

冷激结合甜菜碱处理对西葫芦冷害及能量代谢的影响

张 苗, 姜 玉, 汤 静, 金 鹏, 郑永华*
(南京农业大学食品科学技术学院, 江苏 南京 210095)

摘 要: 为探讨冷激结合甜菜碱处理对减轻西葫芦冷害的作用及其机理, 研究了冷激 (0 °C 冰水混合物)、甜菜碱 (10 mmol/L) 以及二者结合 (含有 10 mmol/L 甜菜碱的 0 °C 冰水混合物) 3 种处理方式对西葫芦低温 ((4±1) °C) 贮藏期间冷害指数、相对电导率、丙二醛含量、叶绿素含量和能量代谢相关酶活力等指标的影响。结果表明: 与对照相比, 3 种处理均能显著抑制西葫芦的冷害指数、相对电导率和丙二醛含量的升高; 减缓叶绿素含量的降低和 a^* 、 b^* 值的增加, 同时还保持了较高的 Ca^{2+} -ATPase、 H^+ -ATPase、琥珀酸脱氢酶和线粒体细胞色素 c 氧化酶活力, 延缓 ATP 和 ADP 含量的下降, 抑制 AMP 含量的上升, 使西葫芦在贮藏期间维持较高的能荷水平。综上, 冷激、甜菜碱以及冷激结合甜菜碱处理均能有效抑制西葫芦冷害的发生, 其中以冷激结合甜菜碱处理的效果最佳, 这可能与通过调节能量代谢来维持果实内较高的能荷水平, 从而保持细胞膜的完整性有关。本研究结果为冷激结合甜菜碱复合处理在西葫芦低温贮藏保鲜中的应用提供了依据。

关键词: 冷激; 甜菜碱; 西葫芦; 冷害; 能量代谢

Effects of Cold Shock Combined with Glycine Betaine Treatment on Chilling Injury and Energy Metabolism of Zucchini

ZHANG Miao, JIANG Yu, TANG Jing, JIN Peng, ZHENG Yonghua*
(College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: In order to explore the attenuating effect and mechanism of cold shock combined with glycine betaine treatment on chilling injury of zucchini, the effects of cold shock (ice-water mixture at 0 °C), glycine betaine (10 mmol/L) and their combination on chilling injury index, relative electric conductivity, malondialdehyde (MDA) content, chlorophyll content, energy metabolism-related enzyme activities in zucchini stored at low temperature ((4±1) °C) were investigated. The results showed that all three treatments could inhibit the increase in chilling injury index, relative conductivity and MDA content, and delay the decrease in chlorophyll content and the increase in a^* and b^* values. Moreover, the treatments could maintain high activities of Ca^{2+} -ATPase, H^+ -ATPase, succinate dehydrogenase (SDH) and cytochrome c oxidase (CCO), retard the decrease in ATP and ADP content, inhibit the increase in AMP content, and maintain high levels of energy charge in zucchini during storage. In conclusion, these treatments could effectively inhibit chilling injury of zucchini fruit, among which the combined treatment was the most effective, which may be related to maintaining high levels of energy charge in zucchini by regulating energy metabolism and consequently maintaining cell membrane integrity. This study provides a scientific basis for the application of cold shock combined with glycine betaine treatment in quality preservation of zucchini during low temperature storage and transportation.

Keywords: cold shock; glycine betaine; zucchini; chilling injury; energy metabolism

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190716-212

中图分类号: TS255.36

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2020) 07-0184-07

引文格式:

张苗, 姜玉, 汤静, 等. 冷激结合甜菜碱处理对西葫芦冷害及能量代谢的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(7): 184-190.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190716-212. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2019-07-16

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项 (2016YFD0400901)

第一作者简介: 张苗 (1994—) (ORCID: 0000-0001-5691-6470), 女, 硕士研究生, 研究方向为农产品加工与贮藏。

E-mail: 2017108079@njau.edu.cn

*通信作者简介: 郑永华 (1963—) (ORCID: 0000-0002-6293-5990), 男, 教授, 博士, 研究方向为农产品加工与贮藏。

E-mail: zhengyh@njau.edu.cn

ZHANG Miao, JIANG Yu, TANG Jing, et al. Effects of cold shock combined with glycine betaine treatment on chilling injury and energy metabolism of zucchini[J]. Food Science, 2020, 41(7): 184-190. (in Chinese with English abstract)
DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190716-212. http://www.spkx.net.cn

西葫芦 (*Cucurbita pepo* L.) 中含有丰富的膳食纤维和维生素, 具有较高的营养价值, 是一种受广大消费者喜爱的蔬菜^[1]。西葫芦采后在常温贮藏过程中极易失水萎蔫和腐烂, 从而失去商品性。低温贮藏是果蔬保鲜的常用方法, 但西葫芦是典型的冷敏性蔬菜, 在低温贮藏过程中极易发生表皮凹陷等冷害症状, 影响其食用品质和经济价值^[2]。因此, 如何减轻西葫芦冷害的发生, 保持西葫芦的品质并延长货架期, 是西葫芦采后冷链贮藏过程中亟待解决的问题。

