

抗坏血酸联合乳酸链球菌素复合涂膜保鲜采后双孢蘑菇研究

商立超, 赵凤春, 弓志青, 崔文甲, 周庆新, 王文亮, 王延圣

Preservation of Postharvest *Agaricus bisporus* by V_C/Nisin Composite Coating

SHANG Lichao, ZHAO Fengchun, GONG Zhiqing, CUI Wenjia, ZHOU Qingxin, WANG Wenliang, and WANG Yansheng

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022010071>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

相对湿度对双孢蘑菇贮藏品质的影响

Effect of Relative Humidity on Storage Quality of *Agaricus bisporus*

食品工业科技. 2019, 40(13): 226–230

复合涂膜处理对圣女果的贮藏保鲜效果研究

Preservation Effect of Compound Coating Treatment on Cherry Tomatoes during Storage Time

食品工业科技. 2020, 41(4): 247–251

聚乳酸纳米复合包装对双孢蘑菇保鲜效果的影响

Preservation effect of polylactic acid nano composite packaging on *Agaricus bisporus*

食品工业科技. 2017(17): 260–263

不同脱涩处理对中田大山楂采后贮藏品质的影响

Effects of Different Deastringent Treatments on the Quality of Postharvest Zhongtian Hawthorn

食品工业科技. 2021, 42(17): 316–325

天然复合保鲜涂膜液对卤鸭脖的保鲜效果研究

Preservation Effect of Natural Composite Preservative Coating Liquids on Pot-Stewed Duck's Neck

食品工业科技. 2019, 40(15): 259–264, 270

苦荞粗多糖涂膜处理对中国樱桃的保鲜效果

Preservation Effect of Tartary Buckwheat Crude Polysaccharide Coating on Chinese Cherry

食品工业科技. 2021, 42(14): 296–301



关注微信公众号，获得更多资讯信息

商立超, 赵凤春, 弓志青, 等. 抗坏血酸联合乳酸链球菌素复合涂膜保鲜采后双孢蘑菇研究 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(20): 346–351. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022010071

SHANG Lichao, ZHAO Fengchun, GONG Zhiqing, et al. Preservation of Postharvest *Agaricus bisporus* by V_C /Nisin Composite Coating[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(20): 346–351. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022010071

· 贮运保鲜 ·

抗坏血酸联合乳酸链球菌素复合涂膜保鲜 采后双孢蘑菇研究

商立超^{1,2}, 赵凤春², 弓志青¹, 崔文甲¹, 周庆新¹, 王文亮¹, 王延圣^{1,*}

(1. 山东省农业科学院农产品加工与营养研究所, 农业农村部新食品资源加工重点实验室,
山东省农产品精深加工技术重点实验室, 山东济南 250100;
2. 山东农业大学生命科学学院, 山东泰安 271000)

摘要: 为明确抗坏血酸结合乳酸链球菌素涂膜处理对采后双孢蘑菇子实体贮藏保鲜的效果, 以采后双孢蘑菇为试材, 采用 0.8 g/L 抗坏血酸+0.4 g/L 乳酸链球菌素+5.4 g/L 卡拉胶的复合保鲜剂浸泡 30 s 处理。结果表明, 复合保鲜剂能够有效地减少贮藏期间双孢蘑菇子实体的腐烂率和失重率, 延缓组织褐变, 维持较高的硬度水平; 同时, 能够延缓类黄酮、内源 V_C 、可溶性糖和可溶性蛋白质的降解, 进一步研究表明其能够维持双孢蘑菇组织较强的 ABTS⁺、DPPH 自由基清除能力。该复合保鲜剂较好地维持了采后双孢蘑菇的贮藏品质, 为新型食用菌保鲜剂的开发提供了一定的理论指导。

关键词: 双孢蘑菇, 涂膜处理, 采后, 保鲜效果, 贮藏品质

中图分类号: TS255.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)20-0346-06

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022010071

本文网刊:



Preservation of Postharvest *Agaricus bisporus* by V_C /Nisin Composite Coating

SHANG Lichao^{1,2}, ZHAO Fengchun², GONG Zhiqing¹, CUI Wenjia¹,
ZHOU Qingxin¹, WANG Wenliang¹, WANG Yansheng^{1,*}

(1. Institute of Agricultural Products Processing and Nutrition, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of New Food Resources Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shandong Provincial Key Laboratory of Intensive Processing Technology for Agricultural Products, Jinan 250100, China;
2. College of Life Sciences, Shandong Agricultural University, Taian 271000, China)

Abstract: In order to determine the effect of V_C combined with Nisin coating on postharvest *Agaricus bisporus* fruitum storage and preservation, a composite preservative of 0.8 g/L V_C +0.4 g/L Nisin+5.4 g/L carrageenan was used to soak the fruit body of *Agaricus bisporus* for 30 s. The results showed that the compound preservative could effectively reduce the decay rate and weight loss rate of fruitum of *Agaricus bisporus* during storage, delay the browning of tissue, and maintain a higher level of hardness. At the same time, it could delay the degradation of flavonoids, endogenous V_C , soluble sugar and soluble protein, and further studies showed that it could maintain strong ABTS⁺, DPPH free radical scavenging ability of *Agaricus bisporus* tissue. The compound preservative maintained the storage quality of *Agaricus bisporus* well, and would provide some theoretical guidance for the development of new preservative for edible fungi.

