

微孔膜包装对双孢蘑菇贮藏品质的影响

Effect of micro-perforated package on storage quality of *Agaricus bisporus*

李云云^{1,2,3} 魏丹^{1,2,3} 张敏^{1,2,3}

LI Yun-yun^{1,2,3} WEI Dan^{1,2,3} ZHANG Min^{1,2,3}

(1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715; 2. 农业部农产品贮藏保鲜质量安全风险评估
实验室(重庆), 重庆 400715; 3. 重庆市特色食品工程技术研究中心, 重庆 400715)

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. Laboratory of Quality and Safety
Risk Assessment for Agro-products on Storage and Preservation (Chongqing), Chongqing 400715, China;
3. Chongqing Engineering Research Center for Special Foods, Chongqing 400715, China)

摘要: 分别在 PE 袋(20 cm×30 cm×40 μm)上均匀穿刺 0 (CK), 2, 4, 6, 8 个孔($\Phi=0.3$ mm), 研究微孔膜对双孢蘑菇贮藏品质的影响。结果表明: 在 14 d 的贮藏期内, 各组微孔膜包装均能改善内部 O₂ 和 CO₂ 含量, 有效降低双孢蘑菇呼吸强度和呼吸峰值, 维持双孢蘑菇较好的品质指标, 但微孔的存在会促进双孢蘑菇质量损失的增加。特别是 4 孔组能保持较低的呼吸强度, 推迟呼吸高峰出现的时间, 有效抑制硬度(P<0.05)、可溶性固形物(P<0.05)及抗坏血酸含量(P<0.05)的降低和多酚氧化酶活性(P<0.05)的增加, 延缓菌盖颜色变深。

关键词: 双孢蘑菇; 微孔膜; 包装; 贮藏

Abstract: 0(CK), 2, 4, 6, and 8 microholes ($\Phi=0.3$ mm) were evenly punctured on the PE packing bags (20 cm×30 cm×40 μm), and the effect of micro-perforated package on storage quality of *Agaricus bisporus* was studied. Results showed that in the 14 days storage period, each group micro-perforated package could improve internal O₂ and CO₂ content, effectively reduced the respiration rate and respiration peak, maintain good quality indexes, but micro-perforated package could promote the weight loss of *Agaricus bisporus*. Especially the 4 microholes treatment could maintain a low respiration rate, delay the appearance of respiration peak, inhibit the decline of hardness (P<0.05), soluble solids (P<0.05), ascorbic acid content (P<0.05), control the increase of PPO activity (P<0.05), and also delay the browning of the pileus.

Keywords: *Agaricus bisporus*; micro-perforated; package; storage

基金项目: 重庆市科技攻关应用技术研发类重点项目(编号: cstc2012gg-yyjsB80003); 中央高校基本科研业务费专项(编号: XDJK2013C130)

作者简介: 李云云, 女, 西南大学在读硕士研究生。

通讯作者: 张敏(1975—), 男, 西南大学副教授, 硕士。

E-mail: zmqx123@163.com

收稿日期: 2016-01-05

双孢蘑菇(*Agaricus bisporus*)是唯一全球性栽培的食用菌。近几年来中国蘑菇栽培发展迅速, 产量和出口量均居世界第一, 主要品种是白色双孢蘑菇^[1], 其质地柔软细嫩, 色泽纯净, 味道鲜美独特, 且营养价值极高。但双孢蘑菇呼吸强度高, 采后 1~2 d 菇体水分便会大量散失, 菌褶开始褐变, 品质明显变差^[2]。由于普通塑料膜透气性低, 易造成缺氧, 高 CO₂ 的情况, 导致双孢蘑菇无氧呼吸, 产生大量乙醇和乙醛等挥发性物质, 进而影响其品质。微孔膜是指具有一定孔径和孔数的薄膜, 孔径范围一般为几十纳米到几百微米^{[3]107-109}, 是一种具有极高透气性能的薄膜, 能满足高呼吸果蔬的贮藏需求。Gaston 等^[4]发现, 与无孔膜相比, 微孔膜的腐烂率较低。Sigh 等^[5]发现在 5℃下, 使用孔径为 3 mm, 孔数为 3 的 30 μm HDPE 微孔膜能延长百香果贮藏时间至 28 d, 同时保持较好的颜色、外观和品质, 而对照组贮藏时间仅 4 d。Rai 等^[6]用孔径为 300 μm, 不同孔数的微孔膜对印度黑莓进行包装, 以无孔膜为对照进行试验, 发现微孔膜能更好地维持抗坏血酸、类黄酮、花青素等的含量。但中国有关微孔膜孔数对双孢蘑菇保鲜方面的研究尚未见报道。

