

不同包装方式对农贸市场模式销售鲜香菇品质的影响

翟梦杰¹, 杜敏如¹, 林晖¹, 谷凤举¹, 李彦增², 李伟鹏³, 李晨⁴, 王杰^{1*}

(1. 华南农业大学食品学院, 广东广州 510642) (2. 河南世纪香食用菌开发有限公司, 河南许昌 461100)

(3. 许昌世纪香生物科技有限公司, 河南许昌 461103) (4. 许昌市建安区经济作物推广站, 河南许昌 461000)

摘要: 该研究探讨了农贸市场销售模式中四种包装方式对鲜香菇品质(外观、质地、气体浓度、细胞膜完整性、营养物质含量、抗氧化酶活性以及抗氧化物质含量)的影响。与其它处理相比, PE 包装的香菇具有较好的外观品质, PE 包装可提高贮藏前期的硬度(3.50%)、过氧化氢酶(Catalase, CAT)(1.24%)和超氧化物歧化酶(Superoxide Dismutase, SOD)(49.08%)的活性。贮藏第3天时, PE 包装的香菇失重率仅升高2.87%, 总糖含量下降19.32%, 总酚、类黄酮等抗氧化物质含量分别增加2.16倍、9.92倍, 丙二醛(Malondialdehyde, MDA)含量降低20.11%。综上, PE 包装的综合效果最好, PE 包装可通过延缓总糖的消耗、抑制失重率和MDA的产生、延缓硬度下降以及提高抗氧化能力来维持鲜香菇品质。该研究成果可为鲜香菇在市场流通过程中保持品质、减少经济损失提供数据支撑。

关键词: 香菇; 农贸市场; 包装; 贮藏品质; 营养; 抗氧化酶活性

文章编号: 1673-9078(2023)02-235-242

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.2.0385

Effects of Different Packaging Methods on the Quality of Fresh Shiitake Mushrooms Sold in Farmers' Markets

ZHAI Mengjie¹, DU Minru¹, LIN Hui¹, GU Fengju¹, LI Yanzen², LI Weipeng³, LI Chen⁴, WANG Jie^{1*}

(1. College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

(2. Henan Shijixiang Edible Fungus Development Co. Ltd., Xuchang 461100, China)

(3. Xuchang Shijixiang Biotechnology Co. Ltd., Xuchang 461103, China)

(4. Xuchang Jian'an District Cash crop extension station, Xuchang 461000, China)

Abstract: The effects of four packaging methods on the quality of fresh shiitake mushrooms (appearance, texture, gas concentration, cell membrane integrity, nutrient content, antioxidant enzymatic activity, and antioxidant content) sold in farmers' markets were studied. Compared with those in other treatments, shiitake mushrooms in PE packaging showed better appearance quality, and PE packaging improved firmness (3.50%), catalase (CAT) activity (1.24%), and superoxide dismutase (SOD) activity (49.08%) during the early storage period. On the third day of storage, the rate of weight loss of shiitake mushrooms in PE packaging increased by only 2.87%; meanwhile, the contents of total sugars and malondialdehyde (MDA) decreased by respectively 19.32% and 20.11%, whereas the contents of total phenols and flavonoids, which are antioxidant substances, increased by respectively 2.16 times and 9.92 times. In conclusion, PE packaging exhibited the best overall effect and maintained the quality of fresh shiitake mushrooms by delaying the consumption of total sugars and decline of firmness, inhibiting the rate of weight loss and MDA production, and improving the antioxidant potential. These findings offer data support for maintaining the quality and reducing the economic losses of fresh shiitake mushrooms in the process of market circulation.

Key words: *Lentinus edodes*; farmers' market; packing; storage quality; nutrition; antioxidant enzyme activity

引文格式:

翟梦杰, 杜敏如, 林晖, 等. 不同包装方式对农贸市场模式销售鲜香菇品质的影响[J]. 现代食品科技, 2023, 39(2): 235-242

ZHAI Mengjie, DU Minru, LIN Hui, et al. Effects of different packaging methods on the quality of fresh shiitake mushrooms sold in farmers' markets [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(2): 235-242

收稿日期: 2022-04-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(31772020)

作者简介: 翟梦杰(1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食药菌生物工程, E-mail: 1300453554@qq.com

通讯作者: 王杰(1978-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 食药菌生物工程, E-mail: wjcasey@scau.edu.cn

香菇味道鲜美,香气独特,含有多糖、脂质、蛋白质、矿物质、多酚、维生素和麦角甾醇等多种营养素^[1],并具有抗菌、抗病毒、抗氧化、抗癌和免疫调节等保健功效^[2]。近年来,我国香菇生产量及种植面积不断增加,已遍布全国各地。截至2019年,我国香菇产量高达 1.12×10^7 t,占食用菌总产量的28.37%,稳居食用菌榜首^[3]。

新鲜香菇从采摘到消费者食用需要经过贮运和销售等过程,而该过程中新鲜香菇极易发生品质劣变。采收后不同的包装方式、运输及销售环境条件等都可以显著影响香菇的货架期和品质^[4,5]。目前,我国香菇的销售模式主要有农贸市场零售和超市冷链销售两种。采摘后的香菇经由经销商运送至批发市场后,再形成以农贸市场销售为主,超市和便利店为补充的供应体系^[6]。然而目前新鲜香菇的保鲜贮运研究多集中于气调保鲜与低温贮藏相结合,至今对香菇在采后贮运过程中的品质变化研究多集中于冷链销售^[7],而对农贸市场销售模式中香菇品质变化的研究则未见报道。