Key words: *Agaricus bisporus*; coating treatment; after harvest; preservation effect; storage quality

收稿日期: 2022-01-11

基金项目: 山东省重大科技创新工程项目 (2021CXGC010809); 山东省农业科学院农业科技创新工程项目 (CXGC2022A36, CXGC2022B07); 山东省食用菌创新团队产后加工岗位专家项目 (SDAIT-07-09)。

作者简介: 商立超 (1995-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 果蔬加工与贮藏, E-mail: shanglc826@163.com。

* 通信作者: 王延圣 (1988-), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向: 果蔬加工与贮藏, E-mail: sdnky_wys@163.com。

双孢蘑菇(*Agaricus bisporus*)又名白色蘑菇、纽扣蘑菇,是世界上分布范围最广和最受欢迎的食用菌之一^[1]。双孢蘑菇含水量高、组织柔嫩,外表面无保护结构,在采收过程中极易受伤,受伤处又极易受到微生物的侵害,导致子实体出现褐变、异味和腐烂等一系列品质下降问题,造成巨大的经济损失^[2-3]。

目前,利用动植物和微生物体内本身存在或代谢产生的天然物质进行保鲜已经有了较多的研究。抗坏血酸,是植物体内一种具有强抗氧化性的多羟基化合物,对活性氧具有很好的清除能力,对果蔬有较好保鲜效果^[4-5]。研究发现,抗坏血酸能够减缓珍稀食用菌竹荪蛋失重率的上升,抑制多酚氧化酶(PPO)活性,使 PPO 活性峰值延缓出现 4 d,同时能够保持竹荪蛋的色泽,维持可溶性蛋白含量^[6]。乳酸链球菌素,是乳酸链球菌产生的一种多肽物质,因其可抑制大多数革兰氏阳性菌被广泛应用于贮藏保鲜中^[7-8]。有报道称,乳酸链球菌素能够抑制平菇的失重率、丙二醛(MDA)含量的上升,维持 PPO 活性处于较低水平,阻止了可溶性固形物含量和感官品质的下降^[9];对滑子菇也具有良好的保鲜效果^[10]。卡拉胶是一种亲水性胶体,具有良好的粘附性,同时对人体无毒无害,作为涂膜保鲜剂中的成膜剂而被广泛应用^[11-12]。鉴于国内双孢蘑菇种植规模的不断加大以及人们对饮食安全需求的提高,开发安全、便捷和高效的天然复合保鲜剂逐渐成为双孢蘑菇物流保鲜领域研究的一大热点。

本文以卡拉胶为成膜剂、抗坏血酸为抗氧化剂以及乳酸链球菌素为抑菌剂制备复合涂膜生物保鲜剂,以白度值、腐烂指数、失重率、硬度、可溶性糖和可溶性蛋白质含量、类黄酮含量、内源 V_C 含量、ABTS⁺和 DPPH 自由基清除率等为评价指标,研究复合保鲜剂对双孢蘑菇贮藏品质的影响,以期为双孢蘑菇等食用菌新型天然保鲜剂的开发提供一定的借鉴指导。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

双孢蘑菇(菌盖直径 5.0 ± 0.5 cm,新鲜且无病虫害) 山东省济南市历城区苏家市场;抗坏血酸 食品级,纯度 99%,上海源叶生物科技有限公司;乳酸链球菌素 食品级,效价 1100 IU/mg,浙江新银象生物工程有限公司;卡拉胶 食品级,河南万邦实业有限公司;考马斯亮蓝 G-250 超级纯,阿拉丁试剂(上海)有限公司;其他试剂 均为分析纯,国药集团化学试剂公司;LW-S500B 型无孔包装盒 规格 $17.5 \text{ cm} \times 13.5 \text{ cm} \times 8.0 \text{ cm}$,福建厦门鲜元包装有限公司。

IN612C 型低温恒温培养箱 重庆雅马拓科技有限公司;UV-6100 型紫外分光光度计 上海元析仪器有限公司;HH-S6 型数显恒温水浴锅 江苏金怡仪器科技有限公司;FSH-2 型可调高速匀浆机 常州市伟嘉仪器制造有限公司;CR-400 型色差仪

