

## 不同储油温度对芝麻油品质保鲜效果的影响

黄会娜<sup>1</sup>,王慧云<sup>2</sup>,史海明<sup>2</sup>,张梅<sup>3</sup>,姜元荣<sup>2</sup>,徐拥军<sup>3</sup>,易智伟<sup>1</sup>,刘玉兰<sup>4</sup>,马宇翔<sup>4</sup>

(1. 益海嘉里(青岛)风味食品应用创新中心有限公司,山东 青岛 266000; 2. 丰益(上海)生物技术研发中心有限公司,上海 200137; 3. 益海嘉里(青岛)粮油工业有限公司,山东 青岛 266000; 4. 河南工业大学 粮油食品学院,郑州 450001)

**摘要:**旨在为芝麻油低温储存技术提供参考,分别对小磨芝麻香油、机榨芝麻香油和精炼芝麻油进行低温(15℃)、常温(25℃)、高温(45℃)条件的储存试验,定期取油样对其酸值、过氧化值以及维生素E、甾醇、芝麻木酚素含量进行检测,分析不同储油温度对3种芝麻油品质保鲜效果的影响。结果表明:经196 d储存,45℃下3种芝麻油的过氧化值升高至0.41~1.80 mmol/kg,酸值(KOH)升高至0.32~2.23 mg/g,15℃较45℃储存时3种芝麻油的过氧化值降低51.7%~75.6%,酸值降低36.9%~56.3%,3种芝麻油的过氧化值、酸值均未超出国标限量;15℃储存条件下3种芝麻油中维生素E损失6.7%~15.8%,甾醇损失18.5%~29.8%,45℃储存条件下3种芝麻油中维生素E损失20.8%~23.0%,甾醇损失21.2%~31.2%;芝麻木酚素含量在不同温度储存期间基本无变化。综上,15℃低温储油对抑制和减缓芝麻油过氧化值、酸值升高,以及减少维生素E、甾醇损失均具有明显效果,因而低温储油是值得推广应用的绿色储油技术。

**关键词:**芝麻油;低温储油;品质保鲜;维生素E;甾醇;芝麻木酚素

中图分类号:TS225.1;TS205 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2024)12-0065-06

### Effect of different storage temperature on the quality preservation of sesame seed oil

HUANG Huina<sup>1</sup>, WANG Huiyun<sup>2</sup>, SHI Haiming<sup>2</sup>, ZHANG Mei<sup>3</sup>,

JIANG Yuanrong<sup>2</sup>, XU Yongjun<sup>3</sup>, YI Zhiwei<sup>1</sup>, LIU Yulan<sup>4</sup>, MA Yuxiang<sup>4</sup>

(1. Yihai Kerry (Qingdao) Flavored Food Application Innovation Center Co., Ltd., Qingdao 266000, Shandong, China; 2. Wilmar (Shanghai) Biotechnology Research & Development Center Co., Ltd., Shanghai 200137, China; 3. Yihai Kerry (Qingdao) Oils & Grains Industrial Co., Ltd., Qingdao 266000, Shandong, China; 4. College of Food Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** To provide reference for the low-temperature storage of sesame seed oil, the storage tests of sesame seed oil (aqueous extracted fragrant sesame seed oil, pressed fragrant sesame seed oil, and refined sesame seed oil) were conducted at low temperature (15℃), room temperature (25℃), and high temperature (45℃), and the acid value, peroxide value, and the contents of vitamin E, sterol, and sesame lignan in the sesame seed oil during storage were determined to analyze the effects of different storage temperatures on their quality preservation. The results showed that after 196 d of storage, the

收稿日期:2024-05-27;修回日期:2024-08-07

基金项目:上海市2021年度“科技创新行动计划”启明星项目(21QB1400200)

