

不同包装方式对低温贮藏平菇生理特性和细胞壁变化的影响

李甜竹, 郝永胜, 甘德芳, 陈友根, 胡克玲*

(安徽农业大学园艺学院, 合肥 230036)

摘要: 为探讨低温贮藏下不同包装方式对平菇生理特性及细胞壁变化的影响, 将平菇置于5℃冰箱中冷藏, 分别以敞口PE保鲜袋和封口PE保鲜袋进行试验, 以完全裸露放置作为对照, 分析贮藏期间不同包装方式对平菇的感官品质、丙二醛(MDA)含量、可溶性蛋白质含量、抗氧化酶活性, 细胞壁代谢相关酶活性等指标的影响, 并对平菇进行石蜡切片, 观察其细胞壁的微观结构变化。结果表明, 随着贮藏时间的延长, 与对照相比, PE保鲜袋处理的平菇保鲜效果显著提升, 明显抑制了失重率、MDA含量的增加, 减缓了硬度、白度(HW)值的增大, 降低了蛋白质含量的损失, 延缓了过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)和纤维素酶(Cx)活性峰值的出现, 更好地保持了平菇的品质。在整个处理组中, 平菇的HW值、失重率、MDA含量不断增大且封口处理低于敞口处理; 硬度值逐渐减小, 封口处理硬度较敞口处理低; 蛋白质含量呈现先升高后降低的趋势, 封口处理蛋白质含量显著低于敞口处理; POD活性先升后降, 在0~4 d, 封口处理POD活性高于敞口处理, 4~8 d急速下降且低于敞口处理; CAT活性呈现先降再增的趋势, 贮藏前期0~2 d与贮藏后期第6至第8天CAT活性较高, 0~6 d敞口处理高于封口处理, 后低于封口。通过对平菇菌褶石蜡切片发现, 伴随着采后贮藏天数的增加, 平菇子实体细胞结构变得杂乱无序、模糊不清, 细胞间隙变大, 且封口处理比敞口处理细胞结构有序、规整。由此可知, 低温贮藏下, PE包装处理贮藏效果明显优于全部裸露放置, 封口包装保鲜效果优于敞口保鲜效果。

关键词: 平菇; 低温贮藏; PE保鲜袋; 细胞壁

中图分类号: S646.14; S609.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2019)06-1055-07

Effects of different packaging methods on physiological characteristics and cell wall changes of oyster mushroom(*Pleurotus ostreatus*) stored at low temperature

LI Tianzhu, HAO Yongsheng, GAN Defang, CHEN Yougen, HU Keling

(School of Horticulture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

Abstract: In order to study the effects of different packaging methods on the physiological characteristics and cell wall changes of oyster mushrooms under low temperature storage, the oyster mushrooms were placed in a refrigerator at 5℃ packed with an opened PE bag and a sealed PE bag, respectively, taken a completely bare place as the control. The variations of sensory grade, malondialdehyde (MDA) content, soluble protein content, antioxidant enzyme activity, and the activities of enzymes related to cell wall metabolism were analyzed. The oyster mushrooms were made into paraffin sections to observe the changes of microstructure of the cell wall. The results showed that: as compared with the control group, with the prolongation of storage time, the PE-packed bag treatment could significantly improve the fresh-keeping effect of oyster mushrooms, which obviously inhibited the increase of weight loss rate and MDA content, slowed down the increase of hardness and whiteness (HW), reduced the loss of protein content, delayed the appearance of peak values of peroxidase (POD), catalase (CAT) and cellulase (Cx), and better maintained the quality of oyster mushrooms. The HW value, weight loss rate and MDA content of oyster mushrooms increased continuously in the treated groups, and which in the opened PE-packed group were lower than those in the sealed PE-packed one. The hardness of the oyster mushrooms decreased

收稿日期: 2019-03-20

基金项目: 安徽省重点研究与开发计划(201834040011), 安徽省教育厅自然科学研究重点项目(KJ2018A0154), 安徽省高等学校自然科学研究重点项目(KJ2015A025), 安徽农业大学省级大学生创新创业训练计划(201810364185)和安徽农业大学校级教学研究项目(2017aujxym098)共同资助。

作者简介: 李甜竹, 硕士研究生。E-mail: 961802825@qq.com

* 通信作者: 胡克玲, 博士, 副教授。E-mail: klhu@ahau.edu.cn

gradually, and which in the opened PE bag was lower than that in the sealed one. The protein content in the mushrooms increased firstly and then decreased, and which in the sealed PE-bag was significantly lower than that in the opened one. The POD activity in the oyster mushrooms increased firstly and then decreased. In the first 4 days, the POD activity in oyster mushrooms with the sealed PE-bag treatment was higher than that with the opened PE-bag treatment, however, from the 4th day to the 8th day, it decreased sharply and was lower than that with the opened PE-bag treatment. The CAT activity showed a trend of decreasing firstly and then increasing, which was higher in the early stage (0-2 d) and the later stage of storage (6-8 d). In the first 6 days, the CAT activity in oyster mushrooms with the opened PE-bag treatment was higher than with the sealed PE-bag treatment, and then vice versa. Through observing the paraffin sections of oyster mushrooms, it was found that the cell structure of fruiting body of oyster mushrooms became disordered and blurred, and the cell gap became larger with the increase of storage time, and which with the sealed PE-bag treatment was more orderly and regular than that with the opened PE-bag treatment. Therefore, it was concluded: at low temperature, the storage effect of PE packaging is obviously better than that of the exposed one, and that the fresh-keeping effect of the sealed PE packaging is better than that of the opened PE one.

