

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2022.02.021

O₂/CO₂ 主动自发气调对采后松露贮藏品质及微观结构的影响

Effects of O₂/CO₂ active modified atmosphere packaging on storage quality and microstructure of postharvest truffles

蒋方国¹ 胡海洋¹ 龚晓源¹ 刘杰² 李翔¹

JIANG Fang-guo¹ HU Hai-yang¹ GONG Xiao-yuan¹ LIU Jie² LI Xiang¹

(1. 成都大学食品与生物工程学院, 四川 成都 610106; 2. 重庆建设汽车系统股份有限公司, 重庆 400054)

(1. School of Food and Biological Engineering, Chengdu University, Chengdu, Sichuan 610106, China; 2. Chongqing Jianshe Vehicle System Co., Ltd., Chongqing 400054, China)

摘要:目的: 寻找一种新型且有效的松露鲜贮方法。方法: 设定 80% O₂ + 20% CO₂ (AMAP1)、60% O₂ + 40% CO₂ (AMAP2)、40% O₂ + 60% CO₂ (AMAP3)、10% O₂ + 90% CO₂ (AMAP4) 4 个气调组和 1 个自然空气不封装对照组(CK), 于 4 °C 下贮藏, 定期检测松露贮藏期间的营养品质及生理生化指标, 并观察松露子实体贮藏 0, 14, 28 d 的微观结构。结果: CK 组在采后 7 d 内就快速腐败, 品质急剧下降; AMAP4 处理的松露存在高失重和维生素 C 加剧降解的现象; 而适宜的初始气体比例不仅可以推迟呼吸高峰, 维持可溶性固形物、维生素 C 含量以及抑制软化、减少失重和延缓腐败对品质的影响, 还可降低丙二醛、多酚氧化酶和纤维素酶对松露子实体的损害, 从而保持微观结构的相对完整, 保证松露正常生理功能的行使。结论: AMAP3 处理的松露的保鲜性能最佳。**关键词:** 松露; 采后; 主动自发气调(AMAP); 品质; 微观结构

Abstract: Objective: To find a new and effective fresh storage method for truffles. **Methods:** Set 80% O₂ + 20% CO₂ (AMAP1), 60% O₂ + 40% CO₂ (AMAP2), 40% O₂ + 60% CO₂ (AMAP3), 10% O₂ + 90% CO₂ (AMAP4) 4 air-conditioned groups and a control group of natural air without encapsulation (CK), stored at 4 °C, regularly check the nutritional quality and physio-chemical indicators of truffles during storage, the micro-

structure of truffle fruit bodies was observed at 0, 14, 28 d. **Results:** The CK group spoiled rapidly within 7 days after harvest, and the quality dropped sharply. The truffles treated with AMAP4 had high weight loss and increased degradation of vitamin C. The appropriate initial gas ratio could not only delay the respiratory peak, but also maintain soluble solids and vitamin C content and inhibit softening, reduce weight loss and delay the effect of spoilage on quality, and also reduce the damage of malondialdehyde, polyphenol oxidase and cellulase to truffle fruiting bodies, thereby maintaining the relative integrity of the microstructure and ensuring the normal physiological functions of truffles. **Conclusion:** The truffles treated with AMAP3 have the best fresh-keeping performance.

Keywords: truffle; postharvest; active modified atmosphere packaging(AMAP); quality; microstructure

松露是块菌属真菌的子囊果, 在土壤或落叶层中与植物根系共生, 富含蛋白质、维生素、脂肪酸等营养物质^[1], 并含有具有缓解疲劳、抑制癌细胞、调节女性生理周期等功能的多糖、 α -雄烷醇及甾醇类等多种生理活性物质^[2-4]。由于其独特且浓郁的香气备受消费者青睐, 欧洲人将其盛赞为“王公贵族之珍饈”^[5]。然而, 短暂的采收期和保质期限制了其市场的向外扩张^[6]。松露采后会因机械损伤、环境胁迫、微生物污染导致的呼吸作用加剧而极易腐败变质, 其腐败产生的乳酸和乙醇虽然可以保护松露免受表面霉菌和细菌的侵害, 但有香气变化的潜在风险^[7]。目前国内外多采用气调、辐照、保鲜剂等技术对果蔬进行保鲜^[8], 但一些化学保鲜剂具有环境污染和毒副作用^[9]; 辐照虽能杀灭病原微生物, 抑制果蔬的某些代谢活动, 保留原有营养和风味物质, 但存在效果不显著

基金项目: 成都市重点研发支撑计划项目(编号: 2021-YF05-01724-SN); 四川省科技厅重点研发计划(重大科技专项)(编号: 22ZDYF3582)

