

不同成熟度红毛丹果实果肉品质特性及抗氧化活性比较

朱文靖¹, 张容鹄², 邓浩², 林玉钦³, 冯建成^{1*}

(1. 海南大学理学院, 海南海口 570228) (2. 海南省农业科学院农产品加工设计研究所, 海南省热带果蔬冷链研究重点实验室, 海南海口 571100) (3. 福建省莆田市荔城区应急管理局, 福建莆田 351100)

摘要:以海南“保研-7号”红毛丹果实为实验原料,在其成熟度分别为三、五、七和十成熟(或称为成熟度30%、50%、70%和100%)时采摘;测定了上述红毛丹果实果肉品质及抗氧化活性指标,包括可溶性固形物(TSS)、可滴定酸(TA)、还原糖、还原型抗坏血酸(AsA)及总抗氧化能力、羟自由基($\cdot\text{OH}$)清除能力、抗坏血酸过氧化物酶(APX)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、多酚氧化酶(PPO)等酶活性,以评估成熟度对红毛丹果实果肉品质及抗氧化能力的影响。结果表明:七成熟时,TSS含量17.01%、AsA含量278.13 $\mu\text{g/g}$ 均最大、总抗氧化能力151.04 U/g、 $\cdot\text{OH}$ 清除能力79.16%、APX 1.31×10^4 nmol/(min·g)活性以及CAT 99.86 U/g活性最强,而TA含量最小0.53%、还原糖含量最低57.44 mg/g;而五成熟时,POD活性最大12.22 U/g而PPO活性最小7.33 U/g。综上,不同成熟度的红毛丹果实果肉品质及抗氧化能力存在显著差异;七成熟为海南“保研-7号”红毛丹果实的适宜采收期。本研究结果能为红毛丹采后商品化处理技术体系的完善及贮运保鲜中的品质保持提供理论和技术依据。

关键词:红毛丹;成熟度;品质;抗氧化能力

文章编号:1673-9078(2021)09-138-144

DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.9.0026

Comparison of the Fruit Pulp Quality Characteristics and Antioxidant Capacity of Rambutan Fruits with Different Maturity Levels

ZHU Wen-jing¹, ZHANG Rong-hu², DENG Hao², LIN Yu-qin³, FENG Jian-cheng^{1*}

(1. School of Science, Hainan University, Haikou 570228, China)

(2. Institute of Processing & Design of Agriproducts, Hainan Academy of Agricultural Science, Haikou 571100, China)

(3. Emergency Management Bureau of Lichen District, Putian 351100, China)

Abstract: Hainan "Baoyan-7" rambutan fruit were used as the experimental raw materials, which were collected at different maturity stages (30%, 50%, 70% and 100% maturity levels). The fruit pulp quality and antioxidant capacity indices of the above-mentioned rambutan fruits including soluble solid substance (TSS), titratable acid (TA), reducing sugar, reduced ascorbic acid (AsA), total antioxidant capacity, hydroxyl radical ($\cdot\text{OH}$) scavenging ability, and the activities of ascorbic acid peroxidase (APX), catalase (CAT), peroxidase (POD) and polyphenol oxidase (PPO) were determined, in order to evaluate the effects of maturity level on the quality and antioxidant capacity of rambutan fruit. The results showed that at the 70% maturity level, the TSS content (17.01%), AsA content (278.13 $\mu\text{g/g}$), total antioxidant capacity (151.04 U/g), $\cdot\text{OH}$ scavenging capacity (79.16%), APX activity [1.31×10^4 nmol/(min·g)] and CAT activity (99.86 U/g) were all the highest, with the TA content (0.53%) and reducing sugar content (57.44 mg/g) being the lowest; At the 50% maturity level, the POD activity reached the highest (12.22 U/g) and the PPO activity reached the lowest (7.33 U/g). In summary, there are significant differences in the pulp quality and

引文格式:

朱文靖,张容鹄,邓浩,等.不同成熟度红毛丹果实果肉品质特性及抗氧化活性比较[J].现代食品科技,2021,37(9):138-144,+293

ZHU Wen-jing, ZHANG Rong-hu, DENG Hao, et al. Comparison of the fruit pulp quality characteristics and antioxidant capacity of rambutan fruits with different maturity levels [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(9): 138-144, +293

收稿日期:2021-01-08

基金项目:海南省自然科学基金青年基金项目(218QN187)

作者简介:朱文靖(1979-),女,实验师,研究方向:农产品加工与贮藏,E-mail:zhuwenjing0213@126.com

通讯作者:冯建成(1972-),男,教授,研究方向:生物化工,E-mail:fzc197228@126.com

antioxidant capacity of rambutan fruits with different maturity levels. The Hainan "Baoyan-7" rambutan fruit at the 70% maturity level was suitable for harvesting. The results of this research provide theoretical and technical bases for the improvement of post-harvest commercial processing of rambutan fruit and the quality maintenance during storage and transportation.

