

不同保鲜剂对竹荪蛋的保鲜效果

魏岸¹, 徐彦军², 徐俐¹, 何发梅¹, 潘若平²

(1. 贵州大学酿酒与食品工程学院, 贵州贵阳 550025) (2. 贵州大学农学院, 贵州贵阳 550025)

摘要: 本文研究了不同保鲜剂处理对新鲜竹荪蛋贮藏期间保鲜效果的影响。分别以不同浓度的壳聚糖、卡拉胶和抗坏血酸为涂膜剂对竹荪蛋进行涂膜处理, 以蒸馏水为对照, 用 PE 保鲜袋包装后置于 4 °C 条件下贮藏, 研究竹荪蛋贮藏期间失重率、色差值、可溶性蛋白含量、游离氨基酸含量和 PPO 活性等指标的变化。研究表明: 各个保鲜剂的最佳处理浓度分别为壳聚糖 1.2%、卡拉胶 0.1%、抗坏血酸的浓度 0.1%, 3 种保鲜剂均能减缓失重率的上升, 抑制 PPO 活性, 使 PPO 活性峰值延缓出现 4 d, 壳聚糖和卡拉胶处理对抑制蛋白质分解为游离氨基酸有一定效果, 抗坏血酸处理能较好的保持竹荪蛋的色泽, 维持可溶性蛋白含量。综合评价 3 种保鲜剂对竹荪蛋的保鲜效果, 0.1% 浓度抗坏血酸保鲜效果最佳, 贮藏结束后失重率为 0.64%, 白度值为 50.73, 可溶性蛋白含量为 3.05 mg/g, 游离氨基酸含量为 327.73 mg/100 g。PPO 活性为 1.86 $\Delta OD_{420}/(\text{min}\cdot\text{g})$, 均优于对照组。

关键词: 竹荪; 保鲜; 保鲜剂

文章编号: 1673-9078(2019)08-114-120

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.8.018

Effect of Different Preservatives on Quality of Embryo of *Dictyophora*

WEI An¹, XU Yan-jun², XU Li¹, HE Fa-mei¹, PAN Ruo-ping²

(1. Wine and Food Engineering College, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

(2. Agricultural College of Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: In this work, the effects of different preservative treatments on the preservation of fresh embryo of *Dictyophora* during storage were studied. The embryo of *Dictyophora* were coated with different concentrations of chitosan, carrageenan and ascorbic acid as coating agents. The distilled water was used as a control. After packaging with PE fresh-keeping bags, they were stored at 4 °C to study the storage of embryo of *Dictyophora*. The weight loss rate, color difference, soluble protein content, free amino acid content, and polyphenol oxidase activity were analyzed. The results showed that the optimal treatment concentration of each preservative was as follows: 1.2% chitosan, 0.1% carrageenan and 0.1% ascorbic acid. All three preservatives could reduce the weight loss rate, PPO activity and PPO activity peak. Delayed appearance of 4 d, chitosan and carrageenan treatment had a certain effect on inhibiting protein decomposition into free amino acids. Ascorbic acid treatment could better maintain the color of embryo of *Dictyophora* and maintain soluble protein content. The preservation effects of three kinds of preservatives on embryo of *Dictyophora* were evaluated. The 0.1% concentration ascorbic acid had the best preservation effect. After the storage, the weight loss rate was 0.64%, the whiteness value was 50.73, the soluble protein content was 3.05 mg/g, and the free amino acid content was 327.73 mg/100g. The PPO activity was 1.86 $\Delta OD_{420}/\text{min}\cdot\text{g}$, which was superior to the control group.

Key words: *Dictyophora indusiata*; preservative; fresh-keeping

竹荪 (*Dictyophora indusiata*), 又名竹参、竹菌, 是一类名贵大型食用真菌, 素有“真菌皇后”、“山珍之王”等美称^[1]。在我国主要分布在云、贵、川三省^[2]。全世界已报道的 12 种竹荪中, 贵州就有 5 种, 是贵州地产特色药食两用的真菌^[3]。竹荪蛋即竹荪胚体, 也称为竹荪菌蕾, 是竹荪子实体的前身, 由梦荪、孢子、菌盖、外包被四部分构成。竹荪蛋由近地面或地面的

收稿日期: 2019-04-04

基金项目: 竹荪绿色高效生产技术集成与产业化(黔科合成转字[2014]5210号)

作者简介: 魏岸(1994-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品贮藏与加工

通讯作者: 徐彦军(1972-), 男, 教授, 研究方向: 食用菌、蔬菜栽培

一支或数支菌索顶端扭结膨大而形成小竹荪蛋。随着营养和水分的积累而渐渐长大, 初形成时小如菜籽, 圆形、白色、见光后变成咖啡色, 成熟后变成竖立的鸡蛋状, 俗称“竹荪蛋”。竹荪有着很高的营养价值和药用功效, 具有补气养阴、润肺止咳、清热利湿之功效, 其子实体中含有 21 种氨基酸以及多种维生素, 同时它也富含多糖和多种微量元素, 因而具有增强免疫力、抗肿瘤、抗衰老等作用^[4]。但由于竹荪采收后仍在进行强烈的呼吸和新陈代谢作用, 因此导致菌体皱缩软化, 同时不可避免机械损伤和微生物侵染, 组织发生褐变, 甚至腐烂变质, 不耐贮藏, 目前鲜竹荪蛋在常温下放置两天就会出现表皮破裂、汁液流出等现

