

马佳佳,隋思瑶,王毓宁,等.设施栽培对枇杷果实采后品质和生理的影响[J].江苏农业科学,2019,47(16):203-208.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.16.046

# 设施栽培对枇杷果实采后品质和生理的影响

马佳佳<sup>1</sup>, 隋思瑶<sup>1</sup>, 王毓宁<sup>1</sup>, 陆皓茜<sup>1</sup>, 李志强<sup>2</sup>

(1. 江苏太湖地区农业科学研究所, 江苏苏州 215155; 2. 江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏南京 210000)

**摘要:**以苏州“白玉”枇杷为试验材料,在常温(22±1)℃和低温(6±1)℃贮藏条件下,分析设施和露地2种栽培条件对果实采后品质和生理的影响。结果表明,采后常温贮藏过程中,设施栽培的果实外观色泽和硬度变化明显( $P<0.05$ )滞后于露地栽培,呼吸速率和可滴定酸的损失率高于露地栽培,设施栽培的果实脂氧合酶(LOX)活性和丙二醛(MDA)含量增加明显,膜脂过氧化程度高于露地栽培。低温贮藏过程中2种栽培模式的枇杷品质和生理特性的差异明显缩小。以上结果说明贮藏温度对2种栽培模式的枇杷表现影响不同,常温贮藏设施栽培的枇杷果实外观和质地特性优于露地栽培,风味品质和耐贮性差于露地栽培,低温贮藏对栽培模式的枇杷果实之间的差异影响较小。

**关键词:**白玉枇杷;设施栽培;露地栽培;采后生理;耐贮性

**中图分类号:** TS255.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)16-0203-05

枇杷[*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.]果实风味优良,营养丰富,味道鲜美,被誉为“果中之皇”。白玉枇杷是江苏省苏州市重要的特色水果,近年种植增长较快,成为当地农业增效、农民致富的重要途径<sup>[1]</sup>。因为枇杷采摘期短(20 d左右),采后皮薄质软、易伤易烂,使得露地栽培模式满足不了市场和消费者对枇杷量和质的需求。而且枇杷生长要经历冬季和早春的低温霜冻,为避免这种极端气候的影响,设施栽培正被广泛应用于枇杷的生产管理。通过设施栽培,发挥设施的保温效能,避免冬季和早春的低温霜冻危害,减少受冻果、裂果和日灼现象,促使果实加速发育,提早成熟<sup>[2]</sup>,在保证品质的同时,也延长了枇杷的供应期。设施栽培模式目前在太湖莼菜、金针菜、葡萄、杨梅、西瓜等果蔬进行应用<sup>[3-6]</sup>。施春晖等研究表明设施栽培提高了猕猴桃的适应性与抗病性<sup>[7]</sup>,姜若勇等提出设施栽培有利于金针菜花蕾可溶性糖含量的积累<sup>[4]</sup>,杨再强等提出设施栽培改善了杨梅品质,使杨梅可溶性固形物含量、糖酸比、维生素C含量及果实单果质量显著增加<sup>[8]</sup>。

目前国内外对枇杷设施栽培果实品质变化的研究集中在果实生长发育、成熟阶段,主要针对枇杷果实生长发育过程中的品质特性<sup>[9]</sup>、糖酸积累特性<sup>[10]</sup>、产量、好果率<sup>[2]</sup>以及果实生长规律及其与环境条件的关系<sup>[11]</sup>等。未见有研究报道设施栽培对枇杷采后生理和贮藏品质的影响。本研究分别以设施与露地栽培的白玉枇杷为试材,在常温与低温环境下进行贮存,比较2种栽培模式的枇杷采后生理变化以及贮藏环境对

果实耐贮性的影响,以期改善和优化枇杷设施栽培模式提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与方法

设施栽培和露地栽培的枇杷由于生长发育受到温度、光照和水等多种环境因子影响,所以相同成熟度的枇杷,露地栽培的采收期要比设施栽培的晚10 d左右。试验枇杷采收于江苏省苏州市张家港生产基地,采收后2 h内运抵农产品贮运加工实验室后,挑选成熟度(8成熟)均一、无机械伤、无病虫害、大小相对一致的果实开展室温和低温贮藏试验。贮藏温度分别常温(22±1)℃和低温(6±1)℃。常温贮藏7 d,低温贮藏16 d。果实依据贮藏温度分为2组,每个时间点取样的果实数量为60个。常温组240个,设置3个生物学重复,每2 d取样。低温组360个,设置3个生物学重复,每3 d取样。露地栽培的方法同上。测定基本生理指标后,果肉样品经液氮冷冻置于-80℃保存备用。

### 1.2 指标测定

1.2.1 枇杷的呼吸速率测定 参照李方等的方法<sup>[12]</sup>,选择4.5 L的密封乐扣箱,在它的一侧打孔利于 Checkmate 3 型顶空分析仪抽取气体。具体步骤:利用排水法确定乐扣箱的实际体积 $V(\text{mL})$ ,称取一定量 $m(\text{g})$ 的枇杷在乐扣箱中,立即合上乐扣盒的盖子,抽取气体,记录 $\text{CO}_2$ 气体的读数 $V_1(\%)$ ,密闭放置2 h后(环境温度与贮藏温度保持一致),再次抽取气体,记录 $\text{CO}_2$ 气体的读数 $V_2(\%)$ 。枇杷呼吸代谢速率 $[\text{mL}/(\text{kg} \cdot \text{h})]$ 的计算公式为

$$\text{呼吸代谢速率} = \frac{(V - m) \times (V_2 - V_1) \times 10^{-2}}{m \times 2 \times 10^{-3}}$$