作者简介: 蒋方国, 男, 成都大学在读硕士研究生。

通信作者: 李翔(1974—), 女, 成都大学教授, 博士。

E-mail: 173212408@qq.com

收稿日期: 2021-09-27

甚至加快果实衰老以及使用剂量的安全性问题^[10-12]。

主动自发气调(AMAP)是指通过控制密闭环境中的气体成分,利用果蔬自身呼吸从而达到有利于保鲜目的的气体环境的方法^[13]。王亮等^[14]发现 50% O₂+50% CO₂AMAP 可有效调节西兰花体内 pH 值和呼吸关键酶活性,形成稳定的能量代谢,从而维持西兰花贮藏品质。黄雪等^[15]采用 O₂/CO₂AMAP 处理羊肚菌,贮藏第 8 天,100% O₂处理易造成内部白斑,而过高的 CO₂处理则易出现白化和异味现象。Liu 等^[16]研究表明 80% O₂能防止香菇褐变,延缓膜透性和脂质过氧化物的增加,并能增强抗氧化和氧自由基清除酶的活性。Fagundes 等^[17]表明樱桃番茄在 AMAP 协同 5℃ 条件贮藏,由于 CO₂和 O₂的作用,降低了呼吸速率和乙烯的产生,维持组织硬度,并抑制了如糖类、有机酸、番茄红素等物质的化学反应,使樱桃番茄的衰老得到了有效控制。目前,有关松露在 O₂/CO₂AMAP 中保鲜性能的研究还未见报道。试验拟探究松露在不同初始比例的 O₂/CO₂气体密闭环境中的贮藏品质和微观结构,以期得到一种新型而有效的松露鲜贮方法。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

松露子实体:采摘于攀枝花市,采后立即置于冰袋低温盒中运回成都大学实验室,短时内用湿润软毛刷去污、清水冲洗后摘除成熟度低、质地软化、寄生或者损伤严重的个体,于层流空气中干燥,4℃ 预冷 12 h 后选择质量与成熟度相近的松露进行试验,四川品高农产有限公司;

三氯乙酸(TCA)、硫代巴比妥酸(TBA)、2,6-二氯酚、福林酚、戊二醛、醋酸异戊酯、邻苯二酚:分析纯,成都科隆化学有限公司;

食品级 PP 保鲜盒:220 mm×130 mm×40 mm,重 20 g,诸城市万瑞塑胶有限公司;

密闭不透气双层 PE 薄膜:单层厚 0.02 mm,深圳市汇丰包装科技有限公司;

吸潮纸:昆明大道生包装材料有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

紫外分光光度计:UV-8000 型,上海精密仪器仪表有限公司;

台式高速冷冻离心机:BY-R20 型,北京白洋医疗器械有限公司;

气调包装机:MAP-JY260 型,上海积亿机械有限公司;

电导率仪:DDS-307A 型,上海仪电科学仪器股份有限公司;

扫描电子显微镜:Phenom XL G2 型,复纳科学仪器

(上海)有限公司;

硬度计:GY-3 型,上海玖荣实业有限公司;

手持糖度计:WYT-32 型,上海易测仪器设备有限公司。

1.2 试验设计

将预冷完成的松露随机分为 4 个气调组和 1 个自然空气(CK)组,每组 5 个气调保鲜盒,各放入(300±5.00) g 样品,装载量为 1/4,保鲜盒底部垫一层吸潮纸,利用气调包装机按表 1 将气体分别充入各保鲜盒,用双层 PE 薄膜封口,CK 陈放于空气中,不封口。抽气时间 4.00 s;充气时间 4.00 s;热封时间 2.00 s;热封温度 152℃。于 4℃、相对湿度为 90%~95%冷库中贮藏,每 7 d 取样 1 次,各相关指标重复测定 3 次取平均值。

表 1 气体组分比例

Table 1 Radio of gas content %			
组别	O ₂	CO ₂	自然空气
AMAP1	80	20	0
AMAP2	60	40	0
AMAP3	40	60	0
AMAP4	10	90	0
CK	0	0	100

1.3 相关指标测定

1.3.1 失重率 按式(1)计算松露的失重率^[18]。

$$W = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

W——失重率,%;

M₁——松露贮藏前质量,g;

M₂——松露贮藏后质量,g。

1.3.2 可溶性固形物含量 取 10 g 松露于研钵,待充分研磨后用 4 层纱布过滤,使用手持糖度计测定可溶性固形物的百分比含量。

1.3.3 腐烂率 将软化、霉变、发黏及异味等现象作为松露腐烂的指示标准,按式(2)计算腐烂率。

$$D = \frac{X_1}{X_2} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

D——腐烂率,%;

X₁——腐烂个数;

X₂——处理总数。

1.3.4 维生素 C 含量 按 GB 5009.86—2016 执行。

1.3.5 呼吸速率 参照 Ye 等^[19]的方法。

1.3.6 丙二醛(MDA)含量 参照 Yang 等^[20]的方法。

1.3.7 纤维素(Cx)酶活性

(1) 酶液制取:精确称取 5.000 g 松露,剪碎后置于预

冷的研钵中,加入适量磷酸缓冲液研磨均匀后定容,4 000 r/min 离心 20 min,上清液于 4 °C 保存备用。

(2) Cx 酶活性:参照刘德海等^[21]的方法并稍改动,将酶液稀释 10 倍待用,取 6 只 10 mL 带塞试管,5 只样品管中加入 2 mL CMC 溶液,50 °C 预热 3 min,加入 0.5 mL 稀释酶液,50 °C 保温 30 min。待保温快结束时取空白管先后加入 2 mL CMC 溶液和 2.5 mL DNS 溶液。保温结束后向各样品管中加入 2.5 mL DNS 溶液并向空白管中加入 0.5 mL 酶液,沸水浴 8 min,冷却后空白调零测 OD_{530 nm} 值。