自发气调(Modified Atmosphere, MA)包装是食用菌采后保鲜常用的方法之一^[8]。自发气调是利用包装材料的透气性来改变包装材料中的气体成分的比例,通过抑制呼吸作用从而达到保鲜目的。常用的包装材料有聚氯乙烯(PVC)、聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)和聚偏二氯乙烯(PVDC)^[9]。大量的研究表明,不同包装材料可以显著影响香菇、杏鲍菇等的贮藏品质^[7,10]。高帅平等^[5]研究发现PE膜包装能更好的抑制褐变相关酶的活性,降低MDA水平,减少蛋白质、还原糖等营养成分的损失,维持较高的总酚和类黄酮含量,延缓细胞衰老进程。石建春等^[10]研究发现PE和PP袋包装均可有效减少杏鲍菇水分的散失,抑制细胞膜渗透率的上升,保持杏鲍菇的感官品质,有效地延长杏鲍菇的货架期。研究表明,脱落酸(Abscisic Acid, ABA)可提高果蔬的食用品质、外观品质及抗逆性等^[11]。此外,在前期研究中发现,不同的包装方式不仅影响香菇的外观品质和失重率等常规指标,亦能通过对抗氧化性能等的作用进而影响营养和活性物质的含量。

为此,本研究通过模拟香菇从菇厂采摘、采后包装处理、冷链运输到市场销售的过程,测定了香菇贮藏品质指标、营养成分、抗氧化酶活性、抗氧化物质含量、细胞膜的完整性等,分析四种包装方式对香菇在农贸市场模式销售中的品质影响,为香菇在市场销售保持品质、减少经济损失提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

香菇,采自河南世纪香食用菌开发有限公司菇厂;PE袋(聚乙烯),厚度为0.05 mm,规格为200 mm×300 mm,广州齐湘生物科技有限公司;PP盒(聚丙烯),240 mm×140 mm×95 mm,广东铭星餐具有限公司;ABA(脱落酸),上海麦克林生化科技有限公司;其它试剂均为分析纯及以上。

1.2 仪器与设备

TA.XT Plus 质构仪,英国SMS公司;PAC CHECK Model 650 顶空分析仪,美国MOCON公司;SIGMA 3K15 高速冷冻离心机,德国Sigma公司;DDS-11A 电导率仪,上海仪电科学仪器股份有限公司;UV-1100 紫外可见分光光度计,上海奥析科学仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品处理

将所有香菇分为四组包装处理:(1)完全与培养基分离的香菇,用PE袋包装(PE);(2)带部分培养基的香菇,用PE袋包装(PE+CM);(3)完全与培养基分离的香菇,用浓度为1 mg/L的ABA溶液浸泡香菇30 s,晾干表面水分后用PP盒包装(ABA+PP);(4)完全与培养基分离的香菇,用PP盒包装(PP)。每个包装内装10个香菇。其中,ABA溶液的浓度依据前期预实验结果所得。所有香菇均从菇厂采摘,包装当天即为第0天,进行包装处理后经冷链(6~9℃)运输12 h至实验室,在室温环境(22~28℃)下贮藏3 d,每0.5 d取样,测定香菇的失重率、气体浓度、硬度、电导率以及记录外观变化。并取部分菌盖样品用液氮冻存,装进自封袋于超低温冰箱保存,用于后续指标测定。每个处理至少重复3次,结果取平均值。

1.3.2 贮藏品质指标

1.3.2.1 外观变化

在取样时间,使用尼康相机拍照记录。

1.3.2.2 失重率测定

采用称量法测定。

$$A = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

A—失重率, %;

W_0 —样品初始质量, g;

W_1 —取样当天测定质量, g。

1.3.2.3 硬度测定

采用质构仪测定香菇菌盖的硬度。参考 Li 等^[12]的方法稍作修改,参数如下:采用圆柱形探头 P2,测前、测中、测后速度 5 mm/s,测试距离 6 mm,每组样品测定 6 次,结果取平均值。

1.3.2.4 气体浓度测定

在打开包装袋之前,使用顶空分析仪自动测定包装中的 CO₂、O₂ 浓度。配备的注射器针,可以刺穿包装并通过真空泵自动抽取包装中的气体进入传感器。然后,由传感器实时输出氧气和二氧化碳的电流和电压信号。根据感知到的信号计算出包装中氧气和二氧化碳的顶空浓度,并显示在前 OLED 面板上。

1.3.3 细胞膜完整性指标

1.3.3.1 相对电导率测定

取香菇菌盖中间部分切成黄豆大小,共 2 g,置于 50 mL 离心管中,加 25 mL 蒸馏水,室温静置 30 min 得样品液。DDS-11A 型便携式电导率仪测定样品液的电导率 C₁后,沸水浴 15 min,冷却后测定电导率 C₀。根据下面公式计算细胞膜透性(相对电导率):

$$B = \frac{C_1}{C_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

B——相对电导率, %;

C₁——样品液的电导率;

C₀——沸水浴 15 min,冷却后的电导率。

1.3.3.2 MDA 含量测定

MDA 含量的测定参考 Li 等^[12]的方法并稍作修改。称取 2 g 冻存样品,于 5 mL (m/V) 三氯乙酸 (TCA) 中研磨(冰上操作),在 4 °C, 10 000 r/min 离心 15 min。取 1 mL 上清液与 2 mL 0.67% (m/V) 硫代巴比妥酸和 2 mL 5% 三氯乙酸 (TCA) 混合,混匀后在 95 °C 加热 30 min,冷却后再次离心,分别在 532 nm 和 600 nm 处测量上清液吸光度。

计算公式为:

$$C = \frac{(A_{532} - A_{600}) \times V_1}{1.55 \times 10^{-1} \times V_2 \times W} \quad (3)$$

式中:

C——MDA 含量, mmol/g;

V₁——提取液的总体积, mL;

V₂——测定提取液体积, mL;

W——材料鲜重, g;

1.55×10⁻¹——MDA 的微摩尔消光系数;

A₅₃₂——上清液在 532 nm 处的吸光度;

