

储藏条件对油莎豆及其油脂品质的影响

李晓丹, 贾会杰, 张振山

(河南工业大学 粮油食品学院, 郑州 450001)

摘要:为了探究不同储藏条件对油莎豆及其油脂品质的影响,将油莎豆在不同的温度(15、35℃)和湿度(11%、97%)下储藏40 d,测定油莎豆的含水量和含油量,以及油莎豆油的脂肪酸组成、维生素E含量和傅里叶红外光谱特征变化。结果表明:高湿(97%)条件下油莎豆含水量显著增加;低温低湿(15℃、11%)条件下油莎豆的含油量最高,为28.73%,高温高湿(35℃、97%)条件下最低,为26.82%;不同储藏条件下油莎豆油的脂肪酸组成没有显著变化,但高温和低湿储藏条件导致油莎豆油中饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸含量升高,单不饱和脂肪酸含量降低;油莎豆油中维生素E含量为171.34~183.80 mg/kg,主要成分为 α -生育酚(117.70~126.12 mg/kg)和 β -生育酚(40.55~45.38 mg/kg),相对于其他条件,高温低湿(35℃、11%)条件下油莎豆油中维生素E损失最严重;在试验考察范围内,储藏条件未对油莎豆油的官能团和结构产生明显影响。综上,选择适当的储藏条件有利于油莎豆的安全储藏。

关键词:油莎豆;储藏温度;储藏湿度;脂肪酸组成;维生素E;傅里叶红外光谱

中图分类号:TS221; TS222+.1 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2023)09-0024-06

Effect of storage conditions on the quality of tiger nut and its oil

LI Xiaodan, JIA Huijie, ZHANG Zhenshan

(College of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: To investigate the effect of different storage conditions on the quality of tiger nut and its oil, tiger nut was stored at different temperatures (15, 35 °C) and humidity (11%, 97%) for 40 d, the moisture content and oil content of tiger nut, and fatty acid composition, vitamin E content and Fourier infrared spectral characteristics of tiger nut oil were determined. The results showed that the moisture content of tiger nut under high humidity (97%) conditions increased significantly. The oil content of tiger nut stored under the low temperature and low humidity (15 °C, 11%) condition was the highest at 28.73%, and the lowest was 26.82% under the high temperature and high humidity (35 °C, 97%) condition. Storage conditions had no significant effect on the composition of fatty acid of tiger nut oil, but high temperature and low humidity storage conditions resulted in higher saturated fatty acid and polyunsaturated fatty acid contents and lower monounsaturated fatty acid content in tiger nut oil. The vitamin E content of tiger nut oil ranged from 171.34–183.80 mg/kg, with α -tocopherol (117.70–126.12 mg/kg) and β -tocopherol (40.55–45.38 mg/kg) as the main components. The high temperature and low humidity (35 °C, 11%) storage condition contributed to the most severe loss of vitamin E. Within the scope of the experiment, the storage conditions had no significant effect on functional group and structure of tiger nut oil. In summary, the selection of appropriate storage conditions can facilitate the safe storage of tiger nut.

Key words: tiger nut; storage temperature; storage humidity; fatty acid composition; vitamin E; Fourier infrared spectroscopy

收稿日期:2022-04-26;修回日期:2023-04-24

作者简介:李晓丹(1997),女,硕士研究生,研究方向为油脂

加工理论与技术(E-mail)Li17852109320@163.com。

通信作者:张振山,副教授(E-mail)zsan010@126.com。

油莎豆,又名油莎草、油莎果和地下核桃等,为莎草科莎草属多年生草本植物,原产于非洲和地中

海等国家^[1]。1960年,油莎豆由中国科学院植物研究所从保加利亚引入我国^[2]。油莎豆抗逆性和生态适应性强,具有耐贫瘠、耐盐碱、抗旱、耐涝等特点^[3],可在我国西北、东北、黄淮等土壤沙化较严重的地区种植,不仅可以达到防风固沙的效果,而且有利于荒地的有效利用^[4]。油莎豆的产量很高(干豆单产为7.5~9.0 t/hm²),是大豆的5倍、油菜籽的2倍^[5]。油莎豆营养成分丰富,含有20%~30%粗脂肪、6%~15%粗蛋白质、20%~27%淀粉、15%~25%可溶性糖,以及约26%的膳食纤维,是一种潜在的油料^[6]。油莎豆油主要由油酸(67.71%~74.60%)、棕榈酸(12.42%~14.78%)和亚油酸(8.79%~12.01%)组成,不饱和脂肪酸含量可达85%以上,与橄榄油和油茶籽油相近^[7]。此外,油莎豆油中还含有甾醇、多酚、维生素E等活性成分^[8-9],对促进血液循环,预防心脏病和血栓,降低结肠癌和糖尿病风险等具有重要作用。

