

气调、臭氧及 1-MCP 处理对佛手瓜贮藏品质的影响

Effects of controlled atmosphere, ozone and 1-MCP on chayote quality during storage

李 玉 秦 文 李 杰 郭元照

LI Yu QIN Wen LI Jie GUO Yuan-zhao

(四川农业大学食品学院, 四川 雅安 625014)

(College of Food Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China)

摘要:为探讨保鲜方式对佛手瓜采后品质变化的影响,以绿皮无刺佛手瓜为试材,在温度 $(9\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 、湿度 90%~95%的贮藏条件下,分别采用气调贮藏(5% O_2 + 5% CO_2 + 90% N_2)、臭氧(5 mg/L)和 1-MCP(900 nL/L)3 种保鲜方式进行佛手瓜贮藏试验,测定和分析贮藏过程中佛手瓜品质和生理指标的变化。结果表明:与对照组相比,贮藏期间 3 个处理组果实品质相对较好;其中经 1-MCP 处理后的果实呼吸跃变高峰比其他组(第 15 天)推迟 15 d 出现,其在贮藏末期呼吸强度最低为 4.27 mg CO_2 /(kg·h),叶绿素和 Vc 含量分别为 0.27 mg/kg 和 6.59 mg/100 g,为所有处理组中最高;过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)和超氧化物歧化酶(SOD)等指标均优于其他处理组和对照组。

关键词:佛手瓜;气调;臭氧;1-MCP;贮藏

Abstract: Three preservation methods including controlled atmosphere (5% O_2 + 5% CO_2 + 90% N_2), ozone (5 mg/L), and 1-MCP (900 nL/L) were used on chayote stored at $(9\pm 1)^{\circ}\text{C}$ and relative humidity 90%~95% to investigate the changes of storage quality during storage time. The results showed that the fruits of three treatment groups had maintained better quality compared with the untreated group. Meanwhile, the respiratory climacteric peak of group treated with 1-MCP was 15 days later than other groups which showed up on 15th d. What's more, with the lowest respiration rate at 4.27 mg CO_2 /(kg·h) on 90th d, the contents of chlorophyll (0.27 mg/kg) and vitamin C (6.59 mg/100 g) in fruits treated with 1-MCP were the highest. Moreover, CAT, POD and SOD activities of fruits treated with 1-MCP were higher than other groups'.

Keywords: chayote; controlled atmosphere; ozone; 1-MCP; storage

攀缘性草本植物,又名万年瓜、拳头瓜、隼人瓜^[1],其从根块到茎叶全株均可食用^[2]。但由于佛手瓜产量大(45~60 t/hm²)、供应时间短,难以满足周年供应的需要,加之日常食用的嫩瓜表层保护组织发育尚不完全,且采后由于生长和养分的转移,果实容易变形发生组织纤维化,种子易发生“胎萌”现象^[3,4]。目前国内外对佛手瓜的贮藏还仅限于传统的沟藏、窖藏、机械冷藏等方式^[4],果实容易发生病害和冷害,对于其他科学合理的贮藏保鲜方法还没有系统的报道,故研究佛手瓜的采后处理及相关贮藏技术具有减少贮运损耗、延长供应期的现实意义。

气调(controlled atmosphere, CA)、臭氧(ozone)和 1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)处理是近几年果蔬贮藏常用的 3 种保鲜方法,国内外学者对其从作用机理到多种果蔬的保鲜应用研究颇多^[5-7]。气调贮藏主要是通过调控贮藏环境中 O_2 和 CO_2 浓度以降低果蔬的呼吸速率来实现对果蔬的保鲜^[8];臭氧则利用其强氧化性对果蔬进行消毒杀菌、对有害气体降解来延缓果蔬的衰老^[9];1-MCP 作为乙烯抑制剂,不可逆地作用于乙烯受体,从而阻断与乙烯的正常结合,抑制其所诱导的与果实后熟相关的一系列生理生化反应来达到延长果蔬贮藏期的目的^[10]。目前已有学者^[11]研究发现,Brimex20TM与 300 nL/L 1-MCP 联合使用可有效降低佛手瓜果实低温贮藏条件(10 $^{\circ}\text{C}$, 75%~80% RH)下的失水率和发芽率,进一步延长了果实的贮藏期。可见 1-MCP 处理对佛手瓜具有一定的保鲜作用,但目前关于将气调和臭氧应用在佛手瓜贮藏保鲜方面和 3 种保鲜方法对佛手瓜果实贮藏品质影响的研究还未见相关报道。

为寻找延长佛手瓜果实保鲜期的有效方法,揭示新鲜佛手瓜采后贮藏期间品质的变化规律,试验采用机械冷藏分别与上述 3 种保鲜方法相结合,对比不同复合保鲜方法的试验结果,筛选出最优保鲜方法,旨在改善佛手瓜贮藏保鲜技术提供理论依据。