冷激 (cold shock, CS) 作为一种物理处理方式, 通过低温冷空气或冷水对采后果蔬进行不致发生冷害和冻害的短时低温处理来达到保鲜、延长货架期目的, 因为其具有无毒、无污染、无残留、保鲜效果显著等特点, 而广泛应用于保鲜领域中^[3]。日本学者 Ogata 等^[4]发现用 0℃ 冰水短时处理杏可以延缓杏果实的后熟进而延长杏的保存时间, 并首次将这种处理技术命名为“冷激处理”。随后, Inaba 等^[5]也证实冷激处理可以调节绿熟期番茄果实的生理状态, 延缓冷害的发生并延长货架期。近年来的研究发现冷激处理可以提高甘薯^[6]和茄子^[7]果实的抗冷性, 减轻这些果实冷害的发生, 较好地保持其贮藏品质。甜菜碱 (glycine betaine, GB) 是一种季胺类物质, 它通过调节植物细胞的渗透压来保持细胞膜的结构, 有研究发现 GB 的积累与植物的抗冷性有关^[8]。姚文思等^[9]发现 10 mmol/L GB 处理可通过调节活性氧代谢来降低西葫芦在冷藏期间冷害的发生。单体敏等^[10]也发现 GB 浸泡处理可以较好地保持桃果实的细胞膜的完整性, 减少冷害的发生。综上所述, CS 和 GB 处理作为安全有效的果蔬采后保鲜技术已备受研究者的关注。目前已有研究证实 10 mmol/L GB 处理可以显著减轻西葫芦冷害发生^[8], 但是单独 CS 以及 GB+CS 处理对西葫芦冷害的影响鲜见研究报道。为此, 本实验比较了单独 GB、CS 处理及两者复合处理对西葫芦冷害及能量代谢的影响, 以探讨二者复合处理减轻西葫芦冷害的作用及其机理, 为 CS 和 GB 复合处理在西葫芦低温贮藏保鲜中的应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

实验用“亚历山大”西葫芦, 挑选表面完好、大小一致、无机械损伤的西葫芦用于后续实验。

硫代巴比妥酸、丙酮、磷酸氢二钾、磷酸二氢钾、甲醇、聚乙烯吡咯烷酮、硝酸钠、钼酸铵、硝酸钙

南京杰汶达试剂器材有限公司; ATP、ADP、AMP、细胞色素 c 上海源叶生物科技有限公司; GB、2,6-二氯酚靛酚 美国 Sigma 公司; 三羟甲基氨基甲烷 北京索莱宝科技有限公司; 硫酸甲酯吩嗪、琥珀酸钠 国药集团化学试剂有限公司; 其中甲醇为色谱纯, 其他试剂为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

UV-1600 分光光度计 上海美谱达仪器有限公司; H1850R 型冷冻离心机 湖南湘仪离心机仪器有限公司; DDS-11A 电导仪 上海第二分析仪器厂; BSA124S 型电子天平 赛多利斯科学仪器 (北京) 有限公司; MIR-253 恒温培养箱 日本 SANYO 公司; CR-400 色差仪 日本 Konica Minolta 公司; LC-20A 高效液相色谱仪 日本岛津公司。

1.3 方法

1.3.1 样品处理

将挑好的西葫芦随机分为 4 组, 即用常温去离子水 (对照)、10 mmol/L GB (GB 处理组)、0℃ 冰水混合物 (CS 处理组)、含 10 mmol/L GB 的 0℃ 冰水混合物 (GB+CS 处理组) 分别浸泡 30 min。捞出晾干后装入打过孔的聚乙烯保鲜袋, 再平铺于塑料筐置于温度为 (4±1)℃、相对湿度为 80%~90% 的恒温箱内。每个处理 100 个果实, 重复 3 次。分别在贮藏 3、6、9、12 d 时取 10 个果实测定品质和生理指标, 另取 10 个果实置于 20℃ 恒温箱内 2 d 后测定冷害指数。

1.3.2 测定指标

1.3.2.1 冷害指数、相对电导率和丙二醛含量的测定

西葫芦的冷害指数根据冷害面积比例可以分为 5 个等级, 0 级: 没有冷害症状; 1 级: 0<冷害面积比例<25%; 2 级: 25%≤冷害面积比例<50%; 3 级: 50%≤冷害面积比例<75%; 4 级: 75%≤冷害面积比例<100%。冷害指数按公式 (1) 进行计算。

$$\text{冷害指数}/\% = \frac{\sum \text{冷害级别} \times \text{该级别果实数}}{4 \times \text{每个处理组总果实数}} \times 100 \quad (1)$$