区别于传统油料,油莎豆是一种生长于土壤中的植物块茎,其表面具有环状鳞片和凹陷的种眼,收获后的油莎豆自带大量菌群,并且油莎豆中含有多种生物酶,这些因素都影响了油莎豆的储藏安全。环境因素如南方梅雨季节、夏季高温天气,以及储藏过程中疏忽淋雨产生的短期高温高湿储藏环境,会对粮食品质造成一定影响。黄永忠^[10]探究了高湿(相对湿度70%~80%和>90%)环境下,稻谷在不同储藏温度(15、25、35℃)下的品质变化,发现稻谷的黏度会随储藏时间延长呈现下降的趋势,且温度和湿度越大,黏度下降得越快。李莉等^[11]通过高温、高湿(温度38℃、相对湿度92%)的储藏条件,模拟了梅雨季节对大米酶活性及成分的影响,发现恶劣储藏条件下纳米抗菌包装材料对大米起到减缓酶活性及成分的改变,延缓陈化的作用。目前,有关油莎豆储藏方面的研究鲜有报道,仅发现师茜等^[12]探究了常温贮藏下不同含水量(2%~17%)对油莎豆块茎活力和油脂品质的影响;关于储藏过程中不同温湿度对油莎豆中油脂品质的影响报道更少。

本文模拟粮储过程不同的温湿度,即低温储藏、夏季高温储藏、极其干燥的低湿度环境和梅雨季节或者雨水淋湿导致的高湿度环境,将油莎豆置于不同的储藏温度(15、35℃)和储藏湿度(11%、97%)条件下储藏40 d,测定油莎豆含油量和含水量的变化,并对其油脂的脂肪酸组成、维生素E含量和傅里叶红外光谱特征等指标进行分析,探究不同储藏条件对油莎豆及其油脂品质的影响,以期油莎豆的安全储藏提供理论和技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

油莎豆(含水量为3.94%),购自河北保定,试验前手工清选除杂。

37种脂肪酸甲酯混合标准品, α -、 β -、 γ -、 δ -生育酚和 α -、 β -、 γ -、 δ -生育三烯酚标准品(纯度 $\geq 95\%$),美国Sigma公司;三氟化硼-乙醚(98%),上海麦克林生化科技有限公司;正己烷、氯化锂、无水硫酸钠、氢氧化钠。

1.1.2 仪器与设备

Agilent GC-7890B气相色谱仪,美国安捷伦科技有限公司;RE-2000A旋转蒸发仪,上海亚荣公司生化仪器厂;HCJ-4E型磁力搅拌恒温水浴锅,常州朗越仪器制造有限公司;FW-100型高速万能粉碎机,北京市永光明医疗仪器有限公司;LD5-10低速离心机,北京京立离心机有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 油莎豆的储藏

根据邢朝宏^[13]、Li^[14]等方法,配制氯化锂和硫酸钠的饱和水溶液各65 mL,分别置入250 mL密封样品瓶中,在室温下平衡1周,分别获得湿度11%和97%的环境。将10 g油莎豆用网兜包裹后悬挂于瓶内,且距离溶液2~3 cm,密封后分别置于15℃和35℃恒温箱中储藏40 d,得到低温低湿(15℃,11%)、高温低湿(35℃,11%)、低温高湿(15℃,97%)、高温高湿(35℃,97%)4种储藏条件下的油莎豆样品。

1.2.2 油莎豆油的制备

将在不同条件下储存的油莎豆粉碎,过0.425 mm(40目)筛,取一定量油莎豆粉置于烧杯中,按照料液比1:5加入正己烷,用保鲜膜封口,中间位置挖孔伸入搅拌翅,在50℃恒温水浴锅中搅拌浸提6 h后,在5 000 r/min下离心10 min进行固液分离,上层液体用旋转蒸发仪减压脱溶,得到油莎豆油,放入4℃冰箱中保存,待测。