佛手瓜(*Sechium edule*),葫芦科佛手瓜属栽培种,多年生

作者简介:李玉(1988—),女,四川农业大学在读硕士研究生。

E-mail:15283522791@163.com

通讯作者:秦文

收稿日期:2015-05-30

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

佛手瓜:花后 10 d 的绿皮无刺佛手瓜,大小一致,色泽均匀,成熟度基本相同,无机械损伤和病虫害。于 2014 年 10 月 12 日 10:00~12:00 采自四川省荣经县港森农业有限公司的有机蔬菜种植基地;

氢氧化钠、氯化钡、乙醇、2,6-二氯酚靛酚、浓硫酸、核黄素、聚乙烯吡咯烷酮、抗坏血酸等:分析纯,成都市科龙化工试剂厂;

盐酸、丙酮:分析纯,四川西陇化工股份有限公司;
三氯乙酸:分析纯,广东光华科技股份有限公司;
蒽酮:分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;
硫代巴比妥酸:分析纯,上海科丰化学试剂有限公司;
安喜培(AnsiP®-S):主要成分为 1-MCP,每 20 L 空间中有效浓度为 900 nL/L,台湾利统股份有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

电子天平:BS210S 型,精确至 0.000 1 g,北京赛多利斯天平有限公司;

气调箱(配有检测箱):SC-508 型,天津森罗科技发展有限公司;

臭氧发生器:GSK-III 型(低压电解法,臭氧产生量 200 mg/h),广州宝昱电子科技有限公司;

质构仪:TA.XT PLUS 型,英国 SMS 公司;

电导仪:DDS-11A 型,上海仪电科学仪器有限公司;

高速冷冻离心机:Heraeus Multifuge X3R 型,美国 Thermo 公司;

扫描型紫外/可见分光光度计:UV-3000 型,上海美谱达有限公司;

电热恒温水浴锅:HWS24 型,上海一恒科技有限公司;

电热恒温鼓风干燥箱:DHG-9245A 型,上海一恒科技有限公司。

1.2 样品处理方法

通过前期试验对不同保鲜方法的处理浓度进行梯度筛选后得出每种保鲜方法的最佳处理参数,再分别采用以下 3 种方法(A、B、C)对鲜果进行处理:

(1) A 方法:用气调机将贮藏环境气体浓度控制为 5% O₂+5% CO₂+90% N₂。

(2) B 方法:采用臭氧检测系统控制贮藏箱中臭氧浓度为 5 mg/L,熏蒸果实 1 h,处理后打开箱口排除臭氧,自然通风 2 h,每隔 5 d 进行一次臭氧熏蒸处理。

(3) C 方法:将 1 片用无菌水浸湿的安喜培(规格为 25 cm×20 cm,有效浓度为 900 nL/L)放在装有佛手瓜果实的密闭 20 L 贮藏箱中,每隔 30 d 更换一次安喜培;对照组为冷藏处理。将上述各处理组和对照组果实装入贮藏箱中置于(9±1)℃、相对湿度 90%~95%的冷藏库内。以上处理重复 3 次,每组贮藏 30 个果实,贮藏期间每隔 15 d 随机取 3 个果实打浆后测定相关指标。

1.3 测定指标方法

1.3.1 腐烂指数 参照文献[12]。

1.3.2 Vc 含量 采用 2,6-二氯酚法^[8]。

1.3.3 叶绿素含量 采用 Arnon 法^[7]。

1.3.4 纤维素含量 采用酸性洗涤剂法^[6]。

1.3.5 呼吸强度 采用静置法^[7]。

1.3.6 相对电导率 采用 DDS-11A 型电导仪测定^[9]。

1.3.7 丙二醛(MDA)含量 采用硫代巴比妥酸(TBA)法^[8]。

1.3.8 CAT、POD 与 SOD 活性的测定 参照文献[7]。

1.4 数据处理

数据采用 SPSS 17.0 软件进行统计处理,利用邓肯式多重比较对差异显著性进行比较分析;采用 Origin 8.0 软件进行绘图分析。

2 结果与分析

2.1 处理方式对佛手瓜果实品质的影响

2.1.1 对腐烂指数的影响 由表 1 可知:对照组在贮藏 30 d 时果实开始出现腐烂,腐烂指数为 1.14%。处理组 A 与 B 均在贮藏 60 d 时出现明显腐烂现象,第 75 天时腐烂指数均已超过 1%,而 C 组果实此时才开始腐烂,腐烂指数仅为 0.53%,与其他各组差异显著(P<0.05),说明 1-MCP 能够有效抑制佛手瓜的腐烂,对抑制果实后熟衰老有显著的作用。贮藏末期的对照组果实腐烂指数高达 8.87%,腐烂较为严重,不适于再延长贮藏期,而处理组腐烂率均明显低于对照组(P<0.05),可在此基础上适当延长果实的贮藏期。

