

减压贮藏保持茭白采后品质及调控细胞壁物质代谢

房祥军, 郜海燕^{*}, 宋丽丽, 陈杭君, 毛金林, 杨倩

(浙江省农业科学院食品科学研究所, 杭州 310021)

摘要: 为了明确减压贮藏对茭白的保鲜效果。以常压冷藏为对照, 研究减压冷藏对“龙茭2号”茭白采后品质和细胞壁代谢的影响。减压贮藏可以较好的保持茭白壳的绿色, 降低其失水, 减轻木纤化, 70~80 kPa 压力效果较好。贮藏至第60天时, 40~50 和 70~80 kPa 处理组可溶性总糖(1.2%、1.5%)、维生素(Vc)的质量分数(2.8、3.94 mg/100g)和硬度(2.67 和 3.47 kg)都保持较高, 对照组与70~80 kPa 处理组差异显著; 对照组和40~50kPa 处理组过氧化物酶(peroxide enzyme, POD)的活性分别为70~80 kPa 压力组的1.90 和 1.54 倍; 苯丙氨酸解氨酶(phenylalanine ammonia-lyase, PAL)活性分别为70~80 kPa 压力组的1.49 和 1.23 倍, 差异显著; 70~80 kPa 压力下水溶性果胶含量分别为对照组和40~50 kPa 处理组的1.65 和 1.15 倍, 差异显著; 70~80 kPa 压力处理木质素质量分数为0.47%, 对照组和40~50 kPa 处理组分别为其1.6 和 0.98 倍, 与对照差异显著。2种压力水平相比较, 70~80 kPa 压力贮藏保鲜效果较好, 经2个月的贮藏后, 仍能保持较好的外观品质, 可溶性总糖和Vc也保留在较高水平, POD、PAL 和肉桂醇脱氢酶活性(cinnamyl-alcohol dehydrogenase, CAD)的活性维持较低水平, 木纤化程度较轻, 保持了茭白独特的商品价值。

关键词: 贮藏, 品质调控, 酶, 减压贮藏, 茭白, 木纤化, 原果胶, 水溶性果胶

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.12.032

中图分类号: TS255

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-12-0257-07

房祥军, 郜海燕, 宋丽丽, 等. 减压贮藏保持茭白采后品质及调控细胞壁物质代谢[J]. 农业工程学报, 2013, 29(12): 257-263.

Fang Xiangjun, Gao Haiyan, Song Lili, et al. Hypobaric storage maintains postharvest quality and regulates cell wall metabolism in water bamboo shoot[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(12): 257-263. (in Chinese with English abstract)

0 引言

茭白(*Zizania caduciflora* L.), 又称茭笋、菰首, 属禾本科宿根性多年水生草本植物^[1], 是中国南方特有的水生蔬菜。茭白味道鲜美、营养丰富, 含有钙、磷、铁等矿物质和胡萝卜素、硫胺素、核黄素、尼克素、维生素C等多种维生素^[2]。茭白不仅是餐桌上的美味佳肴, 而且还具有嫩白保湿等美容功效。茭白能清除体内活性氧, 抑制酪氨酸酶活性, 从而阻止黑色素生成; 同时还能软化皮肤角质层, 使皮肤润滑细腻^[3]。

茭白采收后含水率高达93%, 极易出现失水萎蔫、糠化、茭壳变黄、肉质发青、木纤化、腐烂等问题, 常温下仅可保存2~3 d。茭白的这种不耐贮

藏性, 很大程度的制约了异时销售^[4-7]。因此, 研究茭白采后变化及贮藏保鲜技术对发展茭白产业具有重要意义。

减压保鲜技术被国际上称为21世纪保鲜技术, 是一种特殊的气调保鲜方式。它去除了化学药剂处理对食品安全的不利影响, 在果蔬采后保鲜领域得到了越来越广泛的应用。减压贮藏具有快速减压降温、快速降氧、快速脱除有害气体成分的特点。减压处理能够大大加速组织内乙烯以及其他挥发性产物向外扩散, 可以减少由这些物质引起的衰老和生理病害, 而从根本上消除了CO₂中毒的可能性^[8-12]。近年来, 国内外学者对减压贮藏技术进行了大量的研究试验, 并取得了一定的进展。皮钰珍等研究表明, 减压处理枣果可以明显延缓果实衰老, 减缓Vc、可溶性固形物流失速度, 可有效抑制引起果实口感粗糙的木质素含量增加, 较好地保持枣果的风味^[13]。Li等采用真空减压贮藏保鲜绿芦笋的研究表明, 减压贮藏提高了超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化氢酶(catalase, CAT)的活性, 减少了丙二醛(malondialdehyde, MDA)、