1.2.3 含油量和含水量的测定

含油量的测定参照GB 5009.6—2016,含水量的测定参照GB 5009.3—2016。

1.2.4 脂肪酸组成测定

甲酯化:依照GB 5009.168—2016方法并略作修改。取350 mg油莎豆油于50 mL烧瓶中,分别加入8 mL 0.5 mol/L甲醇-氢氧化钠溶液加热回流5~10 min,7 mL三氟化硼-甲醇溶液回流1 min,以及5 mL正己烷回流1 min,再加入一定量的NaCl饱和溶液,

静置分层。取上清液过 0.45 μm 滤膜,进气相色谱仪分析。

气相色谱条件:HP-88 毛细管色谱柱(100 m \times 0.25 mm \times 0.20 μm);升温程序为 140 $^{\circ}\text{C}$ 保持 5 min,以 4 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 速率升至 240 $^{\circ}\text{C}$ 保持 10 min;进样口和检测器温度分别为 250 $^{\circ}\text{C}$ 和 280 $^{\circ}\text{C}$;进样量 1 μL ;分流比 30:1;氮气流速 1 mL/min。

根据保留时间定性,采用峰面积归一化法定量。

1.2.5 维生素 E 组成和含量测定

参照文献[15]对油莎豆油中维生素 E 组成和含量进行测定。

1.2.6 红外光谱测定

参考段蕾等^[16]的方法并稍作修改。红外光谱

采集范围 500 ~ 4 000 cm^{-1} ,分辨率 4 cm^{-1} ,扫描次数 64 次,每个样品平行采集 3 次,取平均光谱作为样品光谱。

1.2.7 数据统计分析

试验结果表示为“平均值 \pm 标准差”(n=3),采用 Origin-2019b (Microcal) 软件绘图,采用 SPSS Statistics 24.0 (IBM) 软件对数据进行方差分析,显著性水平为 $p < 0.05$ 。

2 结果与讨论

2.1 储藏条件对油莎豆含油量和含水量的影响

不同储藏条件下油莎豆的含水量和含油量如表 1 所示。

表 1 不同储藏条件下油莎豆的含油量和含水量

指标	原始样品	低温低湿	高温低湿	低温高湿	高温高湿
含水量(湿基)	3.94 \pm 0.04 ^c	3.54 \pm 0.02 ^b	3.44 \pm 0.03 ^a	22.15 \pm 0.09 ^c	21.75 \pm 0.11 ^d
含油量(干基)	29.16 \pm 0.01 ^e	28.73 \pm 0.04 ^d	28.23 \pm 0.06 ^c	27.42 \pm 0.05 ^b	26.82 \pm 0.09 ^a

注:同行不同字母表示具有显著差异, $p < 0.05$ 。下同

由表 1 可看出,在低温高湿和高温高湿条件下储藏 40 d 的油莎豆含水量分别达到 22.15% 和 21.75%,并且发现储藏后期部分油莎豆出现了根须萌发的现象,但是并未发芽,也有部分油莎豆出现霉变现象。相对原始样品,不同储藏环境油莎豆干基含油量均有不同程度的减少。低温低湿(15 $^{\circ}\text{C}$ 、11%)条件储藏的油莎豆干基含油量最高,为 28.73%,为储藏前的 98.5%;高温高湿(35 $^{\circ}\text{C}$ 、97%)干基含油量最低,为 26.82%,是储藏前的 92.0%,此结果与谢灏婷等^[17]在加速陈化(温度

42 $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 85%) 籼稻脂质代谢相关酶与品质的变化研究结果一致,这可能是由于高温高湿条件下脂肪酶活性增加,脂质水解程度增加,导致含油量降低。相同湿度条件下,相较于低温(15 $^{\circ}\text{C}$),高温(35 $^{\circ}\text{C}$)储藏的油莎豆含油量的减少程度较大,华钦等^[18]在控温和真空储藏对米糠稳定性的研究中也发现了温度越高含油量降低越多的现象。

