

# 微波预处理对奇亚籽出油率及油脂品质的影响

李娜<sup>1,2</sup>, 钱风华<sup>1,2</sup>, 邱斌<sup>2</sup>, 贾敏<sup>2</sup>, 黄凤洪<sup>2,3</sup>, 徐同成<sup>1,2</sup>, 侯汉学<sup>1</sup>

(1. 山东农业大学食品科学与工程学院, 山东泰安 271000; 2. 山东省农业科学院农产品研究所, 山东省特殊医学用途配方食品工程技术研究中心, 山东省农产品精深加工技术重点实验室, 农业部新型食品资源加工重点实验室, 济南 250100; 3. 中国农业科学院油料作物研究所, 武汉 430062)

**摘要:**采用微波技术对奇亚籽进行预处理后低温压榨制油, 测定奇亚籽油理化指标、营养及抗氧化指标, 探讨微波预处理条件对奇亚籽出油率以及奇亚籽油品质的影响。结果表明: 原料的水分含量、微波时间、微波功率对奇亚籽出油率和奇亚籽油的理化指标、黄酮含量、多酚含量及 DPPH· 和 O<sub>2</sub><sup>-</sup>· 清除能力均有一定的影响, 对奇亚籽油脂肪酸相对含量影响较小。经单因素实验和正交实验得出: 微波预处理奇亚籽的适宜工艺条件为奇亚籽水分含量 12%、微波时间 3 min、微波功率 600 W, 在该条件下奇亚籽出油率可达到 21.05%, 奇亚籽油酸价(KOH) 0.52 mg/g、过氧化值 0.44 mmol/kg、黄酮含量 318.25 mg/kg、多酚含量 28.00 mg/kg, DPPH· 和 O<sub>2</sub><sup>-</sup>· 清除率分别为 24.79% 和 26.84%。

**关键词:**微波; 低温压榨; 奇亚籽油; 出油率; 品质

中图分类号: TS224; TS201.2

文献标识码: A

文章编号: 1003-7969(2020)12-0001-05

## Effect of microwave pretreatment on oil yield of chia seed and quality of chia seed oil

LI Na<sup>1,2</sup>, QIAN Fenghua<sup>1,2</sup>, QIU Bin<sup>2</sup>, JIA Min<sup>2</sup>, HUANG Fenghong<sup>2,3</sup>,  
XU Tongcheng<sup>1,2</sup>, HOU Hanxue<sup>1</sup>

(1. College of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an 271000, Shandong, China; 2. Key Laboratory of Novel Food Resources Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Key Laboratory of Agro-Products Processing Technology of Shandong Province, Shandong Engineering Research Center of Food for Special Medical Purpose, Institute of Agro-Food Science and Technology, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China; 3. Oil Crops Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430062, China)

**Abstract:** The chia seeds were pretreated with microwave technology, then oil was extracted by low temperature pressing. The physicochemical, nutritional and antioxidant indexes of the chia seed oil were determined to investigate the effect of microwave on oil yield of chia seed and quality of chia seed oil. The results showed that the moisture content of chia seed, microwave time and microwave power had a certain effect on the oil yield of chia seed, physicochemical indexes, contents of flavonoids and polyphenols and scavenging abilities on DPPH· and O<sub>2</sub><sup>-</sup>· of chia seed oil, but had little effect on the fatty acid relative content in chia seed oil. The optimal microwave conditions were obtained by single factor experiment and orthogonal experiment as follows: moisture content of chia seed 12%, microwave time 3 min, and microwave power 600 W. Under these conditions, the oil yield of chia seed was

收稿日期: 2020-02-14; 修回日期: 2020-07-18

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0401104-4)

作者简介: 李娜(1994), 女, 硕士研究生, 研究方向为油脂化学(E-mail) 2803729865@qq.com。

通信作者: 侯汉学, 教授(E-mail) 494497530@qq.com。

21.05%, and the acid value, peroxide value, contents of flavonoids and polyphenols and scavenging rates on DPPH· and O<sub>2</sub><sup>-</sup>· of chia seed oil were 0.52 mg(KOH)/g, 0.44 mmol/kg, 318.25 mg/kg, 28.00 mg/kg, 24.79% and

26.84%, respectively.

