

不同预处理的芒果保鲜效果比较

普红梅¹, 王海丹¹, 杨芳¹, 帅良², 于丽娟¹, 李雪瑞¹, 李宏^{1*}

(1. 云南省农业科学院农产品加工研究所, 云南昆明 650000)

(2. 贺州学院食品与生物工程学院, 食品科学与工程技术研究院, 广西贺州 542899)

摘要: 为探明不同采后预处理对云南主栽品种“帕拉英达”芒果保鲜效果的影响, 设计了冷风处理、冷水处理、臭氧处理、1-MCP处理、套袋及对照等不同采后预处理, 通过色差(L*, a*, b*)、营养(Vc、TSS、TA)、以及生理生化指标(硬度、相对电导率、MDA)的分析比较, 结果表明: 贮藏前采取不同预处理, 对贮藏中芒果品质维持有一定作用。1-MCP处理的芒果贮藏25 d时保持最高L*值(70.43)、果肉硬度(带皮和不带皮分别为52.46 m和26.70 m), 最低a*值(17.11)、b*值(54.04)、质量损失率(4.27%)、固酸比(71.41%)以及MDA(29.93 μmol/(g-Fw))含量, 说明1-MCP前处理可保持芒果在贮藏中较好的色泽, 可有效延缓芒果采后转黄, 是几种预处理中较好的芒果预处理方法。

关键词: 芒果; 预处理; 保鲜效果

文章编号: 1673-9078(2022)01-197-205

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.1.0449

Comparison of Preservation Effects of Different Pretreatments on Mango

PU Hongmei¹, WANG Haidan¹, YANG Fang¹, SHUAI Liang², YU Lijuan¹, LI Xuerui¹, LI Hong^{1*}

(1. The Institute of Agro-Products Processing Science and Technology, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650000, China) (2. College of Food and Biological Engineering, Institute of Food Science and Engineering Technology, Hezhou University, Hezhou 542899, China)

Abstract: In order to explore the effect of different pre-harvest treatments on the preservation of mango cultivar ‘Parayingda’ in Yunnan, with no pretreatment as the control, five treatments including cold water, cold air, ozone, 1-MCP and bagging were set. Through the analysis and comparison of color difference (L*, a*, b*), nutrition (Vc, TSS, TA), and physiological and biochemical indexes (hardness, relative conductivity, MDA), the results showed that different pretreatments had a certain effect on maintaining the quality of mango during storage. The mango treated with 1-MCP maintained the highest L* value (70.43), flesh hardness (52.46 m and 26.70 m with and without peel, respectively), the lowest a* value (17.11), b* value (54.04), mass loss rate (4.27%), solid-acid ratio (71.41%), and MDA (29.93 μmol/(g-Fw)) content after 25 days of storage. It indicated that 1-MCP could maintain the good color of mango during storage and effectively delay the yellowing of mango after harvest, which was the best pretreatment method for mango in several pretreatments.

Key words: mango; pretreatment; preservation

引文格式:

普红梅,王海丹,杨芳,等.不同预处理的芒果保鲜效果比较[J].现代食品科技,2022,38(1):197-205

PU Hongmei, WANG Haidan, YANG Fang, et al. Comparison of preservation effects of different pretreatments on mango [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(1): 197-205

芒果 (*Mangifera indica* L.), 属于双子叶植物无患子目漆树科芒果属^[1], 其栽培面积和产量居世界热

收稿日期: 2021-04-25

基金项目: 云南省重大科技专项 (2019ZG002); “绿色食品牌” 打造科技支撑行动 (精深加工) 专项经费; 云南省农业科学院科技专项 (202102AE090036-13)

作者简介: 普红梅 (1986-), 女, 助理研究员, 研究方向: 农产品加工及贮藏, E-mail: huamei.dali@163.com

通讯作者: 李宏 (1974-), 男, 研究员, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工, E-mail: ynveg@163.com

带水果第二, 仅次于香蕉^[2]。成熟的芒果果实色泽鲜艳、香气诱人, 且富含可溶糖、类胡萝卜素、果胶等活性物质, 有“热带果王”的美誉^[3,4]。但芒果是典型的呼吸跃变型果实, 呼吸跃变主要表现为果实在成熟过程中呼吸强度在某个阶段急剧上升达到峰值并随后下降^[5,6], 伴随呼吸跃变的发生, 果实快速衰老、软化和腐烂。并且芒果在7~9月的高温期成熟, 采摘之后代谢旺盛, 也容易因为后熟而导致变黄、变软等, 同时芒果在其生长的过程中极易受到微生物的污染, 而低温贮藏又容易发生冷害, 因此芒果在流通运输中的

损耗较大,严重制约了芒果的现代化生产与发展。目前芒果采后较常用的方法有化学剂保鲜^[7]、涂膜保鲜^[8,9]、气调保鲜^[10]等,不同的保鲜方式均能取得一定保鲜效果。

芒果产业是云南农业的重要支柱产业^[11],近年来云南引进培育了国内外优良品种凯特、圣心、金煌、台农1号、贵妃、四季芒、帕拉英达等为主的鲜食品种,成为全国重要的芒果生产基地及加工基地。帕拉英达(*Pa La Hin Tha*)芒果原产于缅甸,因产量高、品质优而引进我国嫁接栽培,在云南保山地区栽培面积较大^[12],由于采摘工序繁杂(先人工采摘到背篓里,然后用背篓运到小路上的周转筐,再用小的三轮摩托或者马等将周转筐运到附近的集中点处理)且耗时一般在3 h以上,加上采收时为7~9月的高温季节,因此芒果预冷技术直接影响了云南芒果的商品质量和市场竞争力。芒果前处理问题成为云南芒果产业中急需解决的问题。宣朝辉等^[13]研究了芒果真空预冷,指出芒果真空预冷补水率为8%时,芒果的失水率最小。李健等^[14]研究指出使用0℃冷却水对芒果进行预冷不会出现冷害情况;进一步研究了芒果在0℃冷却水预冷10 min的效果^[15],结果显示,冷水预冷能延缓芒果贮藏期间果实硬度的下降,抑制果实失水率的增加和后熟转黄,对果实可溶性固形物含量的保持也有一定作用,但冷水预冷增加了芒果贮藏期间病害的发生。探索高效且易实现和操作的芒果前处理方法对指导云南芒果的实际生产具有重要意义。本试验以保山地区种植帕拉英达芒果为原材料,以无处理(CK₁)和当