2.2 储藏条件对油莎豆油脂酸组成的影响

不同储藏条件下油莎豆油的脂肪酸组成和相对含量见表 2。

表 2 不同储藏条件下油莎豆油的脂肪酸组成和相对含量

脂肪酸	原始样品	低温低湿	高温低湿	低温高湿	高温高湿
肉豆蔻酸	0.05 \pm 0.00 ^a	0.05 \pm 0.00 ^a	0.05 \pm 0.00 ^a	0.06 \pm 0.00 ^b	0.06 \pm 0.00 ^b
棕榈酸	12.80 \pm 0.01 ^b	12.89 \pm 0.01 ^c	12.91 \pm 0.01 ^d	12.53 \pm 0.02 ^a	12.81 \pm 0.00 ^b
棕榈油酸	0.35 \pm 0.00 ^c	0.32 \pm 0.00 ^d	0.30 \pm 0.00 ^b	0.28 \pm 0.00 ^a	0.31 \pm 0.00 ^c
十七碳酸	0.06 \pm 0.00 ^b	0.06 \pm 0.00 ^b	0.06 \pm 0.00 ^b	0.06 \pm 0.00 ^b	0.05 \pm 0.00 ^a
十七碳烯酸	0.06 \pm 0.00 ^b	0.06 \pm 0.00 ^b	0.06 \pm 0.00 ^b	0.06 \pm 0.00 ^b	0.05 \pm 0.00 ^a
硬脂酸	2.52 \pm 0.00 ^a	2.61 \pm 0.01 ^b	2.70 \pm 0.00 ^d	2.65 \pm 0.00 ^c	2.77 \pm 0.00 ^c
油酸	73.97 \pm 0.03 ^c	73.81 \pm 0.04 ^b	73.57 \pm 0.03 ^a	74.83 \pm 0.08 ^d	73.83 \pm 0.05 ^b
亚油酸	9.13 \pm 0.00 ^b	9.21 \pm 0.01 ^c	9.33 \pm 0.00 ^d	8.54 \pm 0.02 ^a	9.13 \pm 0.00 ^b
亚麻酸	0.15 \pm 0.00 ^b	0.15 \pm 0.00 ^b	0.16 \pm 0.00 ^c	0.14 \pm 0.00 ^a	0.15 \pm 0.00 ^b
花生酸	0.36 \pm 0.00 ^a	0.39 \pm 0.00 ^b	0.40 \pm 0.00 ^c	0.40 \pm 0.00 ^c	0.39 \pm 0.00 ^b
二十碳烯酸	0.22 \pm 0.00 ^b	0.22 \pm 0.00 ^b	0.22 \pm 0.00 ^b	0.22 \pm 0.00 ^b	0.21 \pm 0.00 ^a
二十二碳酸	0.07 \pm 0.00 ^a	0.07 \pm 0.00 ^a	0.08 \pm 0.00 ^b	0.07 \pm 0.00 ^a	0.07 \pm 0.00 ^a
二十四碳酸	0.13 \pm 0.00 ^a	0.13 \pm 0.00 ^a	0.14 \pm 0.00 ^b	0.13 \pm 0.00 ^a	0.13 \pm 0.00 ^a
其他	0.04 \pm 0.00 ^a	0.05 \pm 0.00 ^b	0.05 \pm 0.00 ^b	0.04 \pm 0.00 ^a	0.04 \pm 0.00 ^a
饱和脂肪酸	16.02 \pm 0.00 ^b	16.21 \pm 0.00 ^c	16.35 \pm 0.02 ^c	15.91 \pm 0.07 ^a	16.31 \pm 0.00 ^d
不饱和脂肪酸	83.89 \pm 0.01 ^c	83.79 \pm 0.00 ^b	83.65 \pm 0.02 ^a	84.09 \pm 0.07 ^d	83.69 \pm 0.00 ^a
单不饱和脂肪酸	74.59 \pm 0.07 ^c	74.41 \pm 0.01 ^b	74.15 \pm 0.01 ^a	75.40 \pm 0.08 ^d	74.40 \pm 0.03 ^b
多不饱和脂肪酸	9.30 \pm 0.01 ^b	9.38 \pm 0.00 ^c	9.51 \pm 0.00 ^d	8.69 \pm 0.02 ^a	9.29 \pm 0.01 ^b

脂肪酸组成是评价油脂营养特性和品质的重要指标。由表2可看出,油莎豆油中均检测出13种脂肪酸,主要为油酸(73.57%~74.83%)、棕榈酸(12.53%~12.91%)、亚油酸(8.54%~9.33%)和硬脂酸(2.52%~2.77%),除此之外还含有少量的花生酸、棕榈油酸、亚麻酸等,单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸占比分别为74.15%~75.40%和8.69%~9.51%。此研究结果与已有报道^[7,12,19]基本一致。