收稿日期: 2012-12-22 修订日期: 2013-05-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(30800773)

作者简介: 房祥军(1977-), 男, 汉族, 山东日照人, 助理研究员, 主要从事果蔬采后保鲜及加工技术研究。杭州 浙江省农业科学院食品科学研究所, 310021。Email: fangxiangjun2004@163.com

*通信作者: 郜海燕(1958-), 女, 汉族, 浙江杭州人, 研究员, 所长, 博士, 主要从事果蔬采后保鲜及物流贮运技术研究。杭州 浙江省农业科学院食品科学研究所, 310021。Email: spsghy@163.com

O₂、H₂O₂ 的积累, 延缓 POD 活性的升高, 进而减少了纤维素、木质素含量的增加^[14-15]。减压贮藏对竹笋上的研究表明, 减压可以延缓竹笋采后木质化发生^[16-17]。减压贮藏对茭苳、甜樱桃等果蔬上保鲜效果的研究也有一定的报道^[18-19]。但目前对减压在果蔬采后木纤维化影响方面的研究还不够系统。本文研究减压贮藏对茭白采后品质和细胞壁物质代谢的影响, 探讨合理的减压贮藏技术参数, 为开发安全、高效的茭白减压贮藏保鲜技术提供理论依据。

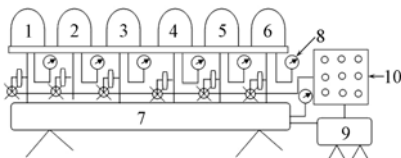
1 材料与方法

1.1 试验材料与处理方法

“龙茭 2 号”(浙江省桐乡市) 春茭。茭白采后 6 h 内运回实验室, 置于 8~10℃ 温度下过夜预冷 12 h 以上。选取成熟度适中、大小均匀、形状正常、新鲜、无机械损伤、肉质白嫩的茭白, 剔除老茭、虫茭、病茭和青茭, 留 2~3 片包叶并将尖端和基部进行修整, 备用。将茭白分别随机分成 3 组, 每组 70 根茭白。分别放入聚乙烯 (polyethylene, PE) 袋内, 均不扎口, 常压为对照组 (CK); 40~50 kPa 压力为处理组 1; 70~80 kPa 压力为处理组 2; 分别置于温度 (2±0.5)℃、湿度为 50% 左右的保鲜库中, 贮藏期 60 d, 贮藏过程中每 15 d 取 1 次样, 测定相关指标。

1.2 试验设备

减压贮藏设备采用低气压多室异压保鲜贮藏试验设备 (上海鲜绿真空保鲜设备有限公司研制)。该设备有多个贮藏室, 可以同时自动控制多种不同的压力。该设备安装在贮藏冷库内, 依靠冷库冷源控制贮藏温度, 如图 1。



注: 1~6 代表 6 个可设置不同压力的贮藏室; 7 为真空蓄能器; 8 为真空表; 9 为真空泵; 10 为电气控制箱。

Note: 1~6 indicated six chamber with adjustable pressure; 7. Vacuum accumulator device; 8. Pressure vacuum gauge; 9. Vacuum pump; 10 Electric control box.

图 1 低气压多室异压保鲜贮藏设备示意图

Fig.1 Hypobaric storage equipment with multi-chamber for adjusting pressure

1.3 测定项目及方法

1.3.1 感官评定

参考 Song 等^[20]的方法, 略做修改。将茭白肉质茎的形态变化分为: 组织致密, 形态饱满,

无失水、无异味为 5 级; 茭壳轻微黄化、失水为 4 级; 茭壳中度黄化、失水, 稍有异味为 3 级; 茭壳严重黄化、失水, 有较大异味为 2 级; 茭壳完全黄化、失水, 伴有强烈异味为 1 级。对每次取样的所有茭白进行评级。按照下面公式计算感官评定指数:

$$\text{感官评定指数} = \frac{\sum (\text{级别} \times \text{该级别中茭白个数})}{\text{测定茭白个数}}$$

1.3.2 Vc 含量的测定

参照 GB/T 6195-1986 中 2, 6-二氯靛酚滴定法测定^[21]。

1.3.3 可溶性总糖含量的测定

采用蒽酮比色法^[22]。

1.3.4 硬度测定

采用 TA.XT.plus 型质构仪 (英国 SMS 公司), 探头直径为 0.5 cm, 测定深度为 15 mm, 速度为 1 mm/s 随机挑选 10 根茭白, 单个茭白重复 2 次, 取平均值。

