

周煜棉,蔡小林,潘介春,等. 龙眼成熟过程中外观色泽与品质变化及其相关性分析[J]. 江苏农业科学,2018,46(7):189-193.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.07.047

# 龙眼成熟过程中外观色泽与品质变化及其相关性分析

周煜棉,蔡小林,潘介春,刘红红

(广西大学农学院,广西南宁 530004)

**摘要:**以龙眼品种石硖为试材,于花后 87 d 至采果期进行动态取样,用色差计陆续观测果皮色泽参数( $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 、 $h^\circ$ 、 $C$ ),测定龙眼果实中可溶性固形物、可滴定酸、维生素 C 含量及单果质量,并对果实色泽与品质的动态变化进行相关性分析且建立线性回归方程。结果表明,在成熟过程中,果皮色泽参数  $a^*$ 、单果质量、可溶性固形物含量、固酸比不断增加; $h^\circ$ 值和可滴定酸含量不断减少; $L^*$ 、 $b^*$ 、 $C$  值、维生素 C 含量先增加后减少;相关性分析结果表明, $L^*$  值和  $a^*$  值与单果质量、可溶性固形物含量、固酸比及维生素 C 含量呈极显著正相关, $L^*$  值与可滴定酸含量呈显著负相关, $a^*$  值与可滴定酸含量呈极显著负相关;此外, $b^*$  值与可溶性固形物含量和维生素 C 含量呈极显著正相关;而  $h^\circ$  值与单果质量、可溶性固形物含量及固酸比呈极显著负相关,与维生素 C 含量显著负相关,还与可滴定酸含量呈极显著正相关; $C$  值与可溶性固形物含量和维生素 C 含量呈极显著正相关,与单果质量呈显著正相关;此外通过多元逐步回归建立了根据果皮色泽估测单果质量和果实品质的回归方程: $Y_{FW} = 55.386 - 0.787a^* + 0.277C - 0.693h^\circ$ ;  $Y_{TA} = -1.67 + 0.04h^\circ$ ;  $Y_{TSS} = 123.03 + 0.852L^* - 2.978a^* + 0.878C - 2.028h^\circ$ ;  $Y_{TSS/TA} = 622.816 + 5.678C - 8.202h^\circ$ ;  $Y_{vc} = -2.706 + 0.056L^*$ 。龙眼果实成熟过程中,果皮色泽与果实单果质量、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、维生素 C 含量密切相关,说明果皮色泽可以为判断果实发育情况和预判果实成熟期提供一定的参考依据。

**关键词:**龙眼;果皮色泽;品质;逐步回归分析;相关性分析

**中图分类号:** S667.201 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)07-0189-04

龙眼 (*Dimocarpus longan* Lour.) 是我国南方特色水果之一,果实清甜可口,营养丰富<sup>[1]</sup>。石硖是广西主栽品种之一,其成熟期为 7 月下旬至 8 月上旬,适逢高温暑热,成熟快、采收期短、完熟后退糖是其重要的成熟特征<sup>[1]</sup>。因此实现果实品质的实时监测具有重要意义。

果实外观色泽分肉眼测度和仪器测量,前者主要以语言描述为主,如偏红、偏黄或黄绿、果面光滑有亮泽,后者则将色泽数字化,以数值形式表示,具有较高的客观性、公正性及直观性<sup>[2]</sup>。色差是对个体色泽差异的一种仪器度量方式<sup>[2]</sup>,因而色差计可以简便快速且无损检测,在对虾新鲜度检验<sup>[3]</sup>、木材加工<sup>[4]</sup>、茶叶分级<sup>[5]</sup>、农作物育种<sup>[6]</sup>等多个领域广泛应用。目前国际上通常采用亨特 (Hunter) Lab 标度来检测色泽,并由 Lab 值建立 HSI 颜色模型,模型的标准参数包括色调 (Hue,简称 H)、饱和度 (Chroma,简称 C) 和明度 (Value,简称 L)<sup>[7]</sup>。前人研究结果表明,色差值与色素含量之间相关性较高,如李果实亮度 (L)、果肉色调角 ( $H^\circ$ ) 分别与果皮、果肉中花色苷、类胡萝卜素含量均呈显著负相关和极显著负相关

