

程倩颖, 宋婷, 李志刚, 等. 低密度聚乙烯袋厚度对杏鲍菇减压贮藏品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(10): 215–221. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020060222

CHENG Qianying, SONG Ting, LI Zhigang, et al. Effect of Low Density Polyethylene Bag Thickness on Hypobaric Storage Quality of *Pleurotus eryngii* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(10): 215–221. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020060222

· 包装与机械 ·

低密度聚乙烯袋厚度对杏鲍菇减压贮藏品质的影响

程倩颖¹, 宋 婷^{1,2}, 李志刚¹, 冯翠萍^{1,*}

(1. 山西农业大学食品科学与工程学院, 山西晋中 030801;
2. 晋中市质量技术监督检验检测所, 山西晋中 030600)

摘 要: 为了探寻杏鲍菇减压贮藏适宜的包装材料厚度, 以杏鲍菇为试材, 分别采用 0.03、0.05、0.07 mm 低密度聚乙烯袋 (low density polyethylene, LDPE) 抽真空减压至 0.06 MPa 包装后, 置于 4 ℃ 冷藏 30 d, 探究不同厚度包装材料对减压贮藏条件下杏鲍菇的生理生化指标及品质的变化规律。结果表明: 到贮藏结束时, 与 0.03、0.05 mm 处理组相比, 0.07 mm 低密度聚乙烯袋组的杏鲍菇水分含量最高, 为 80.42%, 其能有效减少杏鲍菇失水, 抑制呼吸速率, 减缓过氧化氢酶 (catalase, CAT) 和超氧化物歧化酶 (superoxide dismutase, SOD) 活性下降, 抑制丙二醛 (malondialdehyde, MDA) 含量及多酚氧化酶 (polyphenol oxidase, PPO) 活性的上升, 对杏鲍菇的硬度、内聚性、弹性、咀嚼性等质构特性及色泽品质影响越小。因此, 0.07 mm 厚的低密度聚乙烯袋为杏鲍菇减压贮藏的适宜包装材料厚度, 其能有效延缓杏鲍菇的后熟衰老, 延长杏鲍菇的保鲜期。

关键词: 杏鲍菇, 减压贮藏, 聚乙烯袋, 包装, 低厚度, 生理, 品质, 质构

中图分类号: TS255.36

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2021)10-0215-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020060222

Effect of Low Density Polyethylene Bag Thickness on Hypobaric Storage Quality of *Pleurotus eryngii*

CHENG Qianying¹, SONG Ting^{1,2}, LI Zhigang¹, FENG Cuiping^{1,*}

(1. College of Food Science and Engineering, Shanxi Agricultural University, Jinzhong 030801, China;

2. Jinzhong Institute of Quality and Technical Supervision and Inspection and Testing, Jinzhong 030600, China)

Abstract: To explore the suitable thickness of packing material for decompression storage of *Pleurotus eryngii*, 0.03, 0.05, 0.07 mm low density polyethylene bags (LDPE) were vacuumed to 0.06 MPa and then refrigerated under 4 ℃ for 30 d to explore the physiological, biochemical indicators and quality effects of different thickness of packaging materials on *Pleurotus eryngii* under decompression storage conditions. The results showed that, by the end of storage, compared with the 0.03 and 0.05 mm treatment groups, the moisture content of the *Pleurotus eryngii* in the 0.07 mm low density polyethylene bag group was 80.42%, which could effectively reduce the water loss, inhibit the respiratory rate, slow down the decline of catalase (CAT) and superoxide dismutase (SOD) activities, inhibited the increase of malondialdehyde (MDA) content and polyphenol oxidase (PPO) activity, the smaller the effect on the texture characteristics and color quality of *Pleurotus eryngii*, such as hardness, cohesion, elasticity, and chewiness. Hence, the 0.07 mm low density polyethylene bag was the suitable packing material thickness for decompression storage of *Pleurotus eryngii*, and the preservation effect was better, which effectively delayed the post-maturing aging of *Pleurotus eryngii* and prolonged the preservation period of *Pleurotus eryngii*.

收稿日期: 2020-06-18

基金项目: 山西省重点研发计划重点项目 (201603D21106); 山西省研究生教育创新项目 (2019SY208); 山西农谷建设科研专项 (SXNGJSKYZX201903); 食用菌山西省科技创新重点团队 (201805D131009); 黄土高原食用菌提质增效协同创新中心资助。

作者简介: 程倩颖 (1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品营养与安全, E-mail: 19834542996@163.com。

*** 通信作者:** 冯翠萍 (1968-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 食品贮藏加工与安全, E-mail: ndfcp@163.com。

Key words: *Pleurotus eryngii*; decompression storage; polyethylene bag; pack; low thickness; physiology; quality; qualitative structure

杏鲍菇是食药兼具的珍稀食用菌^[1-2],含有丰富的营养物质和生物活性物质^[3-6],具有降血脂^[7-8]、抗肿瘤^[9-11]、护肝^[12]、抗氧化^[13]等作用,因此受到了广大消费者的青睐。然而新鲜的杏鲍菇水分大、质地脆嫩,呼吸旺盛,代谢速率快,采收后若不及时进行适当处理便会发生变软、变黏、褐变等品质劣化现象^[14-15],严重影响其商业价值。因此探究杏鲍菇的采收保鲜技术能在保证降低杏鲍菇贮藏流通中损耗的同时,进一步提高其经济效益。