1.3.8 多酚氧化酶(PPO)活性 参照张菊华等^[22]的方法。

1.3.9 扫描电镜 松露去皮后切成 4 mm×4 mm×3 mm 小片,4 °C 下,5%戊二醛固定 2 h,用 0.1 mol/L 磷酸缓冲液冲洗浸泡 10 min,重复操作 3 次,分别用 30%,50%,70%乙醇脱水 20 min,用 80%,90%,100%乙醇脱水 10 min。醋酸异戊酯代替 100%乙醇溶液脱水 10 min,

将试样取出进行 CO₂ 临界点干燥以及离子溅射喷金处理,于扫描电子显微镜下观察。

1.3.10 数据处理 所有试验数据经 SPSS 软件进行显著性差异分析($P < 0.05$ 为差异显著),采用 Excel 2016 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 对失重率及可溶性固形物含量的影响

由图 1(a)可知,贮藏期间,各处理组的失重率均呈上升趋势,但 AMAP4 处理的失重最为严重,贮藏 7 d 后失重率高于 CK 处理,可能是随着呼吸作用的进行,蒸腾失水的同时,气调包装中氧气被快速利用,CO₂ 含量过高致使产生无氧呼吸而造成有机物被过多消耗而导致失重率急剧上升。而其他处理的失重率在整个贮藏期间明显($P < 0.05$) 低于 CK 和 AMAP4 处理,且 AMAP1 与 AMAP2 处理相差不明显,而 AMAP3 处理在贮藏后期才显示出一定优势,更适合长期保鲜。

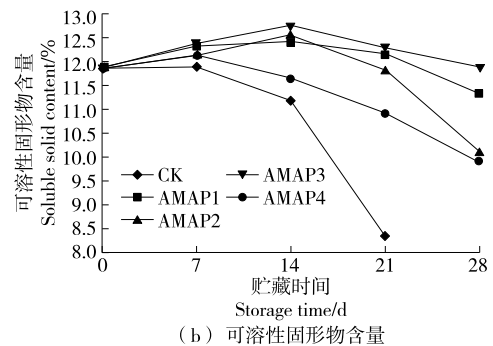
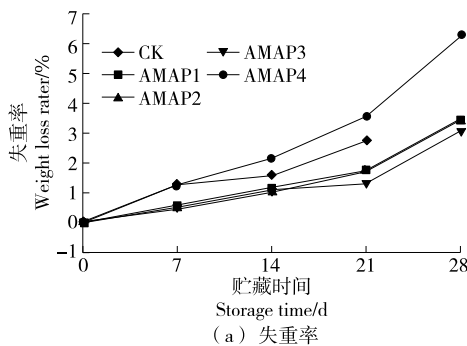


图 1 O₂/CO₂ AMAP 对松露失重率及可溶性固形物含量的影响

Figure 1 Effect of O₂/CO₂ AMAP on weight loss rate and soluble solid content of truffles

由图 1(b)可知,各处理组的可溶性固形物含量均呈先增后减的趋势,其上升可能是贮藏期间松露的失水和子实体内蛋白质等大分子向可溶性小分子的转化而导致的,而下降是因为呼吸作用^[23]。贮藏期间,4 个气调组的可溶性固形物含量均显著高于 CK 处理($P < 0.05$),CK 与 AMAP4 处理的在第 7 天达到峰值,后又呈快速下降的趋势。其余 3 个处理在第 14 天达到峰值,可能与不同气调处理影响各种物质的活化速度有关,可以延长松露后熟时间,与员丽萃等^[24]的结果类似。AMAP3 处理的可溶性固形物含量下降平缓且在第 28 天回落到初始水平,均高于其他 4 个处理组,说明 AMAP3 处理有助于降低松露对呼吸底物的消耗速率,从而减缓松露的衰老,保证其食用品质。

2.2 对腐烂率的影响

由图 2 可知,随着贮藏时间的增加,各处理组的腐烂率均呈上升趋势,松露从土壤挖掘出后就一直暴露在空气中,失水和病原菌使其变得高度易腐^[7]。CK 处理在

贮藏 7 d 内逐渐出现腐败,而其他处理组在贮藏 7 d 后才发生腐烂且程度明显低于 CK 处理,表明 O₂/CO₂ 主动自发气调在降低腐烂率上具有良好的效果。AMAP3 处理的腐烂率最低,保鲜效果最好,表明一些病原微生物可能对 AMAP3 处理的气体成分敏感。Hoogerwerf 等^[25]证

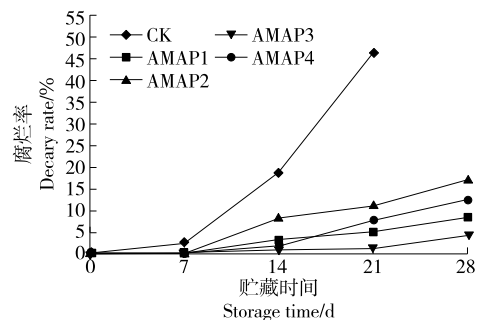


图 2 O₂/CO₂ AMAP 对松露腐烂率的影响
Figure 2 Effect of O₂/CO₂ AMAP on decay rate of truffles