统计学分析表明,不同储藏条件对油莎豆油的脂肪酸含量具有显著影响($p < 0.05$)。相同湿度条件下,与15℃下储藏相比,35℃下储藏的油莎豆油中含有更高的饱和脂肪酸(棕榈酸、硬脂酸)和多不饱和脂肪酸(亚油酸),以及较低的单不饱和脂肪酸(油酸)。此外,在相同温度条件下,与低湿度(11%)下储藏相比,高湿度(97%)下储藏的油莎豆油中棕榈酸、亚油酸和亚麻酸的相对含量下降,硬脂酸和油酸相对含量上升,最终表现为饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸的相对含量显著降低($p < 0.05$),单不饱和脂肪酸相对含量显著上升($p < 0.05$)。这表明油莎豆在储藏过程中,其油脂的脂肪酸含量受储藏环境影响而变化。宋永令等^[20]对小麦储藏过

程中脂质代谢研究发现,亚油酸受氧化和脂肪酶等作用,双键断裂,转化为油酸。较高储藏温度(35℃)下的油莎豆具有更高含量的棕榈酸和硬脂酸,可能是由于这些饱和脂肪酸具有更好的稳定性,且所在空间位置不易被水解,相似的结果同样存在于油茶籽的储藏过程中^[21]。相同温度条件下,与低湿度(11%)下储藏的油莎豆相比,高湿度(97%)下储藏的油莎豆其油脂中亚麻酸含量显著降低的现象同样存在于其他油料的储藏过程中。刘宏超等^[22]研究了不同含水量的大豆在储存期间的品质变化,发现高含水量(14%)大豆的亚麻酸含量在储藏6周后迅速下降,而低含水量(10%)大豆的亚麻酸含量在整个储存期内无明显变化,这可能是因为高含水量促进了亚麻酸的氧化、水解。

2.3 储藏条件对油莎豆油维生素E组成和含量的影响

维生素E是植物油中一种重要的生物活性物质,其具有抗氧化、抗癌、防止动脉粥样硬化、保护肝脏等作用,是衡量油脂品质的重要指标之一。天然维生素E包括 α -、 β -、 γ -、 δ -生育酚和 α -、 β -、 γ -、 δ -生育三烯酚。不同储藏条件下油莎豆油的维生素E组成和含量见表3。

表3 不同储藏条件下油莎豆油的维生素E组成和含量

	mg/kg				
生育酚	原始样品	低温低湿	高温低湿	低温高湿	高温高湿
α -生育酚	126.12 ± 0.21 ^c	124.04 ± 0.31 ^d	117.70 ± 0.22 ^a	123.44 ± 0.11 ^c	122.61 ± 0.22 ^b
β -生育酚	42.91 ± 0.02 ^e	41.61 ± 0.00 ^b	40.55 ± 0.06 ^a	44.61 ± 0.62 ^d	45.38 ± 0.35 ^e
γ -生育酚	3.04 ± 0.04 ^a	3.30 ± 0.12 ^b	3.68 ± 0.01 ^c	3.94 ± 0.08 ^d	4.39 ± 0.12 ^e
δ -生育酚	0.86 ± 0.05 ^a	1.00 ± 0.10 ^b	1.42 ± 0.06 ^d	1.32 ± 0.06 ^c	1.60 ± 0.07 ^e
α -生育三烯酚	1.91 ± 0.02 ^e	1.84 ± 0.08 ^d	1.42 ± 0.13 ^b	1.54 ± 0.16 ^c	1.06 ± 0.16 ^a
β -生育三烯酚	4.31 ± 0.09 ^e	4.13 ± 0.13 ^b	3.77 ± 0.14 ^a	4.40 ± 0.17 ^c	5.07 ± 0.26 ^d
γ -生育三烯酚	3.45 ± 0.09 ^d	3.22 ± 0.08 ^e	2.80 ± 0.23 ^b	2.22 ± 0.12 ^a	3.69 ± 0.19 ^e
总量	182.60 ± 0.26 ^d	179.14 ± 0.71 ^b	171.34 ± 0.29 ^a	181.46 ± 0.28 ^c	183.80 ± 1.71 ^e

由表3可看出,油莎豆油中共检测出7种维生素E单体,分别为 α -、 β -、 γ -、 δ -生育酚和 α -、 β -、 γ -生育三烯酚。油莎豆油中维生素E总量为171.34~183.80 mg/kg,其主要成分是 α -生育酚(117.70~126.12 mg/kg),其次是 β -生育酚(40.55~45.38 mg/kg),分别约占维生素E总量的68%和24%。连四超等^[23]采用亚临界丁烷萃取技术提取的油莎豆油中维生素E含量为201.81 mg/kg;Yeboah等^[24]发现油莎豆油中的维生素E由 α -、 β -、 γ -、 δ -生育酚和 α -生育三烯酚构成,总量为120.10 mg/kg;上述研究结果与本研究的結果略有差异,这可能源于油莎豆品种和种植环境的不同。