目前对于采收杏鲍菇贮藏方法的研究主要集中在低温保鲜^[16]、气调保鲜^[17]、辐照保鲜^[18]、臭氧保鲜^[19]、减压保鲜^[20]等方面,其中减压贮藏已广泛应用在许多果蔬保鲜上,其原理是通过排除贮藏容器内绝大多数气体使 O_2 分压降低来抑制果蔬的正常生理活动以及引起腐败的微生物活动,减少物质之间的转化和营养物质的消耗,最终达到延缓衰老死亡进程的效果^[21]。该方法的关键在于贮藏容器的减压与保压,而小包装的减压法相较贮藏室减压成本更低,更易推广,此外小包装减压法还可利用包装自身的渗透作用和果蔬的有氧呼吸作用,给果蔬提供了一个相对高湿和低 O_2 、高 CO_2 的微气调内环境^[22],有利于进一步抑制果蔬的呼吸作用,减少果蔬组织因蒸腾作用而产生的水分损失。而不同种类和厚度的包装材料自身渗透系数和保压能力不同,对杏鲍菇减压贮藏的保鲜效果也不同。相关研究表明,低密度聚乙烯材料更适用于杏鲍菇保鲜^[23-24],而关于包装材料厚度对杏鲍菇贮藏的研究却鲜有报道。因此本试验以杏鲍菇为试材,减压贮藏条件下探究低密度聚乙烯包装袋的厚度对杏鲍菇贮藏品质及相关酶活性的影响,以期为延长杏鲍菇贮藏保鲜期以及杏鲍菇包装设计提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

杏鲍菇(天绿 2 号) 自山西晋城泽地萃绿农开发有限公司,挑选个体大小均匀,菇体雪白、无机械伤、病虫害的新鲜杏鲍菇为原料;0.03、0.05、0.07 mm 厚的低密度聚乙烯包装袋 由山西省农科院果蔬保鲜所提供。

DHG-9243BS-III 电热恒温鼓风干燥箱 上海新苗医疗器械制造有限公司;质构仪 美国 Food Technology Corporation 公司;色差计 北京鑫奥依克光电技术有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 处理方法 供试杏鲍菇采收后置于 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下预冷 24 h 后进行包装处理。随机用厚度为 0.03、0.05 及 0.07 mm 的低密度聚乙烯袋进行分组包装,

每袋包装两个杏鲍菇,抽真空至 0.06 MPa ^[25],包装好后放置在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冰箱中冷藏。每个厚度处理 3 个重复,每个重复 8 袋,每隔 5 d 取一次样测定含水量、呼吸强度、硬度、内聚性、弹性、咀嚼性、色差、及 CAT、SOD、PPO、MDA,为期 30 d。

1.2.2 测定项目及方法

1.2.2.1 生理生化指标 水分含量的测定:参照 GB 5009.3-2016^[26] 中直接干燥法;呼吸强度的测定:参照张桂^[27] 静置碱液吸收法;过氧化氢酶(CAT)活性、超氧化物歧化酶(SOD)活性和丙二醛(MDA)含量的测定:沿杏鲍菇轴线切取同样尺寸的矩形长条,切碎混匀,测 SOD 活性时加入 8 mL 生理盐水,测 CAT 活性和 MDA 含量时加入 18 mL 预冷的 pH7.8 的磷酸缓冲液,冰浴研磨,离心取上清液后,分别根据 CAT、SOD、MDA 试剂盒说明书进行测定;多酚氧化酶(PPO)活性测定:方法同上,加入预冷的 pH7 的磷酸缓冲液 8 mL,冰浴研磨,冷冻离心($2\sim 4\text{ }^{\circ}\text{C}$),并用 pH7 的磷酸缓冲液将上清液定容至 25 mL 后,通过分光光度计法^[28] 测定。

1.2.2.2 质构特性指标 质构指标的测定:参照李志刚等^[25] 的方法测定,分别在菇盖、菇柄中部径向穿刺进行质地多面分析(texture profile analysis, TPA),测定硬度、内聚性、弹性、咀嚼性指标;色差的测定:参照石建春等^[24] 的方法测定色差值 ΔE 。

1.3 数据处理

采用 SAS8e 和 Excel 2007 软件进行数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 不同 LDPE 袋厚度对减压贮藏杏鲍菇水分含量的影响

由图 1 可见,包装厚度对杏鲍菇水分含量有影响,在整个减压贮藏过程中水分含量均呈不同幅度的下降趋势。0.07 mm LDPE 袋包装杏鲍菇保水性最好,贮藏到第 10 d,0.07 mm 包装组水分含量为 86.56%,显著高于 0.03 mm 包装组(77.82%)($P<0.05$),贮藏到第 15 d,0.07 mm 包装组水分含量为 85.93%,显著高于 0.05 mm 包装组(76.74%),极显著高于 0.03 mm 包装组(71.73%)($P<0.01$)。因此,0.07 mm 厚度的 LDPE 包装袋处理有效延缓了减压贮藏条件下杏鲍菇水分的散失。

2.2 不同 LDPE 袋厚度对减压贮藏杏鲍菇呼吸强度的影响

由图 2 可看出,在整个减压贮藏过程中呼吸强度总体上呈先上升后下降再略微上升并趋于平缓的变化趋势。在前 20 d,0.03 mm LDPE 袋包装的杏鲍菇呼吸强度高于其他组,但后期呼吸强度小于其他