河北美能达建材科技有限公司;DTY-ZBJ-40 型制冰机 北京德天佑科技公司;TA.XT.Plus 型质构仪 北京微讯超技仪器技术有限公司;TGL-16A 型离心机 湖南平凡科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品的处理 试验前,挑选大小和形状一致、无机械损伤和病虫害的新鲜双孢蘑菇,随后立即置于 4°C 冷库中预冷 6 h,预冷结束后迅速使用无菌刀片切除多余菌柄使其能平稳放置。5.4 g 卡拉胶粉与 1 L 室温无菌蒸馏水混匀,浸泡 5 h 后边搅拌边加热至 75°C ,待其冷却至室温后加入 0.8 g 抗坏血酸和 0.4 g 乳酸链球菌素,搅拌均匀即得复合保鲜剂。试验时,用复合保鲜剂将双孢蘑菇浸泡 30 s,计时结束后将其移至洁净桌面,待水分蒸发后移入 PET 无孔保鲜盒中,做好标记后一并置于 4°C 低温恒温培养箱中贮藏。在相同试验条件下,以无菌蒸馏水浸泡为对照组(CK)。

1.2.2 测定指标及方法

1.2.2.1 感官品质指标及方法 白度值:利用色差仪对双孢蘑菇伞盖中固定 3 个位点(正三角形顶点)进行白度值测定;腐烂指数:根据 Renata 等^[12]的方法;失重率:采用称重法进行;硬度:参考 Matser 等^[13]的方法并修改,利用质构仪对双孢蘑菇菌盖表面进行测定,提前将菇柄去掉使其稳固在质构仪操作台上,选用直径 2.00 mm 的圆柱形平端探头(P/2),测试点为菌盖中心点,选择压缩测试模式,测前速度 1.00 mm/s、测中和测后速度 2.00 mm/s,下压深度 6.00 mm,接触出发力 5.00 g,力-时间关系曲线图像自动生成,以图像最高峰为硬度指标,每次测定随机选取 50 个子实体。

1.2.2.2 营养品质指标及方法 可溶性糖含量测定:根据 Zhou 等^[14]的方法;可溶性蛋白质含量测定:根据王贵一等^[15]的方法;类黄酮含量测定:根据陈洪生等^[16]的方法;内源 V_C 含量测定:根据夏国灯等^[17]的方法。

1.2.2.3 抗氧化性指标及方法 ABTS⁺自由基清除率测定:根据贾仕杰等^[18]的方法;DPPH 自由基清除率测定:根据 Qian 等^[19]的方法。

1.3 数据处理

试验设置三次重复,结果以平均值 $\pm$ 标准偏差表示。使用 IBM SPSS Statistics 25.0 软件对数据进行方差分析,运用 Duncan 多重比较法对差异显著性进行比较分析, P 表示 LSD 在 0.05 水平的数据,使用 Excel 对数据进行绘图。

2 结果与分析

2.1 抗坏血酸结合乳酸链球菌素涂膜对采后双孢蘑菇感官品质的影响

2.1.1 抗坏血酸结合乳酸链球菌素涂膜对褐变的影响 白度值,可表示褐变程度,白度值越大,表示颜色

越白,褐变越轻^[3],而双孢蘑菇采后极易褐变,因此选用白度值作为子实体褐变程度的评判指标。由图 1 可知,复合保鲜剂组和 CK 组的双孢蘑菇白度值随着贮藏时间的延长而逐渐下降。但是复合保鲜剂组在贮藏期内均高于 CK 组,其数值均在 80 以上,这对于消费者来说是可以接受的^[20]。另外,两组间的差距随贮藏时间增加逐渐变大。具体而言,复合保鲜剂组第 8 d 较第 0 d 仅下降了 10.3%,这明显要低于 CK 组(降幅 26.3%);另外,在第 8 d 保鲜剂组高出 CK 组 21.2%,这说明复合保鲜剂能够延缓双孢蘑菇褐变进程。