**Key words:** microwave; low temperature pressing; chia seed oil; oil yield; quality

奇亚籽 (Chia seed) 是薄荷类植物芡欧鼠尾草 (*Salvia Hispanica* L.) 的种子, 最开始主要种植在墨西哥, 是墨西哥的一种特有作物<sup>[1]</sup>。奇亚籽营养物质含量丰富, 包括必需氨基酸、纤维素、脂类、维生素和矿物质, 且富含高品质蛋白质<sup>[2]</sup>。奇亚籽含油量在 25% ~ 50%, 油中不饱和脂肪酸含量占总脂肪酸的 87%, 主要为亚油酸和亚麻酸, 并且  $\alpha$ -亚麻酸含量高达 60% 以上<sup>[3]</sup>, 对预防与饮食相关的慢性疾病具有重要意义<sup>[4]</sup>。因此, 奇亚籽在功能性食品方面具有开发和应用价值。

微波技术是一种使物质内部极性分子振动摩擦发热的处理方式, 具有干燥速度快、效率高等特点, 被广泛应用在食品行业。在微波处理对油脂品质的影响研究中, 马传国等<sup>[5]</sup>探究了微波处理对大豆油品质的影响, 李媛媛等<sup>[6]</sup>探讨了微波处理对亚麻籽油品质的影响, 但在奇亚籽油方面的研究还较少。

本文主要探究微波预处理后低温压榨制油对奇亚籽出油率及奇亚籽油品质的影响, 以期对奇亚籽油的加工与利用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

#### 1.1.1 原料与试剂

奇亚籽, 墨西哥进口; 芦丁、没食子酸、脂肪酸标准品; 乙醇、酚酞、氢氧化钾、异丙醇、异辛烷、冰乙酸、碘化钾、可溶性淀粉、无水硫代硫酸钠、亚硝酸钠、硝酸铝、氢氧化钠、福林酚、碳酸钠、DPPH、15% 三氟化硼甲醇溶液、甲醇、正庚烷、氯化钠, 均为分析纯。

#### 1.1.2 仪器与设备

XO-SM100 超声微波化学反应器, 南京先欧仪器制造有限公司; 9028 榨油机, 德国贝尔斯顿; UV-1750 紫外分光光度计, 岛津仪器有限公司; Agilent7890A 气相色谱仪, 美国安捷伦。

## 1.2 实验方法

### 1.2.1 奇亚籽油的提取

调节奇亚籽水分, 密封放置在 4℃ 冰箱中保持 24 h, 使其水分均匀分布。将 300 g 奇亚籽平铺到 6 个 85 mm 的玻璃平皿中, 置于超声微波化学反应器中进行不同时间、不同功率的微波预处理, 冷却后用小型榨油机压榨制油, 4 000 r/min 离心 10 min 去除杂质, 得到奇亚籽油。

### 1.2.2 检测方法

酸价测定参照 LS/T 6107—2012《动植物油脂酸值和酸度测定》进行; 过氧化值测定参照 LS/T 6106—2012《动植物油脂过氧化值测定》进行; 脂肪酸组成测定参照 GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》进行; 黄酮测定采用硝酸铝-亚硝酸钠比色法<sup>[7]</sup>; 多酚测定采用 Folin-Ciocalteu 法<sup>[8]</sup>; DPPH 自由基清除能力测定参照白章振等<sup>[9]</sup>的方法; 超氧阴离子自由基 ( $O_2^- \cdot$ ) 清除能力测定参照黄佳聪等<sup>[10]</sup>的方法。

