

# 催熟过程中芒果浆营养成分及流变学性质变化

胡隆孝<sup>1</sup>, 刘琳<sup>2</sup>, 谭葆瑶<sup>2</sup>, 赵雷<sup>2</sup>, 王凯<sup>2\*</sup>

(1. 广州市果美味食品有限公司, 广东广州 510800)(2. 华南农业大学食品学院, 广东广州 510642)

**摘要:** 催熟是促进果实成熟的重要技术, 催熟时间长短对芒果营养成分有重要影响。该研究对催熟不同时间芒果的营养成份的变化进行测定, 并对其流变学特性进行表征。结果表明, 在芒果催熟 108 h 后, 淀粉含量从 7.95% 下降至 0.06%, 果胶含量从 15.79 g/kg 下降至 3.74 g/kg, 总黄酮含量增加了 0.24 mg/g, 而总酚含量没有明显变化。过氧化物酶活性和丙二醛含量随着催熟时间增加呈上升趋势, 但催熟 72 h 后过氧化物酶活性趋于稳定。催熟 60 h 后丙二醛含量不再显著增加, 说明催熟 60 h 以上细胞膜受损程度变化不明显。流变学结果表明, 芒果浆是一种非牛顿流体和弱凝胶体系, 其表观粘度随催熟时间延长而逐渐越低。综合评价芒果的营养成分、过氧化物酶活性、丙二醛含量及流变学特性认为催熟 72 h 后芒果果浆的综合品质较好。该研究结果为芒果催熟过程中品质控制提供理论和实践指导。

**关键词:** 芒果; 催熟; 果浆; 营养成分; 流变学性质

文章编号: 1673-9078(2024)01-233-239

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.1.1481

## Changes in the Nutritional Content and Rheological Properties of Mango Pulp during Accelerated Ripening

HU Longxiao<sup>1</sup>, LIU Lin<sup>2</sup>, TAN Baoyao<sup>2</sup>, ZHAO Lei<sup>2</sup>, WANG Kai<sup>2\*</sup>

(1. Guangzhou Guomeiwei Food Co. Ltd., Guangzhou 510800, China)

(2. College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** Accelerated ripening is an important technique to promote fruit ripening, and the duration of accelerated ripening has an important impact on the nutritional content of mangos. This study investigated nutritional changes and rheological properties of mangos after different durations of accelerated ripening. After accelerated ripening for 108 h, the starch content of mangos decreased from 7.95% to 0.06%, pectin content decreased from 15.79 to 3.74 g/kg, total flavonoid content increased by 0.24 mg/g, while the total phenolic content showed no significant change. Peroxidase activity and malondialdehyde content increased with a longer duration of accelerated ripening. However, peroxidase activity plateaued after 72 h of accelerated ripening, while malondialdehyde content did not show further significant increase after 60 h, indicating that the extent of cell membrane damage did not change significantly after 60 h of accelerated ripening. The rheological results showed that mango pulp was a non-Newtonian fluid and weak gel system, and its viscosity decreased gradually with increasing duration of ripening. Based on the comprehensive assessment of nutritional content, peroxidase activity, malondialdehyde content and rheological results, the overall quality of mango pulp was relatively good after accelerated ripening for 72 h. These results can provide theoretical and practical guidance for the quality control of mangoes during accelerated ripening.

**Key words:** mango; accelerated ripening; pulp; nutritional content; rheological properties

引文格式:

胡隆孝,刘琳,谭葆瑶,等.催熟过程中芒果浆营养成分及流变学性质变化[J].现代食品科技,2024,40(1):233-239.

HU Longxiao, LIU Lin, TAN Baoyao, et al. Changes in the nutritional content and rheological properties of mango pulp during accelerated ripening [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(1): 233-239.

收稿日期: 2022-11-13

基金项目: 广州市科技计划项目 (202201010713)

作者简介: 胡隆孝 (1989-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 热带水果精深加工, E-mail: Hyishi2010@126.com

通讯作者: 王凯 (1985-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 农产品加工, E-mail: kaiwang@scau.edu.cn

芒果是著名的热带、亚热带水果，其果肉富含蛋白质、多酚、维生素和矿物质等多种营养物质<sup>[1]</sup>。全球种植芒果的国家和地区有近 110 个，其中亚洲芒果的产量约占全球总量的 77.17%<sup>[2]</sup>。我国栽培的芒果品种有 40 余种，主要产地有云南、广西、广东等，按品种分类则主要有澳芒、台农芒、水仙芒等。芒果是呼吸跃变型水果，果实离开果树后仍有继续成熟的能力。出于商业目的，果农在芒果未成熟时进行采摘，以防芒果在运输、销售途中因过熟引发腐烂变质。在上市出售前，人工催熟技术能使未成熟的芒果获得一定成熟度，改善芒果品质，使其达到食用标准。目前，催熟技术在世界各地的芒果产区被广泛使用<sup>[3]</sup>。