Key words: oyster mushroom; low temperature storage; PE storage bag; cell wall

平菇 (*Pleurotus ostreatus*) 又名侧耳, 是我国栽培最广泛的食用菌之一。平菇风味独特、营养丰富, 含有活性多糖及蛋白多糖体等多种活性成分, 可提高人体免疫能力, 对癌细胞具有较强的抑制作用^[1]。而新鲜的平菇子实体含水量高, 质地脆嫩, 采收后极易丧失商品价值^[2-3], 货架期非常短^[4]。

低温贮藏是目前国内外食用菌保鲜最常用的方法之一。低温抑制菌柄伸长和菌盖开伞, 减缓酶活性和微生物生长, 降低呼吸作用, 防止食用菌采后失水, 减少失重率和干物质的损耗, 有效抑制蛋白质的分解^[5]。田平等^[6]对采后杏鲍菇抗氧化酶活性的研究表明, 适宜的低温可减慢菇体自由基等有害物质的形成及积累速度。相关研究表明, 低温影响细胞壁显微、超微结构变化, 推迟细胞壁膨胀等衰老现象的发生, 使细胞壁得到保护^[7]。谭志勇等^[8]对食用菌不同贮藏保鲜效果的研究表明, 低温使食用菌的保鲜时间明显延长。

保鲜袋具有操作简便、成本低等优点^[9], 在食用菌包装上应用较为广泛。以聚乙烯 (PE) 为原料的包装袋可减少食用菌水分散失, 保持菇体重量和硬度^[10], 达到较好的保鲜效果^[11]。目前, 应用保鲜袋保鲜的食用菌主要有双孢蘑菇、香菇、草菇、杏鲍菇及平菇等^[12]。研究发现 PE 袋包装的双孢蘑菇, 20℃条件下贮藏 36 h 能有效减缓失水^[13]。保鲜袋可有效地让白玉菇保持较好的感官品质、较高的硬度及 CAT 活性, 降低失重率^[14]。由于 PE 保鲜袋具有良好的透气性和阻湿性, 采用 PE 袋包装香菇更有利于香菇的保鲜贮藏^[15]。陈蔚辉等^[16]对金针菇保鲜效果的研究表明, 保鲜袋包装的金针菇呼吸代谢和蒸腾作用被显著降低, 营养成分损失更小, 保鲜寿命延长。

低温结合 PE 包装能明显提高食用菌的保鲜效

果, 延长贮藏期限^[17-18]。王步江^[19]研究表明, 在 (4±1)℃下, PE 包装双孢菇可较好地保持其外观品质, 降低贮藏期间 MDA 浓度, 减弱膜脂过氧化程度, 增强抗氧化性。低温条件下, PE 包装对降低松露的失重率、硬度和呼吸强度有较好的效果, 并延缓必需氨基酸的减少^[20]。4℃下, PE 密封包装可防止香菇硬度增大^[21]。张海军^[22]认为低温贮藏加上适宜的包装可以使杏鲍菇、白灵菇、滑菇等食用菌的贮藏效果明显提升。但低温条件下不同包装方式对食用菌保鲜的研究仍然很少。因此, 开展低温贮藏平菇不同的包装方式具有重要的意义。作者拟以低温结合 PE 保鲜袋不同包装方式处理来贮藏平菇, 研究低温下不同包装方式对平菇白度、硬度、失重率、蛋白质含量、MDA 含量、CAT、POD 及 Cx 活性的影响, 以及采后贮藏过程中细胞的结构变化。从外观形态、抗氧化酶活性、细胞壁代谢相关酶活性、微观形态等方面, 对平菇贮藏保鲜方式进行研究, 以期对平菇的保鲜、贮藏及加工提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

在安徽农业大学食用菌培养中心培养试验材料, 选用平菇品种为“早秋 615”。选取菌盖充分展开, 边缘紧收, 菌盖直径 5 cm 左右, 自然色泽, 下凹部分开始出现白色毛状物的平菇适时采收, 采收完迅速运往实验室进行相关处理。

包装袋从市场购买, 选取材质为 HPPE、尺寸为 35 cm×25 cm 的大号食品包装袋。将预冷 24 h 的新鲜平菇平均称重分成 3 组, 分别装于同样规格同样大小的保鲜袋中, 对照置于保鲜袋上不进行任何处理。分别将 3 组处理放于 5℃的恒温生物冰箱中的同一层进行冷藏, 隔天对各指标进行测定。

