

不同贮藏温度对山竹果壳细胞代谢物和果肉品质影响

于立梅¹, 刘朝霞², 陈海光¹, 杨 敏¹

(1.仲恺农业工程学院轻工食品学院, 广东 广州 510225; 2.广东检验检疫技术中心, 广东 广州 510623)

摘 要:以山竹果为材料,研究不同贮藏温度(常温30℃、低温4℃)对山竹果壳细胞代谢物和果肉营养的影响。结果表明:不同贮藏温度条件下,山竹果壳中超氧阴离子自由基($O_2^{\cdot-}$)、膜脂过氧化产物丙二醛(MDA)、过氧化氢(H_2O_2)含量随着贮藏时间的延长而呈上升趋势。贮藏15d时,2种处理果壳中的MDA含量比初期分别增加了94.4%(常温)和7.2%(低温),可溶性总糖和总酚含量均先上升后下降。表明低温处理可减缓木质素的沉积速度,显著减少山竹贮藏过程中 $O_2^{\cdot-}$ 和 H_2O_2 的积累,并能显著延缓果肉VC和可溶性总糖含量下降,减慢营养物质的消耗,抑制果肉腐烂。

关键词:山竹果;贮藏温度;细胞代谢物;果肉品质

Effect of Storage Temperature on Cell Metabolites of Mangosteen Shell and Pulp Quality

YU Li-mei¹, LIU Zhao-xia², CHEN Hai-guang¹, YANG Min¹

(1. College of Light Industry and Food Technology, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China;
2. Guangdong Inspection and Quarantine Technology Center, Guangzhou 510623, China)

Abstract: The effect of different storage temperatures (30 °C and 4 °C) on cell metabolites of mangosteen shell and nutritional quality of its pulp was studied. The results showed that superoxide anion, malondialdehyde (MDA) and hydrogen peroxide contents of mangosteen shell at either storage temperature had an increasing trend with storage time. MDA contents (15 d) of mangosteen pulp were increased by 94.4% (30 °C) and 7.2% (4 °C) when compared with the initial stage. The contents of soluble sugar and total phenolic compounds were increased at first followed by a decrease. These results also indicated that low temperature treatment could significantly delay lignin deposition rate and reduce the accumulation of superoxide anion free radical and H_2O_2 during the storage period of mangosteen. The reduction of vitamin C and total sugar content could be delayed by low temperature storage, which was accompanied by reducing the consumption of nutrient substances and inhibiting the decay of fruit pulp.

Key words: mangosteen fruit; storage temperature; cell metabolites; pulp quality

中图分类号: TS255.36

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)20-0318-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201320066

山竹(*Garcinia mangostana* L.), 又称倒捻子、凤果或莽吉柿, 为藤黄科藤黄属的一种间杂交的异源多倍体果树, 原产于印度尼西亚和马来西亚, 是一种典型的热带水果, 主要分布于泰国、越南、马来西亚、印度尼西亚、菲律宾等东南亚国家。我国海南、台湾、福建、广东和云南引种后也逐渐规模化种植。其香幽气爽, 滑润而不腻滞, 与榴莲齐名, 号称“果中皇后”^[1-2]。山竹果单果质量为55~75g, 果肉白色透明, 果实可食部分占29%~45%, 果壳表壳紫褐色, 厚度为0.8~1.1cm, 占单果鲜质量的52%~68%^[1]。山竹所以称为“果后”, 除了本身味道甜美之外, 另一个主要原因是在古时东南亚医药中所担当的角色, 用来控制发烧及防止各种皮肤感

染。研究^[3]表明, 山竹果壳提取物具有抗氧化、抗癌、抗菌、降血压和预防心脑血管疾病等活性^[4-5]。

由于山竹生产的季节性较强, 目前保鲜方式主要是常温和低温保藏。但采后极易出现果壳木质化和褐变, 影响山竹果肉营养价值和果壳生物活性。采后果实木质化是一个非常复杂的过程, 包括质地变化相关的物质如纤维素、半纤维素、木质素等的变化情况和与此有关的生理生化反应。木质素以酚类物质为前体, 在体内经过一系列酶的催化聚合成木质素。细胞壁中多糖含量的变化可直接反映纤维素、半纤维素的沉积, 丙二醛(malondialdehyde, MDA)和活性氧的积累是衰老的重要标志^[6], 它们的变化都在一定程度上影响组织的木质化进程。本