催熟是减少作物成熟所需时间的常用手段，乙烯气体或粉末状乙烯利是常用催熟剂。催熟会导致水果的果皮颜色、硬度等理化性质及营养成分发生改变，这些性质改变对水果产品品质至关重要。李芬芳等<sup>[4]</sup>对香蕉进行催熟处理，发现香蕉的硬度、果实色差 H 值下降，可溶性固形物含量升高。乙烯利与低温协同处理可使血橙的总花青素含量比单独低温处理的含量明显提高，说明乙烯利的处理可以促进低温环境中的血橙花青素富集<sup>[5]</sup>。胡隆孝等<sup>[6]</sup>的研究也有类似的结果，发现在芒果采后的催熟过程中，其硬度下降，可滴定酸含量下降，类胡萝卜素含量升高，外观表现为果皮颜色转变为黄色；乙烯利的加入使得芒果的香气成分异松油烯合成速率加快，催熟 60 h 之内可使其含量显著提升。Guo 等<sup>[7]</sup>同样也发现乙烯利可以促进金桔果实褪绿熟化，且在此过程中伴随有叶绿素的降解。但催熟过度会导致果实自身的过度成熟，进而引起衰老和腐败。因此，需要合理控制催熟程度，使芒果具有良好的营养品质和理化性质。而果浆是芒果的主要加工品之一，广泛用于进一步加工果汁饮料、焙烤食品、冰激凌等。目前对于芒果中的淀粉、果胶等与果浆品质密切相关的营养成分在催熟过程中变化规律，及催熟对芒果浆流变学性质的影响缺乏系统研究，因此对用于芒果浆加工的芒果催熟有待进一步研究。

本研究采用乙烯利催熟芒果，打浆后研究芒果的淀粉、果胶、多酚、黄酮等营养成分含量变化，测定过氧化物酶活性和丙二醛的变化规律，并采用流变仪对芒果浆的流变学性质进行研究，以期为用于加工果浆的芒果原料催熟技术及品质控制提供理论和实践指导。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与amp;仪器

#### 1.1.1 材料与amp;试剂

生芒果（台农一号），采收于广西；乙烯利，上海华谊集团华原化工有限公司；吡啶、三氯乙酸、硫代巴比妥酸，分析纯，上海麦克林生化科技有限公司；磷酸缓冲液（PBS），分析纯，Sigma；硫酸、无水碳酸钠、30%（V/V）过氧化氢、氢氧化钠，分析纯，广州化学试剂厂；没食子酸、福林酚，分析纯，上海源叶生物科技有限公司；无水乙醇，分析纯，天津富宇精细化工有限公司；亚硝酸钠、硝酸铝，分析纯，福晨化学试剂有限公司；聚乙烯吡咯烷酮（PVP），分析纯，上海伯奥生物科技有限公司；愈创木酚，化学纯，上海国药试剂集团。

#### 1.1.2 仪器与amp;设备

710 可见光分光光度计，上海佑科仪器仪表有限公司；PP25 SN52040 模块化智能型高级流变仪，安东帕（上海）商贸有限公司；冷冻离心机，上海安亭科学仪器厂；离心机，长沙平凡仪器仪表有限公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 芒果催熟方法

芒果催熟采用胡隆孝等<sup>[6]</sup>的方法，以 20 个芒果（约 15 kg）为一组，将生芒果置于恒温 30 ℃、相对湿度为 40%~50% 的密闭环境中。将含有 15 g 乙烯利放置于纸巾上，然后将纸巾卷成球状后放置于生芒果中心位置，每隔 12 h 取一组，记为一个催熟期，按催熟时间标记，其中 0 h 是未进行催熟处理的对照组。将催熟后的芒果进行去皮去核、切分后打浆，置于 -80 ℃ 冰箱冷冻备用。

#### 1.2.2 淀粉含量测定

采用 AOAC 和 AACC 法用 Megazyme 总淀粉含量试剂盒测定芒果浆的淀粉含量<sup>[8]</sup>。取 100 mg 样品，糊化后加入耐高温  $\alpha$ -淀粉酶和淀粉葡萄糖苷酶，测定葡萄糖含量，并计算样品中的淀粉含量（g/100 g）。

