/100 g,脂肪酸组成为亚油酸、油酸、棕榈酸、硬脂酸、 $\gamma$ -亚麻酸,含量分别为 66.68%、17.91%、8.97%、6.05%、0.39%。甜瓜籽油的总甾

醇含量为 306.10 mg/100 g,主要为  $\beta$ -谷甾醇,含量为 138.60 mg/100 g。综上,甜瓜籽油不饱和脂肪酸含量高,富含生物活性物质,可作为一种小品种植物油进行开发。

### 参考文献:

- [1] 王婷婷,张兆雪,于梅,等.哈密瓜加工产品研究进展[J].中国果菜,2021,41(8):21-26.
- [2] RICO X, GULLON B, LUIS ALONSO J, et al. Recovery of high value-added compounds from pineapple, melon, watermelon and pumpkin processing by-products: an overview [J/OL]. Food Res Int, 2020, 132: 109086 [2022-03-18]. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109086>.
- [3] GÓRNAS P, RUDZIŃSKA M. Seeds recovered from industry by-products of nine fruit species with a high potential utility as a source of unconventional oil for biodiesel and cosmetic and pharmaceutical sectors [J]. Ind Crop Prod, 2016, 83: 329-338.
- [4] MALLEK-AYADI S, BAHLOUL N, KECHAOU N. Chemical composition and bioactive compounds of *Cucumis melo* L. seeds: potential source for new trends of plant oils [J]. Process Saf Environ, 2018, 113: 68-77.
- [5] BOUAZZAOUI N, BOUJILA J, CAMY S, et al. Fatty acid composition, cytotoxicity and anti-inflammatory evaluation of melon (*Cucumis melo* L. *inodorus*) seed oil extracted by supercritical carbon dioxide [J]. Sep Sci Technol, 2018, 53(16): 2622-2627.
- [6] CHEN L, KANG Y H, SUH J K. Roasting processed oriental melon (*Cucumis melo* L. var. *makuwa* Makino) seed influenced the triglyceride profile and the inhibitory potential against key enzymes relevant for hyperglycemia [J]. Food Res Int, 2014, 56: 236-242.
- [7] HAO W, ZHU H, CHEN J, et al. Wild melon seed oil seduces plasma cholesterol and modulates gut microbiota in hypercholesterolemic hamsters [J]. J Agric Food Chem, 2020, 68(7): 2071-2081.
- [8] 古丽米热·卡哈尔,张君萍,古丽娜尔·卡斯木,等.超临界 CO<sub>2</sub> 萃取甜瓜籽油工艺及其脂肪酸组成分析[J].中国油脂,2014,39(12):13-16.
- [9] CHEIKHYOUSSEF N, KANDAWA-SCHULZ M, BOCK R, et al. Characterization of *Acanthosicyos horridus* and *Citrullus lanatus* seed oils: two melon seed oils from Namibia used in food and cosmetics applications [J/OL]. 3 Biotech, 2017, 7(5): 297 [2022-03-18]. <https://doi.org/10.1007/s13205-017-0922-3>.
- [10] 张明霞,庞建光,蔡冬梅,等.坚果油脂的超声提取工艺优化及其脂肪酸分析[J].食品工业,2021,42(6):142-145.
- [11] RABADAN A, NUNES M A, BESSADA S M F, et al. From by-product to the food chain: melon (*Cucumis melo* L.) seeds as potential source for oils [J/OL]. Foods, 2020, 9(10): 1341 [2022-03-18]. <https://doi.org/10.3390/foods9101341>.

