

农产品保鲜与食品包装

外源甜菜碱与褪黑素复合处理对龙眼果实贮藏性能的影响

张瑞敏, 胡凯雪, 邱秋萍, 刘顺枝, 胡位荣*

(广州大学 生命科学学院, 广州 510006)

摘要: **目的** 研究不同浓度甜菜碱与褪黑素复合处理对采后龙眼果实冷藏的保鲜效果, 以期为龙眼贮藏保鲜新技术提供理论参考。**方法** 以‘储良’龙眼为实验材料, 分别采用 0、5、10、15 mmol/L 的甜菜碱与 300 mmol/L 的褪黑素复配制成保鲜剂处理果实。在温度为 4 °C、相对湿度为 85% 条件下贮藏, 研究其冷藏期间质量损失率及可溶性固形物 (TSS)、可滴定酸 (TA)、抗坏血酸 (V_C)、丙二醛 (MDA)、游离脯氨酸含量和过氧化氢酶 (CAT)、过氧化物酶 (POD)、超氧化物歧化酶 (SOD) 活性的变化。**结果** 与 300 mmol/L 褪黑素对照组相比, 复合保鲜剂能有效减少龙眼果实水分、TSS、TA、V_C 和游离脯氨酸含量的损失, 使龙眼果肉保持较高的 SOD、CAT 活性 ($P < 0.05$), 而 POD 活性和 MDA 含量维持在较低水平。**结论** 300 mmol/L 褪黑素+10 mmol/L 甜菜碱处理对龙眼的冷藏保鲜效果最佳。

关键词: 龙眼; 甜菜碱; 褪黑素; 复合处理; 冷藏

中图分类号: S667.9 文献标志码: A 文章编号: 1001-3563(2024)05-0038-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2024.05.005

Effects of Exogenous Betaine and Melatonin on Storage Performance of Longan

ZHANG Ruimin, HU Kaixue, QIU Qiuping, LIU Shunzhi, HU Weirong*

(School of Life Sciences, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

ABSTRACT: The work aims to study the effect of different concentrations of betaine and melatonin on the preservation of postharvest longan (*Dimocarpus longan*) fruits during cold storage, so as to provide theoretical reference of the new preservation technology of longan fruits. The 'Chuliang' longan fresh fruits were treated with 0, 5, 10 and 15 mmol/L betaine combined with 300 mmol/L melatonin respectively, and stored at 4 °C and 85% relative humidity. The changes of the weight loss rate, soluble solids (TSS), titratable acid (TA), ascorbic acid (V_C), free proline, malondialdehyde (MDA), and activities of catalase (CAT), peroxidase (POD), superoxide dismutase (SOD) were investigated. Compared with the 300 mmol/L melatonin control group, the composite preservative could reduce the loss of water, TSS, TA and V_C. Meanwhile, betaine combined with melatonin manifested higher SOD and CAT activities ($P < 0.05$), and maintained lower levels of the MDA content and POD activity. Among them, the 300 mmol/L melatonin with 10 mmol/L betaine has the best preservation effect on longan fruits.

KEY WORDS: *Dimocarpus longan*; glycine betaine; melatonin; composite treatment; cold storage

龙眼 (*Dimocarpus longan*) 俗称桂圆, 是无患子科龙眼属的常绿乔木果树, 果实营养丰富, 尤其是果

肉性温而味甘, 食药兼用, 是我国南方亚热带特色水果之一, 主要分布在我国广东、福建、广西、海南、

收稿日期: 2023-09-03

基金项目: 广东省现代农业产业技术体系龙眼创新团队项目 (2019KJ123, 2020KJ123)

*通信作者

四川、台湾等地, 种植面积稳定在 470 万亩, 年产量近 200 万 t^[1]。但由于龙眼果实成熟于高温高湿季节, 加上果实水分含量高、果肉糖分高, 采后贮藏保鲜过程中极易发生果肉自溶、果皮褐变、腐烂等品质劣变现象^[1-2]。龙眼的不耐贮藏性给果实的采收、运输、销售和加工等带来极大的困难。目前, 提高龙眼的保鲜效果的方式主要有采前病害防治与养分管理、采后商品化处理, 如预冷、防腐、低温贮藏以及外源活性物质处理、涂膜^[3-6]等, 但龙眼果实低温冷藏期间也容易出现果肉自溶、冷害等问题。随着人们在实际生产中越来越重视食品食用安全和环境友好, 开发新型天然绿色、高效安全的食品保鲜剂, 并应用于果蔬贮藏保鲜已经成为研究热点^[7]。