1.2 方法

1.2.1 白度(HW) 参照程丹的方法^[23]。采用 WSC-S 型色差计, 测定平菇的色差 (a^* , L^* , b^* 值), 以 HW 表示白度, $HW=100-[(100-L^*)^2+b^{*2}+a^{*2}]\times 1/2$, 白度 (HW) 值越小, 表明平菇褐变越严重。

1.2.2 硬度 硬度测定使用 CT3 质构仪进行检测, 方法采用 TPA 质构分析对平菇菇盖进行测定分析, 设置目标为 4.0 mm、触发点负载 0.07 N、测试速度 $0.50\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ 、返回速度 $0.5\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ 、探头选取 TA44 型号、夹具选取 TA-RT-KIT 型号。

1.2.3 失重率 将平菇平均称重, 每个处理分成 4 份, 隔天测定重量变化。失重率 (%) = (贮藏前质量 - 贮藏后质量) / 贮藏前质量 $\times 100\%$ 。

1.2.4 MDA 含量 参考曹健康等^[24]的方法修改。取 0.5 g 样, 研磨并定容至 5 mL, $4\ 500\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心 10 min, 提取上清液加 TBA, 沸水浴 10 min 迅速冷却, $4\ 500\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 下离心 10 min, 取上清液测 OD_{532} 和 OD_{600} 值。

1.2.5 蛋白质含量 参照李合生^[25]的方法修改。取 0.5 g 样, 加入蒸馏水研磨并定容。 $4\ 000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心 15 min, 上清液用蒸馏水定容。吸取提取液加入考马斯亮蓝 G-250 蛋白试剂, 测 595 nm 吸光度。并通过标准曲线查得待测样品提取液中的蛋白质含量。

1.2.6 POD、CAT 活性 参照 Hu 等^[26]的方法。

1.2.7 Cx 活性 参照刘德海等^[27]的方法修改。取 0.5 g 样, 用蒸馏水研磨并定容至 25 mL, 酶液稀释 10 倍。取 4 支试管, 各加入羧甲基纤维素钠溶液 2 mL, 50°C 保温 3 min, 向空白管加入 DNS 2.5 mL, 测定管各加入酶液 0.5 mL, 立即 50°C 保温 30 min, 再于空白管中加 0.5 mL 酶液。3 支样品管各加 2.5 mL DNS, 沸水浴 10 min, 以空白管调零, 测 OD_{540} 值。

1.2.8 平菇石蜡切片制作 每隔 24 h 从 5°C 生物冰箱中各取封口处理、敞口处理和对照处理的平菇一枚。在菌盖处剪下 $0.5\text{ cm}\times 0.5\text{ cm}$ 大小部位, 放入标本瓶。倒入 FAA 固定液浸没材料, 于 4°C 冰箱中固定 24 h 以上。随后将平菇组织取出, 将目的部位组织修整放于脱水盒内, 将脱水盒放进吊篮里于脱水机内依次梯度酒精进行脱水浸蜡。将浸好蜡的平菇组织于包埋机内进行包埋, 最后将修整好的蜡块置于石蜡切片器切片, 用苯胺蓝染液对切片进行染色, 中性树脂进行封片^[28]。

1.2.9 数据分析 采用 Excel 和 SPSS17.0 进行作图和数据差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对平菇白度 (HW) 的影响

白度 (HW) 反映了平菇贮藏过程中颜色变化与褐变的关系, HW 值越小, 褐变越严重^[23]。由图 1 可知, 随着贮藏时间的延长, 各处理组 HW 值逐渐下降, 可能是多酚氧化酶在有氧和底物存在时, 会催化无色的含酚基化合物氧化成醌红色至褐色的酶促反应, 也有可能是氧化反应过程中菇体变褐变棕的非酶促褐变^[29]。对照组在第 2 天失去贮藏价值。处理组在 0~2 d 下降较快, 2~8 d 下降缓慢并趋于平稳。整个贮藏期间, 封口处理的白度大于敞口且差异性不显著 ($P>0.05$), 可能是因为敞口处理内平菇水分较封口低, 与质量损失率有关的水分聚合, 为酶促褐变提供了有利条件, 导致敞口组白度下降更多, 这与 Taghizadeh 等^[30]的结论相一致。综合可知, 封口处理对平菇白度保持效果较敞口好。

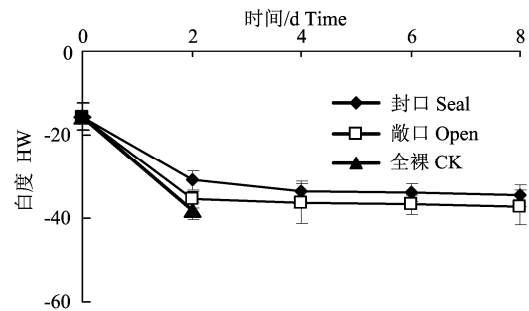
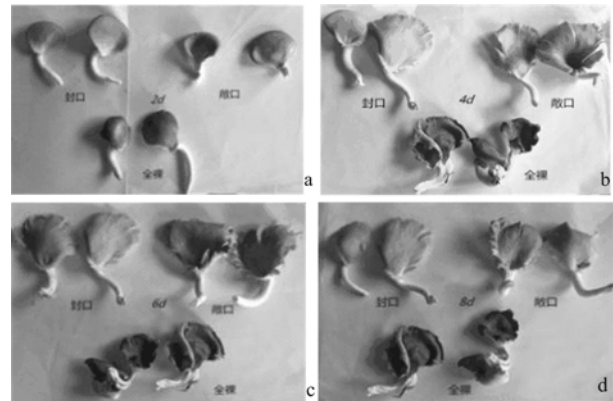