2.1.2 对 Vc 含量的影响 Vc 是衡量绿色蔬菜类保鲜效果的重要指标。蔬菜成熟阶段 Vc 含量较高,贮藏阶段易被氧化分解,失去生理活性,同时植物组织中含有的抗坏血酸氧化酶能催化 Vc 的氧化,因此新鲜的果蔬放置一段时间后,Vc 的含量会逐渐降低^[13]。由表 1 可知,随着贮藏时间的延长,各组果实 Vc 含量均呈下降趋势,但处理组果实的 Vc 含量始终高于对照组,说明不同保鲜处理方式能在一定程度上影响佛手瓜果实 Vc 含量的变化。在贮藏期的前 15 d,各组果实 Vc 含量保持较高的水平,贮藏 30 d 时,A、B、C 处理组和对照组果实 Vc 含量相比初始值 13.27 mg/100 g 分别下降了 15.54%,19.17%,9.54%,21.30%,其中 C 组果实 Vc 含量下降幅度最小,其次是 A 处理组,对照组下降幅度最大。贮藏 90 d 时,C 组佛手瓜果实的 Vc 含量为 6.59 mg/100 g,与其他各组差异显著(P<0.05),且 C 处理组果实 Vc 含量在整个贮藏期内一直保持最高的水平。说明 1-MCP 处理可有效防止佛手瓜果实在贮藏过程中 Vc 的流失,有利于保持果实的营养价值,这与居益民等^[14]报道的 1-MCP 对猕猴桃 Vc 含量影响的研究结果一致。

2.1.3 对纤维素含量的影响 由表 1 可知,在整个贮藏期内,佛手瓜果实纤维素含量随贮藏时间的延长不断升高,在贮藏 15 d 时,A、B 和 C 组果实纤维素含量已分别上升到 1.51%,1.64%,1.47%,3 个处理组与对照组的纤维素含量形成显著差异(P<0.05);贮藏 90 d 时,对照组果实纤维素含量达到了 4.24%,分别是 A、B 和 C 组的 1.19,1.71,2.17

倍,各组数据差异性显著($P<0.05$)。此外,果实的硬度与纤维素含量之间存在一定的相关性,以 C 处理组和对照组的硬度与纤维素含量做相关性分析,所得相关系数分别为 0.944 8 和 0.943 9,二者存在极显著的相关关系($P<0.01$)。说明果实纤维素含量越高,其硬度越大,果实老化越严重。比较测定结果发现,各处理组纤维素含量的增加幅度依次为:1-MCP < 臭氧 < 气调。

2.1.4 对叶绿素含量的影响 由表 1 可知,贮藏期间不同处理组果实随贮藏时间的延长其叶绿素含量不断下降。在贮藏前 15 d,各处理组叶绿素含量差异不显著($P>0.05$),贮藏 30 d 时,对照组果实叶绿素含量下降到 0.61 mg/kg,分别是 A、B、C 组的 74.39%,68.54%,57.01%,且处理组与对照组差异显著($P<0.05$)。贮藏 90 d 时,C 组果实叶绿素含量为 0.27 mg/kg,分别是 A、B 和对照组的 2.07,1.69,3.37 倍,

各组差异显著($P<0.05$)。可见 1-MCP 处理能有效延缓跃变型果蔬的成熟衰老进程,推迟其色泽的转变。有研究^[15]表明,无论是跃变型还是非跃变型果实,叶绿素的降解都需要乙烯的参与,而 1-MCP 正是通过与乙烯受体结合,阻断了乙烯对果实色泽的不利效应。同时,1-MCP 也可以有效保持菠菜、生菜、蔓韭、抱子甘蓝、芝麻菜、青菜中的叶绿素含量,防止黄化的发生,从而有效保持产品的商品性状^[16]。

2.2 处理方式对佛手瓜果实呼吸强度的影响

呼吸是造成采后蔬菜品质下降最主要的原因,与果蔬产品品质的变化、贮藏寿命、贮藏中的生理病变有着密切的联系,果实呼吸强度越大、呼吸作用越旺盛,成熟衰老变化就越快^[17]。图 1 显示,不同处理组贮藏期间果实呼吸强度均发生明显的变化。贮藏 15 d 时,处理组 A、B 与对照组果实的呼吸强度均达到了最大值,分别为 13.43,16.94,18.35 mg CO₂/(kg·h),

表 1 佛手瓜果实贮藏期间品质的变化[†]
Table 1 The quality changes of chayote fruit during storage time