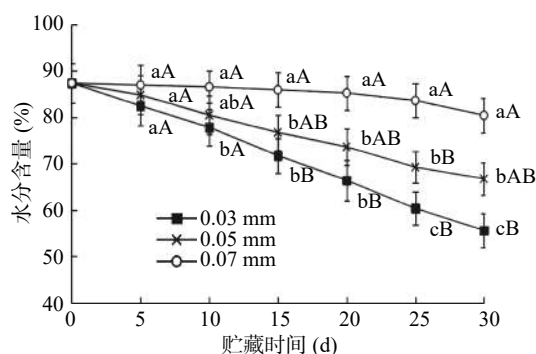


图 1 LDPE 袋厚度对减压贮藏杏鲍菇水分含量的影响

Fig.1 Effects of LDPE bag thickness on moisture content of *Pleurotus eryngii* during hypobaric storage

注:不同小写字母表示同一贮藏时间各包装厚度之间的差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示同一贮藏时间各包装厚度之间的差异极显著($P<0.01$);图 2~图 11。

组,分析原因可能是包装越薄气体渗透率越高,越不利于包装袋内低压环境的保持及相对低 O_2 、高 CO_2 气体环境的形成,所以呼吸强度高,而后期由于菇体营养物质的过度消耗,菇体老化快等原因呼吸强度迅速下降。在第 15 d, 0.07 mm 包装组呼吸强度为 $0.2095 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,显著低于 0.05 mm 包装组 $0.2274 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ($P<0.05$),极显著低于 0.03 mm 包装组 $0.2383 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ($P<0.01$)。由此可见,0.07 mm LDPE 包装袋的阻隔性最为适当,在一定程度上抑制了杏鲍菇的呼吸作用。

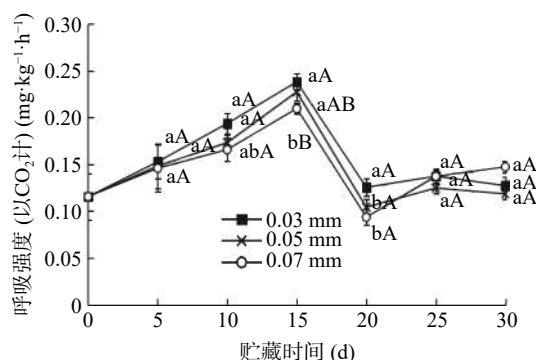


图 2 LDPE 袋厚度对减压贮藏杏鲍菇呼吸强度的影响

Fig.2 Effects of LDPE bag thickness on respiration rate of *Pleurotus eryngii* during hypobaric storage

2.3 不同 LDPE 袋厚度对减压贮藏杏鲍菇 CAT、SOD、PPO 活性的影响

由图 3 可见,在贮藏的中后期,不同厚度 LDPE 袋处理对减压贮藏杏鲍菇 CAT 活性有影响,CAT 的活性随着采收贮藏时间的延长总体呈现出不同幅度的下降趋势,贮藏中后期,0.07 mm 厚度 LDPE 包装的杏鲍菇 CAT 活性高于其他组,并且贮藏 10~20 d 期间其下降幅度较其他组缓慢。方差分析显示,在第 20 d, 0.07 mm 包装组 CAT 活性为 $2.32 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$ 明显高于 0.03 mm 包装组 ($1.73 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$) ($P<0.05$)。

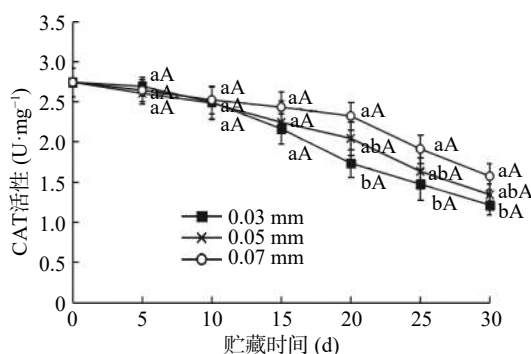


图 3 LDPE 袋厚度对减压贮藏杏鲍菇过氧化氢酶(CAT)活性的影响

Fig.3 Effects of LDPE bag thickness on catalase activity of *Pleurotus eryngii* during hypobaric storage

由图 4 可见,不同包装厚度条件下,SOD 的活性均随贮藏时间的延长整体呈先上升后下降的变化趋势,而不同厚度包装的杏鲍菇 SOD 活性变化幅度有所不同,贮藏前 10 d 0.03 mm LDPE 包装组上升幅度最大,后期下降幅度也最大,这可能是因为 0.03 mm 包装袋阻隔性差,袋内 O_2 含量高,菇体自身氧化作用产生的超氧化物多,刺激菇体产生大量 SOD^[29];后期由于机体自身老化、SOD 被大量的自由基所消耗甚至限制酶活性等原因,SOD 的活性逐渐减小。在第 20 d, 0.07 mm 包装组的杏鲍菇 SOD 活性 ($240.97 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$) 开始高于其他组,且与 0.03 mm 包装组 ($210.53 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$) 达到显著差异 ($P<0.05$)。

