

# 毛椰子果不同温湿度贮藏条件下的品质变化

王媛媛<sup>1,2</sup>, 杨家敏<sup>3</sup>, 沈晓君<sup>1</sup>, 阚金涛<sup>1,2</sup>, 张玉锋<sup>1,2</sup>, 宋菲<sup>1,2\*</sup>, 龚胜华<sup>4</sup>

(1. 中国热带农业科学院椰子研究所, 海南文昌 571339) (2. 海南省椰子深加工工程技术研究中心, 椰子产业技术创新战略联盟, 海南文昌 571339) (3. 云南农业大学热带作物学院, 云南普洱 665099) (4. 海南航旅饮品股份有限公司, 海南海口 570100)

**摘要:** 该研究采用三种不同温湿度贮藏条件对毛椰子果的品质变化进行分析。结果表明在 25 °C /70% 贮藏条件下毛椰子果贮藏 8 w 后椰肉品质仍可接受, 部分变质 (坏果率 24.07%), 但部分出现无椰子水、椰肉干瘪现象; 在 35 °C /80% 条件下贮藏 5 w 后变质果已较多 (坏果率 59.26%); 在 45 °C /90% 条件下贮藏 4 w 后全部变质 (坏果率 100%)。变质后椰肉内表面出现变色、变软等现象。随着贮藏温湿度和贮藏时间的增加, 毛椰子果的失重率明显增加, 最高达到 35.98%; 椰肉油脂酸价也不断升高 (由 0.09 mg/g 升至 0.30 mg/g), 变质果达到 0.44 mg/g; 总脂肪酸、饱和与不饱和脂肪酸都降低, 总脂肪酸含量由 733.66 mg/g 最低降至 25 °C /70% 贮藏 8 w 后的 496.14 mg/g, 变质果降低的更严重 (200.08 mg/g)。随着贮藏时间的增加, 椰子水可溶性固形物含量增加 (由 3.70 °Brix 增至 7.00 °Brix)。变质后 pH 值降低 (低至 4.22)、浑浊度增加 (高达 0.74)。综上所述, 不同温湿度贮藏条件使毛椰子果品质发生了较大变化, 该研究为毛椰子果贮藏过程中品质控制及变质果的筛选提供了一定的理论基础。

**关键词:** 毛椰子果; 高温高湿; 贮藏品质; 脂质氧化

文章编号: 1673-9078(2024)09-198-208

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.9.0922

## Quality Changes of De-husked Coconut under Different Temperature and Humidity Storage Conditions

WANG Yuanyuan<sup>1,2</sup>, YANG Jiamin<sup>3</sup>, SHEN Xiaojun<sup>1</sup>, KAN Jintao<sup>1,2</sup>,  
ZHANG Yufeng<sup>1,2</sup>, SONG Fei<sup>1,2\*</sup>, GONG Shenghua<sup>4</sup>

(1.Coconut Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Wenchang 571339, China) (2.Hainan Engineering Center of Coconut Further Processing, Strategic Alliance of Technology Innovation in Coconut Industry, Wenchang 571339, China) (3.College of Tropical Crops, Yunnan Agricultural University, Pu'er 665099, China) (4.Hainan Airtravel Beverage Manufacturer Co. Ltd., Haikou 570100, China)

**Abstract:** The quality changes of de-husked coconuts were analyzed under three different temperature and humidity storage conditions. The results showed that coconut meat quality remained acceptable after eight weeks of storage at 25 °C /70% humidity, with some coconut spoiling (spoilage rate was 24.07%), and some losing all of their coconut water or showing shriveled

引文格式:

王媛媛,杨家敏,沈晓君,等.毛椰子果不同温湿度贮藏条件下的品质变化[J].现代食品科技,2024,40(9):198-208.

WANG Yuanyuan, YANG Jiamin, SHEN Xiaojun, et al. Quality changes of de-husked coconut under different temperature and humidity storage conditions [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(9): 198-208.

收稿日期: 2023-08-10

基金项目: 海南省自然科学基金面上项目 (321MS0807); 海南省重点研发计划项目 (ZDYF2021XDNY150); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (1630152022002)

作者简介: 王媛媛 (1982-), 女, 硕士研究生, 助理研究员, 研究方向: 农产品加工与贮藏保鲜, E-mail: wangyy827@163.com

通讯作者: 宋菲 (1986-), 女, 硕士研究生, 副研究员, 研究方向: 产品加工, E-mail: songfeijj@163.com

coconut meat. After five weeks of storage at 35 °C /80% humidity, additional coconuts were spoiled (59.26% spoilage rate). After storing at 45 °C /90% humidity for four weeks, all fruit spoiled (100% spoilage rate). Conditions such as discoloration and softening appeared on the inner surface of the meat of spoiled coconut. With the increase in storage temperature, humidity, and time, the weight loss rate of de-husked coconuts increased significantly, reaching a maximum of 35.98%. The acid value of coconut oil also increased (from 0.09 mg/g to 0.30 mg/g), reaching up to 0.44 in spoiled coconuts. The total fatty acid, saturated fatty acid, and unsaturated fatty acid all decreased, with the total fatty acid decreasing from 733.66 mg/g to 496.14 mg/g, which was the value after storing at 25 °C /70% for eight weeks. This decrease was worse in spoiled coconuts (200.08 mg/g). The soluble solids content of coconut water increased with increasing storage time (from 3.70 °Brix to 7.00 °Brix). The pH value of coconut water decreased, and turbidity increased in spoiled coconuts. In summary, different temperature and humidity storage conditions resulted in substantial variations in the quality of de-husked coconuts. This study provided a theoretical basis for quality control and screening of spoiled coconut in storage.

**Key words:** de-husked coconut; high temperature and humidity; storage quality; lipid oxidation

椰子加工产品因其植物基、有机健康、风味独特等特点在国内市场上备受关注<sup>[1]</sup>。生椰乳、厚椰乳等更是成为了近几年备受欢迎的椰子产品。它们以及椰子汁、椰子油、椰子糖、椰子粉等椰子加工产品主要的加工原料是椰肉。我国加工用的椰肉原料主要依赖进口的毛椰子果（成熟老椰子果剥去外部椰衣纤维）经过破壳、削种皮、清洗后获得。进口方式主要是通过集装箱从印度尼西亚、越南等东南亚椰子主产国运输到海南。运输过程中由于采后呼吸作用产热以及外部日照等因素易造成封闭的集装箱内温度和湿度较高。

毛椰子果的椰肉脂肪含量高（30%以上）。高脂肪含量在提供良好口感及风味的同时也会加速脂质氧化进程，过度氧化会造成产品品质劣变<sup>[2]</sup>。脂质氧化是高脂肪类食品品质劣变的主要原因之一<sup>[3]</sup>。不饱和脂肪酸中含有较多双键，因高温、光照、酶等因素影响极易氧化为氢过氧化物，然而氢过氧化产物作为初级氧化产物极不稳定，可裂解产生许多醛、酸、酮、醇等物质导致风味、质地、颜色和营养的恶化<sup>[4]</sup>。饱和脂肪酸的 $\alpha$ -、 $\beta$ -碳位之间也会发生 $\beta$ -氧化，产生某些酮酸和甲基酮等令人不愉快的气味<sup>[5]</sup>。而温度是影响脂质氧化的重要外部因素之一<sup>[6]</sup>。毛椰子果在较高温湿度集装箱的运输过程中内部椰肉很可能会发生脂质酸败而对其品质产生较大的影响。