甜菜碱 (Glycine Betaine, GB) 是一种普遍存在的水溶性生物碱, 在逆境条件下能保护植物体内生物大分子结构和功能, 减少渗透失水对细胞膜的损害^[8-9]。研究表明, 甜菜碱处理黄果柑果实能有效减少质量的损失, 并保持可溶性固形物 (TSS)、可滴定酸 (TA)、抗坏血酸 (V_C) 的含量^[10], 提高果实贮藏性。10 mmol/L 甜菜碱处理枇杷果实能抑制丙二醛 (MDA) 含量的上升, 提高超氧化物歧化酶 (SOD) 的活性, 减少膜质过氧化与损伤, 减轻冷藏期间的冷害症状^[11]。褪黑素 (Melatonin, MT) 是广泛存在于动植物内的一种小分子吲哚胺类物质, 可参与植物生长发育过程和对环境胁迫的反应^[12-13]。近年来外源褪黑素已被应用于果蔬采后保鲜^[14-15]。谢晶等^[16]发现外源褪黑素能显著延缓荔枝质量损失率上升和提高过氧化氢酶 (CAT) 活性, 保持果实较好的生理活性。鉴于目前甜菜碱与褪黑素复合处理对果蔬保鲜效果方面的研究还少见报道^[17], 本研究以‘储良’龙眼为试材, 探讨不同浓度甜菜碱与褪黑素复合处理对冷藏龙眼的品质和生理变化的影响, 以期对龙眼贮藏保鲜新技术提供理论参考。

1 实验

1.1 材料和仪器

主要材料: 九成熟的‘储良’龙眼果实, 采自惠州市龙门县龙江镇商品性生产果园。

主要试剂: 褪黑素 (纯度 ≥ 99%)、甜菜碱 (质量分数 ≥ 98%)、Tris、L-抗坏血酸, 生工生物工程 (上海) 股份有限公司; 茚三酮、草酸, 天津市福晨化学试剂厂; 三氯乙酸、磺基水杨酸, 天津市大茂化学试剂厂; 脯氨酸, 北京鼎国生物技术有限责任公司; 2,6-二氯酚靛酚钠, 合肥巴斯夫生物科技有限公司; 超氧化物歧化酶测定试剂盒, 南京建成生物工程研究所。

主要仪器: DW-86L388J 型医用超低温保存箱, 青岛海尔生物医疗股份有限公司; LHS-150SC 低温培养箱, 广州市深华生物技术有限公司; SJH-bS 型恒

温水浴锅, 宁波天恒仪器厂; 台式高速冷冻离心机, 广州得翔科技有限公司; 手持式折光仪, 成都泰华光学有限公司; UV-1800PC 型紫外分光光度计, 上海美谱达仪器有限公司; 301P-01N 型台式 pH 计, 美国 Thermo orion 公司。

1.2 材料处理

将采摘的‘储良’龙眼果实立即运回实验室, 选取大小均匀, 颜色一致, 无病害, 成熟度相近的龙眼, 于常温下先用体积分数为 0.5% 的咪鲜胺水溶液浸泡 5 min, 自然晾干。随机分成 4 份, 分别用 300 mmol/L 褪黑素+5 mmol/L 甜菜碱 (300 mmol/L MT+5 mmol/L GB)、300 mmol/L 褪黑素+10 mmol/L 甜菜碱 (300 mmol/L MT+10 mmol/L GB)、300 mmol/L 褪黑素+15 mmol/L 甜菜碱 (300 mmol/L MT+15 mmol/L GB) 浸泡果实 10 min, 以 300 mmol/L 褪黑素 (300 mmol/L MT) 浸泡果实为对照。自然晾干后盛于塑料保鲜盒 (规格为 13.5 cm×11.5 cm×6.5 cm), 15 颗/盒。外套厚度为 0.03 mm 的 PE 保鲜袋, 3 盒/袋, 每种处理设 3 个平行实验。果实于 4 °C 下贮藏, 每隔 7 d 取一次样, 测定质量损失率、TSS、TA、V_C、MDA 和游离脯氨酸含量, 其余果样经液氮速冻后置于 -80 °C 冷冻保存, 用于测定 CAT、过氧化物酶 (POD)、SOD 活性。

1.3 测定项目

1.3.1 质量损失率

每种处理组固定 10 颗龙眼果实, 采用称量法测定质量损失率。

1.3.2 营养指标

TSS 含量的测定采用手持式折光仪法。TA 含量的测定参照李玲^[18]的方法, 以苹果酸折算值 0.067 计算 TA 的含量, 单位为 g/100 g。V_C 含量的测定采用 2,6-二氯酚靛酚法^[18], 单位为 mg/100 g。

1.3.3 MDA 含量

MDA 含量参照李玲^[18]的方法, 采用硫代巴比妥酸法测量, 单位为 nmol/g。

1.3.4 游离脯氨酸的测定

游离脯氨酸的测定参照李玲^[18]的方法。称取 0.5 g 果肉, 加入 5 mL 质量分数为 3% 的磺基水杨酸研磨匀浆, 移至离心管中, 沸水浴 10 min, 冷却, 离心取上清液待测。取提取液 2 mL 于具塞试管中, 加入 2 mL 蒸馏水、2 mL 冰乙酸和 3 mL 酸性茚三酮试剂, 充分摇匀, 沸水浴 60 min, 冷却至室温, 加入 4 mL 甲苯, 振荡 30 s, 以萃取红色产物。萃取后再静置 5 min 使其完全分层, 吸取甲苯层置于分光光度计 520 nm 处测吸光值, 单位为 μg/g。

1.3.5 抗氧化酶活性测定

CAT 活性参照李玲^[18]的方法, 提取龙眼果肉的

酶液,反应液于240 nm处测吸光值,以每分钟吸光值变化0.1为1个活性单位,单位为U/(g·min)。POD活性的测定参照李小方等^[19]的方法略作修改,采用愈创木酚法测定。SOD活性按照超氧化物歧化酶测定试剂盒中的说明书进行测定,单位为U/g。

