

葡萄果实组织能量水平对其品质劣变的影响

张 群^{1,2}, 谭 欢², 刘 伟², 周文化^{1*}

(1. 中南林业科技大学, 长沙 410014; 2. 湖南省农业科学院农产品加工研究所, 长沙 410125)

摘 要: **目的** 探讨葡萄冷藏期间组织细胞能量亏损对果实品质劣变的影响。**方法** “红地球”葡萄采后经抗菌、涂膜和热处理后在(4±0.5) °C贮藏不同时间, 每隔 10 d 测定果实组织的能量物质、可溶性固形物(SSC)、可滴定酸(TA)、维生素 C (Vc)、可溶性糖、有机酸和 pH 值。**结果** 冷藏期间葡萄果肉组织内能量水平下降, 处于亏损状态。SSC、TA、Vc、可溶性糖和有机酸含量下降, 但 pH 值上升。采后经适当处理可缓解组织能量亏损, 减缓品质劣变, 尤以涂膜效果更显著。ATP 水平与 TA、Vc 呈一元二次曲线拟合, 拟合度大于或接近 0.9; 与 SSC、葡萄糖、酒石酸、pH 值呈线性拟合, 拟合度近 0.9。ATP 水平与 SSC、酒石酸、TA、Vc、葡萄糖极显著正相关($r=0.894\sim0.942$, $P<0.01$); 与 pH 值极显著负相关($r=-0.934$, $P<0.01$)。**结论** 能量水平对果实营养品质劣变有直接影响, 减缓能量亏损可维持果实营养品质。

关键词: 葡萄; 果实; 能量水平; 品质劣变

Effects of energy status on quality deterioration in grape fruit

ZHANG Qun^{1,2}, TAN Huan², LIU Wei², ZHOU Wen-Hua^{1*}

(1. Central South University of Forestry & Technology, Changsha 410014, China; 2. Hunan Agricultural Sciences Academy of Agricultural Products Processing Institute, Changsha 410125, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the effects of energy status in grape fruit tissues on quality deterioration during cold storage. **Methods** After antibiosis, coating and heat treatments (compared with untreated grape fruits), Red Globe grape were stored at (4±0.5) °C. Contents of ATP, ADP, AMP, energy charge (EC), soluble solid (SSC), titratable acid (TA), pH, V_C, organic acids and soluble sugars in grape fruit were determined at each 10 d during cold storage. **Results** The results showed that with extension of storage time, energy levels were in a loss state in grape fruit tissue. Energy substances, such as ATP, ADP, AMP and main nutrition attributes (e.g., SSC, TA, V_C, organic acids and soluble sugars) were decreased, while only pH values were increased. Appropriate postharvest treatments alleviated energy losses of grape fruit tissue and delayed quality deterioration, especially coating treatment. Levels of ATP showed quadratic equation fitting curve with TA and V_C contents, fitting degrees more than or close to 0.9. There were good linear equation fitting curves between ATP content with SSC, glucose, tartaric acid and pH value, with fitting degrees close to 0.9. In pears correlation analyses, ATP content were significantly positive correlated with SSC, tartaric acid, TA, V_C, and glucose($r=0.894\sim0.942$, $P<0.01$), but significantly negative correlated with pH($r=-0.934$, $P<0.01$). **Conclusion** Energy levels have direct effects on qualities deteriorations of grape fruits. Ways of keeping high energy levels of grape fruits can maintain good quality of grape fruits.

基金项目: 湖南省重点科技专项(2015NK3027)

Fund: Supported by the Science and Technology Funds in Hunan Province (2015NK3027)

*通讯作者: 周文化, 教授, 博士导师, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。E-mail: 13786129879@126.com

*Corresponding author: ZHOU Wen-Hua, Professor, Central South University of Forestry & Technology, No. 498, Shaoshan Road, Yuhua District, Changsha 410125, China. E-mail: 3786129879@126.com

KEY WORDS: grape; fruit; energy levels; quality deterioration

1 引言

葡萄(*Vitis vinifera* L.)为多年生藤本浆果类果树,其栽培历史悠久^[1]。目前,世界葡萄栽培面积约7700万hm²左右,居世界第二位,是世界上最重要的水果之一^[2]。葡萄浆果含有大量的糖、有机酸、蛋白质、矿物质及维生素等多种营养物质,具有很高的营养和食疗价值。但葡萄皮薄汁多,在贮藏过程中易发生脱粒、干梗等现象;易受病菌感染而腐烂变质^[3]。大量研究表明,组织细胞能量亏损是引起园艺植物衰老和品质劣变的关键因素,植物组织能量生成效率下降,细胞膜能量供应不足,加速机体的衰亡^[4-7]。三磷酸腺苷(adenosine triphosphate, ATP)是生物体机体的能量来源,在细胞代谢中占有重要地位。其中ATP、二磷酸腺苷(adenosine diphosphate, ADP)和一磷酸腺苷(adenosine monophosphate, AMP)3种能量物质所占比例可以反映细胞的能荷(energy charge, EC)变化,调节组织的代谢活动,细胞组织中许多呼吸代谢关键性酶的活性都依赖于能荷变化的调节^[6,7]。果实采后的衰老程度与ATP含量和能荷值呈负相关性^[4],如Saquet等^[4,6,7]研究发现,梨果实组织能量状态在维持细胞膜的完整性中起重要作用,低ATP含量和低比例的ATP:ADP导致生理失控和褐变发生。荔枝果实能量代谢对其品质劣变有一定的影响^[8-10],龙眼发生褐变是由于能量缺失造成的^[11],桃贮藏中冷害发生可能是能量供应不足引起的^[12,13]。采用外源ATP处理可提高荔枝果皮组织的能量水平,从而减轻褐变^[14]。对葡萄采后处理方法有较多的研究^[1-3,15-18],主要侧重于葡萄贮藏中其果实品质和微生物变化的研究,对葡萄贮藏过程中其组织细胞的能量水平变化及果实组织的能量水平对品质劣变的影响还未见报道。本研究采用“红地球”葡萄为研究对象,采取了ClO₂抗菌、涂膜和热处理3种方法来处理葡萄果实,以未处理为对照,然后在(4±0.5)℃贮藏不同时间,定期测定能量物质和主要营养指标,探析贮藏期葡萄组织细胞能量水平和主要营养品质的变化规律和相关性及曲线拟合,以期从能量亏损角度寻找影响果实营养品质劣变的机制,为能量水平对葡萄营养品质劣变的机制和调控提供有益的数据支撑。