### 1.2.3 统计分析

每个指标重复测定 3 次, 采用 SPSS 19.0 软件进行数据分析, 结果表示为 " $\bar{x} \pm s$ ", 多组间比较采用单因素方差分析,  $P < 0.05$  表示差异有统计学意义。

## 2 结果与讨论

### 2.1 微波预处理的单因素实验

#### 2.1.1 不同水分含量对奇亚籽出油率及油脂品质的影响

将奇亚籽水分含量分别调至 8%、10%、12%、14%, 微波功率 800 W, 微波时间 3 min, 其他步骤按照 1.2.1 进行提油。不同水分含量对奇亚籽出油率及油脂品质的影响见表 1, 对奇亚籽油脂脂肪酸组成影响见表 2。

表 1 不同水分含量对奇亚籽出油率及油脂品质的影响

项目	指标			
	8%	10%	12%	14%
出油率/%	15.95 ± 0.07 <sup>a</sup>	18.73 ± 0.12 <sup>c</sup>	20.67 ± 0.20 <sup>d</sup>	17.25 ± 0.15 <sup>b</sup>
酸价 (KOH)/(mg/g)	0.54 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.56 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.54 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.56 ± 0.01 <sup>a</sup>
过氧化值/(mmol/kg)	0.55 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.64 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.55 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.72 ± 0.04 <sup>c</sup>
黄酮含量/(mg/kg)	282.35 ± 2.63 <sup>b</sup>	284.64 ± 0.19 <sup>b</sup>	293.69 ± 1.50 <sup>c</sup>	274.54 ± 0.76 <sup>a</sup>
多酚含量/(mg/kg)	21.48 ± 0.01 <sup>a</sup>	22.74 ± 0.01 <sup>b</sup>	24.77 ± 0.02 <sup>d</sup>	22.85 ± 0.02 <sup>c</sup>
DPPH·清除率/%	20.87 ± 0.06 <sup>a</sup>	25.21 ± 0.19 <sup>b</sup>	26.03 ± 0.12 <sup>c</sup>	26.15 ± 0.06 <sup>c</sup>
$O_2^- \cdot$ 清除率/%	24.38 ± 0.19 <sup>a</sup>	25.44 ± 0.23 <sup>b</sup>	26.24 ± 0.41 <sup>c</sup>	26.01 ± 0.78 <sup>c</sup>

注: 同行不同字母表示数据差异显著,  $P < 0.05$ 。下同。

表2 不同水分含量对奇亚籽油脂脂肪酸组成的影响

水分含量/%	相对含量/%				
	棕榈酸	硬脂酸	油酸	亚油酸	亚麻酸
8	6.58 ± 0.01	3.51 ± 0.01	8.16 ± 0.01	19.42 ± 0.01	62.33 ± 0.01
10	6.68 ± 0.01	3.54 ± 0.01	8.17 ± 0.01	19.50 ± 0.01	62.11 ± 0.01
12	6.67 ± 0.01	3.51 ± 0.01	8.18 ± 0.01	19.54 ± 0.01	62.10 ± 0.01
14	6.68 ± 0.01	3.54 ± 0.01	8.15 ± 0.01	19.53 ± 0.01	62.10 ± 0.01

由表1可以看出,随着奇亚籽水分含量的增加,出油率先升高后下降。适当地增加奇亚籽水分含量,微波过程中水分的振动使奇亚籽细胞内压力增大,细胞破坏效果更好,内部的油脂及营养成分更易流出;但水分含量过高,热量吸收迅速,奇亚籽易发生焦糊,导致出油率降低<sup>[11]</sup>。

奇亚籽的水分含量会对油脂品质产生一定影响。由表1可以看出:奇亚籽油酸价在水分含量为8%~14%时变化不大,过氧化值呈波动变化;水分含量在8%~14%时,黄酮、多酚含量随水分含量增加先增加后降低,在水分含量为12%时最高,水分含量的增加促进了脂类伴随物溶出,提高油脂的营养价值;随着水分含量的增加,DPPH·清除率和O<sub>2</sub><sup>-</sup>·清除率