本研究拟通过检测保鲜过程中包装内部 O₂ 和 CO₂ 含量、双孢蘑菇的呼吸强度、可溶性固形物含量、抗坏血酸含量、质量损失率、硬度、白度、多酚氧化酶活性等指标, 深入研究孔径为 0.3 mm 不同孔数的 PE 微孔膜对贮藏期间双孢蘑菇品质变化的影响, 旨在为微孔膜保鲜双孢蘑菇的商业应用提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

双孢蘑菇: 购于重庆北碚天生农贸市场(从种植基地采

摘后,3 h 内运抵农贸市场,然后立即运往实验室),挑选无病害、无机械伤、无开伞、洁白、大小一致(3~6 cm)的双孢蘑菇,在运抵实验室后立即进行预冷处理,即置于(3±1)℃下冷藏4 h或冷藏直至双孢蘑菇中心温度降到4℃;

无水乙醇、草酸:分析纯,重庆南方试剂厂;

磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、聚乙烯吡咯烷酮、氢氧化钠:分析纯,成都市科龙化工试剂厂;

聚乙二醇 PEG6000、Triton X-100:分析纯,重庆川东化工集团有限公司;

邻苯二酚:分析纯,中国医药集团上海化学试剂公司;

氯化钡、浓盐酸、碘化钾、可溶性淀粉、碘酸钾:分析纯,重庆北碚化学试剂厂。

1.1.2 主要仪器设备

顶空分析仪:PAC CHECK 型,美国 MOCON 公司;

手持式果实硬度计:GY-1 型,上海思为仪器制造有限公司;

测色仪:UltraScan[®] PRO 型,上海韵鼎国际贸易有限公司;

手持式折光仪:W2-113 型,北京万成北增精密仪器有限公司;

制冰机:SIM-F140AY65 型,三洋电机国际贸易有限公司;

全自动紫外分光光度计:UV-2450 型,日本岛津公司;

高速冷冻离心机:GL-20-II 型,上海安亭科学仪器厂。

1.2 方法

1.2.1 样品处理 挑选大小一致、经预冷的双孢蘑菇(50±5)g 放入 14 cm×14 cm 的黑色托盘中,然后装入 20 cm×30 cm 的 40 μm PE 微孔袋中,封口后低温冷藏,以相同材料 40 μm PE 无孔袋[O₂透过量为 2.25×10⁻³ cm³/(m²·d·Pa),CO₂透过量为 7.13×10⁻³ cm³/(m²·d·Pa)]为对照。其中,微孔袋分为 4 组,孔径为 0.3 mm,孔数分别为 2,4,6,8 个,孔的位置在托盘上方 PE 袋上均匀分布。所有样品均放在温度为(3±1)℃、相对湿度为(90±5)%的环境中,每 2 d 检测一次各项指标,共贮藏 14 d。

1.2.2 气体含量测定 用顶空分析仪检测,每次检测须将探针置于包装袋中部。

1.2.3 呼吸强度的测定 参考文献[7]。

1.2.4 可溶性固形物含量的测定 参考文献[8],修改如下:在菌盖上取 3.0 g 左右的样品,研磨后,经 4 000 r/min 离心 10 min,取汁液测定。以质量分数(%)表示可溶性固形物含量。

1.2.5 抗坏血酸含量的测定 采用碘量法[9]。

1.2.6 菌盖硬度的测定 用经底座固定的 GY-1 型手持硬度计测定。以菌盖顶端为中心,围绕中心对每个双孢蘑菇测定 3~5 次取平均值。

1.2.7 质量损失率的测定 参考文献[10]。

1.2.8 菌盖白度的测定 参考文献[11],修改如下:用 Hunterlab UltraScan[®] PRO 测色仪测量,在菌盖上检测 5 个点,用 L* 值表示白度值。