由表3还可以看出,在所探究的范围内,高温高

湿(35℃、97%)条件下储藏40d的油莎豆其油脂中维生素E总量最高(183.80 mg/kg),这可能与储藏初期油莎豆发生萌动有关,刘玉兰等^[25]对萌动芝麻及萌动芝麻油品质研究发现,芝麻油中维生素E含量随萌动时间的延长而增加(萌动9h和17h后,维生素E含量分别提高10%和20%)。高温低湿(35℃、11%)条件下储藏40d,油莎豆油中维生素E总量最低(171.34 mg/kg),与储藏前的原始样品相比减少了6.17%。这可能是由于高温下油莎豆油更容易发生氧化,维生素E作为内源性抗氧化剂随油脂氧化的加深而被消耗。总体而言,高湿度的储藏环境有利于油莎豆中维生素E的保留。此外,在相同湿度下,高温(35℃)下储藏的油莎豆油中

δ -生育酚和 γ -生育酚含量均增加,且 δ -生育酚增加最多,这可能是由于相比于其他的维生素 E 单体, δ -生育酚具有更强的稳定性^[26]。潘开林等^[27]对油脂进行高温和加速氧化研究发现,在所有的氧化温度(100~200℃)下, δ -生育酚的损失量均小于其他维生素 E 单体。

2.4 储藏条件对油莎豆油红外光谱的影响

红外光谱技术是通过化学基团特征振动峰的检测,对各种组分进行定性和定量分析,其能够观察到由于脂肪部分氧化而发生的老化过程特征波段强度的明显差异^[28-29]。图 1 是不同储藏条件下油莎豆油的红外光谱图。

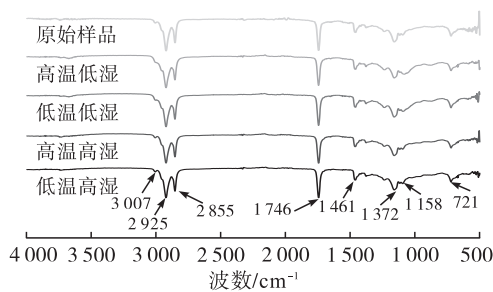


图 1 不同储藏条件下油莎豆油的红外光谱图

由图 1 可以看出,油莎豆油中共有 8 个明显的吸收峰。油莎豆油中的基团和结构主要为甲基、亚甲基、碳碳双键和酯基等,其中:在 3 007 cm^{-1} 附近强度较弱的吸收峰是甘油三酯中不饱和碳碳双键中 =C-H 的伸缩振动;2 925 cm^{-1} 和 2 855 cm^{-1} 附近的吸收峰为甘油三酯中甲基和亚甲基 C-H 的反伸缩、伸缩振动;1 746 cm^{-1} 附近出现的吸收峰是甘油三酯中 C=O 的伸缩振动;1 461 cm^{-1} 和 1 372 cm^{-1} 附近的吸收峰是甲基和亚甲基的弯曲振动;1 158 cm^{-1} 附近的吸收峰是酯基中 C-O 的伸缩振动;721 cm^{-1} 附近的吸收峰是烯炔顺式 C=C 的面外弯曲振动和亚甲基的平面摇摆叠加。结果表明,试验设定的储藏条件并没有对油莎豆中油脂的主要官能团和结构造成显著影响。

3 结论

本研究通过 40 d 的短期储藏,考察了储藏温度和湿度对油莎豆的含水量和含油量以及油莎豆脂肪酸组成、维生素 E 含量以及红外光谱特征等指标的影响。结果表明:进行 40 d 储藏后,在高湿条件下油莎豆含水量显著增加;不同储藏温度和湿度条件下油莎豆干基含油量均有不同程度的降低。油莎豆油中含有 13 种脂肪酸,主要为油酸、棕榈酸、亚油酸、硬脂酸。高温和低湿储藏环境导致油脂中饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸含量升高,单不饱和脂肪