图 1 不同处理对平菇白度的影响

Figure 1 Effects of different treatments on the whiteness of oyster mushrooms



a: 第 2 天各处理外观形态; b: 第 4 天各处理外观形态; c: 第 6 天各处理外观形态; d: 第 8 天各处理外观形态

a: appearance of oyster mushrooms in each treatment on the 2nd day; b: appearance of oyster mushrooms in each treatment on the 4th day; c: appearance of oyster mushrooms in each treatment on the 6th day; d: appearance of oyster mushrooms in each treatment on the 8th day

图 2 不同处理对平菇外观形态的影响

Figure 2 Effects of different treatments on the appearance of oyster mushrooms

由图2可知,在平菇贮藏过程中,对照组在第2天(图2-a)迅速失去感官品质,菇体失水皱缩严重,硬度增大,处于风干状态。与对照相比,处理组的平菇在色泽、气味、开伞率及完整度等方面明显表现较好,封口处理的感官整体优于敞口处理。综上所述可知,封口处理对维持平菇外观形态效果较好。

2.2 不同处理对平菇硬度的影响

硬度是反映平菇贮藏品质的重要指标^[31],随着平菇贮藏时间推迟,不同处理平菇硬度均呈下降趋势(图3)。对照组在0~2 d硬度变化不明显且在第2天失去商品价值。0~4 d处理组硬度均下降较快,4~8 d趋于平缓,敞口值大于封口。2~4 d封口组和敞口组差异性显著($P<0.05$),6~8 d差异性不显著($P>0.05$)。封口处理整体低于敞口,可能是由于PE密封包装是一个封闭的环境,平菇呼吸结露使袋内存在水珠,使菇体表面积水,造成硬度下降^[32]。综合分析,封口处理能较好地防止采后平菇硬度增大。

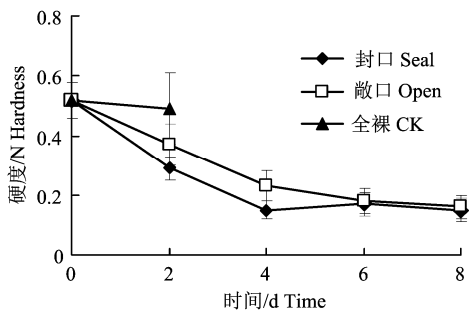


图3 不同处理对平菇硬度的影响

Figure 3 Effects of different treatments on the hardness of oyster mushrooms

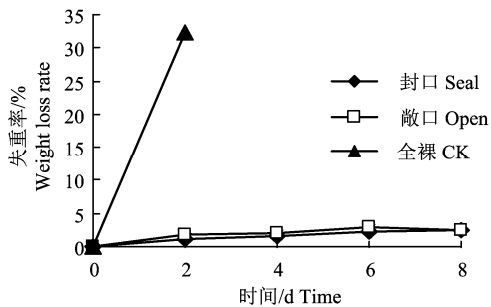


图4 不同处理对平菇失重率的影响

Figure 4 Effects of different treatments on the weight loss rate of oyster mushrooms

2.3 不同处理对平菇失重率的影响

食用菌采后失水严重,水分的散失造成子实体重量减轻、鲜度下降^[31]。由图4可知,在平菇采后贮藏过程中,失重率逐渐上升且敞口大于封口。对照在0~2 d失重率急速上升,随后即失去可食用价

值,处理组失重率在0~8 d波动平稳,且差异性不显著($P>0.05$),说明PE包装能有效延缓物质代谢,减少菇体水分散失,有利于保持菇体重量,这与阎瑞香等^[10]的结论相一致。综上所述,PE包装更有助于抑制平菇失重率的上升,且封口、敞口影响不大。

2.4 不同处理对平菇MDA含量的影响

丙二醛(MDA)是膜脂过氧化最重要的产物之一,它的产生能加剧膜的损伤,MDA含量越低,抗氧化性越强^[33]。随着时间推迟,对照的MDA含量在0~2 d上升后随即失去商品价值(图5),因为PE保鲜袋可降低膜脂过氧化产物的含量,延缓菇体衰老^[34]。处理组MDA逐渐上升,在0~4 d和6~8 d上升较快,4~6 d趋于平缓。敞口MDA含量整体高于封口,且增长速率大于封口,这可能是封口处理平菇水分含量较大,膜透性减小,膜脂过氧化程度低,导致MDA含量低于敞口。由此可见PE包装结合低温可以有效抑制MDA的产生,这与王阳等^[35]的研究结论一致,且封口处理在平菇采后贮藏中更能抑制MDA含量的增加,膜脂过氧化影响更小。