2 材料与方法

2.1 材料与试剂

供试葡萄(*Vitis vinifera* L.),品种为“红地球”葡萄,8~9成熟,随意抽测可溶性固形物达12 Brix以上,2014年8月15日采自湖南省澧县张公庙镇葡萄园,采前10 d停止施水,采收时间为7:00~9:00,采收无病害、无霉变、

无机械损伤的果实,采收后装入透气的塑料筐内,并于采收当日运回中南林业科技大学食品学院果蔬贮藏实验室风冷24 h,备用。

2.1.1 具体处理方法(分1个对照组与3个处理组,合计4个组):

(1) 对照(CK): 对果实不做处理。

(2) 抗菌处理(anti-bacterial): 在0.1% ClO₂+0.2% CaCl₂溶液中浸泡20 min,果实全部浸没,晾干备用。

(3) 涂膜处理(coat): 在1%壳聚糖+0.2% CaCl₂溶液中浸泡20 min,果实全部浸没,晾干备用。

(4) 热处理(heat): 于45℃的含0.2% CaCl₂热水中浸泡20 min,果实全部浸没,晾干备用。

将每个处理3个重复,每个重复3个托盘,每个托盘装果约2.5 kg,表面覆上保鲜膜,入(4±0.5)℃冷库冷藏,每10 d测定一次。能量物质和相关营养成分测定时从每个重复中取1个托盘,即每个处理组合计3个托盘的葡萄果粒全部液氮粉碎后放于-70℃冰箱内保存,然后取样进行测定。

2.1.2 试剂

标准品 5'-磷酸腺苷钠盐(adenosine 5'-triphosphate disodium salt hydrate) 纯度大于98.5%、5'-二磷酸腺苷钠盐(adenosine 5'-diphosphate sodium salt) 纯度大于95%和5'-单磷酸腺苷钠盐(adenosine 5'-monophosphate disodium salt) 纯度大于99.0%,购自Sigma-Aldrich公司;酒石酸(D-(-)-tartaric acid)、苹果酸(L-(-)-malic acid)、柠檬酸(citric acid);果糖(fructose)、葡萄糖(D-(+)-glucose)、蔗糖(sucrose) 购自Sigma-Aldrich公司;乙腈为色谱纯,购自美国天地公司;磷酸氢二钾、氢氧化钾、氢氧化钠、二氯喹啉均为分析纯,购自国药试剂有限公司;实验室用水(18 MΩ)由Millipore Milli QRG超纯水系统制备。

2.2 仪器与设备

PDA2010AT 高效液相色谱仪(日本 Shimadzu 公司),Avanti JE 高效冷冻离心机(美国贝克曼库尔特有限公司),AL204(电子天平梅特勒-托利多仪器上海有限公司)、320 pH计(梅特勒-托利多仪器上海有限公司);WYT-4型手持折光仪(上海精密仪器仪表有限公司)。

2.3 实验方法

2.3.1 TA、SSC、Vc、pH值的测定

可滴定酸(titratable acid, TA)含量测定采用酸碱滴定法;可溶性固形物 SSC(soluble solids content, SSC)采用PAL-1便携式手持折光仪测定;V_C含量采用2,6-二氯喹啉滴定法;用酸度计测定果汁的pH值。

2.3.2 能量物质的测定

参照吴光斌等^[19]高氯酸方法,略做调整。能量物质

采取高氯酸提取法,称取液氮粉碎的果肉组织 2 g,加入 10 mL 0.6 mol/L 高氯酸溶冰浴提取 10 min,然后 16000 r/min 冷冻(4 ℃)离心 20 min,上清液迅速用 1 mol/L KOH 中和至 pH 6.5~6.8,过 0.45 μm 微孔滤膜,上机进行液相测定。色谱柱 Shimadzu C₁₈ (250 mm×4.6 mm, 5.0 μm)。流动相: A 相为 pH 7.0 的 20 mmol/L 磷酸氢二钾缓冲溶液, B 相为乙腈,两者体积比为 4:6;柱温 30 ℃;流速 0.8 mL/min;进样体积 20 μL;检测波长 254 nm;采用外标法定量,根据标准品保留时间和峰面积进行定性定量,样品测定结果表示为平均值±标准偏差,能荷。

$$EC = \frac{[ATP] + 0.5 \times [ADP]}{[ATP] + [ADP] + [AMP]}$$

2.3.3 有机酸的测定

参照 Zhang 等^[21]的方法,略作调整。取液氮粉碎的果肉组织 100 g 捣碎匀浆,加 100 mL 蒸馏水,超声提取 40 min,定容到 250 mL,滤纸过滤。滤液经 0.45 μm 滤膜过滤,上机测定。

色谱柱 Shimadzu C₁₈ (250 mm×4.6 mm, 5.0 μm)。流动相: 甲醇-0.01 mol/L K₂HPO₄ (3:97, V:V)溶液,用磷酸调节 pH 值至 2.0;柱温 25 ℃;流速 0.5 mL/min;进样体积 20 μL;检测波长 210 nm;采用外标法定量,根据标准品保留时间和峰面积进行定性定量。

2.3.4 可溶性糖的测定

参照 GB/T 22221-2008 高效液相色谱法^[22]略做改动,取液氮粉碎的果肉组织 200 g 捣碎匀浆,称取匀浆液 2 g,加 50 mL 蒸馏水,超声提取 20 min,加 21.9%乙酸锌和 10.6%的亚铁氰化钾各 5 mL,摇匀,沉淀蛋白,定容到 100 mL,静置 5 min,滤纸过滤。滤液 2 mL 经 0.45 μm 滤膜过滤,上机测定。

色谱柱氨基基色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5.0 μm)。流动相: 乙腈-水(85:15, V:V);柱温 25 ℃;流速 1.0 mL/min;进样体积 20 μL;示差折光检测器;采用外标法定量,根据标准品保留时间和峰面积进行定性定量。

2.4 统计分析

所有图表绘制采用软件 Sigmaplot 12.5 和 Excel 2003 进行处理;利用软件 SPSS 16.0 进行相关性和 ANOVA 分析,置信概率为 0.95, $P < 0.05$ 为显著差异。所有数据结果以平均值±标准偏差表示。