相对电导率的测定参照姚文思等^[9]的方法, 取西葫芦赤道部位的果皮进行测定。丙二醛 (malonaldehyde, MDA) 含量的测定采用硫代巴比妥酸法, 具体参照曹建康等^[11]的方法, 结果以鲜质量计, 单位为 nmol/g。

1.3.2.2 叶绿素含量、*a** 和 *b** 值的测定

西葫芦叶绿素含量参考曹建康等^[11]的方法进行测定, 测定时只取西葫芦赤道部位的果皮。

果皮色差的测定采用Massolo等^[12]的方法,在西葫芦赤道部位的果皮上采用CR-400色差仪测定9个点的 a^* 、 b^* 值,最后取平均值。

1.3.2.3 能量水平的测定

能量水平的测定参考Liu Hai等^[13]的方法,并略作调整。称取2 g冻样,加入6 mL 0.6 mol/L HClO_4 溶液充分研磨后于4 °C 10 000×g离心30 min,取2 mL上清液用1 mol/L KOH溶液调pH值至6.5~6.8,随后用超纯水定容至3 mL,过0.45 μm 水相滤膜后进行高效液相色谱分析。色谱条件参照张正敏等^[14]的方法,上样量为20 μL 。根据标准品的保留时间对样品作定性分析,根据标准品的峰面积进行定量分析,ATP、ADP、AMP含量以鲜质量计。能荷的计算见公式(2)。

$$\text{能荷}/\% = \frac{\text{ATP} + 0.5\text{ADP}}{\text{ATP} + \text{ADP} + \text{AMP}} \times 100 \quad (2)$$

式中:ATP、ADP、AMP分别表示其含量/ $\mu\text{g/g}$ 。

1.3.2.4 能量代谢关键酶活力的测定

西葫芦线粒体的提取参照Liang Wusheng等^[15]的方法并略做修改。称取4 g冷冻果肉,加入10 mL提取液(含50 mmol/L pH 7.5的Tris-HCl、0.25 mol/L蔗糖、0.5 g/100 mL聚乙烯吡咯烷酮),低温冰浴研磨,5层纱布过滤至离心管,4 °C 12 000×g离心25 min,取上清液继续离心25 min,去上清液,用4 mL洗脱液(含有10 mmol/L pH 7.2的Tris-HCl、0.25 mol/L蔗糖、1 mmol/L EDTA)洗涤沉淀,离心25 min,得到的沉淀即为线粒体,用2 mL洗脱液对沉淀进行悬浮溶解,置于低温条件下备用。 H^+ -ATPase和 Ca^{2+} -ATPase活力的测定参照Jin Peng等^[16]的方法,最终以每克鲜质量样品每分钟释放1 μmol 无机磷所需要的酶量作为一个酶活力(U),无机磷浓度的测定使用无机磷测试盒。琥珀酸脱氢酶(succinate dehydrogenase, SDH)活力的测定参照Ackrell等^[17]的方法,线粒体细胞色素c氧化酶(cytochrome c oxidase, CCO)活力参照Veitch等^[18]的方法测定,以每克鲜质量组织每分钟吸光度变化0.01为一个酶活力单位(U)。以上酶活力单位均为U/g,结果以鲜质量计。

1.4 数据处理与分析

以上指标测定均取3个平行样,并进行3次重复测定。采用Excel和SPSS 18.0软件对实验数据进行计算分析,采用Origin 9.0软件作图。

2 结果与分析

2.1 冷激结合甜菜碱处理对西葫芦冷害指数、相对电导率和MDA含量的影响

冷害指数是反映西葫芦冷害程度的主要指标。由图1A可知,随着贮藏时间的延长,各组西葫芦的冷害指数

都呈逐渐增加的趋势。GB、CS单独处理和GB+CS复合处理均能有效延缓西葫芦冷害指数的增加。低温贮藏3 d后,对照组开始出现轻微凹陷斑,随着贮藏时间的延长,各组西葫芦冷害指数均持续增加,贮藏的第12天,GB、CS和GB+CS处理组西葫芦的冷害指数分别为对照组的80%、73%和65%。整个贮藏过程中GB+CS复合处理的西葫芦冷害指数始终低于其他3组,这表明GB、CS处理和复合处理均能减轻西葫芦的冷害,延长货架期,且复合处理的效果优于单独处理。