实 80% O₂+20% CO₂气调处理可明显抑制灰葡萄孢菌的生长。张玉笑等^[26]研究表明 O₂/CO₂主动自发气调可更好地控制果蔬贮藏过程中枝孢菌的危害。

2.3 对松露维生素 C 含量的影响

由图 3 可知,贮藏期间,各处理组维生素 C 含量均呈下降趋势,贮藏第 7 天,AMAP4 处理的维生素 C 含量低于 CK 处理,且 28 d 内的含量均显著低于其他 3 个气调组,说明高含量的 O₂有利于减缓松露维生素 C 的下降速度且效果明显,对维持松露的营养价值具有重要作用,而 10% O₂气调处理不仅难以保留松露维生素 C 含量甚至会加剧其损失,与车东等^[27]、杨雪峰等^[28]的结论类似。

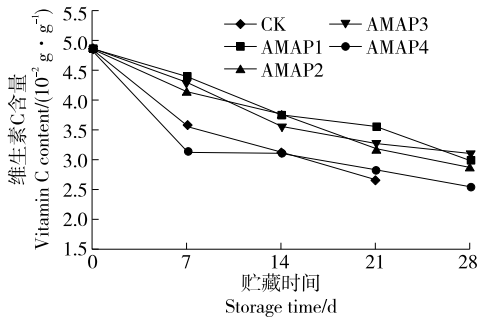


图 3 O₂/CO₂ AMAP 对松露维生素 C 含量的影响
Figure 3 Effect of O₂/CO₂ AMAP on V_c content of truffles

2.4 对松露呼吸速率的影响

由图 4 可知,松露是一种呼吸跃变型果实,贮藏期间,除 CK 和 AMAP3 处理外,其余气调组的呼吸速率大体呈“M”型波动。CK 处理的呼吸高峰出现在贮藏第 7 天,而贮藏中、后期急剧下降,可能是因为腐烂程度过高使松露的呼吸系统受到严重破坏。AMAP1、AMAP2 和 AMAP4 处理具有双呼吸高峰,分别出现在贮藏第 7, 21 天,而 AMAP3 处理的呼吸高峰只在贮藏第 21 天出现,且呼吸速率最低。CK 处理的平均呼吸速率为 205.60 mg/(kg·h),其他处理的分别为 223.58, 250.73,

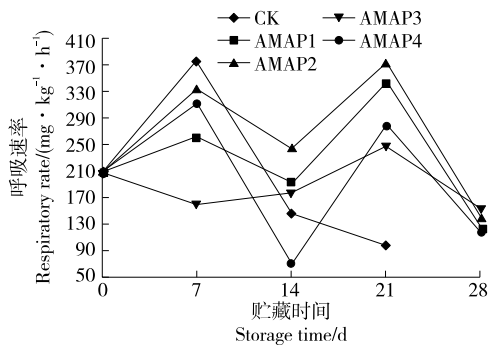


图 4 O₂/CO₂ AMAP 对松露呼吸速率的影响
Figure 4 Effect of O₂/CO₂ AMAP on respiratory rate of truffles

187.81, 196.69 mg/(kg·h), AMAP3 和 AMAP4 处理的呼吸作用受到明显抑制,而 AMAP3 呼吸波动最弱,表现最好,说明合适的初始气体比例形成适宜松露贮藏的微环境,推迟了呼吸高峰并降低了呼吸速率,维持了营养品质。

2.5 对松露 MDA 含量的影响

由图 5 可知,除 CK 处理的 MDA 含量增加外,其余组均呈先增后降再增的趋势,贮藏前期,MDA 含量的升高可能是气体胁迫导致松露组织产生大量的自由基,积累到一定程度后引起细胞膜脂过氧化,使膜的结构和功能受到严重损害,同时生成 MDA 加重对蛋白质、核酸及膜等大分子生物成分的攻击,进一步损伤细胞膜,增加其透过性^[29]。随后,松露的防御机制启动,MDA 被分解致使含量下降,但随着自我修复功能的削弱,MDA 又开始合成,含量逐步上升。贮藏第 28 天,AMAP2 和 AMAP3 处理的 MDA 含量接近但与 AMAP1、AMAP4 处理的差异显著。AMAP4 处理的 MDA 含量最高为 11.68 nmol/g,而 AMAP3 处理的最低为 5.26 nmol/g,同时在整个贮藏期间都维持在较低水平,说明其气体比例有效地降低了 MDA 的积累,与黄雪等^[15]的结论一致。