3 结果与分析

3.1 不同贮藏时间葡萄果肉组织内 ATP、ADP、AMP 含量与 EC 的变化

不同贮藏时间葡萄果肉组织内 ATP、ADP、AMP 含量与 EC 的变化见图 1。

从图 1A、B、C 和 D 可看出,在冷藏条件下葡萄果实

组织中 ATP、ADP、AMP、EC 总体呈下降的趋势,这与荔枝果实在贮藏过程中能量物质和能荷呈下降结果类似^[8]。Yi 等^[23]研究发现荔枝在贮藏前期 ATP、ADP、EC 均呈现下降趋势,只有 AMP 上升。从图 1A 中可看出,处理组的 ATP 含量下降幅度比对照低。在整个贮藏期间,对照组 ATP 含量与其他处理组间有显著性差异($P < 0.05$),采后经适当的处理可减缓 ATP 含量下降。贮藏前期(至第 10 d),ATP 水平随贮藏时间延长显著下降,涂膜组维持较高 ATP 水平,3 个处理组间 ATP 水平差异不显著性($P > 0.05$),葡萄采后经适当处理可减缓 ATP 下降。贮藏至第 20 d 时,热处理与涂膜、抗菌处理差异显著($P < 0.05$),但抗菌与涂膜间 ATP 含量差异不显著($P > 0.05$)。贮藏末期(至第 40 d),涂膜与其他处理组间差异显著($P < 0.05$),但抗菌处理与热处理间 ATP 含量差异不显著($P > 0.05$),说明在 3 种处理组间,涂膜可以更好地维持果实组织 ATP 含量。葡萄经涂膜后,在果实表面形成一层薄膜,调节果实内外的气体交换,使果实内形成一个低 O₂、高 CO₂ 浓度的环境,维持营养品质,保证组织高水平的能量状态。

贮藏前期(第 10 d)ADP 含量平缓下降,4 组间差异不显著($P > 0.05$)。在贮藏中后期(10~40 d),对照组与其他处理组间差异显著($P < 0.05$),葡萄经适当的处理可明显减缓 ADP 含量的下降。当贮至第 20 d 时,涂膜组与热处理、抗菌组间差异显著($P < 0.05$),但热处理组与抗菌组间差异不显著($P > 0.05$)。贮至 40 d 时,各组均呈显著下降,涂膜组 ADP 含量高于其他组,涂膜可以更好地减缓 ADP 含量的下降。

AMP 含量则在贮藏前期(至第 10 d)呈显著性上升,不同组间 AMP 差异不显著($P > 0.05$),贮藏中期(第 10~30 d)AMP 含量显著下降。后期(第 30~40 d),AMP 含量变化不大,组间差异不显著($P > 0.05$)。在贮藏中后期,涂膜组 AMP 含量一直高于其他组。

EC 值总体下降,贮藏前期(第 10 d)EC 值呈显著性下降,涂膜组与对照组差异显著($P < 0.05$),其他组间差异不显著($P > 0.05$);中期(第 10~30 d),EC 值呈上升,后期(第 30~40 d)下降。贮藏末期热处理组 EC 值>涂膜组>对照组>抗菌组。

在贮藏过程中,3 种能量物质总体上出现亏损。在能量代谢中,3 种能量物质相互转化,相互间有一定的相关性。3 种能量物质间可实现曲线相互拟合。ATP 含量与 ADP 含量间一元二次拟合方程为: $Y = 0.0902X^2 - 0.0962X + 0.1869$, $r^2 = 0.9753$; ATP 含量与 AMP 含量间一元二次拟合方程为: $Y = 0.0657X^2 - 0.1054X + 0.0852$, $r^2 = 0.994$,拟合度均达 0.9 以上,ATP 水平与 ADP、AMP 水平拟合程度高。在讨论能量亏损时,可以重点考虑中心能量物质 ATP 的亏损情况,另外 2 种可以通过拟合方程来推知代谢和相互转化情况。

