

# 气调包装技术在食用菌中的研究进展

王锦锦, 李佳, 孙斐, 傅茂润, 杨晓颖, 韩聪

(齐鲁工业大学(山东省科学院) 食品科学与工程学院, 济南 250300)

**摘要:** **目的** 概述气调包装技术(MAP)在食用菌中的应用和研究现状, 开拓气调包装技术的研究思路, 为其发展方向提供参考。**方法** 从气调包装结合不同保鲜技术及使用不同包装材料的气调包装技术在食用菌中的应用这2个方面介绍其研究进展, 探讨食用菌在采后贮藏过程中的生理及其他品质的变化。**结论** 各种气调包装技术均对食用菌的保鲜具有一定的积极作用。对各种包装技术进行了概括和总结, 并对食用菌保鲜技术的发展方向进行了展望。

**关键词:** 气调包装; 食用菌; 研究; 进展

**中图分类号:** TS255.36 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)15-0068-08

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.15.010

## Research Progress of Modified Atmosphere Packaging Technology in Edible Fungi

WANG Jin-jin, LI Jia, SUN Fei, FU Mao-run, YANG Xiao-ying, HAN Cong

(College of Food Science and Engineering, Qilu University of Technology  
(Shandong Academy of Sciences), Jinan 250300, China)

**ABSTRACT:** The work aims to summarize the application and research status of modified atmosphere packaging (MAP) technology in edible fungi and expand the research ideas of MAP technology to provide reference for its development direction. The research progress of MAP combined with other technologies and the application of modified atmosphere packaging technology with different packaging materials in edible fungi were introduced, and the physiological and other quality changes of edible fungi during postharvest storage were discussed. All kinds of MAP technologies have a certain positive effect on the preservation of edible fungi. Various packaging technologies are reviewed and summarized and the development direction of the preservation technology of edible fungi in the future is prospected.

**KEY WORDS:** modified atmosphere packaging; edible fungi; research; progress

近年来, 我国食用菌产业发展迅速, 产量已从1978年的不足10万t发展到2019年的3 934万t, 这使其成为我国第五大栽培业<sup>[1]</sup>。目前, 我国在食用菌的生产、消费、出口等方面处于世界领先地位<sup>[2]</sup>。食用菌富含蛋白质、膳食纤维等物质, 具有很高的营养价值。如果采收后的新鲜食用菌表面缺少有效保护, 其组织的含水量较高, 代谢水平较高, 则易出现

衰老、失水、褐变、机械损伤和微生物感染等问题<sup>[3]</sup>, 因此减少食用菌损失, 延长其保质期及货架期, 对于食用菌产业和消费者都具有重要意义。气调包装技术(MAP)具有绿色安全、保鲜效果好等特点, 被广泛应用于果蔬保鲜中<sup>[4-5]</sup>, 它是一种通过改变产品周围环境中O<sub>2</sub>和CO<sub>2</sub>的浓度, 有效抑制其呼吸作用, 防止果蔬腐败变质, 延长新鲜产品的保质期, 降低果蔬

收稿日期: 2022-08-05

基金项目: 山东省自然科学基金(ZR2020MC150); 山东省重点研发计划(2019GNC106117); 齐鲁工业大学(山东省科学院)科教产融合创新试点工程项目(2022JBZ01-08)

作者简介: 王锦锦(1995—), 女, 硕士, 主要研究方向为农产品加工与果蔬保鲜。

通信作者: 孙斐(1986—), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为农产品加工及贮藏工程。

质量损失率和腐烂率的技术<sup>[6]</sup>。MAP 主要包括主动气调和被动气调 2 种类型, 主动气调是人工按照气体比例将其填充到包装袋内, 实现对密封环境中气体含量的调节; 被动气调包装一般不进行人工气体比例填充, 主要利用食品自身的呼吸作用和塑料薄膜的透气性能自行调节气体含量, 从而延长食品的贮藏期。MAP 的效果取决于许多因素, 如产品类型、包装膜类型、气体浓度和储存温度等<sup>[7-8]</sup>, 这些都是气调包装需要深入探讨的问题, 也是提升 MAP 技术的突破口。单一的气调包装往往不能达到理想效果, 通常需要结合其他方式进行处理。例如, MAP+杀菌剂、MAP+物理保鲜等气调包装结合其他处理方式的保鲜技术已经在果蔬保鲜方面得到广泛应用<sup>[9-11]</sup>, 这里综述 MAP 保鲜技术的主要研究方向。

## 1 MAP 结合不同技术在食用菌中的应用

目前, 将 MAP 与其他方式相结合的技术在多种果蔬保鲜中得到广泛应用<sup>[12-17]</sup>, 具体保鲜技术及效果见表 1。许多研究表明, 在使用化学消毒剂处理后, MAP 对降低新鲜农产品在储存期间的食源性病原体水平具有明显效果<sup>[18-26]</sup>。为了研究具体条件对食用菌理化指标及其他特性的影响, 越来越多的学者参与到食用菌 MAP 研究中。

### 1.1 MAP 结合物理辐射在食用菌中的应用

辐照处理包括  $\gamma$  射线、电子束和紫外线照射等方式。其中, 低剂量  $\gamma$  辐射能更好地延长许多新鲜水果和蔬菜的采后寿命<sup>[27]</sup>; 电子束照射可减少微生物腐败, 提高食品的卫生质量, 此种辐照的处理时间短、不产生放射性废物, 并能消灭主要的致病性食源性细