作者简介:黄会娜(1993),女,工程师,硕士,研究方向为油脂加工技术与质量安全(E-mail) huanghuina@cn.wilmar-intl.com。

通信作者:易智伟,高级工程师(E-mail) yizhiwei@cn.wilmar-intl.com。

peroxide values of the three kinds of sesame seed oils stored at 45℃ increased to 0.41-1.80 mmol/kg, and the acid values increased to 0.32-2.23 mgKOH/g. The peroxide values and acid values of the three kinds of sesame seed oils stored at 15℃ were reduced by 51.7%-75.6% and 36.9%-56.3%, respectively, compared with those stored at 45℃, and the peroxide

values and acid values of the three kinds of sesame seed oils did not exceed the national standard limit. The loss of vitamin E in three kinds of sesame oils stored at 15 °C was 6.7% – 15.8% , compared to 20.8% – 23.0% at 45 °C. Sterol loss at 15 °C was 18.5% – 29.8% , compared to 21.2% – 31.2% at 45 °C. The sesame lignan content in sesame seed oil had no change during storage at different temperatures. In summary, the storage of oil at 15 °C has obvious effects on inhibiting the increase of peroxide value and acid value of sesame seed oil and reducing the loss of vitamin E and sterol, and low – temperature storage can be used as an environmentally friendly approach to preserve sesame seed oil quality.

**Key words:** sesame seed oil; low – temperature storage of oil; quality preservation; vitamin E; sterol; sesame lignan

芝麻油香味宜人,脂肪酸组成合理,且含有丰富的天然抗氧化活性成分——芝麻木酚素、维生素 E 及甾醇等<sup>[1-2]</sup>,是我国居民喜爱的传统高端食用植物油。根据生产工艺不同,GB/T 8233—2018《芝麻油》中将食用芝麻油分为小磨芝麻香油(芝麻焙炒后采用石磨磨浆和水代法制取)、芝麻香油(芝麻焙炒后采用压榨或压滤工艺制取,即机榨芝麻香油)及精炼芝麻油(芝麻原油经过精炼制成)<sup>[3]</sup>。与其他食用植物油相比,芝麻油因含有独特的芝麻木酚素而显示出较强的储存稳定性<sup>[4-5]</sup>,但在不良储存条件下也会发生氧化酸败及活性营养成分损失。低温储油是延缓植物油脂氧化酸败和品质劣变最可靠的方法<sup>[6-8]</sup>。为保证食用植物油产品从产出至消费者食用时均有优良品质,研发应用低温储油技术逐步取代添加抗氧化剂储存油脂,从而实现绿色储油和“长储长新”保质保鲜储油是行业关注热点。本研究模拟食用植物油储存过程可能受环境因素影响的温度即低温储存(15 °C)、常温储存(25 °C)、夏季不良条件或极端条件下高温储存(45 °C),分别对不同工艺生产的芝麻油(小磨芝麻香油、机榨芝麻香油、精炼芝麻油)进行储存试验,对储油定期取样检测其酸值、过氧化值以及维生素 E、甾醇、芝麻木酚素含量,研究不同储油温度对芝麻油质量指标和营养伴随物含量的影响,以期为芝麻油低温储油技术的发展提供支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

#### 1.1.1 原料与试剂

新鲜芝麻油,包括小磨芝麻香油(样品 1)、机榨芝麻香油(样品 2)、精炼芝麻油(样品 3),所有样品均未添加抗氧化剂。

芝麻素、芝麻林素、细辛素混合标准品(纯度 ≥ 98%); $\alpha$  -  $\beta$  -  $\gamma$  -  $\delta$  - 生育酚和生育三烯酚混合标准品(纯度 ≥ 95%);菜籽甾醇(纯度 ≥ 98%);豆

甾醇(纯度 ≥ 95%)、 $\beta$  - 谷甾醇(纯度 ≥ 95%)、 $5\alpha$  - 胆甾醇(纯度 ≥ 95%)、菜油甾醇(纯度 ≥ 95.5%)、胆固醇(纯度 ≥ 99%);N, O - 双(三甲基硅基)三氟乙酰胺(纯度 ≥ 96%) + 1% 三甲基氯硅烷;二氯甲烷、三氯甲烷、乙醚、异丙醇、冰乙酸、无水硫酸钠,均为分析纯;正己烷、异丙醇,均为色谱纯;超纯水,由实验室 Milli - Q 超纯水机制得。

#### 1.1.2 仪器与设备

7890B 气相色谱仪、1100 高效液相色谱仪,美国安捷伦科技有限公司;恒温恒湿箱,上海一恒科学仪器有限公司;MTN - 2800 氮吹浓缩仪,天津奥特塞恩斯仪器公司;H - 003 加热板,德国 CMVC 公司;R - 200 旋转蒸发仪,瑞士 Buchi 公司。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 芝麻油的储存试验