Key words: rambutan fruit; maturity; quality; antioxidant capacity

红毛丹 (*Nephelium lappaceum* L.) 原产于东南亚, 是一种无患子科韶子属热带水果。红毛丹果皮革质, 表面覆盖约 2~4 cm 厚的软刺。果实为核果, 果肉多汁、约 0.4~0.8 cm 厚、略带白色、半透明或浅粉红色且呈甜或微酸味道。种子呈椭圆形, 体积大约为 2.5~3.4 cm×1~1.5 cm^[1]。红毛丹味道鲜美、果实芳香, 新鲜果肉含有 48 种挥发物^[2]。红毛丹果肉含有丰富的还原型抗坏血酸 (AsA), 而且是微量元素铜和锰的良好来源^[3]; 红毛丹果肉的抗坏血酸等效抗氧化能力 (AEAC) 为 71.50 mg/100 g 鲜果^[4]。由于受气候等自然条件的限制, 我国红毛丹主要种植在海南省的保亭、琼中及三亚等地区。红毛丹果实不耐储藏, 采后 2~3 d 就会褐变, 因此限制了其远销。目前, 生产中将成簇红毛丹果实装袋后用泡沫箱加冰以实现低温贮藏, 达到海南岛内流通的目的。李奕星等^[5]考察了 3 种植物精油对红毛丹果实的保鲜效果。然而, 目前尚缺少红毛丹果实采收成熟度相关的研究报道。

不同采收成熟度果蔬的营养品质和抗氧化能力呈现出较大差异。枣果生长发育过程中, 可溶性固形物、可溶性糖、酸随着枣果成熟度的提高逐步积累, 而 AsA 含量逐步减少^[6]。番茄成熟阶段 AsA 的含量是绿色阶段的 2 倍^[7]。随着草莓果实成熟度增加, 可溶性固形物 (TSS) 含量、总酸 (TA) 含量及挥发性香味物质不断发生变化, 且其抗氧化能力不断下降^[8,9]。此外, 成熟度对桑椹果实的抗氧化活性有显著影响^[10]。

采摘成熟度影响贮藏期间果实的品质和生理特性; 采摘过早口感不佳, 而采摘过晚则不耐贮藏。紫红火龙果成熟度 II 即果皮全部着色、未完全转红为最适宜采收时期; 该成熟度采收时营养物质积累充足, 贮藏期品质略优于完全成熟的果实^[11]。在 0 °C、90%~95% RH 贮藏条件下, 成熟度 II 的鲜杏果实硬度、TSS 含量、AsA 水平和可榨汁量相对保持较好, 成熟度 II 即为鲜杏的适宜采收期^[12]。成熟度越高的苹果淀粉含量越低, 冷藏过程中 TSS 达到最大值需要时间越少。因此, 成熟度是造成苹果冷藏过程中品质产生差异的一个主要因素^[13]。

果皮是判断红毛丹果实成熟的关键^[1]。根据果皮颜色, 可以将红毛丹果实分成 4 个不同的成熟度。本文对不同成熟度红毛丹果肉品质及抗氧化能力进行了较为系统的比较和分析, 旨在为红毛丹果实的采摘和

贮运提供理论和技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

红毛丹果实采自琼中加钗农场 22 队红毛丹果园, 品种为“保研-7 号”, 采摘 3 h 后运至实验室。

如图 1 所示, 不同成熟度果实分为三成熟 (全绿)、五成熟 (全黄)、七成熟 (黄转红) 和十成熟 (全红) 4 类。于同一棵树上精选各类成熟度果实 50 个, 然后随机取样并进行各项指标测定。



图 1 不同成熟度红毛丹果实

Fig.1 Rambutan fruit with different maturities

注: 从左到右分别是 10 成熟、7 成熟、5 成熟和 3 成熟。

1.2 方法

1.2.1 几种主要成分含量的测定方法

TSS 和 TA 的测定: 参照 Hafiz^[14]。每组中随机选取 5 个果实, 称取 3 g 果肉, 然后用匀浆机磨成匀浆后纱布过滤取汁液并用手持糖度计 PAL-1 测量可溶性固形物和可滴定酸 (稀释 50 倍后测); AsA 含量的测定: 采用钼蓝比色法^[15]测定; 还原糖含量的测定: 3,5-二硝基水杨酸法测定^[16]。

1.2.2 总抗氧化能力的测定方法

总抗氧化能力测定: 参照 Benzie 等^[17]的方法; 羟基自由基 ($\cdot\text{OH}$) 清除能力的测定: 参照孙瑾等^[18]的方法。

1.2.3 酶活性测定方法

将果皮剪成小块放入液氮中, 然后在 -50 °C 下的低温冰箱中保存; 进而测定单位鲜重中抗坏血酸过氧化物酶、过氧化氢酶、多酚氧化酶、过氧化物酶的活性。抗坏血酸过氧化物酶活性的测定采用抗坏血酸过氧化物酶试剂盒; 过氧化氢酶活性的测定采用过氧化氢酶试剂盒; 多酚氧化酶活性的测定用多酚氧化酶试剂盒; 过氧化物酶活性的测定采用过氧化物酶试剂盒。

