

低温处理提高自发气调包装墨茄的贮藏品质

陈晴^{1,2}, 王祖莲^{1,2}, 李焕秀², 高佳^{1,3}, 朱永清^{1,3}, 罗芳耀¹, 唐月明¹

(1. 四川省农业科学院农产品加工研究所, 四川成都 610066) (2. 四川农业大学园艺学院, 四川成都 611130)
(3. 农业部西南地区园艺作物生物学及种质创制重点实验室, 四川成都 610066)

摘要:以“黑冠”墨茄为试验材料,研究了4种贮藏温度(6、8、10、12℃)对茄子自发气调包装(MAP)后包装袋内气体成分、茄子贮藏品质和冷害发生的影响,定期测定了贮藏期内各处理包装袋内O₂和CO₂含量、果肉色泽参数L*值和Hue值、果实硬度、外观指数、腐烂指数、冷害指数、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)和多酚氧化酶(PPO)活性的变化情况。结果表明:6℃下的墨茄在10d时出现严重冷害症状,冷害指数高达50.00;8℃下的墨茄在20d时出现严重冷害症状,冷害指数为47.50,且这两个处理在贮藏后期随着冷害加重,包装袋内O₂和CO₂含量波动大,果肉色泽参数L*值和Hue值、果实硬度、CAT和PPO活性大幅度降低,POD活性快速升高,6℃下的墨茄品质劣变最严重,在20d时外观指数降至37.22,腐烂指数和冷害指数分别为42.50和52.50。而12℃下MAP贮藏墨茄商品性最好,果肉色泽参数L*值和Hue值以及果实硬度都显著高于6℃和8℃($p<0.05$),并能维持POD、CAT和PPO酶活性相对平缓变化,且不易发生冷害。

关键词: 温度; 茄子; 品质; 冷害

文章编号: 1673-9078(2020)09-134-141

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.9.0204

Improving the Storage Quality of Eggplant Stored with Modified Atmosphere Packaging by Low Temperature Treatment

CHEN Qing^{1,2}, WANG Zu-lian^{1,2}, LI Huan-xiu², GAO Jia^{1,3}, ZHU Yong-qing^{1,3}, LUO Fang-yao¹, TANG Yue-ming¹

(1. Institute of Agro-products Processing Science and Technology, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China) (2. College of Horticulture, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)
(3. Ministry of Agriculture, Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticultural Crops (Southwest Region), Chengdu 610066, China)

Abstract: The effects of four temperatures (6, 8, 10 and 12 °C) on gas composition in package bag, storage quality and chilling injury of eggplants stored with modified atmosphere packaging were studied with “Heiguan” eggplant. The changes of O₂ and CO₂ contents in package bags, flesh color parameters L* value and Hue value, fruit firmness, appearance index, decay index, chilling injury index, peroxidase (POD), catalase (CAT) and polyphenol oxidase (PPO) activities were periodically measured during storage. The results showed that severe chilling injury happened to eggplant at 6 °C in the 10th day, and the chilling injury index was up to 50.00. Severe chilling injury happened to eggplant at 8 °C on the 20th day, the chilling injury index was 47.50. With the aggravation of chilling injury of these two treatments in late stages, the O₂ and CO₂ contents in the package were greatly fluctuated, the flesh color parameters L* value and Hue value, fruit firmness, CAT and PPO activities were greatly decreased, and the POD activity was rapidly increased, the deterioration of quality of eggplant at 6 °C was the most serious, and the appearance index dropped to 37.22 at 20 d, the decay index and the chilling injury index were 42.50 and

引文格式:

陈晴,王祖莲,李焕秀,等.低温处理提高自发气调包装墨茄的贮藏品质[J].现代食品科技,2020,36(9):134-141

CHEN Qing, WANG Zu-lian, LI Huan-xiu, et al. Improving the storage quality of eggplant stored with modified atmosphere packaging by low temperature treatment [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(9): 134-141

收稿日期: 2020-03-04

基金项目: 四川省科技计划项目(2018NZ0001; 20ZDYF1649)

作者简介: 陈晴(1995-),女,硕士研究生,研究方向:蔬菜贮藏保鲜与加工

通讯作者: 高佳(1983-),女,博士,副研究员,研究方向:果蔬贮藏保鲜与加工

52.50, respectively. The commodity of eggplants stored with MAP at 12 °C was the best, the flesh color parameters L^* value and Hue value and fruit firmness were significantly higher than those at 6 °C and 8 °C ($p < 0.05$), and the activities of POD, CAT and PPO were maintained relatively stable, and was not prone to chilling injury.

Key words: temperature; eggplant; quality; chilling injury

茄子 (*Solanum melongena* L.), 也叫落苏、昆仑瓜等^[1], 为茄科 (*Solanaceae*) 茄属 (*Solanum* L.) 作物, 其营养丰富, 富含维生素、膳食纤维和酚类物质、黄酮醇等植物营养素^[2], 具有降血脂、防止动脉硬化和心血管疾病, 增强肝脏生理功能, 防止胃癌、抗氧化等功效, 是一种良好的保健蔬菜^[3], 深受广大消费者喜爱。我国茄子栽培范围广, 河南、山东、湖南、四川和江苏等地都有大面积种植^[4]。茄子采后在常温下呼吸代谢旺盛, 3~5 d 就会出现萎蔫、木质化等品质劣变现象, 常采用低温贮藏延长保鲜期^[2,5]。但茄子起源于热带地区, 对温度比较敏感, 不适宜的低温贮藏会引起代谢紊乱, 发生冷害现象, 表现为果面出现水浸或脱色斑块, 内部种子和胎座薄壁组织变褐^[6], 失去商品性。

