

茉莉酸甲酯结合氯化钙对红托竹荪贮藏品质的影响

马超, 陈桐杰, 刘江, 陈光贤, 吴端普, 徐二娟, 王瑞

Effect of Methyl Jasmonate Combined with Calcium Chloride Treatment on Storage Quality of *Dictyophora rubrovalvata*

MA Chao, CHEN Tongjie, LIU Jiang, CHEN Guangxian, WU Duanpu, XU Erjuan, and WANG Rui

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023010090>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

茉莉酸甲酯处理对模拟运输振动圆椒贮藏品质的影响

Effect of Methyl Jasmonate Treatment on Storage Quality of Green Bell Pepper after Transportation Vibration Simulation

食品工业科技. 2019, 40(4): 271-275 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.04.045>

异抗坏血酸与氯化钙联合处理对鲜切芒果的保鲜效果

Effects of Combined Treatment by Erythorbic Acid and Calcium Chloride on Preservation of Fresh-cut Mango

食品工业科技. 2020, 41(1): 272-278 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.01.044>

氯化钙复合脂肪酶处理工艺对鸡汤腥味的的影响

Effect of Calcium Chloride Combined Lipase Treatment Process on the Gamey Taste of Chicken Soup

食品工业科技. 2019, 40(24): 131-136 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.24.022>

响应曲面法氯化钙豆腐冻融工艺优化及其品质评价

Process Optimization of Freeze-thaw Process of Calcium Chloride Tofu by Response Surface Methodology and Its Quality Evaluation

食品工业科技. 2021, 42(5): 159-165 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020060006>

茉莉酸甲酯处理对采后苹果果皮活性氧相关代谢的影响

Effects of methyl jasmonate treatment on related metabolism of reactive oxygen species in the peel of postharvest apple fruit

食品工业科技. 2018, 39(7): 271-275,285 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.07.049>

茉莉酸甲酯对果蔬抗性、抗氧化活性及品质影响的研究进展

Research Progress on Effects of Methyl Jasmonate on Resistance, Antioxidant Activity and Quality of Fruits and Vegetables

食品工业科技. 2020, 41(4): 328-332 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.04.056>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

马超, 陈桐杰, 刘江, 等. 茉莉酸甲酯结合氯化钙对红托竹荪贮藏品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(23): 306–313. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023010090

MA Chao, CHEN Tongjie, LIU Jiang, et al. Effect of Methyl Jasmonate Combined with Calcium Chloride Treatment on Storage Quality of *Dictyophora rubrovalvata*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(23): 306–313. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023010090

· 贮运保鲜 ·

茉莉酸甲酯结合氯化钙对红托竹荪 贮藏品质的影响

马 超¹, 陈桐杰², 刘 江³, 陈光贤², 吴端普¹, 徐二娟¹, 王 瑞^{1,*}

(1. 贵阳学院, 贵州贵阳 550003;

2. 贵州美味鲜竹荪产业有限公司, 贵州毕节 552102;

3. 贵阳市蔬菜技术推广站, 贵州贵阳 550081)

摘 要: 本研究旨在探究茉莉酸甲酯结合氯化钙对红托竹荪贮藏品质的影响。本实验以红托竹荪为试材, 研究不同处理(对照组为采前喷施蒸馏水(CK); 采前喷施 3% 氯化钙(S1); 采前喷施 0.3 mmol/L 茉莉酸甲酯(S2); 采前喷施 0.3 mmol/L 茉莉酸甲酯结合 3% 氯化钙(S3))在温度(1±0.5)℃条件下对红托竹荪贮藏品质的影响。结果表明, 与 CK 组比较, 不同处理组均能够抑制红托竹荪失重率和呼吸强度的上升, 降低红托竹荪剪切力和丙二醛含量, 保持红托竹荪游离氨基酸含量、蛋白质含量、多糖含量和黄酮含量, 维持红托竹荪 SOD 活性、CAT 活性和 POD 活性。在贮藏期 12 d 时, CK 组、S1 组、S2 组和 S3 组的红托竹荪腐烂率分别为 32.56%、28.32%、19.85%、14.64%, 失重率分别为 5.62%、3.89%、2.89%、2.21%。综合比较, 茉莉酸甲酯结合氯化钙能够显著推迟红托竹荪的劣变进程, 延缓红托竹荪贮藏品质的下降。因此, 采前用茉莉酸甲酯结合氯化钙处理红托竹荪最好, 能够更好地保持红托竹荪的贮藏效果。本研究可为红托竹荪的保鲜研究提供理论参考和技术支撑。

关键词: 竹荪, 茉莉酸甲酯, 氯化钙, 贮藏品质

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)23-0306-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023010090



本文网刊:

Effect of Methyl Jasmonate Combined with Calcium Chloride Treatment on Storage Quality of *Dictyophora rubrovalvata*

MA Chao¹, CHEN Tongjie², LIU Jiang³, CHEN Guangxian², WU Duanpu¹, XU Erjuan¹, WANG Rui^{1,*}

(1. Guiyang University, Guiyang 550003, China;

2. Guizhou Meiweixian *Dictyophora rubrovalvata* Development Co., Ltd., Bijie 552102, China;

3. Guiyang Vegetable Technology Promotion Station, Guiyang 550081, China)

Abstract: The aim of this study was to investigate the effects of combined treatment of methyl jasmonate and calcium chloride on storage quality of *Dictyophora rubrovalvata*. The *Dictyophora rubrovalvata* was used as the experimental material in this experiment, and the effects of different dealing methods (preharvest distilled water spray treatments mark CK, preharvest 3% calcium chloride spray (S1), preharvest 0.3 mmol/L methyl jasmonate spray (S2), preharvest 0.3 mmol/L methyl jasmonate+3% calcium chloride spray (S3)) on the storage quality of *Dictyophora rubrovalvata* at (1±0.5) °C were studied. The results showed that compared with CK group, the different treatment groups could inhibit the increase of weight loss rate and respiratory intensity, reduce the *Dictyophora rubrovalvata* shearing force, malondialdehyde content, maintain the free amino acid content, protein content, polysaccharide content and flavone content, and maintain the