1.2.2 果实色差的测定 参照邓朝军等的方法<sup>[13]</sup>,采用CR-400色差仪选择枇杷果实赤道面2个点进行测定,亮度数值 $L^*$ 直接测定,红绿数值由 $a^*$ 直接测定,黄蓝数值由 $b^*$ 直接测定, $\Delta E$ 可由 $a^*$ 、 $b^*$ 、 $L^*$ 值通过公式计算得到,即 $\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$ ,其中 $\Delta L^*$ 、 $\Delta a^*$ 、 $\Delta b^*$ 是贮藏样与新

收稿日期:2018-05-07

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(16)1014];苏州市科技计划(编号:SNG2017081);苏州市农业科学院资助项目(编号:8111708)。

作者简介:马佳佳(1989—),女,江苏启东人,硕士,助理研究员,主要从事农产品保鲜加工研究。Tel:(0512)65383749;E-mail:mjj20120326@163.com。

通信作者:李志强,男,副研究员,主要从事果蔬保鲜研究。Tel:(025)84392409;E-mail:hortsq@163.com。

鲜样的差值。

1.2.3 果实硬度的测定参照 采用 TMS-PRO 质构仪测定<sup>[14]</sup>,测定条件:25 N 的感应元,选取水果穿刺模式,选用直径 2 mm 的不锈钢探头,果实穿刺距离 5 mm,检测速度为 30 mm/s,回程距离 40 mm,每个重复测 5 个果实,每个时间点测 15 个果实,取平均值,单位为 N。

1.2.4 果实可溶性固形物的测定 采用 PAL-1 数显糖度计测定<sup>[15]</sup>,分别将枇杷两侧的果肉切下,挤出汁液,进行读数,取平均值,单位为%。

1.2.5 果实可滴定酸的测定 采用酸碱滴定法测定<sup>[16]</sup>,主要酸以苹果酸(0.067 g/mmol)计。

1.2.6 枇杷果实脂氧合酶(lipoxygenase, LOX)的测定 参照陈昆松等的方法<sup>[17]</sup>,作了一定改进,枇杷冻样经液氮研磨器研磨后,取 1 g 左右,加入 5 mL 经 4 ℃ 预冷的 50 mmol/L (pH 值 7.0) 的磷酸缓冲液,10 000 × g (4 ℃) 离心 30 min,上清液用于 LOX 活性的测定。亚油酸溶液的配制:取 70 μL 亚油酸加入同体积的 tween-20,4 mL 无氧水,摇匀加入足量的 0.5 mol/L NaOH,得到清亮的溶液,以 0.2 mol/L 硼酸缓冲液 (pH 值 9.0) 定容到 25 mL。反应在 25 ℃ 下 1.0 cm 比色杯中进行,反应液加 2.775 mL (pH 值 5.5) 醋酸缓冲液,0.025 mL 亚油酸溶液,0.2 mL 酶液,摇匀于 234 nm 测定吸光度  $D_{234\text{ nm}}$  变化。加酶液 15 s 开始计时,每 15 s 读数 1 次,记录 1 min 内  $D_{234\text{ nm}}$  值的变化。以不加酶液(用酶提取液代替)作空白对照。酶活性以  $\Delta D_{234\text{ nm}}/(\text{min} \cdot \text{kg})$  表示。

1.2.7 丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量的测定 参考陈明木的方法<sup>[18]</sup>。称取混合均匀磨碎的枇杷样品 1 g 左右( $m$ ),加 8 mL 的 10% TCA 溶液于 10 mL 离心管中,在 4 ℃ 下

离心(10 000 r/min, 10 min),记录上层清液总体积  $V$ 。取 2 mL 上清液,加 2 mL 的 0.6% TBA 溶液,振荡混匀,沸水浴 15 min,冷却后离心,取上清液后分别测定吸光度  $D_{532\text{ nm}}$  与  $D_{600\text{ nm}}$ 。MDA 含量计算公式:MDA 含量 =  $(D_{532\text{ nm}} - D_{600\text{ nm}}) \times V \times 1\,000 / (155 \times d \times m)$ ,其中  $d$  为比色杯光程,155 为 1 mmol/L 丙二醛在 532 nm 处的吸光度。

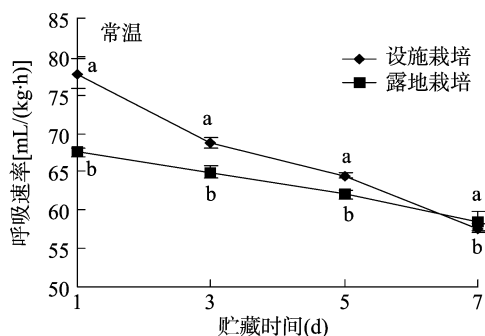
### 1.3 数据处理

本试验中所有数据用 Excel 软件整理作图,每次试验重复 3 次,取平均值,数据选用 SAS 9.4 软件进行方差分析,  $P < 0.05$  表示差异显著。