冷害是喜温果蔬常见的一种生理性病害, 其发生程度与果蔬的种类、品种、栽培条件、成熟度、贮藏温度和时间等因素密切相关^[7]。采用聚乙烯 (PE) 薄膜自发气调包装 (MAP) 技术可以显著延缓或减轻茄子冷害发生^[8], 这在辣椒^[9]、柿子^[10]和黄瓜^[11]等果蔬上均得到了验证。MAP 技术通常需要与适宜的贮藏温度相搭配使用才能发挥最佳的果蔬保鲜效果, 而且果蔬品种类型、产地、包装膜种类等因素也在一定程度上影响 MAP 协同冷藏技术的应用效果。郭雨萱等^[12]研究表明, 将紫红长茄和黑奥圆茄用厚度为 0.25 mm 的 PE 膜包装后在 8 °C 下贮藏能较好保持茄子的粘附性和内聚性等质构特性, 该品种茄子发生冷害的临界温度为 5~8 °C; 侯建设等^[13]发现, 紫面条茄用高密度聚乙烯薄膜袋 (HDPE) 包装后在 9 °C 下贮藏 18 d 未发生冷害, 但发生一定程度的腐烂, 认为茄子的适宜冷藏温度为 7~9 °C; Concellón 等^[14]研究发现, 用低密度聚乙烯薄膜袋 (LDPE) 包装茄子 (品种名为 Money maker No.2) 后贮藏于 0 °C 下受到冷害, 而在 10 °C 下未受冷害影响。可见, 不同品种、生态区和栽培条件下产出的茄子采后品质存在差异, 相应适宜的 MAP 协同低温保鲜技术需要根据实际情况个性化调整。

为寻找适于四川成都平原产常见墨茄品种采后保鲜用的 MAP 协同低温保鲜技术, 本试验采用前期研究筛选的高密度聚乙烯膜包装材料, 研究不同冷藏温度 6~12 °C 结合 MAP 保鲜技术对四川产墨茄采后贮藏品质及抗氧化酶活性的影响, 探讨 MAP 结合不同冷

藏温度对墨茄冷害症状产生的情况, 旨在为四川成都平原产墨茄的采后 MAP 保鲜技术应用提供研究依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

供试墨茄购于四川省成都市新津县花园镇茄子种植基地, 品种名为“黑冠”。采收达到商品成熟度、大小均匀的茄子材料, 采后 2 h 内立即运回实验室, 剔除有机械损伤和病虫害的果实后, 放入 (12±0.5) °C 冷库中预冷 24 h 备用。

MAP 包装膜的 O_2 和 CO_2 透气性参数分别为 (4623±834) $cm^3/m^2 \cdot 24 h \cdot 0.1 MPa$ 和 (18033±3356) $cm^3/m^2 \cdot 24 h \cdot 0.1 MPa$, 包装膜材质为高密度聚乙烯 (HDPE), 生产商为四川兴达塑料有限公司。

磷酸氢二钠、30%过氧化氢购于成都市科隆化学制品有限公司; 磷酸二氢钠、乙酸乙酯购于成都金山化学试剂有限公司; 愈创木酚购于中国余山化工厂; 二硫苏糖醇 (DTT)、交联聚乙烯吡咯烷酮 (PVPP) 购于北京索莱宝科技有限公司; 邻苯二酚购于上海麦克林生化科技有限公司, 以上试剂均为分析纯; 实验用水为蒸馏水。

1.2 仪器与设备

电子天平: CP214, 奥豪斯仪器 (上海) 有限公司; 色差仪: CR-400, 日本 Konica Minolta 公司; 质构仪: TA.XT plus, 英国 SMS 公司; 氧气/二氧化碳气体分析仪: Check Mate II, 丹麦 Dansensor 公司; 紫外可见分光光度计: TU-1810, 北京普析通用仪器有限责任公司; 冷冻离心机: Centrifuge5810R, 德国 Eppendorf 公司; 电炉: DL-1, 北京中兴伟业仪器有限公司; 酶标仪: Synergy HTX, 美国 Bio Tek 公司。

1.3 处理方法

共设置 4 个贮藏温度处理, 分别为 (6±0.5) °C、(8±0.5) °C、(10±0.5) °C 和 (12±0.5) °C。预冷后的茄子样品随机分为 4 组, 每组共 80 根茄子, 每袋 2 根茄子, 然后装入有孔蔬菜周转筐中, 分别放置在上述 4 个不同温度的冷库中贮藏。以放入冷库当天作为第 0 d, 分别在第 1、10、20 和 30 d 取样测定指标。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 包装袋内 O₂ 和 CO₂ 含量的测定

采用 O₂/CO₂ 气体分析仪测定, 每个处理每次测定 10 袋茄子, 结果取其平均值, 以百分数 (%) 表示。

1.4.2 果肉色泽参数 L* 值和 Hue 值的测定

采用 CR-400 色差仪测定。将茄子纵剖后取中部靠近果皮两点测定, 注意避开种子。每个处理每次测定 20 根茄子, 共 40 个测定值, 结果取其平均值。

1.4.3 果实硬度的测定

采用 TA.XT plus 质构仪测定。探头直径为 2 mm, 探头移动速度为 1 mm/s, 穿刺深度 2 cm。在每根茄子腰部取一点进行穿刺, 每个处理每次测定 20 根茄子, 计算穿刺果实表面时测试力的峰值, 结果取其平均值, 以牛顿表示 (N)。

1.4.4 外观指数、腐烂指数和冷害指数的测定

外观指数参考 Barbagallo 等^[15]的方法, 外观指数评定划分为 9 级: 9 级, 新鲜, 有光泽; 8 级, 稍有变化, 光泽下降; 7 级, 变化明显; 6 级, 商品性明显下降; 5 级, 商品性最低限; 4 级, 失去商品性, 表面粗糙, 色泽变浅; 3 级, 食用价值最低限; 2 级, 失去食用价值; 1 级, 腐烂变质。外观指数 = $\sum(\text{级别} \times \text{该级个数}) / (\text{最高技术} \times \text{总个数}) \times 100$ 。腐烂指数参考朱通等^[16]的方法并稍作修改, 腐烂指数评定划分为 4 级: 4 级, 果面腐烂面积大于 1/2; 3 级, 果面腐烂面积 1/3~1/2; 2 级, 果面腐烂面积小于 1/3; 1 级, 果蒂处腐烂长菌; 0 级, 无腐烂。腐烂指数 = $\sum(\text{级别} \times \text{该级个数}) / (\text{最高级} \times \text{总个数}) \times 100$ 。冷害指数参照 Li 等^[17]的方法并稍作修改, 冷害指数评定采用 5 段法: 4 级, 冷害表面积 75%~100%; 3 级, 冷害表面积 50%~75%; 2 级, 冷害表面积 25%~50%; 1 级, 冷害表面积 0~25%; 0 级, 无冷害。冷害指数 = $\sum(\text{级数} \times \text{该级个数}) / (4 \times \text{总个数}) \times 100$ 。