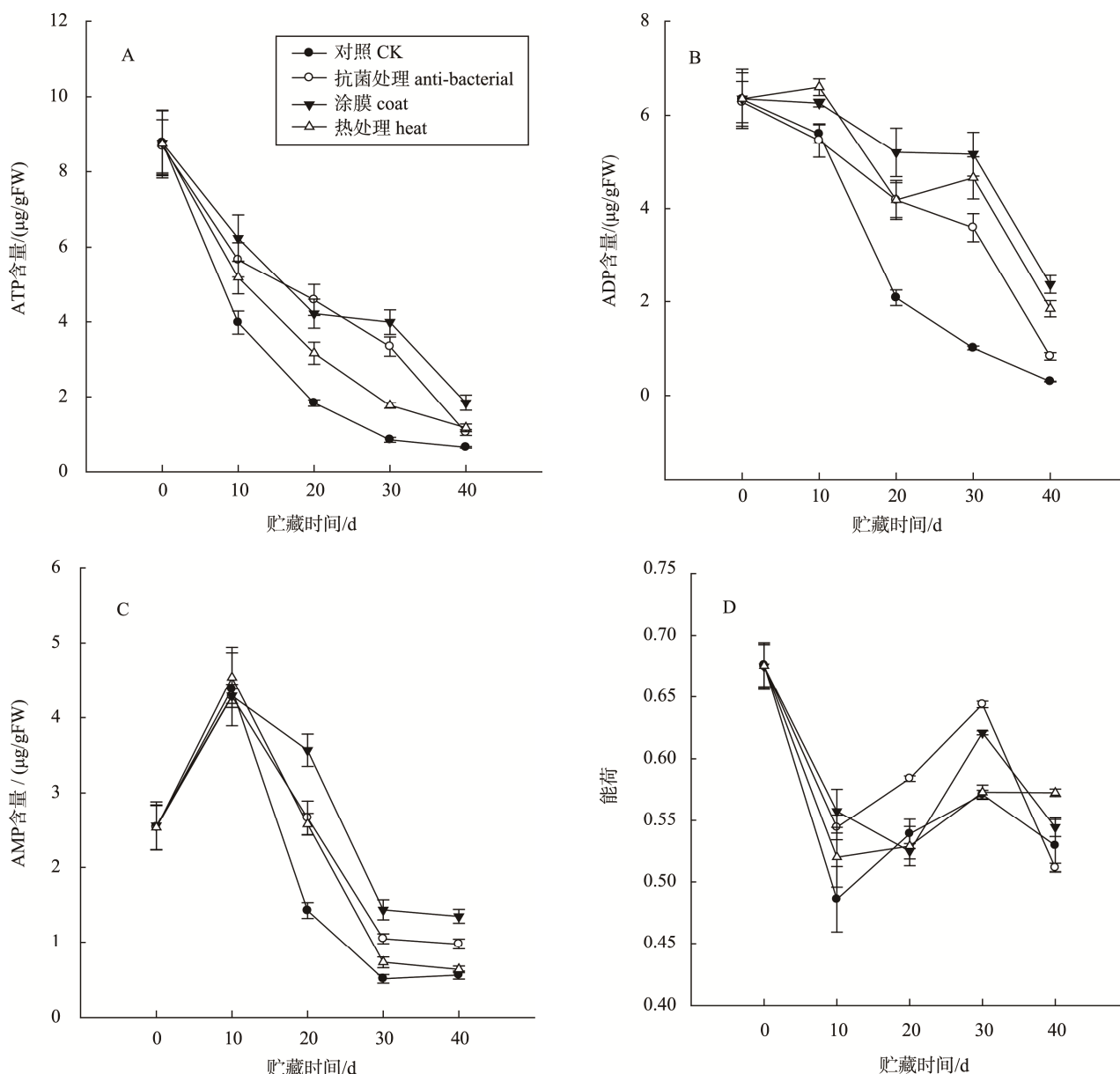


图1 不同贮藏时间葡萄组织中的能量物质 ATP(A)、ADP(B)、AMP(C)含量和能荷 EC(D)的变化($n=3$)
Fig. 1 Changes of ATP (A), ADP (B), AMP (C) contents and EC (D) in grape fruits at different storage time ($n=3$)

3.2 不同贮藏时间葡萄果肉组织内 SSC 的变化

由图2可知,葡萄果实中的SSC含量随着贮藏期的延长呈显著下降趋势($P<0.05$)。不同组间SSC含量下降幅度不同,处理组的果实SSC含量下降幅度低于对照组。至贮藏40 d时,对照组SSC最低,葡萄经过处理后可减缓SSC下降,但不同组间差异不显著($P>0.05$)。从图1A与图2中发现,SSC与ATP含量变化趋势相同,经曲线拟合,SSC与ATP水平存在良好的线性关系。拟合方程为 $Y = 0.742X + 5.625$, $r^2 = 0.8598$,拟合系数接近0.9。通过简单的测定方法再辅以拟合方程可推知贮藏期间葡萄组织细胞的能量代谢和能量亏损情况,可实现从减缓能量亏损方面来优化贮藏条件。

3.3 不同贮藏时间葡萄果肉组织内 TA 的变化

如图3所示,在贮藏过程中,葡萄组织中TA含量随贮藏期的延长呈下降的趋势。贮藏中后期,对照组与处理间TA含量差异显著($P<0.05$);TA下降幅度依次为对照组>热处理组>抗菌组>涂膜组,对照组下降最大,涂膜组下降幅度最小。贮至40 d时,涂膜组TA含量最高,对照组最低,涂膜与抗菌和热处理间差异显著($P<0.05$),但抗菌和热处理间差异不显著($P>0.05$),说明涂膜处理能较好延缓果实中TA的消耗。在能量水平方面,对照组能量亏损幅度最大,涂膜组最低,ATP变化与TA变化可实现一元二次曲线拟合,拟合方程为 $Y = -0.0554X^2 + 0.9882X + 5.0856$, $r^2 = 0.8723$ 。

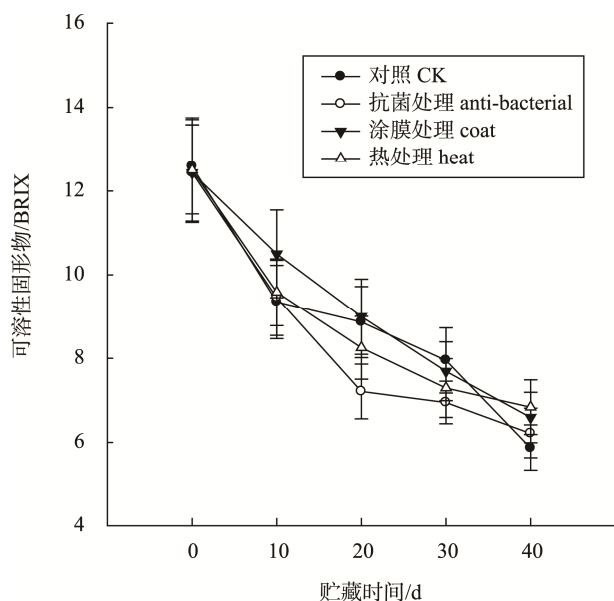


图2 不同贮藏时间葡萄汁中 SSC 的变化(n=3)

Fig. 2 Changes of SSC in grape fruits at different storage time (n=3)

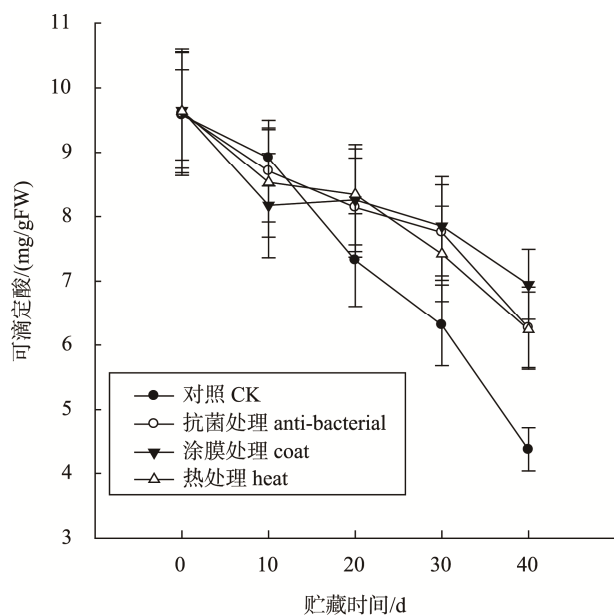


图3 不同贮藏时间葡萄果实中 TA 的变化(n=3)

Fig. 3 Changes of TA in grape fruits at different storage time (n=3)

3.4 不同贮藏时间葡萄果汁 pH 的变化

从图4可知, pH值总体上呈上升趋势。贮至40 d时, pH值上升率依次为对照组 30.99%, 抗菌组 28.45%, 热处理组 26.76%, 涂膜组 21.13%, 采后通过一定的处理可延缓果汁pH值变化, 但不同处理方式导致pH值的变化趋势不同, 以涂膜处理为最佳。ATP含量与pH值之间的关系可通过拟合方程来确认, 具体的拟合方程为 $Y = -0.124X + 4.6412$, $r^2 = 0.8721$, 拟合系数接近0.9, 可以实现较好的负相关线性拟合。