## 2 结果与分析

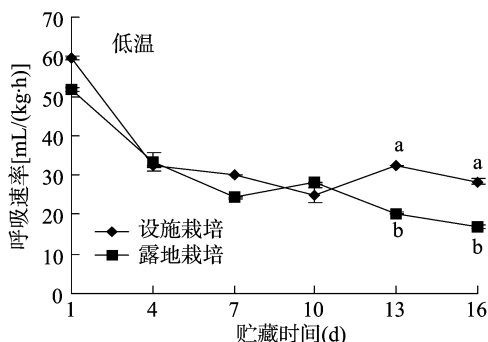
### 2.1 设施和露地栽培的枇杷在常温与低温下贮藏呼吸速率的变化

呼吸速率常用来表征果蔬贮藏寿命的重要指标。由图 1 所示,不同栽培模式的枇杷果实在常温与低温贮藏下呼吸速率在刚采收时均较高,随着贮藏时间延长呈现下降趋势,贮藏后期变化平稳,这与枇杷属于非跃变型呼吸水果的生理特性相关。在常温贮藏 1 d 开始,设施栽培的枇杷呼吸速率显著 ( $P < 0.05$ ) 高于露地栽培,贮藏结束时两者呼吸速率接近。在低温下设施和露地栽培的枇杷呼吸速率均呈现先下降后略上升再下降的趋势,其中设施栽培的枇杷在贮藏 10 d 后,露地栽培的枇杷在贮藏 7 d 后上升,但均没有出现明显增加的跃变峰。通过方差分析,贮藏 13 d 始,设施栽培的枇杷呼吸速率显著 ( $P < 0.05$ ) 高于露地栽培。贮藏结束时,设施栽培的枇杷呼吸速率为 28.4 mL/(kg · h),露地栽培的枇杷呼吸速率为 16.9 mL/(kg · h)。



不同小写字母表示同一贮藏时间设施栽培、露地栽培处理间差异显著( $P < 0.05$ )。下图同

图1 设施和露地栽培的枇杷在常温与低温下贮藏的呼吸速率变化



### 2.2 设施和露地栽培的枇杷在常温与低温下贮藏色差的变化

枇杷采后经历成熟衰老的过程,其中外观色泽会发生改变,最直观的是枇杷表皮由淡黄逐渐变为深黄。贮藏过程中枇杷与新鲜枇杷的色泽区别,即色差( $\Delta E$ )。由图 2 所示,随着贮藏时间延长, $\Delta E$  值逐渐增加。根据方差分析,在常温下贮藏 5 d 开始设施栽培的枇杷色差  $\Delta E$  显著 ( $P < 0.05$ ) 低于露地栽培的,贮藏结束,设施栽培的枇杷  $\Delta E$  达 5.2,露地栽培的枇杷  $\Delta E$  为 6.7。在低温贮藏前期,露地栽培的枇杷颜色变化大于设施,10 d 后设施栽培的枇杷色差增加明显,贮藏结束,设施栽培的枇杷  $\Delta E$  达 5.4,露地栽培的枇杷  $\Delta E$  为 5.1。

### 2.3 设施和露地栽培的枇杷在常温与低温下贮藏硬度的变化

果实硬度是判断果肉质地、反映果实耐贮性、衡量贮藏效果的重要指标之一。设施和露地栽培的枇杷硬度变化如图 3 所示,在常温贮藏时,果实硬度整体呈下降趋势,从贮藏 3 d 开始,设施栽培的枇杷硬度显著 ( $P < 0.05$ ) 高于露地栽培的,贮藏结束时设施与露地枇杷的硬度减少率分别是 18.7% 和 24.2%。低温贮藏时,设施栽培的枇杷硬度呈现略上升后下降(10 d 后)的趋势,露地栽培的枇杷果实硬度在 4 d 内迅速下降后变化平稳,10 d 后开始增加,贮藏结束时设施与露地栽培的枇杷果实与刚采收的枇杷硬度相比,变化量均为 2%