1.4 数据处理

每项指标测定重复3次。采用Microsoft Excel 2010和Origin 2018统计分析数据和绘制图表;采用SPSS 26.0进行差异显著性检验, $P < 0.05$ 表示差异显著, $P > 0.05$ 则表示差异不显著。

2 结果与分析

2.1 甜菜碱与褪黑素复合处理对龙眼质量损失率的影响

质量损失率是反映果实外观品质的重要指标,直观体现果实贮藏期间呼吸代谢引起的水分变化。由图1可知,在整个贮藏期内,各组处理的龙眼质量损失率均随时间的延长而不断增加,300 mmol/L MT组上升速度最快,300 mmol/L MT+10 mmol/L GB组的质量损失率始终显著低于其他处理组的($P < 0.05$)。贮藏42 d时,300 mmol/L MT、300 mmol/L MT+5 mmol/L GB、300 mmol/L MT+10 mmol/L GB、300 mmol/L MT+15 mmol/L GB处理的质量损失率分别为23.45%、22.20%、10.00%、15.41%。其中300 mmol/L MT+10 mmol/L GB组的果实质量损失率比300 mmol/L MT组的低57.36%。说明褪黑素与甜菜碱复合处理的保鲜效果优于300 mmol/L MT组的,能更好减缓果实水分的损失。这可能由于褪黑素能减弱果实呼吸作用^[16],

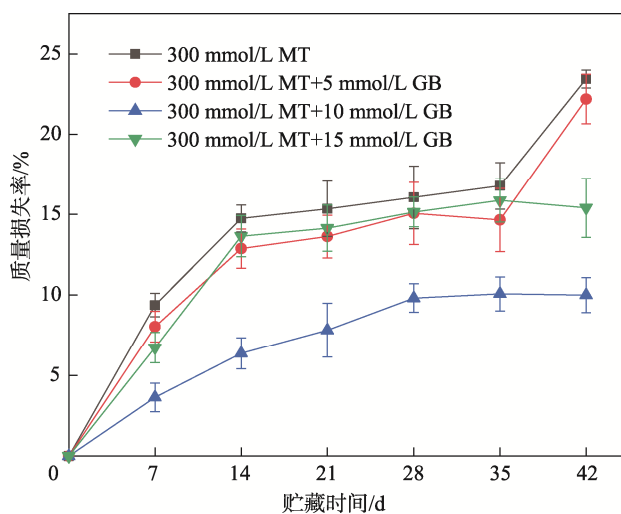


图1 甜菜碱与褪黑素复合处理对龙眼质量损失率的影响

Fig.1 Effect of melatonin and betaine composite treatment on weight loss rate of longan

且甜菜碱能抑制细胞壁降解酶活性,较好地保持了果实的外观品质^[20]。

2.2 甜菜碱与褪黑素复合处理对龙眼 TSS 含量的影响

TSS含量是影响果实风味的重要因素之一,TSS含量越高,表明贮藏过程中营养物质保留得越多^[21]。图2显示,龙眼果实的TSS含量随着贮藏时间的增加呈现下降趋势,外源褪黑素和甜菜碱复合处理组的TSS含量在大部分时间内呈较高水平。在贮藏14~35 d期间,TSS含量曲线变化较平缓,但略有波动。可能是因为一些高分子碳水化合物水解转化为可溶性单糖,导致TSS含量增加;而这些单糖需作为呼吸底物以提供能量给龙眼果实代谢维持生命活动,又导致TSS含量降低^[21]。相比于贮藏初始,贮藏42 d后,300 mmol/L MT、300 mmol/L MT+5 mmol/L GB、300 mmol/L MT+10 mmol/L GB、300 mmol/L MT+15 mmol/L GB处理的龙眼果肉的TSS含量分别降低了17.82%、15.41%、12.08%和12.84%。300 mmol/L MT组的降低幅度最大,且该组在第42天时龙眼的TSS含量显著低于其他处理组的($P < 0.05$),说明褪黑素与甜菜碱复合处理组能更好地维持果实的TSS含量。

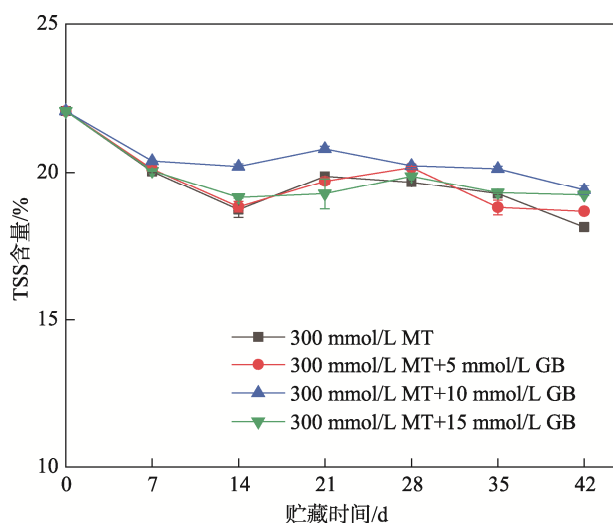


图2 甜菜碱与褪黑素复合处理对龙眼 TSS 含量的影响

Fig.2 Effect of melatonin and betaine composite treatment on TSS content of longan