另外，毛椰子果中除了椰肉，内部椰子水作为副产物也逐渐受到欢迎，成为急需的原料。正常果和变质果的椰子水感官品质差异较大，而两种果从外观较难分辨，基本通过砍开后感官辨别，没有可评价的指标。而椰子果一旦砍开，里面的椰子水将

会流出，必须及时收集。万一变质果的椰子水不甚被收集到正常果的椰子水中，将对正常椰子水品质产生较大影响。如果能够提前判别，则可保障椰子水的品质。

目前，关于毛椰子果贮藏品质的报道较少。因此，本文采用不同温湿度贮藏条件研究毛椰子果的品质变化，并探究正常果与变质果的品质指标差异，为毛椰子果品质保持与调控技术的研究以及变质果的筛选提供一定的理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

本研究选用与进口毛椰子果同样可用于加工、未经贮运的海南本地高种成熟老椰子果为研究对象，剥去外部椰衣，修整成与国外进口的毛椰子果相同的形态，分别贮藏于25 °C /70%（正常温湿度）和35 °C /80%、45 °C /90%两种高温高湿条件下，每2、1、1 w取样一次。将贮藏后的毛椰子果破壳后取椰肉和椰子水，椰肉削去种皮，用粉碎机粉碎；椰子水用100目过滤网过滤。处理后的椰肉和椰子水样品存放于-80 °C冰箱中待检。

甲醇（色谱纯），西格玛奥德里奇（上海）贸易有限公司；石油醚（色谱纯），上海阿拉丁生化科技股份有限公司；37种脂肪酸甲酯混标，BePure北京曼哈格生物科技有限公司。

### 1.2 仪器与设备

MGC-450HP人工气候箱，上海一恒科学仪器有限公司；Agilent 8890 GC气相色谱仪，美国

Agilent 公司; THD-200D 台式恒温振荡器, 北京亚泰科隆仪器技术有限公司; RE-52 旋转蒸发器, 上海亚荣生化仪器厂; CM-700d 分光测色计, 柯尼卡美能达(中国)有限公司; PHS-3C 型 pH 计, 上海仪表科学仪器股份有限公司; LH-T55 折光仪, 杭州陆恒生物科技有限公司; UV-1600 型紫外可见分光光度计, 翱艺仪器(上海)有限公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 毛椰子果不同温湿度贮藏条件下贮藏早、晚期椰肉状态

对毛椰子果 25 °C /70%、35 °C /80% 和 45 °C /90% 三种不同贮藏条件下早、晚期的椰肉状态进行拍照观察。

#### 1.3.2 毛椰子果不同温湿度贮藏条件下的坏果率

当毛椰子果出现椰肉异味、内表面变色、发软、发粘; 椰子水浑浊变味等难以接受的现象时视为变质果。按照公式(1)计算:

$$B = \frac{N_1}{N_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

$B$ —坏果率(BF), %;

$N_1$ —取样时变质果的数量, 个;

$N_0$ —总的毛椰子果取样量, 个。

#### 1.3.3 毛椰子果不同温湿度贮藏条件下的失重率

随机选取 10 个椰子果作为固定观测对象, 用电子天平对贮藏过程中的毛椰子果称重。按照公式(2)计算:

$$L = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

$L$ —失重率(WL), %;

$M_1$ —贮藏后毛椰子果的质量, g;

$M_0$ —贮藏前毛椰子果的质量, g。

#### 1.3.4 毛椰子果不同温湿度贮藏条件下椰肉色泽与脂质氧化特性

##### 1.3.4.1 色泽

将不同温湿度贮藏条件下的毛椰子果的椰肉取出, 削去种皮后进行粉碎, 用测色计进行色泽的测定。 $L^*$  值是颜色的亮度值(从 0 到 100), 值越大亮度越高。 $a^*$ 、 $b^*$  值是颜色的色度值, 其中  $a^*$  值由绿(负值)到红(正值)渐变,  $b^*$  值由蓝(负值)

到黄(正值)渐变。

##### 1.3.4.2 椰肉油脂的提取

将粉碎后的椰肉与石油醚(沸程 30~60 °C) 按照料液比 1:1.5 (g:mL) 混合后放入摇床提取 1 h, 反复提取 3 次, 过滤后将滤液倒入旋转蒸发瓶中, 在 30 °C 水浴条件下利用旋转蒸发仪进行减压脱溶, 直至无石油醚被蒸出, 然后转入 30 °C 真空干燥箱中继续脱除石油醚 2 h 后得到椰肉油脂样品。

##### 1.3.4.3 酸价(AV)

参照 GB 5009.229-2016《食品安全国家标准食品中酸价的测定》<sup>[7]</sup> 中冷溶剂指示剂滴定法进行上述椰肉油脂样品酸价测定和计算。

##### 1.3.4.4 过氧化值(POV)

参照 GB 5009.227-2016《食品安全国家标准食品中过氧化值的测定》<sup>[8]</sup> 中滴定法进行上述椰肉油脂样品过氧化值测定并计算。

##### 1.3.4.5 2-硫代巴比妥酸值(TBA)

参照 GB/T35252-2017《动植物油脂 2-硫代巴比妥酸值的测定》<sup>[9]</sup> 方法进行上述椰肉油脂样品 2-硫代巴比妥酸值测定并计算。

##### 1.3.4.6 脂肪酸组成

将不同温湿度贮藏条件下贮藏的早、晚期毛椰子果椰肉油脂样品利用气相色谱仪进行脂肪酸组成测定, 称量椰肉油脂样品 0.1 g 于具塞玻璃试管中, 依次加入 2 mL 石油醚(色谱纯)与 1 mL 0.4 mol/L 氢氧化钠-甲醇溶液, 超声振荡 30 min, 用 0.22 μm 滤膜过滤后收集上层滤液于色谱仪专用的样品瓶中进行气相色谱分析。

气相色谱条件: 色谱柱: DB-23 (30 m×0.32 mm×0.25 μm); 进样口温度为 250 °C; 采用分流模式进样, 分流比为 40:1; 进样量为 1 μL; 检测器温度 280 °C, 氢气流量 30 mL/min, 空气流量 400 mL/min, 尾吹流量 25 mL/min。载气流速: N<sub>2</sub> 流量 0.2 mL/min。升温程序: 初温 80 °C, 保持 1 min, 以 30 °C/min 升至 190 °C, 保持 5 min, 以 20 °C/min 升至 207 °C, 保持 65 min。利用 37 种脂肪酸甲酯混标标准图谱和峰面积进行定性和定量分析。

#### 1.3.5 毛椰子果不同温湿度贮藏条件下椰子水品质变化

利用 pH 计进行 pH 值测定; 利用折光仪进行可溶性固形物测定; 利用 3,5-二硝基水杨酸(DNS) 吸光光度法于 540 nm 处进行还原糖含量测定, 用葡萄糖绘制标准曲线 ( $y=20.82x-0.0413$ ,  $R^2=0.9945$ ),

计算其含量；利用分光光度计在 600 nm 处进行浑浊度测定。

### 1.3.6 数据处理

实验结果表示为平均值 ± 标准差 ( $n \geq 3$ )；采用 Excel 2010 软件对实验数据进行整理；采用 SPSS Statistics 25.0 统计分析软件对实验数据进行差异显著性分析，差异显著性水平为  $P < 0.05$ 。应用 Origin 2019b 软件进行作图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 毛椰子果不同温湿度贮藏条件下的贮藏特性