1.2.4 数据统计方法

表 1 不同成熟度对红毛丹果实果肉品质的影响

成熟度	TSS/%	TA/%	AsA/($\mu\text{g/g}$)	还原糖/(mg/g)
三成熟	14.53 \pm 0.10 ^a	0.78 \pm 0.10 ^a	109.85 \pm 1.65 ^a	68.24 \pm 0.23 ^a
五成熟	16.72 \pm 0.10 ^b	0.68 \pm 0.10 ^b	186.56 \pm 2.31 ^b	63.10 \pm 1.07 ^b
七成熟	17.01 \pm 0.10 ^c	0.53 \pm 0.10 ^c	278.13 \pm 5.23 ^c	57.44 \pm 1.27 ^c
十成熟	15.36 \pm 0.20 ^d	0.62 \pm 0.10 ^d	129.07 \pm 2.48 ^d	65.05 \pm 0.84 ^b

注: 不同小写字母表示同一指标不同成熟度之间呈现显著性差异 ($p < 0.05$)。

每组测试设置三次平行, 数值表示为平均值 \pm 标准偏差。采用 Excel 处理数据、Origin 9.0 绘图、SPSS 19.0 进行邓肯氏多重比较法 ($p < 0.05$) 进行差异显著性分析。

2 结果与讨论

2.1 不同成熟度对红毛丹果实品质指标的影响

TSS 主要包括可溶性糖、有机酸、维生素、矿物质等。赵亚等^[19]认为: 红毛丹果实中 TSS 含量越大, 果实的胶粘性、咀嚼性、弹性、凝聚性和硬度越大, 即果实的脆性和韧性越好且粘附性越小。由表 1 知: 不同成熟度的红毛丹果实果肉 TSS 含量变化范围为 14.53%~17.01%; 随着成熟度增加, TSS 呈先增大后减小趋势, 而七成熟时达到最高值 17.01%。可见, 不同成熟度红毛丹果实果肉 TSS 含量间存在显著性差异 ($p < 0.05$)。百香果^[20]、椰枣^[21]TSS 含量随成熟度增大而增大, 而泰国产的椰子水^[22]、“金艳”猕猴桃^[23]TSS 含量与红毛丹果肉 TSS 含量变化趋势相同。

TA 是红毛丹果实特有风味形成的物质之一, 适宜的 TA 含量有利于保持果实的口感。由表 1 知: 不同成熟度红毛丹果实 TA 含量范围为 0.78%~0.52%, 即随着成熟度增加, TA 呈先减小后增加趋势, 而七成熟时 TA 含量最低 0.52%。可见, 不同成熟度红毛丹果实果肉 TA 含量间存在显著性差异 ($p < 0.05$)。成熟度越高, 紫红火龙果^[11]、杏^[24]TA 含量越低。“金艳”猕猴桃^[23]TA 含量随成熟度先减小后增大, 与红毛丹果肉 TA 含量的变化趋势相同。

AsA 是评价果实品质的重要指标之一; 作为植物体内的非酶类自由基清除剂, 其能维持活性氧代谢平衡并延缓果实后熟软化^[25]。由表 1 知: 随着成熟度增加, 红毛丹果肉 AsA 含量呈先增大后减小趋势; 三到七成熟时, 红毛丹果实果肉 AsA 含量增加了 153.20%; 而七到十成熟时, AsA 含量下降了 53.59%。可见不同成熟度红毛丹果实果肉 AsA 含量存在显著差异 ($p < 0.05$)。随着成熟度增加, 甘蓝中 AsA 含量呈现先增加后降低趋势^[26], 而“玉露香”梨果实 AsA 的含量

采收期 II 时最高^[27]; 随着成熟度增加, 李果实^[28]、百香果^[20]中 AsA 含量逐渐升高, 而紫红火龙果^[11]中 AsA 含量则逐渐降低。

糖是果蔬体内储存的主要营养物质; 除作为果实甜味的主要来源外, 其还影响果蔬风味和品质。葡萄糖和果糖是果蔬主要的还原糖。由表 1 知: 红毛丹果实果肉中的还原糖含量随成熟度的增加呈现先减少后增加的趋势; 三成熟时最高、七成熟时最低, 而五成熟和十成熟时差距不大。红毛丹果实果肉还原糖含量随成熟度的变化趋势与糯玉米^[29]相反, 而 4 个品种番石榴还原糖含量随果实成熟显著提升^[30]。