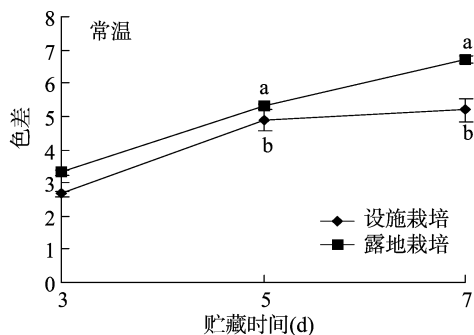


图2 设施和露地栽培的枇杷在常温与低温下贮藏的色差(ΔE)变化

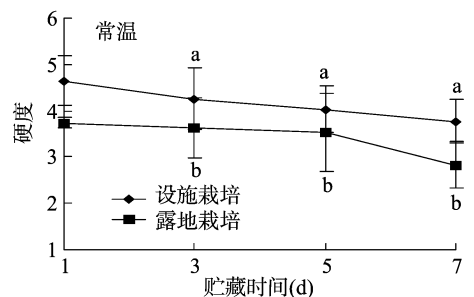
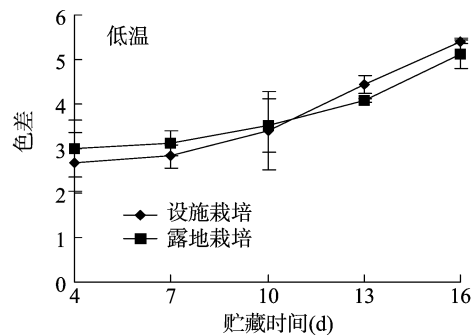
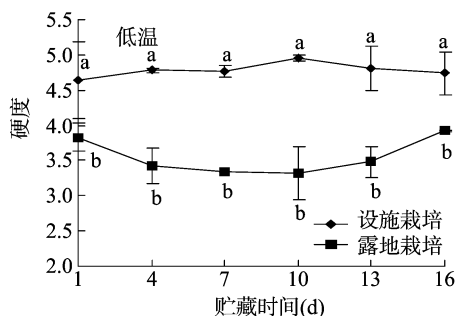


图3 设施和露地栽培的枇杷在常温与低温下贮藏的硬度变化



左右。在整个贮藏过程中设施栽培的枇杷果实硬度值显著 ( $P < 0.05$ ) 高于露地栽培, 分析原因: 一是与刚采收的枇杷硬度高低差异相关, 二是与不同栽培模式的枇杷在低温下的硬度趋势走向有关。

#### 2.4 设施和露地栽培的枇杷在常温与低温下贮藏可溶性固形物含量的变化

由图 4 所示, 2 种栽培模式的枇杷在常温和低温贮藏过程中均是刚采收的露地栽培的枇杷可溶性固形物含量要高于

设施栽培的, 且均是随着贮藏时间的延长, 可溶性固形物含量呈逐渐下降的趋势。在常温与低温贮藏过程中, 设施栽培的枇杷可溶性固形物含量均显著 ( $P < 0.05$ ) 低于露地栽培。贮藏结束时, 设施栽培的枇杷在常温与低温贮藏条件下可溶性固形物含量分别下降了 22.2% 和 16.3%; 露地栽培的枇杷分别下降了 24.5% 和 11.5%。可以说明低温贮藏条件能明显延缓 2 种栽培模式枇杷可溶性固形物含量的下降, 而且对露地栽培的枇杷可溶性固形物下降的抑制效果更好。

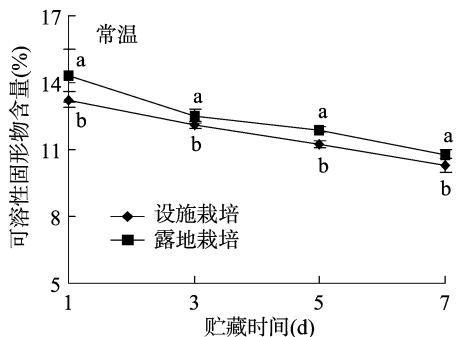
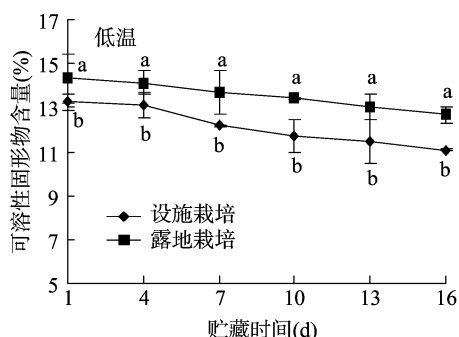


图4 设施和露地栽培的枇杷在常温与低温下贮藏的可溶性固形物含量变化



#### 2.5 设施和露地栽培的枇杷在常温与低温下贮藏可滴定酸含量的变化

随着贮藏进行, 枇杷果实的可滴定酸含量变化动态如图 5 所示, 贮藏过程中酸含量的下降是由于贮藏初期呼吸强度相对较高, 酸作为呼吸底物首先被消耗。常温贮藏至 5 d, 设施栽培的枇杷可滴定酸含量显著 ( $P < 0.05$ ) 高于露地栽培的。贮藏至 7 d, 设施栽培的枇杷可滴定酸含量急速下降, 且 2 种栽培模式的枇杷可滴定酸消耗量均超过一半, 设施和露地分别下降了 63.1% 和 52.3%。从低温贮藏 4 d 开始, 设施栽培的枇杷可滴定酸含量显著高于露地栽培的枇杷 ( $P < 0.05$ )。贮藏结束时, 设施和露地栽培分别下降了 36.0% 和

31.9%。由此可知, 设施栽培的枇杷在贮藏过程中可滴定酸消耗更快, 而且 2 种栽培模式的枇杷在低温下贮藏, 其可滴定酸的消耗量以及它们之间的差值要小于常温贮藏, 低温有利于减缓枇杷中可滴定酸含量的下降速度。