毛椰子果贮藏晚期内部椰肉状态见图 1。在 25 °C /70% 贮藏条件下的毛椰子果可以较长时间贮藏，至 6 w 时只有少量变质，坏果率为 9.26%（见图 2a）。贮藏至 8 w 时大部分椰子果内部椰肉状态仍尚可，部分变质（坏果率为 24.07%），但是部分毛椰子果由于长时间贮藏因失水严重而导致内部已无椰子水，内表皮萎缩，出现干瘪现象。在 35 °C /80% 贮藏条件下的毛椰子果 4 w 出现变质（坏果率为 18.52%），5 w 变质果已较多（坏果率为 59.26%）；在 45 °C /90% 贮藏条件下的毛椰子果 3 w 出现变质（坏果率为 35.19%），4 w 已经全部变质（坏果率为 100%）。随着贮藏时间的延长，椰肉内表面部分出现变色、组织软化等现象，部分已经长出了椰子吸器（见图 1b 中绿色方框内）。与种皮接触的椰肉外表面部分出现黄绿色等现象（见图 1e 中红色方框内）。由于椰子果发芽部位可与外界接触，容易受外界环境的影响，一般最先开始腐烂、变质，随后逐渐蔓延至椰子果的整个内部。

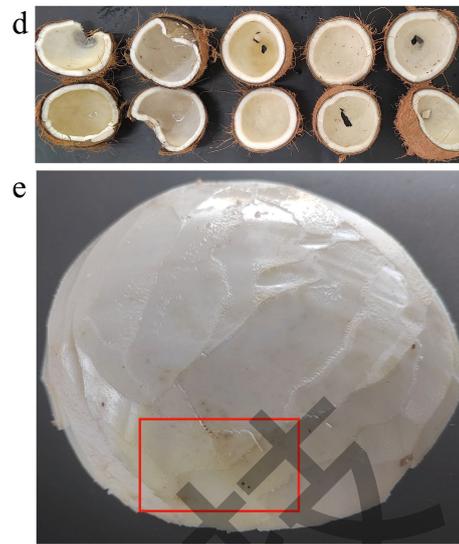
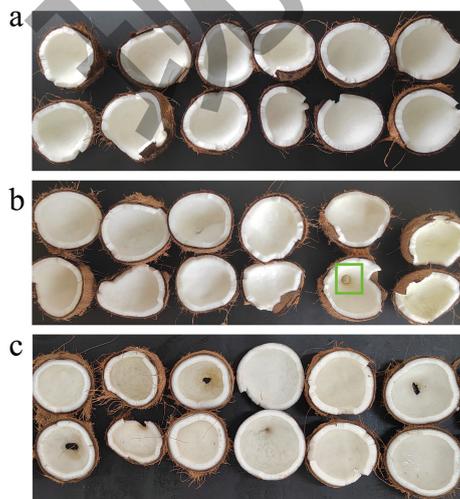


图 1 不同温湿度贮藏条件下贮藏早、晚期的毛椰子果  
Fig.1 Dehusked coconut fruits at the beginning and end of storage period under different temperature and humidity conditions

注：(a) 为贮藏前毛椰子果，(b) 为 25 °C /70% 条件下贮藏晚期（8 w）毛椰子果，(c) 为 35 °C /80% 条件下贮藏晚期（4 w）毛椰子果，(d) 为 45 °C /90% 条件下贮藏晚期（4 w）毛椰子果，(e) 为毛椰子果削去种皮后放大的呈黄绿色的椰肉外表面。

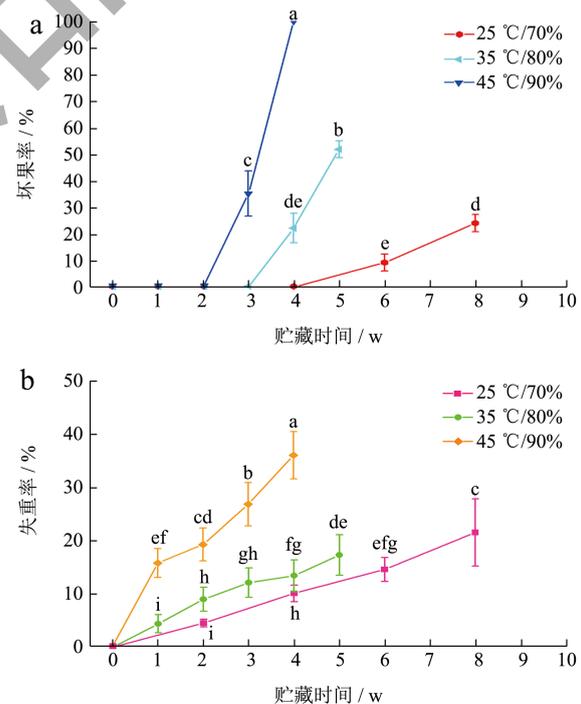


图 2 毛椰子果不同温湿度贮藏条件下的坏果率 (a) 和失重率 (b)

Fig.2 Bad fruit rates (a) and weight loss rates (b) of dehusked coconut fruits under different temperature and humidity storage conditions