- doi.org/10.3390/foods9101341.
- [12] DA PORTO C, PORRETTO E, DECORTI D. Comparison of ultrasound - assisted extraction with conventional extraction methods of oil and polyphenols from grape (*Vitis vinifera* L.) seeds [J]. *Ultrason Sonochem*, 2013, 20(4): 1076 - 1080.
- [13] MARTINEZ M L, MARIN M A, SALGADO FALLER C M, et al. Chia (*Salvia hispanica* L.) oil extraction: study of processing parameters [J]. *LWT - Food Sci Technol*, 2012, 47(1): 78 - 82.
- [14] SAMARAM S, MIRHOSSEINI H, TAN C P, et al. Optimisation of ultrasound - assisted extraction of oil from papaya seed by response surface methodology: oil recovery, radical scavenging antioxidant activity, and oxidation stability [J]. *Food Chem*, 2015, 172: 7 - 17.
- [15] 张忠,王呈馨,范柳萍,等. 不同提取工艺翅果油抗氧化能力与活性成分的分析[J]. *中国油脂*, 2020, 45(9): 23 - 29.
- [16] PARRY J, SU L, LUTHER M, et al. Fatty acid composition and antioxidant properties of cold - pressed marionberry, boysenberry, red raspberry, and blueberry seed oils [J]. *J Agric Food Chem*, 2005, 53(3): 566 - 573.
- [17] 于坤,禹晓,程晨,等. 制油工艺对亚麻籽油品质及脂质伴随物含量的影响 [J]. *食品科学*, 2020, 41(16): 233 - 243.
- [18] CHEMAT F, ROMBAUT N, SICAIRE A G, et al. Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review [J]. *Ultrason Sonochem*, 2017, 34: 540 - 560.
- [19] SENRAYAN J, VENKATACHALAM S. Optimization of ultrasound - assisted solvent extraction (UASE) based on oil yield, antioxidant activity and evaluation of fatty acid composition and thermal stability of *Coriandrum sativum* L. seed oil [J]. *Food Sci Biotechnol*, 2019, 28(2): 377 - 386.
- [20] 李美萍,李彩林,张生万,等. 响应面法优化辣木籽油超声辅助提取工艺及其脂肪酸组成 [J]. *中国油脂*, 2019, 44(6): 14 - 18.
- [21] 王芳梅,谷盼盼,张鑫,等. 超声波辅助提取新疆打瓜籽油脂的工艺研究 [J]. *中国粮油学报*, 2018, 33(8): 52 - 56, 63.
- [22] WEI F, GAO G Z, WANG X F, et al. Quantitative determination of oil content in small quantity of oilseed rape by ultrasound - assisted extraction combined with gas chromatography [J]. *Ultrason Sonochem*, 2008, 15(6): 938 - 942.
- [23] MARIOD A A, AHMED Y M, MATTHAEUS B, et al. A comparative study of the properties of six *Sudanese cucurbit* seeds and seed oils [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2009, 86(12): 1181 - 1188.
- [24] 张瑶,吴邦富,吕昕,等. 油料作物中特异性脂类伴随物及其分析方法研究进展 [J]. *中国油料作物学报*, 2021, 43(3): 530 - 541.
- [25] 刘阳,王春立,曹培让,等. 7 种食用植物油物性及氧化稳定性评价 [J]. *中国油脂*, 2017, 42(10): 63 - 68.
- [26] 张慧君,李虎,惠林冲,等. 不同甜瓜种子性状及脂肪酸成分分析 [J/OL]. *中国油脂*: 1 - 11 [2022 - 03 - 18]. <https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.210391>.
- [27] ALVES E, SIMOES A, DOMINGUES M R. Fruit seeds and their oils as promising sources of value - added lipids from agro - industrial byproducts: oil content, lipid composition, lipid analysis, biological activity and potential biotechnological applications [J]. *Crit Rev Food Sci*, 2021, 61(8): 1305 - 1339.
- 
- (上接第 4 页)
- [6] 陈秋冰,熊双丽,李安林,等. 超声波辅助浓香菜籽油水化脱胶工艺优化 [J]. *中国油脂*, 2021, 46(2): 5 - 10.
- [7] ZHANG L, AKHYMETKAN S, CHEN J, et al. Convenient method for the simultaneous production of high - quality fragrant rapeseed oil and recovery of phospholipids via electrolyte degumming [J/OL]. *LWT - Food Sci Technol*, 2022, 155: 112947 [2022 - 03 - 31]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112947>.
- [8] 周玥,周建平,郭华,等. 高油酸双低油菜籽油脱胶工艺研究 [J]. *粮食与油脂*, 2019, 32(5): 51 - 53.
- [9] 陆介安. 色拉油磷含量对其品质的影响 [J]. *中国油脂*, 2004, 29(2): 19 - 20.
- [10] SZYDL O, ALEKSANDRA, LASZEWSKA, et al. Effect of refining process on antioxidant capacity, total phenolics and prooxidants contents in rapeseed oils [J]. *LWT - Food Sci Technol*, 2015, 64(2): 853 - 859.
- [11] AHMED M, PICKOVA J, AHMAD T, et al. Oxidation of lipids in foods [J]. *Sarhad J Agric*, 2016, 32(3): 230 - 238.
- [12] 苏晓霞,刘雄飞,黄一珍,等. 基于 GC - MS 和 GC - O 的浓香菜籽油特征风味物质分析 [J]. *食品工业科技*, 2019, 40(1): 239 - 245.
- [13] 孙国昊,刘玉兰,连四超,等. 油菜籽品种对浓香菜籽油风味及综合品质的影响 [J]. *食品科学*, 2022, 43(8): 190 - 197.
- [14] 谢婧,徐俐,吴浪,等. SPME - GC - MS 对菜籽毛油和精炼菜籽油挥发性风味成分的分析 [J]. *中国油脂*, 2012, 37(8): 84 - 87.
- [15] GHAZANI S M, GARCI' A - LLATAS G, MARANGONI A G. Minor constituents in canola oil processed by traditional and minimal refining methods [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2013, 90(5): 743 - 756.
- [16] 段旭林,胡容,王瑞,等. 浓香菜籽油、浓香花生油和浓香亚麻籽油的风味特性及氧化稳定性 [J]. *中国油脂*, 2022, 47(9): 71 - 75.