菌; 紫外线可诱导植物的生物胁迫和植物组织的防御机制, 从而产生植物抗毒素化合物。

Jiang 等<sup>[28]</sup>研究了聚丙烯袋结合不同剂量的  $\gamma$  辐照对香菇保鲜效果的影响, 发现与单独采用 MAP 相比,  $\gamma$  射线+MAP 处理对冷藏香菇具有更加明显的抑制衰老作用, 可将香菇的贮藏寿命延长至 20 d。Rivera 等<sup>[29]</sup>先采用 2.5 kGy 电子束对夏松露进行处理, 然后将其放置在 4 °C 的气调包装内贮藏, 发现电子束处理对松露的感官特性并无不良影响, 使夏松露的货架期延长至 42 d, 而未经处理的样品货架期为 21 d。Jiang 等<sup>[30]</sup>将香菇置于紫外光下辐射, 然后储存于气调包装中 15 d, 经 UV-C 处理的香菇仍保持高水平的紧致性, 并有较高的抗氧化酶活性。

### 1.2 MAP 结合臭氧熏蒸在食用菌中的应用

由于臭氧具有很强的氧化作用, 所以它在抑制微生物活性方面非常有效, 适当暴露在臭氧中可以限制微生物的生长, 抑制产品的腐烂, 同时能够保留其有益化合物和抗氧化活性。此外, 臭氧能迅速分解为氧气, 在熏蒸后的产品上不会留下有害的副产品或残留物。

Liu 等<sup>[31]</sup>对香菇进行了臭氧处理, 并将其在 4 °C 下储存 14 d, 这可使多酚氧化酶 (PPO) 失活, 从而抑制了香菇的褐变, 减少了游离氨基酸的积累。Yang 等<sup>[32]</sup>将香菇经臭氧处理后置于 4 °C 下储存 25 d 后也观察到类似结果, 臭氧抑制了香菇表面的褐变, 且成品的感官质量优于未经处理的产品。Wang 等<sup>[33]</sup>研究发现, 臭氧熏蒸可有效延缓双孢菇采后贮藏过程中品质的恶化, 抑制活性氧的积累, 可将双孢蘑菇的货架期延长 10 d。宁明岸等<sup>[34]</sup>采用 2.47 mg/L 臭氧熏蒸结合低温 MAP 处理平菇, 结果表明, 与未经臭氧处理的 MAP 样品相比, 通过臭氧处理有效保持了平菇细胞组织的完整性, 并且很好地抑制了平菇表面的褐

表 1 MAP 结合不同技术在食用菌中的应用  
Tab.1 Application of MAP combined with other technologies in edible fungi

| MAP 结合其他技术       | 气体组分  | 处理对象  | 保鲜效果                             |
|------------------|---|-------|----------------------------------|
| MAP+ $\gamma$ 射线 | 自发气调  | 香菇    | 贮藏寿命延长至 20 d                     |
| MAP+电子束          | 自发气调  | 夏松露   | 对松露的感官特性并无不良影响, 使夏松露的货架期延长至 42 d |
| MAP+UV-C         | 自发气调  | 香菇    | 保持高水平的紧致性, 并有较高的抗氧化酶活性           |
| MAP+臭氧熏蒸         | 自发气调  | 平菇    | 有效保持了细胞组织的完整性, 并且很好地抑制了平菇表面的褐变   |
| MAP+臭氧熏蒸         | O <sub>2</sub> (体积分数 6%) +CO <sub>2</sub> (体积分数 10%)      | 兰茂牛肝菌 | 减缓可溶性糖含量的下降, 使呈味物质的维持时间更持久       |
| MAP+壳聚糖涂层        | O <sub>2</sub> (体积分数 10%) +10% CO <sub>2</sub> (体积分数 10%) | 双孢菇   | 将其保质期延长至 15 d                    |
| MAP+柠檬酸          | 自发气调  | 鸡油菌   | 显著降低了质量损失率和腐烂率                   |
| MAP+化学试剂         | O <sub>2</sub> (体积分数 1.5%) +CO <sub>2</sub> (体积分数 20%)    | 平菇    | 降低了平菇的质量损失率和细胞渗透率                |
| MAP+化学试剂         | O <sub>2</sub> (体积分数 10%) +5% CO <sub>2</sub> (体积分数 5%)   | 平菇    | 提高了自由基清除活性和总多酚含量                 |

变。孙达锋等<sup>[35]</sup>对兰茂牛肝菌进行臭氧杀菌处理后将其置于气体成分为 O<sub>2</sub> (体积分数 6%) + CO<sub>2</sub> (体积分数 10%)、温度为 5 °C 的气调箱内, 可使兰茂牛肝菌的保鲜期延长 10 d 以上, 在贮藏 25 d 后兰茂牛肝菌的呈味物质仍保持良好。

### 1.3 MAP 结合涂膜技术在食用菌中的应用

延缓蔬菜和水果等食品成熟进程的另一个策略是在其表面覆盖一层稳定、无毒的半透膜。壳聚糖无毒、可生物降解, 且能限制许多细菌的生长<sup>[36]</sup>。壳聚糖的生物降解性、抗菌活性和成膜性能良好, 逐渐成为合成塑料聚合物的一种具有吸引力的替代品。