2.2 不同成熟度对红毛丹果实果肉抗氧化活性的影响

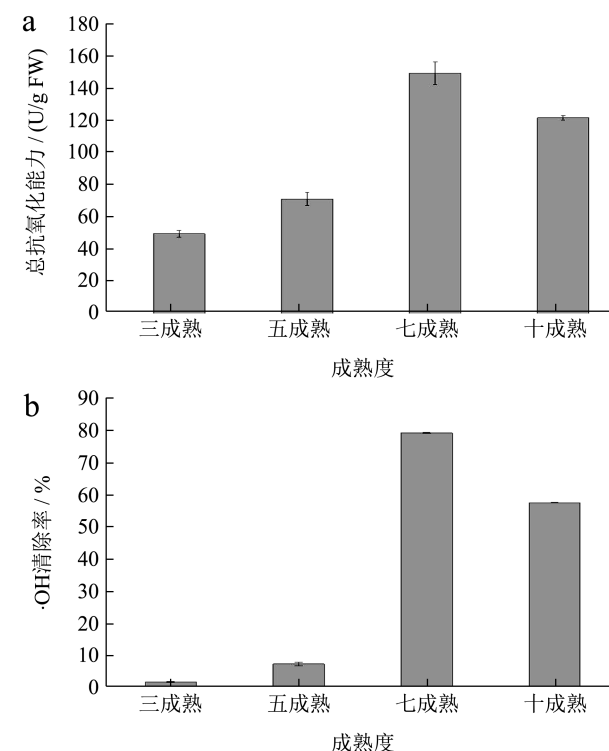


图 2 不同成熟度对红毛丹果实果肉抗氧化活性的影响

Fig.2 Effect of different maturity on antioxidant activity in pulp of rambutan fruit

随着成熟度增加, 红毛丹果实果肉提取物的总抗

氧化能力先增大后减小；其中以七成熟时最强，总抗氧化能力为 151.06 U/g FW（见图 2a）。可见，不同成熟度红毛丹果实果肉总抗氧化能力存在显著差异（ $p < 0.05$ ）。Ahn^[31]发现红毛丹果实果肉的 70%乙醇提取物具有比较强的抗氧化能力。红毛丹果实果肉对·OH 清除能力见图 2b。随着成熟度的增加，对·OH 的清除能力呈现先缓慢增加、随后急剧增加（成熟度为七成熟时）然后下降（成熟度为十成熟时）的变化趋势（见图 2b）。随着成熟度增加，枳椇的抗氧化能力先减小再增大；其中未成熟果实（Hd01 和 Hd02）比成熟果实（Hd04 和 Hd05）具有更强的抗氧化能力，而中间阶段果实（Hd03）抗氧化能力最弱^[32]。柳萌^[33]研究表明五成熟杨梅的总抗氧化能力及·OH 的清除能力最强；未成熟巨峰葡萄^[34]甲醇萃取物的抗氧化化合物含量及抗氧化活性都高于成熟巨峰葡萄。红毛丹果实从七成熟到十成熟时，果肉的总抗氧化能力及·OH 清除能力均下降可能与 AsA 等抗氧化物质的含量减少有关（见图 2 和表 1）。与本文不一致的结果也有报道。随着成熟度增加，油橄榄鲜果提取物的抗氧化能力呈现逐渐增强趋势^[35]；而不同成熟度的香菇提取物清除·OH 的能力无显著性差异^[36]。

2.3 不同成熟度对红毛丹果实果肉的 APX 和 CAT 活性的影响

抗氧化酶系统包括 SOD、APX 和 CAT 等，本文考察了不同成熟度对红毛丹果实果肉的 APX 和 CAT 活性的影响。APX 是利用 AsA 作为电子供体的 H_2O_2 的清除剂^[37]。在细胞内它的同工酶定位于 4 个不同区域：叶绿体中的基质 APX（sAPX）、类囊体膜 APX（tAPX）、微体 APX（mbAPX）和胞质 APX（cAPX）^[37]；CAT 与生物体的应激反应及活性氧的水平密切相关，主要清除线粒体电子传递、 β -脂肪酸氧化以及光呼吸等过程中产生的 H_2O_2 ^[38]。随着成熟度的增加，红毛丹果实果肉的 APX 活性先急剧增大然后略有下降；七成熟时 APX 活性达到最大值 13119.78 nmol/(min·g) FW，而十成熟时 APX 活性降为 12140.38 nmol/(min·g) FW（见图 3a）。可见，不同成熟度的红毛丹果实果肉 APX 活性呈现显著差异（ $p < 0.05$ ）。本文 APX 活性变化趋势与鲍威尔脐橙果肉 APX 活性变化规律大致相同^[39]；随成熟度增加，黑穗醋栗果实^[40]、番果实^[41]、马铃薯块茎及萝卜肉质根中 APX 活性均逐渐下降，而黄瓜果实中 APX 活性则是先升高后下降。随着成熟度增加，红毛丹果实果肉 CAT 活性先逐渐增大后略有下降，其变化趋势与图 2a 中的 APX 活性变