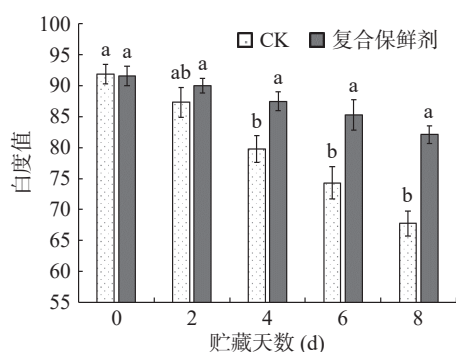


图 1 复合保鲜剂对双孢蘑菇白度的影响

Fig.1 Effects of compound preservative on whiteness of *Agaricus bisporus*

注:同一天字母相同者表示差异未达到显著水平($P>0.05$);字母不同者表示差异达到显著水平($P<0.05$);图 2~图 10 同。

2.1.2 抗坏血酸结合乳酸链球菌素涂膜对腐烂指数的影响 由图 2 可知,总体而言,复合保鲜剂组和 CK 组双孢蘑菇腐烂指数随贮藏时间延长而逐渐增大,但是复合保鲜剂组始终要低于 CK 组。其中,复合保鲜剂组腐烂指数在 2~8 d 内涨幅为 23.9%,要明显低于 CK 组的 31.6%;另外,研究发现两种处理间的差距在第 6 d 达到最大,即复合保鲜剂组低于 CK 组 37.2%。以上说明复合保鲜剂可以降低双孢蘑菇腐烂程度,延长贮藏期。

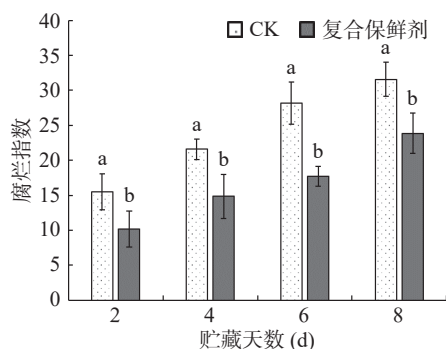


图 2 复合保鲜剂对双孢蘑菇腐烂指数的影响

Fig.2 Effects of compound preservative on decay index of *Agaricus bisporus*

2.1.3 抗坏血酸结合乳酸链球菌素涂膜对失重率的影响 一般认为,双孢蘑菇失重率达 5.0% 及以上即

被视作失去商品价值^[21]。抗坏血酸结合乳酸链球菌素涂膜对失重率的影响如图 3 所示。在贮藏期内,复合保鲜剂组和 CK 组失重率均呈上升趋势,其中,CK 组在贮藏第 6 d 就已超出 5.0%,在第 8 d 更是高达 7.7%;而复合保鲜剂组在控制失重率方面表现良好,即 2~8 d 均在 5.0% 以下,且均低于 CK 组。说明复合保鲜剂有利于减少子实体水分的流失,延缓失重率的增加。

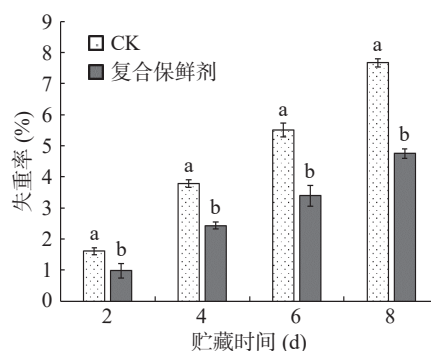


图 3 复合保鲜剂对双孢蘑菇失重率的影响

Fig.3 Effects of compound preservative on weight loss of *Agaricus bisporus*

2.1.4 抗坏血酸结合乳酸链球菌素涂膜对硬度的影响 如图 4 所示,两组处理双孢蘑菇硬度随贮藏时间延长呈下降趋势,说明子实体细胞壁、细胞膜和细胞膨压水平和状态逐渐变差^[22-23],但其中复合保鲜剂组下降缓慢,并始终高于 CK 组,并保持较高的水平,尤其是在第 4 d(441.7 g),高出 CK 组 38.3%。结合图 3 失重率的变化,推测 CK 组在 2~4 d 内硬度迅速下降的原因可能是子实体失去的水分为细菌滋生提供了有利条件,进而导致几丁质酶等细胞壁降解酶活性增加,加速蘑菇组织软化。而复合保鲜剂具有抑菌活性成分,在一定程度上能够延缓双孢蘑菇硬度的下降。

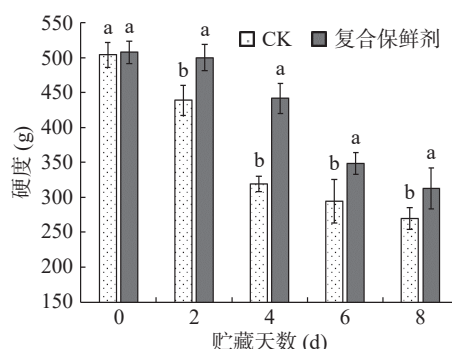


图 4 复合保鲜剂对双孢蘑菇硬度的影响

Fig.4 Effects of compound preservative on hardness of *Agaricus bisporus*

2.2 抗坏血酸结合乳酸链球菌素涂膜对采后双孢蘑菇营养品质的影响

2.2.1 抗坏血酸结合乳酸链球菌素涂膜对可溶性糖含量的影响 可溶性糖可调节机体生长、成熟、衰老

等多个生理过程^[24],与贮藏性等品质密切相关^[25]。如图 5 所示,可溶性糖含量随着贮藏时间延长而逐渐减少,而复合保鲜剂组损失最小。复合保鲜剂组在整个贮藏期内均高于 CK 组,特别是贮藏初期(0~4 d),复合保鲜剂能够明显抑制可溶性糖含量的下降,在第 2 d 复合保鲜剂组要高出 CK 组 30.9%,这可能是由于复合保鲜剂组前期失水较少,代谢平衡还未被完全打破,作为能量提供者的可溶性糖也因此消耗较少。