收稿日期: 2012-09-03

基金项目: 广东省自然科学基金项目(10451022501005679)

作者简介: 于立梅(1973—), 女, 副教授, 博士, 研究方向为农产品贮藏加工。E-mail: biyingwang2003@163.com

研究以山竹果实为材料,主要探讨采后不同贮藏温度(常温30℃、低温4℃)对山竹果壳细胞代谢物及果肉品质的影响,为进一步阐述山竹果壳木质化形成机理和果肉保鲜提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

山竹果购自海南山竹种植园。

羟胺盐酸、 NaNO_2 、 Na_2CO_3 、过氧化氢、对氨基苯磺酸、 α -萘胺、 TiCl_4 、三氯乙酸(TCA)、硫代巴比妥酸(TBA)、蒽酮为国产分析纯 上海光华化学试剂厂;没食子酸、福林试剂 美国Sigma公司。

1.2 仪器与设备

DU-730型紫外-可见分光光度计 日本岛津分析仪器厂;恒温水浴锅 广东环凯微生物科技有限公司;电热恒温培养箱 上海索谱仪器有限公司;HY-Z型调速振荡器 常州国华电器有限公司;高速离心机 长沙湘仪离心机仪器有限公司;KQ5200超声波清洗器 昆山市超声仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 原材料处理

选取无机械损伤、大小均匀、成熟度一致的山竹果实。贮藏在不同的温度(常温30℃,低温4℃)条件下,每份35个,重复5次。每3d每组随机取1份,将果肉和果壳分离,果壳粉碎后进行相关指标的测定。

1.3.2 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 产生速率的测定

参照王爱国等^[7]的方法。样品的制备:称取2.0g山竹果壳,加10mL 0.05mol/L的磷酸钠缓冲液(pH7.8),在冰浴条件下研磨匀浆,于5000r/min、4℃离心20min。收集上清液按照实验方法进行测定。以每分钟每克山竹果壳(鲜质量)产生的 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的物质的量作为 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的产生速率。

1.3.3 指标测定

H_2O_2 的测定:参照林植芳等^[8]的方法;丙二醛含量的测定:参考Heath等^[9]的方法;总酚(TPC)的测定:参照福林-肖卡法^[10];可溶性糖含量的测定:采用蒽酮-比色法^[11];VC含量的测定:采用2,6-二氯酚靛酚滴定法^[12];腐烂指数的测定:参考芮怀瑾等^[13]的方法:将果实按腐烂面积大小分为4级。0级,无腐烂;1级,腐烂面积小于果实面积的10%;2级,腐烂面积占果实面积的10%~30%;3级,腐烂面积大于果实面积30%。按下式计算腐烂指数:

$$\text{腐烂指数}/\% = \sum(\text{级别} \times \text{该级果数}) / \text{总果数} \times 100$$

1.4 数据统计与分析

每个实验均重复3次,结果表示为平均值±标准偏差。应用SPSS 11.5软件进行方差和差异显著性分析, $P < 0.05$ 表示差异显著, $P < 0.01$ 表示差异极显著。

2 结果与分析

2.1 贮藏温度对山竹果壳 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 产生速率的影响

果蔬组织在采后贮藏过程中会产生 $\text{O}_2^{\cdot-}$, $\text{O}_2^{\cdot-}$ 在相关酶的催化作用下形成 H_2O 和 O_2 ,一起参与木质素前体的交联和聚合作用,提高植物组织木质化程度^[14]。

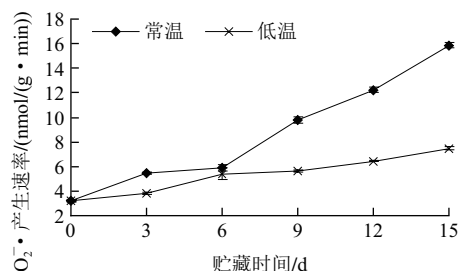


图1 贮藏温度(4、30℃)对果壳 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 产生速率影响

Fig.1 Effect of storage temperature on superoxide anion free radical production rate of *Garcinia mangostana* pericarp