1.4.5 POD、CAT 和 PPO 的测定

参照曹建康^[18]的方法测定。每个贮藏测试时间点每个处理取 20 根茄子, 在果实的腰部位置取样去皮, 采用液氮冻样, 贮藏结束后统一采用冷冻样品测定。

1.5 数据分析

试验数据用 Microsoft Excel 2010 软件进行整理, 所有平均值数据误差记为标准误 SE; 采用 SPSS 23.0 数据分析软件进行统计分析; 采用 Sigmaplot 12.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 包装袋内 O₂ 和 CO₂ 的含量变化

茄子分别在 4 种温度下贮藏时包装袋内 O₂ 和 CO₂ 的含量变化情况如图 1 所示。各处理中 O₂ 含量 1~10 d 内均呈现剧烈下降趋势, O₂ 含量从 11.00%~16.24% 显著降低至 1.12%~3.77% 之间 ($p < 0.05$)。第 1 d 时各处理间 O₂ 含量表现出与贮藏温度的负相关趋势, 即 6 °C 处理 O₂ 含量组间最高, 12 °C 处理最低 ($p < 0.05$); 而在第 10 d 时, 各处理贮藏温度与 O₂ 含量为正相关趋势, 6 °C 和 8 °C 处理 O₂ 含量显著低于 10 °C 和 12 °C 处理 ($p < 0.05$)。第 20 d 时, 6 °C 处理 O₂ 含量出现了显著升高 (从 1.31% 上升至 5.55%) 趋势, 其它 3 个处理的 O₂ 含量没有显著变化 ($p > 0.05$); 第 30 d 时 10 °C 处理也出现了类似的 O₂ 含量显著升高 (从 2.48% 上升至 5.85%) 趋势 ($p < 0.05$); 而 12 °C 处理则在 (10~30) d 内未测试到 O₂ 含量的显著变化 ($p > 0.05$), 趋于平稳。由于 6 °C 处理和 8 °C 处理在贮藏后期腐烂率太高, 因此在 20 d 后结束了这两组处理的试验测试。

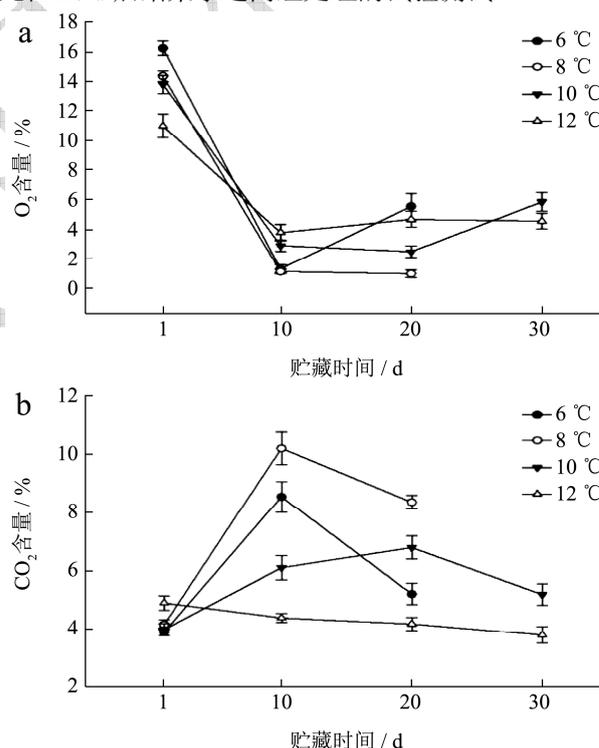


图 1 不同贮藏温度下包装袋内 O₂ 和 CO₂ 含量的变化

Fig.1 Changes of O₂ and CO₂ content in package at different storage temperatures

各处理中 CO₂ 含量在第 1 d 时差异不大 (3.90%~4.89%), 其中 12 °C 处理显著高于其它 3 组 ($p < 0.05$); 贮藏后期 12 °C 处理表现出轻微降低趋势, 供试期内仅第 1 d 的 CO₂ 含量显著高于第 30 d 时的 CO₂ 含量 ($p < 0.05$), 其余贮藏节点差异不显著 ($p > 0.05$); 而其余 3 组处理均表现为先显著升高后显

著降低的趋势。6℃和8℃处理在第10d时CO₂含量分别剧烈上升至8.54%和10.22%，显著高于10℃和12℃处理($p<0.05$)，第20d时又下降至5.20%和8.35%；10℃处理CO₂含量上升幅度相对放缓，至第20d时检测到峰值为6.79%，第30d时回落至5.18%。