A₆₀₀——上清液在 600 nm 处的吸光度。

1.3.4 营养指标

蛋白质含量的测定参考秦晓艺等^[13]的方法测定,以牛血清白蛋白为标准品绘制标准曲线,计算样品中蛋白质含量,单位为 mg/g。还原糖含量的测定采用 3, 5-二硝基水杨酸比色法^[14],多糖、总糖含量的测定参考王嘉铭等^[15]的方法,均以葡萄糖为标准品绘制标准曲线,单位为 mg/g。

1.3.5 抗氧化酶指标

过氧化氢酶 (CAT)、过氧化物酶 (POD)、超氧化物歧化酶 (SOD) 活性的测定参考 Li 等^[16]的方法。SOD 活性以 1 min 内抑制 NBT 光还原的酶体积为一个酶活力单位 (U)。CAT 活性以 A240 每分钟减少 1.00 为一个酶活力单位 (U), POD 活性以每分钟 470 nm 处吸光值上升 0.001 作为一个酶活力单位 (U)。

1.3.6 抗氧化物质指标

1.3.6.1 总酚含量的测定

总酚含量的测定参考张小燕等^[17]的方法并稍作修改。将 0.5 mL 提取液与 0.5 mL 蒸馏水、5 mL φ=10% 福林酚试剂加入离心管中,混匀后静置 5 min,加入质量分数为 7.5% Na₂CO₃ 溶液 4 mL,混匀。室温放置 30 min,以蒸馏水作空白对照于 760 nm 波长处测定吸光度。以没食子酸为标准品绘制标准曲线,计算香菇子实体中总酚含量。

1.3.6.2 总类黄酮含量的测定

总类黄酮含量的测定参考 Jiang 等^[18]的方法并稍作修改。吸取 5 mL 提取液,加入质量分数 5% NaNO₂ 溶液 0.5 mL,混匀后静置 6 min,再加入质量分数 10% Al(NO₃)₃ 溶液 0.5 mL,反应 6 min 后加入质量分数 4% NaOH 溶液 4 mL,混匀。12 min 后在 510 nm 波长处测定吸光度。以芦丁为标准品绘制标准曲线,总类黄酮含量表示为每克提取物的芦丁毫克当量。

1.4 结果分析

采用 GraphPad 8.0 软件进行图表绘制,采用 SPSS 22.0 统计软件对数据进行显著性分析,显著性差异水平设定为 P<0.05。

2 结果与分析

2.1 不同包装方式对鲜香菇贮藏品质的影响

2.1.1 外观

如图 1 所示,随着贮藏时间的延长,不同包装方式的鲜香菇外观品质逐渐下降。贮藏至第 3 天,PE 包装的香菇外观褐变程度低于其它处理,颜色和气味都正常,其次是 PE+CM 包装。ABA+PP、PP 包装的香菇均在贮藏 1.5 d 后出现腐烂、异味,其原因是 PP 材

质的包装材料会使包装内部的 CO₂ 不断升高,且香菇发生无氧呼吸产生有害气体,对保鲜效果起了反作用^[19]。

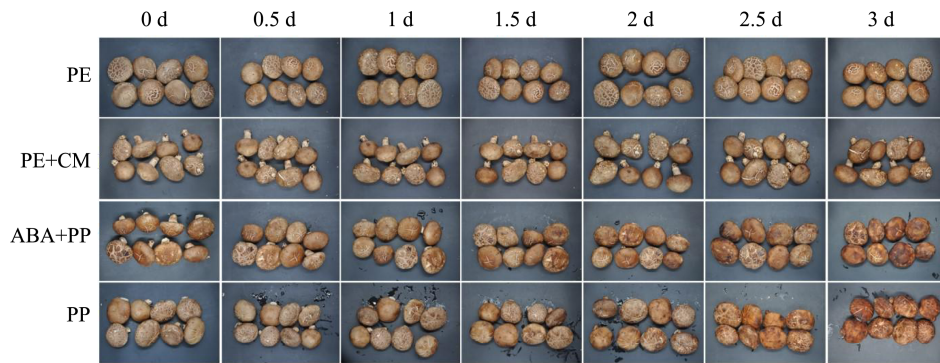


图1 不同包装方式对鲜香菇外观的影响

Fig.1 Effect of different packaging methods on the appearance of fresh *Lentinus edodes*

2.1.2 失重率和硬度

失重是评价香菇品质的关键指标之一^[20]。由图 2 可以看出,随着贮藏时间的延长,不同包装方式的鲜香菇失重率均呈上升趋势。PE、PE+CM、ABA+PP、PP 包装处理的香菇在贮藏期间的失重率分别上升了 2.87%、2.89%、6.96%、7.90%,因此可以看出香菇经 PE 包装后质量变化相对较小,可以较好地延缓采后的质量损失,且 PE 包装的效果最佳。在贮藏 3 d 时,ABA+PP 包装的香菇失重率低于 PP 包装 0.94%,差异显著 ($P<0.05$),说明 ABA 处理可以减少香菇的水分流失^[21]。PP 包装的香菇失重率最高,主要原因可能是 PP 材质比 PE 的密封性强,导致失水较多。

硬度是评价香菇质地的关键指标^[22]。由图 2 可以看出,硬度总体呈下降的趋势,原因可能是贮藏期间水分流失导致新鲜香菇表皮结构受到损伤而发生改变。在贮藏 3 d 时,PE、PE+CM、ABA+PP、PP 包装处理的香菇硬度与 0 d 相比分别下降了 28.50%、24.50%、11.10%、20.40%,可以看出 ABA+PP、PP 包装的香菇硬度更高。但 PE 和 PP 包装的香菇硬度在贮藏 0~1.5 d 内仍保持高水平,1.5 d 后硬度下降,而 PE+CM 和 ABA+PP 包装的香菇硬度开始下降后一直维持在较低水平。有研究报道,硬度的增加可能是因为木质化引起的^[12]。