关系<sup>[8]</sup>;芒果果皮  $a^*$  值与  $\beta$ -类胡萝卜素含量呈极显著正相关, $b^*$  值与玉米黄质、 $\alpha$ -胡萝卜素含量呈显著正相关,色彩饱和度  $c^*$  与番茄红素呈极显著正相关<sup>[9]</sup>;草莓中花色苷与亮度  $L$ 、 $b$  呈负相关,与  $a^*$ 、 $c^*$  呈正相关<sup>[10]</sup>。因此理论上可以通过外观色泽变化较为准确地了解果实内在品质动态变化。有研究表明,塔罗科血橙果实可溶性固形物含量、固酸比、维生素 C 含量与果面色差  $L^*$ 、 $b^*$  值均呈极显著负相关,与  $a^*$  值呈显著正相关<sup>[13]</sup>;但也有研究表明,色差值与果实品质关系不大,如芒果果肉单糖含量与果实色差关系不显著<sup>[9]</sup>。可见不同水果种类间色泽与果实品质关系存在差异。

龙眼果皮色泽变化以肉眼辨别较为困难,郑少泉将龙眼果皮颜色通过色差计测量以数值的形式直观地了解到龙眼果皮色泽的动态变化<sup>[14]</sup>。龙眼果皮色泽与果实品质变化前人也有报道<sup>[15]</sup>,但未见将成熟期果皮色泽与品质变化及其相关性整体分析的报道,基于此本试验研究了龙眼果成熟过程中(假种皮包核后至果实成熟)果皮色泽参数与果实品质动态变化,并通过皮尔逊相关系数和多元逐步回归分析了两者的关系,以期应用果皮外观色泽参数快速估测龙眼果实内在品质情况提供参考。

## 1 材料与与方法

### 1.1 试验材料和地点

试验于 2016 年 6—8 月,在广西大学农学院果树丰产园进行,选择正常管理、树势一致、无病虫害的 4 株石硖龙眼,树龄为 30 年,株行距 5 m×4 m。

收稿日期:2016-11-09

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项资金(编号:CARS-33-09);现代农业产业技术体系建设(广西荔枝龙眼创新团队)项目(编号:nycytxgtd-03-12)。

作者简介:周煜棉(1992—),男,广西梧州人,硕士研究生,研究方向为果树栽培与生理。E-mail:499101300@qq.com。

通信作者:潘介春,副教授,主要从事果树栽培生理及育种工作。E-mail:markpan2004@126.com。

## 1.2 试验设计

在每株树的东、西、南、北方向各选择 4 个果穗,挂牌标记,其中每个方向的 2 个果穗每 7 d 采样 1 次用于果实成熟阶段色泽参数及果实品质指标的测定。开花时间为 4 月 5 日。采样日期为 2016 年 6 月 30 日至 8 月 4 日。果实成熟为花后 122 d,即 8 月 4 日。试验进行 4 次重复。

## 1.3 指标测定

**1.3.1 色泽参数测定** 每个果实测量 2 次赤道线上的不同部位,用深圳三恩驰色差计测定果皮色差值( $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ ),并以测得的  $a^*$  值、 $b^*$  值计算色彩饱和度(C 值)和色度角( $h^\circ$ )。C 值计算公式为: $C = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$ 。色度角计算公式为: $h^\circ = \arctan(b^*/a^*)/6.282\ 3 \times 360^\circ$  ( $a^* \geq 0$  且  $b^* \geq 0$ );  $h^\circ = \arctan(b^*/a^*)/6.282\ 3 \times 360^\circ + 180^\circ$  ( $a^* < 0$  且  $b^* > 0$ )<sup>[16]</sup>。

**1.3.2 品质指标测定** 用万分之一电子天平测定果实质量;用手持式糖度计测定果肉可溶性固形物(TSS)含量;用酸碱滴定法测定果实可滴定酸(TA)含量<sup>[17]</sup>,并计算固酸比 TSS/TA;用 2,6-二氯酚酚法测定果实维生素 C 含量<sup>[17]</sup>。