象,因此,市面销售的多为竹荪干品,近年来,随着人们生活水平的提高,人们越来越追求食物的新鲜与原生态,新鲜的竹荪蛋因其更丰富的营养与口感逐渐受到人们的青睐,因此其采后贮藏保鲜技术的研究显得尤为重要。

目前,食用菌的保鲜方法主要有气调保鲜^[5-7]、辐照保鲜^[8-13]、冷藏保鲜^[14]和涂膜保鲜^[15-20]等,壳聚糖由于其良好的成膜性、可生物降解性、抗菌性,而广泛应用于果蔬采后涂膜保鲜^[21,22],而卡拉胶具有较好的成膜特性和凝胶特性,抗坏血酸是一种抗氧化保鲜剂,可抑制果蔬氧化酶类的活性,故能防止果蔬褐变,起到护色的作用。本研究以新鲜竹荪蛋为保鲜对象,研究壳聚糖、卡拉胶、抗坏血酸3种保鲜剂对竹荪蛋的保鲜效果。通过对涂膜后竹荪蛋失重率、色差值、可溶性蛋白含量、游离氨基酸含量和多酚氧化酶活性等重要指标的测定,筛选出适合竹荪蛋的保鲜剂及其最适浓度。以期对竹荪蛋的保鲜研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

新鲜竹荪蛋样品采自贵州省织金县茶店乡林下仿野生栽培竹荪基地,品种统一,无腐烂变质;壳聚糖,北京索莱宝科技有限公司;卡拉胶,上海蓝季科技发展有限公司;抗坏血酸,国药集团化学试剂有限公司;磷酸二氢钾、磷酸氢二钠、邻苯二酚、茛苳三酮等均为分析纯试剂。

1.1.2 仪器与设备

NH350 型色差仪,深圳市三恩时科技有限公司;SB3003 型电子天平,海宁市盛博衡器有限公司;紫外-可见分光光度计,上海仪电分析仪器有限公司;H1-16KR 型高速冷冻离心机,湖南可成仪器设备有限公司;KW-1000DC 恒温水浴锅,金坛市中大仪器厂。

1.2 试验方法

1.2.1 涂膜液的制备

分别称取一定量壳聚糖溶于 1%醋酸溶液配制浓度为 0.6%、0.9%、1.2%的壳聚糖溶液,搅拌均匀后冷却至室温;分别称取一定量的卡拉胶和抗坏血酸用蒸馏水配置成浓度为 0.1%、0.2%、0.3%的卡拉胶和抗坏血酸溶液。

1.2.2 涂膜流程

新鲜竹荪蛋→毛刷刷净杂物→浸入涂膜液中 2~3 s→避光自然晾干→用 PE 保鲜袋包装→于 4℃左右贮藏,每 4 d 测定指

标

1.2.3 指标测定

1.2.3.1 失重率的测定

参照王耀辉^[23]的方法测定竹荪蛋贮藏过程中的失重率。

1.2.3.2 色差值的测定

参照张艳君^[24]的方法测定竹荪蛋贮藏过程中的色差值。

1.2.3.3 游离氨基酸含量的测定

参照曹建康等^[25]的方法测定竹荪蛋贮藏过程中的游离氨基酸含量。

1.2.3.4 可溶性蛋白含量的测定

参照曹建康等^[25]的方法测定竹荪蛋贮藏过程中的可溶性蛋白含量。

1.2.3.5 多酚氧化酶活性的测定

参照曹建康等^[25]的方法测定竹荪蛋贮藏过程中的多酚氧化酶活性。

1.2.4 数据统计分析方法

实验数据为 3 次重复的平均值和标准偏差,数据分析及作图采用 WPS 2019 软件。

2 结果与讨论

2.1 不同保鲜剂对失重率的影响

新鲜的竹荪蛋水分含量较高,但因竹荪蛋系竹荪胚体,采后仍是具有呼吸作用和蒸腾作用的生命体,其重量也随着贮藏时间的增长而发生变化,故失重率是其保鲜的一个重要指标。

由图 1 可以看出,贮藏前期,对照组与各处理组的失重率都较低且无显著差异,随着贮藏时间的延长,对照组的失重率逐渐高于处理组,这说明保鲜剂处理对降低失重率有一定的作用。马捷^[21]的研究发现,壳聚糖涂膜能有效降低鲜切哈密瓜的失重率,由图 1a 可以看出,不同浓度的壳聚糖均能在一定程度上抑制失重率的上升,当其浓度为 0.6%时上升幅度最小,贮藏结束后失重率为 0.59%,但随着壳聚糖浓度的增加,失重率反而增高,这与李翔^[29]等学者的研究结果相似,李翔等的实验结果显示:0.75%浓度的壳聚糖溶液对竹荪蛋的保水效果要优于高浓度,这可能是由于壳聚糖以冰乙酸作为溶剂,浓度过高对竹荪蛋表面造成一定的腐蚀作用,破坏了竹荪蛋表皮的组织结构导致细胞失水^[26]。由图 1b 可以看出,卡拉胶也可抑制失重率的增加,且抑制效果随着其浓度的增加而提高,当浓度为 0.3%时,效果最好,贮藏结束后失重率为 0.52%,这与徐吉祥^[17]的研究结果相似,徐吉祥的研