化趋势相同（见图 2a 和 2b）。CAT 活性在七成熟时达到最大 99.86 U/g FW，而十成熟时下降至 75.29 U/g FW（见图 2b）。可见不同成熟期的红毛丹果实果肉 CAT 活性呈显著差异（ $p < 0.05$ ）。芒果进入生殖生长期后，CAT 活性增强^[42]。当 H_2O_2 等活性氧的产生-清除不平衡时，其累积将会导致生物膜等细胞器受到破坏^[43]。综上，七成熟的红毛丹果实果肉 APX 和 CAT 活性均最强，从而可以有效清除细胞内 H_2O_2 的累积。

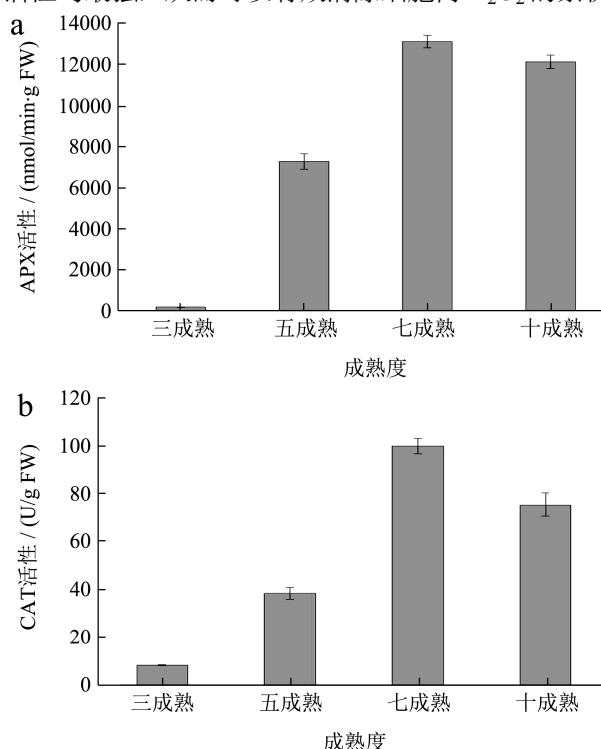


图3 不同成熟度对红毛丹果实果肉的 APX 和 CAT 活性的影响
Fig.3 Effects of different maturity on APX and CAT activities in pulp of rambutan fruit

2.4 不同成熟度对红毛丹果实果肉的 PPO 和 POD 活性的影响

酚类物质在多酚氧化酶（PPO）和过氧化物酶（POD）等的催化作用下氧化为醌，醌类物质之间相互聚合生成黑色或褐色物质而导致酶促褐变^[44]。随成熟度的增加，红毛丹果实果肉中 PPO 活性先减小后增大；从三成熟到五成熟时 PPO 活性显著降低（ $p < 0.05$ ），而从五成熟到十成熟时 PPO 活性变化不显著（ $p > 0.05$ ）（见图 4a）。红毛丹果肉中 PPO 活性变化趋势与糯玉米^[29]中的渝科糯与渝糯 3000 相同。随成熟度的增加，红毛丹果实果肉中 POD 活性先增大后减少；三成熟到五成熟时 POD 活性急剧增大（ $p < 0.05$ ），而五成熟到十成熟时活性显著减小（ $p < 0.05$ ）（见图 4b）。红毛丹果肉中 POD 活性变

化趋势与糯玉米^[29]中的渝糯 3000 相同。综上所述,不同成熟度红毛丹果实果肉 PPO 和 POD 酶活性变化趋势相反(图 4a 和 4b)。抗褐变的苹果品种具有较低水平 PPO 活性、较高水平的 POD 活性,而不抗褐变的苹果品种则与之相反^[45];抗褐变的香蕉品种具有较低的 PPO 和 POD 活性^[46];易褐变梨品种果幼果 PPO 活性与对照品种差异显著,而成熟期差异不显著^[47]。红毛丹在采后贮运中极易出现酶促褐变的情况。综上,PPO 和 POD 活性对红毛丹果实贮运中酶促褐变的影响有待开展深入研究。