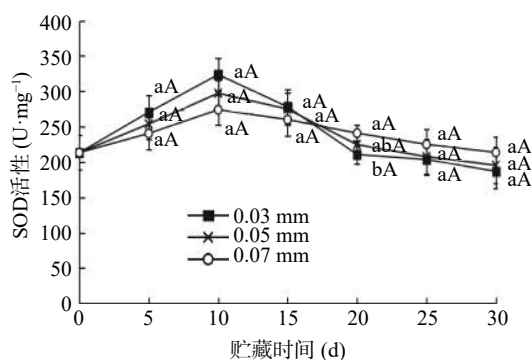


图 4 LDPE 袋厚度对减压贮藏杏鲍菇超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响

Fig.4 Effects of LDPE bag thickness on superoxide dismutase activity of *Pleurotus eryngii* during hypobaric storage

由图 5 可见,在整个减压贮藏过程中杏鲍菇 PPO 酶活性先上升后下降,0.03 mm LDPE 袋包装的杏鲍菇 PPO 活性最大,0.07 mm LDPE 袋包装的杏鲍菇 PPO 活性始终明显低于其他组,并在贮藏第 10 d 开始呈现下降趋势,而其他组在贮藏的第 15 d 才开始下降。PPO 活性先上升后下降的变化规律与贮藏过程中酚类物质的含量有关,在贮藏前期,杏鲍菇体内的氨基酸反应生成酚醛类物质,这类物质上升导致酶活性上升^[28];到贮藏后期,由于杏鲍菇内的氨基酸等物质被分解导致其含量下降,酚类物质的含量也相应下降,所以 PPO 酶活性也随之下降。方差分析显

示,在贮藏第10 d,0.07 mm包装组的PPO活性为 $54.18 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$ 低于0.05 mm包装组($63.74 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$) ($P<0.05$),且在贮藏第15 d与0.03 mm组 $85.18 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$ 达极显著差异($P<0.01$)。

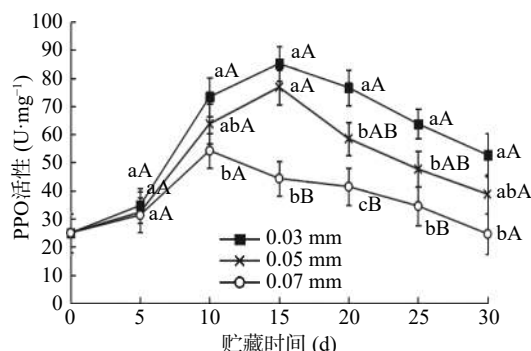


图5 LDPE袋厚度对减压贮藏杏鲍菇多酚氧化酶(PPO)活性的影响

Fig.5 Effects of LDPE bag thickness on polyphenol oxidase activity of *Pleurotus eryngii* during hypobaric storage

2.4 不同LDPE袋厚度对减压贮藏杏鲍菇MDA含量的影响

由图6可见,包装厚度对减压贮藏条件下杏鲍菇MDA含量有显著影响,随着贮藏时间的延长,不同包装厚度下的MDA含量均呈现增加趋势,但从贮藏5 d开始,0.07 mm LDPE包装的杏鲍菇MDA含量一直低于其他组,上升趋势较平缓,而0.03 mm LDPE包装的杏鲍菇MDA含量最大,说明其膜脂过氧化最严重,细胞结构破坏最大。在第15 d,0.07 mm包装组MDA含量($0.44 \text{ nmol} \cdot \text{mg}^{-1}$)与0.05 mm包装组($0.56 \text{ nmol} \cdot \text{mg}^{-1}$)达到显著差异($P<0.05$),与0.03 mm包装组($0.64 \text{ nmol} \cdot \text{mg}^{-1}$)达到极显著差异($P<0.01$)。因此,0.07 mm LDPE袋包装处理能延缓细胞衰老,抑制MDA的生成速度。

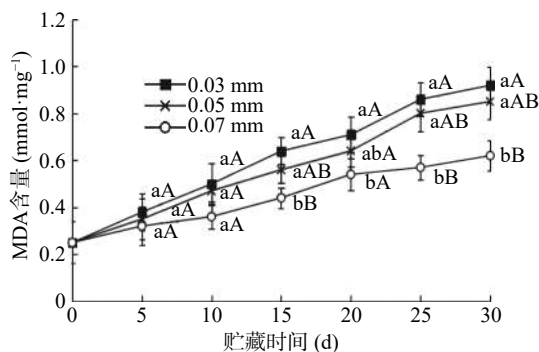


图6 LDPE袋厚度对减压贮藏杏鲍菇丙二醛(MDA)含量的影响

Fig.6 Effects of LDPE bag thickness on malondialdehyde contents activity of *Pleurotus eryngii* during hypobaric storage

2.5 不同LDPE袋厚度对减压贮藏杏鲍菇硬度的影响

由图7可见,随着贮藏时间的延长,各部位均呈先上升后下降的趋势,整个贮藏过程中,0.07 mm LDPE袋包装的杏鲍菇菇盖和菇柄的硬度均大于其他组。在贮藏前5 d,不同处理对杏鲍菇不同部位硬

度的影响甚微,5 d之后菇柄硬度开始下降,在贮藏10 d后菇盖硬度开始下降,且0.03 mm包装组的菇柄硬度呈相对快速的下降趋势,在保藏中后期与0 d对比,0.03 mm厚度LDPE包装的杏鲍菇各部位硬度差异均最大。分析整个贮藏过程中,杏鲍菇硬度是伴随着菇体后熟衰老进程发生变化,硬度上升可能是因为组织纤维化、木质化所致,而下降源于细胞壁降解,细胞间结合力下降,组织软化。0.07 mm包装组菇盖硬度(24.14 N)在第10 d与0.03 mm包装组(19.56 N)达到显著差异($P<0.05$)。对于菇柄在贮藏第10 d时,0.07 mm组硬度明显高于0.03 mm组($P<0.05$)。由此可以得出,采用厚度为0.07 mm的LDPE袋包装能有效地保持贮藏期杏鲍菇硬度,抑制其后熟衰老进程。