究发现,添加卡拉胶对防止茶新菇的水分散发有明显效果,且随着添加量增加效果提高,这是由于卡拉胶在竹荪蛋表面形成的生物膜能够防止水分的散失。由图 1c 可以看出,当抗坏血酸浓度为 0.1%和 0.2%时效果较好且无显著差异,贮藏结束后失重率分别为 0.64%和 0.65%,而当浓度为 0.3%时,效果降低,失重率为 0.78%,这可能是由于抗坏血酸呈酸性,浓度过高对竹荪蛋菌体造成损害。综合 3 种保鲜剂可以看出,卡拉胶处理对竹荪蛋的保水效果优于壳聚糖和抗坏血酸,且 0.3%卡拉胶处理对降低失重率效果最好。

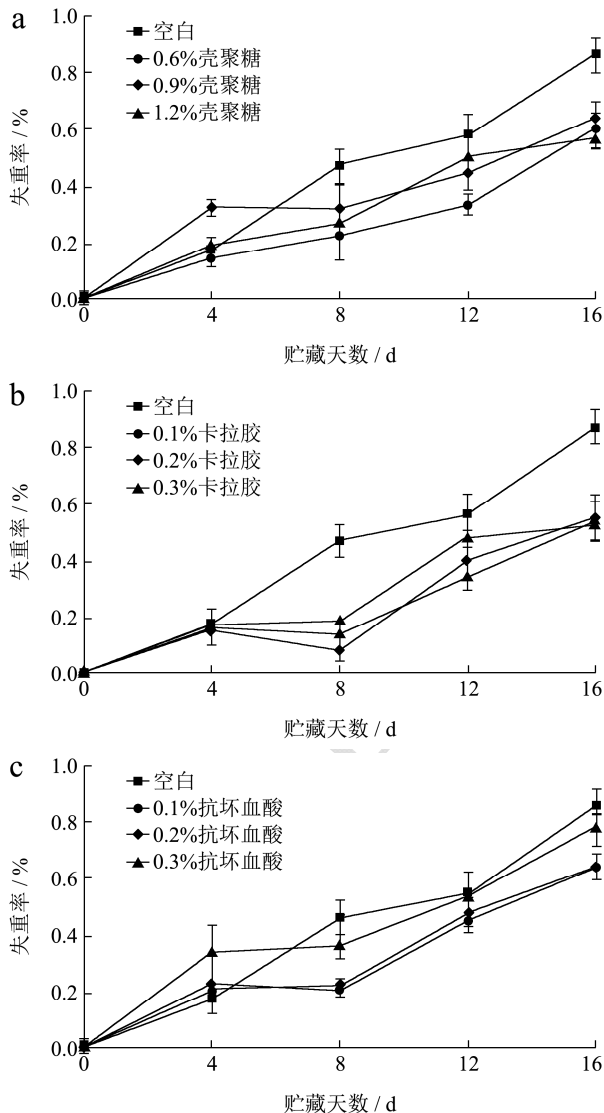


图 1 竹荪蛋贮藏期间失重率的变化

Fig.1 Changes in weight loss rate of embryo of *Dictyophora* during storage

注: a: 壳聚糖; b: 卡拉胶; c: 抗坏血酸。下图同。

2.2 不同保鲜剂对白度值的影响

白度值即 L 值,可表示褐变程度, L 值越大,表示颜色越白,褐变越轻。竹荪蛋在贮藏期间由于多种

作用导致褐变度增加。如图 2 所示。

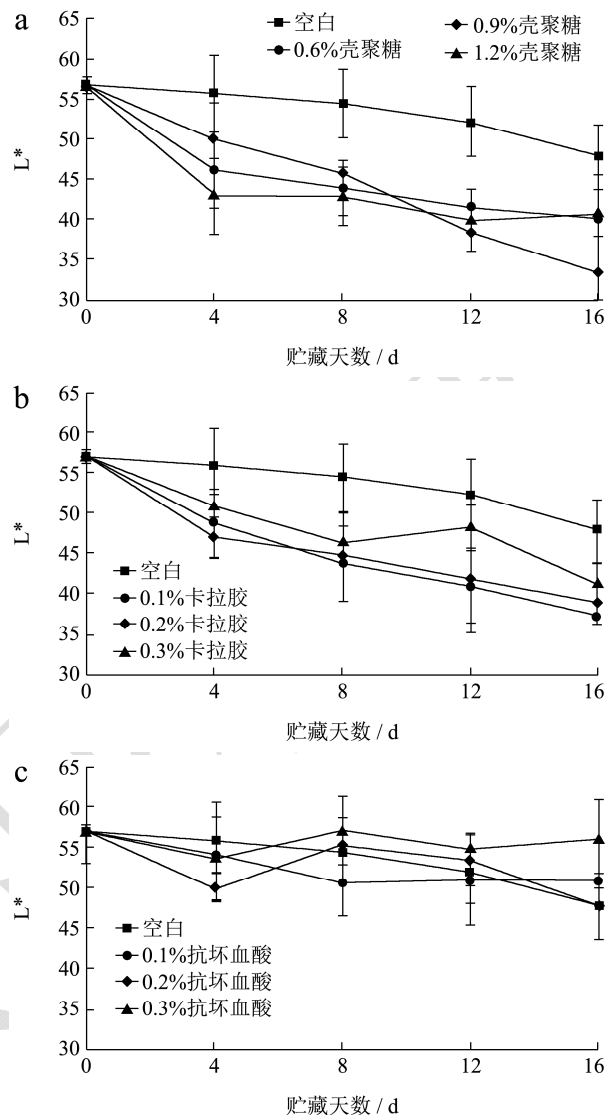


图 2 竹荪蛋贮藏期间白度值的变化

Fig.2 Changes in whiteness value of embryo of *Dictyophora* during storage