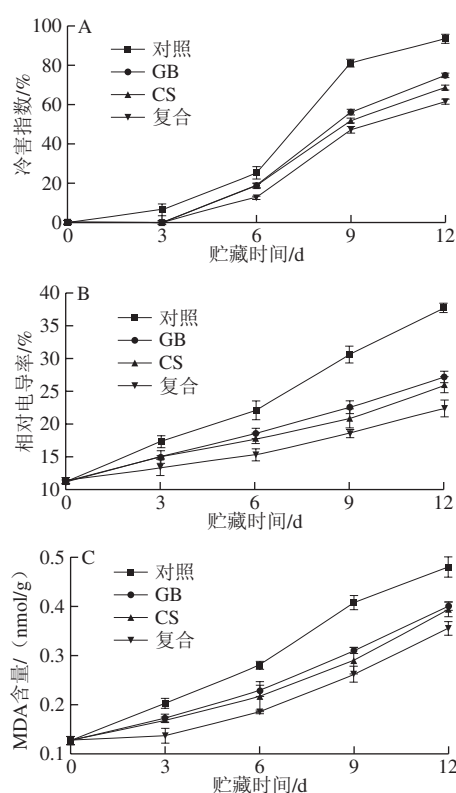


图1 不同处理对贮藏期西葫芦冷害指数(A)、相对电导率(B)和MDA含量(C)的影响

Fig. 1 Effects of different treatments on chilling injury index (A), relative electric conductivity (B) and MDA content (C) of zucchini during storage

植物受到低温胁迫时,细胞膜受到损伤,细胞膜透性增大,相对电导率升高。整个贮藏期间,西葫芦的相对电导率呈上升趋势(图1B),3种处理都抑制了西葫芦相对电导率的上升,对照组果实的相对电导率始终高于3个处理组,GB+CS复合处理组的果实相对电导率始终最低。说明复合处理能最好地保持细胞完整性,减少电解质的泄漏。

MDA是膜脂过氧化作用的产物,植物在受到低温胁迫时,膜脂过氧化作用加强,MDA积累。如图1C所示,西葫芦的MDA含量在整个贮藏期不断增加,对照组西葫芦的MDA含量急剧上升,而其他3个处理组的趋势较平缓且始终低于对照组,其中GB+CS复合处理组的MDA

含量最低。贮藏第9天时,复合处理组MDA含量仅为对照组的64%。由此表明复合处理可更好地抑制膜的过氧化作用,降低MDA的积累。

2.2 冷激结合甜菜碱处理对西葫芦叶绿素含量、 a^* 和 b^* 值的影响

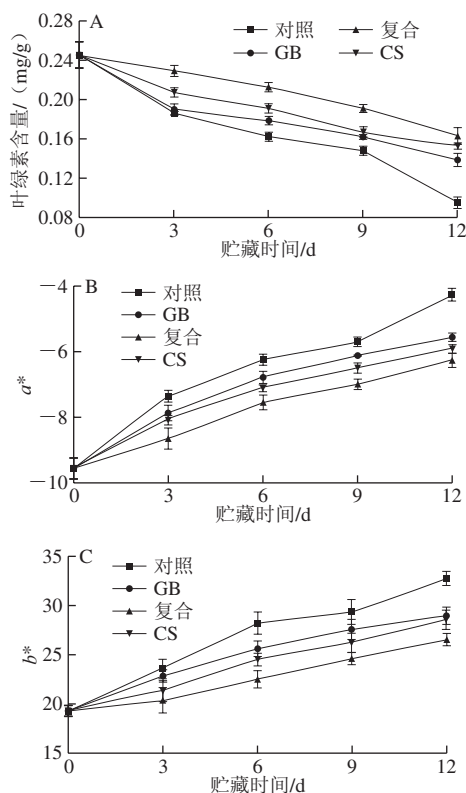


图2 不同处理对贮藏期西葫芦叶绿素含量(A)、果皮色差 a^* (B)和 b^* (C)值的影响

Fig. 2 Effects of different treatments on chlorophyll content (A), a^* value (B) and b^* value (C) of zucchini during storage

西葫芦贮藏期间叶绿素易发生降解,呈现类胡萝卜素的黄色,使果实变黄,从而影响其商品价值。如图2A所示,整个贮藏期间西葫芦果皮叶绿素含量呈下降趋势,GB、CS和GB+CS复合处理能抑制西葫芦叶绿素含量的下降,其中GB+CS复合处理组的果实叶绿素含量最高。贮藏到第12天,对照组西葫芦叶绿素含量下降至0.095 mg/g,GB、CS和GB+CS复合处理组的叶绿素含量分别为对照组的1.45、1.60倍和1.71倍。说明了GB+CS复合处理可延缓西葫芦叶绿素含量的降低,使其保持良好的色泽。

a^* 值为负代表果皮颜色偏绿,绝对值越大果皮越绿, b^* 值为正代表果皮偏黄,值越大果皮越黄。由图2B、C可知,贮藏期间西葫芦的 a^* 、 b^* 值均持续增加,且整个贮藏过程中各处理组西葫芦的 a^* 、 b^* 值均低于对照组,其中GB+CS复合组西葫芦的 a^* 、 b^* 值最低且增加趋势最缓慢。与叶绿素含量的变化结果一致,都表明了