## 1.4 数据分析

用 WPS、Excel 进行数据统计与制图,用 IBM SPSS 19.0 进行显著性分析、相关性分析和多元逐步回归分析。

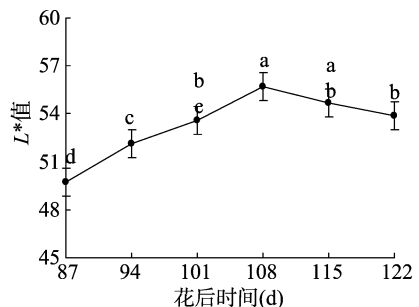


图1 龙眼成熟过程中果皮  $L^*$  值变化

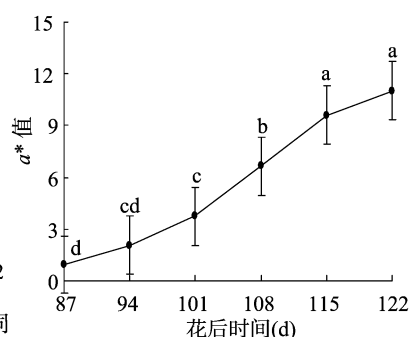


图2 龙眼成熟过程中果皮红绿值  $a^*$  值变化

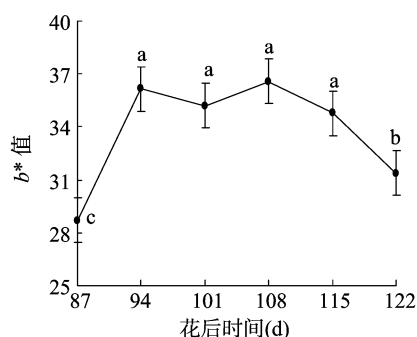


图3 龙眼成熟过程中果皮红绿值  $b^*$  值变化

**2.1.3 综合色泽(色度角  $h^\circ$ 、色彩饱和度 C)变化** 由图 4 可见,色彩饱和度 C 值总体变化与黄蓝值  $b^*$  变化趋势较为一致,为先升后降。成熟过程中,C 值整体为增加的趋势,说明果面颜色越鲜明,果皮颜色越趋于黄色,实际果皮色彩也由黄绿相间渐趋为单一的黄色,花后 94 d 比花后 87 d 增加了 26.27%。至花后 108 d 达最高值而后快速下降,这主要与  $b^*$  值下降较快有关。

图 5 表明,整个成熟过程中  $h^\circ$  一直呈现下降趋势,成熟阶段  $h^\circ$  下降较快,花后 87、94 d 及花后 94、101 d 下降不显著,而花后 108、115 d 至采摘当日均呈显著下降趋势,果皮颜色实际变化也表现出绿色、黄绿色、淡黄色、棕黄色的变化。

## 2.2 单果质量和品质变化

**2.2.1 单果质量变化** 如图 6 所示,龙眼单果质量的变化曲线为一直上升,以采摘当天为分界点。在成熟过程中,果实不断积累水分和养分,表现为质量累积、单果质量增加。在成熟前期(采前 35 d 至花后 94 d)为假种皮迅速增长阶段,差异达到显著水平,花后 101 d 至花后 115 d 均呈显著增加趋势,单果质量累积速率较快,此时也是采取相应栽培措施(施肥、灌水等)的关键期。

## 2 结果与分析

### 2.1 龙眼成熟过程中色泽参数变化

**2.1.1 亮度值  $L^*$  变化** 图 1 表明,成熟阶段果皮亮度值  $L^*$  先升后降,至花后 108 d 左右达到最高值 55.73,下降过程变化缓和,采摘时果皮  $L^*$  与花后 108 d 相比,下降了 3.30%。 $L^*$  值上升阶段不同成熟期差异显著( $P < 0.05$ ,下同),这与果面迅速转黄有关<sup>[15]</sup>;而  $L^*$  值下降阶段各成熟期(花后 115、122 d)差异不显著。

**2.1.2 红绿值  $a^*$ 、黄蓝值  $b^*$  变化** 由图 2 可知,整个成熟过程中, $a^*$  值呈现上升趋势。花后 115、122 d 与花后 108 d 果面  $a^*$  存在显著性差异,花后 108 d 与花后 94、101 d 果面  $a^*$  差异显著,花后 87、94 d 与花后 101 d 果面  $a^*$  差异显著。前期的显著差异性可能与叶绿素加速分解有关,而后期则可能与类胡萝卜素迅速积累有关。

由图 3 可见, $b^*$  值变化与  $L^*$  值变化较为相似,也表现出先升后降的趋势,且成熟阶段  $b^*$  值也以花后 108 d 达最高值 36.56,且花后 87、94 d 及花后 115 d 和采摘当天分别达到显著差异水平,此时为果皮迅速退绿转黄期,其他各成熟期差异不显著;但花后 101 d 黄蓝值  $b^*$  略有下降,这与该日采摘 2 h 前降水有关还是与果皮内在色素积累变化有关,还需进一步研究。

**2.2.2 内在品质变化** 可溶性固形物、可滴定酸含量与果实风味品质密切相关。可溶性固形物主要指可溶性糖类,可以衡量水果成熟情况。由图 7 所示,在整个成熟过程中,可溶性固形物含量总体呈增加的趋势,成熟前期可溶性固形物均表现显著增加趋势,其中花后 94 d 比花后 87 d 增加 50.18% 且表现增加速率最快,花后 108 d 后可溶性固形物累积速率缓慢,此时接近成熟。