由图 2 可以看出,白度值随贮藏时间的增长呈下降趋势。由图 2a 和图 2b 可以看出,贮藏结束后,1.2%壳聚糖和 0.3%卡拉胶的白度值较高,分别为 40.43 和 41.19,但均低于对照组的 47.71,说明这两种保鲜剂不利于维持竹荪蛋的白度值,这可能是由于这两种保鲜剂溶于液体时质地较粘稠,涂膜时对竹荪蛋表面造成一定的损伤导致褐变度增加,且以乙酸为溶剂的壳聚糖溶液对竹荪蛋表面酸伤严重^[22]。由图 2c 可以看出,贮藏前 12 d,保鲜组与对照组的白度值无显著差异,贮藏后期,0.3%抗坏血酸处理组的白度值仍保持较高的水平且高于对照组,贮藏结束后白度值为 55.93,说明高浓度抗坏血酸能有效的抑制竹荪蛋的褐变,保持其感官品质。这是由于抗坏血酸是一种强抗氧化剂,对菌类具有很好的抗氧化性^[23],能抑制醌类

物质之间相互作用而形成高分子聚合物,从而抑制醌进一步聚合成黑色素^[27]。综合3种保鲜剂可以看出,抗坏血酸处理能有效的保持竹荪蛋的白度值,降低其褐变度,且高浓度的抗坏血酸效果较好。

2.3 不同保鲜剂对可溶性蛋白含量的影响

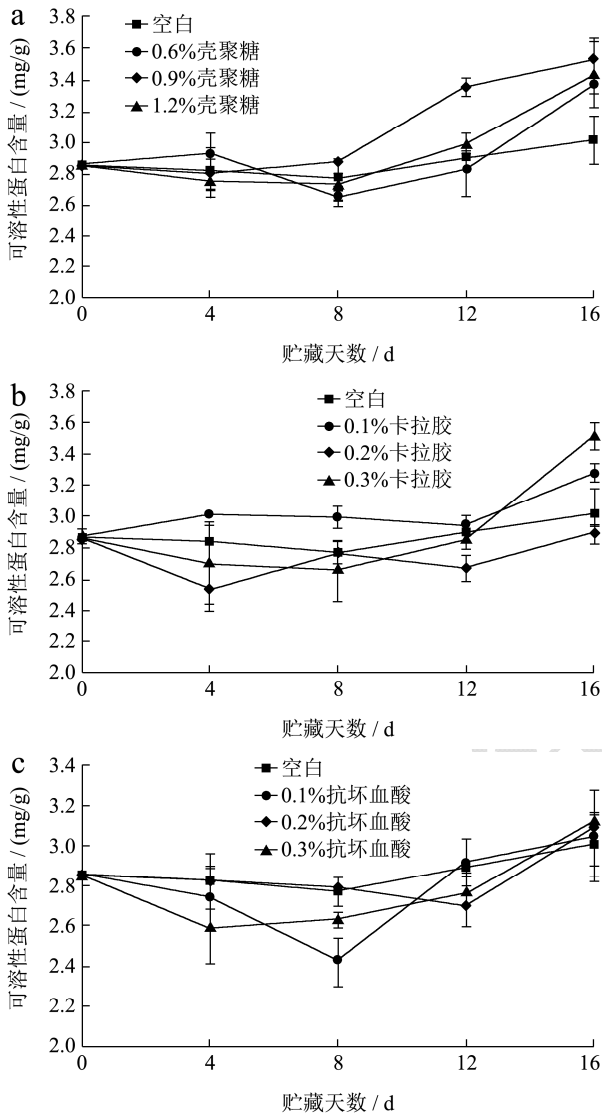


图3 竹荪蛋贮藏期间可溶性蛋白含量的变化

Fig.3 Changes of soluble protein content during storage of embryo of *Dictyophora*

可溶性蛋白质含量是食用菌的一个重要生理生化指标,也是食用菌品质和营养的重要评价指标之一。以蒸馏水为对照,分别研究了不同浓度壳聚糖、卡拉胶、抗坏血酸3种保鲜剂对竹荪蛋贮藏期间可溶性蛋白质含量的影响。如图3所示。