地农户多年来依靠套袋(CK₂)减少芒果表皮的损坏和污染,促进芒果更好的转色的生产经验为对照,考虑到云南多山及经济落后的特点,设计了操作简单、成本较低的冷风处理、冷水处理、臭氧处理、1-MCP处理等不同预处理,研究预处理对芒果采后贮藏保鲜效果的影响,为芒果采后处理提供科学依据,有效减少芒果采后损失。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

帕拉英达芒果:2020年8月4日清晨于保山潞江坝采摘,成熟度为7~8成熟,均为套袋栽培的芒果。

主要仪器:柯尼卡美能达CM-5色差计,柯尼卡美能达(中国)投资有限公司;ATAGO(爱拓)PR-101 α 型数字式糖度仪,广州市爱宕科学仪器公司;Bareiss HPE II Fff数显果蔬硬度计,德商博锐仪器公司;雷磁DDS-307型电导率仪,上海仪电科学仪器股份有限公司(原上海精科雷磁);飞立臭氧机(型号FL-803AS),深圳飞立电器科技有限公司。

主要试剂:草酸、钼酸铵、硫酸、醋酸、偏磷酸、95%乙醇,天津市风船化学试剂科技有限公司;EDTA,源叶生物。鲜博士1-MCP(有效浓度0.14%),咸阳西秦生物科技有限公司;MDA试剂盒,苏州科铭生物技术有限公司。

1.2 实验方法

表1 芒果预处理实验设计

Table 1 Experiment design of mango pretreatment

预处理	说明	贮藏条件
冷风处理	室内空调温度提前设置为18℃,温度稳定以后将芒果平铺散热处理1 h,充分散去田间热;	
冷水处理	大盆中放入冷水,逐渐放入冰袋,不断监测盆内水的温度,在水温下降至13℃左右时放入修剪好的芒果,冷水处理30 min;	
臭氧处理	将修剪好果蒂的芒果放入大小为50×120 cm,厚度为4 μ m的PE保鲜袋中,用臭氧机(臭氧产量为3 g/h)持续通入O ₃ 处理30 min(袋子与臭氧机不完全密封,可保持空气的流动);	芒果预处理完以后,于当天运回实验室,在阴凉的环境中贮藏,环境温度维持在15.5~20℃之间。
1-MCP	准确称取315.33 mg 1-MCP,溶解于用PE保鲜膜封口的小离心管中,以泡沫箱的体积(35.2 L)计算1-MCP浓度为2 μ L/L,将修剪好果蒂的芒果迅速放入,室温密封处理24 h后,共75个果实,分为3个重复,每个箱子25个果实为一个重复,24 h后用带孔塑料筐分装10个和15个,分别用于腐烂和相关指标的测定,在相同条件下进行贮藏;	
对照处理(CK ₁)	芒果去掉套袋,修剪果蒂后直接用带孔塑料筐盛装后运回实验室;	
套袋处理(CK ₂)	按照当地农民的习惯,贮藏中保留芒果前期套的双层复合纸袋;	

1.2.1 实验处理

芒果采摘以后, 在就近的遮阴篷进行处理, 除套袋处理, 其余的各个处理先去纸袋, 然后进行果蒂修剪, 只留 2 cm 长左右的果蒂, 修剪完以后按照表 1 进行不同预处理。每种处理的芒果分为 2 份, 第一份 30 个, 分为 3 个重复, 每重复 10 个芒果果实, 每 5 d 对其进行称重, 并统计其腐烂个数, 计算其腐烂率; 第二份 45 个, 同样分为 3 个重复, 每个重复 15 个芒果, 每 5 d 随机取 3 个芒果果实用于测定分析芒果在储藏期间的生理生化指标情况。处理以后的芒果放入内衬报纸的带孔塑料水果筐中, 在 15.5~20 °C 之间冷库中贮藏, 主要从外观品质 (色差、黄化、腐烂)、营养指标 (Vc、TSS、TA)、生理生化指标 (硬度、质量损失率、相对电导率、MDA) 验证不同预处理对芒果采收后贮藏保鲜的效果, 为云南芒果外销提供数据参考, 达到促进果农增收, 产业增效的目的。

1.2.2 指标测定

1.2.2.1 果皮颜色测定

参照唐德寅^[16]的方法, 用色差仪分别测定, 测定点分布于果实横赤道面两侧, 每个面测定上、中、下三个点, 每果测 6 个点, 记录每个点 L^* 、 a^* 、 b^* 值, 求平均值表示色差值。

1.2.2.2 转黄率

参照 Kobiler 等^[17]、Jiang 等^[18]的方法评价芒果的转黄率, 以全部转黄的芒果个数占调查总个数的百分比表示。

1.2.2.3 质量损失率

参照普红梅等^[19]的方法, 采用称重法。分别测定待测果实贮藏起始质量 (M_0 , g) 与贮藏中第 n 次取样测定的质量 (M_n , g)。

$$\text{失重率} / \% = \frac{M_0 - M_n}{M_0} \times 100\%$$

1.2.2.4 硬度的测定

参照普红梅等^[20]的方法, 选择数显果蔬硬度计 (0.1 cm² 探针) 分别测定带皮和去皮的芒果果实硬度, 每个果实测定 9 个点, 求平均值表示该果实的硬度。

1.2.2.5 营养物质的测定

每处理三个重复, 每个重复取 3 个芒果, 削下厚度均匀的果皮用于电导率测定。果肉榨取果汁, 用 4 层纱布过滤后, 参照梁清志等^[21]的方法, 测定可溶性固形物 (Total Soluble Solids, TSS)、可滴定酸 (Titratable Acid, TA) 及 Vc 含量的测定, 平行测定三次, 以平均值表示芒果营养指标。

TSS 测定: 直接榨取果汁, 采用 ATAGO (爱拓) PR-101 α 型数字式糖度仪进行测定。

TA 测定: 采用酸碱中和法, 准确称取 10.0 g 芒果样品, 加入 30 mL 左右的蒸馏水, 使用匀浆机匀速打碎。将匀浆转移至 100 mL 的容量瓶中, 并用蒸馏水冲洗 2~3 次, 然后定容至 100 mL, 摇匀。用漏斗进行过滤以后, 用移液枪准确吸取 20 mL 滤液于锥形瓶, 加入 2 滴酚酞指示剂进行滴定, 滴定至溶液初显粉色并 30 s 不褪色为滴定终点。准备相同体积的蒸馏水, 加入 2 滴酚酞指示剂, 滴定, 作为空白。

$$\text{可滴定酸 (总酸度含量)} / \% = \frac{C \times K \times V}{W} \times 100\%$$

式中:

C —氢氧化钠溶液的浓度, mol/L;

W —样品体积, mL;

V —滴定时消耗氢氧化钠的体积, mL;

K —换算为适当酸之系数, 由于芒果属核果类, 故按苹果酸计算, K 为 0.067。

Vc 含量: 准确称取 20.0 g 左右样品, 加入 10 mL 草酸-EDTA 溶液, 匀浆机匀速打碎。打碎的果肉倒入 100 mL 的棕色容量瓶中, 用草酸-EDTA 冲洗 2~3 次, 并定容至 100 mL, 8000 r/min 离心 10 min。取上清液体 10 mL, 加入 50 mL 容量瓶中, 再分别在容量瓶中加入 1 mL 的偏磷酸-醋酸溶液, 2 mL 的 5% 硫酸, 4 mL 5% 钼酸铵溶液, 用蒸馏水定容至刻度线后摇匀。在黑暗处静置 15 min, 在波长 705 nm 出测定吸光度。

经测定标准曲线公式为 $Y=1.745x-0.0133$

$$\text{Vc} / (\text{mg} / 100 \text{g}) = \frac{A + 0.0133}{1.745} \times \frac{100}{W}$$

式中:

A —吸光度值;

W —样品质量, g。

1.2.2.6 固酸比

用 TSS 含量和 TA 含量的相对比值表示固酸比。

$$\text{固酸比} = \frac{\text{TSS}}{\text{TA}}$$

1.2.2.7 果皮相对电导率

用削皮刀均匀刮取厚 1.5~2 mm 左右果皮, 取皮时力道均匀, 以保证果皮连续不断, 且厚度一致; 将果皮折叠, 用 0.5 cm 的打孔器取 15 个果皮, 用双重蒸馏水冲洗 2 遍, 滤纸吸干表面水, 放入洁净的 50 mL 离心管中, 加入 30 mL 双重蒸馏水, 摇动 10 min 以后用 DDS-307 型电导仪测定浸泡液电导率 P_0 。置于沸水浴中煮 10 min, 冷却后测定绝对电导率 P_R , 并计算相对电导率, 以双重蒸馏水作为空白对照, 每处理 3 次重复, 以平均值表示该处理相对电导率值。

$$\text{相对膜透性}/\% = \frac{P_0}{P_R} \times 100\%$$

1.2.2.8 MDA 含量的测定

参照郝建军等^[22]的方法,采用硫代巴比妥酸法测定。

1.3 数据处理

采用Excel 2010 和 Origin 2017 进行数据处理和绘图。

2 结果与分析

2.1 不同预处理对芒果颜色的影响

2.1.1 不同预处理对芒果采后贮藏中色差的影响

明度 L^* 值从大 (100) 到小 (0) 由白色向黑色渐变。由图 1 可见, 芒果贮藏中, 随着贮藏时间的延长, 芒果的 L^* 值呈现逐渐下降的趋势, 表明随着贮藏时间的延长, 芒果果实表面的光泽度逐渐减弱, 色泽变暗。贮藏到 15 d 时, 1-MCP 和套袋处理的芒果 L^* 值显著高于 ($p < 0.05$) 其他处理。从 15 d 贮藏到第 20 d, 芒果的 L^* 值下降较快, 冷水、冷风、臭氧、1-MCP、套袋和 CK 处理的 L^* 值分别为 62.32、63.84、65.524、70.43、70.05 和 62.78, 其中套袋处理的芒果 L^* 值 70.05 和 1-MCP 处理的芒果 L^* 值 70.43 显著高于其他处理 ($p < 0.05$), 其余处理的芒果 L^* 值均小于 70, 说明套袋处理和 1-MCP 处理有利于维持芒果果实的采后色泽。

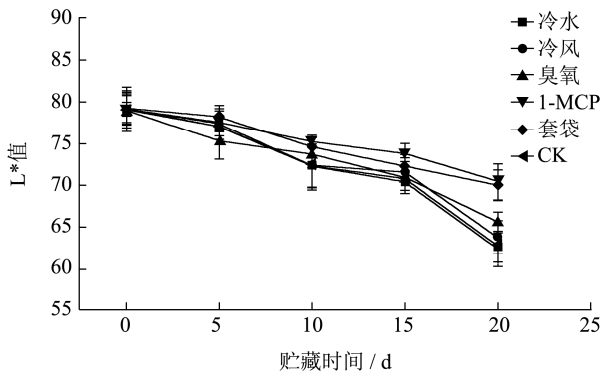


图 1 不同预处理对芒果贮藏中 L^* 值的影响

Fig.1 Effects of different pretreatments on L^* of mango during storage

色度 a^* 值表示由红色向绿色渐变, + 表示偏红, - 表示偏绿; 色度 b^* 值由黄色向蓝色渐变。由图 2 可以看出, 芒果贮藏中的 a^* 值和 b^* 值都随着贮藏时间的延长而增加, 且 a^* 值和 b^* 值均为正值, 反映出芒果的颜色偏红和偏黄。芒果的初始 a^* 值为 4.66, 贮藏 25 d 后冷水、冷风、臭氧处理、1-MCP、套袋和 CK 处理的 a^* 值分别上升为 16.74、16.84、16.08、17.11、18.19 和 17.86, 套袋处理的 a^* 值 18.19 显著 ($p < 0.05$) 高于其他处理。

由图 2 可见, 芒果初始 b^* 值为 43.43, 颜色接近橙色。贮藏 25 d 后冷水、冷风、臭氧、1-MCP、套袋和 CK 处理 b^* 值分别上升为 53.52、53.52、55.95、54.04、52.09 和 53.87, 各个处理之间无显著差异 ($p < 0.05$)。贮藏过程中 a^* 值和 b^* 值不断上升, 反映出芒果的颜色由黄色向橙黄色渐变, 其中 1-MCP 处理的芒果的颜色转色较慢, 说明 1-MCP 处理对贮藏中的芒果转色有延缓作用。