如图1所示,4、30℃贮藏温度条件下果壳 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 产生速率均随着贮藏期的延长呈上升趋势。贮藏前山竹果壳 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 产生速率为3.19nmol/(g·min),第15天时,常温和低温处理的 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 产生速率分别为15.87nmol/(g·min)和7.47nmol/(g·min),此时常温的产生速率是低温的212.4%。经差异显著性分析,9~15d时,常温和低温处理的 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 产生速率具有差异显著性($P < 0.05$)。上述表明低温贮藏能在一定程度上减少 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的产生,降低其在组织中的积累。

2.2 贮藏温度对山竹果壳 H_2O_2 积累的影响

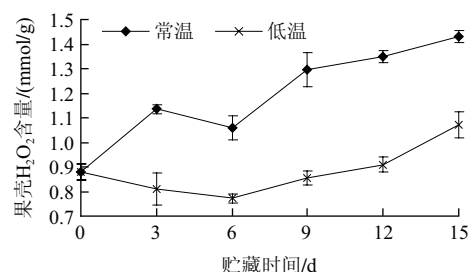


图2 贮藏温度(4、30℃)对山竹果壳 H_2O_2 含量的影响

Fig.2 Effect of storage temperature on H_2O_2 content of mangosteen pericarp

果蔬体内积累的 H_2O_2 可以直接或间接地导致细胞膜脂质过氧化损害,加速细胞的衰老和解体。不同处理山竹在贮藏过程中果壳 H_2O_2 含量的变化如图2所示,贮藏前山竹果壳 H_2O_2 含量为3.19mmol/g,不同贮藏温度处理方式下,虽常温贮藏初期变化趋势上下浮动,可能是个体差异导致,但总体山竹果壳 H_2O_2 含量随着贮藏期的延长均呈上升趋势。第15天时,常温和低温处理的 H_2O_2 含量分别为1.43mmol/g和1.07mmol/g,分别是初始含量的

162.5%和121.6%。经差异显著性分析,在整个贮藏期,常温和低温处理之间都具有差异显著性($P<0.05$)。与木质素含量的相关性分析表明,木质素含量和 H_2O_2 积累有一定的相关性。上述结果表明,低温处理可以明显减少 H_2O_2 的含量,降低其在组织中的积累。

2.3 贮藏温度对山竹果壳MDA含量的影响

MDA是植物衰老过程中膜脂过氧化作用最重要的产物之一,它的产生能加剧细胞膜的损伤,MDA的积累对果蔬细胞质膜和细胞器会造成一定的伤害^[15]。采后处理对山竹果壳MDA积累的影响如图3所示。

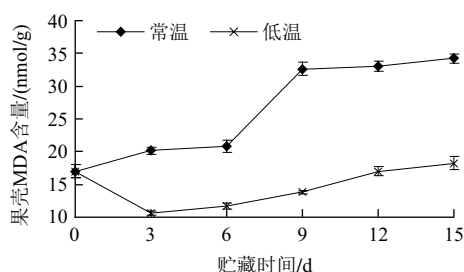


图3 贮藏温度(4、30℃)对山竹果壳MDA含量的影响

Fig.3 Effect of storage temperature on MDA content of mangosteen pericarp

采后贮藏过程中,经过低温处理(4℃)的山竹果壳的MDA含量在第3天时略有下降,且在贮藏期间含量一直低于常温处理(30℃),此后MDA的含量呈缓慢上升趋势。贮藏15d时,常温处理(30℃)的MDA含量比初期增加了94.4%,而低温处理(4℃)增加了7.2%。经差异显著性分析,常温和低温处理在整个贮藏期都具有差异显著性($P<0.05$)。表明低温贮藏能够减轻细胞膜脂过氧化与逆境伤害的程度,有效地延缓组织的衰老,降低山竹果壳MDA的含量。相关性表明果壳MDA的含量与果壳 O_2^- 产生速率和 H_2O_2 积累呈正相关性。佟海龙^[16]在进行海红果采后生理及保鲜技术研究时发现,随着贮藏时间的延长,海红果果实中MDA含量逐渐增加,而低温可有效抑制海红果果实中MDA含量的积累,从而延缓衰老的进程。