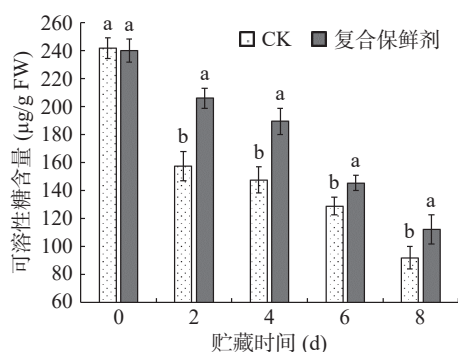


图 5 复合保鲜剂对双孢蘑菇可溶性糖含量的影响

Fig.5 Effects of compound preservative on soluble sugar content of *Agaricus bisporus*

2.2.2 抗坏血酸结合乳酸链球菌素涂膜对可溶性蛋白质含量的影响 可溶性蛋白质作为机体中关键营养和渗透调节物质、以及代谢酶重要组成成分,参与调节多种生理活动,其含量高低能够反映出机体组织的状态^[26]。由图 6 可知,可溶性蛋白质含量一直呈下降趋势,其中,CK 组变化幅度最明显并且损失最多,在第 8 d 仅为第 0 d 的 30.8%;而复合保鲜剂组含量变化缓慢并维持较高的水平,损失幅度低于 CK 组 23.0%,另外,复合保鲜剂组第 8 d 的含量和 CK 组第 4 d 基本一致。综上所述说明了复合保鲜剂能够延缓可溶性蛋白质的降解。

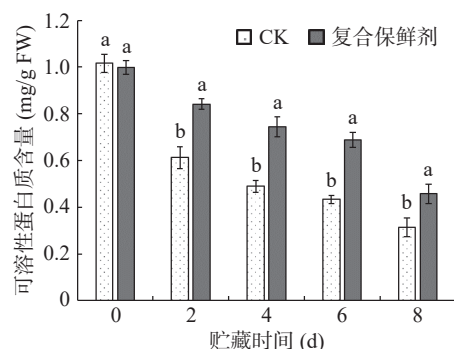


图 6 复合保鲜剂对双孢蘑菇可溶性蛋白质含量的影响

Fig.6 Effects of compound preservative on soluble protein content of *Agaricus bisporus*

2.2.3 抗坏血酸结合乳酸链球菌素涂膜对类黄酮含量的影响 类黄酮具有清除自由基、抗氧化的作用,与机体成熟衰老、抗性形成等生理代谢密切相关^[27]。由图 7 可知,双孢蘑菇类黄酮含量在前 4 d 内先急剧上升后缓慢上升,于第 4 d 达到峰值,高于当天 CK

组 34.1%;而在贮藏期 4~8 d 内先缓慢下降后急剧下降,这可能因为在贮藏后期自由基逐渐积累,类黄酮参与了自由基清除代谢,另外,膜过氧化作用进一步加剧,子实体细胞膜结构破坏严重,加上机体失水过多,以及微生物代谢产物积累导致贮藏环境呈弱酸性^[28],从而抑制了类黄酮积累,但尽管如此,复合保鲜剂组类黄酮含量依然始终高于 CK 组。

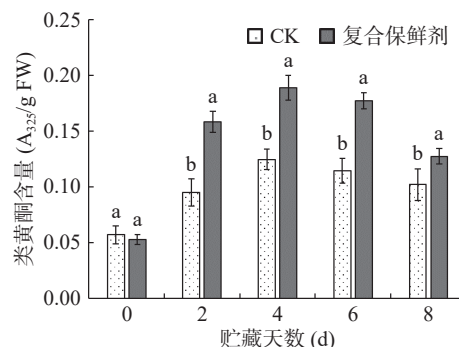


图 7 复合保鲜剂对双孢蘑菇类黄酮含量的影响

Fig.7 Effects of compound preservative on flavonoid content of *Agaricus bisporus*