贮藏时间/d	处理组	腐烂率/%	Vc 含量/(10 ⁻² mg·g ⁻¹)	纤维素含量/%	叶绿素含量/(mg·kg ⁻¹)
0	A	0	13.27±1.51	1.18±0.39	1.59±0.09
	B	0	13.27±1.51	1.18±0.39	1.59±0.09
	C	0	13.27±1.51	1.18±0.39	1.59±0.09
	对照	0	13.27±1.51	1.18±0.39	1.59±0.09
15	A	0	12.40±0.08 ^b	1.51±0.08 ^b	1.06±0.26 ^a
	B	0	12.28±0.09 ^b	1.64±0.24 ^{ab}	1.27±0.16 ^a
	C	0	12.82±0.16 ^a	1.47±0.20 ^b	1.25±3.49 ^a
	对照	0	11.87±0.12 ^c	1.75±0.36 ^a	0.92±0.09 ^a
30	A	0	11.21±0.14 ^b	1.66±0.03 ^b	0.82±0.14 ^b
	B	0	10.73±0.22 ^c	1.62±0.07 ^b	0.89±0.25 ^b
	C	0	12.01±0.21 ^a	1.62±0.07 ^b	1.07±0.17 ^a
	对照	1.14±0.09	10.44±0.19 ^c	2.03±0.29 ^a	0.61±0.19 ^c
45	A	0	10.04±0.28 ^b	1.77±0.12 ^b	0.42±0.06 ^b
	B	0	9.84±0.29 ^b	1.73±0.07 ^{bc}	0.59±0.07 ^a
	C	0	10.81±0.11 ^a	1.65±0.09 ^c	0.98±0.05 ^a
	对照	2.31±0.29	8.48±0.22 ^c	2.62±0.43 ^a	0.13±0.04 ^c
60	A	0.94±0.08	8.23±0.28 ^c	2.41±0.33 ^b	0.17±0.07 ^c
	B	0.82±0.07	9.08±0.19 ^b	1.81±0.07 ^c	0.28±0.12 ^b
	C	0	9.95±0.23 ^a	1.72±0.05 ^c	0.47±0.18 ^a
	对照	3.38±0.32	7.42±0.19 ^d	2.81±0.29 ^a	0.14±0.02 ^c
75	A	1.77±0.44 ^b	6.34±0.13 ^b	2.78±0.26 ^b	0.15±0.02 ^{bc}
	B	1.41±0.19 ^c	6.09±0.26 ^b	2.18±0.36 ^c	0.18±0.03 ^b
	C	0.53±0.06 ^d	8.23±0.22 ^a	1.90±0.12 ^d	0.34±0.10 ^a
	对照	5.76±0.59 ^a	5.44±0.30 ^c	3.32±0.29 ^a	0.12±0.04 ^c
90	A	3.36±0.64 ^b	4.55±0.30 ^c	3.55±0.49 ^b	0.13±0.01 ^b
	B	2.99±0.32 ^c	5.70±0.33 ^b	2.48±0.13 ^c	0.16±0.03 ^b
	C	1.13±0.23 ^d	6.59±0.18 ^a	1.95±0.03 ^d	0.27±0.12 ^a
	对照	8.87±0.64 ^a	3.48±0.24 ^d	4.24±0.76 ^a	0.08±0.03 ^c

† 同列字母不同表示存在组间差异显著($P<0.05$)。

各组差异显著($P<0.05$),之后各组呼吸强度均开始下降;60 d 时,各组果实呼吸强度均达到了最低值,75 d 时出现一个较低的高峰。C 处理组果实在贮藏30 d才达到呼吸高峰(15.378 mg CO₂/(kg·h)),说明1-MCP处理可以推迟贮藏果实呼吸高峰出现的时间,降低呼吸速率的峰值。可能是由于乙烯与其受体的结合受抑制,因而阻断了其诱导的生理生化反应的结果。佛手瓜果实在贮藏期间出现的这一呼吸特征与朱瑛^[3]和 Cadena-Iníguez 等^[11]的研究结果相符,再次印证了佛手瓜属于呼吸跃变型果实的结论;呼吸强度后期的再次升高则是由于果实腐烂导致的,与 2.1.1 中果实腐烂情况一致。总体而言,佛手瓜果实在整个贮藏期内始终保持着相对较低的呼吸强度,新陈代谢较慢,这与闽嗣潘等^[18]研究得出佛手瓜在蔬菜产品中为低呼吸强度,在贮藏期间内部生理生化反应弱的结论一致。

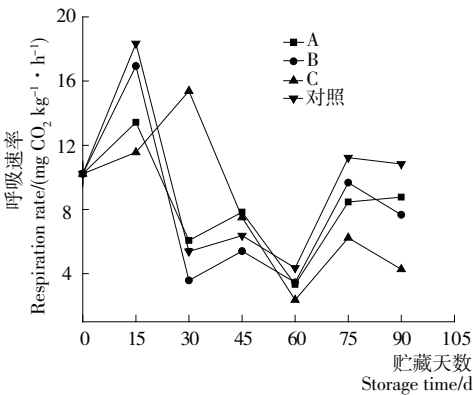


图 1 处理方式对佛手瓜果实在呼吸速率的影响
Figure 1 Effects of different treatments on the respiratory rate of *Sechium edule*