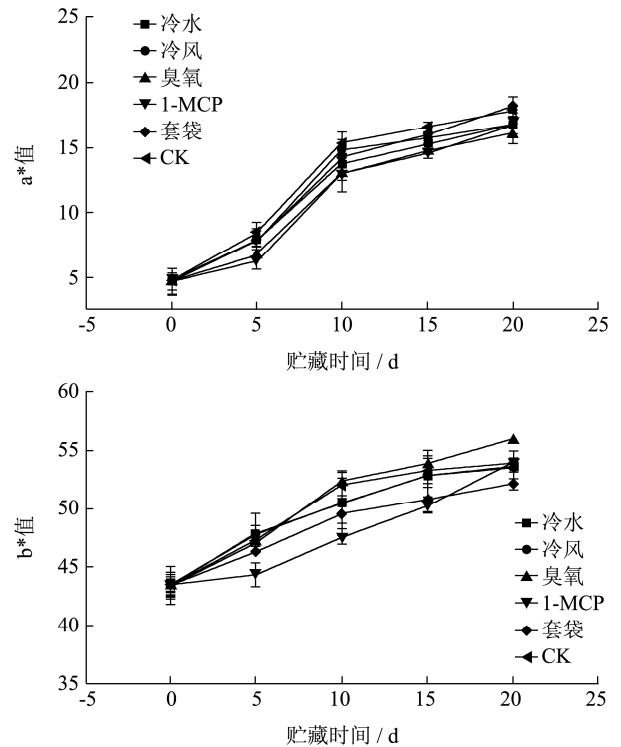


图 2 不同预处理对芒果贮藏中 a^* 值和 b^* 值的影响

Fig.2 Effects of different pretreatments on a^* and b^* of mango during storage

2.1.2 不同预处理对芒果转黄率的影响

贮藏中芒果的转黄率随着贮藏时间的延长而不断增加, 最后达到 100%。如表 2 所示: 第 5 d 时, 除 1-MCP 处理与 CK 处理无显著差异外, 其余各处理与 CK 处理均有显著差异, 其中冷风处理、臭氧和套袋处理显著低于 CK 处理, 而冷水处理则显著高于 CK 处理 ($p < 0.05$)。到 10 d 时, 臭氧和套袋处理的芒果转黄率上升较快, 分别由 5 d 的 15.35% 和 6.67% 升高至 10 d 的 100%; 15 d 时冷风、臭氧、套袋及 CK 处理的芒果 100% 转黄。与 CK 处理 15 d 100% 转黄相比, 套袋处理和臭氧处理的转黄率有所提前, 在 10 d 时转黄率已达 100%, 套袋处理加速转黄的结果与谈德寅^[16]的套袋果皮更加容易着色, 有效提高改善了果实的外观品质结果一致; 臭氧处理可能是由于加速了叶绿素降解的酶活性导致转黄率快速上升。而冷水处理和 1-MCP 处理的转黄率得到延缓, 到 20 d 时转黄率才达 100%。说

明 1-MCP 处理对芒果转黄有一定的抑制作用,这与图 2 中 b^* 值较低结果一致,也与 Watkins^[23] 的研究结果一

致,即 1-MCP 处理能有效抑制芒果果实采后转黄指数和软化衰老程度的下降。

表 2 不同预处理对芒果转黄率的影响

Table 2 Effect of different pretreatments on yellowing rate of mango

项目	0	5	10	15	20	25
冷水	6.67±0.23 ^a	36.37±1.13 ^a	86.67±0.90 ^c	93.33±0.16 ^b	100.00±0.0 ^a	100.00±0.0 ^a
冷风	6.67±0.23 ^a	15.38±0.51 ^c	93.33±0.36 ^b	100.00±0.0 ^a	100.00±0.0 ^a	100.00±0.0 ^a
O3	6.67±0.23 ^a	15.36±0.45 ^c	100.00±0.0 ^a	100.00±0.0 ^a	100.00±0.0 ^a	100.00±0.0 ^a
1-MCP	6.67±0.23 ^a	25.02±0.90 ^b	33.33±1.08 ^d	93.33±0.83 ^b	100.00±0.0 ^a	100.00±0.0 ^a
套袋	6.67±0.23 ^a	6.67±0.19 ^d	100.00±0.0 ^a	100.00±0.0 ^a	100.00±0.0 ^a	100.00±0.0 ^a
CK	6.67±0.23 ^a	25.00±0.30 ^b	93.33±0.84 ^b	100.00±0.0 ^a	100.00±0.0 ^a	100.00±0.0 ^a

注: 相同小写字母表示同一列各个处理在 0.05 水平无显著差异。

2.2 不同预处理对芒果贮藏中质量损失率的影响

影响

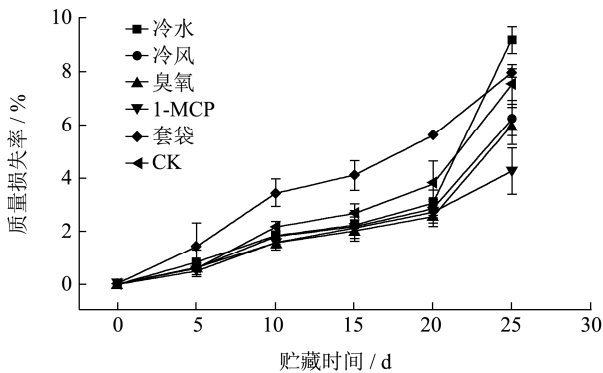


图 3 不同预处理对芒果质量损失率的影响

Fig.3 Effects of different pretreatments on mass loss rate of mango during storage

果蔬采后脱离了母体,水分和养分得不到补给,同时通过呼吸作用消耗自身的有机物质来提供生命活动所需要的能量,因此,会导致果蔬质量损失。李健^[14]等研究表明,在整个冷藏链中,不经预冷的果蔬在流通中损失约为 25%至 30%,而经过预冷之后,损失可降至 5%至 10%。因此,芒果采后的预处理显得格外重要。本研究中由图 3 可见,随着贮藏时间的延长,芒果的质量损失率逐渐增大,除 25 d 时,套袋处理的质量损失率始终较高,其次分别为是 CK、冷水、冷风、臭氧和 1-MCP 处理。20~25 d 之间各个处理质量损失率增加加快,其中冷水处理的芒果质量损失率增加 66.29%,其次为风冷和臭氧处理的 55.16%和 57.68%,1-MCP 处理的 37.02%最慢。25 d 时冷水、冷风、臭氧、1-MCP、套袋和 CK 处理的质量损失率分别为 9.15%、6.27%、5.97%、4.27%、7.95%和 7.52%,各个处理的质量损失率之间无显著差异 ($p < 0.05$)。李健等^[14]研究指出,0 °C 冷却水对芒果进行预冷不会出现冷害情况,