相对其他处理,复合处理能更好地维持西葫芦表皮翠绿色泽。

2.3 冷激结合甜菜碱处理对西葫芦能量水平的影响

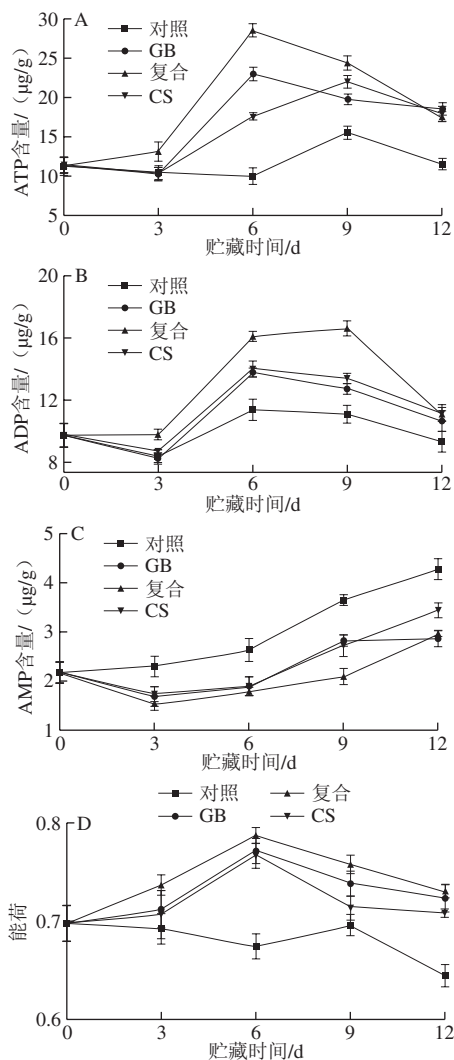


图3 不同处理对贮藏期西葫芦ATP(A)、ADP(B)、AMP(C)含量和能荷(D)的影响

Fig. 3 Effects of different treatments on ATP (A), ADP (B) and AMP (C) contents and energy charge (D) of zucchini during storage

能量是生物体生命活动的基础,低温胁迫会导致细胞膜受损,线粒体功能紊乱而降低能量水平。如图3A所示,西葫芦ATP含量在贮藏期间呈现先上升后下降的趋势,贮藏6 d后,GB、CS和GB+CS复合处理的ATP含量均高于对照组,复合处理组的西葫芦ATP含量最高。在第6天时,GB、CS、GB+CS复合处理组的ATP含量分别达到了22.97、17.62、28.52 $\mu\text{g/g}$,而对照组仅有10.04 $\mu\text{g/g}$ 。

由图3B可知,ADP含量变化与ATP相类似,呈现先上升后下降的趋势,3个处理组西葫芦均保持较高的ADP含量,其中GB+CS复合处理组的ADP含量最高。贮藏

第9天时, GB、CS、GB+CS复合处理组的ADP含量分别为对照组的1.1、1.2倍和1.5倍。

从图3C可以看出, 在整个贮藏期间西葫芦的AMP含量逐渐增加, 对照组果实内的AMP含量始终高于其他3组, GB、CS、GB+CS复合处理可以抑制果实内AMP含量的增加, 其中GB+CS复合处理抑制效果最好, 在贮藏末期(12 d), GB+CS复合处理组的AMP含量仅为对照组的69%, 明显低于同期其他处理组。

如图3D所示, 3个处理组的能荷在前6 d缓慢增加, 后6 d逐渐下降, 始终高于对照组, 复合处理组能荷水平最高。说明3种处理都可以通过提高西葫芦内ATP、ADP含量, 降低AMP含量来保持较高的能荷水平, 其中GB+CS复合处理效果最佳。