取 3 种不同的新鲜芝麻油分别装于 36 个 100 mL 玻璃样品瓶中,装样量 90 mL,加盖密封,分别置于 45、25、15 °C 恒温箱中避光储存,根据不同温度下油脂品质变化的速度不同,分别对 45 °C 和 25 °C 储油每 14 d 取样一次,15 °C 储油每 28 d 取样一次,每种芝麻油每次从一个样品瓶中取样,所取样品保存于 -20 °C 冰箱中,待品质检测。

#### 1.2.2 芝麻油的品质检测

酸值测定,参照 GB 5009. 229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》;过氧化值测定,参照 GB 5009. 227—2016《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》;维生素 E 含量测定,参照 GB/T 26635—2011《动植物油脂 生育酚及生育三烯酚含量测定 高效液相色谱法》;甾醇含量测定,参照 GB/T 25223—2010《动植物油脂 甾醇组成和甾醇总量的测定 气相色谱法》;芝麻木酚素含量测定,参照 GB/T 31579—2015《粮油检验 芝麻油中芝麻素和芝麻林素的测定 高效液相色谱法》和 Schwertner 等<sup>[9]</sup>建立的分析方法。

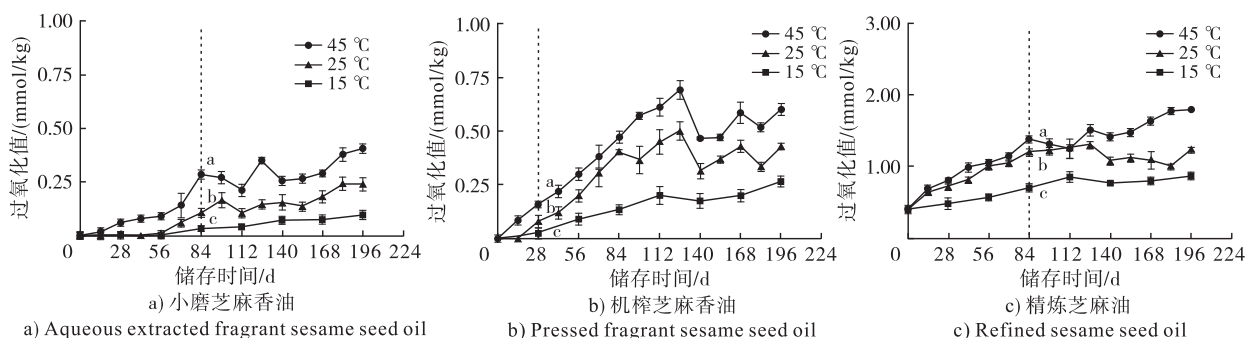
### 1.2.3 数据分析

试验结果表示为“平均值±标准差”(n≥3),采用 Microsoft Excel 2016 进行数据的统计分析及作图,利用 SPSS statistics18 进行数据处理与方差分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 储油温度对芝麻油过氧化值的影响

3种芝麻油在45、25、15℃下储存196d期间过氧化值的变化如图1所示。



注:不同字母表示组间差异显著( $p < 0.05$ )。下同

Note: Different letters indicate a significant difference between the groups ( $p < 0.05$ ). The same below

图1 储油温度对芝麻油过氧化值的影响

Fig. 1 Effect of oil storage temperature on the peroxide value of sesame seed oil

从图1a和图1b可见,小磨芝麻香油和机榨芝麻香油在不同温度储存196d期间,过氧化值均随储存时间延长有小幅升高,但均未超过GB/T 8233—2018《芝麻油》中一级芝麻香油过氧化值不超过0.15 g/100 g(约6 mmol/kg)的限量要求。小磨芝麻香油于45、25、15℃储存84d时过氧化值开始出现显著差异( $p < 0.05$ ),随着储存时间延长至196d时,其过氧化值分别增长至0.41、0.24、0.10 mmol/kg,15℃储存较45℃储存过氧化值降低75.6%。机榨芝麻香油于45、25、15℃储存28d时过氧化值开始出现显著差异( $p < 0.05$ ),196d时过氧化值分别增长至0.60、0.43、0.27 mmol/kg,15℃储存较45℃储存过氧化值降低55.0%。从图1c可见,精炼芝麻油在不同温度储存196d期间,过氧化值随储存时间延长有较明显升高,但均未超出GB 2716—2018《食品安全国家标准 植物油》中规定的过氧化值不超过0.25 g/100 g(约10 mmol/kg)的限量要求[注:GB/T 8233—2018《芝麻油》中精炼芝麻油过氧化值按GB 2716—2018规定执行]。精炼芝麻油于45、25、15℃储存84d时过氧化值开始出现显著差异( $p < 0.05$ ),196d时过氧化值由0.41 mmol/kg分别增长至1.80、1.25、0.87 mmol/kg,15℃储存较45℃储存过氧化值降低51.7%。从图1还可以看出,45℃储存196d时,3种芝麻油的过氧化值有很大差异,由低到高分别为小磨芝麻香油(0.41 mmol/kg) < 机榨芝麻香油(0.60 mmol/kg) < 精炼芝麻油(1.80 mmol/kg)。