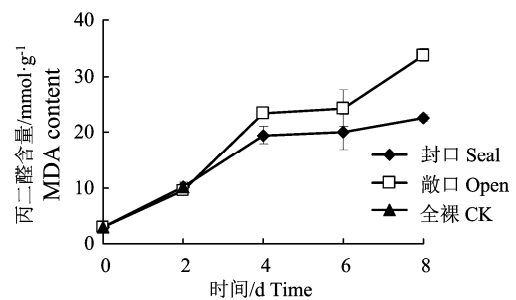


图5 不同处理对平菇MDA含量的影响

Figure 5 Effects of different treatments on the MDA content in oyster mushrooms

2.5 不同处理对平菇蛋白质含量的影响

可溶性蛋白质含量是反应食用菌贮藏品质的关键指标^[36]。由图6可知,处理组的蛋白质含量呈现先增加再降低的趋势,贮藏前期蛋白质以合成为主,随着贮藏时间的延长,菇体没有了外界养分供应,水分逐渐散失,并伴随着蛋白质的降解,品质下降^[37]。对照组在0~2 d蛋白质含量显著增加且高于处理组,这可能是因为可溶性蛋白质含量的变化一方面是蛋白质的水解,另一方面是细胞器中蛋白质释放的游离蛋白,处理组因为低温和保鲜袋的作用,有效抑制了细胞器中蛋白质的释放,导致蛋白质含量低于对照组,这与田平平的结论相符^[34]。0~2 d封口含量显著低于敞口且略微下降,4~8 d两处理均快速下降,且敞口仍高于封口,差异性不显著($P<0.05$)。由此可知,敞口处理的平菇蛋白质含量更高。

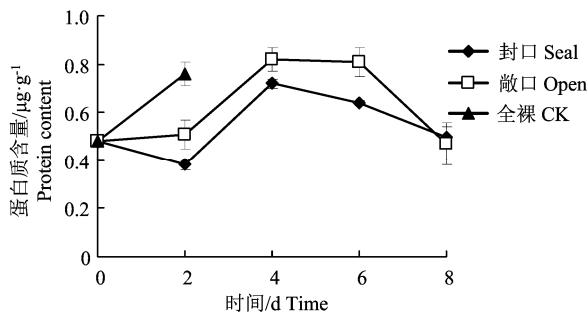


图 6 不同处理对平菇蛋白质含量的影响

Figure 6 Effects of different treatments on the protein content in oyster mushrooms

2.6 不同处理对平菇 POD 活性的影响

过氧化物酶 (POD) 作为组织老化的一种生理指标, 可以催化食用菌组织内低浓度的过氧化氢 (H_2O_2) 氧化, 使组织免受毒害^[38]。在整个贮藏过程中, 平菇的 POD 活性先增加后降低, 在第 4 天时达到了峰值 (图 7)。对照组在 0~2 d 显著高于处理组, 后失去贮藏价值。0~4 d 封口 POD 活性显著高于敞口, 4~6 d 均快速下降, 贮藏后期第 6 至第 8 天趋于平稳且敞口高于封口, 差异性不显著 ($P > 0.05$)。PE 处理较好地推迟了平菇 POD 活性高峰, 并且低温在一定程度上抑制了 POD 活性的降低^[35]。由此可知, 封口处理 POD 活性更高, 抗氧化能力更强, 更能有效地延缓平菇采后组织衰老。

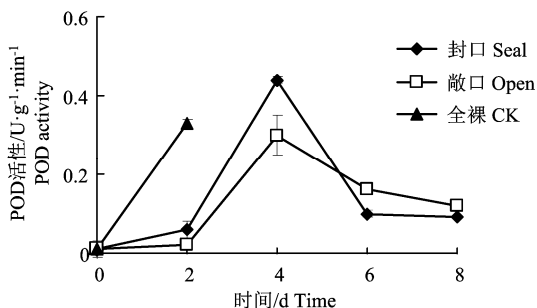


图 7 不同处理对平菇 POD 活性的影响

Figure 7 Effects of different treatments on POD activity in oyster mushrooms

2.7 不同处理对平菇 CAT 活性的影响

由图 8 可知, 处理组的 CAT 活性呈现先降再升的趋势。贮藏前期, 低温和 PE 包装有利于维持平菇呼吸强度处于较低水平, 减缓自由基等有害物质的形成及累积速度, 因此 CAT 略有降低, 而后期较高的 CAT 活性有助于提高平菇子实体抗氧化能力^[34]。对照组在 0~2 d 迅速增加, 显著高于处理组, 且在第 2 天失去商品价值。在 0~2 d, 敞口 CAT 含量高于封口, 差异性不显著 ($P > 0.05$)。2~4 d 两处理均

下降, 随后逐渐上升, 封口超过敞口, 差异性不显著 ($P > 0.05$)。由此分析得知, 在贮藏前期, 敞口处理的 CAT 活性高于封口, 后期封口显著高于敞口。