酸含量降低。油莎豆油中维生素 E 含量为 171.34~183.80 mg/kg ,共由 7 种单体构成,主要单体为 α -生育酚和 β -生育酚。在试验范围内,高温高湿样品中维生素 E 含量最高(183.80 mg/kg),高温低湿样品中维生素 E 含量最低(171.34 mg/kg)。红外光谱分析表明,40 d 的短期储藏没有对油莎豆中油脂的主要官能团和结构造成影响。

参考文献:

- [1] ROSELLÓ - SOTO E, POOJARY M M, BARBA F J, et al. Tiger nut and its by - products valorization: from extraction of oil and valuable compounds to development of new healthy products[J]. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 2018, 45: 306 - 312.
- [2] 王瑞元, 王晓松, 相海. 一种多用途的新兴油料作物: 油莎豆[J]. *中国油脂*, 2019, 44(1): 1 - 4.
- [3] 秦媛媛, 段义忠, 柴乖强, 等. 毛乌素沙地不同品种油莎豆抗旱性评价研究[J]. *温带林业研究*, 2021, 4(4): 37 - 42.
- [4] 曹稀琦, 任永峰, 路战远, 等. 油莎豆的特性及其开发利用研究进展[J]. *北方农业学报*, 2022, 50(1): 66 - 74.
- [5] 王志成, 李双寿, 梁雄, 等. 中国油莎豆产业发展现状与前景展望[J]. *科技和产业*, 2022, 22(1): 62 - 67.
- [6] 郭婷婷, 万楚筠, 黄凤洪, 等. 油莎豆主要营养成分及生理功能研究进展[J]. *中国油料作物学报*, 2021, 43(6): 1174 - 1180.
- [7] 刘玉兰, 田瑜, 王璐阳, 等. 不同制油工艺对油莎豆油品质影响的研究[J]. *中国油脂*, 2016, 41(7): 1 - 5.
- [8] ONYINYE E, MICHAEL H G, KESHAVAN N, et al. Tiger nut oil (*Cyperus esculentus* L.): a review of its composition and physico - chemical properties[J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2014, 116(7): 783 - 794.
- [9] CODINA - TORRELLA I, GUAMIS B, TRUJILLO A J. Characterization and comparison of tiger nuts (*Cyperus esculentus* L.) from different geographical origin: physico - chemical characteristics and protein fractionation[J]. *Ind Crop Prod*, 2015, 65: 406 - 414.
- [10] 黄永忠. 高温高湿地区稻谷储藏品质变化[J]. *农业工程*, 2014, 4(6): 71 - 73, 77.
- [11] 李莉, 谢骏琦, 时优, 等. 高温高湿条件下纳米包装材料对大米酶活性及成分的影响[J]. *食品科学*, 2016, 37(24): 278 - 284.
- [12] 师茜, 高芳, 田丽萍, 等. 不同含水量贮藏对油莎豆块茎中油脂及其品质的影响[J]. *食品科技*, 2015, 40(10): 330 - 334.
- [13] 邢朝宏, 李进伟, 金青哲, 等. 油茶籽储藏稳定性研究[J]. *农业机械*, 2011(29): 48 - 51.
- [14] LI X, CAO Z, WEI Z, et al. Equilibrium moisture content and sorption isosteric heats of five wheat varieties in China[J]. *J Stored Prod Res*, 2011, 47(1): 39 - 47.