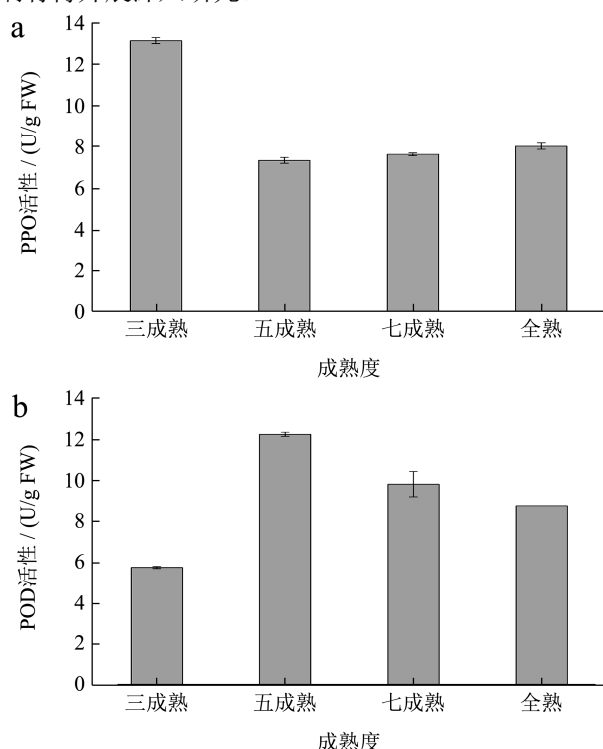


图 4 不同成熟度对红毛丹果实果肉 PPO 和 POD 活性的影响
Fig.4 Effects of different maturity on PPO and POD activities in pulp of rambutan fruit

3 结论

不同成熟度红毛丹果实果肉品质特性及抗氧化活性整体呈现出显著差异。七成熟时, TSS 含量 17.01%、AsA 含量 278.13 $\mu\text{g/g}$ 均最大、总抗氧化能力 151.04 U/g、 $\cdot\text{OH}$ 清除能力 79.16%、APX 1.31×10^4 nmol/(min·g)活性以及 CAT 99.86 U/g 活性最强,而 TA 含量最小 0.53%、还原糖含量最低 57.44 mg/g; 而五成熟时,PPO 活性最小 7.33 U/g 而 POD 活性最大 12.22 U/g。综上,七成熟为海南“保研-7 号”红毛丹果实的适宜采收期。

参考文献

[1] Kaiser M, Hanisah K, Abd K A, et al. Nutritional and

therapeutic potentials of rambutan fruit (*Nephelium lappaceum* L.) and the by-products: a review [J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2018, 12: 1556-1571

[2] Ong P K C, Acree T E, Lavin E H. Characterization of volatiles in rambutan fruit (*Nephelium lappaceum* L.) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1998, 46(2): 611-615

[3] Wall M. Ascorbic acid and mineral composition of longan (*Dimocarpus longan*), lychee (*Litchi chinensis*) and rambutan (*Nephelium lappaceum*) cultivars grown in Hawaii [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2006, 19: 655-663

[4] Leong L P, Shui G. An investigation of antioxidant capacity of fruits in Singapore markets [J]. Food Chemistry, 2002, 76(1): 69-75

[5] 李奕星,李芬芳,陈娇,等.3 种植物精油对采后红毛丹的保鲜作用[J].热带作物学报,2018,39(1):168-173

LI Yi-xing, LI Fen-fang, CHEN Jiao, et al. Preservation effects of three essential oils on postharvest rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) fruit [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2018, 39(1): 168-173

[6] 闫超,苏彩霞,刘晓红,等.不同成熟度“新郑红 3 号”营养品质的研究[J].北方园艺,2019,5:65-69

YAN Chao, SU Cai-xia, LIU Xiao-hong, et al. Study on nutritional properties of “Xinzheng hong 3” Jujube at different maturation stages [J]. Northern Horticulture, 2019, 5: 65-69

[7] Mâra D, Ina A, Laila D, et al. Bioactive compounds in tomatoes at different stages of maturity [J]. Proceedings of the Latvian Academy of Sciences, 2018, 72(2): 85-90

[8] Diamanti J, Capocasa F, Denoyes B, et al. Standardized method for evaluation of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) germplasm collections as a genetic resource for fruit nutritional compounds [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2012, 28(2): 170-178

[9] Pineli L L O, Moretti C L, Santos M S D, et al. Antioxidants and other chemical and physical characteristics of two strawberry cultivars at different ripeness stages [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2011, 24(1): 11-16

[10] 韦丽文.不同成熟度桑椹多酚绿原酸含量测定及抗氧化活性研究[J].中国现代中药,2019,21(7):946-950

WEI Li-wen. Content determination of chlorogenic acid in different maturity mulberry and antioxidant research [J]. Modern Chinese Medicine, 2019, 21(7): 946-950