Huang 等<sup>[37]</sup>将壳聚糖(质量分数 1%) + 瓜尔胶(质量分数 15%) 涂敷在香菇上, 并储存在 4 °C 下持续 16 d, 不仅保持了香菇的硬度, 而且抑制了香菇蛋白质、抗坏血酸含量等的恶化。Jiang 等<sup>[38]</sup>配制了壳聚糖(质量分数为 1%) - 葡萄糖(质量分数为 1%) 复合物(CGC), 并在 4 °C 下对香菇的质量进行了 16 d 的研究, 发现与单独的壳聚糖、葡萄糖或未涂层对照品相比, CGC 涂层在储存期间能很好地保持香菇的硬度、可溶性固形物含量和抗坏血酸含量, 抑制其呼吸速率, 从而形成保鲜的良性涂层。Kumar 等<sup>[39]</sup>制备了壳聚糖基纳米复合薄膜和涂层, 用于延长农产品及肉类制品的货架期。Ban 等<sup>[40]</sup>采用壳聚糖和 CaCl<sub>2</sub> 对双孢菇进行涂膜处理, 然后将香菇分别用 PVC 和 PE 薄膜包装, 并在 12 °C 下贮藏, 结果表明 PE 包装有效降低了香菇的成熟度指数。Gholami 等<sup>[41]</sup>研究了壳聚糖涂层、纳米包装和气调包装对延长双孢菇保质期和提高其质量的效果, 气调包装内含有 O<sub>2</sub> (体积分数 10%) 和 CO<sub>2</sub> (体积分数 10%), 这种组合对双孢菇贮藏期间的物理、化学和力学性能有着积极影响, 并且可以将其保质期延长至 15 d。

### 1.4 MAP 结合化学试剂在食用菌中的应用

刚收获的食用菌上有土壤、污垢、微生物及其他杂质, 可以用水很容易地去除这些杂质。然而, 仅用

水会增加食用菌表面的含水量, 加速微生物侵蚀和腐败, 因此在洗涤用水中添加氯化物/次氯酸钠和柠檬酸等抗菌化学品, 或者添加褐变抑制剂, 可以抑制食用菌表面褐变。

Sindhu<sup>[42]</sup>研究了偏亚硫酸钠、柠檬酸和过氧化氢对香菇的影响, 发现化学处理并不影响香菇干的总体可接受性。Ozturk 等<sup>[43]</sup>将柠檬酸与 MAP 结合对新鲜鸡油菌进行了 12 d 保鲜试验, 结果表明, 添加柠檬酸后的 MAP 处理显著减少了新鲜鸡油菌的质量损失率和腐烂率。Xiao 等<sup>[44]</sup>采用不同浓度溶液(质量分数, 山梨醇 0.05%, CaCl<sub>2</sub> 1%, 柠檬酸 3%) 相结合来浸泡平菇, 然后用 O<sub>2</sub> (体积分数 1.5%) 和 CO<sub>2</sub> (体积分数 20%) 的混合气体将样品包装在 MAP 袋中进行贮存, 此种处理使平菇的保质期从 4 d 延长到 6 d, 且对平菇的质量损失率和细胞通透性具有明显的抑制作用。Jafri 等<sup>[45]</sup>用山梨醇(质量分数为 0.05%)、柠檬酸(质量分数为 3%) 和 CaCl<sub>2</sub> (质量分数为 1%) 溶液处理平菇, 然后采用 O<sub>2</sub> (体积分数 10%) 和 CO<sub>2</sub> (体积分数 5%) 的 MAP 包装, 评估样品在 4 °C 下保存 25 d 后的理化、质地和感官特性, 经过处理后样品的质量损失率、pH 和 TSS 的变化最小。

## 2 不同包装材料的 MAP 在食用菌中的应用

市场上常见的气调包装材料以聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、聚氯乙烯(PVC)、双向拉伸聚丙烯薄膜(BOPP)等为主<sup>[46]</sup>。采用单一包装材料的保鲜效果存在一定局限性, 通常需添加一些其他成分来改变包装膜的成分和结构, 以延长果蔬的货架期。在目前已有的研究中, 通常将 MAP 与单一活性剂(如防腐剂、吸湿剂、化学试剂) 结合使用, 如何有效地结合多重作用, 将有助于提高活性包装和 MAP 的综合效率, 科研工作者对此展开了很多研究, 使用不同包装材料的食用菌的 MAP 保鲜效果见表 2。

表 2 不同包装材料的 MAP 在食用菌中的应用  
Tab.2 Application of MAP with different packaging materials in edible fungi

| 材料   | 应用范围 | 效果                              |
|------|------|---------------------------------|
| PE   | 松茸   | 抑制松茸的呼吸, 减少维生素 C 含量的损失          |
| PE   | 双孢菇  | 保持较高的新鲜度, 并能被大多数消费者接受           |
| PE   | 平菇   | 将平菇的货架期延长至 11 d                 |
| PE   | 金针菇  | 减少了金针菇的质量损失率, 抑制了微生物的生长         |
| PE   | 金针菇  | 较好地保留了金针菇的营养物质                  |
| PP   | 双孢菇  | 吸收了更多的水蒸气, 较好地保持了双孢菇的品质         |
| PVC  | 双孢菇  | 抑制了好氧微生物的生长, 在 3 °C 下保质期约为 13 d |
| PVC  | 双孢菇  | 保持了较好的感官品质, 且微生物数量显著减少          |
| PVC  | 双孢菇  | 有效降低了双孢菇的呼吸速率和电解质泄漏, 延缓其衰老      |
| BOPP | 双孢菇  | 保持硬度, 延缓开帽, 促进酚类物质积累            |
| BOPP | 香菇   | 保持高水平的紧致性, 具有较高的抗氧化酶活性          |