增加,可能与其他抗氧化成分的溶出有关。

脂肪酸是衡量食用油营养品质的重要指标之一,脂肪酸的组成及含量在很大程度上决定了食用油的营养价值<sup>[12]</sup>。从表2可知,奇亚籽的水分含量对奇亚籽油脂肪酸相对含量的影响较小。

### 2.1.2 不同微波时间对奇亚籽出油率及油脂品质的影响

将奇亚籽水分含量调至12%,微波功率800 W,微波时间分别为1、2、3、4、5 min,其他步骤按照1.2.1进行提油。不同微波时间对奇亚籽出油率及油脂品质影响见表3,对奇亚籽油脂肪酸组成影响见表4。

表3 不同微波时间对奇亚籽出油率及油脂品质的影响

项目	指标				
	1 min	2 min	3 min	4 min	5 min
出油率/%	18.52 ± 0.24 <sup>a</sup>	19.54 ± 0.28 <sup>b</sup>	20.67 ± 0.20 <sup>c</sup>	20.28 ± 0.10 <sup>c</sup>	19.29 ± 0.45 <sup>b</sup>
酸价(KOH)/(mg/g)	0.51 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.52 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.54 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.56 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.57 ± 0.01 <sup>c</sup>
过氧化值/(mmol/kg)	0.36 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.53 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.55 ± 0.03 <sup>bc</sup>	0.61 ± 0.04 <sup>c</sup>	0.68 ± 0.06 <sup>d</sup>
黄酮含量/(mg/kg)	312.43 ± 5.26 <sup>b</sup>	342.71 ± 4.44 <sup>c</sup>	293.69 ± 1.50 <sup>a</sup>	296.16 ± 5.97 <sup>a</sup>	289.41 ± 4.28 <sup>a</sup>
多酚含量/(mg/kg)	33.39 ± 0.07 <sup>c</sup>	31.76 ± 0.03 <sup>d</sup>	24.77 ± 0.02 <sup>a</sup>	29.89 ± 0.03 <sup>c</sup>	25.57 ± 0.05 <sup>b</sup>
DPPH·清除率/%	25.56 ± 0.41 <sup>c</sup>	24.74 ± 0.24 <sup>b</sup>	26.03 ± 0.12 <sup>d</sup>	23.42 ± 0.10 <sup>a</sup>	24.63 ± 0.20 <sup>b</sup>
O <sub>2</sub> <sup>-</sup> ·清除率/%	26.74 ± 0.10 <sup>b</sup>	26.89 ± 0.19 <sup>b</sup>	26.24 ± 0.41 <sup>a</sup>	26.33 ± 0.05 <sup>a</sup>	26.28 ± 0.07 <sup>a</sup>

表4 不同微波时间对奇亚籽油脂肪酸组成的影响

微波时间/min	相对含量/%				
	棕榈酸	硬脂酸	油酸	亚油酸	亚麻酸
1	6.70 ± 0.01	3.53 ± 0.01	8.17 ± 0.01	19.73 ± 0.01	61.87 ± 0.01
2	6.66 ± 0.01	3.50 ± 0.01	8.15 ± 0.01	19.67 ± 0.01	62.02 ± 0.01
3	6.67 ± 0.01	3.51 ± 0.01	8.18 ± 0.01	19.54 ± 0.01	62.10 ± 0.01
4	6.65 ± 0.01	3.50 ± 0.01	8.17 ± 0.01	19.64 ± 0.07	62.04 ± 0.05
5	6.68 ± 0.01	3.49 ± 0.01	8.15 ± 0.01	19.57 ± 0.01	62.21 ± 0.01