注：不同小写字母表示具有显著性差异 ( $P < 0.05$ )。下同。

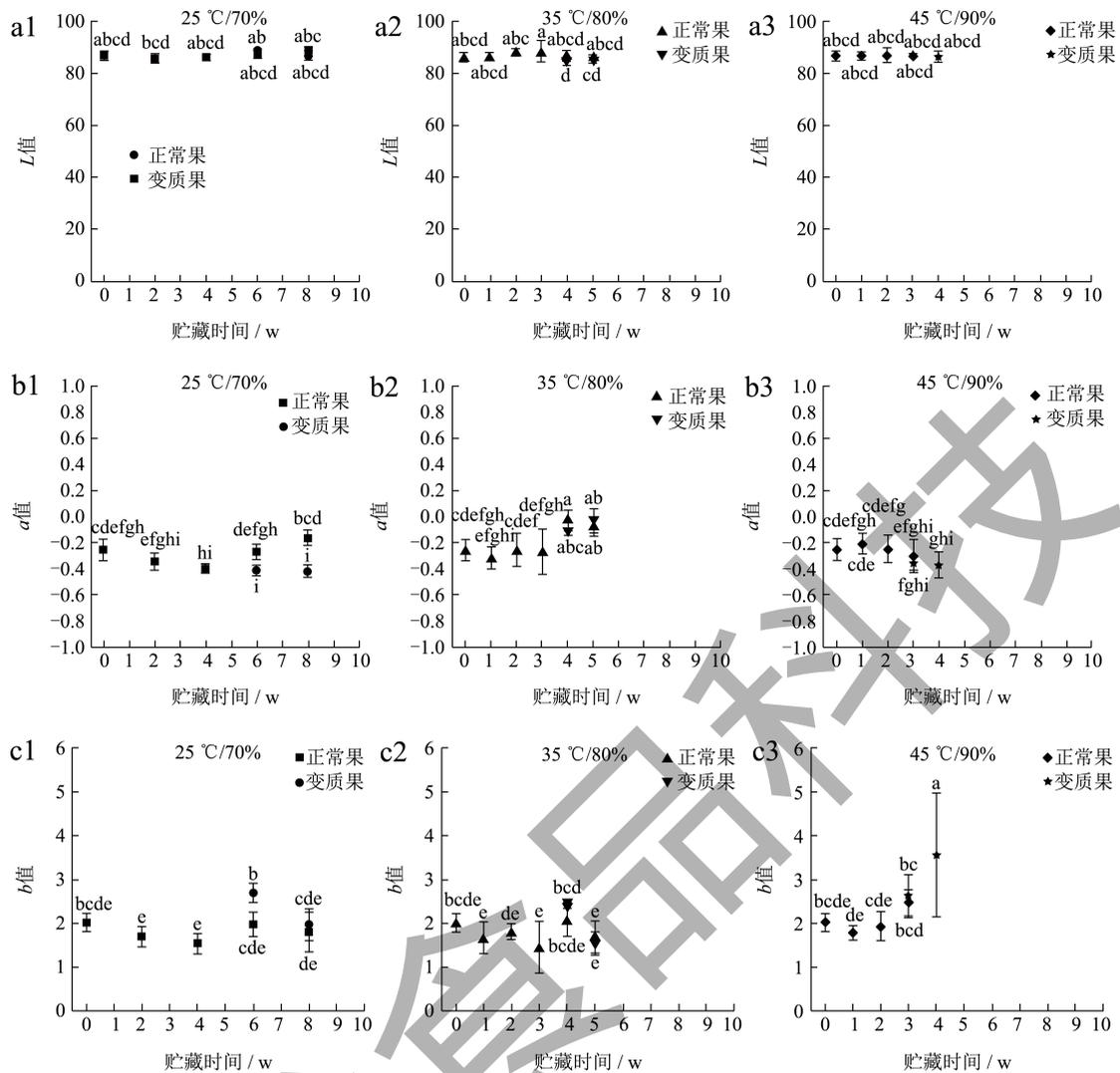


图3 毛椰子果不同温湿度贮藏条件下椰肉的颜色变化

Fig.3 Changes of color of coconut meat in dehusked coconut fruits under different temperature and humidity storage conditions

### 2.2 毛椰子果不同温湿度贮藏条件下的失重率

由于蒸腾及呼吸作用，不同温湿度贮藏条件下的毛椰子果消耗大量的水分及物质，发生失重。如图2所示，随着贮藏温湿度和贮藏时间的增加毛椰子果的失重率增加。在25 °C /70%贮藏条件下毛椰子果的失重率最低（从2 w的4.52%增加到8 w的21.55%）且增加的较为平稳，基本上成一条斜率为5.558 4的直线（ $R^2=0.992 9$ ）。在35 °C /80%贮藏条件下毛椰子果的失重率比25 °C /70%稍大，从1 w的4.39%增加到5 w的17.29%。在45 °C /90%贮藏条件下的毛椰子果失重率的增幅最大，失重最严重，从1 w的15.72%增加到4 w的35.98%，尤其是贮藏的第1 w增幅最明显。贮藏过程中毛椰子果的椰肉水分降低将减少毛椰子果获取椰肉的重量，

降低椰肉榨浆的出汁率，减少椰浆产量。

### 2.3 毛椰子果不同温湿度贮藏条件下椰肉色泽变化

毛椰子果贮藏过程中椰肉色泽变化如图3所示。毛椰子果椰肉整个贮藏过程 $L^*$ 值变化不明显，在84.28~88.77之间。从剖开后的毛椰子果内表面肉眼观察，随着贮藏时间的增加椰肉色泽稍微变暗，但是色泽测定结果影响不显著（ $P>0.05$ ），说明椰肉色泽的变化主要集中在椰肉内表面，当椰肉被取出粉碎进行色泽测定时，整体的亮度变化不明显。不同贮藏条件下的 $a^*$ 值在-0.42~0.02之间，变化规律不明显，只有在45 °C /90%贮藏条件下的1 w后有慢慢降低的趋势。在25 °C /70%、35 °C /80%两种贮藏条件下以及45 °C /90%贮藏的前2 w毛椰子果椰肉的 $b^*$ 值总体差异不明显（ $P>0.05$ ），在1.45~2.07之间。

而在 45 °C /90% 贮藏的中后期  $b^*$  值逐渐升高, 3 w 升高到 2.46, 4 w 变质后显著升高到 3.55 ( $P < 0.05$ )。主要是因为毛椰子果在持续的高温条件下贮藏, 椰肉和椰子水中糖类物质发生了褐变反应, 色泽变黄,  $b^*$  值增加。变质果的  $L^*$  和  $a^*$  值与正产果的差异不明显, 只有  $b^*$  值整体比正常果略高。

#### 2.4 毛椰子果不同温湿度贮藏条件下椰肉油脂酸价、过氧化值和TBA值变化

酸价是评价油脂优劣的一个重要指标<sup>[10]</sup>。如图 4a 所示, 毛椰子果贮藏过程中椰肉油脂酸价不断升高, 贮藏温湿度越高酸价增幅越大。在 25 °C /70%、35 °C /80% 和 45 °C /90% 三种贮藏条件下酸价分别从开始的 0.09 mg/g 增加到贮藏晚期的 0.16 (8 w)、

0.30 (5 w) 和 0.28 mg/g (3 w)。变质果的酸价均比正常果高, 分别达到 0.17、0.30 和 0.44 mg/g。较高的温度促进油脂中甘油三酯分解为游离脂肪酸, 并进一步分解为醛、酮及其他的有机酸等物质。在不同贮藏温度和时间的花生油、大豆油、山核桃仁、菜籽油、油莎豆油等高油脂食品中也都有相似的报告<sup>[6,10-12]</sup>。在 NY/T 230-2006 《椰子油》<sup>[13]</sup>标准中对精炼椰子油的酸价要求是不大于 0.30 mg/g, 而在本研究中除了 25 °C /70% 贮藏条件下变质果的酸价稍低 (0.17 mg/g), 其余变质果的酸价基本也在 0.30 mg/g 左右或略高。在山核桃仁 60 °C /50 d 的贮藏过程中, 山核桃仁油随着贮藏时间的增加酸价也逐渐升高, 从 0.575 mg/g 升高到 4.25 mg/g, 尤其是贮藏的后期增加的更为明显<sup>[12]</sup>。