## 2.1 PE 在食用菌保鲜中的应用

PE 膜是目前包装袋中使用量最大的一种保鲜膜, 主要优点在于其加工成型方便、韧性强、防潮性良好、热封性能良好等, 并能通过调节果实的微环境气体条件实现自发气调, 以增强保鲜效果。PE 膜具有操作简单、价格低廉、易于推广等优势, 在果蔬保鲜中得到广泛应用。

Wei 等<sup>[47]</sup>评价了硅窗 (SW) 和聚乙烯 (PE) 包装材料对松茸质感、成熟度、褐变和气味的影响, 并对其机理进行了研究, 结果表明, PE 有效延缓了松茸的衰老和褐变, 并将松茸的贮藏期延长至 15 d。Ban 等<sup>[40]</sup>将双孢菇分别用 PVC、PE 膜包装, 然后在 12 °C 下保存 7 d, 结果表明, 采用 PE 膜包装的双孢菇能保持较高的新鲜度, 并能被大多数消费者所接受。Lyn 等<sup>[48]</sup>将明胶和石榴皮粉分别或共同包覆在 PE 膜上, 然后采用不同条件对平菇进行气调包装, 发现二者都添加的 PE 袋成功地将平菇的货架期延长至 11 d。Fang 等<sup>[49]</sup>制备了一种含有纳米-银、纳米-二氧化钛、纳米-二氧化硅和凹凸棒土的 PE 包装材料, 并用于金针菇的保鲜, 在贮藏 14 d 后, 纳米复合包装减少了金针菇的质量损失率, 并且抑制了微生物的生长。Fang 等<sup>[50]</sup>分析了此种复合包装材料对金针菇采后 21 d 的理化特性和抗氧化能力的影响, 试验表明此种材料更好地保留了金针菇的营养物质。

## 2.2 PP 在食用菌保鲜中的应用

PP 膜具有良好的加工性能, 以及良好的物理、力学、化学、耐磨、耐热等性能, 应用广泛。PP 膜的绝缘性较好, 在电气绝缘方面应用广泛, 且其材质较软, 可用于吸塑托盘的制作, 也是具有发展前途的热塑性塑料之一。

Sangerlaub 等<sup>[51]</sup>研制了一种含有质量分数为 6% 的分散 NaCl 晶体的热成型发泡单层 PP 膜, 这种薄膜能以更高的速率吸收水蒸气, 并能结合更多的由固体盐晶体通过水蒸气吸收形成的盐溶液, 所以此种膜在含有较高水分活度的新鲜农产品保鲜中具有广阔的市场前景。张克宏<sup>[52]</sup>将纳米 SiO<sub>2</sub> 涂覆到 PP 膜上, 制备出 SiO<sub>2</sub>/PP 复合保鲜薄膜, 并对复合薄膜的物理性能和保鲜性能进行了研究, 发现该复合薄膜大大提高了果蔬的保鲜度。双孢菇具有较高的蒸腾作用和呼吸作用, Gux 等<sup>[53]</sup>研究了双孢菇在不同贮藏温度 (4、12、20 °C) 和相对湿度 (76%、86%、96%、100%) 组合下储存于 PP 托盘中 6 d 的蒸腾行为, 与对照组相比, PP 托盘吸收了更多的水蒸气, 更好地保持了双孢菇的品质。

## 2.3 PVC 在食用菌保鲜中的应用

PVC 具有良好的耐酸碱性能, 可以广泛应用于各领域。部分不良生产商为了牟取利益, 随意在食品级

PVC 中违规添加有毒的增塑剂、防老化剂等, 使 PVC 常被误解为有毒材料。PVC 处于较高温度时会慢慢分解, 因此不适合包装需高温加热的食品, 但适合于需要低温贮藏的果蔬保鲜包装。

Gonzalez-Fandos 等<sup>[54]</sup>采用 PVC 薄膜包装切片双孢菇, 并在 3 °C 和 9 °C 下保存, 研究了贮藏期结束后切片双孢菇的感官和微生物品质, 发现 PVC 产生的空气可抑制好氧微生物的生长, 在 3 °C 下切片双孢菇的保质期约为 13 d。Simon 等<sup>[55]</sup>将洗净的双孢菇切片 (厚度 4 mm) 置于 PVC 托盘上包装, 然后放在 5 °C 下储存 17 d, 发现经 PVC 处理后, 双孢菇保持了较好的感官品质, 且微生物数量显著减少。Li 等<sup>[56]</sup>采用不同厚度 (0.03、0.05 mm) 的 PVC 和 PE 包装双孢菇, 在 4 °C 下保存 28 d, 结果表明, 与 0.03 mm 膜相比, 0.05 mm PVC 膜可有效降低双孢菇的呼吸速率和电解质泄漏, 延缓其衰老。