#### 1.2.3 果胶含量测定

采用吡啶比色法测定样品的果胶含量<sup>[9]</sup>。用乙醇溶液将芒果样品中的可溶性糖除去，通过糖的 Molisch 反应鉴定可溶性糖是否除净。然后在样品

中加入 pH 值 0.5 的硫酸混匀, 在 85 °C 反应 60 min, 冷却至室温后定容至 100 mL, 过滤并保留滤液。在滤液中先加入咪唑 - 乙醇溶液, 混匀后加入浓硫酸, 充分混匀后在 85 °C 条件下反应 20 min, 冷却后在 525 nm 处测定吸光度。根据标准曲线计算待测液中的果胶含量, 以半乳糖醛酸质量分数计。

#### 1.2.4 总酚含量测定

将芒果样品按固液比为 1:10 的比例加入乙醇:丙酮混合液 (7:3, V/V) 中超声提取 1 h, 离心后收集上清液, 并测量上清液体积。以没食子酸作为对照物, 采用 Folin-Ciocalteu 比色法测定总酚含量<sup>[10]</sup>。取 0.1 mL 提取液于棕色容量瓶中, 加入 5 mL 水和 0.5 mL 福林酚溶液混匀, 室温下反应 3~4 min。随后加入 1.5 mL 碳酸钠溶液混匀, 并用蒸馏水定容到 10 mL, 室温下避光反应 2 h 后于 765 nm 测定其吸光值, 测定结果的总酚含量为没食子酸当量。

#### 1.2.5 总黄酮含量测定

将芒果样品按固液比为 1:10 的比例加入乙醇:丙酮混合液 (7:3, V/V) 中, 室温下超声 1 h, 离心后取上清液, 测量上清液体积, 并采用亚硝酸钠-硝酸铝显色法<sup>[11]</sup>, 以芦丁为对照物, 测定芒果中的总黄酮含量, 测定结果的总黄酮含量为芦丁当量。

#### 1.2.6 过氧化物酶 (POD) 活性测定

参照周亨乐等<sup>[12]</sup>的方法稍作修改, 测定 POD 酶活性。取 1 mL 芒果浆于离心管中加入 pH 值 6.5 的 PBS (5 mL), 按芒果浆和 PVP 的质量比为 1:2 添加 PVP, 并在 4 °C 下静置 12 h。4 °C 下离心后取上清液, 得粗酶液。在试管中加入 1.0% (V/V) 愈创木酚 (3 mL) 和 1.5% 过氧化氢 (0.2 mL), 混匀后于 30 °C 保温 3 min。再向混合液中加入 0.2 mL 酶液, 振荡摇匀后于 470 nm 下测定吸光值, 每 60 s 记录一次吸光度值, 连续记录 300 s。以每克果蔬样品每分钟吸光度变化值 0.01 为 1 个过氧化物酶活性单位, 单位是  $\Delta\text{OD}_{470}/(\text{min}\cdot\text{g})$ 。

#### 1.2.7 丙二醛含量测定

采用硫代巴比妥酸 (TBA) 法测定催熟芒果浆的丙二醛含量<sup>[13]</sup>。取 1 g 芒果浆与 100 g/L 三氯乙酸混合后磨成匀浆, 离心后测定上清液体积记为提取液体积  $V_1$ 。取 1 mL 上清液用 100 g/L 三氯乙酸按 1:3 比例进行稀释。混匀后取 2 mL 稀释液, 加入到 2 mL 0.67% (m/V) 硫代巴比妥酸溶液中 (空白则用 100 g/L 三氯乙酸), 混匀后置于沸水浴中保持

20 min, 然后立即在冰水中冷却。离心后取上清液, 分别测定 450、532 和 600 nm 的吸光值并计算丙二醛含量。

#### 1.2.8 流变特性测定

采用 PP25 SN52040 模块化智能型高级流变仪测定芒果浆的流变学性质。设定流变仪温度为 25 °C, 剪切速率 0.01~100  $\text{s}^{-1}$ , 研究样品的表观黏度和剪切应力的变化规律, 绘制流变曲线, 判断芒果浆的流体类型。采用振幅扫描 (1 Hz, 应变范围 0.01%~100%) 测量样品的储能模量 ( $G'$ ) 和损耗模量 ( $G''$ ), 用于确定线性粘弹性区域。频率扫描 (0.1% 应变, 角频率 1~100 rad/s) 测定  $G'$  和  $G''$ 。

#### 1.2.9 数据分析

每个实验均重复三次, 实验结果均以平均值 ± 标准偏差进行记录, 采用 Origin 进行绘图, 利用 SPSS 评价样品之间的差异显著性 ( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与讨论