由图 8 可知,可滴定酸含量的变化采前与可溶性固形物变化相反,表现出可滴定酸含量持续下降,但各成熟期间差异多不显著,花后 115 d 至采摘当日可滴定酸含量下降 33.33% 且表现最快。

由图 9 可知,固酸比是果实风味品质综合指标,该值更能全面反映果实风味情况。成熟期间,固酸比快速上升,在成熟前期和后期增加速度较快,达到显著水平,前期主要与 TSS 快速积累而酸含量下降有关,后期则是酸含量下降起主导作用。

由图 10 可知,维生素 C 在整个成熟期间动态变化曲线表现为先升后降,其成熟阶段积累较快,各采样日均达显著差异,花后 108 d 达最高含量,为 0.43 mg/g,而后下降至采摘日的 0.34 mg/g,降幅达 20.93%,这与林河通等的试验结果<sup>[18]</sup>相似。

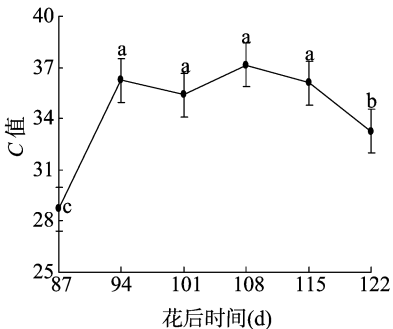


图4 龙眼成熟过程中果皮色彩饱和度  $C$  值变化

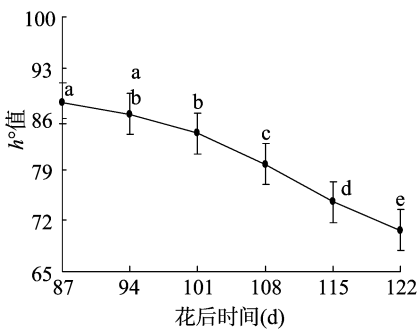


图5 龙眼成熟过程中果皮色度角  $h^\circ$  值变化

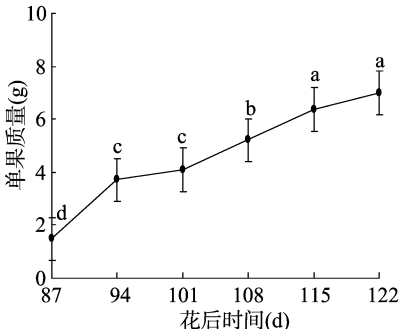


图6 龙眼成熟过程中单果质量变化

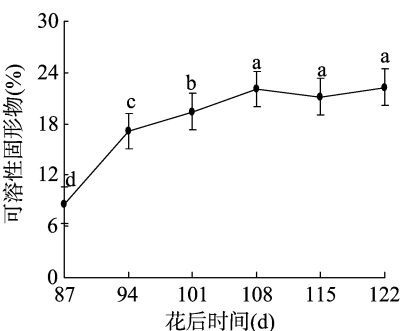


图7 龙眼成熟过程中可溶性固形物含量变化

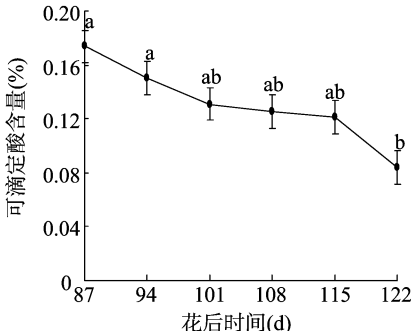


图8 龙眼成熟过程中可滴定酸含量

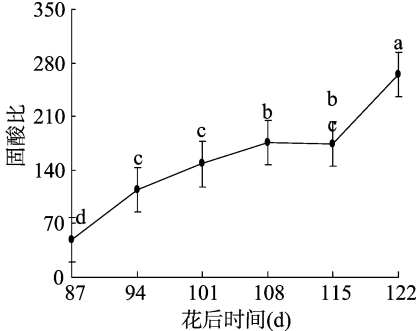


图9 龙眼成熟过程中固酸比变化

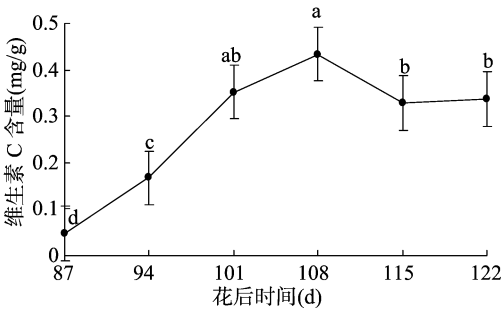


图10 龙眼成熟过程中维生素 C 含量变化

2.3 龙眼果皮色泽与内在品质相关性 & 多元逐步回归分析

2.3.1 相关性分析 由表 1 可知,亮度值  $L^*$  和红绿值  $a^*$  与单果质量、可溶性固形物含量、固酸比及维生素 C 含量呈极显著正相关,  $L^*$  值与可滴定酸含量呈显著负相关,  $a^*$  值与可滴定酸含量呈极显著负相关;此外,黄蓝值  $b^*$  与可溶性固形物含量和维生素 C 含量呈极显著正相关;而色度角  $h^\circ$  与单果质量、可溶性固形物含量及固酸比呈极显著负相关,与维生素 C 含量显著负相关,与可滴定酸含量呈极显著正相关;色彩饱和度  $C$  与可溶性固形物含量和维生素 C 含量呈极显著正相关,与单果质量成显著正相关。

表 1 龙眼成熟期间果皮色泽与果实品质相关性

| 品质指标     | 相关系数     |           |          |           |          |
|----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