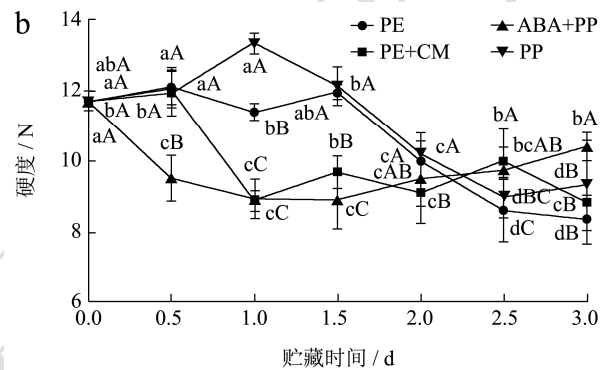
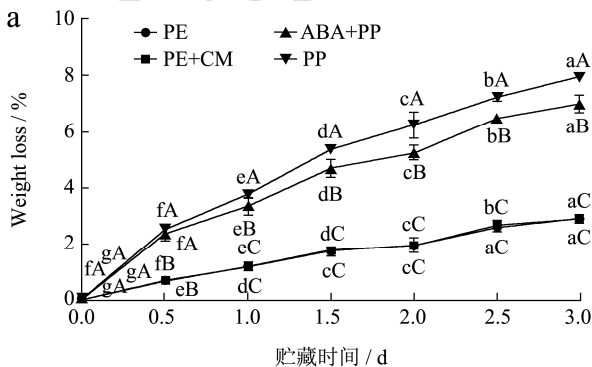


图2 不同包装方式对鲜香菇失重率、硬度的影响

Fig.2 Effects of different packaging methods on weight loss and firmness of fresh *Lentinus edodes*

注: a 为失重率; b 为硬度。图中不同小写字母表示同一处理组在不同贮藏时间点的显著性差异 ($P<0.05$),不同大写字母表示不同处理组在同一贮藏时间点的显著性差异 ($P<0.05$)。下同。

2.1.3 气体浓度

新鲜香菇在采后通过呼吸代谢提供能量以供生命活动所需,在此过程中,氧气被消耗并产生二氧化碳,香菇由于高呼吸速率导致细胞衰老以及产生变质^[4]。由图 3 可看出,随着贮藏时间的延长,CO₂ 浓度呈先上升后下降的趋势,O₂ 浓度呈下降-上升-下降-上升的变化趋势。在贮藏 3 d 时,PE、PE+CM、PP 包装的香菇 CO₂ 浓度均为 1.70%,而 ABA+PP 包装为 1.63%,四组之间差异不显著。PP 包装的香菇 O₂ 浓度在贮藏 3 d 时达到了 22.73%,其余三种包装的 O₂ 浓度均低于 PP 包装 ($P<0.05$),可以看出 PP 材质由于密封性强使香菇进行无氧呼吸,导致包装内的 O₂ 浓度较高。

田平等^[23]的研究结果表明,在低温贮藏过程中,PE 保鲜袋包装能显著降低杏鲍菇的失重率,子实体硬度显著高于对照组,且不易褐变,这些变化都与本研究结果相近,也进一步的说明温度对失重率等指标的变化趋势影响不大。本研究中,不同包装之间的呼吸作用整体变化趋势一致,但 ABA+PP 和 PP 包装的香

菇在贮藏后期变质严重,这与PP包装会使CO₂浓度升高引发果蔬的无氧呼吸,直接影响品质和寿命有关^[19]。

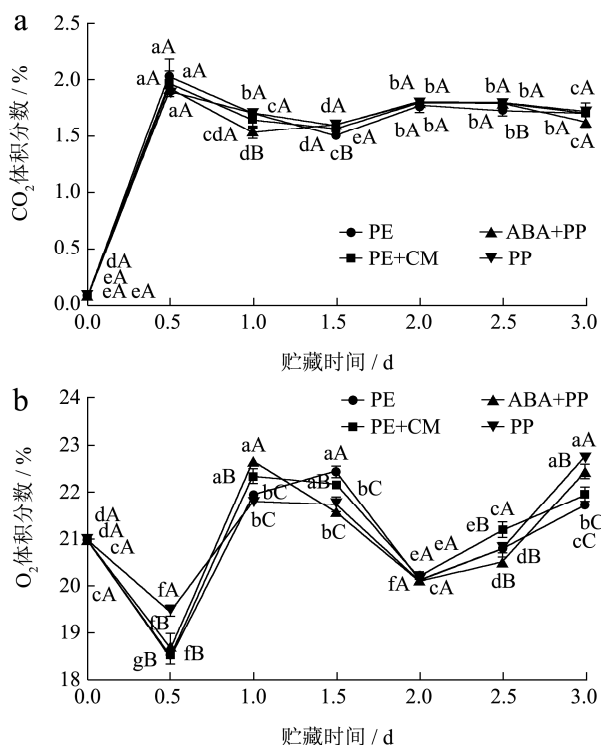


图3 不同包装方式对鲜香菇气体浓度的影响

Fig.3 Effect of different packaging methods on gas concentration of fresh *Lentinus edodes*

注: a 为 CO₂ 浓度; b 为 O₂ 浓度。

2.2 不同包装方式对鲜香菇细胞完整性的影响

电导率的变化可以反映出细胞质膜的降解水平^[24]。由图4可以看出,香菇初始样的相对电导率为53.44%,在整个贮藏过程中,不同包装方式的鲜香菇相对电导率整体呈先下降后上升的趋势。在贮藏3d时,PE、PE+CM、ABA+PP、PP包装的香菇相对电导率分别下降了5.95%、0.97%、15.46%、33.70%。PE包装的香菇相对电导率在贮藏前期高于PE+CM包装,贮藏后期则相反,且整体上高于其它包装($P < 0.05$)。