由图3可以看出,竹荪蛋贮藏期间可溶性蛋白含量总体呈上升趋势,这与王耀辉^[23]等的实验结果相符,这可能是因为竹荪蛋在后熟过程中,细胞壁的降解会释放细胞壁中的蛋白质。

由图3a可以看出,贮藏前8d,各组可溶性蛋白含量基本保持稳定且无显著差异,贮藏后期,可溶性蛋白含量逐渐上升且0.9%处理组具有相对较高水平,贮藏结束后,0.9%处理组的可溶性蛋白含量为3.52 mg/g,高于对照组的3.01 mg/g,说明壳聚糖处理对于维持可溶性蛋白含量具有一定的作用。

由图3b可以看出,当卡拉胶浓度为0.3%时,可溶性蛋白含量较高,贮藏结束后为3.52 mg/g,高于对照组,而低浓度处理组效果不理想,这说明高浓度卡拉胶处理可能对维持可溶性蛋白含量有一定的作用。

由图3c可以看出,各组的可溶性蛋白含量在整个贮藏期无显著差异,贮藏结束后,各处理组可溶性蛋白含量均略高于对照组,0.3%处理组最高,为3.12 mg/g,0.2%和0.1%处理组次之,分别为3.09 mg/g和3.05 mg/g,这说明抗坏血酸处理可能对维持可溶性蛋白含量有一定的作用,但效果不明显。综合3种保鲜剂可以看出,壳聚糖和卡拉胶对维持可溶性蛋白含量效果优于抗坏血酸,但综合不同处理浓度,可以看出,壳聚糖处理效果略优于卡拉胶。

2.4 不同保鲜剂对游离氨基酸含量的影响

氨基酸是组成蛋白质的基本单位,也是蛋白质分解产物的种类之一。竹荪蛋菌体内的蛋白水解酶在采收后仍很活跃,贮藏过程中可使蛋白质水解成氨基酸,引起菌体游离氨基酸含量增加,图4所示。由图4可以看出,竹荪蛋贮藏期间,游离氨基酸含量总体呈上升趋势。这与曾晓丹^[26]等的实验结果相符。

由图4a可以看出,随着贮藏时间的增长,0.6%和1.2%处理组游离氨基酸含量增长渐缓并趋于稳定,而对照组仍处于上升趋势,贮藏结束后,1.2%壳聚糖处理组游离氨基酸含量为273.82 mg/100 g,远低于对照组的373.56 mg/100 g,效果最好,这说明壳聚糖处理能在一定程度上抑制蛋白质分解为氨基酸。

由图4b可以看出,0.1%和0.2%处理组游离氨基酸含量随着贮藏时间的增长逐渐趋于稳定,贮藏结束后,0.1%浓度的卡拉胶游离氨基酸含量最低,为256.39 mg/100 g,这说明,低浓度卡拉胶处理对蛋白质分解为氨基酸有一定的抑制作用。

由图4c可以看出,贮藏期前4d,处理组游离氨基酸含量增长较快,第4d后,逐渐趋于稳定且低于对照组,而第8d后又开始增加,贮藏结束后,0.1%处理组的游离氨基酸含量最低,为327.73 mg/100 g,而0.2%和0.3%处理组的含量均高于对照组,这说明低浓度抗坏血酸处理可能对蛋白质的分解有一定的抑制作用,但效果不明显。综合3种保鲜剂可以看出,

卡拉胶对控制游离氨基酸含量效果最好。其最佳浓度为0.1%。

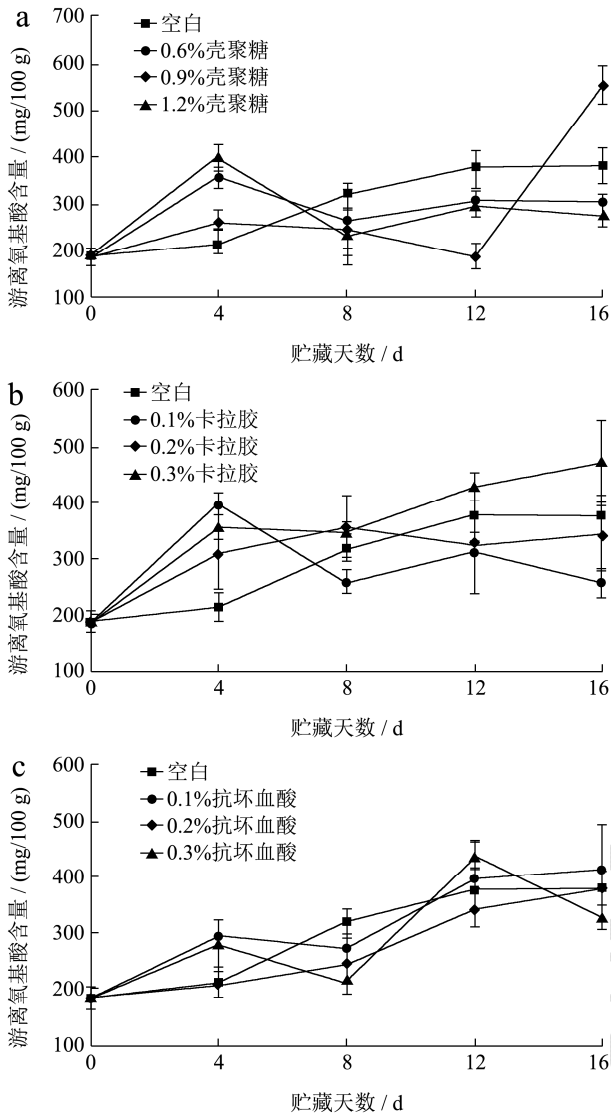


图4 竹荪蛋贮藏期间游离氨基酸含量的变化

Fig.4 Changes of chroma free amino acid content during storage of embryo of *Dictyophora*