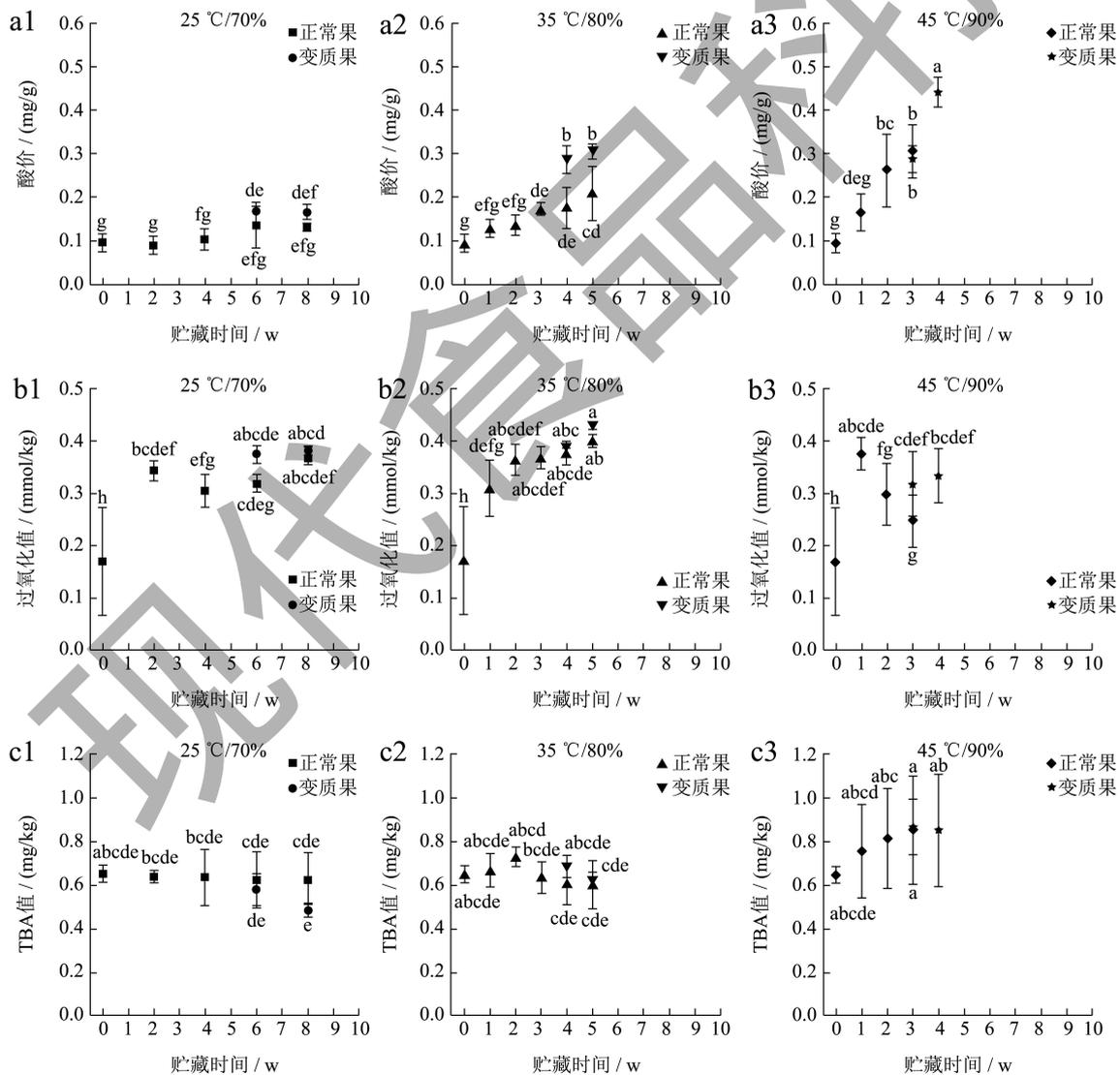


图 4 毛椰子果不同温湿度贮藏条件下椰肉油脂的酸价 (a)、过氧化值 (b) 和 TBA 值 (c) 变化

Fig.4 Changes of AV (a), POV (b) and TBA value (c) of oil from coconut meat in dehusked coconut fruits under different temperature and humidity storage conditions

过氧化值是反映脂肪氧化程度的指标之一<sup>[14]</sup>。随着游离脂肪酸的生成,其中一些不饱和脂肪酸发生氧化,生成氢过氧化物,从而表现为过氧化值的升高。从图4b可见,毛椰子果贮藏后椰肉油脂过氧化值都有了显著增加( $P < 0.05$ ),从开始的0.17 mmol/kg最高显著增加到25 °C /70%、35 °C /80%和45 °C /90%三种贮藏条件下的0.37、0.40和0.37 mmol/kg。毛椰子果在25 °C /70%和35 °C /80%两种贮藏条件下椰肉油脂的过氧化值在前2 w增幅较大,分别增加到0.34 mmol/kg和0.36 mmol/kg,而后逐渐趋于平稳,变化不明显( $P > 0.05$ )。而在45 °C /90%贮藏条件下椰肉油脂过氧化值贮藏1 w后便增加到最大值(0.37 mmol/kg),而后又降低到0.25 mmol/kg。过氧化物是脂类物质氧化后的第一个中间产物,性质极其不稳定,可分解为酸、醛和酮等小分子物质而使其降低。在不同温度处理的风干牛肉贮藏过程中,60 °C贮藏的样品也在贮藏后期(30~60 d)出现了过氧化值降低的现象<sup>[15]</sup>。贮藏温度相对较高可能更有利于被重新分解成小分子物质,而降低过氧化值。变质果整体比同期贮藏的正常果过氧化值高,最高达到0.43 mmol/kg,与NY/T230-2006《椰子油》<sup>[13]</sup>标准中对精炼椰子油的过氧化值要求很接近(0.50 mmol/kg)。变质果的过氧化值随着贮藏时间的增加略有增加。

TBA值主要用来评价脂质二次氧化程度,反映了脂质氧化形成的以丙二醛为代表的化合物多少。由图4c可见,毛椰子果在25 °C /70%和35 °C /80%两种贮藏条件下椰肉油脂TBA值变化趋势不明显,总体差异不显著( $P > 0.05$ ),而在45 °C /90%贮藏条件下椰肉油脂TBA值随着贮藏时间的增加呈现增加的趋势,由最初的0.65 mg/kg增加到0.86 mg/kg。在周泉城<sup>[16]</sup>关于微波加热对大豆冷榨油、菜色拉油TBA值影响的研究中,TBA的值在0.52~4.61 mg/kg之间,且随着加热时间的增加而增加。核桃油在60 °C的5 d贮藏过程中,随着时间的增加TBA也不断增加,从最初的约0.30 mg/kg增加到超过2.50 mg/kg<sup>[17]</sup>。正常果与变质果的TBA整体差异不明显。随着贮藏温度的增加变质果的TBA增加,而随着贮藏时间的增加稍微降低。整体上变质果的TBA值在0.48~0.87 mg/kg之间。

## 2.5 毛椰子果不同温湿度贮藏条件下椰肉油脂脂肪酸变化

毛椰子果不同温湿度贮藏条件下椰肉油脂脂肪酸含量如表1所示。不同温湿度贮藏条件下毛椰子果中椰肉油脂的脂肪酸与其他学者报道的椰子油中主要的9种脂肪酸相同<sup>[18,19]</sup>,包括己酸(C6:0)、辛酸(C8:0)、癸酸(C10:0)、月桂酸(C12:0)、肉豆蔻酸(C14:0)、棕榈酸(C16:0)、硬脂酸(C18:0)、油酸(C18:1)和亚油酸(C18:2)。因此,不同的温湿度贮藏条件对椰肉油脂脂肪酸种类影响不大。椰肉油脂总脂肪酸含量最初为733.66 mg/g。比羊肌肉脂肪中的脂肪酸(988.30 mg/g)和大豆油中脂肪酸(989.00 mg/g)稍低<sup>[20,21]</sup>。贮藏后椰肉油脂总脂肪酸含量降低,25 °C /70%、35 °C /80%和45 °C /90%三种贮藏条件下分别降低到496.14 mg/g(8 w)、623.19 mg/g(5 w)和594.82 mg/g(3 w),降低了32.37%、15.06%和18.93%。变质果降低的更为严重,分别降低到200.08、608.98和542.90 mg/g,降低了72.73%、17.00%和26.00%,且随着贮藏温湿度和贮藏时间的增加均呈现降低的趋势。虽然在25 °C /70%贮藏条件下温湿度相对较低,但是贮藏时间长同样使脂肪酸含量降低显著( $P < 0.05$ )。饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸贮藏后也有所降低,饱和脂肪酸含量由贮藏前的688.90 mg/g降低到25 °C /70%、35 °C /80%和45 °C /90%三种贮藏条件下的457.95(8 w)、588.46(5 w)和552.06 mg/g(3 w),降低了33.52%、14.58%和19.86%。变质果分别降低到184.20、577.12和500.83 mg/g。不饱和脂肪酸含量由贮藏前的44.76 mg/g降低到25 °C /70%、35 °C /80%和45 °C /90%三种贮藏条件下的38.19(8 w)、34.73(5 w)和42.76 mg/g(3 w),降低了14.68%、22.42%和4.48%。变质果分别降低到15.87、31.86和42.07 mg/g。在45 °C /90%贮藏的比35 °C /80%降低的少,一方面可能是由于贮藏时间缩短了1 w,另一方面由于较高的温度使部分饱和脂肪酸转化成不饱和的脂肪酸,使不饱和脂肪酸降低的量减少。整体而言,脂肪酸在贮藏过程中发生了一定的氧化和降解。毛椰子果成熟度比较高,接近到达种苗萌发的阶段,而且富含脂肪,也有可能部分发生了乙醛酸循环将脂肪酸转变成了糖类物质。油料种子萌发时,油脂可转化为糖<sup>[22]</sup>。