2.6 对松露 Cx 酶活性的影响

由图 6 可知,贮藏期间,各处理组的 Cx 酶活性均不

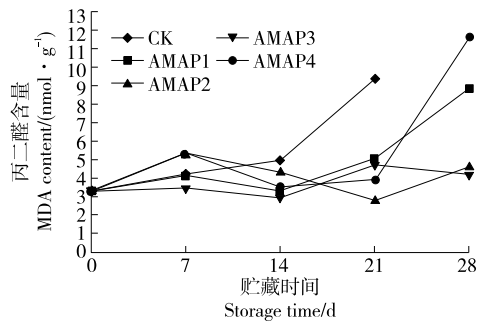


图 5 O₂/CO₂ AMAP 对松露 MDA 含量的影响
Figure 5 Effect of O₂/CO₂ AMAP on MDA content of truffles

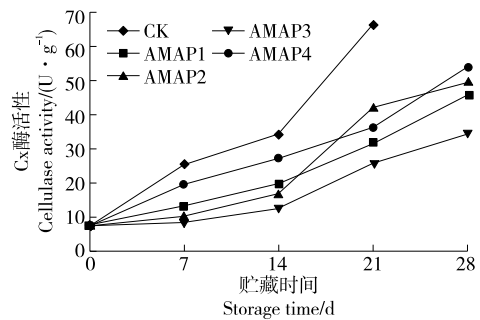


图 6 O₂/CO₂ AMAP 对松露 Cx 酶活性的影响
Figure 6 Effect of O₂/CO₂ AMAP on Cx enzyme activity of truffles

断上升,4个气调组的 C_x 酶活性显著低于 CK 组 ($P < 0.05$),且初始氧气含量在 40% 及以上气调处理的 C_x 酶活性整体上低于 10% O₂ 的,说明较高含量的 O₂ 可以更好地抑制松露的软化。贮藏第 28 天,AMAP3 处理的 C_x 酶活性最低,分别比 AMAP1、AMAP2、AMAP4 处理低 11.39、15.15、19.50 U/g。因此,AMAP3 处理相比较于 CK 和其他处理,更有效地降低了 C_x 酶活性,从而维持了松露的硬度。有研究^[30]表明,双孢蘑菇在贮藏后期由于纤维素酶活性升高加快纤维素分解,可能出现菌体自溶现象,而维持较低的纤维素酶活力可以保持良好的质地。

2.7 对松露 PPO 活性的影响

由图 7 可知,贮藏第 7 天,4 个气调组气体控制条件下松露的 PPO 活性均显著高于 CK 处理的。当松露所处的环境发生改变后,PPO 作为松露体内一种应激性酶对其作出响应,使得 PPO 活性被激活并在短时间内提高从而开启松露抵御外界伤害的自我保护机制。一旦松露适应了这种胁迫,PPO 活性将回到原状态,故贮藏第 14 天的 PPO 活性出现了回降现象,之后,各处理组 PPO 活性又不断上升,AMAP1、AMAP2 及 CK 3 组上升迅速,其余 2 组上升缓慢,且 AMAP3 处理表现最佳,说明 AMAP3 处理在贮藏中、后期有效抑制了 PPO 活性,防止果实发生褐变。这可能是由于贮藏后期,呼吸产生的高浓度 CO₂ 形成了高压 CO₂ 环境,而高压 CO₂ 可能以改变 PPO 的三级结构或干扰 PPO 的疏水活性位点的方式使其失活,从而减弱了 PPO 活性上升的趋势^[31]。

2.8 对松露微观结构的影响

由图 8 可知,新鲜松露子囊果的子囊孢子壁外表光滑饱满,相互之间呈致密分布,无凹陷和空洞。贮藏第 14 天,只有 AMAP3 处理的子囊孢子壁仍能保持完整饱满且致密的结构,分布也较为均匀,子囊之间空隙小,说明其有效保留了水分,细胞壁受损程度低,有利于维持松露正常的生理活动;CK 和 AMAP4 处理因失水过度导致子囊严重干瘪,而 AMAP1 和 AMAP2 处理的子囊之间黏连在一块,各子囊的形状无法清晰分辨出。贮藏第

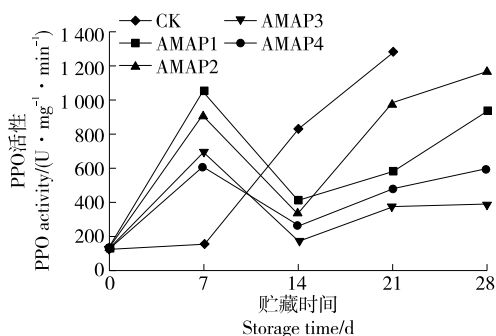


图 7 O₂/CO₂ AMAP 对松露 PPO 活性的影响
Figure 7 Effect of O₂/CO₂ AMAP on PPO activity of truffles