### 2.1 催熟过程中芒果的淀粉含量变化

芒果中淀粉含量随催熟时间增加的变化趋势如图 1 所示。从图中可以看出, 随着催熟时间的延长, 芒果中淀粉含量呈下降趋势, 且在前 48 h 下降较快。催熟 12 h 后淀粉含量从催熟前 (0 h) 的 7.95% 显著下降到 5.71%; 而催熟 24 h 后淀粉含量约降为催熟前的一半, 催熟 48 h 后降低至 2.12%。当催熟时间为 60~84 h 时, 淀粉含量基本稳定, 约为 1.26%~1.55%。催熟 96 h 时, 淀粉含量大幅降低至 0.06%, 随后基本稳定。

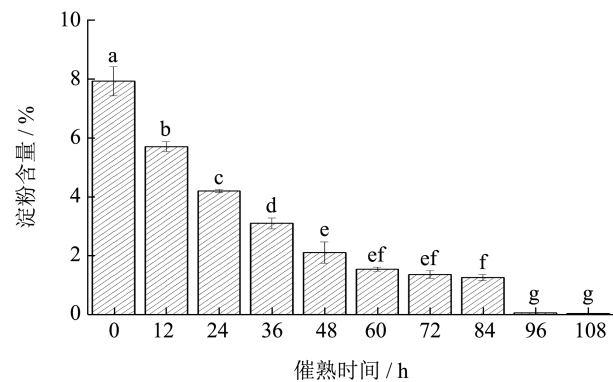


图 1 不同催熟时间芒果的淀粉含量

Fig.1 The starch content in mango ripened for different time

注: 不同小写字母表示差异性显著 ( $P < 0.05$ ), 下同。

这可能是因为在芒果催熟过程中, 淀粉酶的活性增强<sup>[14]</sup>, 淀粉被淀粉酶分解为葡萄糖、麦芽糖等

小分子糖类,使可溶性糖含量上升。这与文献报道的催熟过程中可溶性糖含量上升的结果是一致的<sup>[6]</sup>。

## 2.2 催熟过程中芒果的果胶含量变化

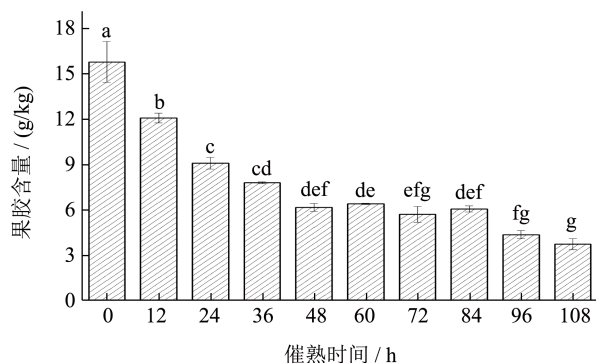


图2 不同催熟时间芒果的果胶含量

Fig.2 The pectin content in mango ripened for different time

图2是催熟过程中芒果中果胶含量变化趋势。从图中可以看出,随着催熟时间的不断延长,芒果的果胶含量不断下降,而且下降的过程从快速到平缓。从催熟前到催熟36 h的过程中,果胶含量从15.79 g/kg显著下降至7.81 g/kg;在催熟36 h后果胶含量下降不明显,直到催熟108 h时果胶含量降为3.74 g/kg。

果胶是植物细胞壁的主要成分之一,植物组织的完整和刚性 with 果胶的含量密切相关。前期文献结果指出随着催熟时间的增加,芒果的硬度从19.76 N(催熟前)呈下降趋势至0.99 N(催熟108 h)<sup>[6]</sup>。结合图2的果胶含量的变化趋势可以推测出果胶含量下降导致硬度下降,可能是因为催熟处理增强果胶酶的活性,导致果胶被水解,最终导致芒果果实硬度下降。

## 2.3 催熟过程中芒果的总酚含量变化

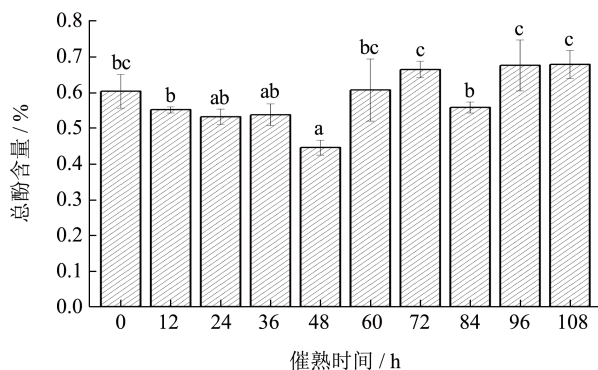


图3 不同催熟时间芒果的总酚含量

Fig.3 The total polyphenols content in mango ripened for different time

图3表示不同催熟时间下芒果总酚含量的变化。随着催熟时间增长,芒果总酚含量变化没有明显趋势,在0.45~0.68 mg/g的范围内。催熟48 h的芒果总酚含量偏低可能是由于打浆不均匀导致的。多酚是芒果中重要的活性物质,对芒果的抗氧化活性具有较大的贡献。芒果苷、没食子酸、没食子单宁、槲皮素、异槲皮素、鞣花酸等是芒果果肉中已经鉴定出的多酚类化合物,其中没食子酸为主要多酚物质<sup>[15]</sup>。