2.4 冷激结合甜菜碱处理对能量代谢关键酶的影响

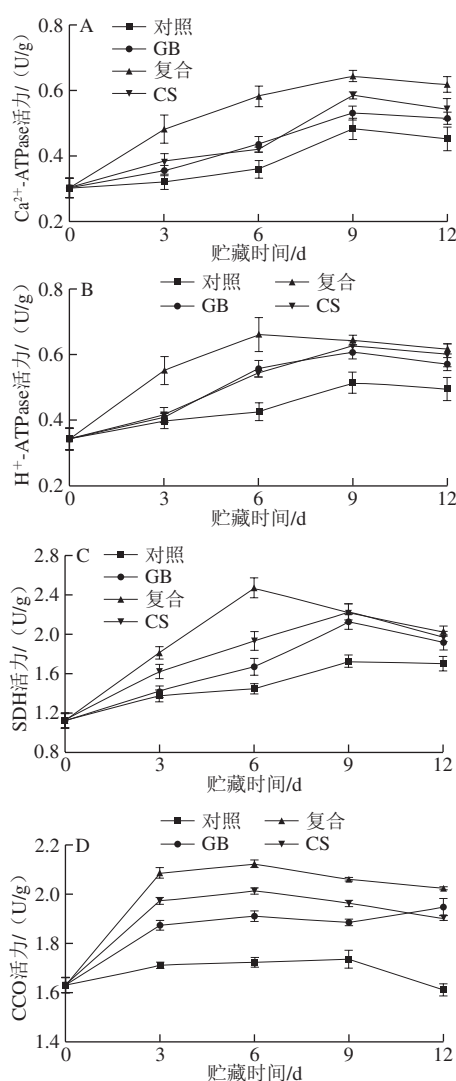


图4 不同处理对贮藏期西葫芦Ca²⁺-ATPase (A)、H⁺-ATPase (B)、SDH (C) 和CCO (D) 活力的影响

Fig. 4 Effects of different treatments on the activities of Ca²⁺-ATPase (A), H⁺-ATPase (B), SDH (C) and CCO (D) of zucchini during storage

Ca²⁺-ATPase、H⁺-ATPase、SDH和CCO是能量代谢的关键酶, 这4种酶活力的高低与能量水平密切相关。如图4所示, 贮藏期间西葫芦内4种酶活力都呈现先增加后降低的趋势。经过处理的西葫芦内的Ca²⁺-ATPase活力都高于对照组, 且复合处理效果好于单一处理; 贮藏的第12天, GB、CS和GB+CS复合处理的Ca²⁺-ATPase活力分别为0.515、0.543、0.618 U/g, 而对照组酶活力仅有0.453 U/g (图4A)。对照组西葫芦内H⁺-ATPase活力最低, GB、CS和GB+CS复合处理组都能保持较高的酶活力; 复合处理组的H⁺-ATPase活力与对照组差异最大, 贮藏第6天, 复合处理组H⁺-ATPase活力比对照组高55.0% (图4B)。经过处理的西葫芦内的SDH活力始终高于对照组, CS、GB处理组与复合处理组的SDH活力最大, 分别为2.225、2.125、2.475 U/g, 对照组仅为1.725 U/g。果实内CCO活力也是对照组最低, GB+CS复合处理组的酶活力始终最高, 与对照组差异明显, 贮藏第12天时, GB、CS处理与复合处理组的CCO活力分别比对照组高21%、18%、26%。以上结果表明了GB、CS以及GB+CS复合处理均可提高果实内Ca²⁺-ATPase、H⁺-ATPase、SDH和CCO的活力, 维持西葫芦内较高的能荷水平, 其中以GB+CS处理的效果最好。

3 讨论

低温贮藏是果蔬保鲜常用的方法, 但西葫芦在低温运输贮藏时极易发生冷害, 极大地限制了西葫芦的冷链贮运。已有研究发现单独GB处理可以显著降低西葫芦在低温贮藏期间的冷害指数^[9]。本实验结果发现, GB、CS和GB+CS复合处理都能显著减轻西葫芦的冷害症状, 延长贮藏期, 且GB+CS复合处理的效果最为显著。由于GB+CS复合处理简单易行, 且可起到预冷的作用, 因而在西葫芦冷链贮运中具较好的应用前景。

相对电导率与MDA含量是反映采后果实细胞完整性的重要指标, 在受到冷胁迫时, 植物细胞膜会从液晶态转变为凝胶态, 导致膜透性增大, 相对电导率升高, MDA大量积累^[19]。西葫芦贮藏期间叶绿素不断降解, 果皮发黄, 影响商品价值。朱赛赛等^[20]用热空气处理西葫芦的研究结果表明, 热空气处理可以降低西葫芦的冷害指数, 缓解果实叶绿素含量的损失, 减缓了MDA含量与相对电导率的上升。范林林等^[21]发现, 1-甲基环丙烯处理可明显减轻西葫芦的冷害症状, 抑制MDA的积累, 并较好地保持了细胞膜的完整性。程晨^[22]、王清^[23]、李春晖^[24]等分别研究不同温度对贮藏期西葫芦冷害的影响时也都发现了相似的结果。本实验发现, GB、CS和GB+CS复合处理都可以延缓西葫芦相对电导率与MDA含量的上升, 延缓叶绿素含量的下降和a*、b*值的增加。说

明这3种处理都可以降低西葫芦的冷害指数,保持细胞膜完整性和西葫芦表皮良好的色泽,其中复合处理效果最佳。

当植物受到逆境胁迫时,细胞因线粒体呼吸链受损,导致ATP合成下降,使细胞膜的结构遭到破坏^[25]。前人的研究表明了能量不足导致膜结构破坏与果蔬冷害的发生密切相关^[26]。有研究报道经过g-氨基丁酸处理的西葫芦内的ATP含量保持在较高的水平,其冷害指数也降低^[27]。4℃或在15℃下预处理48h可改善西葫芦内的能量状态,增加ATP、ADP含量,并保持较高的能荷水平,减轻冷害症状^[28]。Liu Zhanli等^[29]发现2,4-表油菜素内酯处理能够保持采后竹笋内的ATP、ADP含量和能荷水平,延缓AMP含量的上升,从而提高其能量水平,增强竹笋对冷害的耐受能力。在本实验中,相对于对照组,3种处理的西葫芦体内均保持较高的ATP含量、ADP含量、能荷水平和较低的AMP含量,其中以GB+CS处理的效果最佳。说明复合处理可以通过维持细胞内较高的能荷水平提高西葫芦的抗冷性,延长货架期。