#### 2.6 设施和露地栽培的枇杷在常温与低温下贮藏固酸比的变化

固酸比可用来评价果实的风味和成熟度。如图 6 显示, 在贮藏过程中, 枇杷的固酸比总体呈现上升趋势, 主要由于可滴定酸含量下降速度高于可溶性固形物变化。在常温贮藏下露地栽培的枇杷在贮藏过程中固酸比初期要大于设施栽培, 在 5~7 d 时设施栽培的枇杷固酸比迅速增加, 比刚采收的增

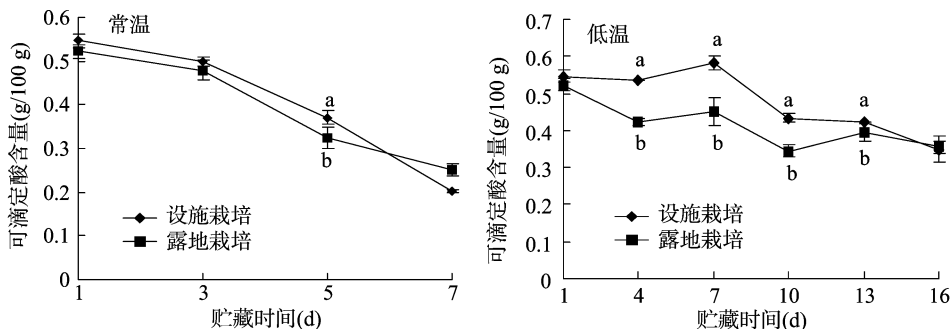


图5 设施和露地栽培的枇杷在常温与低温下贮藏的可滴定酸含量变化

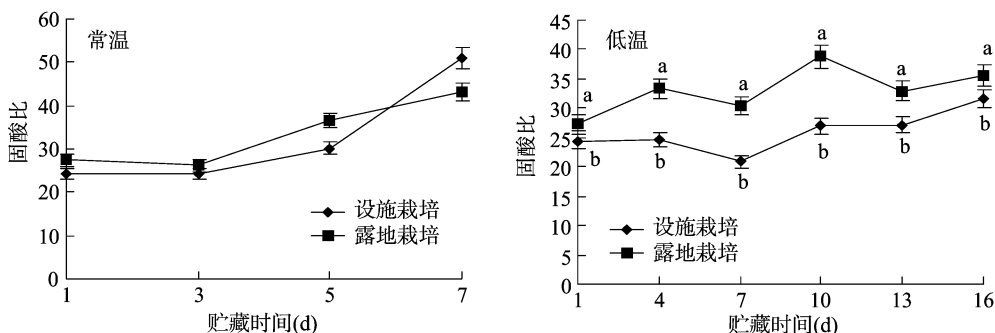


图6 设施和露地栽培的枇杷在常温与低温下贮藏的固酸比变化

加2倍之多,贮藏结束,露地栽培的枇杷固酸比增加了57.8%。在低温贮藏条件下露地栽培的枇杷固酸比显著( $P < 0.05$ )高于设施栽培,贮藏16 d时,设施栽培的枇杷固酸比增加了31%,露地栽培的增加了30%。对于2种栽培模式的枇杷,常温下的固酸比均大于低温下贮藏的枇杷,说明温度对果实风味变化影响较大,温度越高,果实的成熟度也相对较高。

## 2.7 设施和露地栽培的枇杷在常温与低温下贮藏 LOX 活性的变化

植物组织膜脂过氧化作用的启动需要 LOX,催化细胞中

的脂类物质与活性氧物质反应生成过氧化产物<sup>[19]</sup>。如图7所示,果实常温贮藏初期 LOX 活性逐渐上升,贮藏3 d开始,设施栽培的枇杷 LOX 活性显著( $P < 0.05$ )高于露地栽培,在贮藏5 d出现活性高峰后下降,此时设施与露地栽培的枇杷 LOX 活性分别是刚采收枇杷的2.04倍、1.11倍。在低温贮藏初期2种栽培模式的枇杷 LOX 活性与常温下变化呈现一致性,都在逐渐上升;到了贮藏中期,露地和设施栽培的枇杷经历活性高峰到活性下降的过程;低温贮藏13 d以后,露地栽培的枇杷 LOX 活性显著( $P < 0.05$ )高于设施栽培。

