

# 超声诱导发芽过程柚子籽油品质的变化规律

马路凯<sup>1,2</sup>, 崔芸<sup>1</sup>, 刘芯如<sup>3</sup>, 柳建良<sup>2</sup>, 肖更生<sup>1</sup>, 陈海光<sup>1,2</sup>, 刘祎帆<sup>1,2</sup>, 利新红<sup>4</sup>

(1. 仲恺农业工程学院轻工食品学院, 广东省岭南特色食品科学与技术重点实验室, 广州 510225; 2. 仲恺农业工程学院现代农业工程创新研究院, 广州 510225; 3. 集美大学食品与生物工程学院, 福建 厦门 361021; 4. 梅州市梅县区农业科学研究所, 广东 梅州 514000)

**摘要:**为提高柚子籽油的营养成分含量, 开发高品质的安全油脂, 以梅州金柚柚子籽为研究对象, 探究了超声诱导发芽过程中柚子籽油品质的变化规律。结果表明:随着超声诱导发芽时间的延长, 柚子籽的得油率逐渐降低, 9 d 时柚子籽得油率为 $(52.18 \pm 0.01)\%$ , 比未发芽时降低了 3.56 百分点;发芽不改变柚子籽油脂肪酸组成, 油酸含量小幅升高, 亚油酸和亚麻酸含量小幅降低;发芽 5 d 时柚子籽油的酸值(KOH)为 $(1.19 \pm 0.04)$  mg/g, 过氧化值为 $(1.98 \pm 0.02)$  mmol/kg, 均符合植物油国家标准;脂溶性营养物质生育酚、角鲨烯含量先升高后下降, 发芽 5 d 时生育酚含量为 $(265.29 \pm 0.05)$   $\mu\text{g/g}$ , 角鲨烯含量为 $(36.10 \pm 0.01)$   $\mu\text{g/g}$ , 均达到了峰值, 与未发芽相比分别增长了 3.74 倍和 7.60 倍。因此, 短时发芽可提高柚子籽油的营养价值。

**关键词:**柚子籽油;发芽;脂溶性营养物质;脂肪酸组成

中图分类号:TS225.1;0426.9 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2022)05-0023-06

## Quality change of grapefruit seed oil during ultrasonic induced germination

MA Lukai<sup>1,2</sup>, CUI Yun<sup>1</sup>, LIU Xinru<sup>3</sup>, LIU Jianliang<sup>2</sup>, XIAO Gengsheng<sup>1</sup>,  
CHEN Haiguang<sup>1,2</sup>, LIU Huifan<sup>1,2</sup>, LI Xinhong<sup>4</sup>

(1. Guangdong Key Laboratory of Science and Technology of Lingnan Specialty Food, College of Light Industry and Food Science, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China; 2. Innovation Research Institute of Modern Agriculture Engineering, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China; 3. College of Food and Biological Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, Fujian, China; 4. Institute of Agricultural Sciences of Meixian District, Meizhou, Meizhou 514000, Guangdong, China)

**Abstract:** In order to improve the nutrient content of grapefruit seed oil and develop high-quality safe oil, Meizhou grapefruit seed was taken as the research object, and the change rule of grapefruit seed oil quality in the process of germination was studied. The results showed that the oil yield of grapefruit seed

decreased gradually with the prolonging of germination time. After germination for 9 d, the oil yield of grapefruit seed was  $(52.18 \pm 0.01)\%$ , which was 3.56 percentage points lower than that without germination. The fatty acid composition of grapefruit seed oil unchanged during germination, and the content of oleic acid increased slightly, while both the contents of linoleic acid and linolenic acid decreased slightly. The acid value and peroxide value of grapefruit seed oil after germination for 5 d were  $(1.19 \pm 0.04)$  mgKOH/g and  $(1.98 \pm 0.02)$  mmol/kg, which met the national standards of vegetable oil.