2.5 不同保鲜剂对多酚氧化酶活性的影响

多酚氧化酶(PPO)是食用菌体内普遍存在的一种重要的氧化还原酶,能催化酚类物质氧化形成醌类化合物,与食用菌采后贮藏加工过程中的组织褐变密切相关。以蒸馏水为对照,分别研究了不同浓度壳聚糖、卡拉胶、抗坏血酸3种保鲜剂对竹荪蛋贮藏期间PPO活性的影响。如图5所示。

由图5可以看出,在竹荪蛋贮藏期间,PPO活性呈先升后降趋势,这与周春梅^[6]的实验结果相符。与3种保鲜剂相比,对照组的PPO活性先达到峰值且在贮藏期间一直保持较高水平,贮藏结束后,PPO活性为3.11 $\Delta OD_{420}/\text{min}\cdot\text{g}$ 。

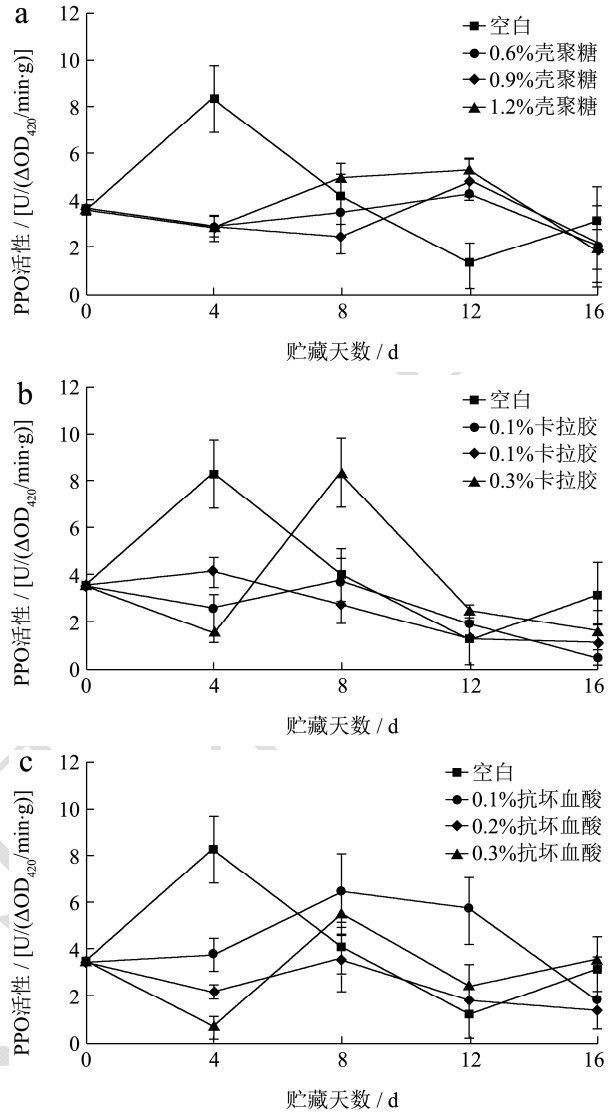


图5 竹荪蛋贮藏期间色度多酚氧化酶活性的变化

Fig.5 Changes of chroma polyphenol oxidase activity during storage of embryo of *Dictyophora*

由图5a可以看出,壳聚糖处理能降低PPO活性并将峰值推迟8d,其中,0.9%处理组在整个贮藏期都保持较低的PPO活性,贮藏结束U值为1.89 $\Delta OD_{420}/\text{min}\cdot\text{g}$,效果最好,这与李成华^[22]的研究结果相似,李成华的研究表明:壳聚糖涂膜能有效抑制双孢蘑菇体内PPO活性,但并非浓度越高越好,这说明低浓度壳聚糖处理对PPO活性有一定的抑制作用。由图5b可以看出,对照组PPO活力值在贮藏第4d达到最高点,而0.1%和0.3%卡拉胶处理组峰值在第8d,这说明卡拉胶处理能有效推迟PPO活性高峰;0.1%和0.2%处理组在贮藏期间PPO活性均低于对照组,贮藏结束后,U值分别为0.51和1.08 $\Delta OD_{420}/\text{min}\cdot\text{g}$,这说明低浓度卡拉胶处理能在一定程度上抑制PPO活性。由图5c可以看出,抗坏血酸处理组PPO活性峰值出现时间为第8d,这说明抗坏血酸处理能有效推