反而有助于芒果品质的保持。本研究中,贮藏到 25 d,冷水处理的 9.15%和套袋处理 7.95%的质量损失率高于 CK 处理的 7.52%,冷水处理的质量损失率最高,可能原因是冷水处理较大的温差引起果皮表面较大的收缩,导致贮藏中失水较大;而套袋处理的质量损失率较高,可能原因是袋子吸收了水果实水分的原因;说明冷水处理和套袋处理不能延缓芒果的采后损失率,而冷风 (6.27%)、臭氧 (5.97%) 和 1-MCP (4.27%) 处理相较 CK 处理能减少芒果采后质量损失,其中 1-MCP 处理的芒果采后贮藏中质量损失率最低,即 1-MCP 处理效果最好。

2.3 不同预处理对贮藏中芒果硬度的影响

果实硬度作为果实商品性的重要衡量指标之一,与果实的储运期和供应期的长短有密切的关系。果实成熟过程中,细胞胞间层的不溶性果胶质转化为可溶性果胶酸,果肉细胞彼此分离,于是果肉变软,细胞中淀粉的分解也是果实变软的部分原因。

由图 4 可见,随着贮藏时间的延长,带皮和去皮的芒果果肉硬度均呈现逐渐下降的趋势,并且贮藏时间的延长,各个处理之间的差异逐渐增大。从图 4 可以看出,贮藏中带皮和去皮的芒果果肉的硬度变化趋势基本相同,在贮藏的前 5 d 硬度下降较缓慢,5 d 到 10 d 之间快速下降,10 d 之后缓慢下降。贮藏 25 d 时,1-MCP 和套袋处理的芒果果实的带皮硬度分别为 52.47 m 和 49.85 m,与 CK 处理的 48.72 m 无显著差异 ($p < 0.05$)。而臭氧处理的芒果带皮果肉硬度 39.91 m,显著低于其余处理 ($p < 0.05$)。

去皮的芒果果实硬度较带皮的略低,由图 4 可见,贮藏到 25 d 时,去皮的芒果果肉硬度均降到 30 m 以下,其中套袋处理最高为 28.33 m,其次是 1-MCP 处理的 26.70 m,二者之间无显著差异,但显著高于 ($p < 0.05$) CK 处理的 9.90 m;冷风、冷水和套袋处理分别为 15.76

m、16.86 m 和 12.06 m，三者之间无显著差异($p < 0.05$)。

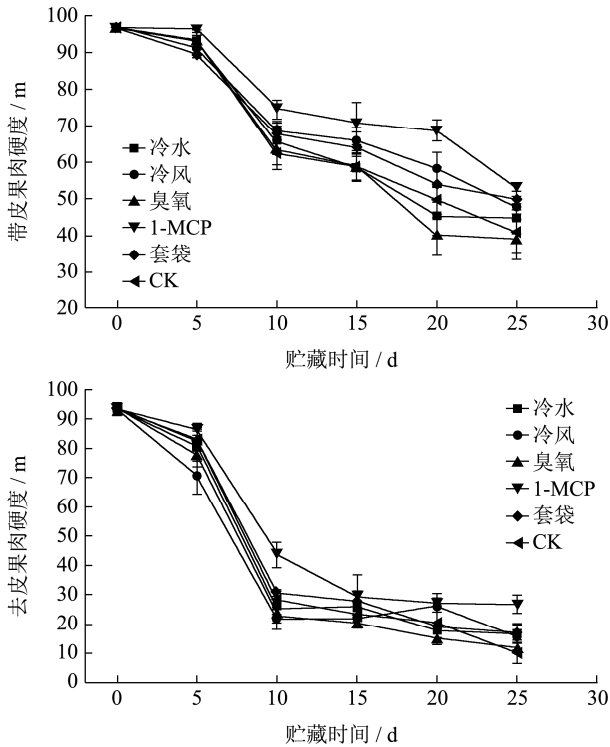


图4 不同预处理对芒果贮藏中硬度的影响

Fig.4 Effect of different pretreatment on hardness of mango during storage

综上所述，与 CK 处理相比较，1-MCP 处理有利于维持芒果的硬度。邵志远等人^[24]研究了不同浓度 1-MCP 处理对“台农”芒果贮藏品质及采后生理的影响，结果表明，果实硬度随着贮藏时间的延长呈下降的趋势，1-MCP 处理果实硬度下降速度极显著低于对照果实 ($p < 0.01$)，较好地防止了果实的软化，与本研究的研究结果一致。但 Zald 等^[25]指出，“Manila”芒果果实采后外观枯萎现象是果实质量、硬度降低的主要原因，采用 1-MCP 处理对于延缓果实硬度降低的效果并不理想，说明 1-MCP 处理对芒果硬度的影响还与芒果的品种有关。

2.4 不同预处理对贮藏中芒果营养品质的影响

2.4.1 不同预处理对芒果维生素 C (Vc) 含量的影响

维生素 C 含量是评价果蔬新鲜度和品质的重要指标，由图 5 可以看出，在贮藏中芒果的维生素 C 含量总体呈现下降趋势，即芒果的维生素 C 含量随着贮藏时间的延长逐渐下降。在贮藏前 20 d，风冷处理的芒果始终保持较高的 Vc 含量，可能原因是 Vc 受温度影响较大，风冷处理通过缓慢降温的方式达到预冷的效果，因此前期 Vc 含量保持较高。贮藏到 25 d，臭氧处理的芒果 Vc 含量为 92.14 mg/100 g·FW，显著高于其

他处理 ($p < 0.05$)；其次是风冷的 81.67 mg/100 g·FW，套袋、水冷和 1-MCP 分别为 74.60 mg/100 g·FW、71.68 mg/100 g·FW 和 75.81 mg/100 g·FW，各个处理的 Vc 含量值在 $p < 0.05$ 情况下均显著高于 CK 处理的 66.28 mg/100 g·FW。说明不同的芒果预处理，均有利于芒果采后 Vc 含量的维持。刘德兵等^[26]的试验结果则表明，生产中套袋使得 Tommy 芒果的维生素 C 含量明显上升，本研究中采后套袋处理 25 d 的芒果 Vc 含量为 74.60 mg/100 g·FW，高于冷水处理和 CK 处理，对延缓芒果采后 Vc 含量下降的作用并不明显。