2.3 甜菜碱与褪黑素复合处理对龙眼 TA 含量的影响

果实采后因代谢作用消耗或转化成TA,导致果实口感和品质降低^[22]。由图3可知,在贮藏期内,各处理组龙眼果实的TA含量整体呈现下降趋势,其中300 mmol/L MT组的TA含量下降速度最快。在贮藏21~35 d期间,300 mmol/L MT+10 mmol/L GB组的TA

含量显著高于 300 mmol/L MT 组的 ($P < 0.05$)。贮藏 42 d 时, 300 mmol/L MT+10 mmol/L GB 组的 TA 含量从采收时的 0.11 g/100 g 降至 0.06 g/100 g, 而 300 mmol/L MT 组的 TA 含量则降低到 0.04 g/100 g。说明褪黑素与甜菜碱复合处理, 特别是 300 mmol/L MT+10 mmol/L GB 组在一定程度上抑制了龙眼果实的呼吸作用, 降低了作为呼吸底物的有机酸的代谢, 进而减缓了 TA 的消耗。

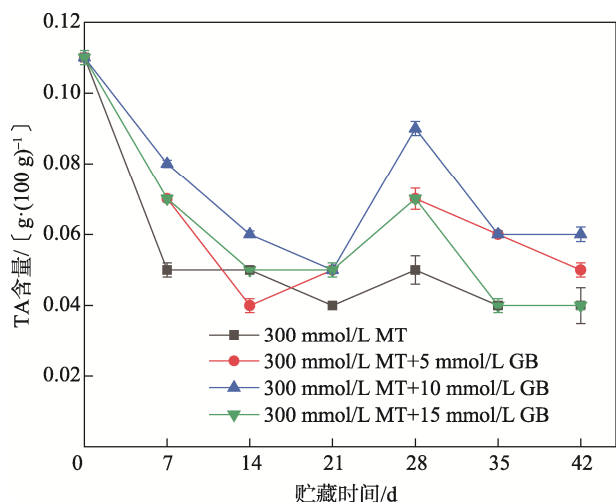


图 3 甜菜碱与褪黑素复合保鲜剂对龙眼 TA 含量的影响
Fig.3 Effect of melatonin and betaine composite treatment on TA content of longan

2.4 甜菜碱与褪黑素复合处理对龙眼 V_C 含量的影响

V_C 是还原型物质, 在果实采后极易被降解。由图 4 可以看出, 在贮藏初期, 各处理组龙眼果实的 V_C 含量前期快速下降, 后期下降速度减缓。贮藏 28~35 d 期间, 300 mmol/L MT+10 mmol/L GB 组的 V_C 含量显著高于 300 mmol/L MT 组的 ($P < 0.05$)。表明甜菜碱处理能够有效降低龙眼的呼吸强度, 抑制抗坏血酸氧化酶的活性, 减少自由基的产生, 延缓 V_C 的氧化速度, 维持果实营养成分, 对龙眼果实起良好的保鲜作用。

2.5 甜菜碱与褪黑素复合处理对龙眼游离脯氨酸含量的影响

当植物受到非生物胁迫时, 会累积大量可溶性物质以减轻胁迫的伤害, 其中游离脯氨酸含量是反映植物遭受逆境胁迫程度的生理指标之一^[23]。由图 5 可知, 当龙眼果实移入冷藏时, 300 mmol/L MT、300 mmol/L MT+10 mmol/L GB、300 mmol/L MT+15 mmol/L GB 处理组的脯氨酸含量升高, 而 300 mmol/L MT+5 mmol/L GB 处理组的脯氨酸含量则出现短暂下降, 其原因可能是龙眼果实在贮藏前期脯氨酸含量的积累需要一定

的启动时间。在 21~42 d, 300 mmol/L MT 组的游离脯氨酸含量始终低于其他 3 组, 说明褪黑素与甜菜碱复合处理的保鲜效果优于褪黑素单一处理。并且, 第 35 天, 300 mmol/L MT+10 mmol/L GB 组相比于 300 mmol/L MT 组的脯氨酸含量高了 61.37%, 说明具有渗透保护作用的脯氨酸的高积累有助于延缓龙眼果实的衰老进程。

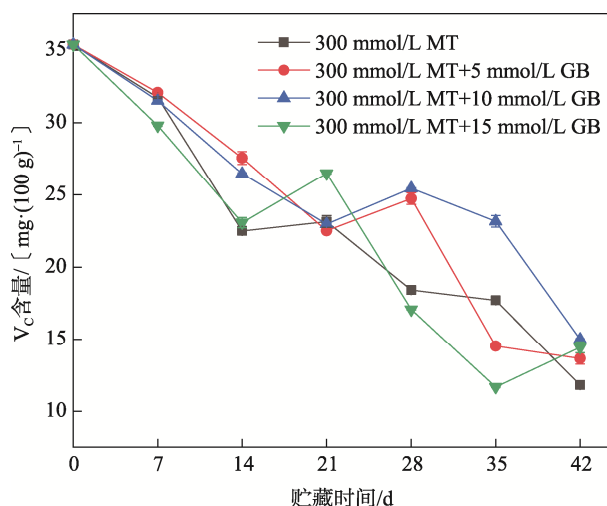


图 4 甜菜碱与褪黑素复合处理对龙眼 V_C 含量的影响
Fig.4 Effect of melatonin and betaine composite treatment on V_C content of longan