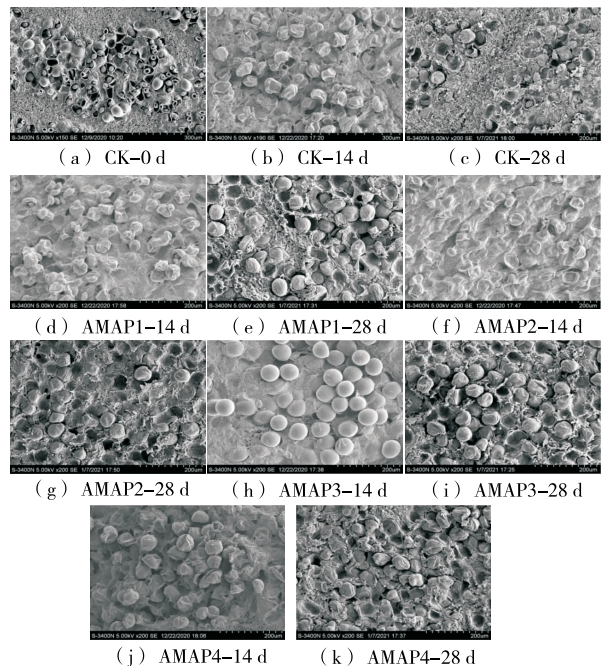


图 8 O₂/CO₂ AMAP 对松露微观结构的影响
Figure 8 Effect of O₂/CO₂ AMAP on microstructure of truffles

28 天,各处理组的子囊均出现一定程度的剥离和皱缩,形成空洞,但 CK 处理的剥离最为严重,子囊相互之间间隙最大,而 AMAP3 处理也有空洞和皱缩出现,但程度相对最浅,说明适宜气调处理的松露可有效减少质量损失,通过维持细胞的正常形态进而减弱 MDA、PPO 以及 C_x 酶等对组织的损伤,与朱继英等^[32]、Wu 等^[33]的结论类似。

3 结论

试验表明,松露具有呼吸跃变特性,40% O₂ + 60% CO₂ 处理可将呼吸高峰推迟至第 21 天,有效减缓营养物质的损失,并将松露货架期延长至 4 周。40% O₂ + 60% CO₂ 处理能够保持松露子囊较为饱满的状态,降低纤维素酶和丙二醛对细胞壁膜的破坏,维持正常的生理活动,有利于松露保鲜。这是由于 40% O₂ + 60% CO₂ 处理的气体比例结合低温形成的微环境可使松露的新陈代谢快速到达平衡,保持低能耗状态,高含量的 O₂ 可直接抑制厌氧菌的生长繁殖并且缓解 CO₂ 的侵害,减少腐烂。后续可进一步优化不同初始气体比例的保鲜性能,并深入研究 O₂/CO₂ 主动自发气调保鲜松露的具体机制。

参考文献

- [1] SARITHA K, PRAKASH B. Encyclopedia of food and health[M]. Newyork: Academic Press, 2016: 1-8.