1.3.5 苯丙氨酸解氨酶 (PAL)、过氧化物酶 (POD) 和肉桂醇脱氢酶 (CAD) 活性测定

PAL 的测定参考 Kochba J 的方法^[23]; POD 的测定参照陈怡竹的方法^[24]。CAD 的测定参照 Goffner D 的方法^[25]。

1.3.6 原果胶和水溶性果胶含量的测定

采用咔唑比色法^[26]。

1.3.7 木质素含量的测定

参照熊素敏、范鹏程等的方法^[27-28], 略作修改。其中样品用量改为 2 g; 乙醇乙醚混合液的用量改为 15 mL; 72% 的硫酸用量改为 15 mL; 氯化钡用量改为 1 mL。

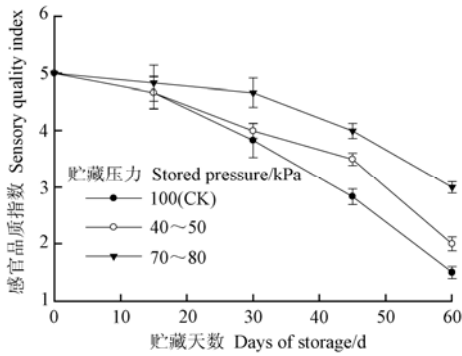
1.4 数据处理

本试验数据为 3 次重复的平均值和标准误, 使用 SPSS16.0 进行差异显著性分析 (0.05 水平)。

2 结果与分析

2.1 减压处理对茭白采后感官和营养品质的影响

由图 2 可见, 在整个 60 d 贮藏期内, 70~80 kPa 压力下茭白的感官品质最好, 其次是 40~50 kPa 压力, 对照组最低。60 d 时, 70~80 kPa 压力下的茭白壳还保持较好的绿色, 失水不明显, 但茭壳上有少许的腐烂点; 40~50 kPa 压力下茭壳失水比 70~80 kPa 严重, 横切面粗糙, 茭肉木纤维化明显; 对照组茭白茭壳基本全部失去绿色, 茭壳失水严重、根部发霉, 肉质茎横切面粗糙, 木纤维化现象明显, 老化严重, 3 组处理彼此都呈显著性差异 ($p < 0.05$)。可见, 茭白在 70~80 kPa 压力下可维持较好的感官品质。



注：贮藏温度 (2±0.5) °C；湿度 50%左右，下同
 Note: Storage temperature (2±0.5)°C; relative humidity about 50%, the same as below.

图 2 不同减压处理对茭白感官品质的影响

Fig.2. Effects of hypobaric treatments on sensory quality in water bamboo shoot during storage at 2°C

表 1 不同减压处理对茭白总糖、Vc 和硬度的影响

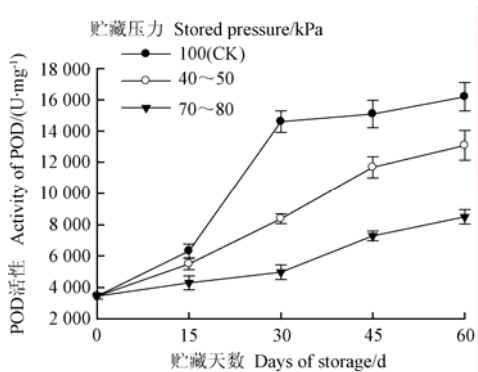
Table 1 Effects of hypobaric treatments on contents of total sugars and Vc, and firmness in water bamboo shoot during storage at 2°C after 60 d storage

	维生素 C Vitamin C/(mg·100g ⁻¹)	可溶性总糖 Total soluble sugar/%	硬度 Firmness/kg
对照 Control	1.01±0.34a	1.0±0.15a	2.2±0.23ab
40~50 kPa	2.8±0.42b	1.2±0.16ab	2.67±0.18b
70~80 kPa	3.94±0.40c	1.5±0.19b	3.47±0.12c

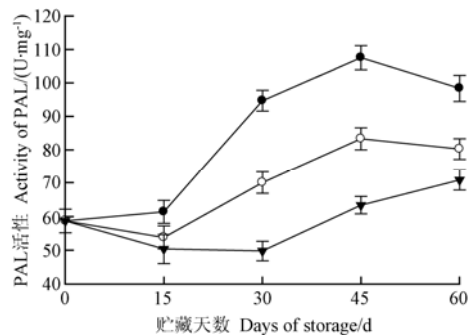
注：在同一列内，数据后跟有相同字母者表示在 0.05 水平差异不显著。贮藏温度 (2±0.5) °C；湿度 50%左右，下同
 Note: In a column, data followed by a common letter were not significantly different at 5% level. Storage temperature (2±0.5) °C; relative humidity about 50%, the same below.