收稿日期:2021-06-09;修回日期:2022-01-22

基金项目:国家重点研发计划项目(2019YFD1002300);国家自然科学基金项目(32001622);广东省区域联合基金青年基金项目(2019A1515110823);广东省岭南特色食品科学与技术重点实验室开放基金(2021B1212040013);广州市科技特派员项目(GZKTP201937);广东省普通高校青年创新人才项目(KA2001957);河源市科技计划项目(2019003);2021年广东省科技创新专项“攀登计划”项目(pdjh2021b0251)

作者简介:马路凯(1991),男,副教授,博士,研究方向为油脂安全与营养(E-mail)m1991lk@163.com。

通信作者:刘祎帆,副教授,博士(E-mail)lm\_zkng@163.com;利新红,高级农艺师(E-mail)353892049@qq.com。

The contents of fat – soluble nutrients tocopherol and squalene increased first and then decreased, and the contents of tocopherol and squalene after germination for 5 d were  $(265.29 \pm 0.05) \mu\text{g/g}$  and  $(36.10 \pm 0.01) \mu\text{g/g}$ , which reached the maximum value and increased by 3.74 times and 7.60 times compared with ungermination, respectively. Therefore, short – term germination can improve the nutritional value of grapefruit seed oil.

**Key words:** grapefruit seed oil; germination; fat – soluble nutrient; fatty acid composition

柚子是柑橘的主要栽培类型之一,富含多酚、黄酮等活性物质,营养价值高,风味独特,且有较好的抗氧化能力<sup>[1]</sup>,其中尤以梅州柚品质较佳,有“中华名果”“岭南十大佳果”的称号<sup>[2]</sup>。随着柚子种植面积的增大,产生较多的副产物,如次果、坏果、落果等非鲜食果,以及柚核、柚子皮等。关于柚子副产物的提质利用目前已引起国内较多科研工作者的关注。有研究者发现柑橘类籽粒油脂含量高(40%以上)<sup>[3]</sup>,可以作为新型油脂资源,且其油脂富含亚油酸、油酸,具有很高的药用价值<sup>[4]</sup>。柚子籽油中还含有一定量的生育酚、角鲨烯等脂溶性营养物质,诸多研究表明这些脂溶性营养物质具有抗氧化、抗癌、提高免疫、降血脂及改善炎症反应<sup>[5-7]</sup>等重要功能。因此,提高这些脂溶性营养物质的含量能提高柚子籽油的利用价值。

目前,有学者通过基因工程调控<sup>[8-9]</sup>、快中子辐照诱发突变<sup>[10]</sup>方式来提高油料种子(如大豆)的生育酚含量。这些方式程序烦琐,最重要的是品种品质差异性受到争议。近年来,通过超声诱导发芽提高油料种子中营养物质含量成为国内外的研究热点之一。有研究表明超声处理提高了大豆的发芽率,改善了豆芽可食性和营养品质<sup>[11]</sup>。在种子发芽过程中,会引发一系列代谢变化,减少抗营养因子,提高功能因子<sup>[12]</sup>。已有研究表明发芽能提高大豆中生育酚的含量<sup>[13]</sup>;李淑莹<sup>[14]</sup>研究发现花生在避光发芽过程中,不仅保持了花生的质量,而且花生油中脂溶性营养物质白藜芦醇(苷)、生育酚、植物甾醇和多酚等的含量均显著升高。但是目前鲜见国内外关于发芽过程中柚子籽油脂溶性营养物质变化的研究。

本研究以梅州金柚柚子籽为原料进行超声诱导发芽实验,研究发芽后柚子籽油中主要脂溶性营养物质生育酚、角鲨烯含量的变化规律,结合柚子籽得油率及柚子籽油脂肪酸组成、酸值、过氧化值评价发芽过程中柚子籽油的营养变化,探讨其利用价值,以为开发高品质安全油脂提供一定参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

#### 1.1.1 原料与试剂

市售金柚(沙田柚)的柚子籽,产自广东梅州; $\alpha$ -、 $\beta$ -、 $\gamma$ -、 $\delta$ -生育酚标准品, Sigma 公司;角鲨烯标准品,阿拉丁公司;石油醚、正己烷、异辛烷、无水乙醇、酚酞、氢氧化钠、冰乙酸、碘化钾、硫代硫酸钠等均为分析纯。

#### 1.1.2 仪器与设备

FA3204B 电子天平,上海精科天美科学仪器有限公司;YB-700A 高速多功能粉碎机,永康市铂欧五金制品有限公司;RV10 KA 旋转蒸发器,艾卡(广州)仪器设备有限公司;7890A-5975C 气相色谱质谱联用仪(GC-MS),美国 Agilent 公司;MesoMR23-040H-1 核磁共振成像分析仪,上海纽迈电子科技有限公司;HX-650E 智能型超声波细胞破碎仪,上海沪析实业有限公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 超声诱导柚子籽发芽