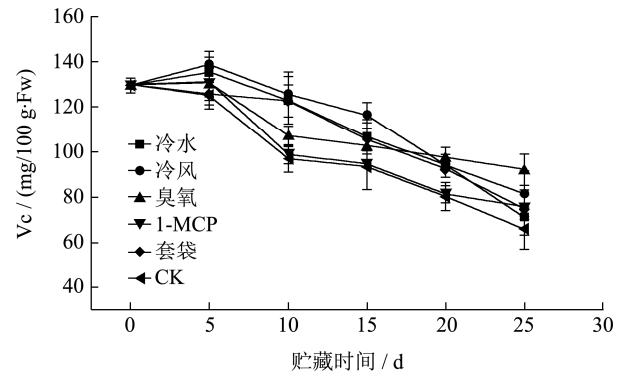


图5 不同预处理对芒果贮藏中 Vc 的影响

Fig.5 Effect of different pretreatments on Vc content during mango

2.4.2 不同预处理对芒果可溶性固形物 (TSS) 及可滴定酸 (TA) 含量的影响

TSS 和 TA 含量可以反映果实的口感，TSS 越高，口感越甜，TA 含量越高，口感越酸。由图 6 可见，芒果采后的 TSS 含量在贮藏中呈现先上升后下降的趋势。在芒果贮藏前 10 d 由于后熟过程中淀粉转化为糖，导致 TSS 含量升高，在随后的贮藏中，由于代谢消耗糖分导致 TSS 含量下降。贮藏第 10 d，芒果的 TSS 含量达最高，冷水、冷风、臭氧、1-MCP、套袋和 CK 处理的 TSS 含量分别为 15.15%、15.8%、14.25%、15.25%、14.75%和 15%，之后 TSS 含量逐渐下降。到第 25 d，冷水、冷风、臭氧、1-MCP、套袋和 CK 处理的 TSS 含量分别 13.65%、13.65%、13.95%、13.15%、12.1%和 14.25%，除臭氧处理的 13.95%与 CK 处理的 14.25%之间无显著差异外，其余各个处理与 CK 处理之间均无显著差异 ($p < 0.05$)。

芒果的 TA 在贮藏中呈现下降趋势，5 d 至 15 d 之间下降趋势较快，15 d 以后的下降趋势变缓慢，贮藏到 25 d 时，除 1-MCP 处理的 0.1842%与 CK 处理 (0.1842%) 和套袋处理 (0.1782%) 无显著差异，冷风 (0.1545%)、冷水 (0.1604%) 和臭氧处理 (0.1458%) 的芒果 TA 含量均显著低于 CK 处理 ($p < 0.05$)。滕建文等^[27]发现，可滴定酸在芒果贮藏过程中呈现下降趋

势, 臭氧水处理可以延缓可滴定酸的下降速率。本研究中, 相较于冷风和套袋处理, 臭氧处理对延缓采后帕拉英达芒果 TA 含量下降也有一定效果。

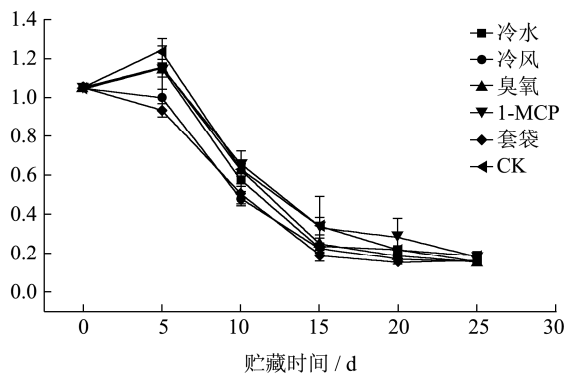
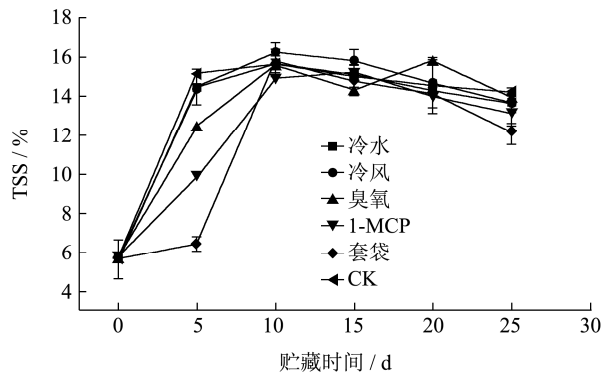


图6 不同预处理对芒果贮藏中 TSS 和 TA 含量的影响

Fig.6 Effects of different pretreatments on the contents of TSS and TA during mango storage

武红霞等^[28]对套袋 Irwin 芒果的研究表明, 套袋可提高内含物中可溶性总糖及可溶性固形物含量, 显著改善果实可食率, 却使得可滴定酸含量明显降低。本研究中, 如图 6 所示采后套袋处理后的帕拉英达芒果贮藏中 TSS 含量和 TA 含量均维持较低, 说明其不能较好维持采后帕拉英达芒果的 TSS 含量和 TA 含量。

综上所述, 1-MCP 处理以后芒果维持了较低的 TSS 和较高 TA 含量, 说明 1-MCP 有效延缓了芒果的衰老。

2.4.3 不同预处理对芒果贮藏中固酸比的影响

固酸比反映果实的酸甜口感, 是人们购买水果的重要因素之一, 固酸比越高说明口感越甜, 反之则越酸。由图 7 可见, 新鲜芒果的固酸比为 5.39%, 随着贮藏时间的延长, 芒果的固酸比逐渐上升, 15 d 之前上升较快, 到 15 d 时, 冷水、冷风、臭氧、1-MCP、套袋和 CK 处理的固酸比分别为 64.56%、69.08%、57.11%、45.84%、80.09%和 44.56。15 d 之后上升趋势变慢, 到第 25 d 时分别为 85.10%、88.37%、93.93%、71.41%、87.85%和 77.38%。由图 7 可以看出, 贮藏过程中, 1-MCP 处理的芒果固酸比始终维持较低, 说明 1-MCP 处理延缓了芒果采后衰老。

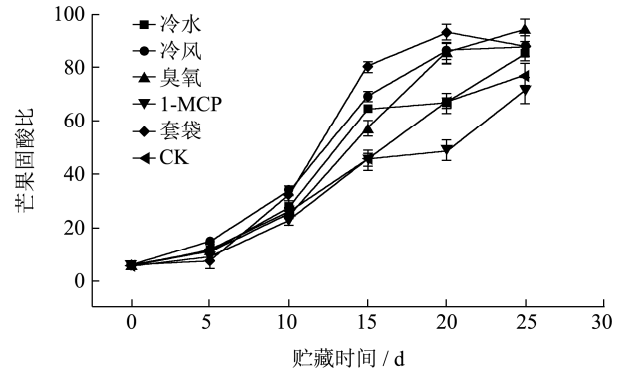


图7 不同预处理对芒果贮藏中固酸比的影响

Fig.7 Effects of different pretreatments on solid-acid ratio of mango during storage