收稿日期: 2023-01-16

基金项目: 贵州省创新平台建设计划(黔科中引地[2020]4018号); 贵阳市科技计划项目(筑科合同[2021]43-17号); 贵阳学院引进人才启动资金科研项目(GYU-KY-[2023])。

作者简介: 马超(1988-), 男, 博士, 高级实验师, 研究方向: 农产品贮藏与加工, E-mail: chaomagy@126.com。

* 通信作者: 王瑞(1979-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 农产品贮藏与保鲜, E-mail: wangrui060729@126.com。

SOD, CAT and POD activity of the *Dictyophora rubrovalvata*. At 12 d of storage, the decay rate of *Dictyophora rubrovalvata* in CK, S1, S2 and S3 groups was 32.56%, 28.32%, 19.85% and 14.64%, and the weight loss rate was 5.62%, 3.89%, 2.89% and 2.21%. In general, methyl jasmonate combined with calcium chloride could significantly delay the deterioration process of *Dictyophora rubrovalvata* and the decline of its storage quality. Therefore the combination of spraying methyl jasmonate combined with calcium chloride before picking had the best fresh-keeping effect, which could maintain the storage effect of *Dictyophora rubrovalvata*. This study can provide theoretical reference and technical support for the preservation of *Dictyophora rubrovalvata*.

Key words: *Dictyophora rubrovalvata*; methyl jasmonate; calcium chloride; storage quality

红托竹荪(*Dictyophora rubrovalvata*)为担子菌门竹荪属红托竹荪种。因其味道鲜美,富含多糖、氨基酸、维生素等营养元素,也享有“草八珍”的美誉,近年来越来越受消费者喜爱^[1-2]。近年来,贵州省大力发展食用菌产业,其中红托竹荪位居全国第一,但由于鲜红托竹荪质地脆嫩,含水量高,并且易受病原菌侵染和机械损伤,从而导致采收后的红托竹荪出现失水、褐变、长霉等现象,直接影响了红托竹荪的销售时间和销售半径,降低了其经济效益,抑制了红托竹荪产业的健康可持续发展^[3-4]。因此,研究适宜红托竹荪的保鲜技术对其产业高质量发展具有重要意义。

茉莉酸甲酯(methyl jasmonate, MeJA)作为天然植物体的内源生长调节物质,可调节果蔬的采后生理代谢,诱导其防御性相关基因表达,可有效控制果蔬的真菌性病害,并具有较好的保鲜效果^[5-7]。Wang等^[8]研究报道了茉莉酸甲酯能够激活苯丙素类化合物合成途径,从而诱导提高果实内防御相关酶,增加蓝莓果实的抗病性。罗冬兰等^[9]研究茉莉酸甲酯对蓝莓贮藏品质的影响发现,适宜浓度的茉莉酸甲酯能有效延缓果实的软化,保持果实较好的贮藏品质。氯化钙能够调节植物体内酶活性、影响其代谢进程,降低病原菌对果蔬细胞壁和细胞膜的破坏,抑制果蔬水分的散失,维持果蔬的贮藏品质^[10-12]。潘晓玉等^[13]研究氯化钙处理对滑子菇采后贮藏品质发现,氯化钙处理可以抑制滑子菇营养品质及失重率的下降,有效维持滑子菇的清除自由基能力。谷会等^[14]研究发现,氯化钙处理能够提高菠萝的抗氧化性,抑制酚类物质的代谢水平,延缓菠萝的劣变进程,提高菠萝的贮藏品质。针对红托竹荪采后出现失水、褐变、长霉等问题^[3-4],前期预实验研究发现,0.3 mmol/L 茉莉酸甲酯和 3% 氯化钙对采后红托竹荪贮藏保鲜均有良好的效果,并且目前还未见过茉莉酸甲酯结合氯化钙处理在果蔬保鲜方面相关研究报道,而国内关于红托竹荪保鲜方面的报道研究较少。因此,本研究以红托竹荪为试材,探究茉莉酸甲酯联合氯化钙处理对红托竹荪贮藏期间失重率、剪切力、营养品质及抗氧化酶活性的影响,寻找适宜红托竹荪的保鲜技术,为其贮藏保鲜提供理论参考和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

红托竹荪于 2022 年 8 月 13 日采收自贵州省美

味鲜竹荪产业有限公司基地;茉莉酸甲酯 上海源叶生物科技有限公司;氯化钙 国药集团化学试剂有限公司;聚乙烯保鲜膜(厚度 20 μm) 山西农业大学。

TA.XT.PLUS 质构仪 英国 SMS 公司;Check Pi-ont II 便携式残氧仪 丹麦 Dansensor 公司;UV-2550 紫外分光光度计 日本 Shimadzu 公司;Agilent1100 液相色谱仪(配 VWD 检测器) Agilent 公司;TGL-16A 台式高速冷冻离心机 长沙平凡仪器仪表有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品处理 选择 8 成熟左右的红托竹荪分四组(采前喷施蒸馏水记为 CK 处理组,采前喷施 3% 氯化钙记为 S1 处理组;采前喷施 0.3 mmol/L 茉莉酸甲酯记为 S2 处理组,采前喷施 0.3 mmol/L 茉莉酸甲酯结合 3% 氯化钙记为 S3 处理组)进行采前当天处理,喷施以红托竹荪表面刚滴水为宜,处理结束后自然晾干进行采收,采收后立即运回实验室对红托竹荪进行挑选,去掉荪菌托和菌盖后,选择无机械损伤、无病虫害的红托竹荪分别装入 PE20 保鲜膜内,预冷 24 h 后扎袋进行贮藏,贮藏温度为 $1\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,每个处理 3 个平行,每 3 d 测定不同组红托竹荪相关指标,测定周期为 12 d。

1.2.2 测定指标及方法

1.2.2.1 腐烂率 以表面流水、褐变、长霉或自溶等现象记为腐烂红托竹荪,采用计数法计算腐烂率^[9],公式为:腐烂率(%)=腐烂红托竹荪数量/红托竹荪总数量 $\times 100$ 。

1.2.2.2 失重率 采用称重法测定红托竹荪失重率^[15],每次实验测定每个处理所有红托竹荪的失重率,公式为:失重率(%)=(红托竹荪初始质量-红托竹荪贮藏期间的质量)/红托竹荪初始质量 $\times 100$ 。