筛选外观饱满、大小一致、无霉变的新鲜柚子籽,用蒸馏水清洗去除表面杂质,剥去外壳,并装入烧杯中,加入蒸馏水没过柚子籽 1 cm,置于装有蒸馏水的玻璃容器中。将超声波细胞破碎仪的变幅杆伸入玻璃容器中部,调节以使功率分别为 0、90、180、360 W,于 25℃ 下避光超声,超声时间分别为 0、10、20、30 min。超声结束后将柚子籽于 25℃ 避光浸泡 6 h,取出,于 25℃、95% 湿度下避光发芽,每隔 2 d 喷淋蒸馏水,时间持续 2 min。整个发芽周期为 9 d,每隔 1 d 取样,冷冻干燥,粉碎后过 0.42 mm (40 目)筛,置于 -80℃ 冰箱保存待用。发芽率( $F$ )按下式计算。

$$F = n_1/n \times 100\% \quad (1)$$

式中: $n_1$  为柚子籽发芽个数; $n$  为柚子籽总个数。

#### 1.2.2 柚子籽油的提取

取经过 1.2.1 处理后的柚子籽粉于提取瓶中,按料液比 1:5 加入石油醚,在 45℃ 下浸提 2 h,冷却

后过滤,将滤液在 60℃ 旋蒸除去溶剂,即得柚子籽油,避光储存于 4℃ 冰箱中待用。柚子籽得油率( $W$ )按下式计算。

$$W = m_1 / m \times 100\% \quad (2)$$

式中: $m_1$  为柚子籽油的质量,g; $m$  为柚子籽粉的质量,g。

### 1.2.3 核磁共振成像技术

参考文献[15]的方法进行核磁共振成像。实验条件为:共振频率 23.312 7 MHz,磁体强度 0.5 T,线圈直径 60 mm,磁体温度(32.00 ± 0.01)℃。利用标准样进行预扫描,寻找磁场中心频率及磁场脉冲宽度,利用 SE 脉冲序列获得样本质子密度加权像。成像的主要参数为:FOV Read 100 mm,FOV Phase 100 mm,TR 1 500 ms,TE 20 ms,Slices 7,Slice Width 3 mm。实验样本垂直于玻璃试管放置,采集样本冠状面(coronal)图像,获取柚子籽纵向信息。

### 1.2.4 脂肪酸组成的测定

油脂甲酯化<sup>[16]</sup>:称取 0.50 g 柚子籽油,加入 1 mL 2.0 mol/L 的 KOH 甲醇溶液,振荡反应 5 min 后加入 1 mL 饱和氯化钠溶液和 1 mL 正己烷,振荡萃取后,以 5 000 r/min 离心 2 min,取正己烷层,加入无水硫酸钠干燥,过滤,滤液过 0.22 μm 微孔滤膜,用气相色谱质谱联用仪测定。

气相色谱条件<sup>[17]</sup>:DB-1 毛细管柱(30 m × 0.32 mm × 0.25 μm);升温程序为柱温 100℃ 保持 5 min,以 10℃/min 的速度升至 200℃,保持 5 min,以 5℃/min 的速度升至 220℃ 保持 10 min;进样口温度 220℃;载气(He)流速 1.0 mL/min;进样量 0.5 mL。质谱条件:EI 离子源,电子能量 70 eV,离子源温度 350℃。

经 NIST 质谱谱库检索匹配,以不低于 90% 的匹配度确定各脂肪酸组分,采用峰面积归一化法进行定量。

### 1.2.5 基本理化指标的测定

酸值的测定参考 GB 5009.229—2016 中的冷溶剂指示剂滴定法,过氧化值的测定参考 GB 5009.227—2016 中的滴定法,水分含量的测定参考 GB 5009.3—2016。

### 1.2.6 生育酚、角鲨烯含量测定

生育酚含量的测定参考 GB 5009.82—2016《食品安全国家标准 食品中维生素 A、D、E 的测定》第一法,角鲨烯含量的测定参考 LS/T 6120—2017《粮油检验 植物油中角鲨烯的测定 气相色谱法》。

### 1.2.7 数据处理

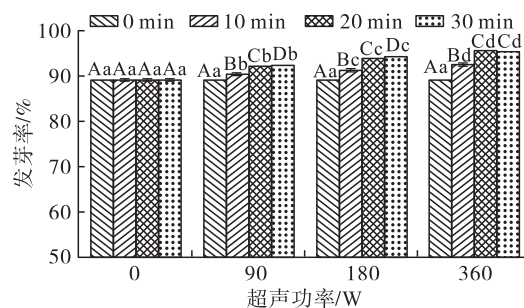
所有实验测定均进行 3 次重复,结果用“平均

值 ± 标准偏差”表示。采用 Excel 2010 软件统计分析数据,运用 Origin 2017 软件作图,显著性分析采用 SPSS 22.0 软件进行单因素方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 超声功率及超声时间对柚子籽发芽率的影响