1.2.9 多酚氧化酶活性的测定 参考文献[12]。

1.2.10 数据统计分析 采用 SPSS 7.5 软件对数据进行显著性分析,用 Origin 8.5 绘图。

2 结果与分析

2.1 孔数对包装内部气体含量的影响

由图 1 可知,在贮藏期内各组 O₂ 含量整体呈下降趋势,其中,4、6、8 孔组 O₂ 含量下降较为缓慢,气体平衡时 O₂ 含量范围为 15%~17%,而对照组的 O₂ 含量下降最快,第 10 天的 O₂ 含量从 7.12% 迅速降为 2.62%,低于双孢蘑菇气调包装的最佳 O₂ 浓度范围(3%~21%)^{[3]104-107},甚至在第 14 天时低于 1%,易导致双孢蘑菇产生无氧呼吸^[13]。此外,与其它微孔组相比,2 孔组的 O₂ 含量下降较快,到第 14 天时降低到 10% 以下,可能是微孔数量较少的原因。图 1 中各组 CO₂ 含量整体呈上升趋势,其中各微孔组的 CO₂ 含量均维持在 5% 以内,且微孔数量越多,其 CO₂ 含量越低,而对照组 CO₂ 含量上升较快,第 8 天已超过 5%,但 4 孔组 CO₂ 含量能较好地维持在 3% 左右。研究^[14]发现,当 CO₂ 浓度达到 2.5% 时有利于双孢蘑菇白度的保持,而当浓度高于 5% 时则会促进双孢蘑菇的褐变。整体而言 4、6、8 孔组都能维持较好的 O₂、CO₂ 浓度。在微孔膜包装鲜切西兰花^[15]、葡萄^[16]、草莓^[17]等的研究中也具有相同结论。

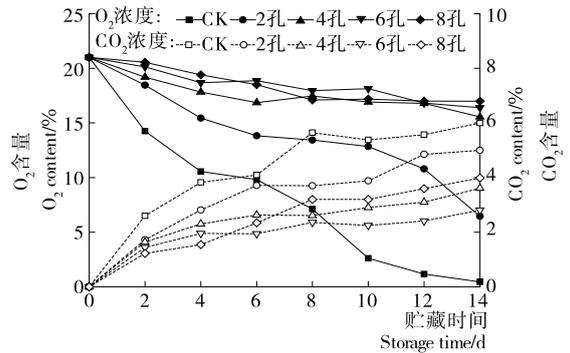


图 1 孔数对包装内部气体含量的影响

Figure 1 Effect of different holes on package internal gas content

2.2 孔数对双孢蘑菇呼吸强度的影响

由图 2 可知,双孢蘑菇的初始呼吸强度比较高,起始值为 1.50 mg/(kg·h),在这之后各组呼吸强度均呈波动性降低,其中 4 孔组下降最快,而 8 孔组呼吸强度在第 2 天短暂降低后,迅速升高。除 4 孔组外,各组均在第 8 天出现了呼吸高峰,其中 2、6 孔组峰值分别为 1.54,1.48 mg/(kg·h),低于对照组的 1.58 mg/(kg·h),而 8 孔组峰值与对照组相同。4 孔组则在第 10 天出现了呼吸高峰,其峰值为 1.42 mg/(kg·h),略低于 6 孔组。呼吸高峰之后,各组呼吸强度迅速降低,其中 8 孔组下降缓慢,其第 10 天的呼吸强度甚至高于 4 孔组的峰值,仅在第 14 天时略低于对照组,但仍高于其他微孔组,这可能是与其它微孔组相比 8 孔组孔率最大,其包装内外气体交换量大于其它各组,双孢蘑菇呼吸速率并没有受到明显抑制,从而导致呼吸强度始终维持在较

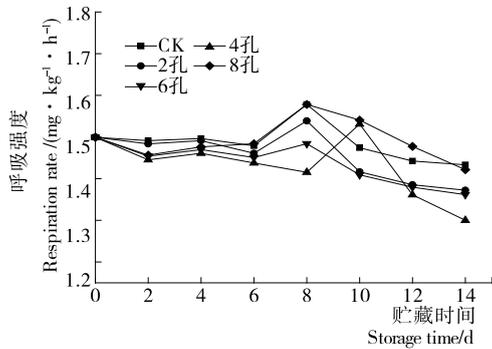


图 2 孔数对双孢蘑菇呼吸强度的影响

Figure 2 Effect of different holes on the respiration rate of *Agaricus bisporus*