Ca^{2+} -ATPase在细胞膜上起的是钙泵的作用,维持细胞钙稳态,可以保持细胞膜的完整性。而 H^{+} -ATPase起的是质子泵的作用,可以跨膜转运 H^{+} 并产生能量用于合成ATP^[30]。SDH是三羧酸循环的关键酶,它可以催化琥珀酸脱氢转化为延胡索酸,并生成ATP。CCO是位于线粒体内膜上的一种血红蛋白,它将细胞色素c上的电子传递给氧气,在能量代谢中起着关键作用^[25]。大量研究发现这4种酶活力与冷害有密切的关系。Pan Yonggui等^[31]在研究GB处理对木瓜冷害的影响时发现,经过GB处理的果实内 Ca^{2+} -ATPase、 H^{+} -ATPase、SDH和CCO活力显著高于对照组,使木瓜果实内保持较高的能荷水平从而延缓冷害的发生。低温预贮可保持枇杷果实较高的 Ca^{2+} -ATPase、 H^{+} -ATPase、SDH和CCO活力,从而降低其冷害的发生^[32]。本实验中,与对照相比,GB、CS和二者复合处理均可提高西葫芦内 Ca^{2+} -ATPase、 H^{+} -ATPase、SDH与CCO的活力,GB+CS处理的西葫芦4种酶活力最高,这也与西葫芦在贮藏期间内的能荷水平的结果相同。表明GB+CS复合处理可以通过保持西葫芦内较高的能量代谢相关酶活力,来提高能荷水平,延缓冷害的发生。

4 结 论

GB、CS和GB+CS复合处理可以通过提高西葫芦内 Ca^{2+} -ATPase、 H^{+} -ATPase、SDH与CCO 4种酶活力,维持较高的ATP、ADP含量和较低的AMP含量,保持果实内较高的能荷水平,使西葫芦在冷藏期间能够维持正常的能量供给,从而显著降低其冷害的发生,保持较好的贮藏品质,其中以GB+CS复合处理的效果最佳。

参考文献:

- [1] 刘宜生. 西葫芦史话[J]. 中国瓜菜, 2008, 1(1): 49-50. DOI:10.16861/j.cnki.zggc.2008.01.025.
- [2] 袁蒙蒙, 高丽朴, 王清, 等. 壳聚糖涂膜对西葫芦保鲜效果的研究[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(6): 101-104. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2013.06.028.
- [3] 尹海蛟. 果蔬采后温度激化处理的理论与试验研究[D]. 天津: 天津大学, 2012: 42.
- [4] OGATA K, SAKAMOTO T. Cold-shock effect on keeping quality of Japanese apricot fruits and tomato fruits[J]. Institute Horticulture Kyoto University, 1979, 9: 146-150.
- [5] INABA M, PHILIP G C. Cold-shock treatment of mature green tomatoes delay color development and increase shelf life during room temperature storage[J]. Proceedings of the Florida State Horticultural Society, 1986, 99: 143-145.
- [6] 林婕, 王则金, 林震山, 等. 冷激处理对甘薯冷害及活性氧代谢的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2016(9): 12-16. DOI:10.7633/j.issn.1003-6202.2016.09.004.
- [7] 张婷婷, 姚文思, 朱惠文, 等. 冷激处理减轻茄子冷害与活性氧代谢的关系[J]. 食品科学, 2018, 39(23): 205-211. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201823031.
- [8] 张瑜, 金鹏, 黄玉平, 等. 枇杷果实热水和甜菜碱复合处理保鲜条件优化[J]. 食品科学, 2016, 37(10): 226-231. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201610039.
- [9] 姚文思, 金鹏, 许婷婷, 等. 外源甘氨酸甜菜碱处理对西葫芦果实冷害和品质的影响[J]. 核农学报, 2018, 32(9): 1781-1788. DOI:10.11869/j.issn.100-8551.
- [10] 单体敏, 金鹏, 许佳, 等. 外源甜菜碱处理对冷藏桃果实冷害和品质的影响[J]. 园艺学报, 2015, 42(11): 2244-2252. DOI:10.16420/j.issn.0513-353x.2015-0184.
- [11] 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: 154-155.
- [12] MASSOLO J F, CONCELLÓN A, CHAVES A R, et al. Use of 1-methylcyclopropene to complement refrigeration and ameliorate chilling injury symptoms in summer squash[J]. CyTA-Journal of Food, 2013, 11(1): 19-26. DOI:10.1080/19476337.2012.676069.
- [13] LIU Hai, JIANG Yueming, LUO Yunbo, et al. A simple and rapid determination of ATP, ADP and AMP concentrations in pericarp tissue of litchi fruit by high performance liquid chromatography[J]. Food Technology & Biotechnology, 2006, 44(4): 531-534. DOI:10.1016/j.fm.2005.11.001.
- [14] 张正敏, 杨艺琳, 李美琳, 等. 2,4-表油菜素内酯处理对桃果实软腐病及能量代谢的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(5): 207-213. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180828-312.
- [15] LIANG Wusheng, PAN Juan, LIANG Houguo. Activation of cyanide resistant respiration by pyruvate in mitochondria of aged potato tuber slices[J]. Acta Photophysiological Sinica, 2003, 29(4): 317-321. DOI:10.1023/A:1022289509702.
- [16] JIN Peng, ZHU Hong, WANG Jing, et al. Effect of methyl jasmonate on energy metabolism in peach fruit during chilling stress[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2013, 93(8): 1827-1832. DOI:10.1002/jsfa.5973.
- [17] ACKRELL B A, KEARNEY E B, SINGER T P. Mammalian succinate dehydrogenase[J]. Methods in Enzymology, 1978, 53(53): 466-483. DOI:10.1016/S0076-6879(78)53050-4.
- [18] VEITCH K, HOMBROECKX A, CAUCHETEUX D, et al. Global ischaemia induces a biphasic response of the mitochondrial respiratory