2.2.4 抗坏血酸结合乳酸链球菌素涂膜对内源 V_C 含量的影响 V_C 具有很强的还原性,是机体内清除自由基的主要代谢物质之一。对贮藏期内双孢蘑菇内源 V_C 含量进行了检测,结果如图 8 所示,双孢蘑菇内源 V_C 含量总体呈下降趋势。但是复合保鲜剂组内源 V_C 含量在 2~8 d 内均高于对照组,在第 4 d 两试验组间差距最大,即复合保鲜剂组含量达到峰值,是当天内 CK 组的 1.2 倍,较贮藏前提高了 2.2%。以上说明复合保鲜剂能够促进内源 V_C 的产生和积累。

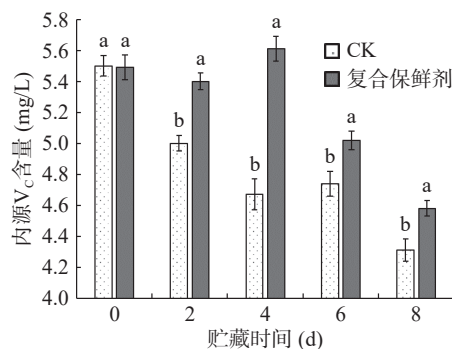


图 8 复合保鲜剂对双孢蘑菇内源 V_C 含量的影响

Fig.8 Effects of compound preservative on endogenous V_C content of *Agaricus bisporus*

2.3 抗坏血酸结合乳酸链球菌素涂膜对采后双孢蘑菇抗氧化的影响

2.3.1 抗坏血酸结合乳酸链球菌素涂膜对 ABTS⁺自由基清除率的影响 由图 9 可知,随着贮藏时间的不断延长,ABTS⁺自由基清除率呈现先短暂上升后下降的趋势。复合保鲜剂组和 CK 组均有所上升,但复合保鲜剂组上升幅度要高于 CK 组;虽然在第 2 d 后该能力开始下降,但是复合保鲜剂组下降速度要远低

于 CK 组。另外,复合保鲜剂组在整个贮藏期内均高出 CK 组,在第 2 d 达到峰值(90.3%),高出当天 CK 组 5.3%。说明复合保鲜剂可有效延缓双孢蘑菇 ABTS⁺自由基清除能力的降低。

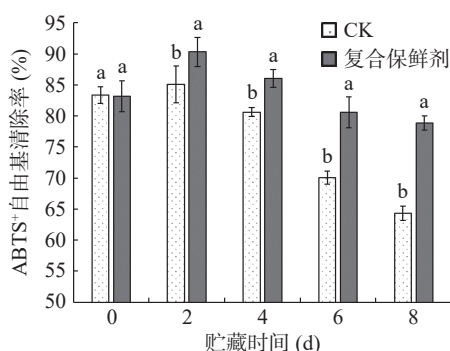


图9 复合保鲜剂对双孢蘑菇 ABTS⁺自由基清除率的影响
Fig.9 Effect of compound preservative on ABTS⁺ free radical scavenging rate of *Agaricus bisporus*

2.3.2 抗坏血酸结合乳酸链球菌素涂膜对 DPPH 自由基清除率的影响 由图 10 可知,双孢蘑菇 DPPH 自由基清除率呈现逐渐下降趋势,其中,CK 组下降较为迅速,其贮藏末期是第 0 d 的 57.3%,而复合保鲜剂组是缓慢下降,较贮藏初期仅下降了 25.2%。另外,复合保鲜剂组始终高于 CK 组,其与 CK 组间的差距在贮藏第 6 d 达到最大,高出 CK 组 16.5%,并且在贮藏末期,涂有复合保鲜剂的双孢蘑菇对 DPPH 自由基清除率依然高达 66.1%。以上表明复合保鲜剂能够在延缓机体 DPPH 自由基清除能力的下降。

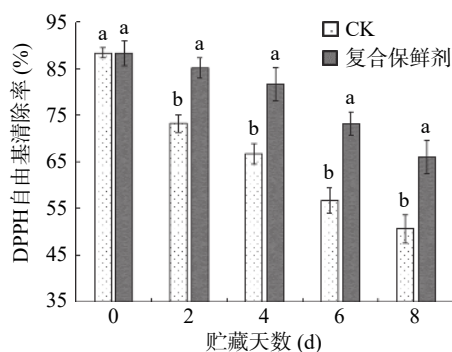


图10 复合保鲜剂对双孢蘑菇 DPPH 自由基清除率的影响
Fig.10 Effects of compound preservative on DPPH free radical scavenging rate of *Agaricus bisporus*