超声波技术是一种快速、无损有效打破种子休眠状态的方法<sup>[18]</sup>,超声处理能使种子表面软化,改变细胞壁的结构和细胞膜的通透性,增强细胞活力,对于种子的发芽率和生长发育具有积极影响<sup>[19]</sup>。在不同超声功率及超声时间下,发芽 9 d 时的柚子籽发芽率如图 1 所示。



注:不同大写字母表示同一功率不同超声时间下柚子籽发芽率差异显著( $P < 0.05$ );不同小写字母表示同一时间不同超声功率下柚子籽发芽率差异显著( $P < 0.05$ )。

图1 不同超声功率及超声时间对柚子籽发芽率的影响

由图 1 可知,柚子籽发芽率随着超声功率的增加和超声时间的延长显著提高。超声波的机械作用及空穴作用产生的微流效应可以提升生物体系的传质及液体混合,从而提高了生物反应的速度。在超声功率为 90~180 W 范围内,柚子籽发芽率随着超声时间的延长而显著提高。但在超声功率为 360 W 时,超声 20 min 和 30 min 时的发芽率没有显著变化,发芽率分别为 95.42%、95.34%,可能原因是达到一定的临界范围后,超声波对柚子籽发芽不再具有促进作用。Yaldagard 等<sup>[20]</sup>研究发现,在超声功率 460 W、超声时间 5~10 min 条件下,大麦种子发芽率由 93.3% 显著提高到了 99.4%。因此,本研究选用超声功率 360 W、超声时间 20 min 条件下处理的柚子籽样品进行后续实验。

### 2.2 发芽对柚子籽得油率的影响

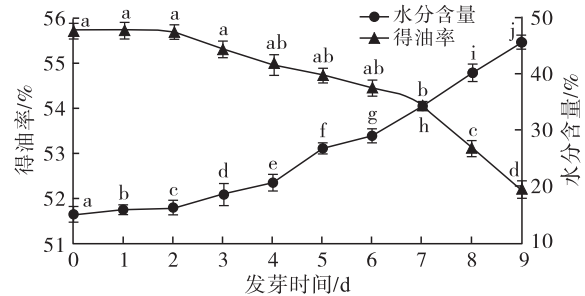
发芽对柚子籽得油率及水分含量的影响如图 2 所示,柚子籽发芽核磁成像如图 3 所示。

由图 2 可知:未发芽柚子籽得油率为(55.74 ± 0.15)%;发芽前 3 d 柚子籽得油率无显著差异( $P > 0.05$ ),4~6 d 时柚子籽得油率有所下降,7 d 时得油率显著下降,9 d 时得油率为(52.18 ± 0.01)%,与未发芽柚子籽相比,下降了 3.56 百分

点。此结果与杨选等<sup>[21]</sup>研究花生籽粒在发芽过程中粗脂肪含量显著降低的结果相似。另外,柚子籽发芽过程中,水分含量显著上升。

由图3可知,在柚子籽边缘呈现明显的水分信号时,芽胚的基部也呈现较为明显的水分信号,随着发芽时间的延长,籽粒边缘和芽胚的水分信号逐渐增强。有研究发现物料的游离水和外层结合水会影响油脂的提取率,水分含量较高时,物料表面会形成一层水膜,影响油脂溶出<sup>[22]</sup>,因此柚子籽得油率的下降可能与发芽过程中水分含量升高有关。也有研究指出种子胚中蛋白质和脂肪含量较高,发芽过程种子内部代谢加强,营养物质被分解的同时种胚吸收这些被分解的物质,从休眠状态恢复活性,细胞恢

复生长<sup>[23]</sup>,所以柚子籽得油率下降可能是柚子籽进行呼吸作用时,脂肪发生了分解代谢,为其发芽提供了能量。



注:同一指标不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

图2 发芽对柚子籽得油率及水分含量的影响

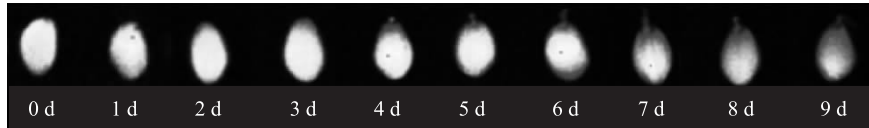


图3 柚子籽发芽核磁共振成像

### 2.3 发芽对柚子籽油脂脂肪酸组成的影响(见表1)

由表1可知,柚子籽油主要含棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸5种脂肪酸。发芽过程中柚子籽油饱和脂肪酸含量由30.94%增加到31.21%,其中:棕榈酸含量在发芽前3d内无显著变化,此后几天显著升高;而硬脂酸含量在柚子籽发芽过程中由