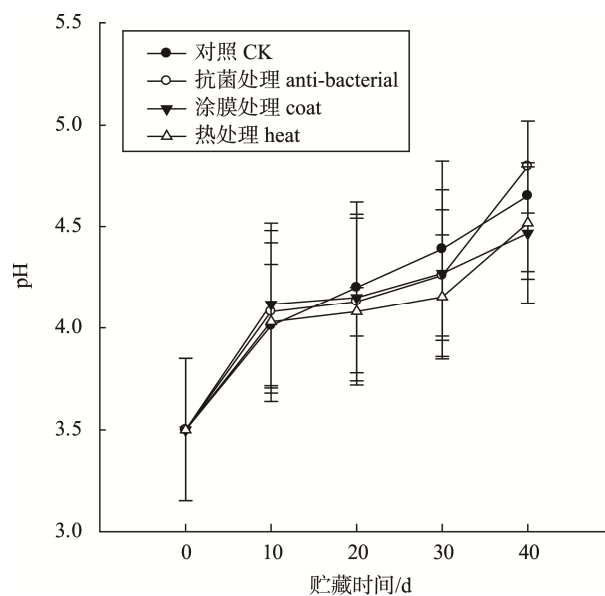


图4 不同贮藏时间葡萄果实组织中 pH 的变化(n=3)

Fig. 4 Changes of pH in grape fruits at different storage time (n=3)

3.5 不同贮藏时间葡萄果肉组织 Vc 含量的变化

如图5所示, 在贮藏过程中, 葡萄果实Vc呈明显的下降趋势。整个贮藏期间各组葡萄果实的Vc含量呈下降趋势, 组间变化差异大, 其值在5.98~1.99 mg/100g。贮藏10 d时, 抗菌、涂膜和热处理组间差异显著($P < 0.05$); 贮藏中后期(第20 d后), 涂膜组Vc含量高于其他组, 涂膜组与其他组差异显著($P < 0.05$)。在能量水平方面, 涂膜组最高, 涂膜处理延缓果实中Vc的消耗, 减缓能量亏损。Vc高低与能量水平有一定的关系, 可实现一元二次方程拟合, $Y = -0.035X^2 + 0.6984X + 2.4909$, $r^2 = 0.9199$, 拟合系数 r^2 大于0.9, 拟合度较好。

3.6 不同贮藏时间葡萄果肉组织有机酸的变化

从有机酸的含量来看, 葡萄中有机酸主要是以酒石酸为主(图6A、B、C)。在贮藏过程中, 葡萄果实中有机酸含量均呈下降趋势。在整个贮藏期间, 主要有机酸酒石酸整体呈线性下降趋势, 但涂膜组酒石酸含量要高于其他组。能量物质ATP与酒石酸可以实现线性拟合, 拟合方程为 $Y = -0.116X + 4.6039$, $r^2 = 0.7679$ 。有机酸作为主要的能量代谢物质, 有机酸与ATP之间线性拟合度 r^2 达0.8。苹果酸含量随贮藏时间延长呈显著下降, 对照组和热处理组呈直线下降, 抗菌和涂膜呈现交替下降。贮藏末期, 涂膜组苹果酸含量>抗菌组>热处理组>对照组。柠檬酸含量下降, 热处理下降幅度最大, 其次是对照组和抗菌组, 涂膜组最小。涂膜处理抑制呼吸, 减缓呼吸底物酸的代谢。

3.7 不同贮藏时间葡萄果肉组织可溶性糖的变化

从图7A可知, 葡萄糖在贮藏前30 d是直线下降; 贮藏后期略有上升, 可能是失水, 导致葡萄糖升高。在贮藏前

期(前30 d)葡萄糖含量随贮藏时间呈显著下降($P<0.05$)。贮至30 d时,对照组葡萄糖下降幅度最大,涂膜组最小;涂膜阻止空气进入,减缓呼吸作用和能量代谢,减缓了葡萄糖的消耗。贮至40 d时,4组果实的葡萄糖与贮藏30 d相比,有轻微的上升,可能是失水,导致糖量的相对升高。图7B显示,果糖是随贮藏期的延长呈下降趋势,在贮藏初期下降平缓,中间直线下降,后期比较平缓。在整个贮藏期果糖含量随贮藏时间呈显著下降($P<0.05$)。

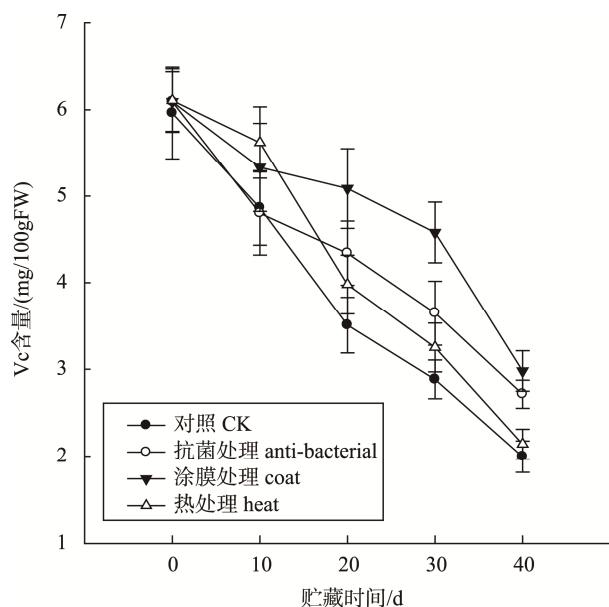


图5 不同贮藏时间葡萄果实中Vc含量的变化($n=3$)

Fig. 5 Changes of Vc content in grape fruits at different storage time ($n=3$)