## 2.4 BOPP 在食用菌保鲜中的应用

BOPP 是一种重要的软包装材料, 具有无色、无味、无毒、抗菌、稳定性好、拉伸强度高、透明、防雾等特点。BOPP 薄膜的表面能较低, 在涂胶或印刷前需进行电晕处理, 经电晕处理后 BOPP 薄膜具有良好的印刷适应性, 可以通过套色印刷得到精美的外观, 因而常用作复合薄膜的面层材料, 近年来开始广泛应用于食品包装。

Jiang 等<sup>[57]</sup>将双孢菇在二乙胺中浸泡 10 min, 然后装入 BOPP 袋中, 经热封后在 4 °C 下储存 16 d, 结果表明, 双孢菇保持了较高的硬度, 延缓了其褐变和开帽进程, 促进了酚类物质和抗坏血酸的积累, 降低了 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 含量的增加。Jiang 等<sup>[30]</sup>将香菇置于紫外光下辐射后贮藏于 BOPP 袋中, 在储存 15 d 后香菇仍保持了高水平的紧致性, 并有较高的抗氧化酶活性。

# 3 气调包装需解决的问题

## 3.1 大幅度延长食用菌的保质期

近年来, 人们逐渐意识到健康、平衡饮食的重要性, 食用菌的消费量也有所增加。受到季节、经济、政策和市场的影响, 食用菌的价格随之波动 (夏季高价、冬季低价), 这势必影响食用菌企业和菇农的经济效益, 对产品供应体系及居民的生产生活的影响也不可小觑, 存在“菇价贵伤市民, 贱则伤菇农”的现象, 所以需要研发一种能够大幅度延长食用菌贮藏期的保鲜技术。

## 3.2 流通过程中的包装问题

在流通过程中食用菌的包装具有随意性, 通常将其直接放在泡沫箱或塑料筐里, 表面覆盖一层保鲜膜, 基本无保鲜措施。由于新鲜食用菌的含水量高达 85%~90%, 采后呼吸代谢旺盛, 特别容易出现

失水、开伞、褐变、后生长、腐烂等现象,导致在流通过程中其损失率达到 10%~30%,因此需要研发合适的保鲜技术来保障农贸市场、商超等市场上食用菌的正常流通。

### 3.3 不宜通过化学及杀菌剂进行保鲜

食用菌一般直接食用,按照国标要求不能也不适宜通过化学保鲜剂等方式进行保鲜。另外,精油类的天然杀菌剂等会使以鲜为主的食用菌的味道改变,因此很多果蔬的保鲜剂并不适用于食用菌。气调包装通过改变气体组分来抑制呼吸作用,所以它在食用菌保鲜上具有广阔的发展前景。

## 4 气调包装的研究方向

### 4.1 MAP 的多样性

自然界中有 2 000 多种食用菌,大约有 200 种采用商业或实验栽培,其中有 20 种已工业化栽培,如平菇、香菇、双孢菇、黑木耳、金针菇、草菇等。由于食用菌的多样性、生长环境的多样性和采摘期的不同等因素,导致采摘后的食用菌所需的气体环境差异很大,因此研究食用菌的保鲜能为 MAP 提供更加精准的理论支持。

### 4.2 MAP 的包装材料

气调保鲜技术主要靠高分子材料的特性来实现,因此气调包装材料是重要的研究方向。市场上常见的气调包装材料有 PE、PP、PVC、BOPP 等,基于前人的研究发现,不同种类的食用菌在不同材质包装袋中的保鲜期有区别,所以针对不同种类的食用菌需要研究不同的包装材料。

### 4.3 MAP 的包装方式

目前常见的气调设备主要以气调库、气调箱为主,实际运输过程中在考虑生产成本的前提下,可根据不同需求开发不同类型的气调装置,例如简易气调箱、气调袋、低成本简易主动气调装置等。

### 4.4 微环境包装

很多学者研究了微环境包装(例如涂膜类的可食用材料)的抑菌效果,实际上这些涂膜也改变了食用菌周围的气体微环境,但这些微环境的影响机制目前尚不清楚。有必要开发一种可调节气体组分、可与其他技术(如催熟、杀菌、除湿等)相结合的简易气调装置,为未来食用菌和农产品的保鲜和贮藏运输提供便利和技术支持。

## 5 结语

食用菌的衰老是一个氧化过程,涉及细胞和亚

细胞结构及大分子降解。活性氧在细胞膜脂质过氧化、膜损伤和蛋白质氧化中起着重要作用,最终导致食用菌的衰老,所以大多数科研工作者专注于 PPO 活性、还原糖含量及质量损失率等指标的研究。保鲜技术更应注重果蔬和食用菌的口感、食品安全性等问题,目前人们对食用菌气调保鲜技术的研究大多停留在小包装层面,这无疑增加了包装成本,且在食用菌的采后保鲜和贮藏运输方面存在一定局限性。