MDA(膜脂质过氧化产物)含量的变化体现了细胞膜的过氧化程度^[25]。由图4可以看出,MDA含量呈锯齿“W”型上下波动的变化趋势。在贮藏3d时,PP包装的香菇丙二醛含量为1.78 mmol/g,ABA+PP包装为1.57 mmol/g,PE+CM包装为1.67 mmol/g,PE包装为1.39 mmol/g。

李瑶^[26]在金针菇上的研究表明,PP保鲜盒能有效的减缓细胞膜透性增大的速度,抑制细胞膜内电解质的外渗。田平等^[23]的研究结果表明,PE包装能显著降低膜透性和脂膜过氧化产物MDA的含量。组织发生后熟和衰老会导致细胞质内的电解质向外渗透,

引起电导率的升高。MDA作为膜脂质过氧化的中间产物,可导致膜通透性增加。本研究中,PE和PE+CM包装的香菇电导率在贮藏中期显著高于其它处理,MDA含量的变化较平缓,这可能与细胞膜系统的损害有关。

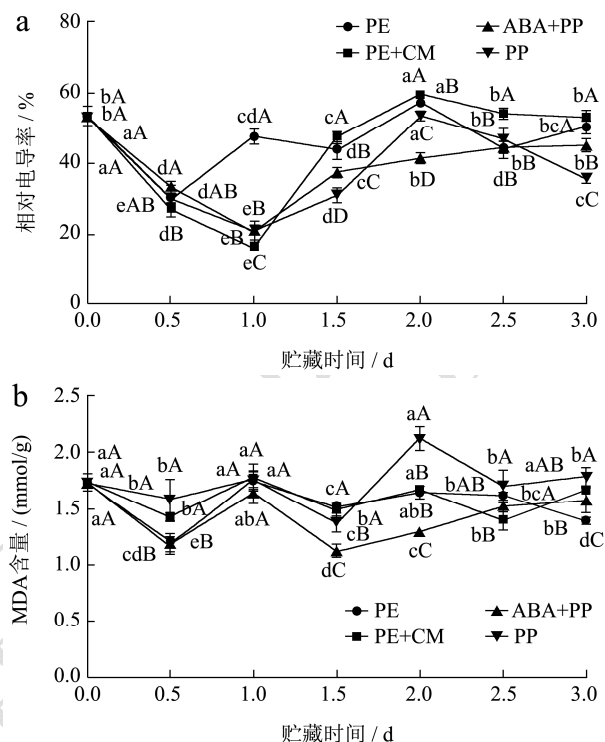


图4 不同包装方式对鲜香菇电导率和MDA含量的影响

Fig.4 Effects of different packaging methods on conductivity and MDA content of fresh *Lentinus edodes*

注: a 为电导率; b 为MDA含量。

2.3 不同包装方式对鲜香菇营养物质含量的影响

可溶性蛋白质是维持香菇代谢活动的营养物质之一^[1],是反应香菇品质的重要指标。由图5可以看出,蛋白质含量总体呈下降趋势,还原糖含量总体呈上升趋势,多糖、总糖含量总体呈下降趋势。贮藏3d与0d相比,PP包装的香菇蛋白质含量仅下降了23.90%,多糖和总糖含量由于呼吸消耗而下降较快。贮藏3d时,PE包装的香菇还原糖含量较初始值下降了6.71%,PE+CM、ABA+PP、PP包装分别上升了48.15%、82.87%、55.09%。总体来看,PP包装的香菇可溶性蛋白质含量高于其它处理($P < 0.05$),糖含量在贮藏前期高于其它处理($P < 0.05$),后期含量降低,原因可能是香菇的后熟作用,由于呼吸消耗而减少^[27]。PE+CM包装的香菇蛋白质含量除了第2d外均高于PE包装,表明了香菇可从培养基中摄取少量营养物质以合成蛋白质^[28]。