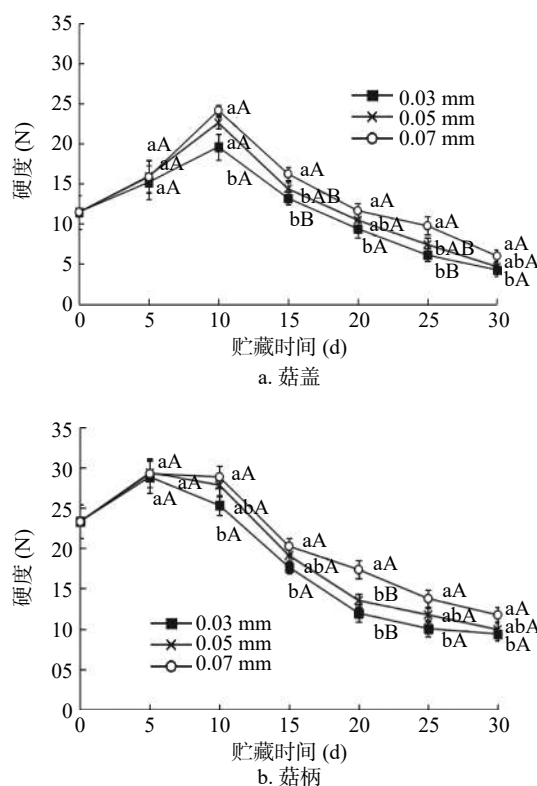


图7 LDPE袋厚度对减压贮藏杏鲍菇硬度的影响

Fig.7 Effects of LDPE bag thickness on hardness of *Pleurotus eryngii* during hypobaric storage

2.6 不同LDPE袋厚度对减压贮藏杏鲍菇内聚性的影响

内聚性反映了果蔬组织抵抗外力作用力时内聚力的大小。由图8可见,包装厚度对杏鲍菇各部位内聚性有一定的影响,且影响趋势基本一致。贮藏前5 d杏鲍菇各部分内聚性均呈上升趋势,5 d后开始下降。在整个贮藏过程中0.07 mm厚度LDPE包装的杏鲍菇各部分内聚性大于其他组,在第15 d,0.07 mm包装组菇盖内聚性(0.24)与0.05 mm包装组(0.19)达到显著差异($P<0.05$),与0.03 mm包装组(0.17)达到极显著差异($P<0.01$)。因此,0.07 mm厚度LDPE袋处理可以较好地维持杏鲍菇内聚性。

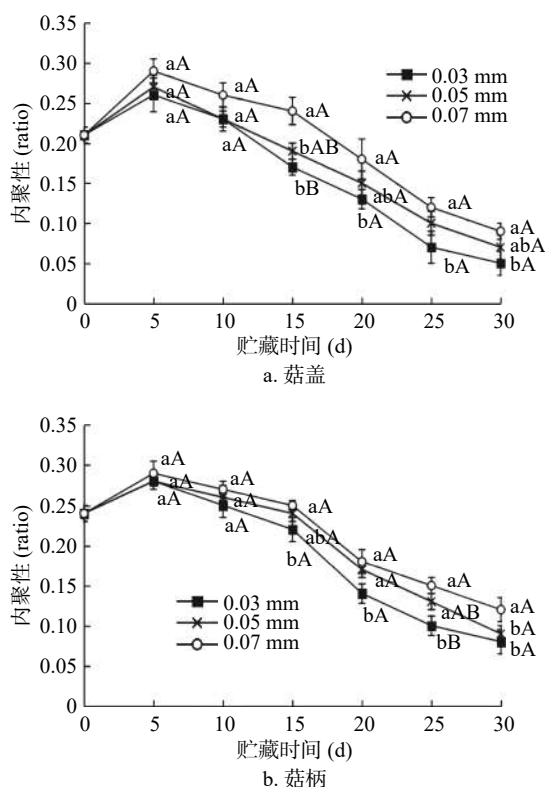


图 8 LDPE 袋厚度对减压贮藏杏鲍菇内聚性的影响
Fig.8 Effects of LDPE bag thickness on cohesion of *Pleurotus eryngii* during hypobaric storage

2.7 不同 LDPE 袋厚度对减压贮藏杏鲍菇弹性的影响

弹性反映了果蔬组织受到压力后的回弹性。由图 9 可见,在保藏过程中 0.07 mm 厚度的 LDPE 袋包装的杏鲍菇菇柄弹性显著($P<0.05$)大于菇盖,菇盖弹性在 10 d 后开始下降,菇柄弹性在贮藏 5 d 后开始下降,总体而言包装厚度对杏鲍菇菇盖和菇柄弹性的影响趋势基本一致。由图 9a 可见,在贮藏第 15 d, 0.07 mm 包装组的菇盖弹性 17.85 与 0.05 mm 包装组弹性 15.53 mm 达到显著差异($P<0.05$),与 0.03 mm 包装组弹性 13.59 mm 达到极显著差异($P<0.01$)。由图 9b 可见,在第 10 d, 0.07 mm 组菇柄弹性显著($P<0.05$ 或 $P<0.01$)高于 0.05 组和 0.03 mm 组。因此,0.07 mm 厚度 LDPE 包装处理可以较好地延缓杏鲍菇弹性的下降。