2.2 减压处理对茭白木纤化相关酶活性的影响

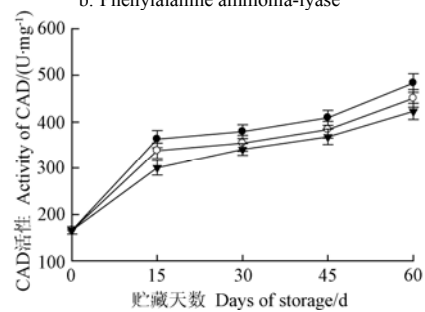
如图 3 所示，采后茭白 PAL、POD、CAD 活性在贮藏期间都呈不同程度的上升趋势。与常压对照处理相比，减压贮藏抑制了茭白采后 POD、PAL、CAD 活性的上升。贮藏 60 d 时，对照组和 40~50 kPa 处理组 POD 的活性分别为 70~80 kPa 压力组的 1.90 和 1.54 倍；PAL 活性分别为 70~80 kPa 压力组的 1.49 和 1.23 倍；CAD 的活性分别为 70~80 kPa 压力组的 1.20 和 1.10 倍。相关性分析呈显著性差异 (p<0.05)。不同减压处理比较，70~80 kPa 下 3 种酶活性最低，效果最好。



a. 过氧化物酶
 a. Peroxide enzyme



b. 苯丙氨酸解氨酶
 b. Phenylalanine ammonia-lyase



c. 肉桂醇脱氢酶
 b. Cinnamyl-alcohol dehydrogenase

图 3 不同减压处理对茭白过氧化物酶(POD)、苯丙氨酸解氨酶(PAL)、肉桂醇脱氢酶活性(CAD)的影响

Fig.3 Effects of hypobaric treatments on activity of peroxide enzyme (POD), phenylalanine ammonia-lyase (PAL) and cinnamyl-alcohol dehydrogenase (CAD) in water bamboo shoot during storage at 2°C

2.3 减压处理对茭白细胞壁物质变化的影响

如图4所示,采后茭白贮藏过程中水溶性果胶下降、原果胶和木质素质量分数上升。与其他2个处理相比,70~80 kPa压力贮藏下的水溶性果胶质量分数在整个贮藏过程中一直保持较高,原果胶和木质素质量分数则较低,第60天,70~80 kPa压力下水溶性果胶质量分数为0.23 mg/g,分别为对照组和40~50 kPa处理组的1.65和1.15倍,相关性分析呈显著性差异($p < 0.05$);60 d时70~80 kPa压力下的原果胶质量分数为2.15 mg/g,对照组和40~50 kPa处理组分别为其1.09和1.03倍,3组差异不显著($p > 0.05$);70~80 kPa压力处理组贮藏至60 d时木质素质量分数为0.47%,对照组和40~50 kPa处理组分别为其1.6和0.98倍,对照组与40~50和70~80 kPa处理组呈显著性差异($p < 0.05$)。

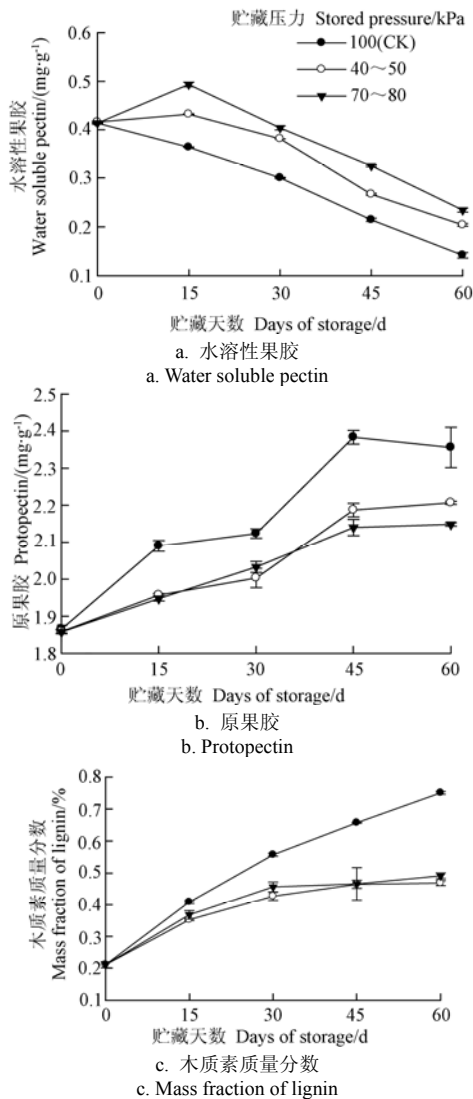


图4 不同减压处理对茭白水溶性果胶、原果胶、木质素质量分数的影响

Fig.4 Effects of hypobaric treatments on mass fraction of water soluble pectin, protopectin and lignin in water bamboo shoot during storage at 2°C