## 2.4 催熟过程中芒果的总黄酮含量变化

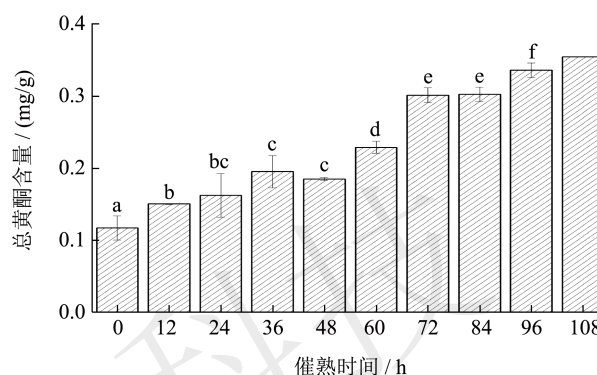


图4 不同催熟时间芒果的总黄酮含量

Fig.4 The total flavones content in mango ripened for different time

图4表示为不同催熟时间下芒果果肉总黄酮含量的变化。随着催熟时间增长,芒果总黄酮含量总体呈逐渐上升的趋势。催熟前芒果的黄酮含量为0.12 mg/g,催熟108 h的芒果黄酮含量逐渐上升至0.36 mg/g。黄酮类化合物是植物生长过程中一类重要的次级代谢产物,其生物合成与次级代谢有关<sup>[16]</sup>。通常在基因的调控下,植物在成熟过程中,会伴随叶绿素降解和黄酮类物质合成<sup>[17]</sup>。因此,在芒果催熟过程中,总黄酮含量显著增加。

## 2.5 催熟过程中芒果的过氧化物酶活性变化

POD是一种氧化还原酶,在植物体中不仅参与木质素和木栓质的合成和细胞壁的构建,还能组织高浓度氧的积累,缓解膜质过氧化作用。因此POD酶活性与果蔬品质密切相关。不同催熟时长对芒果中POD酶活性的影响如图5所示。由图可知,POD酶活性随着催熟时长的增加呈现升高的趋势,即熟化程度越高的芒果中所含有的POD酶活性越高。催熟时间未超过24 h时,芒果中POD酶活性从0.03  $\Delta OD_{470}/(\text{min}\cdot\text{g})$ 增长到0.17  $\Delta OD_{470}/(\text{min}\cdot\text{g})$ ,变化较为缓慢。催熟24 h时,芒果中的POD酶活性从0.32  $\Delta OD_{470}/(\text{min}\cdot\text{g})$ 迅速提高到1.26  $\Delta OD_{470}/(\text{min}\cdot\text{g})$ 。催熟时间到72 h后,芒果中的POD酶活性基本稳

定在  $1.30 \Delta OD_{470}/(\text{min}\cdot\text{g})$ ，继续延长催熟时间对芒果中的酶活性无明显影响。这一结果和龙眼果实成熟过程中 POD 酶活性的变化趋势一致<sup>[18]</sup>。POD 活性的增加可以促进芒果的成熟、增加细胞壁木质化程度，加速抗病性产生，强化芒果自身抗病能力，从而提高芒果果实的品质及延长芒果贮藏时间。