2.5 不同预处理的芒果贮藏中相对电导率

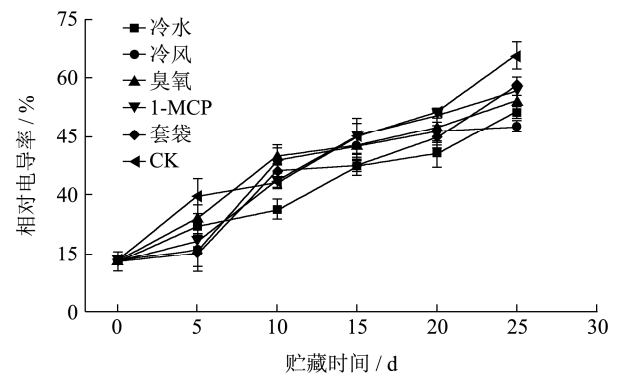


图8 不同预处理对芒果贮藏中相对电导率的影响

Fig.8 Effects of different pretreatments on relative conductivity of mango during storage

贮藏过程中随着贮藏时间的延长, 果皮细胞膜的完整性被破坏, 电解质外渗, 导致电导率值增大, 因此可以用相对电导率反映果皮细胞膜的完整程度。由图 8 可以看出, 芒果贮藏中的相对电导率值不断增加; 不同预处理中, 除第 10 d 外, CK 的相对电导率值始终最高, 说明不同预处理对延缓芒果采后衰老有一定作用。贮藏到 25 d 时, CK 处理的相对电导率值 65.70% 显著高于其余处理 ($p < 0.05$), 其次是套袋处理 (58.15%) 和 1-MCP 处理 (56.53%), 二者处理之间无显著差异 ($p < 0.05$), 而冷风处理的芒果相对电导率值 47.57% 显著低于 ($p < 0.05$) 其余处理, 说明风冷处理对芒果细胞的破坏性最小, 细胞膜完整性最好。

2.6 不同预处理对芒果贮藏中 MDA 含量的影响

丙二醛 (MDA) 是膜脂过氧化作用的产物, 能够与蛋白质、核酸等生命大分子发生交联聚合, 且具有细胞毒性, 使膜结构遭到破坏, 膜透性增加, 故其值的大小反应细胞膜系统受到伤害的程度。由图 9 可见, 芒果贮藏中 MDA 含量不断增加, 贮藏到 25 d 时, 冷

水、冷风、臭氧、1-MCP、套袋和 CK 处理的 MDA 含量分别为 33.43 $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{FW})$ 、31.43 $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{FW})$ 、29.99 $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{FW})$ 、28.93 $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{FW})$ 、31.48 $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{FW})$ 和 36.60 $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{FW})$ ，其中 CK 处理的 MDA 含量[36.60 $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{FW})$]显著高于其余处理 ($p<0.05$)，说明不同预处理能减少贮藏中 MDA 的积累，对延缓芒果衰老有一定效果。而 1-MCP 处理的 MDA 含量 28.93 $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{FW})$ 显著低于 CK 处理的 36.60 $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{FW})$ ($p<0.05$)，但与冷风[31.43 $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{FW})$]、臭氧[29.99 $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{FW})$]和套袋处理[31.48 $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{FW})$]之间无显著差异 ($p<0.05$)，说明 1-MCP 处理能减轻贮藏中芒果膜细胞的伤害。

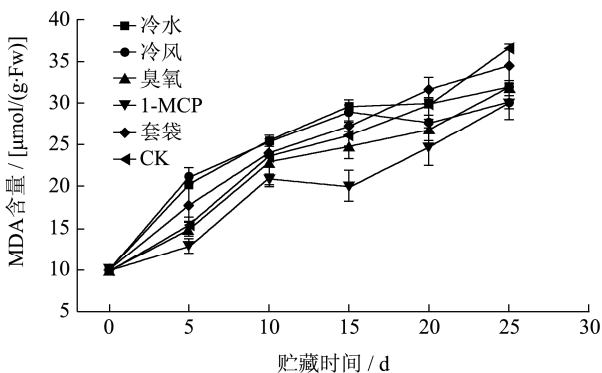


图 9 不同预处理对芒果贮藏中 MDA 含量的影响

Fig.9 Effects of different pretreatments on MDA content in mango during storage

3 结论

不同预处理对贮藏中芒果品质维持有一定作用，1-MCP 处理的芒果贮藏 25 d 时始终保持较高 L*值 (70.43)、果肉硬度 (带皮和不带皮分别为 52.46 m 和 26.70 m)，较低 a*值 (17.11)、b*值 (54.04)、质量损失率 (4.27%)、固酸比 (71.41%)、果实转黄率以及 MDA [29.93 $\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{FW})$]含量，说明 1-MCP 处理保持了较好的色泽，可有效延缓芒果采后转黄，是几种预处理中最好的芒果预处理方法。

参考文献

[1] Jing P, Xiaomin Y, Shujuan Z, et al. Bioactive phenolics from mango leaves (*Mangifera indica* L.) [J]. Industrial Crops & Products, 2018, 111: 400-406

[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

XU Leilei. Mango industry development report and situation in 2015 [J]. World Tropical Agriculture Information, 2016, 11: 14-26

[3] Wang W, Li M, Hassanien R H E, et al. Thermal performance

of indirect forced convection solar dryer and kinetics analysis of mango [J]. Applied Thermal Engineering, 2018, 134: 310-321

[4] Santo D, Graça A, Nunes C, et al. Escherichia coli and Cronobacter sakazakii in ‘Tommy Atkins’ minimally processed mangos: survival, growth and effect of UV-C and electrolyzed water [J]. Food Microbiology, 2018, 70: 49-54

[5] Tharanathan T N P R, Yashoda H M, Prabha T N. Mango (*Mangifera indica* L.), “the king of fruits”: an overview [J]. Food Reviews International, 2006, 22: 95-123

[6] 魏征,张建威,祝美云,等.可食性复合涂膜对芒果货架期生理品质的影响[J].食品科学,2011,32(20):261-265

WEI Zheng, ZHANG Jianwei, ZHU Meiyun, et al. Effect of edible composite coating on physiological quality of mango during shelf life [J]. Food Science, 2011, 32(20): 261-265

[7] 曾文谨,尹秀华,王勤志,等.复合保鲜剂对芒果冷藏保鲜效应的研究[J].食品科技,2007,9:226-228

ZENG Wenjing, YIN Xiuhua, WANG Qinzi, et al. Study on the effect of compound preservatives on the preservation of mango during cold storage [J]. Food Technology, 2007, 9: 226-228