3 讨论

近年来,减压贮藏抑制果蔬采后品质下降,延缓果蔬衰老方面有一定报道。邵海燕等采用40~50 kPa压力冷藏枇杷,枇杷果实的呼吸强度、乙烯产生和果实褐变及硬度的增加缓慢,木质素含量、PAL和POD活性的增加受到抑制,果实的木质化败坏明显减轻^[29]。本试验结果也发现,减压处理可以延缓茭白贮藏过程中可溶性总糖、Vc含量、硬度和水溶性果胶含量的下降,抑制茭白贮藏过程中POD、PAL和CAD活性的上升,保持较好的外观品质。其中70~80 kPa压力水平的效果较好。

果蔬采后随着成熟衰老,大多质地软化,而有些果蔬如竹笋、枇杷、茭白等,采后组织会发生木纤化。茭白采后常温下3 d左右就会失水、软化,出现木质化和纤维化,质地粗糙,口感变差,商品价值很快下降^[30]。木纤化与茭白组织内木质素的积累有关,而木质素积累受生物体内木质素合成及分解等相关酶类的调控。PAL、CAD和POD等是木质素生物合成途径的主要相关酶。PAL作为木质素单体合成的起始酶,直接影响木质素的积累,也是苯丙烷类代谢反应中的关键酶和限速酶。CAD是木质素合成中的限速酶,催化香豆醛生成相应的醇;而POD则在木质素生物合成的最后一步中通过催化H₂O₂分解而使木质素单体发生聚合反应形成木质素。绿芦笋采后贮藏过程中PAL、CAD、POD活性以及木质素含量都有不同程度的增加^[31]。枇杷果实采后衰老过程中PAL活性表现为明显的峰型变化,CAD和POD呈明显的上升趋势^[32]。目前也有研究指出,在茭白贮藏过程中木质素含量的增加伴随着PAL和POD活性不同程度上升^[33-34]。此外细胞壁物质的异常代谢也可能是导致果蔬木纤化的原因之一。果胶酯酶(pectin methylesterase, PME)主要是对细胞壁中高度甲基酯化的多聚半乳糖醛酸进行去甲酯化作用,为多聚半乳糖醛酸酶(polygalacturonase, PG)提供底物,PG则作用于脱去甲氧基的多聚半乳糖醛酸,2种酶共同参与果胶的代谢,广泛存在于高等植物中,属水解酶类。纤维素酶(cellulase, CX)的主要底物是木葡聚糖,它能切断细胞壁中各种基质成分的连接,降低细胞壁强度,使细胞壁膨胀松软等。一般果实采后在贮藏过程中随着果实的成熟衰老,细胞壁降解酶如PME、PG、CX的活性都逐渐增加,使纤维素、果胶等物质降解,细胞壁破坏,果实软化。但果蔬发生木质化时,PG、PE、CX活性下降,细胞壁物质代谢发生异常,形成低甲氧基果胶。1°C贮藏枇杷果实木质化表现为内切多聚半乳糖醛酸酶(PG)

和果胶酯酶 (PE) 活性下降, PG 活性下降尤为明显, 可溶性果胶含量减少, 原果胶、纤维素、木质素含量增加, 出现果皮难剥, 果肉硬度增加, 粗糙少汁的木质化败坏现象^[35]。罗自生等研究表明, 竹笋贮藏期间由于纤维素酶 (CX)、果胶甲脂酶 (PME) 和 PG 活性下降, 使纤维素、木质素和原果胶不能正常分解, 细胞壁组分逆向积累, 发生木质化^[36]。本研究发现, 茭白采后贮藏过程中 POD、PAL 和 CAD 活性呈上升趋势, 而减压贮藏可显著抑制这些酶活性的升高。木质素生物合成途径目前尚未完全清楚, 果蔬采后贮藏过程中木质化发生机理的研究还较少, 推测减压贮藏降低茭白的木纤化可能是通过减压调节茭白体内木质素合成及分解相关酶的活性, 进而调控茭白贮藏过程中水溶性果胶、原果胶、木质素含量的变化, 降低茭白木纤化程度。