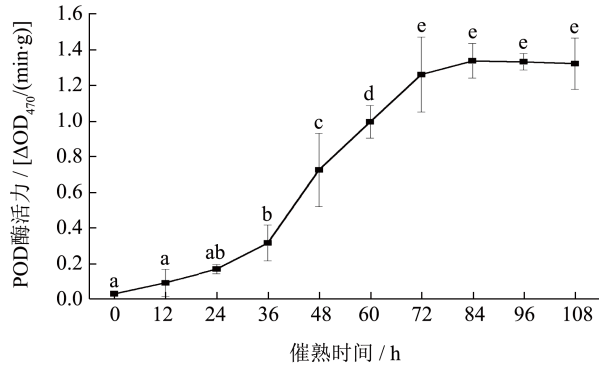


图 5 不同催熟时间的芒果 POD 活性

Fig.5 The activity of POD in mango ripened for different time

### 2.6 不同催熟时间芒果浆的丙二醛含量

丙二醛含量与果实的成熟度或是衰老程度有关，果实衰老时，细胞内的自由基平衡失调，而自由基是引起细胞膜脂质过氧化的重要因素，丙二醛是膜质过氧化反应的重要产物之一，它的含量反映膜脂质过氧化程度，也反映细胞膜的受损程度<sup>[19]</sup>。图 6 为催熟时间分别为 0、24、60 和 96 h 芒果浆的丙二醛含量。从图可以看出，随着催熟时间的增加，丙二醛的含量呈明显上升趋势，从  $1.46 \text{ nmol/g}$ （未催熟）上升至  $3.60 \text{ nmol/g}$ （催熟 60 h）；而催熟时间从 60 h 延长至 96 h，芒果的丙二醛含量上升不显著 ( $P < 0.05$ )。这些结果说明，催熟前 60 h，芒果膜质过氧化程度增大，导致芒果不断积累丙二醛，而后延长催熟时间丙二醛含量变化并不显著，说明催熟 60 h 后芒果细胞膜受损程度无显著增加。

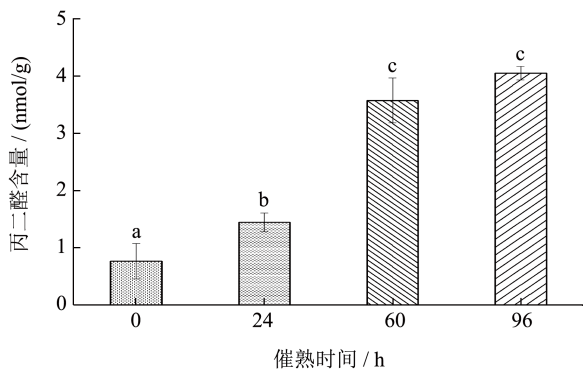


图 6 不同催熟时间芒果浆的丙二醛含量

Fig.6 The malonaldehyde content in mango ripened for different time

### 2.7 不同催熟时间芒果浆的流变学性质

根据流变曲线的性质可确定流体的类型。由图 7 可知，随着剪切速率的增大，不同催熟时间的芒果浆的黏度均呈下降趋势，表现出明显的剪切稀释现象，是一种非牛顿流体。芒果浆呈现出的流体性质可能与其含有的颗粒如（细胞、细胞团、细胞碎片等）和大分子物质（如果胶、蛋白质、胶体等）有关。当体系处于低剪切速率条件下时，悬浮的颗粒和大分子物质（如淀粉、果胶）经布朗运动而随机分布，体系的流动阻力较大，黏度较大；当剪切速率增大，体系中的颗粒和大分子物质趋向于定向排列，阻力减小，黏度变小。在剪切速率较低时，未催熟的芒果浆表现出最大的黏度，结合图 1 与图 2，催熟前的芒果浆中含有较多果胶与淀粉，使得体系前期黏度较大。芒果浆的表观粘度与催熟时间有关，随着催熟时间增加，芒果浆的表观黏度越低；且在高剪切速率下，不同催熟时间处理的芒果浆黏度逐渐接近，这与已报道的研究结果相一致<sup>[20]</sup>。

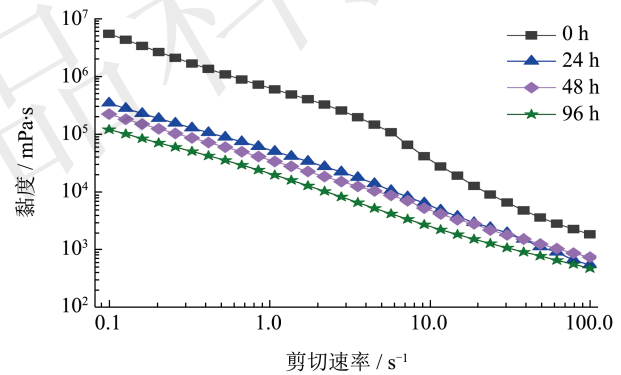


图 7 不同催熟时间芒果浆的粘度随剪切速率的变化

Fig.7 Viscosity of mango pulp ripened different time with the shear rate changing