表 1 毛椰子果不同温湿度贮藏条件下贮藏早、晚期椰肉油脂的脂肪酸变化 (mg/g)

Table 1 Changes in fatty acid content of coconut meat in dehusked coconut fruits during early and late storage under different temperature and humidity storage conditions (mg/g)

脂肪酸	贮藏前	25 °C /70%		35 °C /80%		45 °C /90%	
		正常果 -8 w	变质果	正常果 -5 w	变质果	正常果 -3 w	变质果
己酸	5.66 ± 0.69 <sup>a</sup>	3.83 ± 0.39 <sup>c</sup>	1.64 ± 0.51 <sup>d</sup>	4.87 ± 1.63 <sup>abc</sup>	5.13 ± 1.01 <sup>ab</sup>	4.20 ± 0.33 <sup>bc</sup>	3.95 ± 0.87 <sup>bc</sup>
辛酸	71.89 ± 10.46 <sup>a</sup>	47.04 ± 5.12 <sup>d</sup>	17.98 ± 7.56 <sup>e</sup>	62.88 ± 17.60 <sup>abc</sup>	65.27 ± 13.84 <sup>ab</sup>	52.03 ± 4.36 <sup>bcd</sup>	48.16 ± 11.33 <sup>cd</sup>
癸酸	52.80 ± 9.99 <sup>a</sup>	34.33 ± 4.48 <sup>b</sup>	13.09 ± 5.33 <sup>c</sup>	46.48 ± 12.19 <sup>ab</sup>	47.20 ± 11.40 <sup>ab</sup>	39.95 ± 3.44 <sup>ab</sup>	36.97 ± 9.67 <sup>b</sup>
月桂酸	361.94 ± 80.21 <sup>a</sup>	239.71 ± 23.49 <sup>b</sup>	93.07 ± 38.70 <sup>c</sup>	312.33 ± 117.68 <sup>ab</sup>	303.26 ± 75.04 <sup>ab</sup>	289.20 ± 26.01 <sup>ab</sup>	259.08 ± 74.53 <sup>b</sup>
肉豆蔻酸	119.67 ± 29.55 <sup>a</sup>	80.93 ± 9.55 <sup>b</sup>	34.53 ± 15.06 <sup>c</sup>	100.10 ± 45.39 <sup>ab</sup>	95.71 ± 26.52 <sup>ab</sup>	99.95 ± 13.16 <sup>ab</sup>	90.74 ± 27.99 <sup>ab</sup>
棕榈酸	55.58 ± 15.55 <sup>a</sup>	39.12 ± 5.50 <sup>a</sup>	17.73 ± 7.83 <sup>b</sup>	45.13 ± 21.38 <sup>a</sup>	43.87 ± 13.45 <sup>a</sup>	50.01 ± 8.03 <sup>a</sup>	46.36 ± 15.63 <sup>a</sup>
硬脂酸	21.36 ± 6.45 <sup>a</sup>	12.99 ± 1.91 <sup>b</sup>	6.16 ± 2.69 <sup>c</sup>	16.68 ± 6.43 <sup>ab</sup>	16.68 ± 4.73 <sup>ab</sup>	16.71 ± 2.39 <sup>ab</sup>	15.56 ± 5.05 <sup>ab</sup>
油酸	34.78 ± 11.78 <sup>a</sup>	31.04 ± 5.88 <sup>a</sup>	13.52 ± 6.21 <sup>c</sup>	25.72 ± 11.22 <sup>ab</sup>	24.30 ± 8.15 <sup>ab</sup>	34.76 ± 9.42 <sup>a</sup>	34.80 ± 12.17 <sup>a</sup>
亚油酸	9.99 ± 3.05 <sup>a</sup>	7.16 ± 1.65 <sup>a</sup>	2.36 ± 1.18 <sup>b</sup>	9.00 ± 4.25 <sup>a</sup>	7.56 ± 2.62 <sup>a</sup>	8.00 ± 1.39 <sup>a</sup>	7.27 ± 2.84 <sup>a</sup>
饱和脂肪酸	688.90 ± 151.49 <sup>a</sup>	457.95 ± 47.45 <sup>b</sup>	184.20 ± 77.65 <sup>c</sup>	588.46 ± 222.12 <sup>ab</sup>	577.12 ± 139.40 <sup>ab</sup>	552.06 ± 49.82 <sup>ab</sup>	500.83 ± 144.23 <sup>ab</sup>
不饱和脂肪酸	44.76 ± 14.68 <sup>a</sup>	38.19 ± 7.14 <sup>a</sup>	15.87 ± 7.39 <sup>b</sup>	34.73 ± 15.41 <sup>a</sup>	31.86 ± 10.77 <sup>ab</sup>	42.76 ± 10.31 <sup>a</sup>	42.07 ± 15.00 <sup>a</sup>
总脂肪酸	733.66 ± 165.28 <sup>a</sup>	496.14 ± 53.05 <sup>b</sup>	200.08 ± 85.04 <sup>c</sup>	623.19 ± 237.34 <sup>ab</sup>	608.98 ± 148.03 <sup>ab</sup>	594.82 ± 58.89 <sup>ab</sup>	542.90 ± 159.06 <sup>ab</sup>

注：同行数据右肩小写字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

## 2.6 毛椰子果不同温湿度贮藏条件下椰子水品质变化

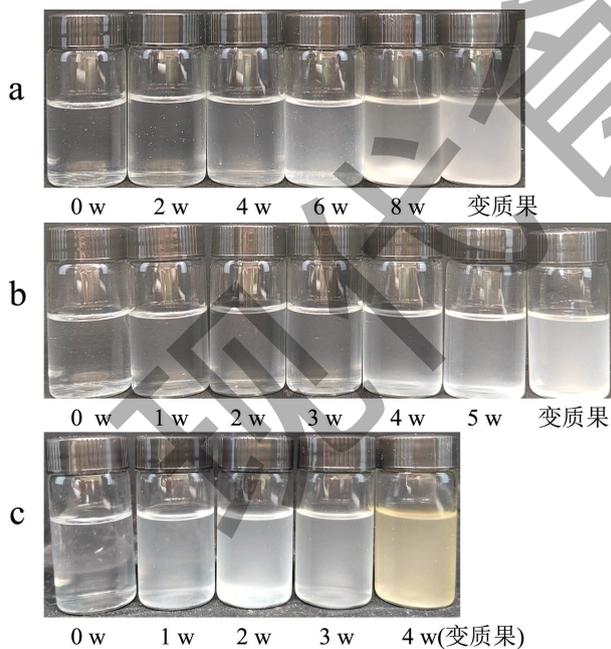


图 5 毛椰子果不同温湿度贮藏条件下的椰子水状态

Fig.5 Coconut water in dehusked coconut fruits under different temperature and humidity storage conditions