4 结 论

茭白采后减压处理可较好保持其色泽, 降低失水, 延缓木纤化。抑制可溶性总糖 (对照、40~50 和 70~80 kPa 处理分别为 1.0%、1.2% 和 1.5%)、Vc 质量分数 (1.01、2.8 和 3.94 mg/100g) 和硬度 (2.2、2.67 和 3.47 kg) 的下降, 保持其营养品质。抑制过氧化物酶、苯丙氨酸解氨酶及肉桂醇脱氢酶活性的升高, 对照组 3 种酶活性分别为 70~80 kPa 压力下酶活性的 1.90、1.49 和 1.2 倍。70~80 kPa 压力贮藏下的水溶性果胶质量分数在整个贮藏过程中一直保持较高, 为对照的 1.65 倍, 原果胶和木质素质量分数则较低, 对照组分别为 70~80 kPa 处理的 1.09 和 1.6 倍。表明减压贮藏可能通过调节细胞壁酶活性, 进而调控水溶性果胶、原果胶和木质素等的代谢, 从而保持茭白的采后品质。40~50 kPa 减压处理对延缓茭白木纤化也有一定作用, 但效果不及 70~80 kPa 减压处理。该研究结果对于确定茭白的适宜减压贮藏条件, 指导茭白的贮藏保鲜具有一定的实际意义, 也为减压贮藏技术在生产上的应用提供理论基础。

[参 考 文 献]

[1] 何永梅, 文亮晶. 茭白无公害栽培技术要点[J]. 四川农业科技, 2011(6): 30-31.

[2] 诸爱士, 陈震宇, 成忠. 茭白薄层热风干燥特性与动力学研究[J]. 浙江科技学院学报, 2011, 23(3): 193-198.
Zhu Aishi, Chen Zhenyu, Cheng Zhong. Study on characteristics and dynamics of thin-layer hot air drying of water-oat[J]. Journal of Zhejiang University of Science and Technology, 2011, 23(3): 193-198. (in Chinese with English abstract)

[3] 俞晓平, 陈建明. 茭白高效安全生产大全[M]. 中国农业出版社, 2008: 1-10.

[4] 朱良其, 潘仙鹏, 赵永彬, 等. 包装袋对贮藏茭白保鲜效果的影响[J]. 浙江农业学报, 2008(3): 265-267.

[5] 王俊城, 王欣, 刘宝林. 常温下初始气体比例气调包装对茭白品质的影响[J]. 食品工业科技, 2010, 31(3): 339-341.
Wang Juncheng, Wang Xin, Liu Baolin. Effect of initial gas ratio on the quality of *Zizania Latifolia* in MAP at room temperature[J]. Science and Technology of Food Industry, 2010, 31(3): 339-341. (in Chinese with English abstract)

[6] 陈杭君, 郜海燕, 毛金林, 等. 茭白贮藏保鲜技术规程[J]. 浙江农业学报, 2003, 15(3): 200-204.
Chen Hangjun, Gao Haiyan, Mao Jinlin, et al. Regulation of storage and keeping fresh of *Jiaobai*, *Zizania caduciflora* L.[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2003, 15(3): 200-204. (in Chinese with English abstract)

[7] 邓云, 王焱东, 肖晨龙, 等. 不同薄膜包装对茭白贮藏过程中品质变化的影响[J]. 上海交通大学学报: 农业科学版, 2010, 28(1): 87-90.
Deng Yun, Wang Yandong, Xiao Chenlong, et al. Influence of different membrane packages on quality of *Zizania aquatica* L. during low temperature storage[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University(Agricultural Science), 2010, 28(1): 87-90. (in Chinese with English abstract)

[8] 王博, 李光乐, 林茂, 等. 减压贮藏保鲜技术优点及问题探析[J]. 广东农业科学, 2012(2): 79-82.
Wang Bo, Li Guangle, Lin Mao, et al. Discussion about the advantages and problems of hypobaric storage[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2012(2): 79-82. (in Chinese with English abstract)

[9] Wang Zhenyong, David R Dille. Hypobaric storage removes scald-related volatiles during the low temperature induction of superficial scald of apples[J]. Postharvest Biology and Technology, 2000, 18(3): 191-199.

[10] Jamieson W. Use of hypobaric conditions for refrigerated storage of meats, fruits, and vegetables[J]. Food Technol., 1980, 34(3): 64-71.

[11] Wang Z, Dille D R. Hypobaric storage removes scald-related volatiles during the low temperature induction of superficial scald of apples[J]. Postharvest Biol Technol, 2000, 18(1): 191-199.

[12] Dille D R. Hypobaric storage of perishable commodities—fruits, vegetables, flowers and seedlings[J]. Acta Hort, 2003, 62: 61-70.