### 参考文献:

- [1] 赵静,王延锋,盛春鸽,等.我国食用菌工厂化生产现状与发展趋势[J].中国林副特产,2021(5):68-71.  
ZHAO Jing, WANG Yan-feng, SHENG Chun-ge, et al. The Production Status and Development Trend of Edible Fungi Factory in China[J]. Forest by-Product and Speciality in China, 2021(5): 68-71.
- [2] 贺国强,魏金康,胡晓艳,等.我国食用菌产业发展现状及展望[J].蔬菜,2022(4):40-46.  
HE Guo-qiang, WEI Jin-kang, HU Xiao-yan, et al. Present Situation and Prospect of Edible Fungi Industry Development in China[J]. Vegetables, 2022(4): 40-46.
- [3] SONG Yuan, HU Qiu-hui, WU Yuan-yue, et al. Storage Time Assessment and Shelf-Life Prediction Models for Postharvest *Agaricus Bisporus*[J]. LWT, 2019, 101: 360-365.
- [4] KURUBAS M S, MALTAS A S, DOGAN A, et al. Comparison of Organically and Conventionally Produced Batavia Type Lettuce Stored in Modified Atmosphere Packaging for Postharvest Quality and Nutritional Parameters[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(1): 226-234.
- [5] 潘玉军,付秋莹.气调包装延长果蔬贮存期的研究进展[J].今日印刷,2018(10):61-64.  
PAN Yu-jun, FU Qiu-ying. Research Progress on Extending Storage Life of Fruits and Vegetables by Modified Atmosphere Packaging[J]. Intelligent Printing, 2018(10): 61-64.
- [6] 李福后,王伟霞,孙强,等.食用菌保鲜技术的研究进展[J].食品研究与开发,2018,39(15):205-210.  
LI Fu-hou, WANG Wei-xia, SUN Qiang, et al. Research Progress in Preservation Technology of Edible Fungi[J]. Food Research and Development, 2018, 39(15): 205-210.
- [7] SANDHYA. Modified Atmosphere Packaging of Fresh Produce: Current Status and Future Needs[J]. LWT - Food Science and Technology, 2010, 43(3): 381-392.
- [8] LI Jing-yan, SONG Wei, BARTH M M, et al. Effect of Modified Atmosphere Packaging (MAP) on the Quality of Sea Buckthorn Berry Fruits during Postharvest Sto-