1.2.2.3 呼吸强度 呼吸强度采用静置法^[16]进行测定。称取 8 根红托竹荪置于常温密闭容器中 4 h,然后用便携式残氧仪测定其二氧化碳浓度,公式如下:

$$X = \frac{V \times N \times 1.894 \times 1000}{m \times t}$$

式中: X 为呼吸强度, $\text{mg CO}_2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$; V 为容器体积(干燥器体积-果实体积), L; N 为二氧化碳体积分数, %; m 为样品质量, kg; t 为放置时间, h; 1.894 g/L 为常压下二氧化碳的密度。

1.2.2.4 剪切力 剪切力采用夏紫茜等^[17]报道的方法进行测定。采用 2 mm TA/LKB 切刀探头对红托竹荪剪切力进行测定,测中速率为 3 mm/s,测前及测后速度均为 2 mm/s。

1.2.2.5 游离氨基酸含量、蛋白质含量、多糖含量及黄酮含量 游离氨基酸含量参照 Guilherme 等^[18]报道的方法进行测定:将 1 g 红托竹荪组织研碎后加入离心管中,再向离心管中加入 5 mL 0.01 mol/L 盐酸,沸水浴 40 min, 10000 r/min 离心 15 min。取上清液,沉淀物再加 2 mL 0.01 mol/L 盐酸悬浮,超声 5 min,离心,合并上清液,定容至 10 mL。过 0.22 μm 滤膜后待测。游离氨基酸含量以 mg/g 表示。

蛋白质含量采用考马斯亮蓝法 G-250^[14] 进行测定,准确称取 3.00 g 样品,加入 10 mL 蒸馏水进行研磨,4 $^{\circ}\text{C}$ 、10000 r/min 离心 15 min,取上清液与考马斯亮蓝 G-250 溶液混合,在波长 595 nm 处测定吸光度值,蛋白质含量单位为 %。

多糖含量采用苯酚-硫酸法^[19] 进行测定:取样品 5 g,加入 40 mL 蒸馏水,85 $^{\circ}\text{C}$ 旋转蒸发抽提 4 h,用无水乙醇沉淀上清液中多糖 10 h,离心后收集沉淀进行烘干,烘干后用蒸馏水溶解即得到样品溶液,采用苯酚-硫酸法测定多糖。

黄酮含量参照吴敏等^[20]报道的比色法略作修改进行测定。称取 3.0 g 样品,加入 10 mL 1% 的 HCl-甲醇溶液,在冰浴条件下进行充分研磨,最后定容至 20 mL 刻度试管,于 4 $^{\circ}\text{C}$ 避光提取 30 min,取滤液在波长 325 nm 处测定吸光值,黄酮含量单位为 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

1.2.2.6 丙二醛(MDA)含量 丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸比色法^[21] 进行测定。称取 2.00 g 果肉加入 10.00 mL 100 g/L 三氯乙酸溶液研磨,4 $^{\circ}\text{C}$ 、10000 r/min 离心 20 min 后提取 2.00 mL 上清液,加入 2.00 mL 0.67 % (硫代巴比妥酸)TBA 混合,沸水浴 15 min 后分别在波长 450、532 和 600 nm 处测定混合液的吸光度。MDA 含量以 mmol/g 表示。

1.2.2.7 SOD 活性、CAT 活性和 POD 活性 SOD 活性采用邻苯三酚自氧化法^[21] 进行测定。以邻苯三酚自氧化速率实验空白为参比,在 25 $^{\circ}\text{C}$ 左右,在离心管中加入 2.35 mL 0.1 mol/L Tris-HCL,蒸馏水 1.80 mL、水浴处理酶液 30 μL 、0.15 mL 4.5 mol/L 邻苯三酚溶液、涡旋处理 3 s。在吸光度为 325 nm 处测定单位时间内的变化值。以邻苯三酚抑制率达 50% 为 1 个酶活单位 U。

CAT 活性采用曹建康等^[22]报道的方法进行测定。取样品 3 g,加入预冷 20 mL 0.05 mol/L 的磷酸缓冲液(内含 1% PVPP, pH7.8),4 $^{\circ}\text{C}$ 10000 r/min 离心 15 min,上清液即粗酶液。反应液为 3 mL 0.015 mol/L H_2O_2 加入 0.5 mL 酶液,在吸光度 240 nm 处测定单位时间内吸光度的变化,以每分钟变化 0.01 为 1 个酶活单位 U。

POD 活性采用愈创木酚比色法进行测定^[23]。粗

酶液制备同 CAT 测定中粗酶液制备方法,反应体系为 2 mL 0.02 mmol/L 愈创木酚、0.5 mL 酶提取物和 1 mL 0.04 mol/L 过氧化氢,在吸光度为 470 nm 处测单位时间内吸光值,以每分钟变化 0.01 为 1 个酶活单位 U。

1.3 数据处理

采用 OriginPro 2018 软件对数据进行统计分析;采用 SPSS22.0 软件的 Duncan 法分析不同处理组间相关指标的差异显著性($P < 0.05$ 表示显著性差异; $P > 0.05$ 表示无显著性差异)。

2 结果与分析

2.1 红托竹荪外观、腐烂率和失重率的变化

红托竹荪的外观变化及腐烂率会影响其商品价值,失重率过高会导致红托竹荪萎蔫。图 1A 所示,随着贮藏时间的延长,红托竹荪出现褐变、失水和腐烂等问题,与 CK 组比较,处理组贮藏效果明显更好;图 1B 所示,随着贮藏时间的延长,红托竹荪腐烂率