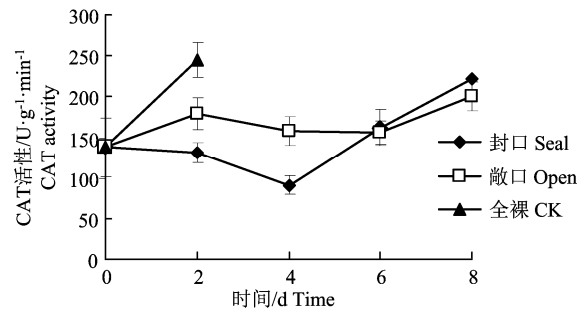


图 8 不同处理对平菇 CAT 活性的影响

Figure 8 Effects of different treatments on the CAT activity in oyster mushrooms

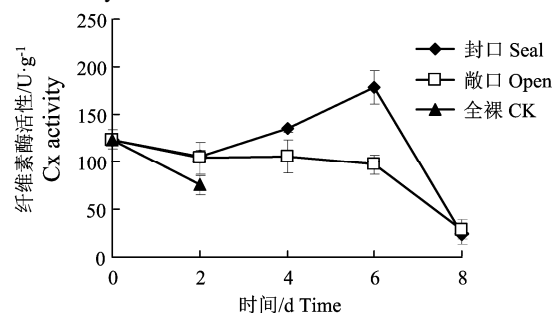
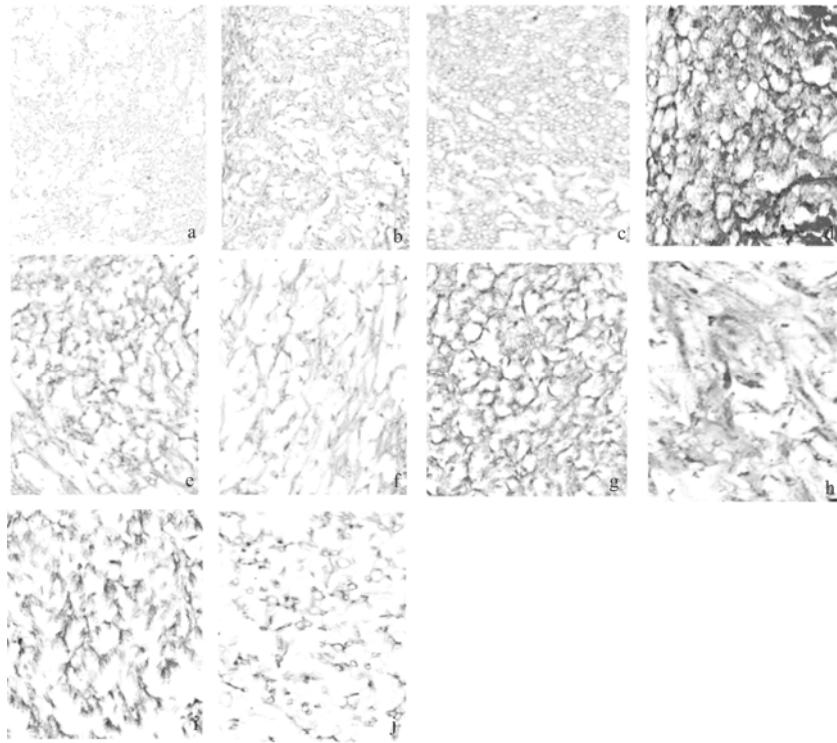


图 9 不同处理对平菇 Cx 活性的影响

Figure 9 Effects of different treatments on Cx activity in oyster mushrooms

2.8 不同处理对平菇 Cx 活性的影响

细胞壁是维持细胞形态的支撑物质, 食用菌的成熟、软化、衰老与细胞壁结构及成分的变化密切相关^[39]。纤维素是形成植物细胞结构和骨架的主要成分^[40]。纤维素酶使纤维素降解, 从而导致细胞壁中“经纬结构”的松散, 使菇体软化^[41]。平菇内部组织结构主要的骨架组分是纤维素, 因此要维持平菇的硬度, 需阻止纤维素酶对纤维素的降解^[42]。由图 9 可知, 随着时间推移, 对照在 0~2 d 快速下降后失去贮藏价值。两处理组的 Cx 活性先增后降, 且封口高于敞口, 这可能是由于 PE 密封包装材料内 O_2 消耗、 CO_2 积累, 无法进行正常有氧呼吸, 而过多的无氧呼吸需要消耗更多底物以满足正常生理代谢所需的能量, 导致 Cx 活性增加以降解细胞壁更多纤维素来获取更多呼吸底物, 这与倪震丹^[43]的结论相符。封口和敞口在 0~2 d 变化不大, 2~6 d 均呈上升趋势且封口上升较敞口快。封口处理在第 6 天极显著高于敞口达到峰值, 随后两处理迅速下降。综上分析, 封口处理对平菇采后抑制 Cx 含量的下降效果更好。



a:第0天; b:第2天封口; c:第2天敞口; d:第2天全裸; e:第4天封口; f:第4天敞口; g:第6天封口; h:第6天敞口; i:第8天封口; j:第8天敞口

a: 0 d; b: seal on the 2nd day; c: open on the 2nd day; d: full naked on the 2nd day; e: seal on the 4th day; f: open on the 4th day; g: seal on the 6th day; h: open on the 6th day; i: seal on the 8th day; j: 8 d exposure on the 8th day