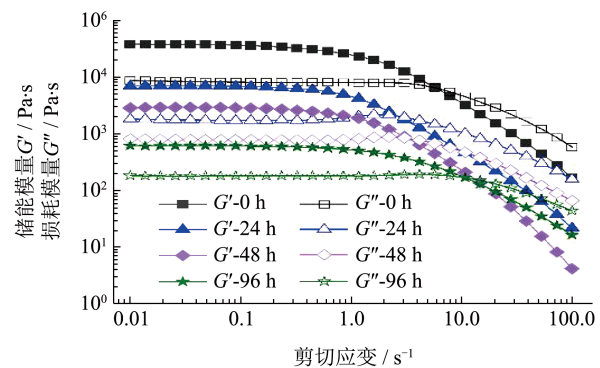


图 8 不同催熟时间芒果浆的储能模量  $G'$  和损耗模量  $G''$  随剪切应变的变化

Fig.8 Storage modulus ( $G'$ ) and loss modulus ( $G''$ ) of mango pulp ripened different time with the shear strain changing

为确保测试过程中样品微观结构不受破坏,测试前,设定恒定频率(1 Hz)和恒定温度(25 ℃)进行振幅扫描,以找出样品的线性粘弹区对应的扫描应变。如图8结果表明,所有受试样芒果浆的储能模量(Storage Modulus,  $G'$ )和损耗模量(Loss Modulus,  $G''$ )在低应变振幅范围( $<0.1\%$ )保持稳定,该范围即芒果浆样品的线性粘弹区(Linear Viscoelastic Region, LVE-R),在该区域内芒果浆的 $G' > G''$ ,说明样品在该区域以类固体行为为主。

频率扫描设定恒定应变(0.1%),在0.01~100的角频率范围进行测试。在选定的角频率范围内,随角频率增大, $G'$ 和 $G''$ 均有一定的增大,说明芒果浆的流动特性与频率相关,类固体行为略有增强。不同催熟时间的芒果浆的储能模量 $G'$ 均高于损耗模量 $G''$ ,表现出胶体行为。损耗模量 $G''$ 与储能模量 $G'$ 的比值称为损耗正切值( $\tan\delta$ ),又称损耗因子(Loss Factor)或阻尼因子(Damping Factor),用于表征体系的粘弹性比例<sup>[21]</sup>。正如图9的结果表明,在测定条件下,各个样品的 $\tan\delta$ 均小于1,说明芒果浆样品为弱凝胶体系。

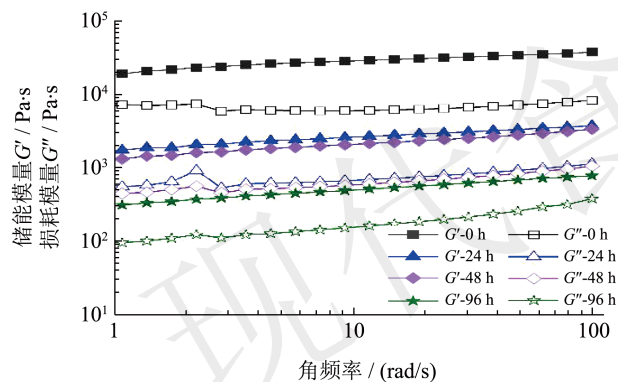


图9 不同催熟时间芒果浆的储能模量 $G'$ 和损耗模量 $G''$ 随角频率的变化

Fig.9 Storage modulus ( $G'$ ) and loss modulus ( $G''$ ) of mango pulp ripened different time with the angular frequency changing

### 3 结论

本研究测定了不同催熟时间芒果的淀粉、果胶、总酚、总黄酮、丙二醛含量,比较了不同催熟时间芒果的POD活性,并对其进行流变学表征。随着催熟时间的延长,芒果的淀粉含量呈下降趋势,并在催熟48 h的时间内下降较快,从7.95% (催熟前)显著下降到2.12% (催熟48 h),而后缓慢下降。果胶含量变化趋势与淀粉相似,从15.79 g/kg (催熟前)显著下降至7.81 g/kg (催熟36 h),再缓慢降低。芒果总酚含量在0.47~0.68 mg/g范围内,在催

熟过程中没有明显的规律性变化。黄酮含量随催熟时间延长呈上升趋势,从0.18 mg/g (催熟前)上升至0.36 mg/g (催熟108 h)。丙二醛含量也随着催熟时间的延长呈上升趋势,在催熟60 h后上升不明显。芒果中的POD活性在催熟24 h内缓慢上升,在催熟24 h至72 h内酶活性显著上升,而催熟72 h后POD活性无明显变化。此外,对芒果浆的流变学性质进行研究,结果表明芒果浆是一种非牛顿流体和弱凝胶体系,在剪切速率较低时,芒果浆的表观黏度与催熟时间有关,随着催熟时间延长,果胶和淀粉等大分子被分解,芒果浆的表观黏度降低,剪切速率较高时表观黏度无明显差异。综合芒果的营养成份、POD活性、丙二醛含量及流变学特性认为催熟72 h后芒果已经基本达到成熟,果浆的综合品质较好。研究结果将为催熟芒果的品质控制提供更多的理论指导。