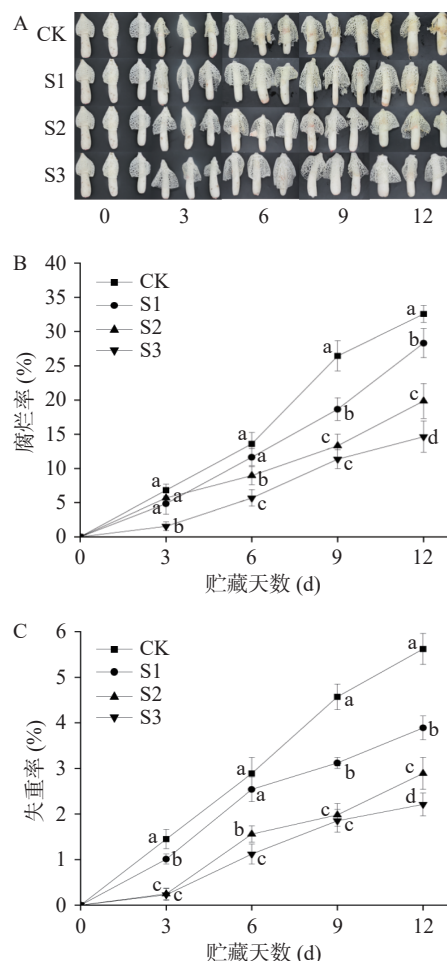


图 1 不同处理下红托竹荪外观图(A)、腐烂率(B)和失重率(C)的变化

Fig.1 Changes of appearance drawing (A), decay rate (B) and weight loss rate (C) of *Dictyophora rubrovalvata* under different treatments

注:不同小写字母表示相同时间、不同组别差异显著($P < 0.05$);CK 为对照处理组,S1 为采前喷施 3% 氯化钙处理组;S2 为采前喷施 0.3 mmol/L 茉莉酸甲酯处理组,S3 为采前喷施 0.3 mmol/L 茉莉酸甲酯结合 3% 氯化钙处理组;图 2~图 6 同。

呈现上升的趋势,在贮藏期 6~12 d 内,不同组腐烂率的大小关系为 CK 组>S1 组>S2 组>S3 组,在贮藏期 12 d 时,CK 组、S1 组、S2 组和 S3 组的红托竹荪腐烂率分别为 32.56%、28.32%、19.85%、14.64%,并且不同组间均有显著差异($P<0.05$);由图 1C 可知,在整个贮藏期间,红托竹荪不同处理组的失重率均呈现上升的趋势。在贮藏期 3~6 d,CK 组、S1 组的失重率均显著高于 S2 组和 S3 组($P<0.05$)。在贮藏期 9~12 d 时,CK 组的失重率显著高于其他组($P<0.05$)。在贮藏期 12 d 时,CK 组、S1 组、S2 组和 S3 组的红托竹荪失重率分别为 5.62%、3.89%、2.89%、2.21%,并且不同组相互间均有显著差异($P<0.05$)。由此可见,与 CK 组比较,不同处理组均能够降低红托竹荪贮藏期间的腐烂率、失重率,保持红托竹荪更好的外观品质,其中 S3 组效果最好,这可能是茉莉酸甲酯能抑制果蔬侵染性病害而氯化钙能较好维持果蔬细胞完整性的联合作用导致的^[7,10]。

2.2 红托竹荪呼吸强度的变化

呼吸强度反映采后果蔬贮藏期间代谢情况,呼吸强度越高,果蔬代谢速度越快,加速果蔬贮藏品质的劣变进程,从而影响果蔬的贮藏期^[24-25]。图 2 所示,红托竹荪在整个贮藏期的呼吸强度均呈现上升的趋势,在贮藏初期,不同处理组无显著差异($P>0.05$)。在贮藏期 3 d 时,不同组的红托竹荪呼吸强度大小关系为 CK 组>S2 组>S1 组>S3 组,此时 S1 组、S2 组和 S3 组均无显著差异($P>0.05$)。在贮藏期 6~12 d 时,S3 组的呼吸强度显著低于其他组($P<0.05$)。在贮藏期 12 d 时,S1 组、S2 组和 S3 组的呼吸强度分别比 CK 组低 11.87%、13.11% 和 28.20%,并且处理组均与 CK 组有显著差异($P<0.05$)。由此说明,不同处理组均能够抑制贮藏期红托竹荪的呼吸强度,降低红托竹荪的呼吸代谢,抑制红托竹荪失重率的上升(图 1),综合比较,S3 组对降低红托竹荪的呼吸强度效果最好,这可能是茉莉酸甲酯结合氯化钙能够更有效降低果实呼吸代谢导致的。

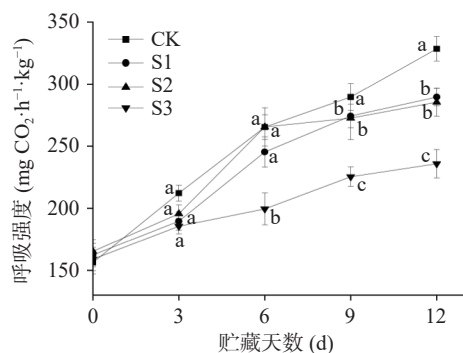


图 2 不同处理下红托竹荪呼吸强度的变化

Fig.2 Changes of respiratory intensity of *Dictyophora rubrovalvata* under different treatments

2.3 红托竹荪剪切力的变化

剪切力反映贮藏期间红托竹荪质地的变化,剪

切力越低,说明红托竹荪质地越好^[26]。图 3 所示,在整个贮藏期间,不同组的红托竹荪剪切力均呈现上升的趋势。在贮藏期前 6 d,不同组的剪切力差异不明显。在贮藏期 9~12 d,不同组的红托竹荪剪切力大小关系为 CK 组>S1 组>S2 组>S3 组,并且与 CK 组比较,处理组均有显著差异($P<0.05$)。在贮藏期 12 d 时,CK 组、S1 组、S2 组和 S3 组的红托竹荪剪切力分别为 1869.52、1724.43、1654.25 和 1465.23 g。由此说明,不同处理组均能显著降低红托竹荪贮藏后期的剪切力上升,综合比较,S3 组对红托竹荪的剪切力保持效果最好,这与 S3 组对红托竹荪失重率作用效果一致(图 1)。

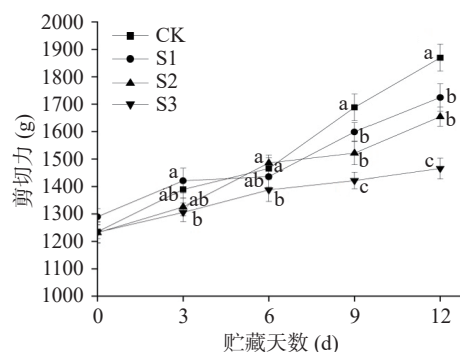


图 3 不同处理下红托竹荪剪切力的变化

Fig.3 Changes of shearing force of *Dictyophora rubrovalvata* under different treatments