- rage[J]. *Journal of Food Quality*, 2015, 38(1): 13-20.
- [9] WAGHMARE R B, ANNAPURE U S. Combined Effect of Chemical Treatment and/or Modified Atmosphere Packaging (MAP) on Quality of Fresh-Cut Papaya[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2013, 85: 147-153.
- [10] ZHANG Xiao-tian, ZHANG Min, DEVAHASTIN S, et al. Effect of Combined Ultrasonication and Modified Atmosphere Packaging on Storage Quality of Pakchoi (*Brassica Chinensis* L)[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2019, 12(9): 1573-1583.
- [11] WAGHMARE R B, ANNAPURE U S. Integrated Effect of Sodium Hypochlorite and Modified Atmosphere Packaging on Quality and Shelf Life of Fresh-Cut Cilantro[J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2015, 3: 62-69.
- [12] NAKATA Y, IZUMI H. Microbiological and Quality Responses of Strawberry Fruit to High CO<sub>2</sub> Controlled Atmosphere and Modified Atmosphere Storage[J]. *HortScience*, 2020, 55(3): 386-391.
- [13] KHAN M R, CHINSIRIKUL W, SANE A, et al. Combined Effects of Natural Substances and Modified Atmosphere Packaging on Reducing Enzymatic Browning and Postharvest Decay of Longan Fruit[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2020, 55(2): 500-508.
- [14] ÇANDIR E, ÖZDEMİR A E, AKSOY M C. Effects of Modified Atmosphere Packaging on the Storage and Shelf Life of Hicaznar Pomegranate Fruits[J]. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 2019, 43(2): 241-253.
- [15] ZHAO Qian-xi, JIN Mi-jing, GUO Le-yin, et al. Modified Atmosphere Packaging and 1-Methylcyclopropene Alleviate Chilling Injury of 'Youhou' Sweet Persimmon during Cold Storage[J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2020, 24: 100479.
- [16] DOROSTKAR M, MORADINEZHAD F, ANSARIFAR E. Influence of Active Modified Atmosphere Packaging Pre-Treatment on Shelf Life and Quality Attributes of Cold Stored Apricot Fruit[J]. *International Journal of Fruit Science*, 2022, 22(1): 402-413.
- [17] TEIXEIRA G H A, CUNHA L C. Quality of Guava (*Psidium Guajava* L cv Pedro Sato) Fruit Stored in Low O<sub>2</sub> Controlled Atmospheres is Negatively Affected by Increasing Levels of CO<sub>2</sub>[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2016, 111: 62-68.
- [18] KAHRAMANOGLU İ. Effects of Lemongrass Oil Application and Modified Atmosphere Packaging on the Postharvest Life and Quality of Strawberry Fruits[J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 256: 108527.
- [19] SIDDIQ R, AURAS R, SIDDIQ M, et al. Effect of Modified Atmosphere Packaging (MAP) and Nature-Seal® Treatment on the Physico-Chemical, Microbiological, and Sensory Quality of Fresh-Cut d'Anjou Pears[J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2020, 23: 100454.
- [20] RICO-LONDOÑO J F, BUITRAGO-PATIÑO D J, AGUDELO-LAVERDE L M. Combination of Methods as Alternative to Maintain the Physical-Chemical Properties and Microbiological Content of Hass Avocado Pulp during Storage[J]. *Food Bioscience*, 2021, 44: 101372.
- [21] PAGE N, GONZÁLEZ-BUESA J, RYSER E T, et al. Interactions between Sanitizers and Packaging Gas Compositions and Their Effects on the Safety and Quality of Fresh-Cut Onions (*Allium Cepa* L)[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2016, 218: 105-113.
- [22] ÖZ A T, AKYOL B. Effects of Calcium Chloride Plus Coating Inmodified-Atmosphere Packaging Storage on Whole-Radish Postharvest Quality[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2020, 100(10): 3942-3949.
- [23] YILDIZ G, IZLI G, AADIL R M. Comparison of Chemical, Physical, and Ultrasound Treatments on the Shelf Life of Fresh-Cut Quince Fruit (*Cydonia Oblonga* Mill.)[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2020, 44(3): e14366.
- [24] LEILA A, NAFISEH Z, SAMIRA N, et al. Evaluation of the Shelf Life of Minimally Processed Lettuce Packed in Modified Atmosphere Packaging Treated with Calcium Lactate and Heat Shock, Cysteine and Ascorbic Acid and Sodium Hypochlorite[J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2021, 15(5): 4438-4445.
- [25] NUNES F R, STEFFENS C A, HEINZEN A S, et al. Ethanol Vapor Treatment of 'Laetitia' Plums Stored under Modified Atmosphere[J]. *Revista Brasileira De Fruticultura*, 2019, 41(5): e143.
- [26] DE CARVALHO F A L, MUNEKATA P E S, LOPES DE OLIVEIRA A, et al. Turmeric (*Curcuma Longa* L) Extract on Oxidative Stability, Physicochemical and Sensory Properties of Fresh Lamb Sausage with Fat Replacement by Tiger Nut (*Cyperus Esculentus* L) Oil[J]. *Food Research International*, 2020, 136: 109487.
- [27] WAGHMARE R B, ANNAPURE U S. Integrated Effect of Radiation Processing and Modified Atmosphere Packaging (MAP) on Shelf Life of Fresh Fig[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2018, 55(6): 1993-2002.
- [28] JIANG Tian-jia, LUO Sha-sha, CHEN Qiu-ping, 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(3): 761-767.
- [29] RIVERA C S, BLANCO D, MARCO P, et al. Effects of Electron-Beam Irradiation on the Shelf Life, Microbial Populations and Sensory Characteristics of Summer Truffles (*Tuber Aestivum*) Packaged under Modified Atmospheres[J]. Food Microbiology, 2011, 28(1): 141-148.
- [30] JIANG Tian-jia, JAHANGIR M M, JIANG Zhen-hui, et al. Influence of UV-C Treatment on Antioxidant Capacity, Antioxidant Enzyme Activity and Texture of Postharvest Shiitake (*Lentinus Edodes*) Mushrooms during Storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 56(3): 209-215.
- [31] LIU Jing, CHANG Ming-chang, MENG Jun-long, et al. Effect of Ozone Treatment on the Quality and Enzyme Activity of *Lentinus Edodes* during Cold Storage[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44(8): e14557.
- [32] YANG Jin-heng, GAO Hai-yan, ZHOU Yong-jun, et al. Effect of Ozone Treatment on Postharvest Quality and Physiology Indexes of Shiitake Mushroom[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2017, 29(7): 1201-1207.
- [33] WANG Ting, YUN Jian-min, ZHANG Yu, et al. Effects of Ozone Fumigation Combined with Nano-Film Packaging on the Postharvest Storage Quality and Antioxidant Capacity of Button Mushrooms (*Agaricus Bisporus*)[J]. Postharvest Biology and Technology, 2021, 176: 111501.
- [34] 宁明岸, 史君彦, 王清, 等. 臭氧结合低温自发气调包装对平菇贮藏品质的影响[J]. 北方园艺, 2020(21): 80-85.  
NING Ming-an, SHI Jun-yan, WANG Qing, et al. Effects of Ozone Combined Low Temperature and Modified Atmosphere Packaging on Postharvest Storage Quality of *Pleurotus Ostreatus*[J]. Northern Horticulture, 2020(21): 80-85.
- [35] 孙达锋, 胡小松, 张沙沙. 气调贮藏对兰茂牛肝菌呈味物质的影响[J]. 食用菌学报, 2021, 28(6): 150-158.  
SUN Da-feng, HU Xiao-song, ZHANG Sha-sha. Effects of Controlled Atmosphere Storage on Flavor Substances in *Lanmao Asiatica* Fruiting Body[J]. Acta Edulis Fungi, 2021, 28(6): 150-158.
- [36] LIU Jun, LIU Shuang, ZHANG Xin, et al. Effect of Gallic Acid Grafted Chitosan Film Packaging on the Postharvest Quality of White Button Mushroom (*Agaricus Bisporus*)[J]. Postharvest Biology and Technology, 2019, 147: 39-47.
- [37] HUANG Qi-hui, QIAN Xiao-chen, JIANG Tian-jia, 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.
- [38] JIANG Tian-jia, FENG Li-fang, LI Jian-rong. 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.
- [39] KUMAR S, MUKHERJEE A, DUTTA J. Chitosan Based Nanocomposite Films and Coatings: Emerging Antimicrobial Food Packaging Alternatives[J]. Trends in Food Science & Technology, 2020, 97: 196-209.
- [40] BAN Zhao-jun, LI Li, GUAN Jun-feng, et al. Modified Atmosphere Packaging (MAP) and Coating for Improving Preservation of Whole and Sliced *Agaricus Bisporus*[J]. Journal of Food Science and Technology, 2014, 51(12): 3894-3901.
- [41] GHOLAMI R, AHMADI E, AHMADI S. Investigating the Effect of Chitosan, Nanopackaging, and Modified Atmosphere Packaging on Physical, Chemical, and Mechanical Properties of Button Mushroom during Storage[J]. Food Science & Nutrition, 2020, 8(1): 224-236.
- [42] SINDHU S C. Development and Nutritional Evaluation of Value Added Products from Shiitake (*Lentinus Edodes*) Mushroom[D]. HISAR: CCS Haryana Agricultural University, 2015: 4665.
- [43] OZTURK B, HAVSUT E, YILDIZ K. Delaying the Postharvest Quality Modifications of *Cantharellus Cibarius* Mushroom by Applying Citric Acid and Modified Atmosphere Packaging[J]. LWT, 2021, 138: 110639.
- [44] XIAO Gong-nian, ZHANG Min, SHAN Liang, et al. Extension of the Shelf-Life of Fresh Oyster Mushrooms (*Pleurotus Ostreatus*) by Modified Atmosphere Packaging with Chemical Treatments[J]. African Journal of Biotechnology, 2011, 10(46): 9509-9517.
- [45] JAFRI M, JHA A, BUNKAR D S, et al. Quality Retention of Oyster Mushrooms (*Pleurotus Florida*) by a Combination of Chemical Treatments and Modified Atmosphere Packaging[J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 76: 112-118.
- [46] POPOVIĆ S, HROMIŠ N, ŠUPUT D, et al. Pumpkin Seed Oil Cake/Polyethylene Film as New Food Packaging Material, with Perspective for Packing under Modified Atmosphere[J]. Packaging Technology and Science, 2021, 34(1): 25-33.
- [47] WEI Wen-wen, LV Ping, XIA Qiao-ping, et al. Fresh-Keeping Effects of Three Types of Modified Atmosphere Packaging of Pine-Mushrooms[J]. Postharvest Biology and Technology, 2017, 132: 62-70.
- [48] LYN F H, MARYAM A Z A, NOR-KHAIZURA M A R, et al. Application of Modified Atmosphere and Active Packaging for Oyster Mushroom (*Pleurotus Ostreatus*)[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2020, 23: 100451.
- [49] FANG Dong-lu, YANG Wen-jian, KIMATU B M, et al.