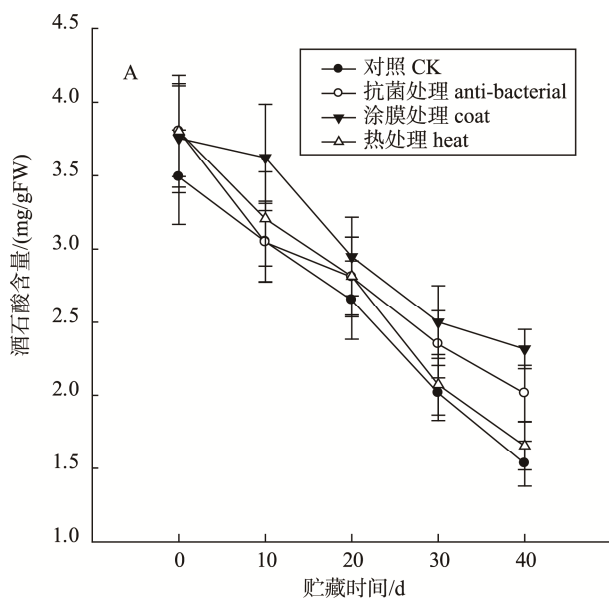


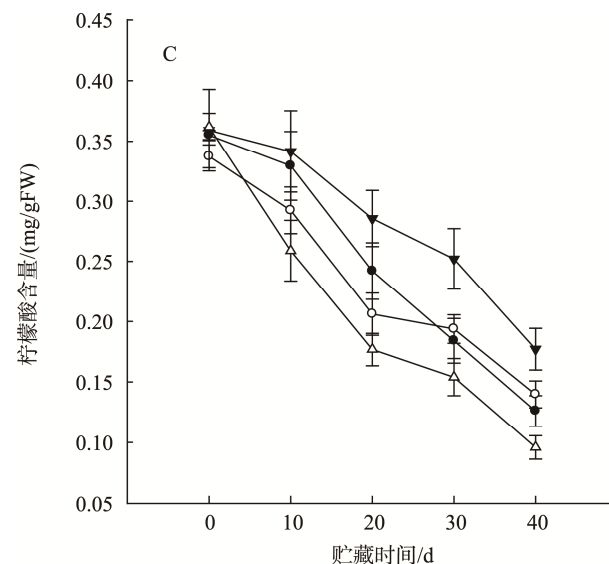
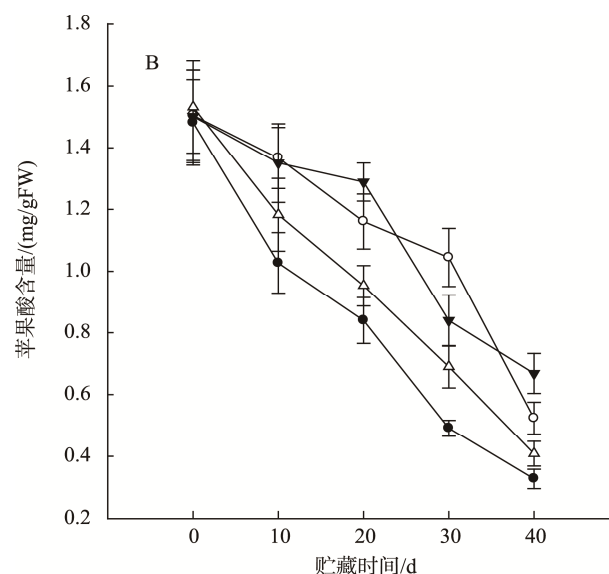
图6 不同贮藏时间葡萄果实中酒石酸(A)、苹果酸(B)、柠檬酸(C)含量的变化($n=3$)

Fig. 6 Changes of tartaric acid (A), malic acid (B), and citric acid (C) contents in grape fruits at different storage time ($n=3$)

能量代谢以葡萄糖为底物,ATP水平与葡萄糖含量可实现线性拟合,拟合方程为 $Y=0.9421X+10.393$, $r^2=0.8539$,线性拟合度近0.9。

3.8 ATP水平和主要营养品质的相关性分析

根据相关性分析(表1),ATP与SSC和葡萄糖极显著正相关($r=0.924 \sim 0.927$, $P<0.01$),与酸(TA、酒石酸和Vc)极显著正相关($r=0.894, 0.934, 0.942$, $P<0.01$)。果实的糖类物质含量高,为能量代谢可提供更多的底物,葡萄果实组织内能量水平高,果实品质优良,口感佳。酸是能量代谢中三羧酸循环的中间代谢产物,是连接3大物质代谢的基础(糖、脂类、氨基酸)。能量代谢与糖、酸有关,糖、酸含量与能量水平极显著正相关性。



续图6 不同贮藏时间葡萄果实中酒石酸(A)、苹果酸(B)、柠檬酸(C)含量的变化($n=3$)

Fig. 6 Changes of tartaric acid (A), malic acid (B), and citric acid (C) contents in grape fruits at different storage time ($n=3$)

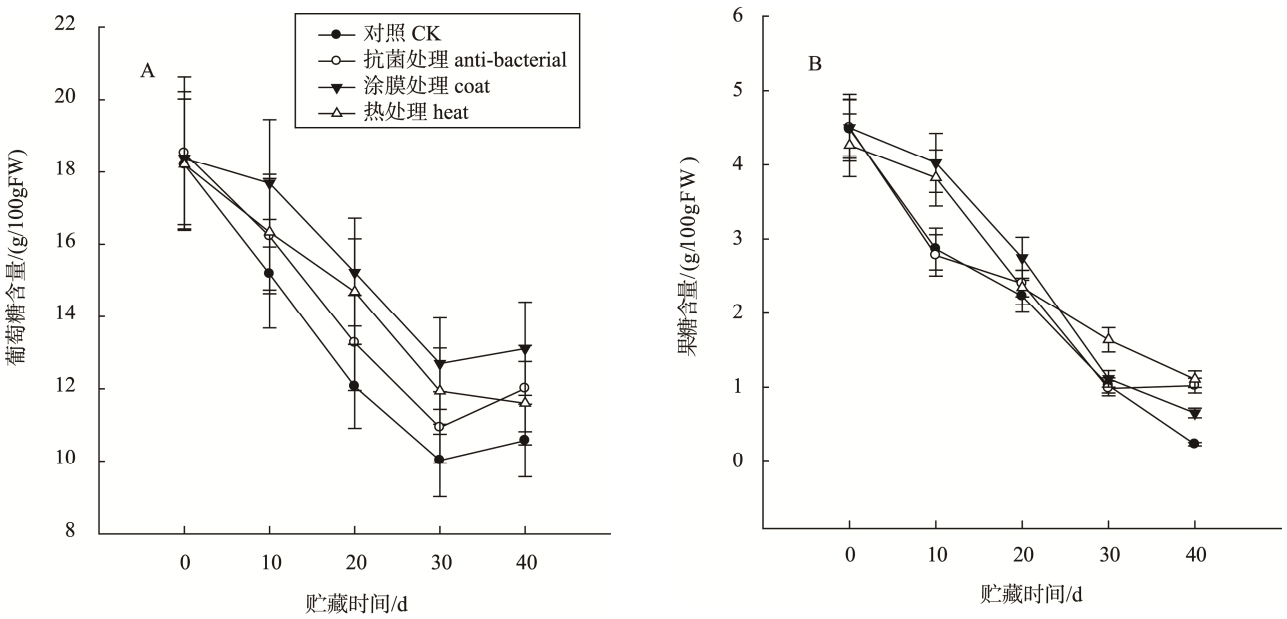


图 7 不同贮藏时间葡萄果实中葡萄糖(A)、果糖(B)的变化(n=3)
Fig. 7 Changes of glucose (A) and fructose (B) in grape fruits at different storage time (n=3)