2.4 红托竹荪营养品质的变化

游离氨基酸、蛋白质、多糖及黄酮含量是反映红托竹荪贮藏过程中营养品质变化的重要指标^[27]。图 4 所示,在整个贮藏期,采收后的红托竹荪营养品质呈现下降的趋势,其主要原因是采收后的红托竹荪仍然进行旺盛的呼吸代谢,从而造成营养品质下降^[3]。图 4A 所示,CK 组的游离氨基酸含量从贮藏期开始就快速下降,而处理组则缓慢下降。在贮藏期 3~12 d,CK 组的游离氨基酸含量显著低于其他处理组($P<0.05$)。在贮藏期 9~12 d 时,不同组的红托竹荪游离氨基酸含量大小关系为 CK 组<S1 组<S2 组<S3 组。在贮藏期 12 d 时,CK 组、S1 组、S2 组和 S3 组的红托竹荪游离氨基酸含量分别为 8.68、10.18、11.84、13.14 mg·g⁻¹。图 4B 所示,在贮藏期 6~12 d 时,不同组的红托竹荪蛋白质含量大小关系为 CK 组<S1 组<S2 组<S3 组。在贮藏期 12 d 时,S1 组、S2 组和 S3 组的蛋白质含量比 CK 组高 4.79%、13.67% 和 18.71%,并且 S2 组、S3 组与 CK 组均有显著差异($P<0.05$),而 S1 组与 CK 组无显著差异($P>0.05$)。图 4C 所示,在整个贮藏期,CK 组、S1 组、S2 组和 S3 组的多糖含量分别降低了 0.56%、0.44%、0.42%、0.33%。在贮藏期 12 d 时,不同组的红托竹荪多糖含量大小关系为 CK 组<S1 组<S2 组<S3 组。图 4D 所示,在贮藏期 9~12 d 时,CK 组的黄酮含量显著低于处理组($P<0.05$)。在贮藏期 12 d 时,S1 组、S2 组

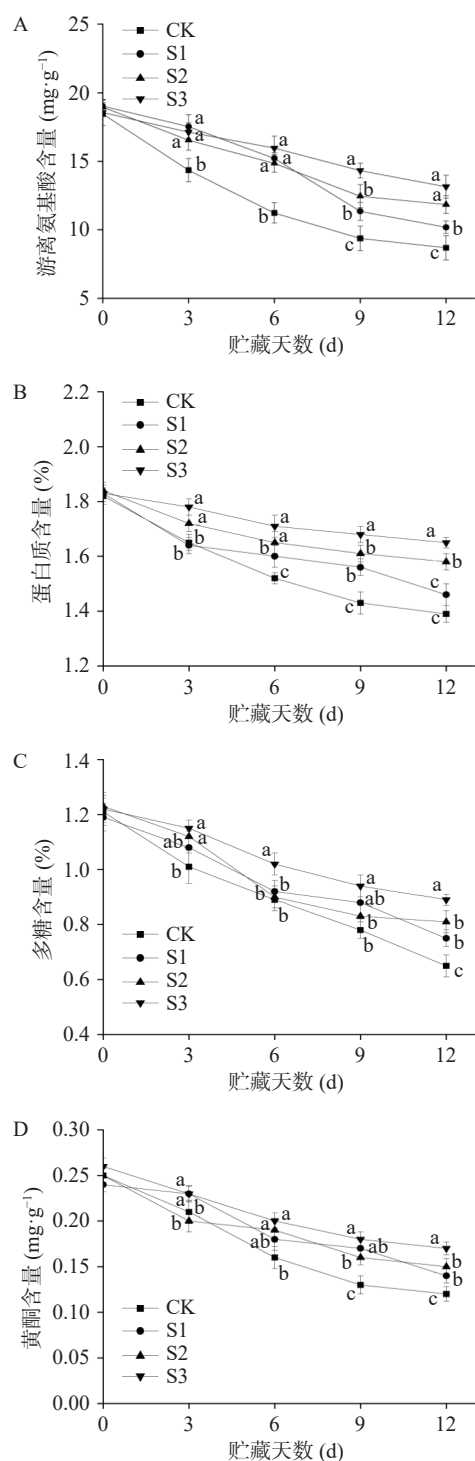


图4 不同处理下红托竹荪游离氨基酸含量(A)、蛋白质含量(B)、多糖含量(C)、黄酮含量(D)的变化

Fig.4 Changes of free amino acid content (A), protein content (B), polysaccharide content (C) and flavonoids content (D) of *Dictyophora rubrovalvata* under different treatments

和 S3 组的黄酮含量分别比 CK 组高 16.67%、25% 和 41.67%。Alicia 等^[28] 报道食用菌没有黄酮, 但本研究发现红托竹荪存在黄酮, 并且相关研究也表明红托竹荪存在黄酮^[27,29], 但还需要进一步从分子生物学方面分析及讨论红托竹荪存在黄酮的机制。综上所述, 与对照组相比, 不同处理组均能够维持红托竹荪游离氨基酸含量、蛋白质含量、多糖含量、黄酮含量, 其中 S3 组能够更好地抑制红托竹荪品质的下

降。这与前人研究茉莉酸甲酯能够保持蓝莓贮藏品质和氯化钙能够保持滑子菇贮藏品质结果一致^[9,13], 关于二者结合处理对红托竹荪品质下降的抑制效果最好, 这可能由于 S3 处理显著降低红托竹荪的呼吸强度, 从而抑制贮藏品质代谢速度, 至于相关机理还需要进一步研究。