高水平上。总体来看,各试验组中,4孔组的抑制效果整体较好且能有效推迟呼吸高峰的出现,而8孔组效果最差,在贮藏中后期的呼吸强度反而高于对照组。

2.3 孔数对双孢蘑菇可溶性固形物含量的影响

由图 3 可知,在整个贮藏期间各组可溶性固形物含量均呈下降趋势。其中,对照组可溶性固形物含量在第 2 天迅速下降了 10.68%,而 4 孔组仅降低了 1.59%,与对照组有显著性差异($P < 0.05$)。贮藏中后期,2、8 孔组可溶性固形物含量下降明显,其值与对照组并无显著差异性($P > 0.05$),这可能是 2、8 孔组在贮藏中后期呼吸强度较高且出现了呼吸高峰的缘故(图 2)。第 14 天,对照组可溶性固形物含量迅速降低,从 3.27%骤降到 2.43%,且与微孔组有显著差异($P < 0.05$),可能是第 14 天对照组的 O_2 含量低于 1%(图 1),产生了无氧呼吸,导致双孢蘑菇品质迅速劣变。在整个贮藏期中,4、6 孔组可溶性固形物含量维持在较高水平且变化趋势大体一致,与对照组差异显著($P < 0.05$),这与各组在整个贮藏期间的呼吸强度(图 2)高低变化相一致。

2.4 孔数对双孢蘑菇抗坏血酸含量的影响

由图 4 可知,在整个贮藏期间,各组抗坏血酸含量均呈下降趋势,其中各微孔组抗坏血酸含量均高于对照组。贮藏第 2 天,对照组抗坏血酸含量迅速降低到 1.36 mg/100 g,比初始值降低了 25.96%,而微孔组中 4、6、8 孔组抗坏血酸含量仍维持在 96% 以上。从第 4 天开始,6、8 孔组抗坏血酸含

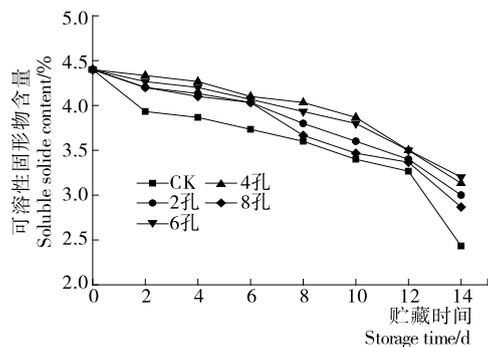


图 3 孔数对双孢蘑菇可溶性固形物含量的影响

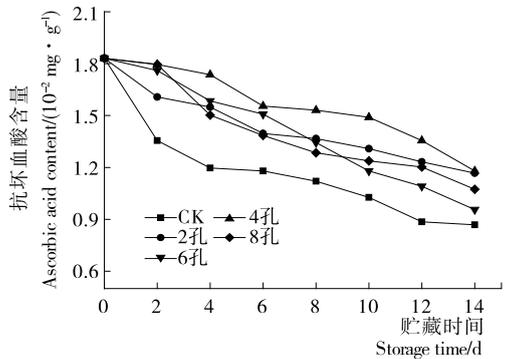
Figure 3 Effect of different holes on soluble solid content of *Agaricus bisporus*

图 4 孔数对双孢蘑菇抗坏血酸含量的影响

Figure 4 Effect of different holes on ascorbic acid content of *Agaricus bisporus*

量下降明显,到贮藏后期,其含量与对照组并无显著差异($P > 0.05$);而 2、4 孔组抗坏血酸含量变化轻微,其中 4 孔组含量保持较高,但其含量从第 10 天开始有较明显的降低,到第 14 天时,4 孔组含量与其他组并无显著差异($P > 0.05$)。这可能是 4 孔组在第 10 天出现了呼吸高峰且峰值较高造成的(图 2)。总体而言,微孔组均能较好地抑制双孢蘑菇抗坏血酸含量的降低,其中 4 孔组的抑制效果最好,而 2、6、8 孔组差异并不明显。