3.52%降至3.31%。在柚子籽发芽过程中柚子籽油不饱和脂肪酸含量呈现逐渐降低的趋势,由69.03%降低到68.78%,其中油酸含量在发芽过程中有所升高,亚油酸和亚麻酸含量均呈现下降趋势。在整个柚子籽发芽过程中柚子籽油脂脂肪酸组成没有变化。

表1 发芽对柚子籽油脂脂肪酸组成的影响

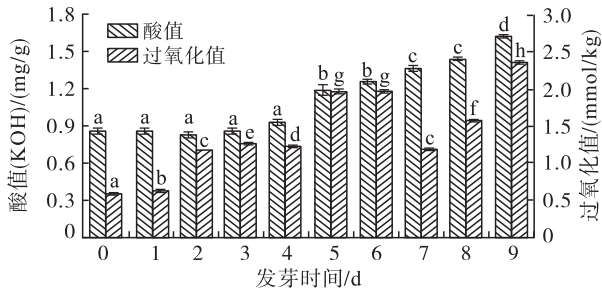
发芽时间/d	含量/%						
	棕榈酸	硬脂酸	油酸	亚油酸	亚麻酸	不饱和脂肪酸	饱和脂肪酸
0	27.42 ± 0.04d	3.52 ± 0.03a	23.57 ± 0.05bc	40.55 ± 0.02a	4.91 ± 0.02ab	69.03 ± 0.02a	30.94 ± 0.03d
1	27.41 ± 0.03d	3.56 ± 0.03a	23.48 ± 0.05c	40.56 ± 0.02a	4.91 ± 0.02ab	68.96 ± 0.09abc	30.97 ± 0.05d
2	27.48 ± 0.03d	3.51 ± 0.02a	23.55 ± 0.04bc	40.51 ± 0.03ab	4.93 ± 0.04a	68.99 ± 0.03ab	31.00 ± 0.05d
3	27.56 ± 0.05cd	3.52 ± 0.02a	23.60 ± 0.08bc	40.44 ± 0.05b	4.88 ± 0.04abc	68.91 ± 0.07abc	31.08 ± 0.05bcd
4	27.67 ± 0.06bc	3.48 ± 0.05ab	23.66 ± 0.01b	40.32 ± 0.04c	4.86 ± 0.05abc	68.85 ± 0.09abc	31.15 ± 0.02abc
5	27.64 ± 0.10bc	3.38 ± 0.05c	23.85 ± 0.09a	40.22 ± 0.07cd	4.88 ± 0.05abc	68.94 ± 0.11abc	31.01 ± 0.06cd
6	27.76 ± 0.04ab	3.32 ± 0.03c	23.88 ± 0.11a	40.14 ± 0.02de	4.84 ± 0.08abc	68.86 ± 0.04abc	31.08 ± 0.06bcd
7	27.84 ± 0.07a	3.38 ± 0.04c	23.91 ± 0.05a	40.11 ± 0.01de	4.79 ± 0.02bc	68.81 ± 0.03bc	31.21 ± 0.11ab
8	27.90 ± 0.02a	3.40 ± 0.02bc	23.91 ± 0.05a	40.10 ± 0.03e	4.76 ± 0.05c	68.77 ± 0.11c	31.30 ± 0.03a
9	27.90 ± 0.02a	3.31 ± 0.01c	23.96 ± 0.06a	40.05 ± 0.05e	4.77 ± 0.01c	68.78 ± 0.10bc	31.21 ± 0.01ab

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

有研究发现,芝麻在萌发至72h过程中亚油酸含量减少,芝麻萌发前后主要脂肪酸组成类别无变化<sup>[24]</sup>,此结果与本研究相似。这可能是由于脂类主要以三酰基甘油的形式储存,在发芽过程中有少部分水解为游离脂肪酸和甘油,扩散到线粒体基质,氧化为乙酰辅酶A,进入三羧酸循环提