- [2] 马宁. 块菌(*Tuber indicum*)干燥技术及块菌多糖抗疲劳作用机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2017: 83-97.
MA Ning. Studies on drying technology of *Tuber indicum* and its polysaccharide anti-fatigue mechanisms[D]. Nanjin: Nanjing Agricultural University, 2017: 83-97.
- [3] 呼鑫荣, 熊海宽, 薛文通. 松露的组成成分及功能活性研究进展[J]. 食品工业科技, 2017, 38(22): 341-345, 352.
HU Xin-rong, XIONG Hai-kuan, XUE Wen-tong. Research progress on the composition and functional activity of truffles[J]. Food Industry Science and Technology, 2017, 38(22): 341-345, 352.
- [4] WANG Guan, LI Yuan-yuan, LI Dong-sheng, et al. Determination of 5 α -androst-16-en-3 α -ol in truffle fermentation broth by solid-phase extraction coupled with gas chromatography-flame ionization detector/electron impact mass spectrometry[J]. Journal of Chromatography B, 2008, 870(2): 209-215.
- [5] 韩省华. 食用菌中的黑钻石“松露”[J]. 浙江食用菌, 2010, 18(4): 53-55.
HAN Sheng-hua. Blackdiamond "truffle" in edible fungi [J]. Zhejiang Edible Fungi, 2010, 18(4): 53-55.
- [6] RIVERA C S, VENTURINI M E, ORIA R, et al. Selection of a decontamination treatment for fresh *Tuber aestivum* and *Tuber melanosporum* truffles packaged in modified atmospheres[J]. Food Control, 2010, 22(3): 626-632.
- [7] HAJJAR S E, MASSANTINI R, BOTONDI R, et al. Influence of high carbon dioxide and low oxygen on the postharvest physiology of fresh truffles[J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 58(1): 36-41.
- [8] 励建荣, 朱丹实. 果蔬保鲜新技术研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2012, 31(4): 337-347.
LI Jian-rong, ZHU Dan-shi. Research progress of new postharvest technology on fruits and vegetables[J]. Journal of Food and Biotechnology, 2012, 31(4): 337-347.
- [9] 余华, 刘达玉, 李宗堂, 等. 食用菌采后生理特性及保鲜技术研究进展[J]. 中国食用菌, 2015, 34(1): 70-73, 76.
YU Hua, LIU Da-yu, LI Zong-tang, et al. The research progress on physiological characteristics and preservation techniques of the opst-harvested edible fungi[J]. Chinese Edible Fungi, 2015, 34(1): 70-73, 76.
- [10] RIVERA C S, VENTURINI M E, MARCO P, et al. Effects of electron-beam and gamma irradiation treatments on the microbial populations, respiratory activity and sensory characteristics of *Tuber melanosporum* truffles packaged under modified atmospheres[J]. Food Microbiology, 2011, 28(7): 1 252-1 260.
- [11] 刘泽松, 史君彦, 王清, 等. 辐照技术在果蔬贮藏保鲜中的应用研究进展[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(4): 236-242.
LIU Ze-song, SHI Jun-yan, WANG Qing, et al. Researchadvence on application of irradiation technology in storage and preservation of fruit and vegetables[J]. Storage and Process, 2020, 20(4): 236-242.
- [12] PINELA J, BARREIRA J C M, BARROS L, et al. Suitability of gamma irradiation for preserving fresh-cut watercress quality during cold storage[J]. Food Chemistry, 2016, 206(S1): 50-58.
- [13] CHARLES F, GUILLAUME C, GONTARD N. Effect of passive and active modified atmosphere packaging on quality changes of fresh endives[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 48(1): 22-29.
- [14] 王亮, 陈勇, 郭衍银, 等. O₂/CO₂气调下西兰花能量代谢与贮藏品质的关系[J]. 食品科学, 2019, 40(11): 195-200.
WANG Liang, CHEN Yong, GUO Yan-yin, et al. Relationship of energy metabolism and storage quality of broccoli head under O₂/CO₂ controlled atmospheres [J]. Food Science, 2019, 40(11): 195-200.
- [15] 黄雪, 刘莎莎, 谢瑶, 等. O₂/CO₂主动自发气调对羊肚菌 4℃下贮藏品质的影响[J]. 中国食用菌, 2020, 39(3): 56-62.
HUANG Xue, LIU Sha-sha, XIE Yao, et al. Effects of O₂/CO₂ active modified atmosphere packaging on storage quality of morehella-sextelata under 4℃ [J]. Chinese Edible Fungi, 2020, 39(3): 56-62.
- [16] LIU Zhan-li, WANG Xiang-you. Changes in color, antioxidant, and free radical scavenging enzyme activity of mushrooms under high oxygen modified atmospheres[J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 69: 1-6.
- [17] FAGUNDES C, MORAES K, PÉREZ-GAGO M B, et al. Effect of active modified atmosphere and cold storage on the postharvest quality of cherry tomatoes[J]. Postharvest Biology & Technology, 2015, 109: 73-81.
- [18] MANPREET S, ASHOK K, PREETINDER K. Respiratory dynamics of fresh baby corn (*Zea mays* L.) under modified atmospheres based on enzyme kinetics[J]. Journal of Food Science and Technology, 2014, 51(9): 1 911-1 919.
- [19] YE Jing-jun, LI Jian-rong, HAN Xiao-xiang, et al. Effects of active modified atmosphere packaging on postharvest quality of shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*) stored at cold storage[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2012, 11(3): 474-482.
- [20] YANG Ming-yi, BAN Zhao-jun, LUO Zi-sheng, et al. Impact of elevated O₂ and CO₂ atmospheres on chemical attributes and quality of strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) during storage[J]. Food Chemistry, 2019, 307: 125550.
- [21] 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.
LIU De-hai, YANG Yu-hua, AN Ming-li, et al. Determination of cellulase activity[J]. China Feed, 2002(17): 27-28.
- [22] 张菊华, 李高阳, 王伟, 等. UV-C 处理对蓝莓果实低温贮藏品质的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(7): 122-128.
ZHANG Ju-hua, LI Gao-yang, WANG Wei, et al. Effect of UV-C treatment on quality of blueberries fruit in low-temperature storage[J]. Food & Machinery, 2017, 33(7): 122-128.
- [23] GUERRERO P, STEFANIP M, RUSECKAITER A, et al. Functiona l properties of films based on soy protein isolate and gelatin processed by compression molding[J]. Journal of Food En-