迟 PPO 活性高峰并抑制其活性,当抗坏血酸浓度为 0.2%时,PPO 活性在整个贮藏期都保持较低水平,贮藏结束后 PPO 活性为 $1.37 \Delta OD_{420}/\text{min}\cdot\text{g}$,这说明 0.2%浓度抗坏血酸处理能有效抑制 PPO 活性且效果最好。这与黄赫雁^[27]的研究结果相似,黄赫雁的实验结果表明:抗坏血酸能够抑制 PPO 的活性,是较为理想的 PPO 抑制剂。综合 3 种保鲜剂可以看出,3 种保鲜剂都能有效抑制 PPO 活性,其中,0.1%卡拉胶效果最好。

综上所述,3 种保鲜剂对竹荪蛋都有不同程度的保鲜效果,不同浓度壳聚糖中以 1.2%浓度对竹荪蛋的保鲜效果最为理想,卡拉胶以 0.1%浓度效果最佳,抗坏血酸的浓度以 0.1%最为合适,考虑到壳聚糖和卡拉胶对竹荪蛋的色差值影响较大,可能导致感官上的负面影响,综合各项指标,可以看出 3 种保鲜剂中抗坏血酸的效果最好。

3 结论

本实验以新鲜竹荪蛋为研究对象,分别研究了不同浓度壳聚糖、卡拉胶和抗坏血酸 3 种保鲜剂对竹荪蛋的保鲜效果,研究结果表明:3 种保鲜剂在不同方面均有一定的保鲜效果,其保鲜的最佳处理浓度分别为壳聚糖 1.2%、卡拉胶 0.1%、抗坏血酸的浓度 0.1%,其中,0.1%浓度抗坏血酸保鲜效果最好,贮藏结束后失重率为 0.64%,白度值为 50.73,可溶性蛋白含量为 3.05 mg/g ,游离氨基酸含量为 $327.73 \text{ mg}/100\text{g}$ 。PPO 活性为 $1.86 \Delta OD_{420}/\text{min}\cdot\text{g}$;对照组失重率为 0.87%,白度值为 47.71,可溶性蛋白含量为 3.01 mg/g ,游离氨基酸含量为 $373.55 \text{ mg}/100\text{g}$ 。PPO 活性为 $3.11 \Delta OD_{420}/\text{min}\cdot\text{g}$,可以看出 0.1%浓度抗坏血酸处理的竹荪蛋各个指标都优于对照组,能较好维持竹荪蛋品质。

参考文献

- [1] 刘庆庆,袁再晶,施伽,等.梵净山区域竹荪氨基酸含量及其主成分分析[J].铜仁学院学报,2018,20(6):31-35
LIU Qing-qing, YUAN Zai-jing, SHI Jia, et al. Amino acid content and principal component analysis of dictyophora in Fanjing mountain area [J]. Journal of Tongren University, 2018, 20(6): 31-35
- [2] 才晓玲,刘洋,何伟,等.竹荪生物活性研究进展[J].食用菌学报,2015,22(4):86-90.
CAI Xiao-ling, LIU Yang, HE Wei, et al. Research progress in the biological activity of dictyophora [J]. Acta Edulis Fungi, 2015, 22(4): 86-90
- [3] 吴雪艳.自制竹荪多糖饮料及竹荪多糖对砷中毒大鼠学习记忆能力影响研究[D].贵阳:贵阳医学院,2015

- WU Xue-yan. Homemade Beverage with *Dictyophora* polysaccharides and its effect on the ability of learning and memory in arsenic poisoning rat [D]. Guiyang: Guiyang Medical College, 2015
- [4] 谌斌,于方明,何欢,等.棘托竹荪干子实体与菌丝体抑菌作用的比较研究[J].中国调味品,2018,43(9):58-61
YU Bin, YU Fang-ming, HE Huan, et al. Comparative study on bacteriostasis of dried fruit body of *Dictyophora echinovolvata* [J]. Chinese Condiments, 2018, 43 (9): 58-61
- [5] 李媛媛.白灵菇气调保鲜技术及生物有效性研究 [D].天津:天津科技大学,2011
LI Yuan-yuan. Techniques of modified atmosphere storage and bioavailability of *Pleurotus nebrodensis* [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2011
- [6] 周春梅.白玉菇气调保鲜包装膜的筛选研究 [D].上海:上海理工大学,2010
ZHOU Chun-mei. The development of a film for MAP storage of white *Hypsizyguus marmoreus* [D]. Shanghai: Shanghai University of Technology, 2010
- [7] 逯连静.草菇采后生理生化及保鲜方法的研究 [D].南京:南京农业大学,2011
QI Lian-jing. Studies on the quality of physio-chemical and fresh keeping technologies of post-harvest in *Volvariella volvacea* [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011
- [8] 金宇东,董飞.食用菌辐照保鲜技术研究进展[J].现代农业科技,2017,15:85-89
JIN Yu-dong, DONG Fei. Research advance on irradiation technology of mushroom preservation [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2017, 15: 85-89
- [9] Jlang T J, Luo S S, Chen Q P, et al. Effect of integrated application of gamma irradiation and modified atmosphere packaging on physicochemical and microbiological properties of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) [J]. Food Chemistry, 2010, 122: 761-767
- [10] Jasinghe V J, Perera C O. Ultraviolet irradiation: the generator of vitamin D₂ in edible mushrooms [J]. Food Chemistry, 2006, 95: 638-643
- [11] Fernandes A, Antonio A L, Barreira J C M, et al. Effects of gamma irradiation on physical parameters of *Lactarius deliciosus* wild edible mushrooms [J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 74: 79-84
- [12] Jasinghe V J, Perera C O. Distribution of ergosterol in different tissues of mushrooms and its effect on the conversion of ergosterol to vitamin D₂ by UV irradiation [J]. Food Chemistry, 2005, 92: 541-546