2.3 处理方式对佛手瓜果实在相对电导率的影响

细胞膜在植物组织的新陈代谢过程中具有重要作用,细胞膜透性的高低可以代表细胞膜的完整程度和稳定性,一定程度上反映了细胞受伤害的情况;相对电导率是反映组织细胞膜透性的重要标志,细胞膜相对电导率越高说明细胞膜受损的程度越大^[19]。由图 2 可知,随贮藏时间的延长佛手瓜果实在组织相对电导率呈先下降后上升的趋势。贮藏 30 d 时,各处理组果实的相对电导率均达到最低值,其中 A、B 和对照组果实的相对电导率分别为 3.31%,2.56%,5.46%,而 C 组果实相对电导率低至 1.76%,各组差异极显著($P<0.01$)。之后随着贮藏时间的延长各组果实的相对电导率随之增大,说明细胞膜脂遭到破坏,透性增大,物质外渗,果实衰老加快。贮藏 90 d 时,各组相对电导率大小排序为处理组 C<B<A<对照组。在整个贮藏期内,C 组果实的相对电导率始终低于其他处理组,说明 1-MCP 处理可有效维持果实组织细胞膜完整性,抑制膜脂过氧化,延缓果实衰老。同时,郝晓玲等^[20]研究得出,1-MCP 处理可以明显延缓梨枣细胞膜透性的增加,其中 0.5 mg/L 的 1-MCP 处理作用最明显。

2.4 处理方式对佛手瓜果实在 MDA 含量的影响

MDA 是超氧自由基作用植物体后引起膜系统脂质过氧

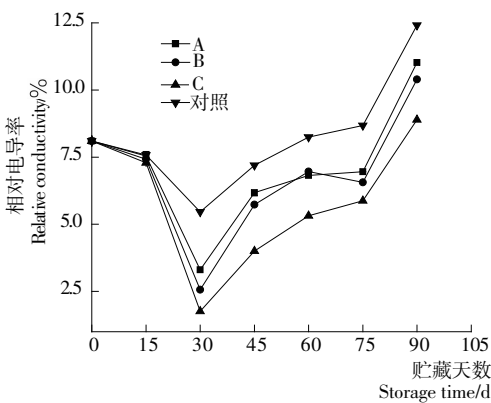


图 2 处理方式对佛手瓜果实在相对电导率的影响
Figure 2 Effects of different treatments on the relative conductivity of *Sechium edule*

化的产物,它能与蛋白质、氨基酸残基或核酸反应生成希夫碱,降低膜的稳定性,促进膜的渗漏,其含量的增加是膜脂过氧化加强、膜受伤而加剧衰老的表现;此外,MDA 可降低 SOD 的活性,加剧膜脂过氧化作用,其含量的高低是衡量植物体衰老程度的指标之一^[21,22]。它的存在使细胞膜系统受损,干扰了蛋白质的合成和脱氧核糖核酸的作用,引发细胞膜的降解和细胞正常功能的丧失^[23]。由图 3 可知,随着贮藏时间的延长,各处理组果实 MDA 含量呈上升趋势,但上升幅度有较大差异,依次为 C<A<B<对照组。贮藏 15 d 后,各组果实 MDA 含量开始迅速上升,30 d 时,A、B、C 组果实 MDA 含量分别达到 2.419,2.584,1.503 μmol/g,远低于对照组的 3.288 μmol/g。贮藏 90 d 时,A、B、C 组果实的 MDA 含量的增长幅度分别为对照组的 80.94%,75.25%,59.95%,与对照组差异极显著($P<0.01$)。结果表明,处理组均可有效抑制果实 MDA 积累,提高果实的耐贮性,其中 1-MCP 处理的效果最好,其次是臭氧处理。

2.5 处理方式对佛手瓜果实在 CAT 含量的影响

CAT 是植物体内重要的活性氧化代谢酶之一,它能催化植物体内积累的 H₂O₂分解为水和分子氧,从而减少 H₂O₂对果蔬组织可能造成的伤害^[24]。由图 4 可知,在贮藏前期,各组佛手瓜果实在 CAT 酶活呈上升的趋势,贮藏 15 d 时达到最