2.8 不同 LDPE 袋厚度对减压贮藏杏鲍菇咀嚼性的影响

咀嚼性反映了果蔬组织被不断咀嚼时的抵抗性。由图 10a 可见,包装厚度对杏鲍菇菇盖的咀嚼性有显著的影响,且随贮藏时间的延长,呈先上升后下降的变化规律。在整个保藏过程中厚度为 0.07 mm 的 LDPE 袋包装的杏鲍菇菇盖部分的咀嚼性明显大于另外两个包装厚度组,在第 15 d 时,0.07 mm 包装组咀嚼性 87.24 mJ 与 0.05 mm 包装组 81.46 mJ 存在显著差异($P<0.05$),与 0.03 mm 包装组 76.18 mJ 存在极显著差异($P<0.01$)。由图 10b

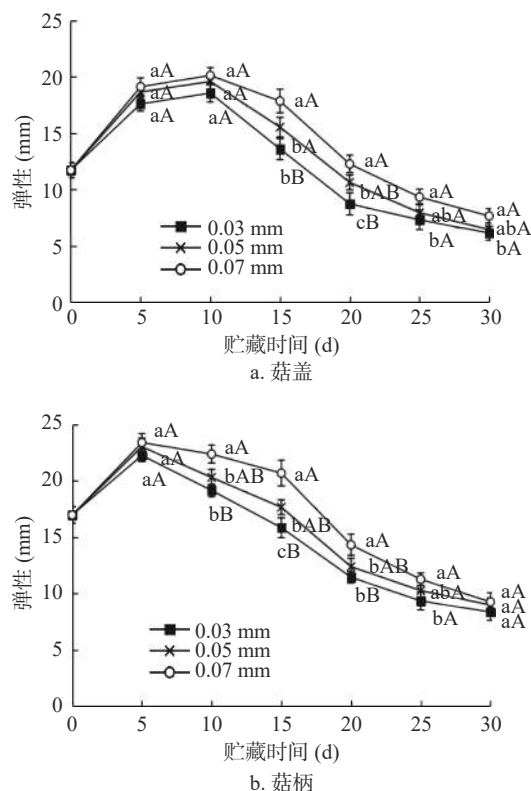


图 9 LDPE 袋厚度对减压贮藏杏鲍菇弹性的影响
Fig.9 Effects of LDPE bag thickness on springiness of *Pleurotus eryngii* during hypobaric storage

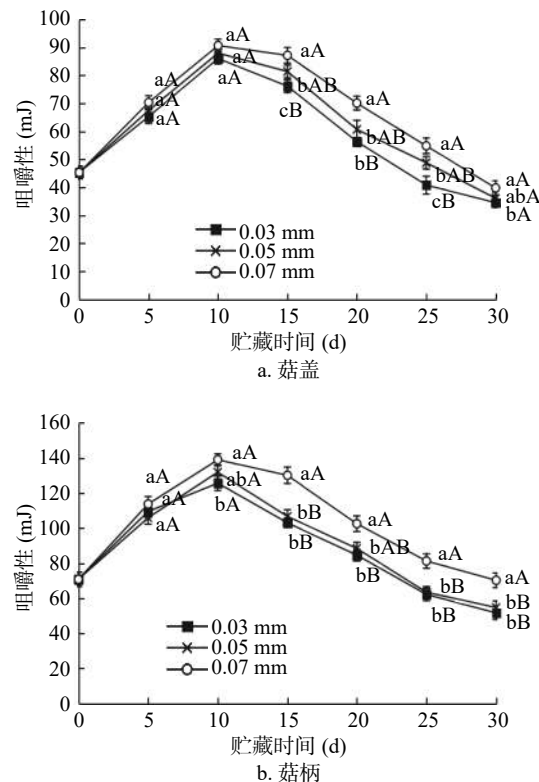


图 10 LDPE 袋厚度对减压贮藏杏鲍菇咀嚼性的影响
Fig.10 Effects of LDPE bag thickness on chewiness of *Pleurotus eryngii* during hypobaric storage

可见,包装厚度对杏鲍菇菇盖和菇柄咀嚼性的影响基本一致,在第 10 d, 0.07 mm 组菇柄咀嚼性明显高于

0.03 mm 组($P<0.05$)。因此,厚度为 0.07 mm 的 LDPE 袋包装可以较好地保持杏鲍菇咀嚼性。

2.9 不同 LDPE 袋厚度对减压贮藏杏鲍菇色差的影响

由图 11 可见,包装厚度对冷藏杏鲍菇色泽有明显影响。随着贮藏时间的延长,色差值均呈不同程度的上升趋势,贮藏前 5 d 各处理组色差值变化都很小,第 5~15 d 的贮藏过程中 0.03 mm 处理组色差值上升最快,0.05 mm 处理组和 0.07 mm 处理组上升较为平缓,整个贮藏过程中 0.07 mm 厚度 LDPE 包装的杏鲍菇色差值显著小于其他组($P<0.05$),方差分析显示,在第 15 d,0.07 mm 包装组色差值为 11.3774 极显著低于 0.03 mm 包装组色差 16.9161($P<0.01$)。因此,0.07 mm LDPE 袋包装有效延缓了杏鲍菇色泽的变化。