|          | $L^*$    | $a^*$     | $b^*$    | $h^\circ$ | $C$      |
| 单果质量     | 0.697 ** | 0.917 **  | 0.277    | -0.907 ** | 0.482 *  |
| 可溶性固形物含量 | 0.879 ** | 0.720 **  | 0.612 ** | -0.686 ** | 0.761 ** |
| 可滴定酸含量   | -0.437 * | -0.591 ** | -0.13    | 0.595 **  | 0.267    |
| 固酸比      | 0.645 ** | 0.838 **  | 0.195    | -0.840 ** | 0.388    |
| 维生素 C 含量 | 0.870 ** | 0.551 **  | 0.563 ** | -0.511 *  | 0.666 ** |

注:“\*”“\*\*”“\*\*\*”分别表示在 0.05、0.01 水平上显著相关。下表同。

2.3.2 多元逐步回归分析 由以上相关性分析结果可知,果皮色泽参数与果实品质之间关系密切,为进一步准确描述其间存在的相关性,分别以单果质量、可滴定酸含量、可溶性固形物含量、固酸比和维生素 C 含量作为因变量,5 个色泽参数作为协变量进行逐步回归分析,建立典型回归方程(表 2)。在试验统计中,由  $F$  值、 $P$  值和决定系数  $R^2$  综合判定,由单果质量、可滴定酸含量、可溶性固形物含量和维生素 C 含量为因变量建立的线性回归方程拟合程度均达极显著水平,而由固酸比为因变量建立的线性回归方程拟合程度达显著水平。标准偏回归系数越大说明该变量对因变量的决定作用越

大<sup>[19]</sup>,可知单果质量主要由  $a^*$ 、 $C$  和  $h^\circ$  决定,且  $h^\circ$  的标准回归系数最大,其次为  $a^*$ ,最后是  $C$ ;可滴定酸含量仅由  $h^\circ$  决定;可溶性固形物含量由  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $h^\circ$  和  $C$  决定,  $a^*$  和  $h^\circ$  为负效应,而  $L^*$  和  $C$  的影响力相对较小;固酸比由  $h^\circ$  和  $C$  决定;维生素 C 含量只由  $L^*$  决定。Durbin - Watson 统计量越接近于 2 说明线性回归模型的模拟效果越好,其中以维生素 C 含量为因变量建立的线性回归方程 DW 值为 2.041,最接近 2,其次为单果质量(DW 值为 2.145),而可滴定酸含量的线性回归模型的 DW 值(2.559)距离 2 最远,这说明龙眼可滴定酸含量与果皮色泽有相关性,但并不是简单的线性回归关系。