与其他食用植物油相比,芝麻油在相同储存条件下其过氧化值的升高幅度较小。孙国昊等<sup>[10]</sup>对菜籽油的储存试验研究显示,45℃储存条件下浓香菜籽油过氧化值在35d时超出GB/T 1536—2021《菜籽油》中压榨一级菜籽油过氧化值不超过0.125 g/100 g(约5 mmol/kg)的限量要求。刘玉兰等<sup>[11]</sup>对花生油、大豆油的储存试验研究显示,45℃储存条件下花生油、大豆油的过氧化值均在28d时超出GB/T 1534—2017《花生油》(压榨一级)和GB/T 1535—2017《大豆油》(二级)中规定的过氧化值不超过6 mmol/kg的限量要求。上述结果表明,芝麻油相比其他食用植物油的氧化稳定性更强,其原因可能是芝麻油中丰富的天然抗氧化成分如芝麻木酚素、维生素E<sup>[12]</sup>,与芝麻经高温焙炒产生的褐变反应产物发挥协同抗氧化作用,增强了芝麻油的氧化稳定性<sup>[13]</sup>。

### 2.2 储油温度对芝麻油酸值的影响

3种芝麻油在45、25、15℃下储存196d期间酸值的变化如图2所示。

从图2a和图2b可见,小磨芝麻香油和机榨芝麻香油在45、25℃储存196d期间酸值均有较明显增长,而15℃低温储油下酸值基本无变化。小磨芝麻香油在45、25、15℃储存28d时酸值开始出现显著差异( $p < 0.05$ ),机榨芝麻香油在储存84d时酸值开始出现显著差异( $p < 0.05$ )。45℃储存196d,小磨芝麻香油、机榨芝麻香油酸值(KOH)分别为2.23、1.98 mg/g,接近GB/T 8233—2018《芝麻油》

中一级芝麻香油酸值(KOH)的限量要求( $\leq 2.5$  mg/g), 15℃储存较45℃储存酸值分别降低39.0%、36.9%。从图2c可见, 精炼芝麻油在45、25、15℃储存196 d期间, 酸值有小幅增长, 不同温度储油的酸值在140 d时开始出现显著差异( $p < 0.05$ ), 虽然45℃储存196 d时精炼芝麻油酸值

(KOH) (0.32 mg/g) 未超出 GB/T 8233—2018《芝麻油》中一级精炼芝麻油酸值(KOH)不超过0.6 mg/g的限量要求, 但15℃储存较45℃储存酸值降低56.3%。15℃低温储存相比45℃高温储存芝麻油酸值升幅很小, 说明低温储存对芝麻油酸值升高有明显抑制作用。