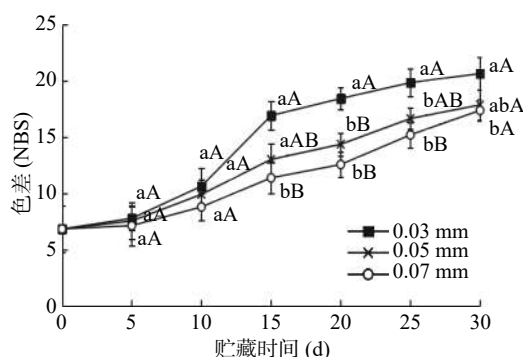


图 11 LDPE 袋厚度对减压贮藏杏鲍菇色差的影响

Fig.11 Effects of LDPE bag thickness on color of *Pleurotus eryngii* during hypobaric storage

3 讨论与结论

采用不同厚度的 LDPE 袋包装新鲜杏鲍菇,对其减压冷藏保鲜效果具有显著影响。分析可得,LDPE 袋的厚度影响杏鲍菇含水量,可能是因为减压状态下易造成杏鲍菇失水,因此 LDPE 袋越薄,透湿率越高,不利于袋内相对高湿环境的形成,加速了杏鲍菇水分的散失;此外,LDPE 包装袋越薄, O_2 和 CO_2 渗透系数越高,不利于袋内低压环境和相对低 O_2 、高 CO_2 微环境的形成与较长时间的保持,从而不能较好地抑制杏鲍菇呼吸作用,呼吸代谢旺盛,营养物质消耗快,这也是造成杏鲍菇失水的主要原因^[30-32]。同时减压处理又使得杏鲍菇包装内形成负压,在较大压差作用下,包装袋厚度越薄袋外气体越易渗透入袋内^[30],因此过薄的 LDPE 包装保持袋内低 O_2 分压的能力弱,包装内 O_2 含量高,氧化作用产生的超氧化物多,使得在贮藏前期杏鲍菇呼吸强度高、CAT、SOD 活性高,而后期由于菇体营养物质被快速消耗、机体衰老等原因,呼吸强度下降,贮藏 15 d 后 CAT、SOD 活性也明显下降。这一研究结果与韦强^[33]对双孢菇不同厚度薄膜包装的研究结果相符。

在贮藏前期,不同包装厚度处理对杏鲍菇质构指标硬度、内聚性、弹性、咀嚼性的影响甚微,主要

体现在贮藏期前 5 d,甚至是前 10 d,它们的质构指标基本没有差别;但是在 10 d 以后,不同包装厚度处理对杏鲍菇质构的影响很大,这可能是因为较薄的 LDPE 袋虽透气性越好,不利于袋内低 O_2 分压的形成,但其仍有一定的阻隔性。随着气体的不断渗透,一段时间后包装袋内贮藏环境才开始出现明显差异,继而对贮藏 5 d 后的杏鲍菇质构表现出显著($P<0.05$)影响。在贮藏期前 10 d,杏鲍菇的贮藏品质有所提升,这可能是因为杏鲍菇后熟导致其组织发生纤维化和木质化,同时部分水分的损失使得杏鲍菇的组织更加紧致与细密^[34],贮藏 10 d 之后,杏鲍菇的质构品质开始有所降低。

包装材料在减压贮藏时易形成褶皱变形,也可适当增加厚度使其具有一定的机械性能,否则贮藏流通中袋易破损从而影响包装气密性,但这并不意味着包装袋越厚越好,因为包装太厚会造成杏鲍菇无氧呼吸或袋内壁易形成凝露,同样不利于贮藏。由此可知,选择合适厚度的包装袋才有益于杏鲍菇减压贮藏保鲜的效果。此外杏鲍菇是呼吸跃变型果蔬,呼吸强度达到高峰后便转为下降,直到衰老死亡,因此延缓其呼吸高峰的到来,降低呼吸峰值,是延长杏鲍菇的贮藏保鲜寿命的关键所在。虽然 0.07 mm 厚度的低密度聚乙烯包装组很好的抑制了杏鲍菇的呼吸强度,但是并没有延缓呼吸高峰的到来,所以后续的研究可以向呼吸峰的延缓深入。

本实验研究了低密度聚乙烯袋厚度对减压冷藏条件下杏鲍菇贮藏品质的影响,得到最为适宜的包装袋厚度为 0.07 mm,在此厚度条件下,能更好地保证杏鲍菇品质,降低杏鲍菇的生理活动,延缓杏鲍菇衰老。本试验还将减压贮藏从贮藏室转移到了杏鲍菇的包装上,不仅可以减少贮藏造库的成本,还便于杏鲍菇采后的贮藏运销等各环节保鲜,对今后新鲜杏鲍菇的包装设计和贮藏保鲜提供了一定的指导意义。

参考文献

- [1] 陶杰. 杏鲍菇多糖在运动中的抗氧化活性与营养价值分析[J]. 中国食用菌, 2020, 39(2): 64-69.
- [2] 张块, 陶梅. 杏鲍菇在冷链物流运输过程中的保鲜研究[J]. 中国食用菌, 2019, 38(11): 82-85.
- [3] Xu D, Wang H, Zheng W, et al. Characterization and immunomodulatory activities of polysaccharide isolated from *Pleurotus eryngii*[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2016, 92: 30-36.
- [4] 魏君慧, 薛媛, 冯莉, 等. 杏鲍菇分离蛋白和清蛋白的理化性质及功能分析[J]. 食品科学, 2018, 39(18): 54-60.
- [5] Ma G, Kimatu B M, Zhao L, et al. Impacts of dietary *Pleurotus eryngii* polysaccharide on nutrient digestion, metabolism, and immune response of the small intestine and colon-an itraq-based proteomic analysis[J]. *Proteomics*, 2018, 18(7): 1700443.
- [6] Carrasco-González J A, Serna-Saldivar S O, Gutiérrez-Urbe J A. Nutritional composition and nutraceutical properties of the *Pleurotus* fruiting bodies: Potential use as food ingredient[J].