2.5 孔数对双孢蘑菇质量损失率的影响

由图 5 可知,各组质量损失率均呈上升趋势,且微孔组的质量损失率均高于对照组。微孔组中,2、4 孔组的质量损失率增长相对较慢,第 14 天的质量损失仍在 8% 以内,而 6、8 孔组则分别 8.62%,9.16%,其商品价值明显降低。此外,可以看出各组的质量损失率均在第 10 天后明显上升,这可能是双孢蘑菇的呼吸高峰主要集中在第 8~10 天(图 2),呼吸高峰过后,双孢蘑菇的衰老过程加剧,导致质量损失率明显上升。Rizzo 等^[18]用 PP 微孔膜包装鲜切西芹时,发现微孔膜包装的西芹质量损失与对照组基本没有差异。Lucera 等^[19]在鲜切刀豆的低温贮藏试验中也发现,微孔膜包装的刀豆质量损失率略高于无孔组。袁艳^[20]认为微孔的存在使得包装内湿度降低,加速了水分的蒸发,而且孔隙率越大,质量损失也就越多。总体来看,微孔膜包装能够增加双孢蘑菇的失重率且孔数越多双孢蘑菇失重越严重。

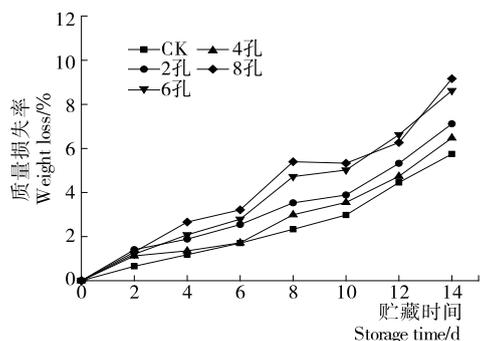


图 5 孔数对双孢蘑菇质量损失率的影响

Figure 5 Effect of different holes on weight loss of *Agaricus bisporus*

2.6 孔数对双孢蘑菇硬度的影响

由图6可知,整个贮藏期间,各组硬度均呈下降趋势,其中微孔组分别在第4、6天有短暂的上升。第4天,2、6、8孔组硬度依次从 7.17×10^5 , 7.14×10^5 , 6.99×10^5 Pa 增加到 7.42×10^5 , 7.83×10^5 , 7.75×10^5 Pa,与对照组形成显著性差异($P < 0.05$);相似地,4孔组第6天硬度从 7.0×10^5 Pa 增加到 8.04×10^5 Pa,与其它组形成显著差异($P < 0.05$)。第6~12天,微孔组硬度均呈下降趋势,组间硬度大小基本保持4孔组 > 2孔组 > 6孔组 > 8孔组状态,且均高于对照组($P < 0.05$)。微孔组硬度关系与其质量损失率(图5)变化趋势一致。整体来看,微孔组硬度值明显高于对照组硬度值,且4孔组效果最好。Amoros等^[21]研究表明,在低温高湿环境下,微孔膜能显著抑制枇杷硬度的降低,而且透氧量较低的微孔膜对硬度保持的效果更好,这与本试验结论一致。Jayathunge等^[22]也发现较微孔数量较低的微孔膜对黄瓜的硬度保持较好。

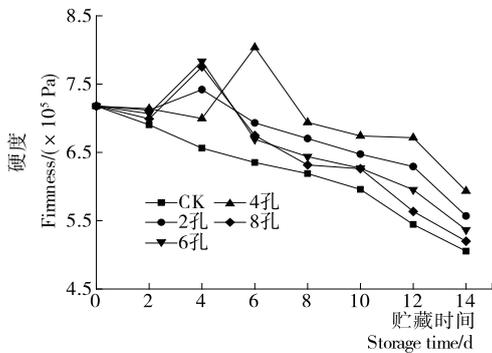


图6 孔数对双孢蘑菇硬度的影响

Figure 6 Effect of different holes on firmness of *Agaricus bisporus*

2.7 孔数对双孢蘑菇白度的影响

由图7可知,在整个贮藏期内,各组白度值整体均呈下降趋势。贮藏前6d,各组白度值变化各异。其中,4孔组白度波动较小,其值维持在90以上,6、8孔组有不同程度的降低,但白度值均高于对照组。贮藏第8天,对照组白度低于80,进入了零售商不可接受等级;同时,微孔组白度也开始大幅降低,其中6、8孔组白度下降较快,第12天的白度值便降到80以下,而2、4孔组白度也在第14天时降到了80以下。这可能是微孔组的呼吸高峰集中出现在第8~10天,剧烈呼吸作用会引起水分散失导致细胞膨压降低,加快了酶促反应的发生,同时,由于6、8孔组的孔隙率较大导致,其呼吸强度较高,导致白度下降较快。Taghizadeh等^[23]也认为宏孔膜包装的双孢蘑菇白度下降比微孔膜更容易,是因为宏孔膜孔隙率过大。总体而言,微孔膜包装能够抑制贮藏中期双孢蘑菇白度值的下降,并且4孔组效果最好。