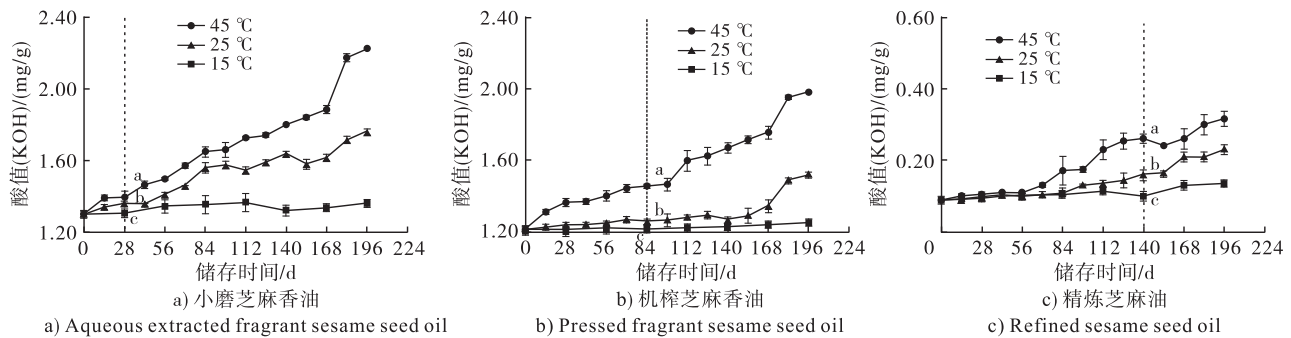


图2 储油温度对芝麻油酸值的影响

Fig. 2 Effect of oil storage temperature on the acid value of sesame seed oil

芝麻油在高温45℃储存过程中酸值增长显著, 尤其是小磨芝麻香油和机榨芝麻香油储存结束时酸值均接近国标上限, 后续若继续储存, 油脂酸值将有超出指标上限的危险。而芝麻油过氧化值在储存过程涨幅较低, 小磨芝麻香油、机榨芝麻香油和精炼芝麻油在高温45℃储存结束时过氧化值仍远低于国标上限。在行业标准《植物油储存品质判定规则》的制定过程中, 大量的数据显示, 储存过程中过氧化

值是评判植物油是否宜存的最敏感指标<sup>[7,10-11,14]</sup>, 但由芝麻油过氧化值、酸值变化情况来看, 储存过程中芝麻油酸值升高更明显, 因此酸值也可能是判断芝麻油储存期限的重要指标之一。

### 2.3 储油温度对芝麻油中维生素E的影响

3种芝麻油在45、25、15℃下储存196 d期间维生素E含量的变化如图3所示。

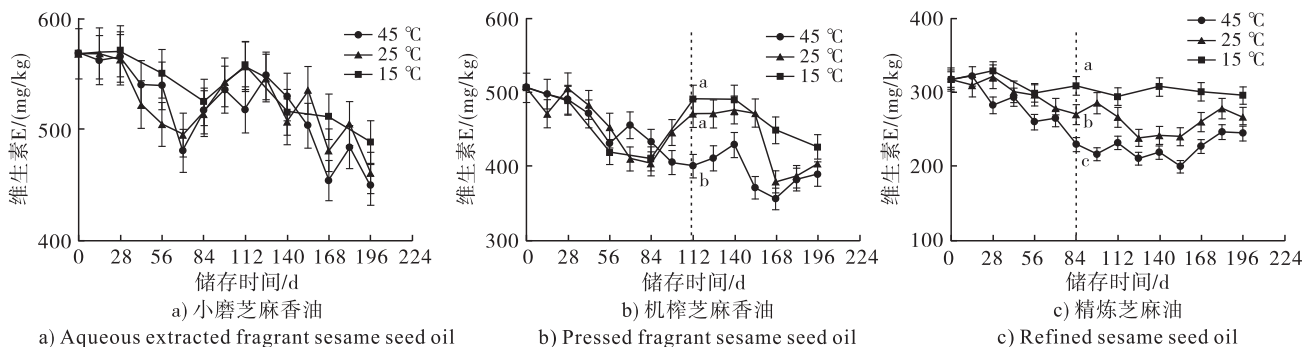


图3 储油温度对芝麻油中维生素E含量的影响

Fig. 3 Effect of oil storage temperature on the content of vitamin E in sesame seed oil

从图3可见, 小磨芝麻香油、机榨芝麻香油、精炼芝麻油中维生素E初始含量不同, 分别为568.6、505.9、317.9 mg/kg, 精炼芝麻油中维生素E含量明显比小磨芝麻香油和机榨芝麻香油低, 这是由于芝麻油在精炼过程中维生素E会有所损失<sup>[15]</sup>。小磨芝麻香油在不同温度的储存条件下维生素E含量没有显著差异( $p > 0.05$ ), 在45℃下储存196 d时, 维生素E含量降至450.1 mg/kg, 维生素E损失20.8%, 在15℃下储存196 d时, 维生素E含量降至488.9 mg/kg, 维生素E损失14.0%。机榨芝麻