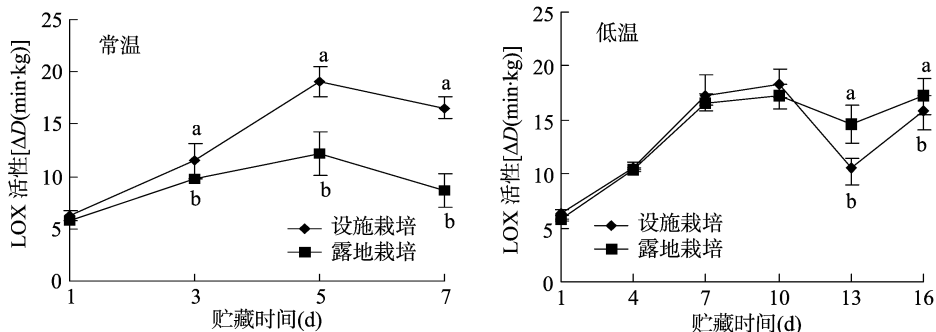


图7 设施和露地栽培的枇杷在常温与低温下贮藏的 LOX 活性变化

## 2.8 设施和露地栽培的枇杷在常温与低温下贮藏 MDA 含量的变化

MDA 是膜脂过氧化产物,其含量变化率与膜脂过氧化程度关系密切。设施与露地栽培的枇杷在常温与低温贮藏过程中 MDA 含量变化如图8所示。随着贮藏时间延长,MDA 含量逐渐增加。常温与低温贮藏1 d开始,设施栽培的枇杷 MDA 含量显著( $P < 0.05$ )低于露地栽培,这是由采前决定的。但设施与露地栽培的枇杷贮藏结束时与刚采收的枇杷相

比,常温下果实 MDA 增加率分别是47.5%和33.2%,低温下果实 MDA 增加率分别为35.2%和35.1%。在不同温度调控下,由贮藏过程表现出来的设施栽培的枇杷要比露地栽培过氧化速度快,MDA 含量积累的多。

## 3 讨论与结论

枇杷果实采后贮藏研究主要集中于品质维持技术的研发以及相关的调控机制,较少涉及采前栽培措施对于采后贮藏

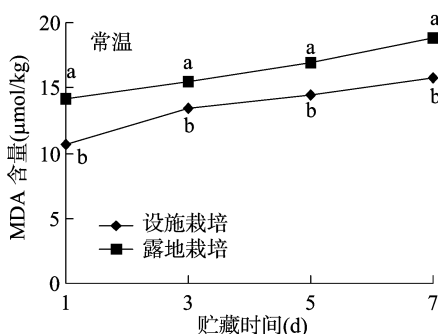
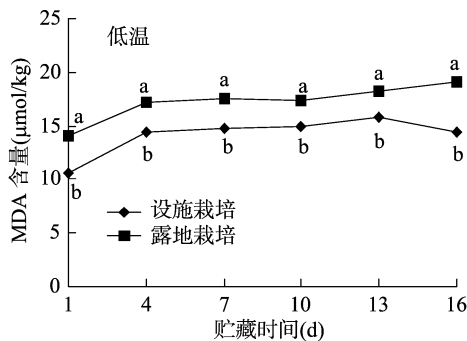


图8 设施和露地栽培的的枇杷在常温与低温下贮藏的MDA含量变化



品质和耐贮性的影响<sup>[20]</sup>。

### 3.1 设施和露地栽培对常温与低温贮藏枇杷生理、感官特性的影响

设施栽培的枇杷呼吸代谢旺盛,色差值上升和硬度下降的速度缓慢,设施模式提高了环境温差,能有效改进枇杷的生长微环境,改善果皮外观和果肉细胞壁的组成与结构<sup>[7]</sup>。低温贮藏条件有利于降低呼吸强度,延缓色差值的增加和硬度的下降,并且弱化设施栽培与露地栽培方式之间的差异。露地栽培的枇杷硬度在低温贮藏后期(13 d)有上升趋势,但整体值变化不大,与Cao等得出“宁海白”枇杷在1℃贮藏15 d后硬度和木质素均上升明显的结果<sup>[21]</sup>不完全相同,一是枇杷品种的差异,二是贮藏温度的高低。硬度上升的现象在其他果实如丰水梨、杏、桃子中也出现过,可能是低温引起果胶稳定性增强,形成紧密的交连骨架所致<sup>[22]</sup>。

### 3.2 设施和露地栽培对常温与低温贮藏枇杷风味品质的影响

露地栽培的枇杷可溶性固形物含量、固酸比均高于设施栽培,但可滴定酸含量要低于设施栽培,设施模式有利于枇杷有机酸的积累和代谢<sup>[8]</sup>。不管在常温还是低温贮藏过程中,2种栽培模式的枇杷果实可溶性固形物的损失率相近,主要是可滴定酸含量存在明显的变化,而且差异主要是在常温贮藏。设施栽培的枇杷可滴定酸的损失率高于露地栽培,也就导致了露地栽培的枇杷固酸比较设施栽培的高,风味品质保留更好,这与设施栽培枇杷有较强的呼吸作用相关,消耗大量作为底物的酸,说明呼吸强度的强弱在一定程度上影响着枇杷果实的酸含量<sup>[16]</sup>。同时,低温条件下可明显抑制2种栽培方式的枇杷可滴定酸含量的下降和固酸比的增加,而且差异逐渐缩小,因此就风味品质而言,低温条件贮存对栽培模式的选择意义不大。

### 3.3 设施和露地栽培对常温与低温贮藏枇杷耐贮性的影响

枇杷的耐贮性可由脂质过氧化作为反映指标,LOX及其过氧化产物直接参与组织的成熟衰老进程<sup>[23]</sup>,而且LOX参与果实风味变化、色素代谢以及启动果实后熟软化<sup>[24]</sup>。在果实采后初期,LOX表现一定活性呈上升趋势,果实成熟后期,LOX活性显著下降,枇杷果实采后初期LOX活性增加主要与果实成熟的启动和成熟衰老伴随的膜功能丧失有关<sup>[19]</sup>。Song等认为LOX活性的增加可能与果实中含有较高的超氧化物含量有关<sup>[25]</sup>,吴敏等研究的“玉露”桃子在20℃贮藏,LOX活性于采后5 d到达活性高峰<sup>[19]</sup>,与本研究2种栽培方式的枇杷在常温下变化趋势一致。低温贮藏后期底物不饱和脂肪酸的积累,引起LOX自我活化,表现为LOX活性再次