3 结论

本研究使用配方为抗坏血酸 0.8 g/L、乳酸链球菌素 0.4 g/L 和卡拉胶 5.4 g/L 的复合涂膜保鲜剂浸泡双孢蘑菇后,在 4 °C 低温和 PET 无孔保鲜盒包装下贮藏至第 8 d。与蒸馏水处理组相比较,复合保鲜剂能够延缓双孢蘑菇褐变和腐烂进程,降低失重率,维持较高的硬度水平,同时能够延缓可溶性糖和可溶性蛋白质含量下降;另外,能够促进类黄酮和内源 V_C 的有效积累,并提高对 ABTS⁺和 DPPH 自由基的清除率,降低氧化损伤,最大程度地保证双孢蘑菇在

流通、销售过程中具有较好的商品价值。

本实验围绕双孢蘑菇低温贮藏条件下感官品质、营养品质和抗氧化性的变化进行了分析,未来将针对次级产物代谢和能量水平等方面展开系列研究,以便能够全面的揭示抗坏血酸联合乳酸链球菌素涂膜处理对双孢蘑菇的保鲜作用机理,为食用菌新型天然复合保鲜剂的研发提供理论基础。

参考文献

- [1] CHEN M Y, LIAO J H, LI H, et al. ITRAQ-MS/MS proteomic analysis reveals differentially expressed proteins during post-harvest maturation of the white button mushroom *Agaricus bisporus* [J]. *Current Microbiology*, 2017, 74(5): 641–649.
- [2] 孔琪,穆宏磊,韩延超,等. 反相悬浮聚合法制备相变蓄冷材料及其应用[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(24): 284–292. [KONG Q, MU H L, HAN Y C, et al. Preparation of phase change cold storage materials by reverse suspension polymerization and its application[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(24): 284–292.]
- [3] 代惠芹,董桂君,刘树泽,等. 褪黑素处理对双孢蘑菇采后贮藏品质的影响[J]. *食用菌学报*, 2021, 28(6): 143–149. [DAI H Q, DONG G J, LIU S Z, et al. Effects of melatonin treatment on storage quality of *Agaricus bisporus* after harvest[J]. *Acta Edible Fungi Sinica*, 2021, 28(6): 143–149.]
- [4] LO'AY A A, EL-KHATEEB A Y. Antioxidant enzyme activities and exogenous ascorbic acid treatment of 'Williams' banana during longterm cold storage stress[J]. *Scientia Horticulturae*, 2018, 234: 210–219.
- [5] 敖敏,王艳颖,郎萍,等. 抗坏血酸处理对鲜切莴苣生理生化的影响[J]. *现代园艺*, 2020, 43(19): 45–47. [AO M, WANG Y Y, LANG P, et al. Effects of ascorbic acid treatment on physiology and biochemistry of fresh cut lettuce[J]. *Modern Horticulture*, 2020, 43(19): 45–47.]
- [6] 魏岸,徐彦军,徐俐,等. 不同保鲜剂对竹荪蛋的保鲜效果[J]. *现代食品技*, 2019, 35(8): 114–120. [WEI A, XU Y J, XU L, et al. Effects of different preservatives on preservation of *Dictyophora indusiata* (Vent. ex Pers) Fisch eggs[J]. *Modern Food Technology*, 2019, 35(8): 114–120.]
- [7] 徐俊进,金陈斌,陈小龙. 新型绿色防腐剂乳酸链球菌素[J]. *浙江农业科学*, 2017, 58(6): 1005–1007. [XU J J, JIN C B, CHEN X L. New green preservative *Streptococcus lactin*[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2017, 58(6): 1005–1007.]
- [8] 王佳宇,胡文忠,管玉格,等. 乳酸链球菌素抑菌机理及在食品保鲜中的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(3): 346–350. [WANG J Y, HU W Z, GUAN Y G, et al. Research progress on antibacterial mechanism of *Streptococcus lactin* and its application in food preservation[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(3): 346–350.]
- [9] 邓梦琴,王大平. 生物保鲜剂 Nisin 对平菇保鲜效果的影响[J]. *贵州农业科学*, 2014, 42(3): 130–132. [DENG M Q, WANG D P. Effects of biological preservative Nisin on preservation effect of *Pleurotus ostreatus*[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2014, 42(3): 130–132.]
- [10] 郭端,朱丹,宋静雅,等. 可食性复合涂膜对滑子菇采后贮藏