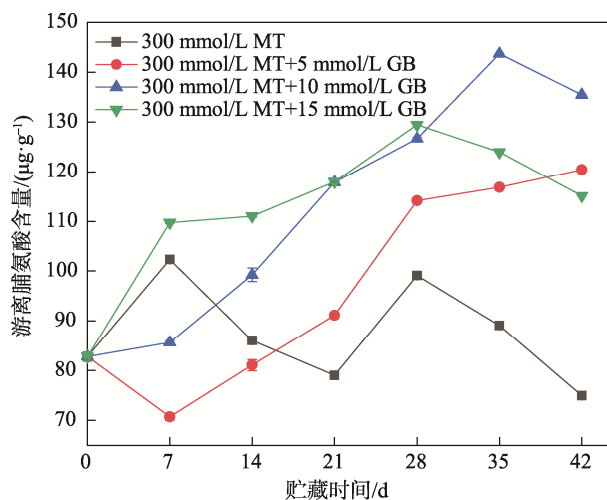


图 5 甜菜碱与褪黑素复合处理对龙眼游离脯氨酸含量的影响
Fig.5 Effect of melatonin and betaine composite treatment on free proline content of longan

2.6 甜菜碱与褪黑素复合处理对龙眼抗氧化作用的影响

2.6.1 CAT 活性

CAT 能清除生物体中的活性氧自由基, 维持活性

氧代谢平衡^[24]。由图6所示,4个处理组的龙眼果肉的CAT活性随着贮藏时间的延长逐渐下降,但3个褪黑素与甜菜碱复合处理组的下降幅度均小于300 mmol/L MT组的。贮藏42 d时,相较于贮藏初始,300 mmol/L MT、300 mmol/L MT+5 mmol/L GB、300 mmol/L MT+10 mmol/L GB、300 mmol/L MT+15 mmol/L GB处理组的CAT活性分别下降了81.61%、70.83%、55.47%、65.69%。其中300 mmol/L MT+10 mmol/L GB组下降的程度最小,且各处理组间差异显著($P<0.05$),说明复合保鲜处理能延缓CAT活性的下降。

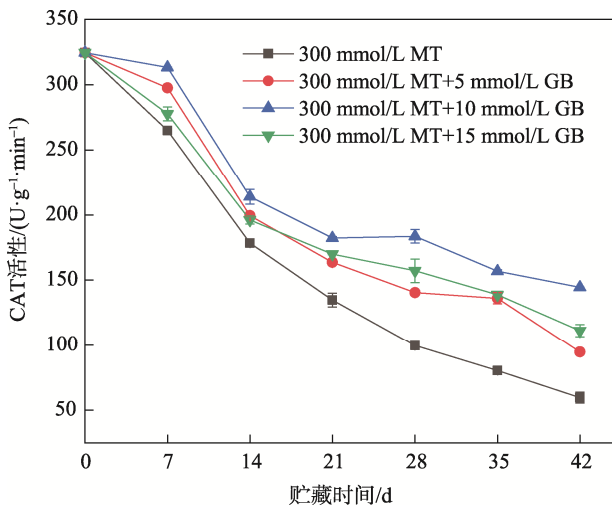


图6 甜菜碱与褪黑素复合处理对龙眼CAT活性的影响

Fig.6 Effect of melatonin and betaine composite treatment on CAT activity of longan

2.6.2 POD活性

POD也是清除活性氧自由基的重要氧化酶。贮藏期间果实POD活性的变化能反映果蔬品质和衰老程度^[25]。由图7可知,300 mmol/L MT和300 mmol/L MT+15 mmol/L GB处理组的POD活性在冷藏前期下降,之后不断升高,而300 mmol/L MT+5 mmol/L GB和300 mmol/L MT+10 mmol/L GB处理组则呈现不断下降趋势。贮藏21~42 d时,3个甜菜碱与褪黑素复合处理组的POD活性显著低于300 mmol/L MT组的($P<0.05$)。可能是因为甜菜碱能有效维持逆境下蛋白质和细胞膜的结构和功能,从而减轻膜脂过氧化,使自由基的生成量处于低水平^[26]。因此,适宜浓度配比的甜菜碱与褪黑素复合保鲜剂(300 mmol/L MT+10 mmol/L GB)处理有助于维持龙眼果实的低POD活性。

2.6.3 SOD活性

SOD是细胞内自由基清除系统中的关键酶,与CAT、POD等共同组成植物体内的保护酶系统,能够抑制植物组织活性氧的积累。当植物衰老或受到逆境侵害时,保护酶活性会显著升高^[27]。由图8可以看出,

冷藏期间龙眼果实SOD活性基本上呈先下降再升高的趋势,这与蒋紫洮等^[28]研究结果相似。冷藏0~28 d,甜菜碱与褪黑素复合处理组的SOD活性显著高于300 mmol/L MT组($P<0.05$)。第28天时,300 mmol/L MT+10 mmol/L GB组的SOD活性是300 mmol/L MT组的2.18倍,表明外源褪黑素和甜菜碱的结合有利于维持龙眼果实较高的SOD活性,清除活性氧的积累。