注：(a) 为毛椰子果 25 °C /70% 贮藏条件下椰子水；(b) 为毛椰子果 35 °C /80% 贮藏条件下椰子水；(c) 为毛椰子果 45 °C /90% 贮藏条件下椰子水。

不同温湿度贮藏条件下毛椰子果椰子水的状态见图 5。贮藏中晚期，毛椰子果中椰子水变浑浊。在 25 °C /70%、35 °C /80% 贮藏条件下椰子水变质后浑浊更加明显，而在 45 °C /90% 贮藏条件下椰子水出现变黄的现象，且具有焦糖味。毛椰子果椰肉和椰子水中还原糖的羰基与蛋白质、肽和氨基酸等氨基在持续的中高温贮藏条件下发生了氧化、环化及聚合等美拉德反应，生成系列中间产物与色素。在食品加工和贮藏过程中，美拉德反应的发生将影响产品的营养、色泽、组织状态和风味<sup>[23]</sup>。

毛椰子果贮藏过程中椰子水 pH 值在 5.45~5.89 之间 (见图 6a)，变质果的 pH 值普遍较低，最低的降到了 4.22。主要是因为变质果的椰肉内部细胞组织结构遭到破坏，多糖和脂肪颗粒等更易于发生糖酵解和酸败产生酸类物质而降低椰子水的 pH 值。

可溶性固形物主要包括糖、酸、维生素、矿物质等。毛椰子果贮藏过程中椰子水可溶性固形物含量不断升高 (见图 6b)。可能的原因一方面是由于贮藏过程中毛椰子果水分减少，使椰子水中可溶性物质的浓度增加；另一方面，在贮藏过程中椰肉中不溶性的大分子多糖降解成可溶性的小分子物质，随着贮藏过程中椰肉内部细胞组织结构发生改变，其中的一部分可溶性物质进入椰子水中，增加了椰子水的可溶性固形物含量；除

此以外,也有可能椰肉中脂肪通过乙醛酸循环转变为可溶性的糖类物质进而溶于了椰子水中。在 45 °C /90% 贮藏条件下椰子水可溶性固形物增幅最大, 3 w 的时间增加到 6.83 °Brix。在 25 °C /70% 贮藏条件下变质果的椰子水可溶性固形物含量明

显比正常果低 ( $P < 0.05$ ), 较长时间的贮藏 (6~8 w) 变质果对糖类物质的消耗大于降解生成的。而在 35 °C /80% 和 45 °C /90% 两种贮藏条件下变质果的椰子水可溶性固形物含量与正常果差异不明显 ( $P > 0.05$ )。

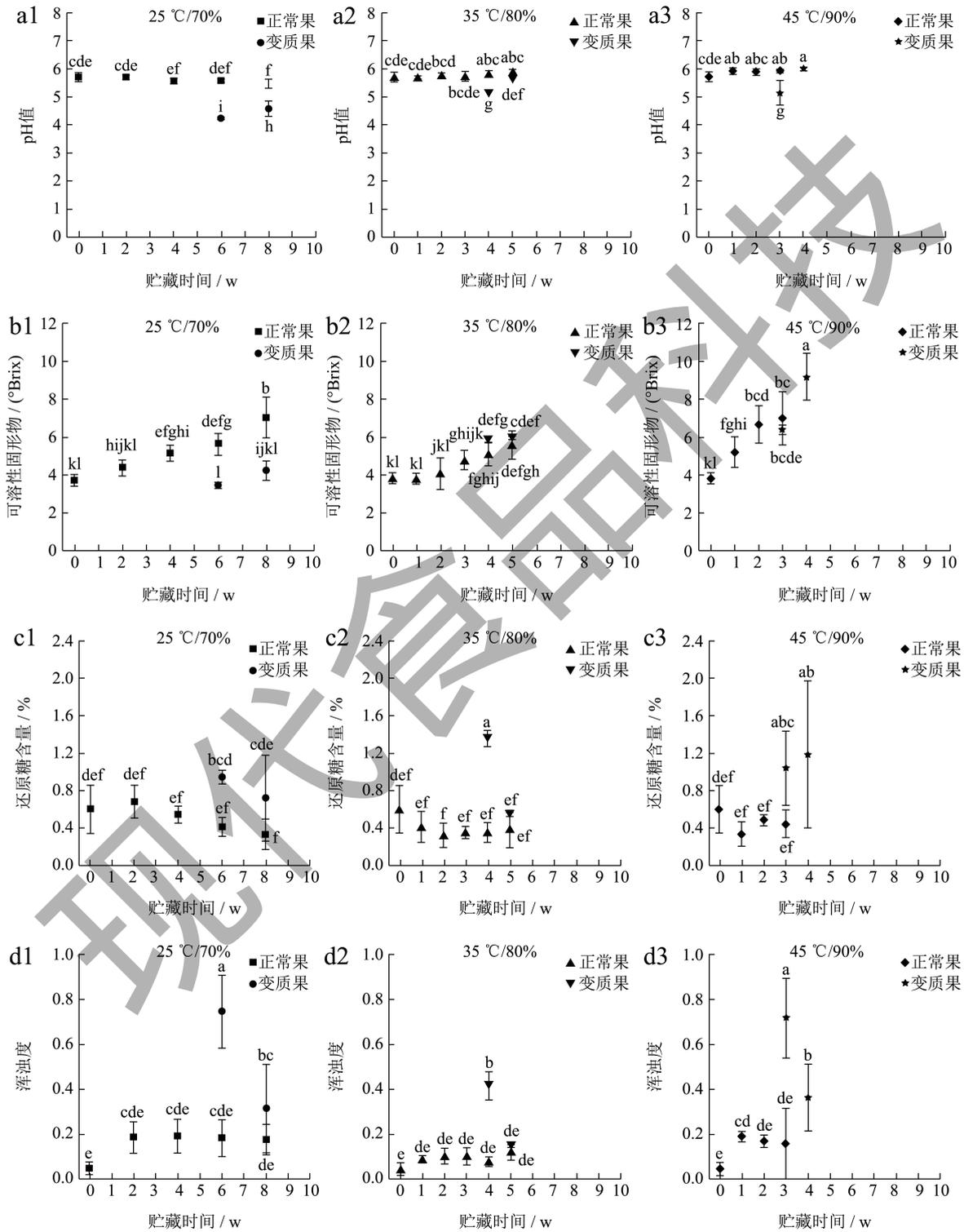


图 6 毛椰子果不同温湿度贮藏条件下椰子水的品质变化

Fig.6 Quality changes of coconut water in dehusked coconut fruits under different temperature and humidity storage conditions