Journal of Food Composition and Analysis, 2017, 58: 69–81.

[7] 金星. 杏鲍菇多糖的降血脂活性评价及其泡腾片的制备工艺研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2018.

[8] Ren Z, Li J, Xu N, et al. Anti-hyperlipidemic and antioxidant effects of alkali-extractable mycelia polysaccharides by *Pleurotus eryngii* var. *tuolensis*[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2017, 175: 282–292.

[9] Hu Q, Du H, Ma G, et al. Purification, identification and functional characterization of an immunomodulatory protein from *Pleurotus eryngii*[J]. *Food & Function*, 2018, 9(7): 3764–3775.

[10] Sun Y, Li W. Activity-guided isolation and structural identification of immunomodulating substances from *Pleurotus eryngii* byproducts[J]. *International Immunopharmacology*, 2017, 51: 82–90.

[11] Yuan B, Ma N, Zhao L, et al. *In vitro* and *in vivo* inhibitory effects of a *Pleurotus eryngii* protein on colon cancer cells[J]. *Food & Function*, 2017, 8(10): 3553–3562.

[12] Xu N, Gao Z, Zhang J, et al. Hepatoprotection of enzymatic-extractable mycelia zinc polysaccharides by *Pleurotus eryngii* var. *tuoliensis*[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2017, 157: 196–206.

[13] Li S, Shah N P. Sulphonated modification of polysaccharides from *Pleurotus eryngii* and *Streptococcus thermophilus* ASCC 1275 and antioxidant activities investigation using CCD and Caco-2 cell line models[J]. *Food Chemistry*, 2017, 225: 246–257.

[14] 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.

[15] 谢丽源, 郑林用, 甘炳成, 等. 贮藏温度对采后杏鲍菇生理特性的影响[J]. *西南农业学报*, 2016, 29(1): 153–158.

[16] 路丹丹. 杏鲍菇保鲜包装技术研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2017.

[17] 刘达玉, 刘海强, 李翔, 等. 杏鲍菇冷链综合保鲜技术应用[J]. *保鲜与加工*, 2017, 17(1): 122–125.

[18] Lee G A, Park J H, Park H Y, et al. Effects of gamma irradiation on quality of mushroom (*Pleurotus eryngii*) during storage[C]// Spring International Conference of KSAE, 2019: 153–153.

[19] 邓朝阳, 王锋, 苏小军, 等. 臭氧在鲜切果蔬加工中的应用[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(15): 184–189.

[20] 周拥军, 郜海燕, 陈杭君, 等. 减压贮藏对杏鲍菇采后活性氧代谢的影响[J]. *核农学报*, 2015, 29(6): 1108–1113.

[21] 陈皖豫, 安容慧, 胡花丽, 等. 薄膜包装对娃娃菜采后贮藏品质的影响[J]. *包装工程*, 2020, 41(7): 33–42.

[22] 陈学玲, 何建军, 范传会, 等. 薄膜包装对菜心贮藏品质的影响[J]. *包装工程*, 2019, 40(23): 1–6.

[23] 谢丽源, 郑林用, 彭卫红, 等. 不同包装膜对杏鲍菇冷藏品质和贮藏效果的影响[J]. *食品科学*, 2015, 36(22): 197–202.

[24] 石建春, 冯翠萍, 常明昌, 等. 不同包装材料对货架期杏鲍菇贮藏品质的影响[J]. *食品工业*, 2017, 38(5): 102–105.

[25] 李志刚, 宋婷, 郝利平, 等. 适宜压力条件保持减压贮藏杏鲍菇品质[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(18): 296–303.

[26] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.3-2016 食品安全国家标准食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1–2.

[27] 张桂. 果蔬采后呼吸强度的测定方法[J]. *理化检验 (化学分册)*, 2005, 41(8): 596–597.

[28] 李宁, 阎瑞香, 王步江. 不同包装方式对白灵菇低温保鲜效果的影响[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(7): 377–382.

[29] 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.

[30] 范珺. 真空食品包装气体含量验证方法及“松包”问题的分析[J]. *食品安全导刊*, 2016(Z1): 39–41.

[31] 张翰卿, 郜海燕, 刘瑞玲, 等. 不同厚度聚乙烯袋包装对茭白采后品质和木质化的影响[J]. *浙江大学学报 (农业与生命科学版)*, 2020, 46(1): 55–63.

[32] 初丽君, 王琼, 王敏, 等. 不同厚度 PE 膜包装对鲜食石榴籽粒保鲜效果的影响[J]. *保鲜与加工*, 2017, 17(6): 20–26.

[33] 韦强. 不同厚度薄膜包装对双孢菇采后生理生化的影响[J]. *蔬菜*, 2017(8): 60–62.

[34] Antmann G, Ares G, Lema P, et al. Influence of modified atmosphere packaging on sensory quality of shiitake mushrooms[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2008, 49(1): 164–170.