供能量,而碳水化合物是萌发过程中主要的能量来源<sup>[25]</sup>。在柚子籽9d的发芽过程中,柚子籽油不饱和脂肪酸中的油酸含量升高了0.36个百分点,亚油酸含量下降了0.50个百分点,亚麻酸含量下降了0.14个百分点,说明发芽使柚子籽油氧化稳定性有所提高。

## 2.4 发芽对柚子籽油酸值及过氧化值的影响(见图4)



注:同一指标不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。下同

图4 发芽对柚子籽油酸值、过氧化值的影响

酸值、过氧化值是评价油脂质量的重要指标。酸值反映油脂发生水解反应后游离脂肪酸含量<sup>[26]</sup>;过氧化值在一定程度上反映了油脂氧化变质的程度<sup>[27]</sup>。由图4可知,柚子籽发芽过程中柚子籽油的酸值显著升高,过氧化值前5 d也显著升高,发芽5 d时柚子籽油的酸值(KOH)、过氧化值分别为 $(1.19 \pm 0.04)$  mg/g、 $(1.98 \pm 0.02)$  mmol/kg,满足GB 2716—2018《食品安全国家标准 植物油》中植物原油的限量标准。

## 2.5 发芽对柚子籽油生育酚、角鲨烯含量的影响(见图5)

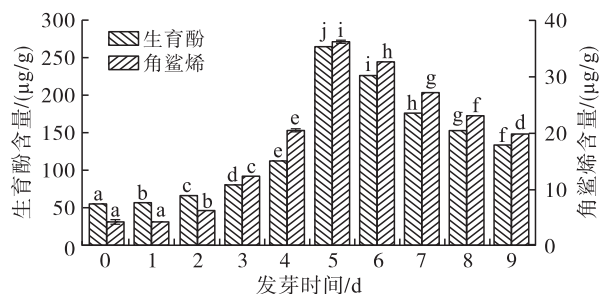


图5 发芽对柚子籽油生育酚、角鲨烯含量的影响

生育酚是存在于植物油脂中的天然抗氧化剂,在油脂中起着重要的作用。由图5可知,未发芽时柚子籽油中生育酚含量不足 $60 \mu\text{g/g}$ ,随着发芽时间的延长,生育酚含量显著增加,发芽5 d时达到了峰值,为 $(265.29 \pm 0.05) \mu\text{g/g}$ ,与未发芽时相比,生育酚含量增长了3.74倍。因此,发芽可以显著提高柚子籽油的生育酚含量。生育酚含量在柚子籽发芽5 d后显著下降,可能是因为生育酚的分解或转化。李淑莹等<sup>[28]</sup>研究花生发芽过程中生育酚含量变化发现,发芽后生育酚含量显著提高,为原料中的3.25倍。也有研究发现芝麻种子萌发过程中 $\alpha$ -生育酚含量前5 d显著升高,第6天时下降<sup>[29]</sup>。Li等<sup>[30]</sup>研究发现,亚麻籽萌发前5 d,亚麻籽油总生育酚含量呈先增加后下降的变化趋势,总生育酚含量

的增加是由于生育酚的合成是幼嫩植株生长的生理代谢物质,降低是后期用作植株生长的促进剂和增效剂。

角鲨烯具有抗衰老、抗肿瘤及提高机体免疫功能的作用<sup>[31]</sup>。由图5可知,在柚子籽发芽过程中,角鲨烯含量的变化与生育酚一致,也是先显著升高后显著下降。未发芽柚子籽制备的柚子籽油中角鲨烯含量为 $4.20 \mu\text{g/g}$ ,发芽5 d时达到峰值,为 $(36.10 \pm 0.01) \mu\text{g/g}$ ,与未发芽时相比,增长了7.60倍。同样地,发芽具有提高柚子籽油中角鲨烯含量的作用。Young等<sup>[32]</sup>研究发现普通水稻、糯米、红色水稻萌发后角鲨烯含量均显著增加。因此,发芽可以提高柚子籽油脂溶性营养物质的含量,也提高了柚子籽油的利用价值。