香油储存112 d时, 其在15℃与25℃储存条件下维生素E含量没有显著差异( $p > 0.05$ ), 但均与45℃储存条件下维生素E含量有显著差异( $p < 0.05$ ), 在45℃下储存196 d时, 机榨芝麻香油中维生素E含量降至389.4 mg/kg, 维生素E损失23.0%, 在15℃下储存196 d时, 维生素E含量降至426.2 mg/kg, 维生素E损失15.8%。精炼芝麻油储存84 d时, 在不同温度的储存条件下其维生素E含量具有显著差异( $p < 0.05$ ), 在45℃下储存196 d时, 其维生素E含量降至245.6 mg/kg, 维生素E损失



22.7%,在15℃下储存196 d时,维生素E含量降至296.5 mg/kg,维生素E损失6.7%。维生素E具有良好的抗氧化特性<sup>[16]</sup>,油脂氧化酸败过程伴随着维生素E等活性成分的损失。本研究发现,低温储油有利于减少维生素E的损失,这与孙国昊<sup>[10]</sup>、邓金良<sup>[17]</sup>等的研究结果一致,而高温储油一般会导致维生素E损失更多。浓香菜籽油在45℃下储存112 d,维生素E损失46.8%<sup>[10]</sup>,精炼菜籽油在45℃下储存112 d,维生素E损失43%<sup>[18]</sup>,一级压

榨浓香花生油在45℃下储存84 d,维生素E损失36.6%<sup>[17]</sup>,而在本研究中,芝麻油在45℃下储存196 d,维生素E损失20.8%~23.0%,明显低于上述其他食用植物油,这可能是因为芝麻油中的芝麻木酚素与生育酚有协同抗氧化作用,可以抑制生育酚降解<sup>[5,19-20]</sup>。

#### 2.4 储油温度对芝麻油中甾醇的影响

3种芝麻油在45、25、15℃下储存196 d期间甾醇含量的变化如图4所示。

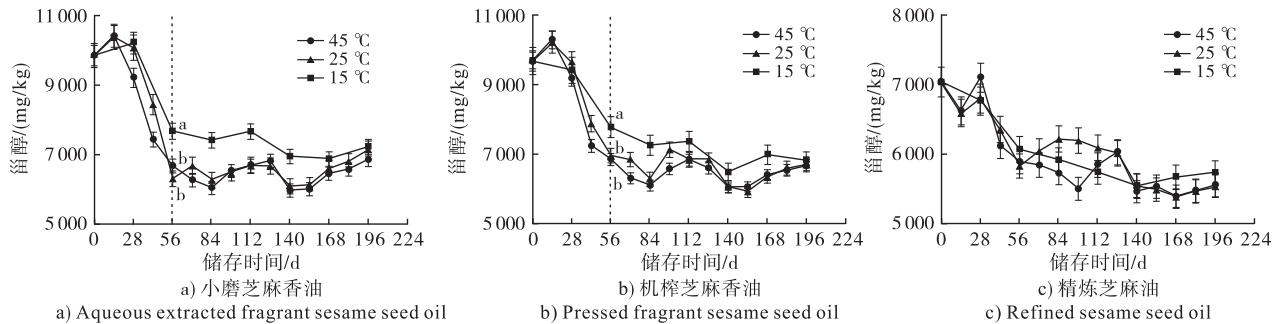


图4 储油温度对芝麻油中甾醇含量的影响

Fig. 4 Effect of oil storage temperature on the content of sterol in sesame seed oil

从图4可见,小磨芝麻香油、机榨芝麻香油、精炼芝麻油中甾醇初始含量不同,分别为9 851.5、9 698.1、7 037.3 mg/kg,精炼芝麻油中甾醇含量明显低于小磨芝麻香油和机榨芝麻香油,这与刘玉兰等<sup>[21]</sup>对浓香菜籽油和精炼菜籽油的研究结果一致,这是因为在油脂精炼过程中甾醇有所损失<sup>[22]</sup>。小磨芝麻香油、机榨芝麻香油在不同温度储存196 d甾醇含量均有明显损失,在储存56 d时,15℃储存条件下甾醇含量与25、45℃储存条件下的有显著差异( $p < 0.05$ )。在45℃下储存196 d时,小磨芝麻香油、机榨芝麻香油中甾醇含量分别降至6 850.5、6 667.5 mg/kg,甾醇分别损失30.5%、31.2%,在