图 10 不同处理对平菇石蜡切片的影响

Figure 10 Effects of different treatments on paraffin sections of oyster mushrooms

2.9 不同处理对平菇石蜡切片的影响

从图 10 中照片可以看出,随着贮藏时间延长,平菇子实体细胞结构变得杂乱无序,模糊不清。刚采收时的平菇子实体细胞间隙清晰可见,排列有序(图 10-a)。在贮藏第 4 天时,明显可见细胞排列不规则,细胞间隙变大(图 10-e、10-f),第 8 天时,已难以辨别出明显的细胞间隙(图 10-i、10-j)。这是因为细胞壁在细胞壁酶的作用下降解,使细胞壁胞间结构变得疏松,细胞之间相互分离^[44]。观察对照,平菇细胞间隙在第 2 天明显变得松散,规则度变差(图 10-d)。在整个贮藏期间,封口比敞口处理细胞结构有序且规整。由此可知,封口在保持平菇子实体细胞结构完整性上效果更好。

3 结论

本试验探究了低温条件下不同包装方式对平菇生理特性和细胞壁变化的影响,结果表明,与对照相比,低温贮藏条件下,PE 包装抑制了平菇失重率、MDA 含量的增加,减缓了平菇硬度、白度值的增大。降低了蛋白质含量的损失,延缓了 POD、CAT 和 Cx 活性峰值的出现,更好地维持平菇的品质。

封口处理更好地抑制了平菇失重率、MDA 含量的增加,更好保持平菇的色泽。封口处理的抗氧化能力更强,更能减少膜脂过氧化对细胞造成的伤害,减缓细胞壁纤维素的降解,维持细胞壁胞间结构。但对于贮藏过程中敞口处理 CAT 活性明显高于封口的具体原因仍需进一步研究。

参考文献:

- [1] SAPATA M, RAMOS A, FERREIRA A, et al. Quality maintenance improvement of *Pleurotus Ostreatus* mushroom by modified atmosphere packaging[J]. Acta Sci Pol Technol Aliment, 2009, 8(2): 53-60.
- [2] FERNANDES Â, ANTONIO A L, OLIVEIRA M B P P, et al. Effect of gamma and electron beam irradiation on the physico-chemical and nutritional properties of mushrooms: A review[J]. Food Chem, 2012, 135(2): 641-650.
- [3] SINGH P, LANGOWSKI H C, WANI A A, et al. Recent advances in extending the shelf life of fresh *Agaricus mushrooms*: a review[J]. J Sci Food Agric, 2010, 90(9): 1393-1402.
- [4] 李福后, 王伟霞, 孙强, 等. 食用菌保鲜技术的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2018, 39 (15): 205-209.
- [5] 姜天甲. 主要食用菌采后品质劣变机理及调控技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2010.