上升,说明了LOX对果实后熟衰老的影响受到温度等环境因素的影响。

LOX催化生成的活性氧和氧自由基直接作用于膜磷脂中的结合态不饱和脂肪酸,导致膜磷脂双分子层结构的破坏<sup>[26]</sup>。MDA作为细胞膜脂过氧化作用的产物之一,用来衡量膜脂过氧化的程度<sup>[27]</sup>。设施栽培的枇杷MDA含量增加速率明显,与其激活的LOX活性较高相关,果实LOX活性上升越明显,MDA积累越多。

根据设施和露地栽培的枇杷在常温与低温贮藏的生理、感官特性、风味品质、耐贮性指标分析,贮藏温度对2种栽培模式的枇杷表现影响不同。与露地栽培的枇杷相比,设施栽培能够实现枇杷提早上市,改善枇杷果皮外观和果肉质地,但在采后常温贮藏过程中因其较强的呼吸作用,酸作为底物被大量消耗,而且脂氧合酶易被激活,过氧化产物增加明显,枇杷果实风味品质损失快,易衰老,耐贮性差。低温条件下2种栽培模式的枇杷采后品质和生理特性的差异明显缩小。

### 参考文献:

- [1] 邵海燕. 枇杷、水蜜桃低温耐贮性和抗冷害保鲜技术研究[D]. 南京:南京农业大学,2008.
- [2] 杨继,范芳娟,周慧娟,等. 白沙枇杷宁海白设施栽培关键技术[J]. 浙江农业科学,2016,56(1):73-75.
- [3] 张朝阳,严昊炜,李浩宇,等. 不同栽培方式对太湖莼菜产量及品质的影响[J]. 现代农业科技,2017(11):73-74.
- [4] 周玲玲,张黎杰,姜若勇. 设施和露地栽培对金针菜产量和品质的影响[J]. 上海农业学报,2017,33(3):105-108.
- [5] 张克坤,王海波,王孝娣,等. 意大利葡萄设施延迟栽培挂树贮藏期间果实质地变化规律研究[J]. 中国果树,2016(2):7-12.
- [6] 黄颖宏,鄢红丽,王鹏凯. 杨梅大棚设施栽培研究[J]. 安徽农业科学,2017,45(19):23-24.
- [7] 施春晖,骆军,王晓庆,等. ‘红阳’猕猴桃设施栽培与露地栽培比较研究[J]. 上海农业学报,2014,30(6):24-28.
- [8] 黄海静,符国槐,杨再强,等. 设施栽培对杨梅生长发育和品质的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2012,36(6):47-52.
- [9] 张望舒,郑金土,朱长青,等. 大棚栽培对“宁海白”白沙枇杷果实生长发育和品质特性的影响[J]. 中国南方果树,2010,39(3):29-32.
- [10] 陈青英,陈俊伟,徐红霞,等. 大棚早钟6号枇杷果实发育与品质积累特性[J]. 浙江农业学报,2014,26(5):1197-1201.
- [11] 许晶明. 设施栽培对早钟6号枇杷果实生长的影响[J]. 福建农业学报,2011,26(6):1142-1145.

周罗娜,王 辉,刘 嘉,等. 马铃薯片的热泵干燥与干燥动力学拟合[J]. 江苏农业科学,2019,47(16):208-213.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.16.047

# 马铃薯片的热泵干燥与干燥动力学拟合

周罗娜<sup>1</sup>,王 辉<sup>1</sup>,刘 嘉<sup>1</sup>,刘永翔<sup>1</sup>,雷尊国<sup>1</sup>,叶发银<sup>2</sup>,计保芮<sup>2</sup>

(1. 贵州省农业科学院贵州省生物技术研究所,贵州贵阳 550006; 2. 西南大学食品科学学院,重庆 400700)

**摘要:**以马铃薯为原料,拟探索在热泵干燥的过程中,马铃薯片的切片厚度、漂烫时间、干燥温度、马铃薯品种及酸、盐处理对干燥速率的影响。结果表明,马铃薯片的切片厚度、漂烫时间、干燥温度对干燥速率均有较大影响,当切片厚度为 2 mm,漂烫时间为 60 s,干燥温度为 80 ℃时,马铃薯片的干燥速率最快;马铃薯品种不同,干燥速率也有所不同,其中品种为费乌瑞它的马铃薯片干燥速率最快;马铃薯片经过酸、盐预处理均能提高热泵干燥的干燥速率,其中乳酸、氯化钠提高得最多。通过模型拟合,得出符合马铃薯片热泵干燥动力学特性的模型为 Page 模型,可以准确地预测马铃薯片热风干燥的过程,从而为实际生产提供理论依据。