- [11] 张绿萍,袁启凤,谢璞,等.成熟度对紫红火龙果贮藏性能及品质的影响[J].广东农业科学,2015,23:117-121
ZHANG Lv-ping, YUAN Qi-feng, XIE Pu, et al. Effects of harvest maturity on storage properties and quality of dragon fruit [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2015, 23: 117-121
- [12] Jing Y, Ma X, Jin P, et al. Effects of harvest maturity on chilling injury and storage quality of apricots [J]. Journal of Food Quality, 2018, 1: 1-7
- [13] ZHANG Bo, ZHANG Meng-sheng, SHEN Mao-sheng, et al. Quality monitoring method for apples of different maturity under long-term cold storage [J]. Infrared Physics and Technology, 2021, 112: 1-11
- [14] Hafiz A F A, Keat Y W, Ali A. Effect of integration of oxalic acid and hot water treatments on postharvest quality of rambutan (*Nephelium lappaceum* L. cv. *Anak sekolah*) under modified atmosphere packaging [J]. Journal of Food Science and Technology, 2017, 54(7): 1-5
- [15] 李军.钼蓝比色法测定还原型维生素 C[J].食品科学,2000, 21(8):42-45
LI Jun. Determination of reduced vitamin C by molybdenum blue colorimetry [J]. Food Science, 2000, 21(8): 42-45
- [16] 曹建康,姜微波,赵玉梅.果蔬采后生理生化实验指导[M].北京:中国轻工业出版社,2007
CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Experiment Guidance of Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007
- [17] Benzre I F F, Strain J J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: the FRAP assay [J]. Analytical Biochemistry, 1996, 239(1): 70-76
- [18] 孙瑾,王宗举,陈岗,等.橄榄中多酚类物质体外抗氧化活性研究[J].中国食品添加剂,2010,3:69-73
SUN Jin, WANG Zong-ju, CHEN Gang, et al. Study on *in vitro* antioxidant activity of polyphenols from *Canarium album* [J]. China Food Additives, 2010, 3: 69-73
- [19] 赵亚,郭利军,胡福初,等.海南不同红毛丹品系资源果实质构特性的比较分析[J].分子植物育种,2019,17(8):2646-2654
ZHAO Ya, GUO Li-jun, HU Fu-chu, et al. Comparison of texture parameters among different rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) germplasm resources of Hainan [J]. Molecular Plant Breeding, 2019, 17(8): 2646-2654
- [20] 郭靖,陈于陇,王萍,等.不同成熟度百香果的贮藏特性研究[J].广东农业科学,2020,47(2):133-140
GUO Jing, CHEN Yu-long, WANG Ping, et al. Study on storage characteristics of passion fruits in different maturities [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2020, 47(2): 133-140
- [21] Alhamdan A M, Atia A. Non-destructive method to predict Barhi dates quality at different stages of maturity utilising near-infrared (NIR) spectroscopy [J]. International Journal of Food Properties, 2017, 20(3): S2950-S2959
- [22] Mahayothee B, Koomyart I, Khuwijitjaru P, et al. Phenolic compounds, antioxidant activity, and mediumchain fatty acids profiles of coconut water and meat at different maturity stages [J]. International Journal of Food Properties, 2016, 19: 2041-2051
- [23] 杨丹,采收成熟度对“金艳”桃品质的影响[J].北方园艺, 2018,2:141-145
YANG Dan. Effects of maturity stage on quality of ‘Jinyan’ kiwifruit [J]. Northern Horticulture, 2018, 2: 141-145
- [24] 杨婷婷,朱璇,向玉洁,等.采收成熟度对杏果实贮藏品质的影响[J].现代食品科技,2015,31(7):277-282
YANG Ting-ting, ZHU Xuan, XIANG Yu-jie, et al. Impact of harvest maturity on storage of aricot fruits [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(7): 277-282
- [25] 陈娇,李芬芳,李奕星,等.外源抗坏血酸对香蕉常温后熟期果实品质的影响[J].中国南方果树,2020,49(1):56-60
CHEN Jiao, LI Fen-fang, LI Yi-xing, et al. Effects of exogenous ascorbic acid on fruit quality of banana at post ripening stage at room temperature [J]. South China Fruits, 2020, 49(1): 56-60
- [26] 雷琳,阚茗铭,叶发银,等.采收成熟度对甘蓝营养成分的影响[J].食品与发酵工业,2017,43(11):101-106
LEI Lin, KAN Ming-ming, YE Fa-yin, et al. Effects of the maturity on cabbage nutrients [J]. Food and Fermentation Industries, 2017, 43(11): 101-106
- [27] 贾晓辉,王文辉,姜云斌,等.采收成熟度对‘玉露香’梨果实品质和耐贮性的影响[J].果树学报,2016,33(5):594-603
JIA Xiao-hui, WANG Wen-hui, JIANG Yun-bin, et al. Effects of harvest maturity on fruit quality and storage life of ‘Yulu-xiang’ pears [J]. Journal of Fruit Science, 2016, 33(5): 594-603
- [28] 薛晓敏,韩雪平,王贵平,等.不同成熟度对李果实品质的影响[J].经济林研究,2020,38(3):26-36
XUE Xiao-min, HAN Xue-ping, WANG Gui-ping, et al. Effects of different maturities on characteristics of plum fruit quality [J]. Non-wood Forest Research, 2020, 38(3): 26-36
- [29] 明建,曾顺德,郭英策,等.成熟度对糯玉米品质和风味的影响[J].食品科学,2011,32(23):47-52
MING Jian, ZENG Shun-de, GUO Ying-ce, et al. Effect of