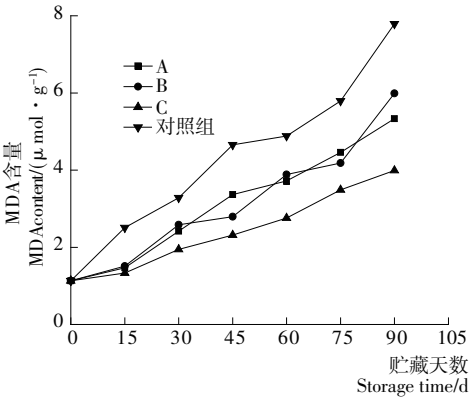


图 3 处理方式对佛手瓜果实在 MDA 含量的影响
Figure 3 Effects of different treatments on the MDA content of *Sechium edule*

大值,这与贮藏前期细胞活性较大有关。之后随贮藏时间的延长,各组果实 CAT 酶活性均呈下降趋势,说明果实组织在走向衰老,细胞内自由基代谢平衡被破坏。在贮藏 30 d 时,C 组果实 CAT 活性与同期其他组相比,差异性达到极显著水平($P<0.01$)。在整个贮藏期内,处理组的 CAT 酶活均高于对照组,可见臭氧与气调处理在一定程度上均可抑制 CAT 酶活的下降,但是 1-MCP 处理组相比其他两处理组能更有效地诱导果实 CAT 酶活的升高,减少有害物质的积累,延缓果实的衰老。同时,Hassan 等^[25]研究发现低温条件($5\text{ }^{\circ}\text{C}$)下与对照组相比, 0.5 g/m^3 1-MCP 熏蒸 8 h 可显著提高香菜叶中 CAT 酶的活性,与本试验得出的结论一致。

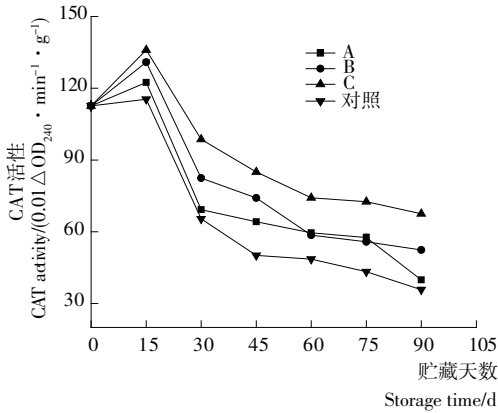


图 4 处理方式对佛手瓜果实 CAT 含量的影响
Figure 4 Effects of different treatments on the MDA content of *Sechium edule*

2.6 处理方式对佛手瓜果实 POD 酶活的影响

POD 是一种广泛存在于动植物组织中的氧化还原酶类,也可将细胞代谢产生的 H_2O_2 分解成 H_2O 和 O_2 ;同时 POD 催化 H_2O_2 氧化酚类物质形成醌,会引起褐变导致产品品质下降^[23]。由图 5 可知,随贮藏时间的延长,所有处理组的佛手瓜果实 POD 活性均出现两个高峰。在贮藏 30 d 时,各组果实 POD 酶活达到最大,但对照组值明显低于三处理组($P<0.05$),POD 活性在贮藏初期快速上升可能是由于采摘伤害的胁迫,果蔬膜系统的完整性受到破坏,细胞壁加开裂

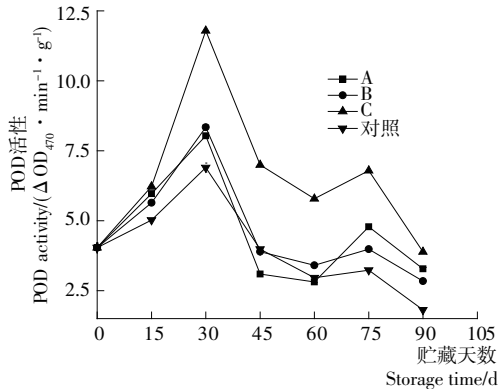


图 5 处理方式对佛手瓜果实 POD 酶活的影响
Figure 5 Effects of different treatments on the POD activity of *Sechium edule*

解,POD 活性得以增加^[26]。在贮藏 75 d 后,各组果实 POD 活性又出现了一个较低的高峰,C 组明显高于同期其他处理组,差异性达到了极显著水平($P<0.01$)。贮藏后期的各组 POD 酶活相对较低,说明机体自由基大量产生,加剧了果实的衰老。

2.7 处理方式对佛手瓜果实 SOD 酶活性的影响

SOD 是植物细胞中清除自由基最为重要的酶类之一,能催化超氧阴离子自由基发生歧化反应,使 O_2^- 生成无毒的 O_2 和低毒的 H_2O_2 ,从而解除氧自由基对细胞的毒害作用^[27]。由图 6 可知,各组佛手瓜果实 SOD 酶活在贮藏前期呈上升趋势,贮藏 30 d 时,各组果实 SOD 酶活均达到峰值,其中对照组峰值为 1.025 U/g ,处理组果实酶活力明显高于对照组($P<0.05$),分析这是由于此前采摘后佛手瓜果实中 O_2^- 含量过高,刺激诱导 SOD 活性上升所致。之后随贮藏期的延长,SOD 活性开始下降。贮藏结束时,A、B、C 组的 SOD 酶活分别是对照组的 1.32,2.11,2.42 倍,与对照组差异显著($P<0.05$)。结果表明,3 种处理均不同程度地保持了 SOD 酶活,降低佛手瓜果实的过氧化伤害,延长了佛手瓜的保鲜期,其中以 1-MCP 处理组效果最佳,其次是臭氧处理。