- Effect of Nanocomposite-Based Packaging on Storage Stability of Mushrooms (*Flammulina Velutipes*)[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2016, 33: 489-497.
- [50] FANG Dong-lu, YANG Wen-jian, KIMATU B M, et al. Effect of Nanocomposite Packaging on Postharvest Quality and Reactive Oxygen Species Metabolism of Mushrooms (*Flammulina Velutipes*)[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2016, 119: 49-57.
- [51] SÄNGERLAUB S, LEHMANN E, MÜLLER K, et al. Porosity, Thickness Distribution and Water Vapour Sorption of Thermoformed Foamed PP Films with Dispersed Sodium Chloride for Humidity Regulation[J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2020, 24: 100482.
- [52] 张克宏. 纳米 SiO<sub>2</sub>/PP 复合保鲜膜的制备与性能研究[J]. *塑料工业*, 2011, 39(2): 104-109.  
ZHANG Ke-hong. Study on Preparation and Properties Study of Nano-SiO<sub>2</sub>/PP Composite Fresh-Keeping Film[J]. *China Plastics Industry*, 2011, 39(2): 104-109.
- [53] RUX G, MAHAJAN P V, GEYER M, et al. Application of Humidity-Regulating Tray for Packaging of Mushrooms[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2015, 108: 102-110.
- [54] GONZÁLEZ-FANDOS E, SIMON JIMENES A, TOBAR PARDO V. Quality and Shelf Life of Packaged Fresh Sliced Mushrooms Stored at Two Different Temperatures[J]. *Agricultural and Food Science*, 2008, 15(4): 414.
- [55] SIMÓN A, GONZÁLEZ-FANDOS E, VÁZQUEZ M. Effect of Washing with Citric Acid and Packaging in Modified Atmosphere on the Sensory and Microbiological Quality of Sliced Mushrooms (*Agaricus Bisporus* L)[J]. *Food Control*, 2010, 21(6): 851-856.
- [56] LI Xi-hong, XUE Ting, LI Yuan-yuan, et al. Effect of Different Packaging Films on Senescence of *Pleurotus Nebrodensis* Auto MAP[J]. *Advanced Materials Research*, 2011, 201/203: 2615-2618.
- [57] JIANG Tian-jia, ZHENG Xiao-lin, LI Jian-rong, et al. Integrated Application of Nitric Oxide and Modified Atmosphere Packaging to Improve Quality Retention of Button Mushroom (*Agaricus Bisporus*)[J]. *Food Chemistry*, 2011, 126(4): 1693-1699.

责任编辑: 彭颀