包装袋内的O₂和CO₂含量与包装材料厚度、透气性、果蔬呼吸强度、果蔬质量及贮藏条件等因素密切相关^[19]，本试验采用同一批茄子样品和同一种包装材料，包装袋内O₂和CO₂浓度在一定程度上反映了该贮藏条件下茄子的呼吸代谢变化情况。从上述结果可见，温度对茄子采后MAP贮藏过程中的呼吸代谢有显著影响。贮藏第1d，低温下茄子的呼吸作用受到抑制，耗氧量较低，6℃处理包装袋内的O₂含量最高，12℃处理包装袋内的O₂含量最低。10d后，较高的贮藏温度下包装袋内O₂含量表现出了相对较高的水平，但随着茄子冷害和腐烂症状的发生，部分处理贮藏后期出现了O₂含量升高的现象。而CO₂浓度的变化在组间差异更明显，第1d时由于12℃处理茄子的呼吸作用较强，CO₂含量最高。第10d时，6℃和8℃处理冷害较严重，呼吸作用增强，CO₂含量剧烈升高，10℃处理发生轻微冷害，CO₂含量小幅上升。第20d时，6℃和8℃处理的CO₂含量大幅下降，可能是茄子冷害和腐烂严重引起组织损伤造成的，10℃处理的CO₂含量随冷害的逐渐加重不断上升。造成不同温度下包装袋内O₂和CO₂含量差异的原因一方面与包装膜在不同温度中气体透过率存在差异有关，另一方面与不同贮藏温度下茄子呼吸代谢强弱存在差异有关^[20]。本试验中12℃下茄子的贮藏后期O₂和CO₂含量相对平稳，表现出了呼吸代谢水平的稳定性，而其它几个温度下波动明显。王丹等^[21]研究表明低温对细胞造成的伤害会引起不正常的呼吸反应，造成呼吸强度升高，与本试验的研究结果相符。

2.2 果肉色泽参数变化情况

茄子发生冷害后种子和果肉组织都会出现明显的褐变，因此果肉色泽参数可作为判断其冷害严重程度的重要指标之一。对茄子而言，亮度L*和色度角Hue值可作为衡量其果肉颜色的重要指标，L*值越大，果肉亮度越高；Hue值越大，果肉颜色越趋于新鲜状态，色泽越饱满^[22]。从图2中可见，整个贮藏过程中各处理L*值和Hue值表现出了相似的变化规律，各处理均呈现随着贮藏时间推移的降低趋势，但10℃和12℃处理下降趋势比6℃和8℃处理组下降幅度更缓慢。前10d中4个处理组茄子的L*值差异不明显($p>0.05$)；第20d时6℃和8℃处理组的L*值剧烈

降低，分别从最初的86.32、87.15降低至77.61、81.76，6℃处理降低幅度最大($p<0.05$)，而10℃和12℃处理组的L*值未出现显著变化($p>0.05$)；第30d时，10℃和12℃处理组L*值均出现了显著降低($p<0.05$)，分别从最初的87.33、86.84降低至82.12、82.93，两者间差异不明显($p>0.05$)。类似的，12℃处理组的Hue值在整个贮藏过程中未出现显著性变化($p>0.05$)，10℃处理组在第10d后Hue值略有降低($p<0.05$)，但6℃和8℃处理组的Hue值在第20d时伴随着明显的褐变现象，测定值剧烈降低，且6℃显著低于8℃处理($p<0.05$)。由此可见，10℃和12℃处理组在贮藏过程中果肉颜色变化不大，但6℃和8℃处理组却在10d后果肉颜色产生了明显变化，在20d时果肉颜色褐变程度加剧，且6℃处理最严重。

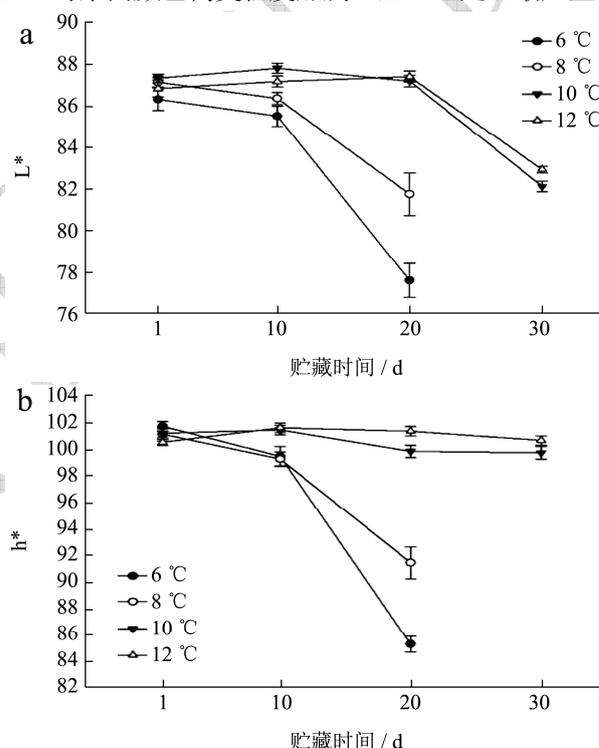


图2 不同贮藏温度下茄子果肉色泽参数L*值和Hue值的变化
Fig.2 Changes of eggplant fruit flesh color parameters L* value and Hue value at different storage temperatures

2.3 果实硬度变化情况

有研究发现，低温胁迫与硬度显著相关，冷害症状的严重程度可通过果实硬度的变化情况来判断^[23]，不同品种、种类间差异明显^[24]，比如黄瓜果实的硬度随着低温胁迫的加剧而不断下降^[25]，而陈京京等^[26]研究发现，水蜜桃果实的硬度随低温胁迫的加剧呈现先下降后上升的趋势，硬度在贮藏后期上升可能与果实不能后熟有关。采用穿刺果实表面时测试力的峰值代表果实硬度，茄子在第1d时硬度最大，各处理茄

子的果实硬度随着贮藏时间的延长均呈下降趋势, 整个贮藏过程中 10 °C 和 12 °C 处理组的果实硬度显著大于 6 °C 和 8 °C 处理组 ($p < 0.05$)。其中, 前 10 d 中 4 个处理组茄子的果实硬度均无显著降低 ($p > 0.05$); 第 20 d 时, 6 °C 和 8 °C 处理组的茄子冷害症状严重, 两者的硬度相较于第 1 d 时显著降低 ($p < 0.05$), 与贮藏第 1 d 相比分别下降了 8.13% 和 12.96%, 而 10 °C 和 12 °C 处理组的硬度未出现显著变化 ($p > 0.05$); 第 30 d 时, 10 °C 和 12 °C 处理组的硬度才较第 1 d 显著降低 ($p < 0.05$), 但 2 个处理间差异不显著 ($p > 0.05$)。由上述结果可见, 温度对茄子采后 MAP 贮藏过程中果实硬度的变化存在显著影响, 10 °C 和 12 °C 处理组在贮藏过程中茄子的硬度变化不大, 而 6 °C 和 8 °C 处理组受低温胁迫, 第 20 d 时发生严重冷害导致果实腐烂软化, 测定值剧烈降低 (图 3)。