表 2 多元线性逐步回归分析

| 线性回归方程   | <i>F</i> 值 | 相关系数平方<br>( <i>R</i> <sup>2</sup> ) | DW 值  | 标准偏回归系数  |
|--|------------|-------------------------------------|-------|--|
| $Y_{FW} = 55.386 - 0.787a^* + 0.277C - 0.693h^\circ$             | 134.376 ** | 0.953                               | 2.145 | $P_{a^*} = -1.642; P_c = 0.461; P_{h^*} = -2.466$              |
| $Y_{TA} = -1.67 + 0.04h^\circ$                                   | 12.041 **  | 0.354                               | 2.559 | $P_{h^*} = -0.595$   |
| $Y_{TSS} = 123.03 + 0.852L^* - 2.987a^* + 0.878C - 2.028h^\circ$ | 76.513 **  | 0.942                               | 2.176 | $P_{L^*} = 0.380; P_{a^*} = -2.393; P_c = 0.561; P_h = -2.777$ |
| $Y_{TSS/TA} = 622.816 + 5.678C - 8.202h^\circ$                   | 35.074 *   | 0.770                               | 1.600 | $P_c = 0.258; P_h = -0.798$                                    |
| $Y_{VC} = -2.706 + 0.056L^*$                                     | 68.222 **  | 0.756                               | 2.041 | $P_{L^*} = 0.870$  |

3 讨论与结论

果实发育成熟阶段色泽参数总体趋于果实特征色泽变化,如苹果成熟阶段果皮  $L^*$ 、 $a^*$  值整体呈上升趋势,表现果面越亮,果皮转红<sup>[20]</sup>,菠萝果肉橙红色和橙黄色转变与  $a^*$ 、 $b^*$  上升趋势一致<sup>[21]</sup>。本试验结果表明,在果实成熟过程中色泽参数的变化与果实色泽特征变化相符。亮度值  $L^*$ 、黄蓝值  $b^*$  及色彩饱和度  $C$  值总体表现为先升后降,且都以花后 108 d 为转折点,这可能与肉眼度量的色泽判断果实晚熟存在较大误差有关; $a^*$  值表现为一直上升而色度角  $h^\circ$  表现为一直下降,该试验结果色泽变化与上述色泽变化规律较为一致,该结果也与张静对“东壁”和“福眼”龙眼上观测结果<sup>[15]</sup> 较为一致;单果质量、可溶性固形物含量、固酸比表现为一直上升;可滴定酸表现为一直下降;维生素 C 含量呈现先升后降,此结果与龙眼成熟过程中主要表现出糖、维生素 C 含量增加,酸含量下降基本相符<sup>[15]</sup>。

相关性分析表明,在成熟过程中,单果质量、可溶性固形物含量、固酸比表现为一直上升,与红绿值  $a^*$  表现一致;可滴定酸含量表现为一直下降,与色度角  $h^\circ$  表现一致;维生素 C 含量呈现先升后降,与亮度值  $L^*$  变化基本相符;亮度值  $L^*$ 、红绿值  $a^*$  和色度角  $h^\circ$  与单果质量、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、固酸比及维生素 C 含量呈显著或极显著相关;亮度值  $L^*$ 、红绿值  $a^*$  和色度角  $h^\circ$  基本能反映龙眼果实品质变化。

逐步回归线性方程分析表明,龙眼成熟期间色泽参数与果实品质相关性显著,表现出果皮色泽与果肉品质同步发育,多元逐步回归分析结果表明,单果质量和果实内在品质可以通过不同色泽参数反映出来,且反映程度较高。各线性回归方程拟合度均达显著或极显著水平,由色泽参数所得的单果质量、可溶性固形物含量及维生素 C 含量线性回归模型具有很好的拟合度。

色泽是果实外观品质重要组成部分,直接影响到果实的商品价值,是消费者判断果实是否新鲜的重要标志<sup>[22]</sup>。通过色泽的变化可以初步了解果实生长发育<sup>[23-25]</sup>。基于果面色泽快速判别果实品质变化而建立果实成熟期间果实颜色动力学,有助于通过色泽变化实时监控果实品质变化情况,为初步预测龙眼果实成熟提供依据,已在桃<sup>[26-27]</sup>、苹果<sup>[28]</sup>、梨<sup>[28]</sup>、荔枝<sup>[30]</sup>、辣椒<sup>[31]</sup> 等果蔬果实成熟过程中有所研究。本研究仅初步探讨了常温条件下龙眼成熟过程果皮色泽颜色变化,以及整体分析了成熟阶段色泽和品质变化及其关系,而龙眼成熟期间受多环境因子影响,因此建立单一环境或交互环境下(温湿度、O<sub>2</sub> 浓度、光照度等)颜色动力学方程预测果实品质

质变化是下一步的研究工作。

参考文献:

[1] 韩冬梅,潘学文,李 荣,等. 石硖等 3 个品种龙眼果实成熟特性比较研究[J]. 福建果树,2008(4):22-27.