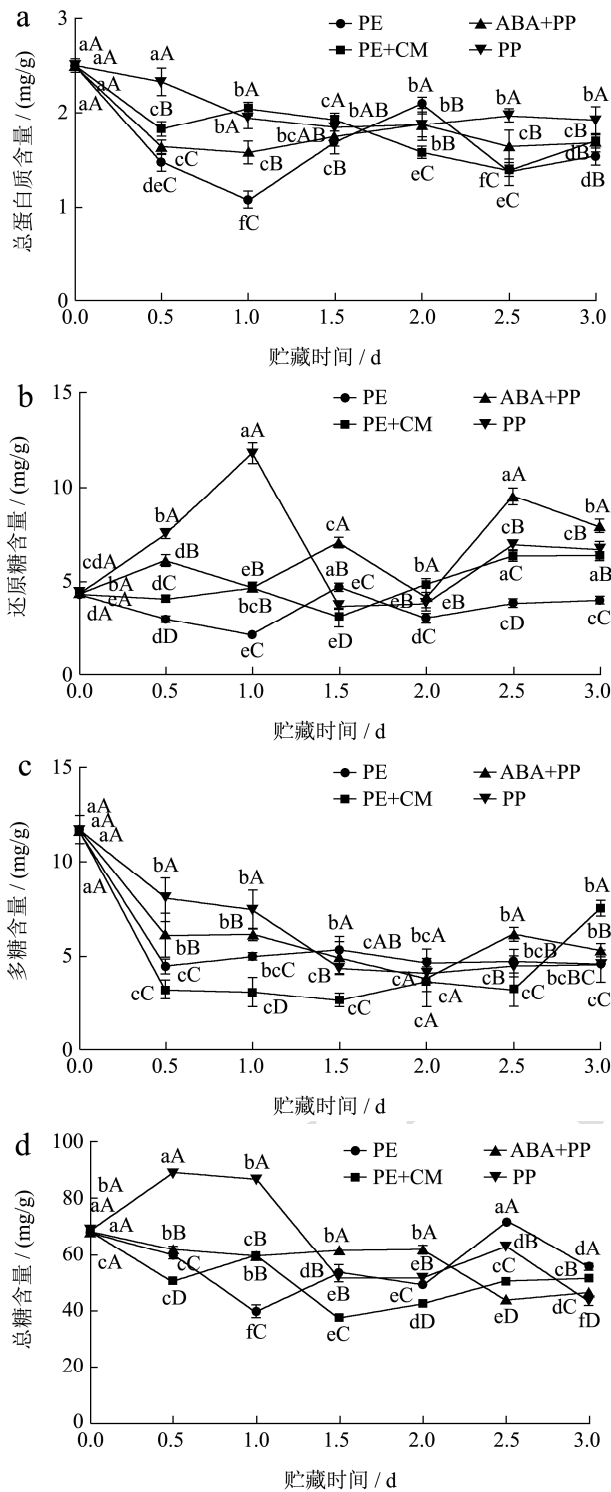


图5 不同包装方式对鲜香菇蛋白质、还原糖、多糖和总糖含量的影响

Fig.5 Effects of different packaging methods on the contents of total protein, total reducing sugar, polysaccharide and total sugar in fresh *Lentinus edodes*

注: a为蛋白质含量; b为还原糖含量; c为多糖含量; d为总糖含量。

可溶性蛋白质含量的下降与植物组织细胞衰老有关。与其它处理相比, PP包装在贮藏前期可以有效延

缓蛋白质的降解,这与李瑶^[26]在金针菇上的研究结果基本一致。而其它处理的蛋白质含量低可能是因为有效抑制了细胞器中的游离蛋白释放。糖类物质被食用菌采后旺盛的呼吸作用所消耗,且还原糖、多糖的含量由总糖分解代谢所产生的量与其作为呼吸底物被分解代谢的量决定^[23]。研究发现,贮藏期间香菇还原糖不断产生和消耗,这可能是其含量上升、多糖和总糖含量下降的原因。

2.4 不同包装方式对鲜香菇抗氧化性的影响

2.4.1 抗氧化酶

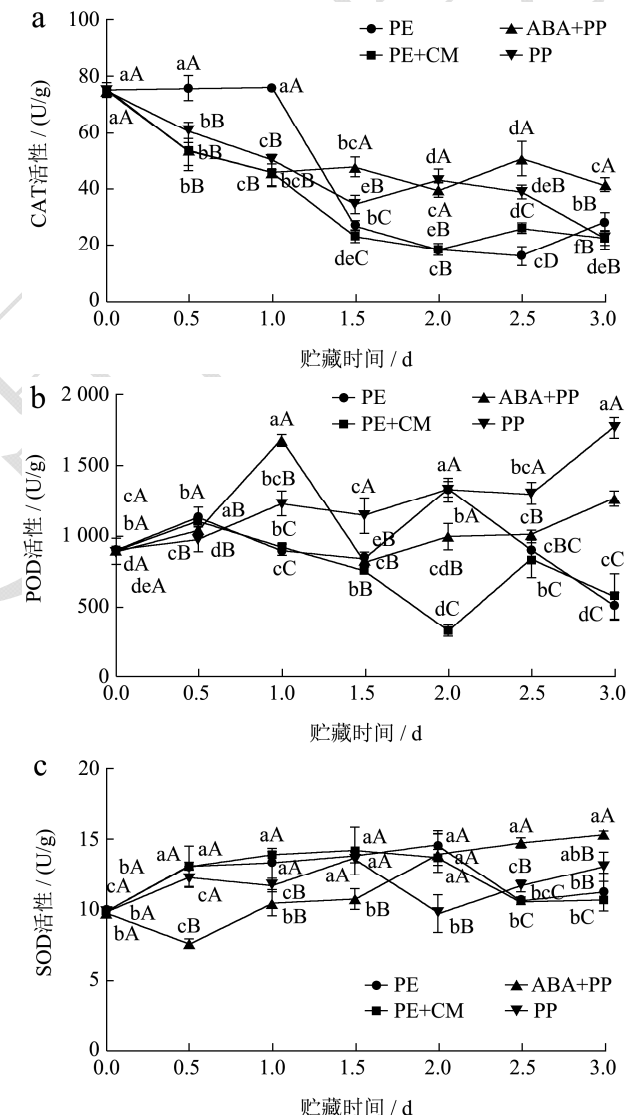


图6 不同包装方式对鲜香菇 CAT、POD、SOD 活性的影响

Fig.6 Effects of different packaging methods on CAT, POD and SOD activities of fresh *Lentinus edodes*

注: a为CAT活性; b为POD活性; c为SOD活性。

抗氧化酶系统在食用菌成熟过程中起至关重要的作用,该系统包括CAT、SOD、POD等^[29]。由图6可以看出,香菇的CAT活性总体呈下降趋势,POD

活性呈先上升后下降再上升的趋势, SOD 活性总体呈上升趋势。贮藏 3 d 与 0 d 相比, ABA+PP 包装的香菇 CAT 活性下降 45.26%, SOD 活性上升 56.97%。贮藏 3 d 时, PE、PE+CM 包装的香菇 POD 活性较初始值分别下降了 43.03%、35.68%, 而 ABA+PP、PP 包装分别上升了 41.98%、98.65%。总体来看, PE 包装的 CAT、SOD 活性在贮藏前期高于其它处理 ($P < 0.05$), 从而减少了活性氧对香菇组织的损害, 延缓衰老进程^[30]。PE+CM 包装的 CAT、POD 活性在整个贮藏期最低, SOD 活性在贮藏前期高于 ABA+PP 和 PP 包装, 但与 PE 包装差异不显著。ABA+PP 包装的 CAT、SOD 活性贮藏前期低于 PP 包装 ($P < 0.05$), 后期活性升高, POD 活性变化与其相反, 这说明 ABA 处理在后期抑制了 POD 活性, 而 CAT、SOD 活性得到提高, 原因可能是外源 ABA 提高了香菇的抗逆性^[11]。