- [15] 王楠楠. 美拉德反应对芝麻油氧化稳定性的影响[D]. 郑州:河南工业大学, 2019.
- [16] 段蕾, 韩墨, 智娜, 等. 改良索氏提取法提取油莎豆油及红外光谱研究[J]. 吉林农业, 2019(16): 61.
- [17] 谢灏婷, 李子瑾, 胡吟, 等. 加速陈化中籼稻脂质代谢相关酶与品质的变化[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(2): 49-54, 92.
- [18] 华钦, 黄海军, 曹峰, 等. 控温和真空储藏对米糠稳定性的研究[J]. 粮食与食品工业, 2020, 27(5): 29-32, 35.
- [19] 宋二立, 刘玉兰, 朱文学, 等. 原料品质和制油方法对油莎豆油综合品质的影响[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(3): 99-103, 126.
- [20] 宋永令, 王若兰, 穆垚. 小麦储藏过程中脂质代谢研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2014, 35(6): 19-24.
- [21] 邢朝宏. 油茶籽干燥、储藏及压榨制油工艺研究[D]. 江苏 无锡:江南大学, 2012.
- [22] 刘宏超, 李俊, 王步军. 不同水分含量巴西大豆储存期间的品质变化[J]. 中国油脂, 2021, 46(1): 38-41.
- [23] 连四超, 刘玉兰, 陈璐, 等. 油莎豆油亚临界丁烷萃取条件优化及产品质量研究[J]. 中国油脂, 2022, 47(4): 9-14.
- [24] YEBOAH S O, MITEI Y C, NGILA J C, et al. Compositional and structural studies of the oils from two edible seeds: tiger nut, *Cyperus esculentum*, and asiato, *Pachira insignis*, from Ghana[J]. Food Res Int, 2012, 47(2): 259-266.
- [25] 刘玉兰, 王丹, 刘瑞花, 等. 萌动芝麻及萌动芝麻油的品质研究[J]. 粮食与油脂, 2015, 28(3): 51-54.
- [26] PLAYER M E, KIM H J, LEE H O, et al. Stability of α -, γ -, or δ -tocopherol during soybean oil oxidation[J]. J Food Sci, 2006, 71(8): C456-C460.
- [27] 潘开林, 杨峻豪. 生育酚与生育三烯酚在油脂中稳定性研究[J]. 中国食品添加剂, 2018(1): 159-164.
- [28] SINELLI N, COSIO M S, GIGLIOTTI C, et al. Preliminary study on application of mid infrared spectroscopy for the evaluation of the virgin olive oil "freshness" [J]. Anal Chim Acta, 2007, 598(1): 128-134.
- [29] ONISZCZUK T, MATWIJCZUK A, MATWIJCZUK A, et al. Impact of storage temperature and time on Moldavian dragonhead oil - spectroscopic and chemometric analysis [J]. Open Chem, 2019, 17(1): 609-620.

(上接第14页)

- [14] 鞠阳. 微波处理对油料结构及油脂品质和风味的影响[D]. 郑州:河南工业大学, 2015.
- [15] 唐瑞丽. 大豆油储藏稳定性与预测研究[D]. 南京:南京财经大学, 2016.
- [16] HUANG L, LI J, BI Y, et al. Simultaneous determination of α -tocopherol, β -tocopherol, γ -tocopherol, δ -tocopherol, sesamin, sesamol, and asarinin in sesame oil by normal-phase high performance liquid chromatography[J/OL]. J Food Compos Anal, 2021, 104: 104132 [2022-06-24]. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104132>.
- [17] 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.
- [18] 邵斌, 彭增起, 杨洪生, 等. 固相萃取-高效液相色谱法同时测定传统禽肉制品中的9种杂环胺类化合物[J]. 色谱, 2011, 29(8): 755-761.
- [19] 王楠楠, 汪学德, 刘宏伟, 等. 焙炒对压榨芝麻油品质及抗氧化活性的影响研究[J]. 中国油脂, 2019, 44(9): 7-11.
- [20] 马雪婷. 芝麻油香气活性的分子组成与影响因素及储藏稳定性研究[D]. 郑州:河南工业大学, 2021.
- [21] MEI Y, HUANG F, LIU C, et al. Influence of microwave treatment of rapeseed on minor components content and oxidative stability of oil [J]. Food Bioprocess Tech, 2013, 6(11): 3206-3216.
- [22] 王楠楠. 美拉德反应对芝麻油氧化稳定性的影响[D]. 郑州:河南工业大学, 2019.
- [23] ZHANG C X, XI J, ZHAO T P, et al. β -Carbolines norharman and harman in vegetable oils in China [J]. Food Addit Contam B, 2020, 13(3): 193-199.
- [24] 詹春怡, 李圣鑫, 步梓瑞, 等. 肉制品加工中杂环胺形成与抑制研究进展[J]. 农产品加工, 2019(4): 68-74.
- [25] BORGÉN E, SOLYAKOV A, SKOG K. Effects of precursor composition and water on the formation of heterocyclic amines in meat model systems [J]. Food Chem, 2001, 74: 11-19.
- [26] 田荣荣, 李子璇, 杨丹, 等. 食用油中多环芳烃类化合物的分析研究[J]. 粮食与食品工业, 2020, 27(5): 8-13.
- [27] 从珊, 张国治, 黄纪念, 等. 微波焙炒对水代芝麻油品质的影响[J]. 中国油脂, 2013, 38(8): 7-10.
- [28] 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.
- [29] 从珊, 黄纪念, 张丽霞, 等. 微波焙烤温度对芝麻油特征风味物质的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(22): 265-268.