- gineering, 2011, 105(1): 65-72.
- [24] 丽雨苹. O₂/CO₂主动自发气调对蒜蓼保鲜效果的影响[D]. 淄博: 山东理工大学, 2019: 21-27.
YUAN Li-ping. Effects of O₂/CO₂ active modified atmospheres packaging on quality of garlic bolts[D]. Zibo: Shandong University of Technology, 2019: 21-27.
- [25] HOOGERWERF S W, KETS E P W, DIJKSTERHUIS J. High-oxygen and high-carbon dioxide containing atmospheres inhibit growth of food associated moulds[J]. Letters in Applied Microbiology, 2002, 35(5): 419-422.
- [26] 张玉笑, 刘莎莎, 王亮, 等. 主动自发气调对枝孢菌的抑制效果[J]. 中国食品学报, 2021, 21(1): 185-191.
ZHANG Yu-xiao, LIU Sha-sha, WANG Liang, et al. Inhibitory effect of active modified atmospheres on *Cladosporium link*[J]. Chinese Journal of Food, 2021, 21(1): 185-191.
- [27] 车东, 卢立新. 高氧气调对鲜切莲藕包装质量的影响[J]. 包装工程, 2007(8): 87-89.
CHE Dong, LU Li-xin. Effect of high oxygen modified atmosphere on quality of fresh-cut Lotus roots[J]. Packaging Engineering, 2007(8): 87-89.
- [28] 杨震峰, 郑永华, 冯磊, 等. 高氧处理对杨梅果实采后腐烂和品质的影响[J]. 园艺学报, 2005(1): 94-96.
YANG Zhen-feng, ZHENG Yong-hua, FENG Lei, et al. Effect of high oxygen treatments on fruit decay and quality in Chinese bayberry[J]. Journal of Horticulture, 2005(1): 94-96.
- [29] 王馨, 胡文忠, 陈晨, 等. 活性氧在果蔬采后成熟衰老过程中
- 的作用及几种气体处理对其影响的研究进展[J]. 食品工业科技, 2017, 38(5): 375-379.
WANG Xin, HU Wen-zhong, CHEN Chen, et al. The role of reactive oxygen in harvested fruits and vegetables during maturation and senescence and the influences which handled by several gas treatments[J]. Food Industry Science and Technology, 2017, 38(5): 375-379.
- [30] 孙涵, 王相友, 李玲. 高氧动态气调对双孢蘑菇细胞壁代谢及木质化进程的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(11): 255-262.
SUN Han, WANG Xiang-you, LI Ling. Effect of high-oxygen dynamic controlled atmosphere on cell wall metabolism and lignification process of *Agaricus bisporus*[J]. Food Science, 2018, 39(11): 255-262.
- [31] LI Ren-jie, WANG Yong-tao, HU Wan-feng, et al. Changes in the activity, dissociation, aggregation, and the secondary and tertiary structures of a thaumatin-like protein with a high polyphenol oxidase activity induced by high pressure CO₂ [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2014, 23: 68-78.
- [32] 朱继英, 王相友, 王娟. 气调贮藏对双孢蘑菇细胞超微结构的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(S1): 78-81.
ZHU Ji-ying, WANG Xiang-you, WANG Juan. Effects of CA storage on ultrastructure of *Agaricus bisporus* [J]. Journal of Agricultural Engineering, 2009, 25(S1): 78-81.
- [33] WU Yuan-yue, HU Qiu-hui, LI Zhi-xiao, et al. Effect of nanocomposite-based packaging on microstructure and energy metabolism of *Agaricus bisporus*[J]. Food Chemistry, 2019, 276: 790-796.
-
- (上接第 117 页)
- [14] 王贇芝, 王雪, 查先进. 弹幕视频网站用户从众信息评论行为驱动因素探索[J]. 信息资源管理学报, 2020, 10(4): 60-69.
WANG Yun-zhi, WANG Xue, ZHA Xian-jin. Exploration of the driving factors of user herd information comment behavior on barrage video websites[J]. Journal of Information Resources Management, 2020, 10(4): 60-69.
- [15] 黄建. 大数据视角下线上图书营销因素的实证研究: 以京东平台的图书评论为例[J]. 现代出版, 2019(2): 62-65.
HUANG Jian. An empirical research on the factors of online book marketing from the perspective of big data: Taking the book reviews of Jingdong platform as an example[J]. Modern Publishing, 2019(2): 62-65.
- [16] 陈江涛, 张金隆, 张亚军. 在线商品评论有用性影响因素研究: 基于文本语义视角[J]. 图书情报工作, 2012, 56(10): 119-123.
CHEN Jiang-tao, ZHANG Jin-long, ZHANG Ya-jun. Research on the influencing factors of the usefulness of online product reviews: Based on the perspective of text semantics[J]. Library and Information Service, 2012, 56(10): 119-123.
- [17] 杨楠. 顾客参与价值共创与品牌形象塑造的关系研究[J]. 科研管理, 2021, 42(5): 87-93.
YANG Nan. Research on the relationship between customer participation in value co creation and brand image building[J]. Scientific Research Management, 2021, 42(5): 87-93.
- [18] 龙惠敏. 现代包装设计的文化特征[J]. 包装工程, 2018, 39(20): 315-318.
LONG Hui-min. Cultural characteristics of modern packaging design[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(20): 315-318.
- [19] 周艳, 向诗文. 产品包装设计中传统纹样的创新应用[J]. 包装工程, 2021, 42(8): 334-339.
ZHOU Yan, XIANG Shi-wen. Innovative application of traditional patterns in product packaging design[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(8): 334-339.
- [20] 刘方林. 野生榛蘑农产品伴手礼包装创意化设计[J]. 中国食用菌, 2020, 39(6): 129-131, 135.
LIU Fang-lin. The creative design of the packaging of wild hazel mushrooms as a gift for agricultural products[J]. Chinese Edible Fungus, 2020, 39(6): 129-131, 135.
- [21] 贾丽丽, 杨亚峰. 茶叶包装设计研究[J]. 包装工程, 2007, 18(11): 186-189.
JIA Li-li, YANG Ya-feng. Research on tea packaging design[J]. Packaging Engineering, 2007, 18(11): 186-189.
- [22] 沈法, 谢质彬, 郑堤, 等. 基于企业品牌形象的产品形象构建方法研究[J]. 包装工程, 2007(5): 88-90, 103.
SHEN Fa, XIE Zhi-bin, ZHENG Di, et al. Research on the method of product image construction based on enterprise brand image[J]. Packaging Engineering, 2007(5): 88-90, 103.