2.4 贮藏温度对山竹果壳可溶性总糖含量的影响

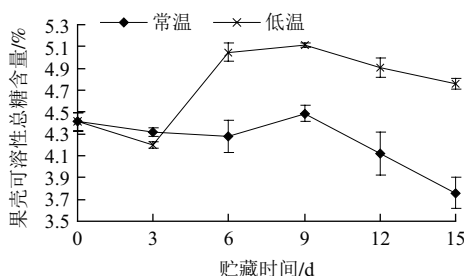


图4 贮藏温度(30、4℃)对山竹果壳可溶性总糖含量的影响

Fig.4 Effect of storage temperature on total soluble sugar content of mangosteen pericarp

糖作为贮藏过程中呼吸作用的主要基质,是合成细胞壁和木质素的基础物质。如图4所示,采后贮藏过程中,山竹果壳可溶性总糖的含量呈先上升后下降的趋势变化。常温和低温处理的果壳可溶性总糖含量在贮藏第9天时达到最大值,分别为4.49%和5.12%,随后含量急剧下降,在15d时,2个处理组的可溶性总糖含量分别为3.76%和4.76%。经差异显著性分析,在贮藏3d后具有差异显著性,表明低温处理在贮藏期能够减缓果壳可溶性总糖的消耗,降低果壳木质化的发生。王连臻等^[17]研究发现,低温能有效降低辣椒的可溶性总糖的损失。

2.5 贮藏温度对山竹果壳酚类物质含量的影响

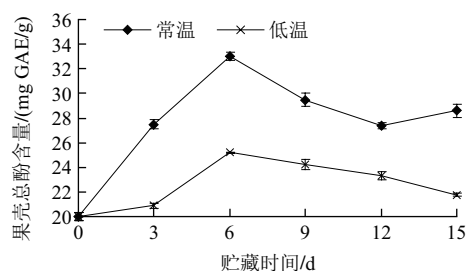


图5 贮藏温度(4、30℃)对山竹果壳总酚含量的影响

Fig.5 Effect of storage temperature on total phenol content of mangosteen pericarp

如图5所示,采后贮藏过程中,总酚含量首先呈增加趋势,并在贮藏6d时达最大值。常温处理的总酚含量由19.973mg GAE/g提高至33.033mg GAE/g,而低温处理的含量仅仅提高至25.194mg GAE/g。6d后,总酚含量随后呈急剧下降趋势,因为酚类物质既是果实贮藏期间组织褐变的物质基础,同时又是合成木质素的前体物质,随着贮藏时间的延长逐渐被消耗。从总体上看,低温处理多酚含量的变化最为和缓。这与杨颖等^[18]对香椿贮藏期间多酚类物质含量的研究结果相符合,研究中同时指出,香椿在低温中的保鲜效果较为理想。

2.6 贮藏温度对山竹果肉腐烂指数的影响

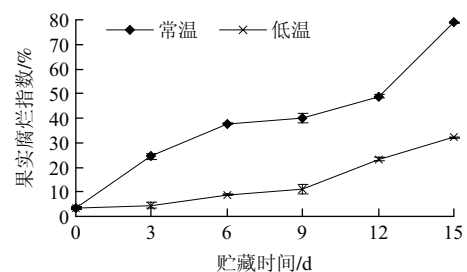


图6 贮藏温度(4、30℃)对山竹果肉腐烂指数的影响

Fig.6 Effect of storage temperature on fruit decay rate of mangosteen pericarp

由图6可以看出,不同处理的山竹果腐烂指数均随着贮藏时间的延长而逐渐增大,但低温处理的腐烂指数都

低于常温处理。其中常温处理的腐烂率增加了78.89%，低温处理的腐烂率增加了32.22%。可能是低温处理延缓果壳木质化，减少MDA含量的积累，延缓果实内VC含量的降解，从而可以抑制腐烂。