[8] 杨华.壳聚糖/纳米 TiO₂ 复合涂膜对芒果致腐霉菌抑制效果研究[D].成都:西华大学,2020

YANG Hua. The inhibitory effect of chitosan/nano-TiO₂ composite coating on mango saprophytic mold [D]. Chengdu: Xihua University, 2020

[9] 周志强,马金菊,甘瑾,等.漂白紫胶/单宁酸复配涂膜对芒果常温贮藏的保鲜效果[J].食品科学,2020,41(9):145-152

ZHOU Zhiqiang, MA Jinju, GAN Jin, et al. The preservation effect of bleached purple gum / tannic acid compound coating on mango stored at room temperature [J]. Food science, 2020, 41(9): 145-152

[10] 陈复生,李里特,张宏康.果蔬气调保鲜的机理与应用[J].中国商办工业,2001,3:46-49

CHEN Fusheng, Lirit, ZHANG Hongkang. Mechanism and application of controlled atmosphere preservation of fruits and vegetables [J]. Chinese Commercial Industry, 2001, 3: 46-49

[11] 弓德强,高兆银,李敏,等.采前水杨酸处理对芒果采后品质及抗病性的影响[J].山东农业科学,2019,51(8):91-96

GONG Deqiang, GAO Zhaoyin, LI Min, et al. Effects of pre-harvest salicylic acid treatment on postharvest quality and disease resistance of mango [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2019, 51(8): 91-96

[12] 解德宏,张永超,张翠仙,等.6 个东南亚引种芒果品种在云南的综合比较试验[J].南方农业学报,2015,46(7):1243-1247

- XIE Dehong, ZHANG Yongchao, ZHANG Cuixian, et al. Comprehensive comparative test of 6 introduced mango varieties from southeast Asia in Yunnan [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2015, 46(7): 1243-1247
- [13] 宣朝辉,杨永安,李勤国.不同包覆材料下芒果真空预冷的实验研究[J].*冷藏技术*,2019,42(3):24-27
- XUAN Chaohui, YANG Yongan, LI Qinguo. Experimental study on vacuum precooling of mango with different coating materials [J]. *Refrigeration Technology*, 2019, 42(3): 24-27
- [14] 李健,曹建康,姜微波.芒果冷水预冷的实验研究[J].*食品科技*, 2013,38(5):38-41
- LI Jian, CAO Jiankang, JIANG Weibo. Experimental study on mango cold water precooling [J]. *Food Technology*, 2013, 38(5): 38-41
- [15] 李健,王友升,曹建康,等.冷水预冷对芒果贮藏品质的影响[J].*食品科学*,2012,33(16):314-317
- LI Jian, WANG Yousheng, CAO Jiankang, et al. Effect of cold water precooling on mango storage quality [J]. *Food Science*, 2012, 33(16): 314-317
- [16] 谈德寅.采前不同处理对芒果采后果实生理特性和风味品质的影响[D].福州:福建农林大学,2012
- TAN Deyin. Effects of different pre-harvest treatments on physiological characteristics and flavor quality of postharvest mango fruits [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2012
- [17] Kobiler I, Shalom Y, Roth I, et al. Effect of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid on the incidence of side and stem end rots in mango fruits [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2001, 23: 23-32
- [18] Jiang Y, Joyce D C, Macnish A J. Extension of the shelf life of banana fruit by 1-methylcyclopropene in combination with polyethylene bags [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 1999, 16: 187-193
- [19] 普红梅,姚春光,李燕山,等.低温贮藏对两个马铃薯品种生理特性的影响[J].*保鲜与加工*,2016,16(5):1-4
- PU Hongmei, YAO Chunguang, LI Yanshan, et al. Effects of low temperature storage on physiological characteristics of two potato varieties [J]. *Preservation and Processing*, 2016, 16(5): 1-4
- [20] 普红梅,李雪瑞,杨芳,等.不同采后处理对云南油桃和水蜜桃的贮藏保鲜效果对比[J].*现代食品科技*,2020,36(3):120-126
- PU Hongmei, LI Xuerui, YANG Fang, et al. Comparison of storage and preservation effects of different postharvest treatments on Yunnan nectarine and peach [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2020, 36(3): 120-126
- [21] 梁清志,弓德强,黄光平,等.植酸处理对采后芒果常温贮藏品质及生理特性的影响[J].*广东农业科学*,2015,42(22):86-91
- LIANG Qingzhi, GONG Deqiang, HUANG Guangping, et al. Effects of phytic acid treatment on storage quality and physiological characteristics of postharvest mango at room temperature [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2015, 42(22): 86-91
- [22] 郝建军,康宗利,于洋.植物生理学实验指导技术[M].北京:化学工业出版社,2007
- HAO Jianjun, KANG Zongli, YU Yang. *Plant Physiology Experiment Guidance Technology* [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007
- [23] Watkins C B. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables [J]. *Biotechnol Advances*, 2006, 4(24): 389-409
- [24] 邵远志,陈业渊,高爱平,等.1-MCP 对芒果果实贮藏品质及采后生理的影响[J].*食品科技*,2009,34(7):44-47
- SHAO Yuanzhi, CHEN Yeyuan, GAO Aiping, et al. Effects of 1-MCP on storage quality and postharvest physiology of mango fruit [J]. *Food Technology*, 2009, 34(7): 44-47
- [25] Zald M N, Universit V. The power and functions of boards of directors: a theoretical synthesis [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2016, 111: 398-405
- [26] 刘德兵,范崇辉,魏军亚,等.不同套袋材料对红杧果实品质及贴字效果的影响[J].*热带作物学报*,2004,1:17-19
- LIU Debing, FAN Chonghui, WEI Junya, et al. Effects of different bagging materials on fruit quality and paste effect of red mango [J]. *Journal of Tropical Crops*, 2004, 1: 17-19
- [27] 滕建文,曾文谨,姬晨,等.芒果的臭氧保鲜研究[J].*食品科技*, 2008,8:233-235
- TENG Jianwen, ZENG Wenjin, JI Chen, et al. Study on ozone preservation of mango [J]. *Food Science and Technology*, 2008, 8: 233-235
- [28] 武红霞,马蔚红,王标松,等.套袋对 Irwin 芒果实的影响[J].*热带作物学报*,2005,4:1-5
- WU Hongxia, MA Weihong, WANG Biaosong, et al. Effect of bagging on Irwin mango fruit [J]. *Journal of Tropical Crops*, 2005, 4: 1-5