- chain. anoxic pre-perfusion protects against ischaemic damage[J]. Biochemical Journal, 1992, 281(3): 709-715. DOI:10.1042/bj2810709.
- [19] MARANGONI A G, PALMA T, STANLEY D W. Membrane effects in postharvest physiology[J]. Postharvest Biology and Technology, 1996, 7(3): 193-217.
- [20] 朱赛赛, 艾文婷, 张敏, 等. 热空气处理对西葫芦采后低温贮藏生理的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(21): 274-280. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2017.21.054.
- [21] 范林林, 高元惠, 高丽朴, 等. 1-MCP处理对西葫芦冷害和品质的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 17(36): 330-334. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2015.17.059.
- [22] 程晨, 梁莉, 张柳茵, 等. 不同温度对西葫芦采后贮藏品质的影响[J]. 食品工业, 2016, 37(1): 47-51.
- [23] 王清, 杨娜, 刘凤娟, 等. 不同温度对西葫芦果实冷害及生理变化的影响[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(18): 4027-4030. DOI:10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2012.18.053.
- [24] 李春晖, 张敏, 艾文婷, 等. 不同温度场响应对西葫芦采后贮藏品质的影响[J]. 食品工业技, 2018, 39(2): 272-277; 284. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2018.02.051.
- [25] 田世平, 罗云波, 王贵禧. 园艺产品采后生物学基础[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 3-9.
- [26] JIN P, ZHU H, WANG L, et al. Oxalic acid alleviates chilling injury in peach fruit by regulating energy metabolism and fatty acid contents[J]. Food Chemistry, 2014, 161: 87-93. DOI:10.1016/j.foodchem.2014.03.103.
- [27] FRANCISCO P, FÁTIMA C, RAQUEL J, et al. Effect of trisodium phosphate dipping treatment on the quality and energy metabolism of apples[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2019, 136: 188-195. DOI:10.1016/j.foodchem.2018.08.142.
- [28] CARVAJAL F, PALMA F, JAMILENA M, et al. Preconditioning treatment induces chilling tolerance in zucchini fruit improving different physiological mechanisms against cold injury[J]. Annals of Applied Biology, 2015, 166(2): 340-354. DOI:10.1111/aab.12189.
- [29] LIU Zhanli, LI Li, LUO Zisheng, et al. Effect of brassinolide on energy status and proline metabolism in postharvest bamboo shoot during chilling stress[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 111: 240-246. DOI:10.1016/j.postharvbio.2015.09.016.
- [30] AZEVEDO I G, OLIVEIRA J G, SILVA M G D, et al. P-type H⁺-ATPase activity, membrane integrity, and apoplastic pH during papaya fruit ripening[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 48(2): 242-247. DOI:10.1016/j.postharvbio.2007.11.001.
- [31] PAN Yonggui, ZHANG Shanying, YUAN Mengqi, et al. Effect of glycine betaine on chilling injury in relation to energy metabolism in papaya fruit during cold storage[J]. Food Science & Nutrition, 2019, 7: 1123-1130. DOI:10.1002/fsn3.957.
- [32] JIN P, ZHANG Y, SHAN T M, et al. Low-temperature conditioning alleviates chilling injury in loquat fruit and regulates glycine betaine content and energy status[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63(14): 3654-3659. DOI:10.1021/acs.jafc.5b00605.