毛椰子果在 25 °C /70% 贮藏条件下, 椰子水的还原糖含量在贮藏的前 2 w 先是稍微升高, 而后又逐渐降低 (见图 6c)。糖分的变化主要是由生理代谢引起的, 开始时可能主要是由于椰肉和椰子水中的多糖降解使还原糖含量增加 (由 0.59% 升高到 0.67%), 而后由于呼吸作用又消耗了还原糖使含量降低 (由 0.67% 降低到 0.32%)。相似的结论也在嫩椰子果贮藏过程中椰子水的还原糖变化规律中被 Shen 等<sup>[24]</sup>报道。而在 35 °C /80% 和 45 °C /90% 的两种贮藏条件下, 还原糖含量先是降低而后趋于平稳甚至有稍微回升, 可能主要是因为贮藏温度的升高增加了呼吸速率, 加速了还原糖的消耗, 消耗的还原糖多于转化的还原糖而引起还原糖含量的降低。由于毛椰子果较嫩椰子果还原糖含量明显偏低, 在本实验中还原糖含量变化并不显著 ( $P > 0.05$ )。变质果的椰子水中还原糖高于正常果, 尤其是 45 °C /90% 贮藏条件下的变质果显著高于正常果 ( $P < 0.05$ )。椰子果变质后椰肉内部细胞组织结构发生改变, 更容易使其中的还原糖类物质溶解于椰子水中而增加了椰子水中的还原糖含量。本实验中, 还原糖的变化趋势和可溶性固形物含量的趋势不太一致, 还原糖含量并没有同可溶性固形物含量一样随着贮藏期的增加而升高。推测可能是因为脂肪通过乙醛酸循环转变成了非还原性的蔗糖使可溶性固形物增加而还原糖趋势不明显。糖在种子萌发早期阶段和幼苗生长中起关键作用。在椰子吸器形成的早期, 蔗糖的积累最多, 是椰子苗生长所利用的主要能源来源<sup>[25]</sup>。

毛椰子果贮藏后椰子水浑浊度均有增加 (见图 6d), 从开始的 0.04 增加到最大值 0.19。贮藏过程中贮藏条件和时间对椰子水浑浊度的影响不显著 ( $P > 0.05$ ), 但变质后椰子果的椰子水浑浊度基本上都显著增高 ( $P < 0.05$ ), 最高达到 0.74。主要是由于毛椰子果变质后椰肉内表面开始发粘, 组织结构发生改变使多糖、脂肪等不易溶于水的颗粒物质逐渐脱离出来, 进入椰子水中使浑浊度增加。

### 3 结论

在 25 °C /70% 贮藏条件下的毛椰子果可以较长时间贮藏 (8 w 时大部分椰子果内部椰肉状态仍尚可); 在 35 °C /80% 和 45 °C /90% 两种高温高湿贮藏条件下的毛椰子果贮藏时间较短, 温湿度越高贮藏时间越短。随着贮藏温湿度和贮藏时间的增加毛

椰子果的失重率和椰肉油脂酸价增加, 变质果的酸价升高的更为明显。在 25 °C /70% 和 35 °C /80% 两种贮藏条件下椰肉油脂的 TBA 值总体差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 而在 45 °C /90% 贮藏条件下呈增加的趋势。贮藏后椰肉油脂总脂肪酸、饱和与不饱和脂肪酸含量都降低, 变质果降低的更严重。毛椰子果贮藏过程中椰子水 pH 值变化不明显, 但变质后明显降低; 随着贮藏时间增加可溶性固形物含量增加; 椰子水变质后浑浊度明显增加。总之, 贮藏温湿度和贮藏时间会对毛椰子果品质产生较大影响, 在贮运的过程中应避免高温高湿和长时间的贮藏。椰肉油脂的酸价和脂肪酸含量以及椰子水的 pH 值、还原糖含量和浑浊度可作为变质果筛选的参考品质指标。本研究为毛椰子果贮藏过程中品质控制及变质果的筛选提供了一定的理论基础。

### 参考文献

- [1] WANG W, CHEN H M, KE D M, et al. Effect of sterilization and storage on volatile compounds, sensory properties and physicochemical properties of coconutmilk [J]. *Microchemical Journal*, 2020, 153: 104532.
- [2] 扈莹莹, 王妍, 于晶, 等. 脂肪添加量对发酵香肠脂质和蛋白质氧化及挥发性化合物形成的影响 [J]. *食品科学*, 2019, 40(18): 8-14.
- [3] WANG D, XIAO H, LYU X, et al. Lipid oxidation in food science and nutritional health: A comprehensive review [J]. *Oil Crop Science*, 2023, 8: 35-44.
- [4] YANG J, LIU R H, HALIM L. Antioxidant and antiproliferative activities of common edible nut seeds [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2009, 42(1): 1-8.
- [5] 谢笔钧. 食品化学 [M]. 第3版. 北京: 科学出版社, 2011.
- [6] 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.
- [7] GB 5009.229-2016, 食品安全国家标准食品中酸价的测定 [S].
- [8] GB 5009.227-2016, 食品安全国家标准食品中过氧化值的测定 [S].
- [9] GB/T 35252-2017, 动植物油脂 2-硫代巴比妥酸值的测定 [S].
- [10] TIAN T, ZAABOUL F, YINS P, et al. Studies on the lipid oxidation and oleosomes behavior in raw pecan kernels during storage [J]. *Food Chemistry*, 2023, 405: 134867.
- [11] 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.
- [12] ZHANG R Y, LIUA B, LIUC, et al. Effects of different

- extraction methods on the physicochemical properties and storage stability of tiger nut (*Cyperus esculentus* L.) oil [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2023, 173: 114259.
- [13] NY/T 230-2006,椰子油[S].
- [14] LUDWIG V, BERGHETTI M R P, RIBEIRO S R, et al. The effects of soybean storage under controlled atmosphere at different temperatures on lipid oxidation and volatile compounds profile [J]. *Food Research International*, 2021, 147, 110483.
- [15] 李宇辉,王俊钢,刘成江,等.不同温度处理的风干牛肉贮藏过程中脂肪变化[J]. *食品科学*,2019,40(13):14-21.
- [16] 周泉城.微波条件下超临界萃取维生素E抗油脂氧化[J]. *中国粮油学报*,2006,4:101-105.
- [17] 裴雪晨,阴法文,钟旭,等.没食子酸酯对核桃油及其乳液的抗氧化作用[J]. *食品与生物技术学报*,2022,41(6):91-97.
- [18] RANGANAW M D, WICKRAMASINGHEI. Comparison of physicochemical characteristics of virgin coconut oils from traditional and hybrid coconut varieties [J]. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2023, 12: 100554.
- [19] AZEVEDOE PDP, ALVESE MD S, SOUZAJR B D, et al. Fatty acid in raw and heated coconut oil in eleven coconut oil food preparations analysed by gas chromatography [J]. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 2021, 24: 100329.
- [20] KARAMI M, PONNAMPALAM E N, HOPKINS DL. The effect of palm oil or canola oil on feedlot performance, plasma and tissue fatty acid profile and meat quality in goats [J]. *Meat Science*, 2013, 24(2): 165-169.
- [21] FORTUOSOB F, GALLI G M, OLIVEIRA R C D, et al. Effects of soybean oil replacement by açai oil in laying hen diets on fatty acid profile and egg quality [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2020, 263: 114452.
- [22] 王三根,苍晶.植物生理生化[M].第3版.北京:中国农业出版社,2020.
- [23] ASIKIN Y, KAMIYA A, MIZU M, et al. Changes in the physicochemical characteristics, including flavour components and Maillard reaction products, of non-centrifugal cane brown sugar during storage [J]. *Food Chemistry*, 2014, 149: 170-177.
- [24] SHENX J,WANG YY, RAN L, et al. Flavor deterioration of liquid endosperm in postharvest tender coconut revealed by LC-MS-based metabolomics, GC-IMS and E-tongue[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2022, 187: 111866.
- [25] LI J, HTWE YM, WANG Y, et al. Analysis of sugars and fatty acids during haustorium development and seedling growth of coconut [J]. *Agronomy Journal*, 2019, 111(5): 1-9.