2.4.2 抗氧化物质

总酚、黄酮类化合物都是蘑菇的抗氧化成分, 作为某些酶的底物, 其含量的增加与植物抵御损伤、环境胁迫有关^[31]。由图 7 可以看出, 总酚、类黄酮含量整体呈上升趋势, 后期略有下降可能与褐变反应有关。PE 包装的香菇总酚含量在 1 d 时达到 0.76 mg/g, 总类黄酮含量在 1.5 d 时达到 1.49 mg/g。PE 包装的总酚和类黄酮含量整体高于其它处理 ($P < 0.05$), 保持较高的抗氧化能力。PE+CM 包装的总酚、类黄酮含量整体高于 PP 包装, 而 ABA+PP 包装的总酚含量整体高于 PE+CM 包装、总类黄酮含量则相反。ABA+PP 包装的总酚、类黄酮含量整体高于 PP 包装 ($P < 0.05$), 这一结果表明 ABA 处理可能一定程度上促进了总酚和类黄酮的积累。

活性氧 (Reactive Oxygen Species, ROS) 作为信号分子在植物非生物胁迫中发挥重要作用, 大量累积会对植物细胞膜系统造成损伤。当 ROS 在果蔬体内开始积累, 会激活其氧化还原防御系统, 该系统包括酶促抗氧化体系与非酶抗氧化体系^[32]。CAT、SOD、POD 作为酶促防御系统的重要保护酶, 参与植物的生长发育与抗逆过程^[33]。总酚和类黄酮作为果蔬体内非酶促防御系统的关键物质^[5], 其含量的变化反映了抗氧化能力的强弱。高帅平等^[5]的研究结果表明, PE 膜包装能维持较高的总酚和类黄酮含量, 延缓细胞衰老进程。研究发现, 四组包装方式的香菇抗氧化酶活性在贮藏前后均有不同程度的提高, 酚类物质不断积累。这说明香菇可以通过调节 CAT、POD、SOD 等抗氧化酶的活性来减轻 ROS 的损伤, 维持细胞的氧化还原平衡^[34], 也可以通过促进酚类物质的积累来抑制氧化损

伤、延缓衰老。

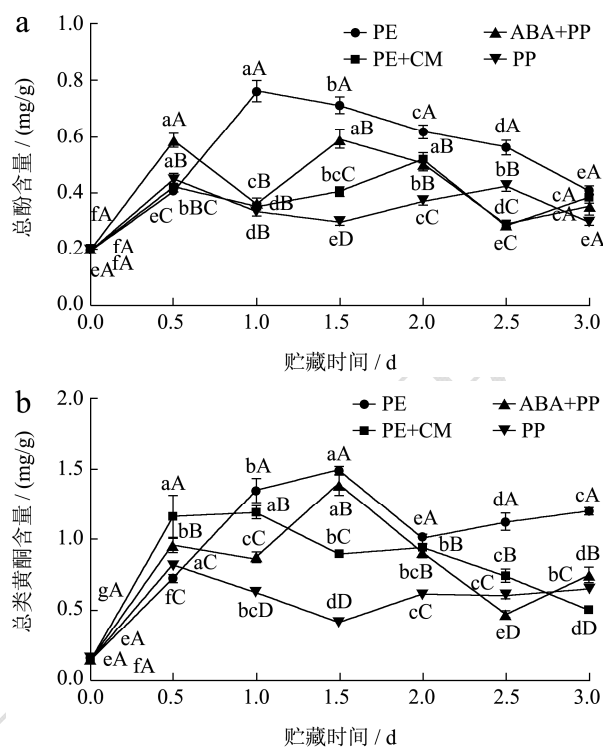


图 7 不同包装方式对鲜香菇总酚、类黄酮含量的影响

Fig.7 Effects of different packaging and methods on the contents of total phenols and flavonoids in fresh *Lentinus edodes*

注: a 为总酚含量; b 为类黄酮含量。

3 结论

本文对农贸市场销售模式中四种包装方式的鲜香菇品质 (外观、质地、气体浓度、细胞膜完整性、营养物质含量、抗氧化酶活性以及抗氧化物质含量) 指标进行综合分析。结果表明: 包装方式可通过改变各品质指标变化的趋势和幅度来影响鲜香菇品质。其中, PE 包装具有较好的外观品质, 可显著降低失重率 ($P < 0.05$), 贮藏前期提高硬度以及过氧化氢酶 (CAT)、超氧化物歧化酶 (SOD) 的活性, 总酚、类黄酮等抗氧化物质含量增加。PE+CM 包装可有效维持外观品质, 降低失重率, 贮藏前期减少电解质泄漏、提高 SOD 活性。ABA+PP 包装在一定程度上可以降低失重率和丙二醛 (MDA) 含量, 贮藏前期提高 SOD 活性, 后期减少电解质泄漏, 但外观品质较差。PP 包装在贮藏前期显著提高硬度和营养物质含量 ($P < 0.05$), 提高过氧化物酶 (POD) 活性, 但褐变严重。分析结果表明包装方式可通过减少细胞膜损伤和营养物质消耗、提高抗氧化性等延缓鲜香菇的品质劣变, 其中以 PE 包装的综合效果最好。