**关键词:**马铃薯片;热泵干燥;模型拟合;动力学拟合

**中图分类号:** TS215 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)16-0208-06

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)是 1 万年前起源于南美洲安第斯山脉中心地区的作物,其适应性强、耐瘠薄干旱、产量高,可供人类食用部分的占比高达 85%<sup>[1]</sup>。经过 5 个世纪的

发展,马铃薯逐渐扩展到欧洲、非洲和亚洲,现已成为继小麦、稻谷、玉米之后的世界第四大粮食作物。马铃薯作为日常饮食中的一部分,是钾、镁、膳食纤维、维生素 B<sub>6</sub> 的重要来源<sup>[2]</sup>,老少皆宜,易于消化。

马铃薯除了可鲜食外,在云南、贵州、四川等地,人们喜爱将其切成薄片后晒成马铃薯干片。每次食用前,将马铃薯干片放入油锅中炸透,再撒入适量盐或辣椒面,即可得到一道美味可口的菜肴。在农村,几乎每家每户都能够晒出这种马铃薯片。但是,运用自然晾晒方法制作出的马铃薯片,消耗时间长,易褐变,尤其是冬季在缺少阳光的高原地区。

热泵干燥作为农副产品的干燥方法,近年来成为人们关注的焦点,在许多农副产品中均有研究,如枸杞<sup>[3]</sup>、番木瓜<sup>[4]</sup>、香菇<sup>[5]</sup>、柠檬<sup>[6]</sup>、辣椒<sup>[7]</sup>等。热泵干燥法具有耗能少、操作简单、干燥效率高的优点。运用热泵干燥技术干燥马铃

收稿日期:2018-05-14

基金项目:贵州省科技重大专项(编号:黔科合重大专项字[2014]6016);贵州省科研机构服务企业行动计划[编号:黔科合企企(2015)4005];贵州省第五批创新人才基地建设项目(编号:黔人领发[2016]22号);贵州省农业科学院创新专项(编号:黔农科院科技创新[2017]07号)。

作者简介:周罗娜(1992—),女,贵州贵阳人,硕士,研究实习员,研究方向为食品加工。E-mail:343195567@qq.com。

通信作者:王 辉,硕士,助理研究员,研究方向为食品加工。E-mail:wanghui880101@163.com。

[12]李 方,卢立新. 果蔬微孔膜气调包装模型与试验验证[J]. 农业工程学报,2010,26(4):375-379.

[13]邓朝军,吴 琼,许奇志,等. 不同成熟度贵妃枇杷果实色泽与糖酸含量关系[J]. 热带作物学报,2016,37(9):1747-1751.

[14]马庆华,王贵禧,梁丽松. 质构仪穿刺试验检测冬枣质地品质方法的建立[J]. 中国农业科学,2011,44(6):1210-1217.

[15]周俊国,鲁晓晓,杨道印,等. 南瓜果肉可溶性固形物含量与叶、花、果肉色泽的相关性分析[J]. 中国瓜菜,2016,29(9):6-8.

[16]王海宏. 白玉枇杷采后生理特性及贮藏技术的研究[D]. 南京:南京农业大学,2007.

[17]陈昆松,徐昌杰,许文平,等. 猕猴桃和桃果实脂氧合酶活性测定方法的建立[J]. 果树学报,2003,20(6):436-438.

[18]陈明木. 魔芋葡甘聚糖涂膜用于龙眼常温保鲜的研究[D]. 福州:福建农林大学,2004.

[19]吴 敏,陈昆松,张上隆. 桃果实采后成熟过程中脂氧合酶活性变化[J]. 园艺学报,1999,26(4):19-23.

[20]吴大军,陈妙金,孙奇勇,等. 采前避雨栽培影响桃果实采后贮藏品质[J]. 果树学报,2016,33(1):96-105.

[21]Cao S F, Yang Z F, Zheng Y H. Sugar metabolism in relation to

chilling tolerance of loquat fruit [J]. Food Chemistry, 2013, 136 (1):139-143.

[22]胡花丽,李鹏霞,王 炜,等. 不同气体成分对丰水梨果实采后品质和耐贮性的影响[J]. 江苏农业学报,2010,26(2):400-405.

[23]吴 敏,陈昆松,张上隆,等. 桃果实采后脂氧合酶活性和膜脂脂肪酸组分的变化[J]. 园艺学报,2001,28(3):218-222.

[24]李志强,刘春泉,李大婧,等. 脂氧合酶在果实成熟衰老中的功能研究进展[J]. 江西农业学报,2009,21(7):123-126.

[25]Song H W, Yuan W M, Jin P, et al. Effects of chitosan/nano-silica on postharvest quality and antioxidant capacity of loquat fruit during cold storage [J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 119: 41-48.

[26]吴锦程,吴毕莎,黄审剑,等. 枇杷幼果 PLD 和 LOX 对低温胁迫的响应[J]. 植物科学学报,2015,33(2):203-209.

[27]Ye J J, Li J R, Han X X, et al. Effects of active modified atmosphere packaging on postharvest quality of shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*) stored at cold storage [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2012, 11(3):474-482.