## 3 结论

本文以金柚加工副产物柚子籽为研究对象,采取超声方式诱导柚子籽发芽,用石油醚抽提法提取柚子籽油,考察发芽对柚子籽油品质的影响。结果显示:超声功率为360 W、超声时间为20 min时的发芽率达到95.42%;9 d发芽过程中柚子籽得油率下降3.56个百分点,但仍满足油料的要求;发芽不改变柚子籽油脂脂肪酸组成且发芽5 d时柚子籽油的酸值(KOH) $(1.19 \pm 0.04)$  mg/g、过氧化值 $(1.98 \pm 0.02)$  mmol/kg均符合植物油国家标准;发芽5 d时柚子籽油生育酚 $(265.29 \pm 0.05) \mu\text{g/g}$ 、角鲨烯 $(36.10 \pm 0.01) \mu\text{g/g}$ 含量均达到了峰值,与未发芽相比分别增长了3.74倍和7.60倍。综上,发芽不仅能保持柚子籽油的质量,更显著强化了其脂溶性营养物质,提高了柚子籽油的营养价值,开阔了柚子籽油的开发利用领域。

## 参考文献:

- [1] 刘伟帆,刘芯如,黄妙如,等.金柚柚子籽油的制备及理化性质研究[J].中国油脂,2020,45(4):14-17.
- [2] 张琼,丁宝.梅州柚产业发展的有利条件及发展建议[J].现代农业科技,2019(23):92-93.
- [3] RASHID U, IBRAHIM M, YASIN S, et al. Biodiesel from *Citrus reticulata* (mandarin orange) seed oil, a potential non-food feedstock[J]. Ind Crops Prod, 2013, 45: 355-359.
- [4] CHILAKA K C, IFEDIBA E C, OGAMBA J O. Evaluation of the effects of *Citrus sinensis* seed oil on blood glucose, lipid profile and liver enzymes in rats injected with alloxan monohydrate[J]. J Acute Dis, 2015, 4(2): 129-134.
- [5] 王磊.维生素E的功能[J].当代畜禽养殖业,2021(6):28-29.
- [6] IBRAHIM N, NAINA MOHAMED I. Interdependence of