2.5 红托竹荪 MDA 含量的变化

丙二醛含量属于膜脂过氧化作用的次要终产物, 能够反映红托竹荪贮藏期间衰老情况^[30]。图 5 所示, 红托竹荪的丙二醛含量在整个贮藏期呈现上升的趋势, 在贮藏期 3 d 时, S3 组的丙二醛含量显著低于 CK 组 ($P < 0.05$), 但 S1 组和 S2 组与 CK 组均无显著差异 ($P > 0.05$)。贮藏期 6~12 d 时, 不同组的红托竹荪丙二醛含量大小关系为 CK 组 > S1 组 > S2 组 > S3 组。在贮藏期 12 d 时, S1 组、S2 组和 S3 组的丙二醛含量分别比 CK 组低 15.57%、19.56% 和 32.55%。由此可见, 不同处理组均能够抑制红托竹荪贮藏后期丙二醛含量的上升, 其中 S3 组在整个贮藏期对丙二醛含量上升的抑制效果最好。

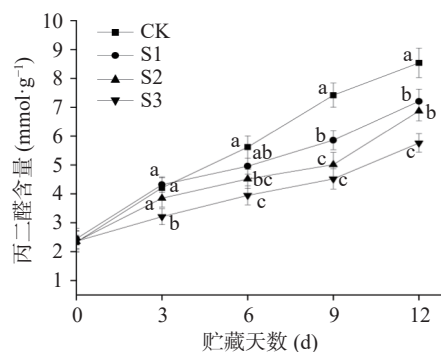


图5 不同处理下红托竹荪丙二醛含量的变化

Fig.5 Changes of malondialdehyde content of *Dictyophora rubrovalvata* under different treatments

2.6 红托竹荪抗氧化酶活性的变化

超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)均是食用菌重要的抗氧化酶, 抗氧化酶会加剧食用菌膜脂过氧化的衰老进程, 但也会抵御食用菌逆境胁迫对果蔬造成的伤害^[31]。图 6 表明, 在整个贮藏期间, 不同的抗氧化酶活性均呈现先上升后下降的趋势。图 6A 所示, 在贮藏期 3 d 时, 与 CK 组 SOD 活性比较, S3 组有显著差异 ($P < 0.05$), 但 S1 和 S2 无显著差异 ($P > 0.05$)。贮藏期 6~12 d 时, 不同组的红托竹荪 SOD 活性大小关系为 CK 组 < S1 组 < S2 组 < S3 组。在贮藏期 12 d 时, S1 组、S2 组和 S3 组的 SOD 活性分别比 CK 组高 9.79%、17.55% 和 23.34%。图 6B 所示, 在贮藏期 3 d 时, S2 组、S3 组的 CAT 活性均显著高于 CK 组 ($P < 0.05$), 但 S1 组与 CK 无显著差异 ($P > 0.05$)。贮藏期 9 d 时, CK 组均显著低于处理组 ($P < 0.05$)。在贮藏期 12 d 时, CK 组、S1 组、S2 组和 S3 组的红托竹荪 CAT 活性分别为 10.62、12.56、12.85、13.89 $\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$ 。图 6C

所示,从贮藏期开始至贮藏期 3 d,不同组间的 POD 活性无显著差异($P>0.05$)。贮藏期 6~12 d 时,不同组的红托竹荪 POD 活性大小关系为 CK 组<S1 组<S2 组<S3 组。在贮藏期 12 d 时,S1 组、S2 组和 S3 组的 POD 活性分别比 CK 组高 10.28%、20.56% 和 28.35%,并且 S2 和 S3 组与 CK 组均有显著差异($P<0.05$)。由此可见,不同的处理组均能够不同程度地保持红托竹荪 SOD 活性、CAT 活性和 POD 活性。综合比较,S3 组对红托竹荪抗氧化酶活性的保持效果最好,这可能由于外源喷施茉莉酸甲酯结合氯化钙促进红托竹荪内源茉莉酸甲酯含量、钙离子浓度上升的结果导致的^[7,10]。

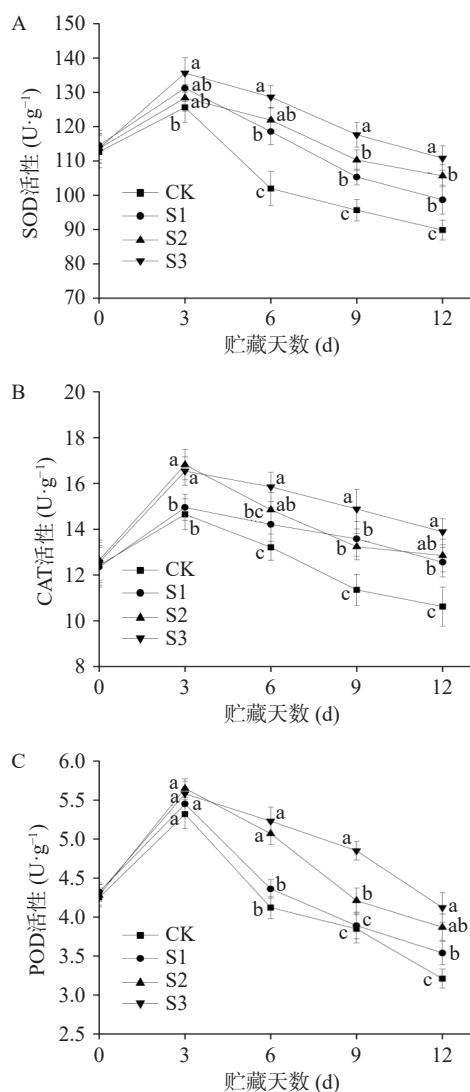


图 6 不同处理下红托竹荪 SOD 活性(A)、CAT 活性(B)和 POD 活性(C)的变化

Fig.6 Changes of SOD activity (A), CAT activity (B) and POD activity (C) of *Dictyophora rubrovalvata* under different treatments

3 讨论与结论

贮藏期竹荪的品质变化反映其衰老进程^[3,32]。本研究表明,不同的采前处理均能够降低红托竹荪的失重率、呼吸强度,抑制红托竹荪游离氨基酸含量、蛋白质含量、多糖含量及黄酮含量的下降和剪切力