### 参考文献

- [1] 任二芳,罗朝丹,黄燕婷,等.不同品种芒果果脯和果干的品质比较分析[J].现代食品科技,2022,38(7):282-290,183.
- [2] 徐磊磊.2015年芒果产业发展报告及形势[J].世界热带农业信息,2016,11:14-26.
- [3] 罗玉龙.芒果储藏运输方法[J].农村新技术,2020,5:59.
- [4] 李芬芳,李奕星,袁德保,等.不同乙烯利浓度及贮藏温度对“南天黄”香蕉果实后熟品质的影响[J].中国南方果树,2022,51(2):72-77,83.
- [5] CHEN J, LIU F F, ISMAIL B B, et al. Effects of ethephon and low-temperature treatments on blood oranges (*Citrus sinensis* L. Osbeck): Anthocyanin accumulation and volatile profile changes during storage [J]. Food Chemistry, 2022, 393: 133381.
- [6] 胡隆孝,曹琳彩,王凯,等.采后催熟对‘台农一号’芒果理化品质及营养特性的影响[J].食品工业科技,2023,44(2):369-375.
- [7] GUO J L, YANG H B, XU Y N, et al. Differential regulation of red light-and ethephon-induced degreening in postharvest kumquat fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2023, 198: 112264.
- [8] 王丹丽,刘引弟,连喜军.重量法与AOAC法测定不同食品中抗性淀粉的含量[J].食品研究与开发,2021,42(10):143-147.
- [9] 丁建东,张雪红,姚先超,等.咔唑比色法测定剑麻果胶含量[J].食品研究与开发,2010,31(11):138-140.
- [10] RAPISARDA P, TOMAINO A, LO CASCIO R, et al. Antioxidant effectiveness as influenced by phenolic content of fresh orange juices [J]. Journal of Agricultural

- and Food Chemistry, 1999, 47(11): 4718-4723.
- [11] 李利华. 大蒜总黄酮的超声波辅助提取及其抗氧化活性[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(12): 213-216.
- [12] 周享乐, 赵剑雷, 冯小平, 等. 高场强超声波对芒果多酚氧化酶和过氧化物酶钝化效果的研究[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(2): 68-73.
- [13] LIU H, JIANG W B, CAO J K, et al. A combination of 1-methylcyclopropene treatment and intermittent warming alleviates chilling injury and affects phenolics and antioxidant activity of peach fruit during storage [J]. *Scientia Horticulturae*, 2018, 229: 175-181.
- [14] 苗红霞, 金志强, 刘伟鑫, 等. 香蕉采后果肉硬度与淀粉代谢变化[J]. 中国农学通报, 2013, 29(28): 124-128.
- [15] SCHIEBER A, ULLRICH W, CARLE R. Characterization of polyphenols in mango puree concentrate by HPLC with diode array and mass spectrometric detection [J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2000, 1(2): 161-166.
- [16] ROBLES-SANCHEZ RM, ISLAS-OSUNA M A, ASTIAZARAN-GARCIA H, et al. Quality index, consumer acceptability, bioactive compounds, and antioxidant activity of fresh-cut "Ataulfo" mangoes (*Mangifera Indica* L.) as affected by low-temperature storage [J]. *Journal of Food Science*, 2009, 74(3): S126-S134.
- [17] GRAY J, PICTON S, SHABBEER J, et al. Molecular biology of fruit ripening and its manipulation with antisense genes [J]. *Plant Molecular Biology*, 1992, 19(1): 69-87.
- [18] SHI SY, WANG W, LIU LQ, et al. Physico-chemical properties of longan fruit during development and ripening [J]. *Scientia Horticulturae*, 2016, 207: 160-167.
- [19] 苗博英, 张鹏, 翟宏伟, 等. 贮后催熟处理对南果梨果实生理品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2013, 13(1): 21-24.
- [20] NAMBI V E, THANGAVEL K, RAJESWARI K A, et al. Texture and rheological changes of Indian mango cultivars during ripening [J]. *Postharvest Biology and Technology*. 2016, 117: 152-160.
- [21] LABAKY P, DAHDOUH L, RICCI J, et al. Impact of ripening on the physical properties of mango purees and application of simultaneous rheometry and in situ FT-IR spectroscopy for rapid identification of biochemical and rheological changes [J]. *Journal of Food Engineering*, 2021, s300: 110507.