- anti - inflammatory and antioxidant properties of squalene - implication for cardiovascular health [ J/OL ]. Life ( Basel ), 2021, 11 ( 2 ): 103 [ 2021 - 06 - 07 ]. <https://doi.org/10.3390/life11020103>.
- [ 7 ] DOMAZETOVIC V, FALSETTI I, VIGLIANISI C, et al. Protectorole of natural and semi - synthetic tocopherols on TNFalpha - induced ROS production and ICAM - 1 and Cl - 2 expression in HT29 intestinal epithelial cells [ J/OL ]. Antioxidants ( Basel ), 2021, 10 ( 2 ): 160 [ 2021 - 06 - 07 ]. <https://doi.org/10.3390/antiox10020160>.
- [ 8 ] KARIM M S N, ABDULLAH S N A, NADZIR M M M, et al. Single nucleotide polymorphisms in oil palm HOMOGENITISATE GERANYL - GERANYL TRANSFERASE promoter for species differentiation and TOCOTRIENOL improvement [ J/OL ]. Meta Gene, 2021, 27: 100818 [ 2021 - 06 - 07 ]. <https://doi.org/10.1016/j.mgene.2020.100818>.
- [ 9 ] HUNTER S C, CAHOON E. Enhancing vitamin E in oilseeds; unraveling tocopherol and tocotrienol biosynthesis [ J ]. Lipids, 2007, 42 ( 2 ): 97 - 108.
- [ 10 ] STACEY M G, CAHOON R E, NGUYEN H T, et al. Identification of homogentisate dioxygenase as a target for vitamin E biofortification in oilseeds [ J ]. Plant Physiol, 2016, 172 ( 3 ): 1506 - 1518.
- [ 11 ] YANG H, GAO J, YANG A, et al. The ultrasound - treated soybean seeds improve edibility and nutritional quality of soybean sprouts [ J ]. Food Res Int, 2015, 77: 704 - 710.
- [ 12 ] SANGRONIS E, RODRÍGUEZ M, CAVA R, et al. Protein quality of germinated *Phaseolus vulgaris* [ J ]. Eur Food Res Technol, 2005, 222 ( 1/2 ): 144 - 148.
- [ 13 ] 赵霞, 曹改萍, 王敏, 等. 不同类型大豆萌发期维生素 E 组分及含量的比较 [ J ]. 中国粮油学报, 2020, 35 ( 8 ): 48 - 55, 83.
- [ 14 ] 李淑莹. 富含白藜芦醇花生芽油的制备及品质研究 [ D ]. 广州: 华南理工大学, 2018.
- [ 15 ] 宋平, 徐静, 马贺男, 等. 利用低场核磁共振及其成像技术分析水稻浸种过程水分传递 [ J ]. 农业工程学报, 2016, 32 ( 17 ): 274 - 280.
- [ 16 ] 刘振雷, 朱煜康, 楼乔明, 等. 18 种市售坚果脂肪酸组成的比较分析及营养评价 [ J ]. 中国粮油学报, 2021, 36 ( 4 ): 90 - 95.
- [ 17 ] MA L K, LIU G Q, CHENG W W, et al. The effect of heating on the formation of 4 - hydroxy - 2 - hexenal and 4 - hydroxy - 2 - nonenal in unsaturated vegetable oils: evaluation of oxidation indicators [ J/OL ]. Food Chem, 2020, 321: 126603 [ 2021 - 06 - 07 ]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126603>.
- [ 18 ] BABAEI - GHACHELESTANY A, ALEBRAHIM M T, MACGREGOR D R, et al. Evaluation of ultrasound technology to break seed dormancy of common lambsquarters (*Chenopodium album*) [ J ]. Food Sci Nutr, 2020, 8 ( 6 ): 2662 - 2669.
- [ 19 ] 杨慧, 周霖, 边媛媛, 等. 非热加工技术对种子萌发生物效应的研究进展 [ J ]. 食品工业, 2020, 41 ( 7 ): 211 - 215.
- [ 20 ] YALDAGARD M, MORTAZAVI S A, TABATABAIE F. Application of ultrasonic waves as a priming technique for accelerating and enhancing the germination of barley seed: optimization of method by the Taguchi approach [ J ]. J Brewing, 2008, 114: 14 - 21.
- [ 21 ] 杨选, 杨震, 陶阳, 等. 花生籽粒发芽过程中脂肪代谢的变化 [ J ]. 食品科学, 2017, 38 ( 1 ): 142 - 148.
- [ 22 ] 许克勇, 吴彩娥, 李元瑞. 物料水分含量对油脂超临界 CO<sub>2</sub> 萃取的影响 [ C ] // 第五届全国超临界流体技术学术及应用研讨会论文集. 北京: 中国化工学会化学工程专业委员会, 2004.
- [ 23 ] 岳霞, 白雨禾, 王昭懿, 等. 盐胁迫下玉米种子萌发过程低场核磁共振研究 [ J ]. 农业工程学报, 2020, 36 ( 24 ): 292 - 300.
- [ 24 ] 张瑞. 芝麻籽粒萌发过程中主要营养与功能性物质变化研究 [ D ]. 郑州: 河南工业大学, 2019.
- [ 25 ] FERREIRA C D, BUBOLZ V K, DA SILVA J, et al. Changes in the chemical composition and bioactive compounds of chickpea (*Cicer arietinum* L.) fortified by germination [ J ]. LWT - Food Sci Technol, 2019, 111: 363 - 369.
- [ 26 ] 吴非, 于洋, 王莹, 等. 亚油酸比例对油脂热稳定性的影响 [ J ]. 中国油脂, 2020, 45 ( 12 ): 34 - 37.
- [ 27 ] AKINOSO R, ABOABA S A, OLAYANJU T M A. Effects of moisture content and heat treatment on peroxide value and oxidative stability of un refined sesame oil [ J/OL ]. Afr J Food Agric Nutr Dev, 2010, 10 [ 2021 - 06 - 07 ]. <http://dx.doi.org/10.4314/ajfand.v10i10.62908>.
- [ 28 ] 李淑莹, 刘国琴. 发芽提高花生中主要脂溶性营养物质的含量 [ J ]. 现代食品科技, 2018, 34 ( 4 ): 30 - 38.
- [ 29 ] LI X, DONG S, BAI W L, et al. Metabolic and transcriptional regulation of phenolic conversion and tocopherol biosynthesis during germination of sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds [ J ]. Food Funct, 2020, 11 ( 11 ): 9848 - 9857.
- [ 30 ] LI X, LI J P, DONG S, et al. Effects of germination on tocopherol, secoisolarciresinol diglucoside, cyanogenic glycosides and antioxidant activities in flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) [ J ]. Int J Food Sci Technol, 2019, 54 ( 7 ): 2346 - 2354.
- [ 31 ] 朱云. 植物油中角鲨烯含量及其在油脂加工与使用过程中的变化 [ J ]. 中国油脂, 2019, 44 ( 12 ): 136 - 138.
- [ 32 ] YOUNG J H, HYUN L D, YOUNG B H, et al. Pre - and post - germination changes in pharmaceutical compounds of germinated brown rice [ J ]. Korean J Crop Sci, 2008, 53 ( S ): 37 - 43.