表 1 ATP 水平与主要营养品质指标间的皮尔逊相关性分析
Table 1 Correlations of ATP levels with main nutrition attributes of grape fruit

指标	三磷酸腺苷(μg/g)	可溶性固性物(Brix)	可滴定酸(mg/g)	V _C (mg/100g)	pH	酒石酸(mg/100g)	葡萄糖(g/100g)
三磷酸腺苷	1						
可溶性固性物	0.927**	1					
可滴定酸	0.894**	0.839**	1				
V _C	0.942**	0.892**	0.933**	1			
pH	-0.934**	-0.938**	-0.897**	-0.886**	1		
酒石酸	0.934**	0.899**	0.921**	0.953**	-0.889**	1	
葡萄糖	0.924**	0.895**	0.847**	0.924**	-0.844**	0.926**	1

注: ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

ATP 含量与 pH 值极显著负相关($r=-0.934$, $P<0.01$), 这说明能量水平高, 葡萄果汁的 pH 值低。pH 值反映果实汁液的酸度, pH 值越高, 果汁的酸度越低, 品质越差。可溶性固形物与 TA、V_C、酒石酸、葡萄糖物质显著正相关($r=0.839\sim0.899$, $P<0.01$), 可溶性固形物是糖酸的总和, 测定结果与实际相符。

综合分析, 果实的主要能量物质 ATP 水平与主要营养品质特征指标 SSC、TA、酒石酸、葡萄糖极显著正相关, 能量水平与品质变化紧密相关, 并且能很好反映果实贮藏品质的变化。贮藏后期涂膜组的能量水平比其处理组高, 主要营养品质也有类似结果, 涂膜更有利于保持果实组织的能量水平, 抑制呼吸, 减少果实内容物和呼吸基质的消耗。因

此, 从能量水平可预测果实贮藏期内营养品质的变化。

4 结论与讨论

比较葡萄采后经抗菌、涂膜和热处理后冷藏不同时间, 发现涂膜处理可维持较高的 ATP、ADP 和 AMP 含量及能量水平, 维持红地球葡萄较优的营养品质。葡萄采后经不同处理后冷藏, 其能量水平和主要营养品质总体均下降(pH 值例外)。葡萄经涂膜处理后, 可延长正常生理活动时间、抑制呼吸作用、减少物质转化和呼吸基质的消耗, 维持其营养品质。Rommanazzi 等^[18]则发现采前喷壳聚糖可减缓葡萄灰霉菌的生长。梨、桃分别经 1-MCP 和冷锻炼可保持较高的 ATP 含量和能量水平, 保持较优的品质特性

[24,25]。朱恩俊等^[26]则认为贮藏温度越低越有利于红地球葡萄贮藏,维持其品质。本研究发现维持葡萄果实组织较高ATP水平则可保持葡萄较优的营养品质特性,但对ATP水平亏损引起的生理品质变化还待进一步的研究。

相关性分析中ATP水平与主要营养物质含量显著正相关,维持果实组织高水平的能量状态,营养品质特性优。能量水平低,能量亏损严重,葡萄果实的主要营养品质差,这与能量亏损引起的果蔬品质劣变理论相符。对葡萄贮藏保鲜可以从调控能量水平方面着手,采取合适的方法来控制 and 缓解能量代谢引起的能量亏损,维持果实的营养品质,具体到能量亏损的机理及如何控制还待进一步的研究。