由表3可以看出,随着微波时间的延长,奇亚籽出油率有小幅度的上升,当微波时间为3 min时,出油率达到最大,继续延长微波时间,出油率下降。随着微波时间的延长,奇亚籽吸收的能量升高,细胞内部极性物质尤其是水的振动就越强,对细胞结构的破坏就越大,出油率提高;而微波时间过长奇亚籽发生焦糊,导致出油率降低。实验发现,当微波时间为

6 min时,奇亚籽出现了部分焦糊现象。

由表3可以看出,随着微波时间的延长,奇亚籽油的酸价和过氧化值升高,这可能是微波过程产生了高温,加速油脂中氧化基质的氧化<sup>[13]</sup>。黄酮含量随微波时间延长先增加后降低,这可能是微波处理促进了奇亚籽中黄酮的溶出,同时黄酮类物质在高温下不稳定,随着微波时间的延长,在高温下发生降

解,导致黄酮含量降低<sup>[14-15]</sup>。多酚具有强抗氧化活性,长时间的微波使奇亚籽油中多酚含量降低,可能是高温使部分多酚发生了氧化分解所致。DPPH·清除率在微波时间为3 min时最高,之后随微波时间延长降低, $O_2^-$ ·清除率在微波时间1~2 min时较高,之后略有降低。

从表4可知,微波时间对奇亚籽油脂肪酸相对含量的影响较小。

表5 不同微波功率对奇亚籽油出油率及油脂品质的影响

项目	指标				
	0 W	400 W	600 W	800 W	1 000 W
出油率/%	17.45 ± 0.46 <sup>a</sup>	19.40 ± 0.15 <sup>c</sup>	21.05 ± 0.08 <sup>d</sup>	20.67 ± 0.20 <sup>d</sup>	18.81 ± 0.28 <sup>b</sup>
酸价(KOH)/(mg/g)	0.45 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.51 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.52 ± 0.01 <sup>bc</sup>	0.54 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.56 ± 0.01 <sup>d</sup>
过氧化值/(mmol/kg)	0.27 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.42 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.44 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.55 ± 0.03 <sup>c</sup>	0.64 ± 0.03 <sup>d</sup>
黄酮含量/(mg/kg)	289.43 ± 0.62 <sup>a</sup>	310.04 ± 7.81 <sup>b</sup>	318.25 ± 7.44 <sup>c</sup>	293.69 ± 1.50 <sup>a</sup>	297.60 ± 2.88 <sup>a</sup>
多酚含量/(mg/kg)	21.58 ± 0.03 <sup>b</sup>	36.93 ± 0.02 <sup>c</sup>	28.00 ± 0.12 <sup>d</sup>	24.77 ± 0.02 <sup>c</sup>	20.23 ± 0.05 <sup>a</sup>
DPPH·清除率/%	23.74 ± 0.03 <sup>b</sup>	27.71 ± 0.10 <sup>c</sup>	24.79 ± 0.17 <sup>c</sup>	26.03 ± 0.12 <sup>d</sup>	21.65 ± 0.33 <sup>a</sup>
$O_2^-$ ·清除率/%	24.90 ± 0.18 <sup>a</sup>	28.22 ± 0.05 <sup>d</sup>	26.84 ± 0.20 <sup>c</sup>	26.24 ± 0.41 <sup>b</sup>	24.81 ± 0.06 <sup>a</sup>

表6 不同微波功率对奇亚籽油脂肪酸组成的影响

微波功率/W	相对含量/%				
	棕榈酸	硬脂酸	油酸	亚油酸	亚麻酸
0	6.71 ± 0.01	3.53 ± 0.01	8.18 ± 0.01	19.64 ± 0.08	61.94 ± 0.06
400	6.68 ± 0.01	3.52 ± 0.01	8.17 ± 0.01	19.70 ± 0.01	61.93 ± 0.01
600	6.68 ± 0.03	3.52 ± 0.01	8.00 ± 0.18	19.59 ± 0.06	62.21 ± 0.18
800	6.67 ± 0.01	3.51 ± 0.01	8.18 ± 0.01	19.54 ± 0.01	62.10 ± 0.01
1 000	6.58 ± 0.01	3.50 ± 0.01	8.14 ± 0.01	19.50 ± 0.01	62.23 ± 0.01