2.7 贮藏温度对山竹果肉VC含量的影响

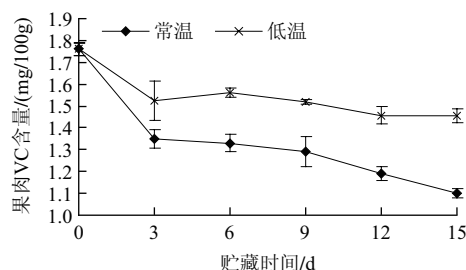


图7 贮藏温度(4、30℃)对山竹果肉VC含量的影响

Fig.7 Effect of storage temperature on vitamin C content of mangosteen pericarp

果蔬在成熟时，VC含量增加，但随着贮藏时间的延长，其含量下降较快，导致果蔬品质发生劣变，VC作为一种还原性物质，对果蔬具有保护作用，当其含量降低到不能代谢掉正常代谢所产生的自由基程度时，自由基将会逐渐在机体内积累，以至于达到对细胞组织产生损害，加速衰老速度^[19]。如图7所示，随着贮藏时间的延长，山竹果肉VC含量呈下降趋势。常温贮藏15d时，果肉VC含量由采收贮藏时的1.76mg/100g，下降了37.5%，而低温处理的VC含量比初始时间下降了17.6%。经差异显著性检验分析，常温处理与低温处理之间在贮藏3d后差异性显著($P<0.05$)。常温VC下降最多，可能是因为常温贮藏过程中，山竹果壳褐变和木质化变化较快，造成其透气性差，山竹果肉无氧呼吸导致乙醇积累所致。庞会娟等^[20]报道，枣果采收后VC的含量与枣果的新鲜度呈正相关。低温贮藏时能够减慢抗氧化等营养物质的消耗，抑制果实的衰老，更有利于山竹果实的保鲜贮藏。

2.8 贮藏温度对山竹果肉可溶性糖含量的影响

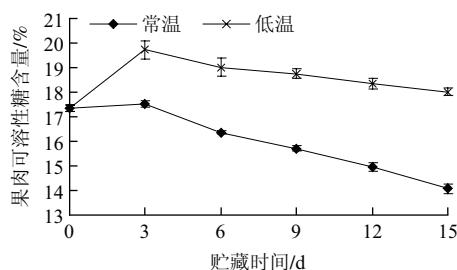


图8 贮藏温度(4、30℃)对山竹果肉可溶性糖含量的影响

Fig.8 Effect of storage temperature on total soluble sugar content of mangosteen pericarp

可溶性糖是果实风味品质的主要成分，其组分含量特征与果实的风味品质有密切联系。由图8可知，在贮藏

第3天时，2种处理的果肉可溶性总糖含量均增加了，原因可能是山竹贮藏初期，淀粉和纤维素等多糖在水解酶的作用下大量水解，使可溶性糖和还原糖含量增加，导致了糖含量的增加。贮藏3d后，可溶性总糖含量急剧下降，可能原因是随着时间的延长，淀粉逐渐消耗殆尽，可溶性糖和还原糖成为呼吸消耗底物，导致含量也随之降低。当贮藏15d时，低温处理的可溶性总糖含量为18.01%，比常温处理高28.0%。经差异显著性检验分析，常温处理3d后，随着时间的延长具有差异显著性，处理两两之间差异性显著($P<0.05$)。

3 结论

植物在生命过程中会产生活性氧，采收山竹果活性氧的大量积累，加剧了山竹果壳的老化。其可能的机理是因为活性氧参与植物组织木质化进程，活性氧含量的增加促进了纤维素、木质素等的氧化交联，从而加速衰老。本研究结果显示，低温处理(4℃)延缓了 $O_2^{\cdot-}$ 、 H_2O_2 的增加，贮藏过程中低温处理的指标始终低于常温组(30℃)，活性氧含量一直处于较低的水平。

丙二醛(MDA)是膜脂过氧化的最终产物之一，它可以作为判断衰老和膜脂过氧化强弱的指标。许多研究表明，植物在逆境胁迫或衰老过程中，细胞内活性氧代谢平衡被破坏，从而有利于自由基的产生。过剩的自由基毒害之一就是引发或加剧膜脂过氧化作用，造成细胞膜系统结构和功能的破坏。本研究结果发现，山竹果采收后在贮藏前期果壳中MDA含量急剧增加，贮藏15d时，常温处理(30℃)的丙二醛含量比初期增加了94.4%，而低温处理(4℃)增加了7.2%，能够延缓MDA含量的增加，表明低温贮藏对衰老和膜脂过氧化有一定的抑制作用。