参考文献

- [1] 柳菁, 郭大龙, 王苗苗, 等. DNP 处理对巨峰葡萄浆果贮藏品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2013, 29(1): 162–166.
Liu J, Guo DL, Wang MM, *et al.* Effects of 2,4-dinitrophenol(DNP) treatments on storage quality of grape fruit [J]. Jiangsu J Agric Sci, 2013, 29(1): 162–166.
- [2] Wu ZM, Yuan XZ, Li H, *et al.* Heat acclimation reduces postharvest loss of table grapes during cold storage-Analysis of possible mechanisms involved through a proteomic approach [J]. Postharv Biol Technol, 2015, 7(105): 26–33.
- [3] Meng XH, Li BQ, Liu J, *et al.* Physiological responses and physical-chemical characters of table grape fruit to chitosan preharvest spray and postharvest coating during storage [J]. Food Chem., 2008, 106 (2): 501–508.
- [4] Saquet AA, Streif J, Bangerth F. Changes in ATP, ADP and pyridine nucleotide levels related to the incidence of physiological disorders in ‘Conference’ pears and ‘Jonagold’ apples during controlled atmosphere storage [J]. Hort Sci Biotechnol, 2000, 75 (2): 243–249.
- [5] Jiang Y, Qu H, Duan X, *et al.* Energy aspects in ripening and senescence of harvested horticultural crops [J]. Stew Postharv Rev, 2007, 3 (2): 1–5.
- [6] Saquet AA, Streif J, Bangerth F. On the involvement of adenine nucleotides in the development of brown heart in “Conference” pears during delayed controlled atmosphere storage [J]. Gartenbauwissenschaft, 2001, 66 (3): 140–144.
- [7] Saquet AA, Streif J, Bangerth F. Energy metabolism and membrane lipid alterations in relation to brown heart development in ‘Conference’ pears during delayed controlled atmosphere storage [J]. Postharv Biol Technol, 2003, 30 (2): 123–132.
- [8] 刘亭, 钱政江, 杨恩, 等. 呼吸活性和能量代谢与荔枝果实品质劣变的关系[J]. 果树学报, 2010, 27(6): 946–951.
Liu T, Qian ZJ, Yang E, *et al.* Respiratory activity and energy metabolism of harvested litchi fruit and their relationship to quality deterioration [J]. J Fruit Sci, 2010, 27(6): 946–951.
- [9] Hai L, Li LS, Yan LY, *et al.* Cold storage duration affects litchi fruit quality, membrane permeability, enzyme activities and energy charge during shelf time at ambient temperature [J]. Postharv Biol Technol, 2011, 60(1): 24–30.
- [10] Su XG, Jiang YM, Duan XW, *et al.* Effects of pure oxygen on the rate of skin browning and energy status in longan fruit [J]. Food Technol Biotechnol, 2005, 43 (4): 359–365.
- [11] Yi C, Qu HX, Jiang YM, *et al.* ATP-induced changes in energy status and membrane integrity of harvested litchi fruit and its relation to pathogen resistance [J]. Phytopathology, 2008, 156 (6): 365–371.
- [12] 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 JJ, Jin P, Li HH, *et al.* Effects of low temperature storage on chilling injury and energy status in peach fruit [J]. Trans CSAE, 2012, 28(4): 275–281.
- [13] 赵颖颖, 陈京京, 金鹏, 等. 低温预贮对冷藏桃果实冷害及能量水平的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(4): 276–281.
Zhao YY, Chen JJ, Jin P, *et al.* Effect of low temperature conditioning on chilling injury and energy status in cold-stored peach fruit [J]. Food Sci, 2012, 33(4): 276–281.
- [14] Song LL, Jiang YM, Gao HY, *et al.* Effects of adenosine triphosphate on browning and quality of harvested litchi fruit [J]. American J Food Technol [J]. Am J Food Technol, 2006, 1(2): 173–178.
- [15] Ozgur AK, Franka MG, Monir M, *et al.* Postharvest ethanol and hot water treatments of table grapes on control gray mold [J]. Postharv Biol Technol, 2004, 34 (2): 169–177.
- [16] 寇莉萍. 热处理对轻度加工葡萄保鲜效应及机理的研究[D]. 杨陵: 西北农林科技大学, 2007.
Kou LP. Studies on fresh-keeping effects and mechanism of mild heat treatment on lightly processed table grapes [D]. Yangling: Northwest Agriculture & Forestry University, 2007.
- [17] 盛玮, 薛建平, 张爱民, 等. 二氧化氯在葡萄保鲜中的应用研究[J]. 生物学杂志, 2005, 22(2): 43–44.
Sheng W, Xue JP, Zhang AM, *et al.* Study on the preservation of grape by chloring dioxide [J]. J Biol, 2005, 22(2): 43–44.
- [18] Rommanazzi G, Mlikota GF, Smilanick JL. Preharvest chitosan and postharvest UV irradiation treatments spores gray mold table grapes [J]. Plant Dis, 2006, 90(4): 445–450.
- [19] 吴光斌, 陈静, 陈发河. HPLC 法测定采后莲雾果实中 ATP、ADP 及 AMP 的含量[J]. 中国食品学报, 2013, 13(9): 196–200.
Wu GB, Chen J, Chen FA. HPLC Determination of ATP, ADP and AMP in postharvest Wax Apple (*Syzygium Samarangense* Merr. et Perry.) Fruit [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2013, 13(9): 196–200.
- [20] Yuan X, Wu Z, Li H, *et al.* Biochemical and proteomic analysis of ‘Kyoho’ grape (*Vitis labruscana*) berries during cold storage [J]. Postharv Biol Technol, 2014, 62 (88): 79–87.
- [21] Zhang H, Zhou F, Ji B, *et al.* Determination of organic acids evolution during apple cider fermentation using an improved HPLC analysis method [J]. Eur Food Res Technol, 2008, 227 (4): 1182–1190.
- [22] GB/T 22221-2008 食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定 高效液相色谱法[S].
GB/T 22221-2008 Determination of fructose, glucose, sucrose, maltose, lactose in food-High performance liquid chromatography [S].
- [23] Yi C, Qu HX., Jiang YM., *et al.* ATP-induced changes in energy status and membrane integrity of harvested litchi fruit and its relation to pathogen resistance [J]. Phytopathology, 2008, 156 (6): 365–371.
- [24] 程顺昌, 魏宝东, 朱益鹏, 等. 1-MCP 和 CO₂ 对‘南果梨’冷藏后货架期能量代谢特性的影响[J]. 西北植物学报, 2013, 33(6): 1177–1182.
Cheng SC, Wei BD, Zhu YP, *et al.* Effect of 1-MCP and CO₂ treatments on energy metabolism characteristics of “Nanguo” pear fruits during shelf life after cold storage [J]. Acta Boreal Occ Sin, 2013, 33(6): 1177–1182.

- [25] 祝美云, 白欢, 梁丽松, 等. 冷锻炼处理减轻低温贮藏桃果是冷害的能量代谢机理[J]. 农业工程学报, 2012, 28(10): 257-264.
Zhu MY, Bai H, Liang LS, *et al.* Mechanism of energy metabolism on cold acclimation treatment for alleviating chilling injury of peach fruit during low temperature storage [J]. Trans CSAE, 2012, 28(23): 257-264.
- [26] 朱恩俊, 吕明珠, 曹德明, 等. 不同贮藏条件对红提葡萄品质保鲜效果及部分品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(6): 2317-2322.
Zhu EJ, Lv MZ, Cao DM, *et al.* Effects of different storage environment on preservation and quality of red grape [J]. J Food Saf Qual, 2015, 6(6): 2317-2322.

(责任编辑: 金延秋)

作者简介

张 群, 博士, 研究员, 主要研究方向为果蔬贮藏与加工的科研工作。
E-mail: zqun208@163.com

周文化, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。
E-mail: 13786129879@126.com

“食品贮藏与保鲜研究与应用进展”专题征稿函

随着人们生活水平的提升, 消费者对食品的质量与安全性的要求也越来越高, 今天的消费者不仅要求食品新鲜, 而且要求食品保持原有的天然风味和营养结构, 因此如何再延长食品贮藏期的同时, 保持食品原有风味营养, 已成为人们研究的重点。

鉴于此, 本刊特别策划了“食品贮藏与保鲜研究与应用进展”专题, 由《食品安全质量检测学报》副主编、渤海大学食品科学研究院果蔬贮藏与加工研究所所长 冯叙桥 教授担任专题主编, 主要围绕食品贮藏保鲜工艺研究、食品贮藏保鲜新技术进展(如栅栏技术、生物酶技术、可食性包装膜、超高压等)、食品贮藏保鲜机制分析等或您认为本领域有意义的问题进行论述, 计划在 2016 年 7 月份出版。

本刊编辑部和 冯叙桥 教授 欢迎各位专家为本专题撰写稿件, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。综述、实验报告、研究论文均可, 请在 2016 年 6 月 15 日前通过网站或 E-mail 投稿。我们将快速处理并优先发表。

投稿方式:

网站: www.chinafoodj.com

E-mail: jfoods@126.com

《食品安全质量检测学报》编辑部