15℃下储存196 d时,其甾醇含量分别降至7 216.9、6 809.2 mg/kg,甾醇分别损失26.7%、29.8%。精炼芝麻油在不同温度储存196 d期间甾醇含量没有显著差异( $p > 0.05$ ),在45℃储存196 d时,甾醇含量降至5 545.3 mg/kg,损失21.2%,而在15℃储存196 d时,甾醇含量降至5 732.9 mg/kg,损失18.5%。综上,低温储油可减少芝麻油中甾醇的损失,这与对菜籽油、花生油和大豆油的研究结果一致<sup>[10,17]</sup>。

#### 2.5 储油温度对芝麻油中芝麻木酚素的影响

3种芝麻油在45、25、15℃储存196 d期间芝麻木酚素含量的变化如图5所示。

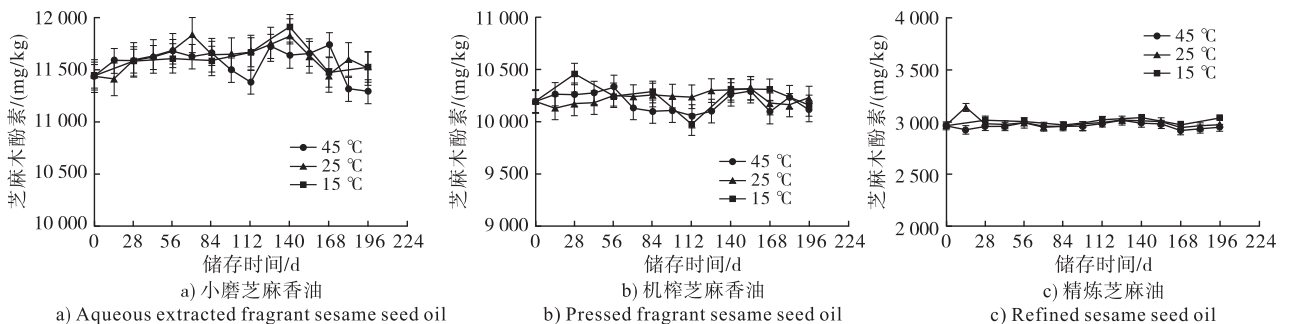


图5 储油温度对芝麻油中芝麻木酚素含量的影响

Fig. 5 Effect of oil storage temperature on the content of sesame lignan in sesame seed oil

从图5可见,3种芝麻油中芝麻木酚素初始含量有很大差异,小磨芝麻香油、机榨芝麻香油、精炼芝麻油中芝麻木酚素初始含量分别为11 437.1、10 190.8、2 955.4 mg/kg,精炼芝麻油中芝麻木酚素

含量最低,这是因为芝麻木酚素在油脂精炼过程中会有所损失,刘瑞花<sup>[23]</sup>研究表明,脱色工序会导致芝麻油中芝麻木酚素有高达65.2%的损失。3种芝麻油在196 d的储存过程中,芝麻木酚素含量有少

量降低,但没有显著差异( $p > 0.05$ ),且不同温度条件下芝麻木酚素含量也没有显著差异( $p > 0.05$ )。在45℃储存196 d时,小磨芝麻香油中芝麻木酚素含量降至11 289.6 mg/kg,损失1.3%,机榨芝麻香油中芝麻木酚素含量降至10 110.4 mg/kg,损失0.8%,精炼芝麻油中芝麻木酚素含量降至2 945.7 mg/kg,损失0.3%。

### 3 结论

通过对不同芝麻油在不同温度储存期间品质变化的研究表明,储存温度对不同芝麻油主要质量指标和营养伴随物含量的影响显著。15℃低温储存对抑制芝麻油酸值、过氧化值升高及减少维生素E、甾醇损失具有显著效果,芝麻木酚素性质较为稳定,在不同温度储存过程中含量无显著差异( $p > 0.05$ )。与其他食用植物油相比,芝麻油储存稳定性明显更强。在不同温度储存过程中,3种芝麻油的储存稳定性强弱顺序为小磨芝麻香油>机榨芝麻香油>精炼芝麻油。总而言之,低温储油对芝麻油品质保鲜效果显著,是值得推广应用的绿色储油技术。