2.8 孔数对双孢蘑菇多酚氧化酶含量的影响

由图8可知,整个贮藏期内各组PPO活性均呈上升趋势,其中,2、4孔组呈波动上升,其活性维持在较低水平,而6、8孔组PPO活性整体较高且增长迅速,从第4天起便显著高

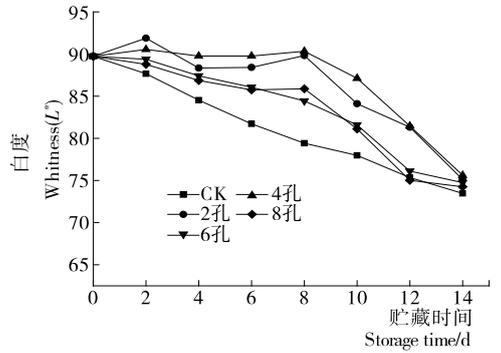


图7 孔数对双孢蘑菇白度的影响

Figure 7 Effect of different holes on whiteness of *Agaricus bisporus*

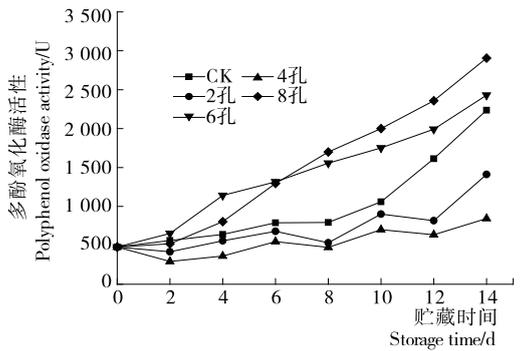


图8 孔数对双孢蘑菇多酚氧化酶含量的影响

Figure 8 Effect of different holes on polyphenol oxidase activity of *Agaricus bisporus*

于其他各组($P < 0.05$)。对照组PPO活性高于2、4孔组,而低于6、8孔组,仅从第10天开始与2、4孔组有显著差异($P < 0.05$)。微孔组PPO活性高低与双孢蘑菇白度(图7)变化大体一致,可能是PPO是双孢蘑菇酶促褐变中最主要的酶类^[24]。第8~10天2、4孔组和对照组的PPO活性增长明显加快,可能是受到呼吸高峰的影响(图2),而6、8孔组PPO活性则从第2天开始一直保持较高增长可能是微孔数量较多,包装内外气体交换量大, O_2 供应充足(图1)且呼吸强度一直处于较高水平,从而提高了PPO的活性。由此,可以认为PPO活性的高低是微孔组双孢蘑菇白度变化的重要影响因素,且微孔数量越多,其PPO活性增长越快,白度值也就下降越快。总体而言,微孔膜包装能够明显抑制贮藏过程中双孢蘑菇PPO的活性,并且4孔组效果最好。

3 结论

本试验研究了低温环境下不同微孔数量的微孔膜包装对双孢蘑菇品质的影响,结果表明,微孔膜包装能有效降低双孢蘑菇呼吸强度,推迟呼吸高峰出现的时间;呼吸强度的降低,有效地抑制了双孢蘑菇硬度、可溶性固形物及抗坏血酸含量的降低和多酚氧化酶活性的增加,延缓菌盖颜色的变深;其中,孔数为4的微孔膜包装能更好地保持双孢蘑菇硬度和颜色、维持可溶性固形物和抗坏血酸含量,抑制呼吸强度、PPO活性和质量损失率的增长,同时保持较低的 O_2 和

CO₂含量。微孔膜具有较好的透气性,能有效避免无氧呼吸和 CO₂伤害的发生,但并不是孔数越多越好,因为相对较高的 O₂浓度会增强双孢蘑菇蒸腾作用和呼吸作用,导致质量损失率增加和品质的下降。本试验发现微孔膜包装会增加双孢蘑菇的失重率,复合其他处理技术将是解决这一问题的方向。