的上升。Liu 等^[33]发现茉莉酸甲酯处理能够保持番茄果实更好的贮藏品质,抑制营养品质的下降。张瑜瑜等^[34]研究发现氯化钙处理可以降低采后蓝莓果实的生理代谢,保持果实贮藏品质。这与本文研究的茉莉酸甲酯和氯化钙均能较好保持果实品质结果一致。本文还发现不同的采前处理可以更好地保持红托竹荪 SOD 活性、CAT 活性和 POD 活性,降低丙二醛含量的积累。吕静祎等^[35]报道茉莉酸甲酯能够调节苹果的抗氧化活性改变活性氧消耗速率,进而有效提高了果实的抗氧化活性。谷会等^[14]研究表明氯化钙可以提高菠萝的抗氧化酶活性,从而提高果实的抗病性。本研究结果与前人研究茉莉酸甲酯和氯化钙均能较好保持果实酶活性结果一致。综合比较发现,茉莉酸甲酯结合氯化钙处理优于单一处理,至于相关机理还需要进一步研究。

综上所述,不同处理组均能够抑制红托竹荪失重率和呼吸强度的上升,降低红托竹荪剪切力和丙二醛含量,保持红托竹荪游离氨基酸含量、蛋白质含量、多糖含量和黄酮含量,维持红托竹荪 SOD 活性、CAT 活性和 POD 活性。其中茉莉酸甲酯结合氯化钙采前处理对红托竹荪的保鲜效果最好,能够显著推迟采后红托竹荪的劣变进程,更好地维持红托竹荪营养品质和抗氧化酶活性。该研究可为红托竹荪的贮藏保鲜提供新思路。

参考文献

- [1] 龚光禄,杨通静,桂阳,等.红托竹荪资源收集与生态分布特征[J]. *中国食用菌*, 2020, 238(11): 14–17,21. [GONG G L, YANG T J, GUI Y, et al. *Dictyophora rubrovolvata* resources collection and ecological distribution characteristics[J]. *Edible Fungi of China*, 2020, 238(11): 14–17,21.]
- [2] 梁亚丽.红托竹荪各部位营养与风味成分及鲜浆复合面条品质研究[D]. 贵州: 贵州大学, 2020. [LIANG Y L. A study on the nutritional and flavor components of fresh *Dictyophora rubrovolvata* and the quality of fresh slurry compound noodles[D]. Guizhou: Guizhou University, 2020.]
- [3] 马超,王如福,陈光贤,等.外源褪黑素处理对红托竹荪鲜品贮藏品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(16): 363–370. [MA C, WANG R F, CHEN G X, et al. Effect of exogenous melatonin treatments on the storage quality of *Dictyophora rubrovolvata*[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(16): 363–370.]
- [4] 黄成运.红托竹荪保存过程中主要质量指标检测分析[D]. 贵州: 贵州大学, 2022. [HUANG C Y. A study on the detection and analysis of main quality indexes of *dictyophora rubescens* during storage[D]. Guizhou: Guizhou University, 2022.]
- [5] VENKATACHALAM K, THONGBOUR P, NAGARAJAN M. Effects of methyl jasmonate fumigation and packaging on chilling injury and physiochemical quality changes of stored green bell peppers[J]. *Food Chemistry*, 2018, 10(2): 120–132.
- [6] MIN D D, LI F J, ZHANG X H, et al. SIMYC2 Involved in methyl jasmonate-Induced tomato fruit chilling tolerance[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2018, 66: 3110–3117.
- [7] LI J Z, MIN D D, LI Z L, et al. Regulation of sugar metabolism by methyl jasmonate to improve the postharvest quality