- maturity on quality and flavor of waxy corn [J]. Food Science, 2011, 32(23): 47-52
- [30] 邱珊莲,林宝妹,张少平等.不同成熟期番石榴果实品质特征与评价[J].食品安全质量检测学报,2020,11(24):9230-9238
QIU Shan-lian, LIN Bao-mei, ZHANG Shao-ping, et al. Quality characteristics and evaluation of guava fruit at different maturity stages [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2020, 11(24): 9230-9238
- [31] Ahn H Y, Cho H D, Cho Y S. Comparison of antioxidant effect and phenolic compounds in tropical fruits [J]. SN Applied Sciences, 2020, 2(6): 1120
- [32] Helayne A M, Rebeca L F, Patricia M, et al. Antioxidant phytochemicals of *Hovenia dulcis* Thunb peduncles in different maturity stages [J]. Journal of Functional Foods, 2015, 18: 1117-1124
- [33] 柳萌,郜海燕,房祥军,等.不同成熟度杨梅酚酸的超声波微波协同优化提取及其抗氧化性对比研究[J/OL].食品科学,(2020-03-30).<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20200330.1425.056.html>
LIU Meng, GAO Hai-yan, FANG Xiang-jun, et al. Optimization of ultrasonic-microwave assisted extraction of phenolic acids from bayberry during maturity and a comparative study of its antioxidant activities [J/OL]. Food Science, (2020-03-30). <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20200330.1425.056.html>
- [34] 游宜屏,吕君屏,黄赞勋,等.不同成熟度巨峰葡萄其甲醇萃取物抗氧化能力的探讨[J].台湾农业化学与食品科学,2018, 56(1,2):1-8
YOU Yi-ping, LYU Jun-ping, HUANG Zan-xun, et al. Study on antioxidant activities of methanol extracts of kyoho grape (*Vitis vinifera*) with different maturity grape [J]. Taiwanese Journal of Agricultural Chemistry and Food Science, 2018, 56(1,2): 1-8
- [35] 熊政委,黄梅桂,王仲明,等.不同品种和成熟度对油橄榄鲜果功效成分及抗氧化能力的影响[J].食品科学,2018,39(17): 61-66
XIONG Zheng-wei, HUANG Mei-gui, WANG Zhong-ming, et al. Assessment of the differences in the physical-chemical properties of different cultivars and harvesting dates of fresh olive fruits [J]. Food Science, 2018, 39(17): 61-66
- [36] 孟德梅,奚志媛,张亚璇,等.两种采收期香菇营养品质和抗氧化能力比较[J].中国食品学报,2018,18(4):228-234
MENG De-mei, XI Zhi-ai, ZHANG Ya-xuan, et al. Comparison of nutritional quality and antioxidant ability of *Lentinus edodes* at two harvest times [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2018, 18(4): 228-234
- [37] 孙卫红,王伟青,孟庆伟.植物抗坏血酸过氧化物酶的作用机制、酶学及分子特性[J].植物生理学通讯,2005,41(2):143-147
SUN Wei-hong, WANG Wei-qing, MENG Qing-wei. Functional mechanism and enzymatic and molecular characteristic of ascorbate peroxidase in plants [J]. Plant Physiology Communications, 2005, 41(2): 143-147
- [38] Li Z B, Shao X F, Wei Y Y, et al. Transcriptome analysis of *Botrytis cinerea* in response to tea tree oil and its two characteristic components [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2020, 104: 2163-2178
- [39] 黄艳花.脐橙果实发育过程中抗坏血酸含量及相关酶活性的研究[D].重庆:西南大学果树学专业,2014
HUANG Yan-hua. Research on ascorbate content and activity changes of related enzymes during navel orange fruit development [D]. Chongqing: Southwest University, 2014
- [40] 孙小娟,刘庆帅,员盎然,等.黑穗醋栗果实生长发育过程中抗坏血酸含量及相关酶活性的变化[J].中国农业科学,2019, 52(1): 98-110
SUN Xiao-juan, LIU Qing-shuai, YUAN Ang-ran, et al. The changes in the contents of ascorbic acid and the activities of related enzymes in black currant fruits during the process of its growth and development [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(1): 98-110
- [41] 李坤,韩道杰,许贞杭,等.不同蔬菜产品器官抗坏血酸含量与其相关酶活性的关系[J].西北农业学报,2008,17(5):257-262
LI Kun, HAN Dao-jie, XU Zhen-hang, et al. Relation between ascorbic acid contents and activities of related enzymes in product organ of different vegetable species [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2008, 17(5): 257-262
- [42] 罗世杏,唐玉娟,黄国弟,等.不同成熟期芒果品种抗氧化酶指标的相关途径及隶属函数分析[J].安徽农业科学,2017, 45(18):42-44
LUO Shi-xing, TANG Yu-juan, HUANG Guo-di, et al. Correlation, path and subordinate function analysis between antioxidant enzymes for different maturity mango varieties [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2017, 45(18): 42-44