山竹果壳木质化的过程中，随着贮藏时间的延长，果肉也在发生变化，不论果肉和果壳自身都会进行的生理生化代谢，这些代谢消耗着营养物质，引起品质的劣化。表现在蛋白质、可溶性固形物、糖、VC含量的降低。本研究结果表明，低温处理(4℃)延缓了可溶性蛋白质、可溶性固形物、可溶性糖、VC含量的下降，因此采用有效的保鲜手段降低果实的木质化败坏的发生率，就可延缓山竹果肉品质劣变进程。

参考文献:

- [1] 刘世彪, 彭小列, 田儒玉, 等. 世界热带五大名果树明[J]. 生物学通报, 2003, 3(3): 11-13.
- [2] 刘全儒, 于明. 几种热带果实的食用部位[J]. 生物学通报, 2003, 38(1): 10-13.
- [3] 蒋依辉, 李春雨, 戴宏芬, 等. 山竹的食用药用价值及综合利用研究进展[J]. 广东农业科学, 2011(3): 50-53.
- [4] NAKATANI K, ATSUMI M, ARAKAWA T, et al. Inhibitions of histamine release and prostaglandin E2 synthesis by mangosteen, a

- Thai medicinal plant[J]. Biological Pharmaceutical Bulletin, 2002, 25(9): 1137-1141.
- [5] CHEN L G, YANG L L, WANG C C. Anti-inflammatory activity of mangostins from *Garcinia mangostana*[J]. Food and Chemical Toxicology, 2008, 46(2): 688-693.
- [6] 谢冰, 寇晓虹, 李磊, 等. 芦笋采后木质化和品质变化的调控[J]. 食品科技, 2010, 35(7): 44-47.
- [7] 王爱国, 罗广华. 植物的超氧化物自由基与羟胺反应的定量关系[J]. 植物生理学通讯, 1990, 26(6): 55-57.
- [8] 林植芳, 林桂珠, 李双顺, 等. 衰老叶片和叶绿体中 H_2O_2 累积与膜脂过氧化关系[J]. 植物生理学报, 1988, 14(1): 16-22.
- [9] HEATH R L, PACKER L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation[J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 1986, 25: 189-198.
- [10] SINGLETON V L, ORTHOFER R, LAMUELA R M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidant by means of Folin-Ciocalteu reagent[J]. Methods in Enzymology, 1999, 29(9): 152-198.
- [11] 马琴国, 王引权, 赵勇, 等. 蒽酮-硫酸比色法测定党参中可溶性糖含量的研究[J]. 甘肃中医学院学报, 2009, 26(6): 46-48.
- [12] 吴谋成. 食品分析与感官评定[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 1-120.
- [13] 芮怀瑾, 汪开拓, 尚海涛, 等. 热处理对冷藏枇杷木质化及相关酶活性的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 294-298.
- [14] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 4版. 北京: 高等教育出版社, 2001: 133-135.
- [15] HAMMERSCHMIDT R, KUC J. Lignification as a mechanism for induced systemic resistance in cucumber[J]. Physiological and Plant Pathology, 1982, 20: 61-71.
- [16] 佟海龙. 海红果采后生理及保鲜技术研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2008.
- [17] 王连臻, 任旭琴, 蒋佳, 等. 贮藏温度和壳聚糖姜蒜提取液对辣椒采后生理的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(8): 230-233.
- [18] 杨颖, 邢志恩, 王军, 等. 贮藏期香椿中多酚类物质含量与相关酶活变化的关系[J]. 食品科技, 2010, 35(2): 24-28.
- [19] 潘静娴. 园艺产品贮藏加工学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2007: 34.
- [20] 庞会娟, 温陟良. 冬枣采后及贮藏过程中维生素C含量变化规律的研究[J]. 河北农业大学学报, 2002, 21(15): 118-119.