由表5可以看出,随着微波功率的增加,奇亚籽油出油率增加,当微波功率为600 W时,出油率达到最高,随后降低。随着微波功率的增加,奇亚籽细胞结构破坏加大,奇亚籽油溶出阻力减小,出油率增加,而过高的功率则会导致奇亚籽发生焦糊,出油率下降,还会造成能耗的增加,提高成本<sup>[16]</sup>。

由表5可以看出,随着微波功率的增加,奇亚籽油的酸价和过氧化值升高,这可能是微波过程产生了高温,加速油脂中氧化基质的氧化<sup>[12]</sup>。黄酮含量随着微波功率增加先增加后降低,这可能是微波处理促进了奇亚籽中黄酮的溶出,同时黄酮类物质在高温下不稳定,随着微波功率的增加,在高温下发生降解,导致黄酮含量降低。微波处理增加了奇亚籽油的多酚含量,但过高的微波功率会使部分多酚发生氧化分解,含量下降。DPPH·和 $O_2^-$ ·清除率整体随微波功率增加先升高后降低。

从表6可以看出,微波处理过程中,微波功率对脂肪酸相对含量的影响较小。

### 2.1.3 不同微波功率对奇亚籽油出油率及油脂品质的影响

将奇亚籽水分含量调至12%,微波功率分别为0、400、600、800、1 000 W,微波时间3 min,其他步骤按照1.2.1进行提油。不同微波功率对奇亚籽油出油率及油脂品质影响见表5,对奇亚籽油脂肪酸组成影响见表6。

### 2.2 微波预处理的正交实验优化

在单因素实验结果的基础上,以水分含量、微波时间和微波功率为因素,出油率和过氧化值为指标进行正交实验,正交实验因素水平如表7所示,正交实验设计与结果如表8所示。

由表8可知:微波预处理条件影响奇亚籽油出油率的主次顺序为水分含量>微波功率>微波时间;影响奇亚籽油过氧化值的主次顺序为微波功率>微波时间>水分含量。以出油率为主要因素选取最佳水平,过氧化值根据时间、成本、收益等方面选取适当的水平。综合考虑单因素实验和正交实验的结果,得到最佳因素水平组合是 $A_2B_2C_2$ ,此条件下奇亚籽的出油率为21.05%,高于未经微波预处理直接低温压榨的出油率(17.45%),奇亚籽油过氧化值为0.44 mmol/kg。因此,选择水分含量12%、微波时间3 min、微波功率600 W作为微波预处理奇亚籽的适宜工艺条件,在此条件下奇亚籽油的酸价(KOH)为0.52 mg/g,黄酮、多酚含量分别为318.25、

28.00 mg/kg, DPPH·、 $O_2^-$ ·清除率分别为24.79%和26.84%。

表7 正交实验因素水平

水平	A 水分含量/%	B 微波时间/min	C 微波功率/W
1	10	2	400
2	12	3	600
3	14	4	800

表8 正交实验设计与结果

实验号	A	B	C	出油率/%	过氧化值/(mmol/kg)
1	1	1	1	19.88	0.358
2	1	2	2	20.77	0.490
3	1	3	3	19.31	0.603
4	2	1	2	20.08	0.377
5	2	2	3	19.88	0.546
6	2	3	1	20.66	0.471
7	3	1	3	17.07	0.583
8	3	2	1	16.04	0.508
9	3	3	2	18.42	0.603
出油率					
$K_1$	59.96	57.03	56.58		
$K_2$	60.62	56.69	59.27		
$K_3$	51.53	58.39	56.26		
$R$	9.09	1.70	3.01		
过氧化值					
$K_1$	1.451	1.318	1.337		
$K_2$	1.394	1.544	1.470		
$K_3$	1.694	1.677	1.732		
$R$	0.300	0.359	0.395		