参考文献

- [1] Huang Q H, Qian X C, Jiang T J, et al. Effect of chitosan and guar gum based composite edible coating on quality of mushroom (*Lentinus edodes*) during postharvest storage [J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 253: 382-389
- [2] Arslan N P, Cinar-Yilmaz H, Vural-Keles D, et al. Exopolysaccharide production with high antibacterial efficiency from *Lentinus edodes* using sheep wool protein hydrolysate [J]. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2021
- [3] 2019 年度全国食用菌统计调查结果分析[J]. *中国食用菌*, 2021,40(6):104-110
- [4] 李静,任心如,卢雅琪,等. γ -氨基丁酸对香菇采后品质的影响[J]. *食品工业科技*,2021,42(8):301-306
- [5] 高帅平,魏书信,王安建,等.两种气调保鲜方式对香菇贮藏品质及生理生化性质的影响[J]. *食品工业科技*,2021,42(4): 276-281
- [6] 曹斌,梁希晨.我国香菇市场与产业调查分析报告[J]. *农产品市场*,2021,6:46-47
- [7] 陈冰洁,乔勇进,张国强,等.香菇采后保鲜技术研究进展[J]. *食用菌学报*,2019,26(3):141-147
- [8] 夏紫茜,李辣梅,严涵,等.食用菌采后保鲜研究进展[J]. *中国果菜*,2021,41(5):15-22
- [9] 王丹,杜晓东,李巧玲,等.梨自发气调保鲜技术研究进展[J]. *保鲜与加工*,2016,16(5):125-129
- [10] 石建春,冯翠萍,常明昌,等.不同包装材料对杏鲍菇货架期保鲜效果的影响[J]. *山西农业科学*,2016,44(11):1704-1707
- [11] 祁玉霞,张程慧,程康蓉,等.果蔬采后外源脱落酸作用的生理机制和应用研究进展[J]. *食品工业科技*,2017,38(23):295-300
- [12] Li D Q, Qin X Y, Tian P P, et al. Toughening and its association with the postharvest quality of king oyster mushroom (*Pleurotuseryngii*) stored at low temperature [J]. *Food Chemistry*, 2016, 196: 1092-1100
- [13] 秦晓艺,王杰,李丹青,等.不同采收期与采后处理方法对杏鲍菇贮藏品质的影响[J]. *食品与发酵工业*,2015,41(3):118-123
- [14] 戚向阳,周婷婷,曹少谦.不同强度脉冲强光对鲜香菇保鲜效果的影响[J]. *农业工程学报*,2019,35(3):287-293
- [15] 王嘉铭,雷于国,胡国元,等.不同生育期香菇多糖、蛋白质积累规律及多糖抗氧化活性研究[J]. *食品科技*,2018,43(6): 92-97
- [16] Li P X, Zhang X, Hu H L, et al. High carbon dioxide and low oxygen storage effects on reactive oxygen species metabolism in *Pleurotuseryngii* [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2013, 85: 141-146
- [17] 张小燕,吴元元,魏德军,等.浸水处理对采后香菇褐变和质地的影响[J]. *中国食用菌*,2019,38(3):72-76
- [18] Jiang T J, Luo Z S, Ying T J. Fumigation with essential oils improves sensory quality and enhanced antioxidant ability of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) [J]. *Food Chemistry*, 2015, 172: 692-698
- [19] 李任任,高欣,吕春洁.包装材料的透气性对新鲜香菇保鲜的影响[J]. *民营科技*,2018,5:66-67
- [20] Jiang T J, Feng L F, Li J R. Changes in microbial and postharvest quality of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) treated with chitosan-glucose complex coating under cold storage [J]. *Food Chemistry*, 2012, 131(3): 780-786
- [21] 唐艳.采后处理对枣贮藏品质的影响研究[D].长沙:中南林业科技大学,2019
- [22] Jiang T J, Zheng X L, Li J R, et al. Integrated application of nitric oxide and modified atmosphere packaging to improve quality retention of button mushroom (*Agaricusbisporus*) [J]. *Food Chemistry*, 2011, 126(4): 1693-1699
- [23] 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
- [24] 冯丽萍,付海蛟,魏丹,等.不同压力条件对减压罐贮藏生鲜香菇品质的影响[J]. *包装工程*,2014,35(19):7-12
- [25] Wang Y, Mo Y L, Li D Q, et al. The main factors inducing postharvest lignification in king oyster mushrooms (*Pleurotuseryngii*): Wounding and ROS-mediated senescence [J]. *Food Chemistry*, 2019, 301: 125224
- [26] 李瑶.1-MCP 处理结合聚丙烯保鲜盒包装调控金针菇品质劣变机制研究[D].重庆:西南大学,2018
- [27] 苏倩倩,汤静,赵立艳,等.纳米复合材料包装对香菇在贮藏过程中品质及甲醛含量的影响[J]. *食品科学*,2015,36(8): 260-265
- [28] 沈彤,杜军,李鸣雷,等.不同栽培基质对羊肚菌产量和营养成分的影响[J]. *水土保持通报*,2021,41(3):187-192
- [29] Khan Z U, Bu J, Khan N M, et al. Integrated treatment of CaCl₂, citric acid and sorbitol reduces loss of quality of button mushroom (*Agaricusbisporus*) during postharvest storage [J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2015, 39(6): 2008-2016
- [30] Li P X, Gao J X, Hu H L, et al. Postharvest senescence of fresh lotus pods and seeds is delayed by treatment with 1-methylcyclopropene [J]. *Annals of Applied Biology*, 2016, 169(3): 440-452
- [31] Li Y J, Ishikawa Y, Satake T, et al. Effect of active modified atmosphere packaging with different initial gas compositions on nutritional compounds of shiitake mushrooms (*Lentinus edodes*) [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2014, 92: 107-113
- [32] 周慧.褪黑素对鲜切梨贮藏过程中抗氧化及抑菌效果的研究[D].泰安:山东农业大学,2019
- [33] 李思婧,何世微,陶毅明.菠萝蜜过氧化物酶的酶学性质[J]. *食品科技*,2017,42(10):40-43
- [34] 李陆萍,梁大成.活性氧诱发的植物亚细胞间通讯[J]. *生物技术通报*,2021,37(5):165-173