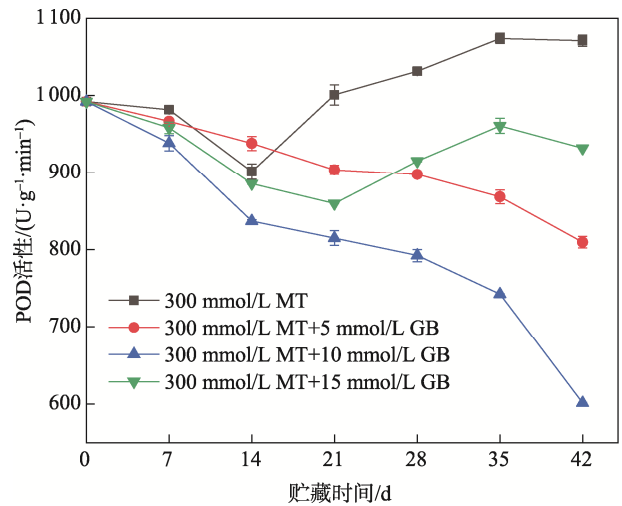


图7 甜菜碱与褪黑素复合处理对龙眼POD活性的影响

Fig.7 Effect of melatonin and betaine composite treatment on POD activity of longan

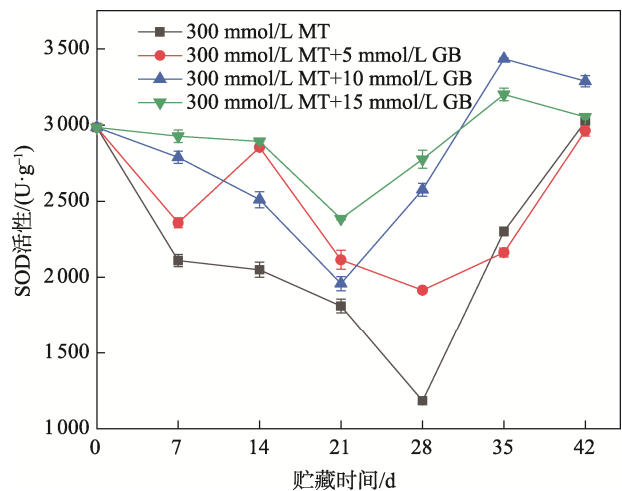


图8 甜菜碱与褪黑素复合处理对龙眼SOD活性的影响

Fig.8 Effect of melatonin and betaine composite treatment on SOD activity of longan

2.6.4 MDA含量

MDA是细胞膜发生脂质过氧化作用的主要产物,MDA的含量过高,会对细胞膜产生损伤^[29]。随着冷藏时间的延长,各处理组的龙眼果实MDA不断累积。3个甜菜碱与褪黑素复合处理组的MDA含量一直低于300 mmol/L MT组,尤以300 mmol/L MT+

10 mmol/L GB 的最低(图 9)。贮藏 42 d 时, 300 mmol/L MT 组的 MDA 含量比 300 mmol/L MT+5 mmol/L GB、300 mmol/L MT+10 mmol/L GB、300 mmol/L MT+15 mmol/L GB 组的高了 29.07%、65.84%、56.21%, 差异显著 ($P < 0.05$)。表明外源褪黑素与甜菜碱复合保鲜剂能通过抑制脂膜的过氧化, 减少 MDA 的积累, 降低衰老对龙眼果实细胞膜的损害。

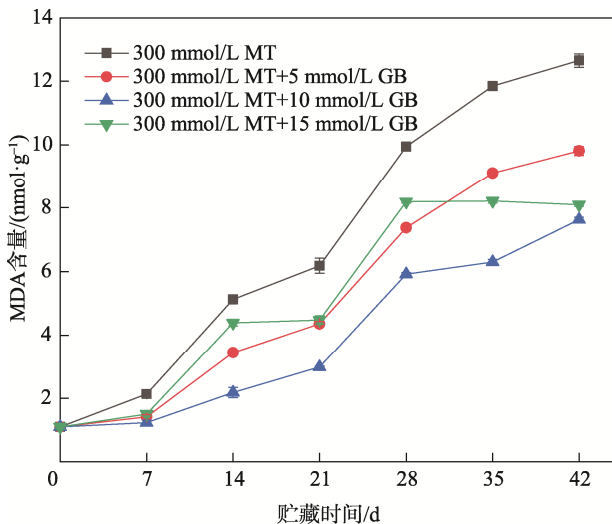


图 9 甜菜碱与褪黑素复合处理对龙眼 MDA 含量的影响

Fig.9 Effect of melatonin and betaine compound treatment on MDA content of longan

3 讨论

采后果蔬在贮运过程中发生一系列复杂的生理生化变化, 造成其营养品质、抗氧化力等的降低, 加速果蔬衰老和劣变, 因此需要研发高效安全的保鲜技术来提高果蔬的耐贮性。龙眼果实皮薄, 果肉汁多、高糖低酸, 代谢旺盛, 衰老速度快, 常温下 7~10 d 即腐烂变质, 即使是冷藏也会出现果皮褐变、果肉自溶等^[1-6]。基于甜菜碱和褪黑素均参与植物对逆境胁迫的反应^[12-14], 本研究采用外源甜菜碱与褪黑素复合处理了龙眼果实, 与 300 mmol/L MT 组相比, 复合处理减少了龙眼果实品质指标(质量损失率、TSS、TA、V_C 含量)的下降, 维持了果实的食用品质。这可能与褪黑素和甜菜碱能够协同减缓果实呼吸代谢强度有关。