[2] 徐 娟. 几个柑桔产区果实色泽评价及红肉脐橙(*Citrus sinensis* L. cv. *Cara cara*)果肉呈色机理初探[D]. 武汉:华中农业大学,2002:1-78.

[3] 王 伟,柴春祥,鲁晓翔,等. 色差和质构评定南美白对虾的新鲜度[J]. 浙江农业学报,2015,27(2):271-277.

[4] 王业琴,王克奇,白雪冰,等. 计算机视觉木材表面色差检测的研究[J]. 林业科技,2005,30(2):36-38.

[5] Xiao L Z, Li Q, Tan Z C, et al. Study on the classification standard of purple tea shoot[J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2008(5):668-672.

[6] 刘振兴,周桂梅,陈 健,等. 小豆叶片色泽与农艺性状的相关性分析[J]. 河北农业大学学报,2016,39(1):16-21.

[7] 汪 琳,应铁进. 番茄果实采后贮藏的颜色动力学研究[J]. 食品科技,2000(5):49-51.

[8] 周丹蓉,叶新福,方智振,等. 李果实色泽与花色素苷、类黄酮和类胡萝卜素含量的关系研究[J]. 福建农业学报,2015,30(1):33-37.

[9] 张金云. 芒果果实色素与色泽变化规律及调控的研究[D]. 海口:海南大学,2010:1-39.

[10] 荣宁宁. 不同栽培措施对不同品种草莓色泽及内在品质的影响研究[D]. 金华:浙江师范大学,2015:1-61.

[11] 成钰厚,刘国杰,孟昭清,等. 苹果成熟期间果皮花青素含量与果实品质的关系[J]. 果树科学,1999,16(2):98-103.

[12] 王贵元,夏仁学,曾祥国,等. 不同温度贮藏红肉脐橙果肉主要色素和糖含量的变化及其相关性[J]. 西北农业学报,2007,16(3):180-183.

[13] 朱春钊,彭良志,江才伦,等. 塔罗科血橙果面色泽与果实品质相关性研究[J]. 中国南方果树,2014,43(1):32-33,37.

[14] 郑少泉. 龙眼种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社,2006:5-14.

[15] 张 静. 龙眼果实的成熟生理研究[D]. 福州:福建农林大学,2011:1-84.

[16] Zhao Z C, Hu G B, Hu F C, et al. The UDP glucose:flavonoid-3-O-glucosyltransferase (UFGT) gene regulates anthocyanin biosynthesis in litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) during fruit coloration[J]. Molecular Biology Reports, 2012, 39(6):6409-6415.

[17] 蔡庆生. 植物生理学实验[M]. 北京:中国农业出版社,2013:1-321.

[18] 林河通,陈绍军,席巧芳. 采收期对龙眼果实品质和耐贮性的影响[J]. 农业工程学报,2003,19(6):179-184.

李 璐,张昭其,庞学群,等. CBF 冷信号通路基因在热处理诱导的香蕉抗病性中的作用[J]. 江苏农业科学,2018,46(7):193-197.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.07.048

# CBF 冷信号通路基因在热处理诱导的香蕉抗病性中的作用

李 璐<sup>1</sup>, 张昭其<sup>2</sup>, 庞学群<sup>1</sup>, 王海波<sup>3</sup>

(1. 华南农业大学生命科学学院, 广东广州 510642; 2. 华南农业大学园艺学院, 广东广州 510642; 3. 广东食品药品职业学院, 广东广州 510520)

**摘要:**探讨 CBF(C-repeat binding transcription factor/dehydrate responsive element binding factor, DREB)冷信号基因在热处理诱导香蕉抗病性中的作用。从香蕉基因组数据库(<http://banana-genome.cirad.fr/>)中挑选 CBF 冷信号通路的 7 个基因序列,分别设计特异引物,利用实时定量 PCR 分析这 7 个基因在热处理诱导的香蕉抗病性中的基因表达情况,探讨冷信号基因在热处理诱导的采后香蕉抗病性中所起到的作用。在 5~8 d 时,对照组香蕉果实的 *MaICE* 基因表达量较高,病害胁迫和热处理诱导的抗病效果没有诱导 *MaICE* 基因的上调。接种炭疽病后 *MaDREB3* 基因表达量与对照组的差异不明显,推测 *MaDREB3* 没有响应病害胁迫,但是接种炭疽病菌对冷信号通路基因 *MaDREB1D*、*MaDREB1E*、*MaDREB1G*、*MaCOR413* 有一定的诱导作用。热处理能够提高采后香蕉果实的抗病能力,病害胁迫对 CBF 冷信号通路基因 *MaDREB1D*、*MaDREB1E*、*MaDREB1G*、*MaCOR413* 的表达有一定的增强作用,推测 CBF 冷信号通路基因可能在一定程度上参与了热处理诱导的抗病性提高。