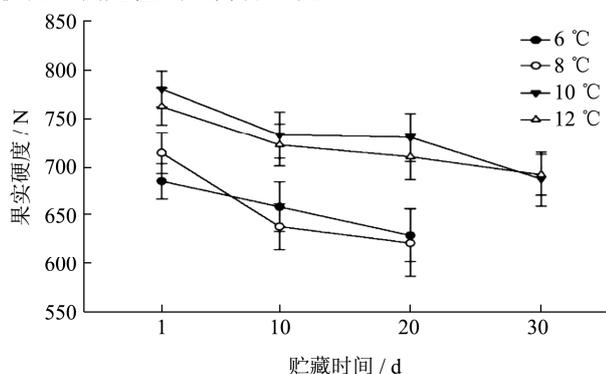


图 3 不同贮藏温度下茄子果实硬度的变化

Fig.3 Changes of eggplant fruit firmness at different storage temperatures

2.4 外观指数、腐烂指数和冷害指数变化情况

通过打分计算了不同处理茄子在贮藏过程中的外观指数、腐烂指数和冷害指数。如图 4 所示, 随着贮藏时间的延长, 各处理的外观指数均呈下降趋势, 而腐烂指数和冷害指数则呈现不同程度的上升趋势, 且表现为贮藏 10 d 后温度与外观指数呈正相关, 与腐烂指数和冷害指数呈负相关趋势。10 °C 和 12 °C 处理的外观指数、腐烂指数和冷害指数的变化趋势相较于 6 °C 和 8 °C 处理更缓慢; 而 6 °C 处理在第 10 d 时变化幅度就非常大, 果皮出现了明显的水浸和脱色斑块症状, 外观指数降低到 81.67, 而其它 3 个处理为 95.00~96.67 之间。第 20 d 时, 6 °C 和 8 °C 处理伴随着外观指数的逐渐降低、腐烂指数快速升高, 出现了大量果实腐烂的现象, 且 6 °C 处理的冷害指数在 20 d 时达到了 52.50, 冷害严重, 表现为果皮皱缩凹陷和褪色, 果肉和种子变色。第 30 d 仅剩下 10 °C 和 12 °C 处理, 外观指数分别下降为 60.00 和 73.74, 腐烂指数分别升

高至 32.50 和 18.18, 果皮仍保持光滑亮泽, 仅个别果柄和果面有腐烂霉变现象; 冷害指数分别升高至 23.75 和 15.91, 但均低于 6 °C 处理在第 10 d 时的冷害指数, 10 °C 处理果肉出现了水渍状和变色现象, 籽部分褐变, 12 °C 处理果柄处发生轻微冷害, 籽颜色较第 1 d 时略加深但变色不明显。由此可见, 贮藏温度显著影响了茄子 MAP 贮藏过程中的外观质量、腐烂状况和冷害状况, 在供试温度下贮藏温度越高, 品质保持越好, 腐烂程度越低, 而贮藏温度越低, 后期腐烂情况越严重, 冷害明显, 外观质量显著下降。12 °C 下 MAP 贮藏可以较好的保持墨茄贮藏过程中的商品质量, 冷害指数控制在 15.91 之内, 而 6 °C 下 10 d 或更短时间内就出现了严重冷害现象, 冷害指数高达 50.00。

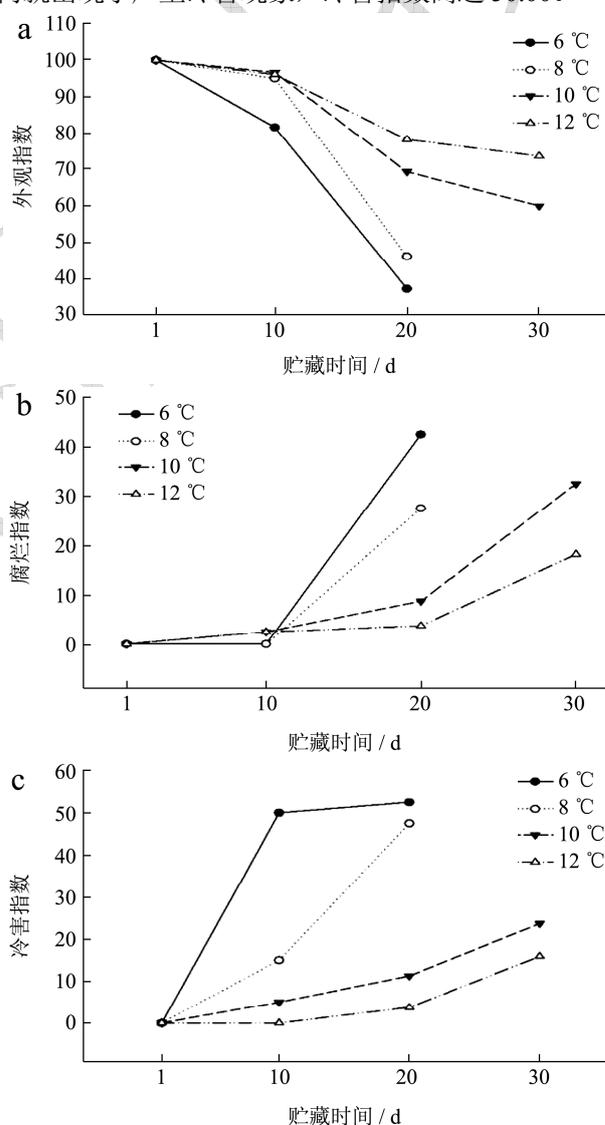


图 4 不同贮藏温度下茄子外观指数、腐烂指数和冷害指数的变化

Fig.4 Changes of appearance index, decay index and chilling injury index of eggplant at different storage temperatures