- [13] Akrama K, Ahna J J, Yoon S R, et al. Quality attributes of *Pleurotus eryngii* following gamma irradiation [J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 66: 42-47
- [14] 张颖.白玉菇冷藏保鲜及冷链流通技术研究[D].福州:福建农林大学,2014
ZHANG Ying. Study on fresh-keeping and cold-chain logistics technology of white *Hypsizygus marmoreus* [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2014
- [15] 张建华.白灵菇化学保鲜技术研究[J].现代农业科技,2011, 11:151-152
ZHANG Jian-hua. Study on preservation technology of *Pleurotus nebrodensis* [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2011, 11: 151-152
- [16] 段颖.茶薪菇贮藏特性和保鲜技术研究[D].南京:南京农业大学,2005
DUAN Ying. Study on storage property of and fresh keeping technologies for *Agrocybe aegerita* [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2005
- [17] 徐吉祥.茶新菇的可食性涂膜保鲜研究 [D].广州:华南理工大学,2011
XU Ji-xiang. The research of edible coatings for the fresh-keeping of *Agrocybe aegerita* [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2011
- [18] 陈思.大球盖菇的涂膜保鲜工艺及软罐头微波处理技术探讨[D].福州:福建农林大学,2013
CHEN Si. Preservation technology of stropharia by thin film and the technology of microwave processing about soft canned of stropharia [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2013
- [19] 张微思,何容,罗晓莉,等.不同处理条件下红牛肝菌保鲜品质的对比分析 [J].现代食品科技,2018,34(2):171-175
ZHANG Wei-si, HE Rong, LUO Xiao-li, et al. Comparative analysis of preservative quality of boletus under different treatment conditions [J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(2): 171-175
- [20] 郭瑞,朱丹,宋静雅,等.可食性复合涂膜对滑子菇采收后贮藏品质的影响[J].现代食品科技,2018,34(2):149-156
GUO Rui, ZhU Dan, SONG Jing-ya, et al. Effect of edible composite coating treatment on postharvest preservation quality of *Pholiota nameko* [J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(2): 171-175
- [21] 马捷.壳聚糖涂膜对鲜切哈密瓜品质、抗氧化能力和微生物污染的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2017
MA Jie. Effect of chitosan coating on quality, antioxidant capacity and microbial contamination of fresh-cut hami melons [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2017
- [22] 李成华.壳聚糖及其衍生物涂膜保鲜双孢蘑菇效果的研究 [D].武汉:华中农业大学,2009
LI Cheng-hua. Study on effects of chitosan and its derivatives coating preservation on *Agaricus bisporus* [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2009
- [23] 王耀辉.杏鲍菇气调包装保鲜技术优化 [D].雅安:四川农业大学,2015
WANG Yao-hui. Studies on the controlled atmosphere packaging fresh keeping technology of post-harvest in *Pleurotus eryngii* [D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2015
- [24] 张艳君.秀珍菇褐变原因及保鲜技术方法研究[D].福州:福建农林大学,2013
ZHANG Yan-jun. Study on browning reason and keeping freshness technique of *Pleurotus geesteranus* [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2013
- [25] 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 Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Physiological and Biochemical Experiment Guidance for Postharvest Fruits and Vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007
- [26] 许原,张梦奇.3种天然保鲜剂对凤尾菇的保鲜效果[J].食品工业科技,2018,39(16):253-257
XU Yuan, ZHANG Meng-qi. Three natural preservatives for preservation of *Pleurotus pulmonarius* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(16): 253-257
- [27] 黄赫雁.香菇复合保鲜技术的研究[D].哈尔滨:哈尔滨商业大学,2017
HUANG He-yan. Study on compound preservation technology of *Letinous edodes* [D]. Haerbin: Harbin University of Commerce, 2017
- [28] 曾晓丹,贺红宇,刘培,等.3种保鲜膜材料对金针菇常温保鲜效果的影响[J].西南农业学报,2017,30(10):2340-2344
ZENG Xiao-dan, HE Hong-yu, LIU Pei, et al. Effects of three kinds of preservative film on fresh-keeping of *Flammulina velutipes* at room temperature [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2017, 30(10): 2340-2344
- [29] 李翔,肖星星,邓杰,等.壳聚糖涂膜保鲜羊肚菌研究 [J].成都大学学报,2018,37(4):366-369
LI Xiang, XIAO Xing-xing, DENG Jie, et al. Study on chitosan coating fresh-keeping morchella [J]. Journal of Chengdu University, 2018, 37(4): 366-369