**关键词:**CBF/DREB;香蕉;热处理;抗病性

**中图分类号:**S436.68<sup>+</sup>1

**文献标志码:**A

**文章编号:**1002-1302(2018)07-0193-05

热处理是提高果蔬抗冷性的最有效采后处理之一,热处理主要通过诱导 CBF 冷信号通路基因表达增强进而提高香蕉果实的抗冷性<sup>[1-2]</sup>。病害是热带亚热带果蔬贮运保鲜中存

在的主要问题之一,值得注意的是,热处理也能够大大提高香蕉的抗病性。我们推测,热处理在诱导抗冷性和抗病性方面可能具有共同的机理。因此,研究 CBF 冷信号通路基因在热处理诱导香蕉果实抗病中的作用,将有助于进一步了解采后香蕉果实抗病机理。研究表明,热处理能有效提高采后果实的抗病性。例如,60℃ 30~60 s 的热水浸泡处理能显著地降低加利福尼亚桃、油桃、李子等水果褐斑病发生率<sup>[3]</sup>。热处理也可有效抑制苹果、梨果实贮藏过程中病虫害及腐烂的发生<sup>[4]</sup>,使其在长期的低温冷藏过程中仍然保持较好的贮藏品质。庞学群等进一步研究发现,将香蕉果实进行热处理后恢复至室温一段时间再接种外源炭疽菌孢子,发现热处理后的恢复对于诱导果实的抗病性具有较好效果<sup>[5]</sup>。在冷信号途

收稿日期:2017-12-18

基金项目:国家自然科学基金(编号:31301584);国家科技支撑计划(编号:2015BAD16B07);国家重点基础研究 973 计划(编号:2013CB127105);广州市科技计划(编号:201804010491)。

作者简介:李 璐(1990—),男,博士研究生,主要从事病原微生物蛋白质组学与代谢组学的研究。E-mail: lilu53@mail2.ysu.edu.cn。

通信作者:王海波,博士,教授,主要从事果蔬贮藏保鲜技术研究。E-mail: haihovip@126.com。

[19]梁 梅,周 蓉,邹 滔,等. 番茄农艺性状与果实主要营养成分相关性分析[J]. 西北农业学报,2013,22(5):91-100.

[20]Liang M, Zhou R, Zhou T, et al. Analysis of correlation between main nutritional compositions and agronomic traits in tomato[J]. Acta Agriculturae Boreali - Occidentalis Sinica, 2013, 22(6):91-100.

[21]宋成秀,张修德,宋成香,等. 苹果果实发育期果皮色泽与色素变化及其相关性分析[J]. 中国南方果树,2016,45(4):106-110.

[22]杨祥燕,蔡元保,李绍鹏,等. 菠萝果实不同发育阶段色泽和色素的变化[J]. 热带作物学报,2009,30(5):579-583.

[23]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,2004:1-82.

[24]魏秀清,章希娟,余 东,等. 莲雾农科二号果实发育过程中果皮色泽和色素的变化[J]. 热带作物学报,2012,33(11):1985-1990.

[25]黄春辉,葛翠莲,高 洁,等. 不同类型猕猴桃果实发育过程中内果皮色泽的动态变化[J]. 江西农业大学学报,2014(3):

501-506.

[26]杨祥燕,蔡元保,李绍鹏,等. 菠萝果实不同发育阶段色泽和色素的变化[J]. 热带作物学报,2009,30(5):579-583.

[27]Thai, Shewfelt. Peach quality changes at different constant storage temperatures: empirical models[J]. Transactions of the ASAE, 1990, 33(1):227-233.

[28]张斌斌,蔡志翔,许建兰,等. 基于回归分析法预测湖蜜露桃果实可溶性固形物含量[J]. 食品科学,2014,35(17):68-71.

[29]李 猛. 苹果单株果实品质分析及采收期的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2010:1-38.

[30]陈露露. 大棚栽培对“翠冠”梨生长及果实品质的影响[D]. 杭州:浙江大学,2011:1-44.

[31]张 锐. 荔枝果皮在着色发育过程中的钾、钙与镁含量变化及其对着色的影响[D]. 海口:海南大学,2014:1-57.

[32]王利群,戴雄泽. 色差计在辣椒果实色泽变化检测中的应用[J]. 辣椒杂志,2009,7(3):23-26,33.