郭雨萱等^[12]研究发现, 将紫红长茄、黑奥圆茄用

0.25 mm 厚聚乙烯薄膜袋包装后, 分别放在 2、5、8 °C 条件下进行 MAP 贮藏, 2 个品种的茄子在 8 °C 条件下贮藏 18 d 均未发生冷害, 而本研究中 8 °C 处理的茄子在第 10 d 已经发生了冷害, 可见茄子的品种、栽培条件、采收时间等因素差异会造成茄子冷害症状产生或表现的差异^[27]。

2.5 POD、CAT 和 PPO 活性变化情况

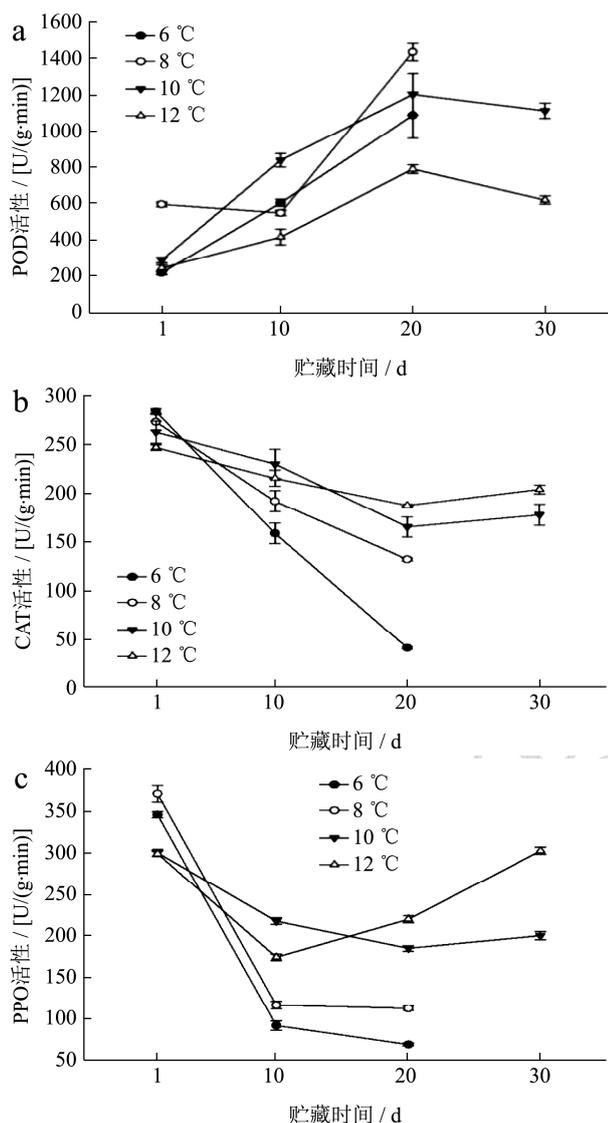


图5 不同贮藏温度下茄子果实 POD、CAT 和 PPO 的变化

Fig.5 Changes in the activities of POD, CAT and PPO of eggplant at different storage temperatures

图 5 反映了不同温度处理的茄子在 MAP 贮藏过程中 POD、CAT、PPO 活性的变化情况。POD 活性随着贮藏时间的延长总体呈先快速升高后缓慢降低的趋势。第 1 d 时 8 °C 处理 POD 活性显著高于其它 3 个处理; 第 10 d 时 10 °C 处理的 POD 活性相对最高, 6 °C 和 8 °C 次之, 12 °C 最低; 第 20 d 时, 6、8 和 10 °C 处理组 POD 活性上升幅度明显, 而 12 °C 组显著最低为

791.66 U/(g·min) ($p < 0.05$); 第 30 d 时, 10 °C 和 12 °C 处理组 POD 活性出现了小幅降低, 其中 10 °C 处理组仍显著高于 12 °C 处理组。

CAT 活性在 30 d 贮藏期内整体呈下降趋势, 在前 20 d 内 4 个处理的 CAT 活性均显著降低 ($p < 0.05$)。第 1 d 时, 6 °C 和 8 °C 处理的 CAT 活性显著高于 12 °C 处理 ($p < 0.05$), 表明茄子受到较低的温度胁迫后通过自身代谢调节使 CAT 活性增大^[28]。随着贮藏时间的延长, 6 °C 和 8 °C 处理的 CAT 活性快速降低, 到第 10 d 时 6 °C 处理的 CAT 活性显著低于其它 3 个处理 ($p < 0.05$), 而 8、10 和 12 °C 处理间差异不显著 ($p > 0.05$)。第 20 d 时 12 °C 处理的 CAT 活性为 164.78 U/(g·min), 显著高于其它 3 个处理, 此时 6 °C 处理的 CAT 活性显著最低为 41.36 U/(g·min) ($p < 0.05$)。第 30 d 时, 10 °C 和 12 °C 处理的 CAT 活性略有回升, 但差异不显著 ($p > 0.05$)。

PPO 活性表现出先快速降低后缓慢升高的趋势。第 1 d 时, 6 °C 和 8 °C 处理的 PPO 活性显著高于 10 °C 和 12 °C 处理 ($p < 0.05$); 至第 10 d 时, 6 °C 和 8 °C 处理的 PPO 活性快速降低, 相较第 1 d 时降低幅度分别达 73.37% 和 68.55%, 而 10 °C 和 12 °C 处理降低幅度相对较小, 分别为 27.49% 和 41.74%; 第 20 d 时, 12 °C 处理 PPO 值出现了小幅上升, 其它 3 个处理组相较于第 10 d 时变化较小; 第 30 d 时, 12 °C 处理 PPO 值继续快速升高, 10 °C 处理也出现了轻微上升趋势。