[13] 皮钰珍, 王乐乐, 王淑琴. 减压贮藏对金铃大枣保鲜效果的研究[J]. 食品科技, 2011, 36(5): 60-63.
Pi Yuzhen, Wang Lele, Wang Shuqin. Storage effect of Jinling big jujube fruit during hypobaric storage[J]. Food Science and Technology, 2011, 36(5): 60-63. (in Chinese with English abstract)

[14] Li W X, Zhang M. Effect of three-stage hypobaric storage on cell wall components, texture and cell

- structure of green asparagus[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 77(1): 112—118.
- [15] Li W X, Zhang M, Wang S J. Effect of three-stage hypobaric storage on membrane lipid peroxidation and activities of defense enzyme in green asparagus[J]. Food Science and Technology, 2008, 41(10): 2175—2181.
- [16] 陈文烜, 周拥军, 陈杭君, 等. 春笋减压贮藏保鲜技术研究[J]. 食品科技, 2005(10): 80—83.
Chen Wenxuan, Zhou Yongjun, Chen Hangjun, et al. Research on technology of storage for hypobaric storage of bamboo shoots[J]. Food Science and Technology, 2005(10): 80—83. (in Chinese with English abstract)
- [17] 陈惠云, 孙志栋, 吴峰华, 等. 减压贮藏对毛笋采后品质和相关酶活性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2011(12): 204—207.
Chen Huiyun, Sun Zhidong, Wu Fenghua et al. Effects of hypobaric storage on post-harvest quality and some enzyme activities of bamboo shoots[J]. Food and Fermentation Industries, 2011(12): 204—207. (in Chinese with English abstract)
- [18] An D S, Park E, Lee D S. Effect of hypobaric packaging on respiration and quality of strawberry and curled lettuce[J]. Postharvest Biology and Technology, 2009, 52(1): 78—83.
- [19] Romanazzi G, Nigro F, Ippolito A, et al. Effect of short hypobaric treatments on postharvest rots of sweet cherries, strawberries and table grapes[J]. Postharvest Biology and Technology, 2001, 22(1): 1—6.
- [20] Song L L, Gao H Y, Chen W X, et al. The role of 1-methylcyclopropene in lignification and expansin gene expression in peeled water bamboo shoot (*Zizania caduciflora* L.)[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2011, 91(14): 2679—2683.
- [21] GB/T 6195-1986, 水果、蔬菜维生素 C 含量测定法(2,6-二氯酚酚滴定法)[S].
- [22] 张蕾, 刘昱, 蒋达和, 等. 生物化学实验指导[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2011: 33—36.
- [23] Kochba J, Lavee S, Spiege R P. Difference in peroxidase activity and isoenzymes in embryogenic and non-embryogenic ‘Shamouti’ orange ovular callus lines[J]. Plant Cell Physiol, 1977, 18(2): 463—467.
- [24] 陈怡竹, 王以柔. 荔枝果实过氧化物酶的研究[J]. 中国科学院华南植物研究所集刊, 1989(5): 47—52.
- [25] Goffner D, Joffroy I, Grima P J, et al. Purification and characterization of isoforms of cinnamyl alcohol denhydrogenase from *Eucalyptus xylem*[J]. Planta, 1992, 188(1): 48—53.
- [26] 许安邦, 林维宣. 食品分析[M]. 北京: 中国轻工出版社, 1994.
- [27] 熊素敏, 左秀凤, 朱永义. 稻壳中纤维素、半纤维素和木质素的测定[J]. 粮食与饲料工业, 2005(8): 40—41.
Xiong Sumin, Zuo Xiufeng, Zhu Yongyi. Determination of cellulose, hemi-cellulose and ligin in rice hull[J]. Cereal and Feed Industry, 2005(8): 40—41. (in Chinese with English abstract)
- [28] 范鹏程, 田静, 黄静美, 等. 花生壳中纤维素和木质素含量的测定方法[J]. 重庆科技学院学报: 自然科学版, 2008, 10(5): 64—65.
- [29] 郜海燕, 宋丽丽, 周拥军, 等. 减压贮藏对冷藏枇杷果实品质和木质化败坏的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(6): 245—249.
Gao Haiyan, Song Lili, Zhou Yongjun, et al. Effects of hypobaric storage on quality and flesh leatheriness of cold-stored loquat fruit[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(6): 245—249. (in Chinese with English abstract)
- [30] 宋丽丽, 郜海燕, 房祥军, 等. 1-MCP 处理对脱壳茭白木纤维化与细胞结构的影响[J]. 农业机械学报, 2010, 41(1): 111—116.
Song Lili, Gao Haiyan, Fang Xiangjun et al. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on lignification and cell ultrastructure of peeled water bamboo shoot[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(1): 111—116. (in Chinese with English abstract)
- [31] 刘尊英. 绿芦笋 (*Asparagus officinalis* L.) 木质化的生理生化基础及其调控技术研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2003.
Liu Zunying. Studies on Physiological and Biochemical Foundations and Control Technology of Lignification in *Asparagus (Asparagus Officinalis L.)*[D]. Beijing: China Agricultural University, 2003. (in Chinese with English abstract)
- [32] 曹士峰. 枇杷果实采后品质劣变调控及其机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2008.
Cao Shifeng. Study on Regulation and Mechanism of Quality Deterioration of Loquat Fruit after Harvest[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2008. (in Chinese with English abstract)
- [33] Liu M Y, Qian B J, Zhang H, et al. Sanitizer treatments alleviate lignification of sliced few-flower wildrice (*Zizania latifolia Turcz*) [J]. Food Research International, 2010, 43(10): 2363—2368.
- [34] 王庆新. 超高压处理对微加工茭白货架期影响的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
Wang Qingxin. Study on Extending the Shelf-life of Minimally Processed Water Bamboo Shoots by Ultra High Pressure Treatment[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008. (in Chinese with English abstract)
- [35] 郑永华, 李三玉, 席均芳. 枇杷冷藏过程中果肉木质化与细胞壁物质变化的关系[J]. 植物生理学报, 2000(4): 306—310.
Zheng Yonghua, Li Sanyu, Xi Yufang. Changes of cell wall substances in relation to flesh woodiness in cold stored loquat fruits[J]. Acta Photophysiological Sinica, 2000(4): 306—310. (in Chinese with English abstract)