### 3 结论

微波预处理奇亚籽,原料的水分含量、微波时间、微波功率对奇亚籽出油率和奇亚籽油的理化性质及营养指标有一定的影响,对奇亚籽脂肪酸相对含量影响较小。通过单因素实验和正交实验确定微波预处理奇亚籽的适宜工艺条件为原料水分含量12%、微波时间3 min、微波功率600 W,在该条件下奇亚籽出油率可达到21.05%,奇亚籽油酸价(KOH)、过氧化值分别为0.52 mg/g、0.44 mmol/kg,黄酮、多酚含量分别为318.25、28.00 mg/kg, DPPH·、 $O_2^-$ ·清除率分别为24.79%和26.84%。

### 参考文献:

- [1] MELO - RUIZ V, SCETTINO B, RODRIGUEZ J, et al. Chia seeds (*Salvia hispanica* L.) wild plant rich in nutrients[J]. J Life Sci, 2016(10):221-227.
- [2] PORRAS P, MARÍA T, JIMENEZ M T, et al. Physical properties, chemical characterization and fatty acid composition of Mexican chia (*Salvia hispanica* L.) seeds [J]. Int J Food Sci Tech, 2014, 49(2):571-577.
- [3] 荣旭,陶宁萍,李玉琪,等. 奇亚籽营养成分分析与评价[J]. 中国油脂, 2015,40(9):167-171.
- [4] 姚宏燕,罗文涛,杨成,等. 奇亚籽油的品质特性及提取工艺研究进展[J]. 中国油脂, 2019, 44(4):52-55.
- [5] 马传国,王敏,李中华,等. 微波处理大豆对油脂品质的影响[J]. 中国油脂, 2001, 26(6):16-19.
- [6] 李媛媛,吴雪辉,段卓,等. 微波处理对亚麻籽油品质的影响[J]. 中国油脂, 2015, 40(1):55-58.
- [7] 张海红,王树,侯勇,等. 不同采收期银杏叶总黄酮含量及对花生油的抗氧化作用[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(2):44-46.
- [8] OLIVEIRA S C, VENDRAMINI D B, BETIM C B, et al. Characterization of phenolic compounds in Chia (*Salvia hispanica* L.) seeds, fiber flour and oil[J]. Food Chem, 2017, 232:295-305.
- [9] 白章振,张延龙,于蕊,等. 不同方法提取‘凤丹’牡丹籽油品质比较[J]. 食品科学, 2017, 38(1):136-141.
- [10] 黄佳聪,阚欢,刘云. 腾冲红花油茶籽油中多酚类物质对自由基清除作用的研究[J]. 中国油脂, 2011, 36(12):54-57.
- [11] 陈升荣,罗家星,张彬,等. 微波预处理压榨茶叶籽油及其氧化稳定性[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(5):36-39.
- [12] 王瑞,刘海学,马俪珍. 几种食用油中脂肪酸含量的测定与分析[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(7):106-108.
- [13] 李琳,张桂英,蔡妙颜. 微波辐射对植物油过氧化值影响的研究[J]. 中国油脂, 1999, 24(2):40-43.
- [14] 王会,杨湄,刘昌盛,等. 微波处理油料对油脂品质影响的研究进展[J]. 中国油脂, 2011, 36(4):23-26.
- [15] 吴永兰,雷日华,文耀智,等. 提取条件对苦瓜叶中总黄酮提取率的影响[J]. 湘南学院学报, 2009, 30(5):64-66.
- [16] 刘晓庚,曹崇江,周逸婧. 微波加工对食品安全性的影响[J]. 食品科学, 2008, 29(5):484-488.