正常条件下, 植物细胞内活性氧的产生与清除处于动态平衡的状态, 但当细胞衰老或逆境胁迫时活性氧生成加快而清除减慢, 从而积累大量的活性氧, 导致发生膜脂过氧化, 膜结构遭到破坏, 反过来加剧细胞的衰老或死亡。本实验发现与 300 mmol/L MT 组相比, 复合处理诱导冷藏的龙眼果实不断积累较多的游离脯氨酸(图 5), 在整个冷藏期间使 SOD 和 CAT 活

性维持在较高水平、POD 活性处于相对较低水平(图 6~8), 从而使抗氧化酶系统彼此协同, 有效地清除果实内的自由基, 缓解了细胞膜系统遭受的氧化胁迫程度。MDA 含量也处于低水平(图 9), 延缓采后龙眼果实的细胞衰老过程。

4 结语

本研究以 300 mmol/L MT 组为对照, 分别采用浓度为 5、10、15 mmol/L 的甜菜碱与 300 mmol/L 的褪黑素制成复合保鲜剂对广东省主栽龙眼品种‘储良’进行采后处理, 能有效减少了龙眼果实冷藏期间的水分损失, 减缓了营养物质含量的下降。同时, 果实积累了较多的游离脯氨酸, 并保持较高的 CAT 和 SOD 活性和降低的 POD 活性, 抑制了膜脂过氧化程度, 较好地提高了采后龙眼果实的耐贮性。其中以 300 mmol/L 褪黑素+10 mmol/L 甜菜碱复合处理的保鲜效果最佳。

参考文献:

- [1] 薛鹏宇, 殷菲彤, 刘云芬, 等. 龙眼果肉自溶研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(16): 291-296.
XUE P Y, YIN F L, LIU Y F, et al. Research Progress on Longan Pulp Breakdown[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(16): 291-296.
- [2] LIN L J, LIN Y X, LIN H T, et al. Comparison between 'Fuyan' and 'Dongbi' Longans in Aril Breakdown and Respiration Metabolism[J]. Postharvest Biology and Technology, 2019, 153: 176-182.
- [3] 韩冬梅, 黄石连, 欧阳思颖, 等. 提升龙眼果实耐贮性的果期病害防治与养分优化管理[J]. 中国农业科学, 2022, 55(21): 4279-4293.
HAN D M, HUANG S L, OUYANG S Y, et al. Optimizing Management Mode of Disease and Nutrient during the Entire Fruit Development for Improving Postharvest Storability of Longan Fruit[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2022, 55(21): 4279-4293.
- [4] GUNTIYA N, BUSSABAN B, FAIYUE B, et al. Application of Gaseous Chlorine Dioxide for Control of Fungal Fruit Rot Disease of Harvested 'Daw' Longan[J]. Scientia Horticulturae, 2016, 213: 164-172.
- [5] PANAHI RAD S, DADPOUR M, PEIGHAMBARDUST S H, et al. Application of Carboxymethyl Cellulose-and Pectin-Based Active Edible Coatings in Preservation of Fruits and Vegetables: A Review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 110(4): 663-673.
- [6] 韩冬梅, 朱春宇, 张璐, 等. SO₂ 保鲜纸结合冷库预冷对龙眼果实低温贮藏效果的影响[J]. 保鲜与加工,