- [36] 罗自生, 席屿芳. 亚硫酸钠处理对与采后竹笋木质化作用有关的细胞壁物质及酶活性的影响[J]. 植物生理通报, 2001, 27(6): 495—498.
Luo Zisheng, Xi Yufang. Effects of sodium sulfite

treatment on cell wall material and enzyme activity related to lignification in postharvest bamboo shoots[J]. Acta Photophysiological Sinica, 2001, 27(6): 495—498. (in Chinese with English abstract)

Hypobaric storage maintains postharvest quality and regulates cell wall metabolism in water bamboo shoot

Fang Xiangjun, Gao Haiyan^{*}, Song Lili, Chen Hangjun, Mao Jinlin, Yang Qian
(Food Science Institute, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China)

Abstract: Water bamboo shoots (*Zizania caduciflora* L.), a kind of health-caring vegetable, is becoming more and more popular due to its special flavor and taste in China in recent years. However, water bamboo shoots are very perishable for senescence and deterioration with quality, which results in a short shelf life after being harvested. Hypobaric storage has been shown to inhibit postharvest ripening and senescence and extend shelf life of fruits and vegetables. However, there are no published data on the effects of hypobaric storage on the quality of water bamboo shoots during storage.

To study the efficacy of hypobaric storage as a new technique in maintaining the quality of water bamboo shoots (WBS), ambient atmospheric pressure with cold storage was used as a control. The effects of low-pressure storage on quality and cell-wall metabolism of 'Longjiao 2' WBS were investigated. The hypobaric storage maintained the green color of the water bamboo shoot shell, decreased water loss and released fibrosis. The effects of 70–80 kPa treatment were better than 40–50 kPa. After 60 days storage, water-soluble sugar (1.2%, 1.5%), Vc content (2.8, 3.94 mg/100g) and firmness (2.67, 3.47 kg) were kept at a high level in the 40–50 and 70–80 kPa group. There was a significant difference between the control group and the 70–80 kPa group. POD activity in the control treatment and the 40–50 kPa group was 1.90 and 1.54 times than that in the 70–80kPa group. PAL activity was 1.49 and 1.23 times than that in 70–80kPa group. There was also significant difference between the control treatment and the 70–80 kPa group. Mass fraction of water-soluble pectin in the 70–80 kPa group was 1.65 and 1.15 times than that in control and the 40–50 kPa groups. The difference between them was also significant. The mass fraction of lignin was 0.47% in the 70–80 kPa group, which has a significant difference from that in the control group, 1.6 times of its mass fraction. These results indicated that hypobaric storage could delay the degradation of total soluble sugar and Vc, suppress the increasing rate of POD, PAL and CAD activities, inhibit the decrease of water soluble pectin content and the rise of lignin content in postharvest WBS significantly, and delay the process of lignification. Compared with storage under ambient atmospheric pressure or 40–50 kPa, the storage of WBS under 70–80 kPa maintained better appearance quality, higher levels of total soluble sugar and Vc as well as lower enzyme activities of POD, PAL and CAD. After 2 months of storage, hypobaric storage under 70–80 kPa also maintained the characteristic qualities and commercial value of WBS with low degree of lignification.

Key words: storage, quality control, enzymes, hypobaric storage, water bamboo shoot, fibrosis, protopectin, water soluble pectin