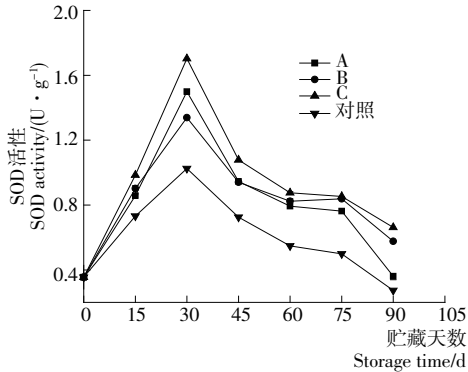


图 6 处理方式对佛手瓜果实 SOD 活性的影响
Figure 6 Effects of different treatments on the SOD content of *Sechium edule*

3 结论

佛手瓜采后的耐贮藏性及后熟品质直接影响其商业价值,而果实在采后贮藏期间的各项生理生化指标能很好地反映出品质的变化。试验采用气调、臭氧和 1-MCP 3 种方法处理佛手瓜果实,将其置于温度为 $(9\pm1)\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $90\%\sim95\%$ 环境中贮藏。试验结果表明:

(1) 对照组果实在贮藏 90 d 时已出现严重腐烂现象,不利于再长期贮藏;3 种处理方法在不同程度上均可以较好地保持佛手瓜果实的品质,可进一步延长佛手瓜果实的贮藏期。

(2) 浓度为 900 nL/L 的 1-MCP 处理相比其他处理能更有效地防止果实中 Vc 的流失和叶绿素的降解,抑制活性氧代谢系统保护酶活力的降低,延缓果实的成熟衰老进程,有利于佛手瓜在贮藏期间品质的保持。

(3) 本研究发现,贮藏过程中各组果实的 POD 均出现了两个酶活高峰,有学者在研究甜樱桃^[28]和桐柏大枣^[29]气调

贮藏期间的生理生化变化时也出现了 POD 酶活双高峰的现象,但并未深入探究,产生该现象的原因还有待于进一步研究;此外,本试验只是用单一的处理方法在低温条件下对佛手瓜果实进行保鲜研究,可进一步探讨几种保鲜方法共同组合使用的复合保鲜方法在佛手瓜或其他果蔬上的应用研究。

参考文献

1 张德纯. 佛手瓜[J]. 中国蔬菜, 2009(5):16.

2 Jiménez-Hernández J, Salazar-Montoya J A, Ramos-Ramírez E G. Physical, chemical and microscopic characterization of a new starch from chayote (*Sechium edule*) tuber and its comparison with potato and maize starches [J]. Carbohydrate Polymers, 2007, 68(4): 679~686.

3 朱瑛. 佛手瓜采后生理及种子休眠特性研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2007.

4 李合生. 现代植物生理学[M]. 高等教育出版社, 2006:18~21.

5 胡花丽, 李鹏霞, 王毓宁, 等. 气调贮藏对草莓细胞壁酶活性的影响[J]. 食品与机械, 2011, 27(1): 98~101.

6 Wang Y, Sugar D. 1-MCP efficacy in extending storage life of ‘Bartlett’ pears is affected by harvest maturity, production elevation, and holding temperature during treatment delay [J]. Postharvest Biology and Technology, 2015, 103: 1~8.

7 Ali A, Ong M K, Forney C F. Effect of ozone pre-conditioning on quality and antioxidant capacity of papaya fruit during ambient storage[J]. Food Chemistry, 2014, 142: 19~26.

8 East A R, Trejo Araya X I, Hertog M L A T, et al. The effect of controlled atmospheres on respiration and rate of quality change in ‘Unique’ feijoa fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2009, 53(1~2): 66~71.

9 邓义才, 赵秀娟. 臭氧的保鲜机理及其在果蔬贮运中的应用[J]. 广东农业科学, 2005(2):67~69.

10 Sisler E C. 1-Alkenes: Ethylene action compounds or ethylene competitive inhibitors in plants[J]. Plant Science, 2008, 175 (1~2): 145~148.

11 Cadena-I Iguez J, Arévalo-Galarza L, Ruiz-Posadas L M, et al. Quality evaluation and influence of 1-MCP on *Sechium edule* (Jacq.) Sw. fruit during postharvest[J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 40(2): 170~176.