正常情况下, 植物细胞内自由基的产生和清除处于动态平衡, 不会对细胞造成损坏, 而低温胁迫会导致这种平衡机制被破坏, 造成自由基的大量累积从而加速膜脂过氧化反应, 最终诱发冷害^[29]。POD 和 CAT 是植物体内重要的 H₂O₂ 自由基清除酶, 可减少采后品质劣变和胁迫条件下产生的自由基对细胞的侵害^[30]。PPO 是植物体内的一种末端氧化还原酶, 直接催化酚类物质氧化成醌, 再氧化聚合形成褐色物质, 导致植物组织发生褐变^[31]。各处理贮藏前期 POD 活性的升高与低温胁迫激发细胞内自由基清除能力的增强有关, 而 10 °C 和 12 °C 处理第 30 d 时 POD 活性的降低与底物的消耗有关。CAT 活性先下降后上升的趋势与王艳颖等^[32]关于香蕉李发生冷害后 CAT 活性的变化趋势类似, 10 °C 和 12 °C 处理的 CAT 活性呈缓慢下降的趋势, 能更好保持 CAT 的活性。低温贮藏在一定程度上抑制了 PPO 酶的活性, 在第 10 d 时各处理 PPO 酶活性显著降低, 且温度越低 PPO 酶活性越低; 但随着低温贮藏过程中冷害的发生和品质劣变, 膜系统区域化分布被打破, 底物与 PPO 酶接触促进了 PPO 活性的增强, 造成了果肉组织褐变的产生^[33]。本试验

中 10 ℃ 和 12 ℃ 下贮藏后期 PPO 活性的升高则与果实衰老加剧损坏膜系统, 从而增加 PPO 与酚类物质的相互接触, 激发酶活性的升高有关。6 ℃ 和 8 ℃ 处理的 PPO 活性在贮藏后期显著低于 10 ℃ 和 12 ℃ 处理, 可能是此时茄子已发生严重冷害, 内环境紊乱, 导致果实无法维持正常蛋白质含量, 引起 PPO 活性大幅降低^[34]。

3 结论

温度对茄子采后 MAP 贮藏过程中包装袋内气体含量、果肉色泽参数 L^* 值和 Hue 值、果实硬度、外观指数、腐烂指数和冷害指数, 及 POD、CAT 和 PPO 酶活性的变化存在显著影响。6 ℃ 和 8 ℃ 下墨茄的冷害程度随贮藏时间延长不断加重, 6 ℃ 下的茄子在 10 d 时出现严重冷害症状, 冷害指数高达 0.50; 8 ℃ 下的茄子在 20 d 时出现严重冷害症状, 冷害指数为 0.48, 在贮藏后期, 2 个处理包装袋内气体波动大, 果肉色差、果皮硬度、CAT 和 PPO 活性大幅度降低, POD 活性快速升高, 品质劣变明显, 腐烂严重。而 10 ℃ 和 12 ℃ 能较好保持墨茄 MAP 贮藏过程中包装袋内 O_2 和 CO_2 含量的相对稳定, 延缓果肉色差、硬度和外观指数的降低, 抑制腐烂指数和冷害指数的升高, 同时维持 POD、CAT 和 PPO 酶活性相对平缓变化。相较而言, 12 ℃ 下 MAP 贮藏墨茄商品性最好, 20 d 内未出现冷害症状且腐烂指数较低, 贮藏品质保持良好。

参考文献

- 王肽, 谢晶, 余江涛, 等. 鲜切茄子冷藏生理及品质的研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(4): 310-314
WANG Tai, XIE Jing, YU Jiang-tao, et al. Study on cold storage physiology and quality of the fresh-cut eggplant [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(4): 310-314
- Singh A P, Luthria D, Wilson T, et al. Polyphenols content and antioxidant capacity of eggplant pulp [J]. Food Chemistry, 2009, 114(3): 955-961
- 刘建辉, 杜新民, 赵熙. 茄子果实发育过程中主要营养成分动态变化[J]. 中国农学通报, 2007, 23(2): 259-262
LIU Jian-hui, DU Xin-min, ZHAO Xi. Dynamic variation of main nutrients in the development of eggplant fruits [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2007, 23(2): 259-262
- 刘丹, 崔彦玲, 潜宗伟. 茄子种业现状及遗传育种研究进展[J]. 北方园艺, 2019, 424(1): 165-170
LIU Dan, CUI Yan-ling, QIAN Zong-wei. Eggplant seed industry and research progress on genetics and breeding [J]. Northern Horticulture, 2019, 424(1): 165-170
- Singh S, Khemariya P, Rai A, et al. Carnauba wax-based edible coating enhances shelf-life and retain quality of eggplant (*Solanum melongena*) fruits[J]. Food Science and Technology, 2016, 74: 420-426
- 赵云峰, 尹学杰, 顾佳宇, 等. 茄子采后生理及贮藏保鲜技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2011, 32(8): 449-452
ZHAO Yun-feng, YIN Xue-jie, GU Jia-yu, et al. Advances in the postharvest physiology and preservation technology of eggplant [J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(8): 449-452
- 王艳颖, 胡文忠, 刘程惠, 等. 低温贮藏引起果蔬冷害的研究进展[J]. 食品科技, 2010, 35(1): 72-75, 80
WANG Yan-ying, HU Wen-zhong, LIU Cheng-hui, et al. Progress of research on chilling injury of fruit and vegetable during low temperature storage [J]. Food Science and Technology, 2010, 35(1): 72-75, 80
- 王兰菊, 宋尚伟, 胡青霞. 不同温度和薄膜包装对茄子冷害及果实生理变化的影响[J]. 华北农学报, 2003, 18(4): 23-25
WANG Lan-ju, SONG Shang-wei, HU Qing-xia. Effects of different temperatures and modified atmosphere package on chilling injury and physiological changes during storage of eggplants [J]. Acta Agriculturae Boreali-sinica, 2003, 18(4): 23-25
- 侯建设, 李中华, 江杰. 冷害温度下薄膜包装对青椒贮藏效果的研究[J]. 食品科技, 2002, 18(9): 66-67, 70
HOU Jian-she, LI Zhong-hua, JIANG Jie. Study on storage effect of film packaging on sweet peppers at chilling injury temperature [J]. Food Science and Technology, 2002, 18(9): 66-67, 70
- 赵倩兮, 郭乐音, 裴晔晔, 等. 自发性气调包装对‘阳丰’甜柿贮藏期冷害及相关指标的影响[J]. 中国果树, 2019, 3: 28-33
ZHAO Qian-xi, GUO Le-yin, PEI Hua-hua, et al. Effects of modified atmosphere packaging on chilling injury and its correlation physiological indexes of ‘Youhou’ sweet persimmon during storage [J]. China Fruits, 2019, 3: 28-33
- Manjunatha M, Anurag R K. Effect of modified atmosphere packaging and storage conditions on quality characteristics of cucumber [J]. Journal of Food Science and Technology, 2014, 51(11): 3470-3475
- 郭雨萱, 郝利平, 卢银洁, 等. 不同贮藏温度对茄子冷害发生及质构特性的影响[J]. 核农学报, 2016, 30(9): 1763-1769
GUO Yu-xuan, HAO Li-ping, LU Yin-jie, et al. Effects of different storage temperature on chilling injury and texture characteristics of eggplant [J]. Journal of Nuclear Agricultural