- 品质的影响[J]. 现代食品科技, 2018, 34(2): 149–156. [GUO R, ZHU D, SONG J Y, et al. Effects of edible composite coating on storage quality of *Pholiota nameko*[J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(2): 149–156.]
- [11] 柏韵, 李然, 郭雪松, 等. 复合涂膜处理对中国对虾保鲜的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(9): 278–282, 289. [BAI Y, LI R, GUO X S, et al. Effects of composite coating on preservation of *Fenneropenaeus chinensis*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(9): 278–282, 289.]
- [12] RENATA M T, VIJAYA R, MORAES C C D, et al. Bio-based active packaging: Carrageenan film with olive leaf extract for lamb meat preservation[J]. Foods, 2020, 9(12): 1759.
- [13] MATSER A M, KNOTT E R, TEUNISSEN P G M, et al. Effects of high isostatic pressure on mushrooms[J]. *Journal of Food Engineering*, 2000, 45(1): 11–16.
- [14] ZHOU D D, CHEN S X, XU R, et al. Interactions among chilling tolerance, sucrose degradation and organic acid metabolism in UVC-irradiated peach fruit during postharvest cold storage[J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2019, 41(6): 41–79.
- [15] 王贵一, 孟嘉璐, 许文静, 等. 不同品种芒果的营养成分及风味物质分析[J]. 食品工业科技, 2022, 43(1): 71–79. [WANG G Y, MENG J J, XU W J, et al. Analysis of nutritional components and flavor of mango[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(1): 71–79.]
- [16] 陈洪生, 国慧, 刁静静, 等. 绿豆皮中黄酮类化合物的抗氧化活性及其结构分析[J]. 食品工业科技, 2022, 43(2): 35–41. [CHEN H S, GUO H, DIAO J J, et al. Antioxidant activity and structure analysis of flavonoids from Mung bean peel[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(2): 35–41.]
- [17] 夏国灯, 严成, 李林柯, 等. 采用 Box-Behnken 设计优化玫瑰花酵素发酵工艺及其抗氧化活性的测定[J]. 食品工业科技, 2021, 42(13): 9. [XIA G D, YAN C, LI L K, et al. Optimization of fermentation process of rose enzyme and its antioxidant activity by box-behnken design[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(13): 9.]
- [18] 贾仕杰, 张海华, 张焕, 等. 东北 6 种红树莓叶酚类化合物的鉴定及抗氧化活性分析[J]. 食品科学, 2019, 40(20): 227–233. [JIA S J, ZHANG H H, ZHANG H, et al. Identification and antioxidant activity analysis of phenolic compounds from six red raspberry leaves in northeast China[J]. *Food Science*, 2019, 40(20): 227–233.]
- [19] QIAN J Y, CHEN S B, HUO S H, et al. Impact of pulsed magnetic field treatment on enzymatic inactivation and quality of cloudy apple juice[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2021, 58(8): 2982–2991.
- [20] WU S J, NIE Y, ZHAO J H, et al. The synergistic effects of low-concentration acidic electrolyzed water and ultrasound on the storage quality of fresh-sliced button mushrooms[J]. *Food and Bio-process Technology*, 2018, 11(2): 314–323.
- [21] 牛远洋, 罗安伟, 刘焕军, 等. 番茄新鲜度与其挥发性成分的关系研究[J]. 现代食品科技, 2016, 32(5): 322–331. [NIU Y Y, LUO A W, LIU H J, et al. Study on the relationship between tomato freshness and volatile components[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2016, 32(5): 322–331.]
- [22] PANIAGUA A C, EAET A R, HINDMARSH J P, et al. Moisture loss is the major cause of firmness change during postharvest storage of blueberry[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2013, 79: 13–19.
- [23] CHEN L, OPARA U L. Texture measurement approaches in fresh and processed foods-a review[J]. *Food Research International*, 2013, 51(2): 823–835.
- [24] KOCH K E, ZENG Y, YONG W, et al. Multiple paths of sugar-sensing and a sugar/oxygen overlap for genes of sucrose and ethanol metabolism[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2000(51): 417–427.
- [25] 温小礼, 张伟, 周巧丽, 等. 肉桂醛熏蒸处理对香菇采后生理和品质的影响[J]. 中国食品学报, 2014, 14(8): 190–196. [WEN X L, ZHANG W, ZHOU Q L, et al. Effects of cinnamaldehyde fumigation on postharvest physiology and quality of *Lentinus edodes*[J]. *Chinese Journal of Food Science*, 2014, 14(8): 190–196.]
- [26] WANG Q, CHU L, KOU L. UV-C treatment maintains quality and delays senescence of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) [J]. *Scientia Horticulturae*, 2017, 225: 380–385.
- [27] LU Y, ZHANG J, WANG X, et al. Effects of UV-C irradiation on the physiological and antioxidant responses of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) during storage[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2016, 51(6): 1502–1508.
- [28] 刘容, 崔媛媛. UV-C 照射与壳聚糖涂膜对鲜切淮山的保鲜效果[J]. 食品科学, 2021, 42(3): 289–295. [LIU R, CUI Y Y. Effects of UV-C irradiation and chitosan coating on fresh-cut Huai-shan[J]. *Food Science*, 2021, 42(3): 289–295.]