- of tomato fruit[J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2021, 289: 3–8.
- [8] WANG H B, KOU X H, WU C, et al. Methyl jasmonate induces the resistance of postharvest blueberry to gray mold caused by *Botrytis cinerea*[J]. *Journal of the Acience of Food and Agriculture*, 2020, 100(11): 2–9.
- [9] 罗冬兰, 瞿光凡, 孙雁征, 等. 茉莉酸甲酯处理对蓝莓贮藏品质的影响[J]. *中国南方果树*, 2022, 51(4): 161–170. [LUO D L, QU G F, SUN Y Z, et al. Effect of methyl jasmonate treatment on storage quality of blueberry[J]. *South China Fruits*, 2022, 51(4): 161–170.]
- [10] RANJBAR S, RAHEMI M, RAMEZANIAN A. Comparison of nanocalcium and calcium chloride spray on postharvest quality and cell wall enzymes activity in apple cv. red delicious[J]. *Scientia Horticulturae*, 2018, 240(20): 57–64.
- [11] ZHANG L F, WANG P, CHEN F S, et al. Effects of calcium and pectin methylesterase on quality attributes and pectin morphology of jujube fruit under vacuum impregnation during storage[J]. *Food Chemistry*, 2019, 289(15): 40–48.
- [12] YOURYON P, SUPAPVANICH S, KONGTRAKOOL P, et al. Calcium chloride and calcium gluconate peduncle infiltrations alleviate the internal browning of queen pineapple in refrigerated storage[J]. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 2018, 59(2): 205–213.
- [13] 潘晓玉, 刘晔, 宋静雅, 等. 氯化钙处理对滑子菇采后贮藏品质的影响[J]. *中国果菜*, 2019, 39(1): 1–6. [PAN X Y, LIU Y, SONG J Y, et al. Effect of CaCl_2 treatment on postharvest preservation quality of *Pholiota nameko*[J]. *China Fruit & Vegetable*, 2019, 39(1): 1–6.]
- [14] 谷会, 朱世江, 侯晓婉, 等. 氯化钙处理对菠萝采后黑心病及贮藏品质的影响[J]. *食品科学*, 2020, 41(9): 161–167. [GU H, ZHU S J, HOU X W, et al. Effect of calcium chloride treatment on internal browning and storage quality of pineapple after harvest[J]. *Food Science*, 2020, 41(9): 161–167.]
- [15] 李静, 王艳华, 黄春霞, 等. 紫外结合 γ -氨基丁酸对鲜切香瓜品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(23): 326–333. [LI Jing, WANG Yanhua, HUANG Chunxia, et al. Effect of ultraviolet combined with γ -aminobutyric acid on quality of fresh cut muskmelon[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(23): 326–333.]
- [16] 张鹏, 李天元, 李江阔, 等. 环境气体调控对精准相温贮藏期间柿果保鲜效果的影响[J]. *中国食品学报*, 2018, 18(3): 180–187. [ZHANG P, LI T Y, LI J K, et al. Effect of microenvironment gas controlled on fresh-keeping effect of persimmon fruits during accurate phase temperature storage[J]. *Chinese Journal of Food*, 2018, 18(3): 180–187.]
- [17] 夏紫茜, 王瑞, 马超, 等. 不同温度、气体微环境对红托竹荪干品储藏品质的影响[J]. *菌物学报*, 2022, 41(12): 2057–2073. [XIA Z Q, WANG R, MA C, et al. Effects of different temperature and gaseous micro-environment on storage quality of dried *Dictyophora rubrovolvata*[J]. *Mycosystema*, 2022, 41(12): 2057–2073.]
- [18] GUILHERME C L R, BRUNO M D P, OLGA L T, et al. *In vitro* digestion of spermidine and amino acids in fresh and processed *Agaricus bisporus* mushroom[J]. *Food Research International*, 2020, 137: 109616.
- [19] 赵哲坤, 吴林凤, 荣成博, 等. 延长鲜切香菇货架期的保鲜工艺[J]. *菌物学报*, 2021, 40(12): 3369–3382. [ZHAO Z K, WU L F, RONG C B, et al. Fresh-keeping technique for prolonging shelf life of fresh-cut *Lentinula edodes* fruiting bodies[J]. *Mycosystema*, 2021, 40(12): 3369–3382.]
- [20] 吴敏, 杜鹃, 王曼, 等. 一氧化氮对无核白葡萄果梗贮藏品质和微观结构的影响[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(21): 350–359. [WU Min, DU Juan, WANG Man, et al. Effects of nitric oxide on storage quality and microstructure of seedless white grape stem[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(21): 350–359.]
- [21] 贾乐, 韩延超, 房祥军, 等. 褪黑素处理对香菇采后品质及活性氧代谢的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(23): 229–236. [JIA Le, HAN Yanchao, FANG Xiangjun, et al. Effect of melatonin treatment on postharvest quality and reactive oxygen species metabolism of *Lentinus edodes*[J]. *Food Science*, 2021, 42(23): 229–236.]
- [22] 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. [CAO J K, JIANG W B, ZHAO Y M. Experiment guidance of postharvest physiology and biochemistry of fruit and vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.]
- [23] DANIAL E N, ALKHALAF M I. Co-immobilisation of superoxide dismutase and catalase using an *in vitro* encapsulation protocol[J]. *Journal of King Saud University-Science*, 2020, 32(44): 2489–2494.
- [24] 曹森, 马超, 龙晓波, 等. 1-MCP 结合乙烯吸附剂对蓝莓贮藏品质及生理的影响[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(19): 265–271. [CAO S, MA C, LONG X B, et al. Effect of 1-MCP coupling with ethylene adsorbent treatment on storage quality and physiological of blueberry[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(19): 265–271.]
- [25] 赵治兵, 黄婷婷, 吕嘉瀚, 等. 褪黑素结合丁香酚处理对红桃贮藏品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(23): 341–346. [ZHAO Z B, HUANG T T, LÜ J H, et al. Effect of melatonin coupling with eugenol treatment on storage quality of red *Amygdalus persica*[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(23): 341–346.]
- [26] MATTAR T V, GONÇALVES C S, PEREIRA R C, et al. A shiitake mushroom extract as a viable alternative to NaCl for a reduction in sodium in beef burgers: A sensory perspective[J]. *British Food Journal*, 2018, 120(6): 1366–1380.
- [27] 梁亚丽, 秦礼康, 王何柱, 等. 红托竹荪及竹荪蛋各部位主要营养成分成分分析[J]. *食品与机械*, 2020, 36(4): 72–76, 114. [LIANG Y L, QIN L K, WANG H Z, et al. The analysis of main nutritional and functional components in different parts of fruit bodies and embryo of *Dictyophora rubrovolvata*[J]. *Food & Machinery*, 2020, 36(4): 72–76, 114.]
- [28] ALICIA G R, CRISTINA P C, ESTHER B, et al. Mushrooms do not contain flavonoids[J]. *Journal of Functional Foods*, 2016, 25: 1–13.
- [29] 邵哲, 喻治达, 钟袁源. 红托竹荪菌托黄酮的纯化及其抗氧化与抗疲劳活性研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(1): 315–322. [SHAO Z, YU Z D, ZHONG Y Y, et al. Study on purification, anti-oxidation and anti-fatigue activity of flavonoids from *Dictyophora rubrovolvata*[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2023, 14(1): 315–322.]
- [30] MIRANDA S, VILCHES P, SUAZO M, et al. Melatonin triggers metabolic and gene expression changes leading to improved quality traits of two sweet cherry cultivars during cold storage[J]. *Food Chemistry*, 2020, 319: 126360.
- [31] 马超, 王如福, 徐帆, 等. 不同处理对花菇贮藏品质及抗氧化酶活性的影响[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(10): 271–276. [MA C, WANG R F, XU F, et al. Effect of different treatments on the

quality and antioxidant enzyme activities of *Lentinus edodes* during storage[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(10): 271–276.]

[32] XIE F, YUAN S Z, PAN H X, et al. Effect of yeast mannan treatments on ripening progress and modification of cell wall polysaccharides in tomato fruit[J]. *Food Chemistry*, 2017, 218: 509–517.

[33] LIU H R, MENG F L, MIAO H Y, et al. Effects of postharvest methyl jasmonate treatment on main health-promoting components and volatile organic compounds in cherry tomato fruits[J]. *Food Chemistry*, 2018, 263: 194–200.

[34] 张瑜瑜, 用成健, 刘佳妮, 等. 氯化钙处理对蓝莓果实采后生理代谢及品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2022, 43(3): 87–93.

[ZHANG Y Y, YONG C J, LIU J N, et al. Effects of CaCl_2 treatment on post-harvest physiology and storage quality of blueberry fruits[J]. *Food Research and Development*, 2022, 43(3): 87–93.]

[35] 吕静祎, 张睿, 张梦媛, 等. 茉莉酸甲酯处理对采后苹果果皮活性氧相关代谢的影响[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(7): 271–275, 285. [LÜ J Y, ZHANG R, ZHANG M Y, et al. Effects of methyl jasmonate treatment on related metabolism of reactive oxygen species in the peel of postharvest apple fruit[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39(7): 271–275, 285.]