### 参考文献:

- [1] JI J M, LIU Y L, SHI L K, et al. Effect of roasting treatment on the chemical composition of sesame oil[J]. LWT - Food Sci Technol, 2019, 101: 191 - 200.
- [2] 王瑞元. 我国芝麻产业的发展[J]. 中国油脂, 2016, 41(2): 1 - 2.
- [3] 芝麻油: GB/T 8233—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [4] 刘慧敏. 不同植物油微量成分与抗氧化能力的相关性研究[D]. 江苏 无锡: 江南大学, 2015.
- [5] NAMIKI M. The chemistry and physiological functions of sesame[J]. Food Rev Int, 1995, 11(2): 281 - 329.
- [6] SANMARTIN C, VENTURI F, SGHERRI C, et al. The effects of packaging and storage temperature on the shelf - life of extra virgin olive oil[J/OL]. Heliyon, 2018, 4(11): e00888 [2024 - 05 - 27]. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00888>.
- [7] 刘玉兰, 邓金良, 张露, 等. 地下储油与地上储油对大豆油综合品质的影响[J]. 中国油脂, 2021, 46(11): 139 - 144, 152.
- [8] LI X, ZHU H, SHOEMAKER C F, et al. The effect of different cold storage conditions on the compositions of extra virgin olive oil[J]. J Am Oil Chem Soc, 2014, 91(9): 1559 - 1570.
- [9] SCHWERTNER H A, RIOS D C. Analysis of sesamin, asarinin, and sesamol by HPLC with photodiode and fluorescent detection and by GC/MS: Application to sesame oil and serum samples[J]. J Am Oil Chem Soc, 2012, 89(11): 1943 - 1950.
- [10] 孙国昊, 刘玉兰, 王小磊, 等. 低温储油对浓香菜籽油风味保鲜和质量保鲜的作用[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(9): 14 - 20.
- [11] 刘玉兰, 邓金良, 马宇翔, 等. 不同储藏温度和抗氧化剂对花生油和大豆油氧化稳定性的影响[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(3): 1 - 5, 16.
- [12] QILES J L, RAMIREZ - TORTOSA M C, ALFONSO GOMEZ J, et al. Role of vitamin E and phenolic compounds in the antioxidant capacity, measured by ESR, of virgin olive, olive and sunflower oils after frying[J]. Food Chem, 2002, 76(4): 461 - 468.
- [13] YEN G C. Influence of seed roasting process on the changes in composition and quality of sesame (*Sesame indicum*) oil[J]. J Sci Food Agric, 1990, 50(4): 563 - 570.
- [14] 郭丽敏, 黎耀强, 魏萌萌, 等. 充氮气调储藏对棕榈油品质的影响[J]. 粮食与食品工业, 2017, 24(4): 19 - 22.
- [15] 刘瑞花, 刘玉兰, 王丹, 等. 吸附脱色对芝麻油中木酚素及维生素E影响的研究[J]. 中国油脂, 2014, 39(3): 20 - 24.
- [16] 黄纪念, 宋国辉, 孙强. 芝麻和芝麻油的抗氧化活性[J]. 中国食物与营养, 2009, 15(2): 26 - 28.
- [17] 邓金良. 不同储油技术对油脂保质保鲜影响的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2021.
- [18] 刘玉兰, 孙国昊, 马宇翔, 等. 不同储存条件对菜籽油中挥发性成分及综合品质的影响[J]. 中国油脂, 2023, 48(5): 37 - 42.
- [19] GHAFLOORUNISS A, HEMALATHA S, RAO M V V. Sesame lignans enhance antioxidant activity of vitamin E in lipid peroxidation systems[J]. Mol Cell Biochem, 2004, 262(1): 195 - 202.
- [20] LIU R, XU Y, CHANG M, et al. Antioxidant interaction of  $\alpha$  - tocopherol,  $\gamma$  - oryzanol and phytosterol in rice bran oil[J/OL]. Food Chem, 2021, 343: 128431 [2024 - 05 - 27]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128431>.
- [21] 刘玉兰, 孙国昊, 王小磊, 等. 浓香菜籽油和精炼菜籽油氧化稳定性及挥发性成分的差异[J]. 中国油脂, 2022, 47(6): 35 - 45.
- [22] 郑淑敏. 玉米油精炼过程中游离甾醇和甾醇酯含量变化研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2016.
- [23] 刘瑞花. 芝麻油生产工艺条件对芝麻木酚素含量的影响研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2014.