- [6] 田平平, 王杰, 秦晓艺, 等. 采后处理对杏鲍菇贮藏品质及抗氧化酶系统的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(5): 941-951.
- [7] 屈红霞, 唐友林, 谭兴杰, 等. 低温贮藏对菠萝细胞壁降解的影响[J]. 园艺学报, 2000, 27(1): 23-26.
- [8] 谭志勇, 何焕清, 邓海涛, 等. 不同温度和化学处理对食用菌贮藏保鲜效果的影响[J]. 广东农业科学, 2005, 32(6): 73-74.
- [9] 陆书来, 杜林雪, 王彪, 等. MIT 防霉聚乙烯保鲜膜研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(3): 312-315, 321.
- [10] 阎瑞香, 李宁, 朱志强, 等. 不同保鲜膜包装对双孢蘑菇采后贮藏品质影响[J]. 中国食用菌, 2010, 29(4): 46-48, 51.
- [11] 陈丽, 薛婷, 王玫, 等. 平菇专用保鲜膜常温 MAP 保鲜试验[J]. 保鲜与加工, 2005, 5(6): 31-32.
- [12] 夏春丽, 高丽朴, 王清, 等. 蔬菜保鲜膜的应用研究进展[J]. 保鲜与加工, 2018, 18(5): 166-173.
- [13] 上官周建. 双孢蘑菇(*Agaricus bisporus*)保鲜研究最新进展(英文)[A]// 中国菌物学会. 中国菌物学会第三届会员代表大会暨全国第六届菌物学学术讨论会论文集. 中国菌物学会: 中国菌物学会, 2003.
- [14] 王欣, 王俊城, 周春梅, 等. 不同薄膜包装对白玉菇冷藏品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(12): 182-186.
- [15] 朱丹实, 刘贺, 张慈, 等. 几种膜包装对不同含水率香菇贮藏的影响[J]. 食品与发酵科技, 2010, 46(4): 44-49.
- [16] 陈蔚辉, 刘伟玉, 张福平. 微气调袋包装对采后金针菇品质的影响[J]. 食用菌, 2005, 27(4): 57-58.
- [17] 王士奎, 李文香, 王丽娇, 等. 不同温度对 PE 包装平菇保鲜效果的比较[J]. 包装与食品机械, 2012, 30(5): 5-8, 12.
- [18] 马丽, 乔勇进, 张娜娜, 等. 不同贮藏温度及薄膜包装对采后金针菇品质的影响[J]. 上海农业学报, 2015, 31(2): 40-44.
- [19] 王步江. 包装方式对双孢菇货架期品质和生理的影响[J]. 食品科技, 2012, 37(8): 57-61.
- [20] 陈存坤. 云南楚雄松露的采后贮藏保鲜品质研究初探[A]// 云南省科学技术协会、中共楚雄州委、楚雄州人民政府. 第八届云南省科协学术年会论文集——专题六: 工业与信息科技. 云南省科学技术协会、中共楚雄州委、楚雄州人民政府: 云南省机械工程学会, 2018: 11.
- [21] JIANG T J, Jahangir M M, JIANG Z H, 等. 紫外线照射对香菇(*Lentinus edodes*)贮藏过程中抗氧化能力及其质地的影响[J]. 保鲜与加工, 2010, 10(6): 54.
- [22] 张海军. 杏鲍菇采后生理生化变化规律及保鲜方法研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014.
- [23] 程丹. 猴头菇褐变原因及其保鲜技术研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2013.
- [24] 曹健康, 姜微波, 赵玉梅, 等. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 154-156.
- [25] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [26] HU K L, ZHANG L, WANG J T, et al. Influence of selenium on growth, lipid peroxidation and antioxidative enzyme activity in melon (*Cucumis melo* L.) seedlings under salt stress[J]. Acta Soc Bot Pol, 2013, 82(3): 193-197.
- [27] 刘德海, 杨玉华, 安明理, 等. 纤维素酶酶活的测定方法[J]. 中国饲料, 2002(17): 27-28.
- [28] 万佳宁, 杨瑞恒, 陈洪雨, 等. 草菇子实体发育过程中担子细胞内的核相变化观察[J]. 食用菌学报, 2018, 25(4): 29-34, 135, 136.
- [29] 杨淑云, 刘朝贵, 曹必好, 等. 草菇采后生理及保鲜技术[J]. 生物学杂志, 2002, 19(4): 36-38.
- [30] TAGHIZADEH M, GOWEN A, WARD P, et al. Use of hyperspectral imaging for evaluation of the shelf-life of fresh white button mushrooms (*Agaricus bisporus*) stored in different packaging films[J]. Innov Food Sci Emerg, 2010, 11(3): 423-431.
- [31] 刘战丽, 王相友. 双孢蘑菇采后生理生化及保鲜技术研究进展[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(11): 183-186.
- [32] 吴国虹, 谢宝贵, 江玉姬, 等. 不同包装方式对 1-MCP 处理草菇的保鲜效应[J]. 食用菌学报, 2014, 21(3): 60-65.
- [33] 邓雅元, 罗晓莉, 张沙沙, 等. 不同贮藏温度对平菇采后生理的影响[J]. 农产品加工(学刊), 2014(24): 9-11.
- [34] 田平平, 王杰, 秦晓艺, 等. 采后处理对杏鲍菇贮藏品质及抗氧化酶系统的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(5): 941-951.
- [35] 王阳, 王志华, 王文辉, 等. 不同温湿度对樱桃果实采后衰老及抗氧化酶活性的影响[J]. 保鲜与加工, 2018, 18(4): 1-6, 11.
- [36] 刘洪竹, 赵习姮, 陈双颖, 等. 热激处理对鲜切甜椒活性氧代谢及贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(1): 310-314.
- [37] 孙亚男, 李文香. 不同保鲜处理对平菇生理代谢的影响[J]. 北方园艺, 2016(13): 147-151.
- [38] 范林林, 夏春丽, 史君彦, 等. 不同包装材料对平菇保鲜效果的影响[J]. 北方园艺, 2016(21): 145-149.
- [39] 罗自生, 寿浩林. NSCC 涂膜对黄花梨软化和细胞壁代谢的影响[J]. 果树学报, 2011, 28(1): 143-146.
- [40] NATH P, BOUZAYEN M, MATTOO A K, et al. Fruit ripening: physiology, signalling and genomics[M]. Wallingford: CABI, 2014. DOI:10.1079/9781845939625.0000
- [41] 刘慧, 陈复生, 杨宏顺, 等. 影响桃果实质地的细胞壁降解酶的研究进展[J]. 食品与机械, 2008, 24(3): 136-140.
- [42] 肖功年, 尤玉如, 袁海娜, 等. 气调包装对平菇贮藏内在品质的影响[J]. 中国食品学报, 2007, 7(2): 98-103.
- [43] 倪震丹. 采后环境调控香菇软化的效应与机理研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2018.
- [44] 阚娟. 不同溶质型桃果实成熟软化机理研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2011.