12 林永艳, 谢晶, 余江涛, 等. 1-MCP 及壳聚糖对蕃茄贮藏品质的影响[J]. 食品与机械, 2014, 30(1): 169~171.

13 焦岩, 李保国, 张岩, 等. 冰箱冷藏条件对果蔬贮藏质量的影响 [J]. 食品科学, 2002, 23(6): 150~153.

14 居益民, 周慧娟, 叶正文, 等. 1-MCP 处理对猕猴桃贮藏保鲜效果的影响[J]. 食品与机械, 2010, 26(6): 40~43.

15 魏好程, 潘永贵, 仇厚援. 1-MCP 对采后果蔬生理及品质影响的研究进展[J]. 华中农业大学学报, 2003, 22(3): 307~312.

16 姜丽. 不同保鲜处理对紫背天葵品质和生理生化的影响及其 POD 特性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.

17 Han Cong, Zuo Jin-hua, Wang Qing, et al. Effects of 1-MCP on postharvest physiology and quality of bitter melon (*Momordica charantia* L.) [J]. Scientia Horticulturae, 2015, 182:

86~91.

18 闽嗣藩, 李德荣, 杨寅桂, 等. 佛手瓜果实耐贮性初步研究[J]. 江西农业大学学报, 1997, 19(3):129~131.

19 孔秋莲, 修德仁, 胡文玉, 等. 牛奶葡萄贮藏中 SO₂ 伤害及调控措施研究[J]. 果树学报, 2001, 18(1): 28~31.

20 郝晓玲, 庞侯英, 王英才. 1-MCP 处理对梨枣低温贮藏生理的影响[J]. 食品与机械, 2013, 29(1): 199~201.

21 高海燕. 葡萄 SO₂ 伤害敏感性与果皮结构及生理生化特性关系的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2001.

22 黎继烈, 彭湘莲, 钟海雁, 等. 臭氧保鲜处理对金橘采后生理的影响[J]. 中国食品学报, 2007, 7(3): 112~115.

23 张玉敏, 胡长鹰, 吴宇梅, 等. 气调包装对番石榴贮藏品质的影响[J]. 食品与机械, 2012, 28(2): 180~183.

24 Boonkorn P, Gemma H, Sugaya S, et al. Impact of high-dose, short periods of ozone exposure on green mold and antioxidant enzyme activity of tangerine fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 67: 25~28.

25 Hassan F A S, Mahfouz S A. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on the postharvest senescence of coriander leaves during storage and its relation to antioxidant enzyme activity [J]. Scientia Horticulturae, 2012, 141: 69~75.

26 庞坤, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 鲜切苹果贮藏期间生理生化变化的影响[J]. 食品与机械, 2008, 24(1): 50~54.

27 孟宇竹, 雷昌贵, 王霞, 等. SOD 抗氧化作用及其在食品工业中的应用[J]. 中国食品添加剂, 2009(1): 134~137.

28 杜小琴, 李玉, 秦文, 等. 气调贮藏对甜樱桃果实采后生理生化变化的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(8): 314~318.

29 李江华, 王贵禧, 梁丽松, 等. 桐柏大枣气调贮藏期间几种酶活性变化[J]. 食品科学, 2006, 27(6): 234~237.

(上接第 90 页)

2 李成松, 坎杂, 谭洪洋, 等. 加工番茄果秧分离装置运动过程分析 [J]. 农业机械学报, 2012, 4(4): 66~69.

3 李成松, 梁荣庆, 坎杂, 等. 液压振动系统在番茄果秧分离装置中的应用[J]. 农机化研究, 2013, 12(12): 233~236.

4 吕超群, 鲁聪达, 刘高进, 等. 基于 MATLAB 的同步带传动优化设计[J]. 机械传动, 2007, 31(5): 67~87.

5 张凯凯. 同步带传动的动态性能研究[D]. 西安:陕西科技大学, 2012

6 赖庆辉, 贺双玲, 刘景卫, 等. 翻麻脱粒机机液压传动系统的设计 [J]. 农机化研究, 2008(8): 94~96.

7 周鹏. 汽车同步带传动设计方法及传动性能研究[D]. 长春:长春理工大学, 2009.

8 成大先. 机械设计手册(第 3 卷)[M]. 第 5 版. 北京:化学工业出版社, 2011.

9 李心耀, 洪建忠, 将春梅, 等. 同步带传动在离心机配平系统中的应用与研究[J]. 机械传动, 2011, 25(8): 94~96.

10 杨玉萍, 季彬彬. 同步带传动中张紧轮安装位置的优化设计[J]. 南通大学学报(自然科学版), 2010, 9(1): 68~70.

11 张大为. 同步带传动静态性能与动态性能分析研究[D]. 长春: 长春理工大学, 2008.