- Sciences, 2016, 30(9): 1763-1769
- [13] 侯建设,李中华,江杰.茄子的保鲜贮藏研究[J].食品科技, 2002,27(4):68-70
HOU Jian-she, LI Zhong-hua, JIANG Jie. Study on storage of eggplant [J]. Food Science and Technology, 2002, 27(4): 68-70
- [14] Concellón A, Añón M C, Chaves A R. Effect of low temperature storage on physical and physiological characteristics of eggplant fruit (*Solanum melongena* L.) [J]. Food Science and Technology, 2007, 40: 389-396
- [15] Barbagallo R N, Chisari M, Caputa G. Effects of calcium citrate and ascorbate as inhibitors of browning and softening in minimally processed 'Birgah' eggplants [J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 73: 107-114
- [16] 朱童,徐俐,刘涵玉,等.采收成熟度对刺梨果实贮藏品质的影响[J].食品科学,2014,35(22):330-335
ZHU Tong, XU Li, LIU Han-yu, et al. Effects of Harvest maturity on quality of *Rosa roxburghii* Tratt during storage [J]. Food Science, 2014, 35(22): 330-335
- [17] LI Pen-yan, YIN Fei, SONG Li-jun, et al. Alleviation of chilling injury in tomato fruit by exogenous application of oxalic acid [J]. Food Chemistry, 2016, 202: 125-132
- [18] 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,2007:101-122
CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO YU-mei. Physiological and biochemical experiment guidance of postharvest fruits and vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 101-122
- [19] Bower J H, Biasi W V, Mitcham E J. Effect of ethylenein the storage environment on quality of 'Bartlett pears' [J]. Postharvest Biology and Technology, 2003, 28: 371-379
- [20] 张长峰,徐步前.温度对薄膜包装中气体浓度和香蕉呼吸强度的影响[J].食品科学,2004,25(4):174-177
ZHANG Chang-feng, XU Bu-qian. Study on respiration intensities of bananas sealed in LPDE bags stored at different temperatures [J]. Food Science, 2004, 25(4): 174-177
- [21] 王丹,张子德,刘升,等.热处理和间歇升温低温贮藏对辣椒冷害的影响[J].安徽农业科学,2012,40(3):1449-1451
WANG Dan, ZHANG Zi-de, LIU Sheng, et al. Effect of heat treatment and intermittent warming on chilling injury of pepper during cold storage [J]. Journal of Anhui Agri. Sci., 2012, 40(3): 1449-1451
- [22] 严灿.草莓采后全程冷链保鲜技术研究[D].上海:上海海洋大学,2016
YAN Can. Study on cold chain preservation of postharvest strawberry [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016
- [23] LIU Ling, WEI Ya-nan, SHI Fei, et al. Intermittent warming improves postharvest quality of bell peppers and reduces chilling injury [J]. Postharvest Biology and Technology, 2015, 101: 18-25
- [24] 解越,张敏,朱赛赛.贮藏温度对茄子果实活性氧代谢及细胞壁降解的影响[J].现代食品科技,2016,32(2):142-151
XIE Yue, ZHANG Min, ZHU Sai-sai. Effects of storage temperature on active oxygen metabolism and cell wall degradation of postharvest eggplant fruits [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(2): 142-151
- [25] 艾文婷,张敏,郝爽,等.热激温度对采后黄瓜冷害及活性氧代谢的影响[J].河南农业大学学报,2019,53(2):244-250
AI Wen-ting, ZHANG Min, HAO Shuang, et al. Effects of heat shock temperature on chilling injury and active oxygen metabolism of postharvest cucumber fruits [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2019, 53(2): 244-250
- [26] 陈京京,金鹏,李会会,等.低温贮藏对桃果实冷害和能量水平的影响[J].农业工程学报,2012,28(4):275-281
CHEN Jing-jing, JIN Peng, LI Hui-hui, et al. Effects of low temperature storage on chilling injury and energy status in peach fruit [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(4): 275-281
- [27] 张敏,解越.采后果蔬低温贮藏冷害研究进展[J].食品与生物技术学报,2016,35(1):1-11
ZHANG Min, XIE Yue. Research progress of chilling injury on postharvest fruits and vegetable stored at low temperature [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2016, 35(1): 1-11
- [28] 高慧,饶景萍,张少颖.不同贮藏温度下油桃果实的冷害生理研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2007,35(10):61-65
GAO Hui, RAO Jing-ping, ZHANG Shao-ying. Studies on chilling injury physiology of nectarines at different storage temperature [J]. Journal of Northwest A & F University (Nat. Sci. Ed.), 2007, 35(10): 61-65
- [29] 金鹏,王静,朱虹,等.果蔬采后冷害控制技术及机制研究进展[J].南京农业大学学报,2012,35(5):167-174
JIN Peng, WANG Jing, ZHU Hong, et al. Progress on techniques and mechanisms in alleviating chilling injury of postharvest fruits and vegetables [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2012, 35(5): 167-174