- 2020, 20(1): 1-11.
- HAN D M, ZHU C Y, ZHANG L, et al. Effects of SO₂-released Paper Combined with Low Temperature Precooling on Longan Fruits Quality after Storage at Low Temperature[J]. *Storage and Process*, 2020, 20(1): 1-11.
- [7] ZHANG Q L, ZHANG J, ZHANG J Q, et al. Antimicrobial Effect of Tea Polyphenols Against Foodborne Pathogens: A Review[J]. *Journal of Food Protection*, 2021, 84(10): 1801-1808.
- [8] ASHRAF M, FOOLAD M. Roles of Glycine Betaine and Proline in Improving Plant Abiotic Stress Resistance[J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2007, 59(2): 206-216.
- [9] LIU J, WISNIEWSKI M, DROBY S, et al. Glycine Betaine Improves Oxidative Stress Tolerance and Biocontrol Efficacy of the Antagonistic Yeast *Cystofilobasidium Infirmominium*[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2011, 146(1): 76-83.
- [10] ZHENG Z D, WANG T, LIU M Y, et al. Effects of Exogenous Application of Glycine Betaine Treatment on 'Huangguoggan' Fruit during Postharvest Storage[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2023, 24(18): 14316.
- [11] 孙玉洁, 金鹏, 单体敏, 等. 甜菜碱处理对枇杷果实采后冷害和活性氧代谢的影响[J]. *食品科学*, 2014, 35(14): 210-215.
- SUN Y J, JIN P, SHAN T M, et al. Effect of Glycine Betaine Treatment on Postharvest Chilling Injury and Active Oxygen Metabolism in Loquat Fruits[J]. *Food Science*, 2014, 35(14): 210-215.
- [12] SUN C L, LIU L J, WANG L X, et al. Melatonin: A Master Regulator of Plant Development and Stress Responses[J]. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2021, 63(1): 126-145.
- [13] LI N, ZHAI K F, YIN Q, et al. Crosstalk between Melatonin and Reactive Oxygen Species in Fruits and Vegetables Post-Harvest Preservation: An Update[J]. *Frontiers in Nutrition*, 2023, 10: 1143511.
- [14] 瞿光凡, 巴良杰, 王瑞, 等. 褪黑素在果蔬采后保鲜的应用研究进展[J]. *包装工程*, 2022, 43(7): 45-51.
- QU G F, BA L J, WANG R, et al. Application of Melatonin in Postharvest Preservation of Fruits and Vegetables[J]. *Packaging Engineering*, 2022, 43(7): 45-51.
- [15] YUN Z, GAO H J, LI T T, et al. Insights Into the Roles of Melatonin in Maintaining Quality and Extending Shelf Life of Postharvest Fruits[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2021, 109: 569-578.
- [16] 谢晶, 潘家丽, 卢献婷, 等. 外源褪黑素处理对采后荔枝生理品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2022, 43(10): 1-8.
- XIE J, PAN J L, LU X T, et al. Effects of Exogenous Melatonin Treatment on the Physiological Quality of Post-Harvested Litchi[J]. *Food Research and Development*, 2022, 43(10): 1-8.
- [17] 骆思铭. 甜菜碱复合褪黑素处理对黄瓜保鲜效果的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2019.
- LUO S M. Study on the Preservation Effect of Betaine Combined with Melatonin on Cucumber[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2019.
- [18] 李玲. 植物生理学模块实验指导[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- LI L. Experimental Guidance of Plant Physiology Module[M]. Beijing: Science Press, 2009.
- [19] 李小方, 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 5版. 北京: 高等教育出版社, 2016.
- LI X F, ZHANG Z L. Experimental Instruction of Plant Physiology[M]. 5th ed. Beijing: Higher Education Press, 2016.
- [20] 李灿婴, 侯佳宝, 张浪, 等. 外源甜菜碱处理对南果梨果实贮藏品质的影响[J]. *包装与食品机械*, 2021, 39(4): 31-37.
- LI C Y, HOU J B, ZHANG L, et al. Effect of Exogenous Glycine Betaine Treatment on Storage Quality of Nanguo Pears[J]. *Packaging and Food Machinery*, 2021, 39(4): 31-37.
- [21] WANG F C, MI S, CHITRAKAR B, et al. Effect of Cold Shock Pretreatment Combined with Perforation-Mediated Passive Modified Atmosphere Packaging on Storage Quality of Cucumbers[J]. *Foods*, 2022, 11(9): 1267.
- [22] 李结瑶, 罗文翰, 翟万京, 等. 全降解 PLA/PBAT/ESO 保鲜膜在草莓保鲜中的应用研究[J]. *包装工程*, 2023, 44(5): 90-97.
- LI J Y, LUO W H, ZHAI W J, et al. Application of Fully Biodegradable PLA/PBAT/ESO Films in Strawberry Preservation[J]. *Packaging Engineering*, 2023, 44(5): 90-97.
- [23] MARIAMA K, DONG J X, HUAN C, et al. Melatonin Treatment Alleviates Chilling Injury in Mango

- Fruit 'Keitt' by Modulating Proline Metabolism under Chilling Stress[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2023, 22(3): 935-944.
- [24] CHEN C Y, CAI N, WAN C P, et al. Carvacrol Delays Phomopsis Stem-End Rot Development in Pummelo Fruit in Relation to Maintaining Energy Status and Antioxidant System[J]. *Food Chemistry*, 2022, 372: 131239.
- [25] 成宏斌, 潘晓翠, 王帆林, 等. 复配天然保鲜剂对槟榔冷藏保鲜效果的影响[J]. *食品工业*, 2022, 43(8): 1-5.
- CHENG H B, PAN X C, WANG F L, et al. Effect of Compound Natural Antistaling Agent on Cold Storage of Betel Nut[J]. *The Food Industry*, 2022, 43(8): 1-5.
- [26] CHEN L L, SHAN W, CAI D L, et al. Postharvest Application of Glycine Betaine Ameliorates Chilling Injury in Cold-Stored Banana Fruit by Enhancing Antioxidant System[J]. *Scientia Horticulturae*, 2021, 287: 110264.
- [27] LI S J, CHEN J J, LIU Y T, et al. Application of Cinnamaldehyde Solid Lipid Nanoparticles in Strawberry Preservation[J]. *Horticulturae*, 2023, 9(5): 607.
- [28] 蒋紫洮, 袁孟玲, 钟曼茜, 等. 紫外照射处理对龙眼果实常温下保鲜效果的研究[J]. *食品科技*, 2016, 41(1): 22-26.
- JIANG Z T, YUAN M L, ZHONG M Q, et al. Effect of Ultraviolet Treatments on the Storage of Longan Fruit at Room Temperature[J]. *Food Science and Technology*, 2016, 41(1): 22-26.
- [29] XU C F, WANG W, YAN S L, et al. A Trigger Non-Contact Antibacterial Packaging Based on Modified Basic Magnesium Hypochlorite (BMH) and Application on Preservation Effect of Fresh Lotus Seeds[J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2023, 37: 101059.