参考文献

- [1] 张强, 吴彩娥, 祝嫦巍, 等. 双孢蘑菇抗氧化肽的没食子酸化修饰及其体外抗氧化活性[J]. 食品与机械, 2015, 31(3): 193-196.
- [2] 卞生珍, 谢俊彪, 李学英, 等. 双孢蘑菇采后贮运保鲜技术[J]. 新疆农业科学, 2007(2): 32-35.
- [3] 徐文达. 食品软包装新技术: 气调包装、活性包装和智能包装[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2009.
- [4] ARES G, PARENTELLI C, GAMBARO A, et al. Sensory shelf life of shiitake mushrooms stored under passive modified atmosphere[J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 41(2): 191-197.
- [5] AKATH S, YADAV D S, PATEL R K, et al. Effect on shelf-life and quality of passion fruit with polyethylene packaging under specific temperature [J]. Journal of Food Science and Technology-Mysore, 2007, 44(2): 201-204.
- [6] RAI D R, CHADHA S, KAUR M P, et al. Biochemical, microbiological and physiological changes in Jamun (*Syzyium cumini* L.) kept for long term storage under modified atmosphere packaging[J]. Journal of Food Science and Technology-Mysore, 2011, 48(3): 357-365.
- [7] LI Tie-hua, ZHANG Ming, WANG Shao-jin. Effects of temperature on *Agrocybe chaxingu* quality stored in modified atmosphere packages with silicon gum film windows[J]. Lwt-Food Science and Technology, 2008, 41(6): 965-973.
- [8] TAO Fei, ZHANG Ming, YU Hang-qing, et al. Effects of different storage conditions on chemical and physical properties of white mushrooms after vacuum cooling[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 77(3): 545-549.
- [9] 姜微波. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 34-39.
- [10] KIM K M, KO J A, LEE J S, et al. Effect of modified atmosphere packaging on the shelf-life of coated, whole and sliced mushrooms[J]. Lwt-Food Science and Technology, 2006, 39(4): 365-372.
- [11] JAWORSKA G, BEFNAS E. The effect of preliminary processing and period of storage on the quality of frozen *Boletus edulis* (Bull; Fr.) mushrooms[J]. Food Chemistry, 2009, 113(4): 936-943.
- [12] MATUSCHEK E, SVANBERG U. The effect of fruit extracts with polyphenol oxidase (PPO) activity on the in vitro accessibility of iron in high-tannin sorghum [J]. Food Chemistry, 2005, 90(4): 765-771.
- [13] 徐文达. 食品软包装材料与技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003: 90-121.
- [14] 陈卫. 果蔬微生物学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2011: 105-107.
- [15] LUCERA A, COSTA C, MASTROMATTEO M, et al. Fresh-cut broccoli florets shelf-life as affected by packaging film mass transport properties [J]. Journal of Food Engineering, 2011, 102(2): 122-129.
- [16] CHEN Shou-jiang, ZHANG Min, WANG Shao-jin. Effect of initial hermetic sealing on quality of 'Kyoho' grapes during storage [J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 59(2): 194-199.
- [17] SANZ C, PEREZ A G, OLIAS R, et al. Quality of strawberries packed with perforated polypropylene [J]. Journal of Food Science, 1999, 64(4): 748-752.
- [18] RIZZO V, MURATORE G. Effects of packaging on shelf life of fresh celery [J]. Journal of Food Engineering, 2009, 90(1): 124-128.
- [19] LUCERA A, CONTE A, DEL Nobile M A. Shelf life of fresh-cut green beans as affected by packaging systems [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2011, 46(11): 2 351-2 357.
- [20] 袁艳. 新鲜果蔬打孔膜包装的研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2009: 13-35.
- [21] AMOROS A, PRETEL M T, ZAPATA P J, et al. Use of modified atmosphere packaging with microperforated polypropylene films to maintain postharvest loquat fruit quality [J]. Food Science and Technology International, 2008, 14(1): 95-103.
- [22] JAYATHUNGE K G L R, GUNAWARDHANA D K S N, ILLEPERUMA D C K, et al. Physico-chemical and sensory quality of fresh cut papaya (*Carica papaya*) packaged in microperforated polyvinyl chloride containers [J]. Journal of Food Science and Technology-Mysore, 2014, 51(12): 3 918-3 925.
- [23] 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]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2010, 11(3): 423-431.
- [24] MCEVILY A J, IYENGAR R, OTWELL W S. Inhibition of enzymatic browning in foods and beverages [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1992, 32(3): 253-273.