

食用菌保鲜技术的研究进展

郭佳怡, 贾 丰, 贺雅楠, 王 竞, 负雅婷, 张思颖

商洛学院生物医药与食品工程学院, 陕西 商洛

收稿日期: 2025年6月27日; 录用日期: 2025年7月24日; 发布日期: 2025年7月31日

摘 要

食用菌富含蛋白质、多糖、维生素及矿物质等营养物质, 除具有极高的营养价值, 还表现出良好的保健功能, 但其采后生理代谢旺盛, 易因呼吸作用、蒸腾作用及微生物污染导致水分流失、褐变、软化及腐败变质, 严重影响商品价值和食用安全性。目前, 食用菌保鲜面临的主要问题包括: (1) 高水分含量(如鲜香菇含水量达90%)加剧生理劣变; (2) 褐变相关酶(如多酚氧化酶PPO)活性快速上升; (3) 微生物污染引发腐烂, 尤其在高温高湿环境中更为显著。针对上述问题, 现有保鲜技术主要包括三大类: 物理保鲜、化学保鲜、生物保鲜。当前技术中, 物理保鲜成熟但能耗高, 化学保鲜高效但存在安全性争议, 生物保鲜天然但需优化稳定性, 而通过多技术耦合保鲜是未来发展的主要方向。

关键词

食用菌, 采后, 保鲜, 展望

Research Progress on Preservation Technology of Edible Fungi

Jiayi Guo, Feng Jia, Yanan He, Jing Wang, Yating Yun, Siying Zhang

College of Biomedicine and Food Engineering, Shangluo University, Shangluo Shaanxi

Received: Jun. 27th, 2025; accepted: Jul. 24th, 2025; published: Jul. 31st, 2025

Abstract

Edible fungi are rich in nutrients such as proteins, polysaccharides, vitamins, and minerals, which not only possess extremely high nutritional value but also demonstrate significant health benefits. However, their vigorous postharvest physiological metabolism makes them highly susceptible to water loss, browning, softening, and spoilage due to respiration, transpiration, and microbial contamination, severely compromising both their commercial value and food safety. The main challenges in edible fungi preservation include: (1) High moisture content (e.g., fresh shiitake mushrooms

contain ~90% water) accelerating physiological deterioration; (2) Rapid increase in activity of browning-related enzymes (e.g., polyphenol oxidase, PPO); (3) Microbial contamination causing decay, especially pronounced in high-humidity environments. To address these issues, existing preservation technologies primarily fall into three categories: physical, chemical, and biological preservation. Current physical methods are mature but energy-intensive; chemical methods are efficient but raise safety concerns; biological methods are natural but require enhanced stability. Multi-technology coupled preservation represents the main future development direction.

Keywords

Edible Fungi, Post-Harvest, Preservation, Research Prospects

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

食用菌主要是担子菌和子囊菌，是指一类能够看得见、可采摘、具有一定形状、可食用的大型真菌[1]。担子菌包括香菇、蘑菇、木耳、银耳、竹荪、松茸、口蘑、灵芝等；子囊菌则有羊肚菌和虫草等。食用菌富含蛋白质、多种维生素和矿物质，具有低热量和低脂肪的特点[2]。与果蔬相比，其营养价值和维生素(V_{B1} 、 V_{12} 、 V_C 和 V_D 等)含量更高，氨基酸种类齐全，富含赖氨酸。同时含有人体所必需的多种微量元素[3] (钾、钠、铁、钙、锌、磷、镁和锰等)。

我国食用菌产业发展迅速，产值和产量逐年增加，成为提升农民收入，推动乡村振兴的重要产业之一[4]。目前，我国进行人工栽培的食用菌有 60 多种，仅 2022 年我国食用菌产量已达 4175.85 万吨，但是仍存在采后损失率高、高质化利用率低等关键问题。在食用菌的保鲜问题上，目前国内常见的技术包括：(1) 食用菌干制。该技术往往造成营养价值降低、口感变差和商品性降低等问题，难以满足人们对于食用菌产业发展的内在要求[5]。(2) 食用菌保鲜剂保鲜。该技术存在保鲜技术种类少、成本较高且保鲜效果有待提高等问题。而食用菌鲜食是当前主流消费手段，因此亟需解决食用菌保鲜问题，通过新技术为农户增收和乡村振兴助力。本研究对食用菌贮藏期间生理变化以及保鲜技术进展进行综述，以期食用菌产业发展提供助力。

2. 食用菌变质发生的反应

2.1. 呼吸作用

食用菌采摘后仍进行着生命活动，且与采前存在明显区别[6]。由于采后失去了营养供给，但仍进行着正常的代谢过程，在不当保藏条件下会很快失去商品特性。呼吸作用是其主要代谢过程之一，呼吸过程中，食用菌消耗氧气，分解有机物(如葡萄糖)，释放二氧化碳、水和能量。这一过程不仅消耗营养物质，还导致水分流失和热量积累[7]，进而加速品质下降。呼吸作用强弱受多种因素影响，如温度、湿度和气体成分。高温、高湿或氧气充足时，呼吸作用增强，加速变质；而低温、低氧或高二氧化碳环境则能抑制呼吸，延长保鲜期。

2.2. 蒸腾作用

食用菌在采摘后，蒸腾作用往往导致水分迅速流失，从而引发失重、萎蔫和品质下降[8]。蒸腾作用

主要通过菌盖表面的气孔进行,其速率受环境温度、湿度和通风条件的影响。为抑制蒸腾作用,通常采用低温高湿贮藏或涂膜处理控制蒸腾作用,如壳聚糖涂膜可有效减少水分蒸发,延长保鲜期。

2.3. 氧化反应

食用菌采摘后,由于细胞结构的破坏和酶活性的增强,极易发生氧化反应,导致品质劣变。多酚氧化酶(PPO)和过氧化物酶(POD)是引发褐变的主要酶类,它们催化酚类物质氧化生成醌类化合物,进而聚合形成褐色物质,影响食用菌的外观和商品价值[9]。此外,脂质氧化反应也会产生醛类、酮类等挥发性物质,不仅影响风味,还可能降低营养价值[10]。活性氧(ROS)的积累也会进一步加剧氧化损伤,例如超氧阴离子(O_2^-)和过氧化氢(H_2O_2)会破坏细胞膜结构,导致丙二醛(MDA)等有毒代谢物积累,加速细胞衰老。研究表明,双孢蘑菇在采后 24 小时内 PPO 活性可增加 2~3 倍,褐变指数显著上升[9],而草菇在高氧(100% O_2)环境中贮藏时,ROS 含量在前期迅速升高,但通过激活抗氧化酶(如 SOD、CAT)和抗坏血酸-谷胱甘肽循环(AsA-GSH)循环,可有效延缓褐变并维持细胞完整性。为抑制氧化反应,低温贮藏($0^{\circ}C\sim4^{\circ}C$)可降低酶活性,化学抗氧化剂(如 0.5%抗坏血酸)或天然提取物(如茶树精油)能直接清除自由基。此外,褪黑素处理可通过调控 ROS 代谢,减少 H_2O_2 和 MDA 积累,维持细胞膜稳定性,从而将香菇的保鲜期延长至 42 天。这些研究表明,氧化反应的调控需综合物理、化学及生物手段,以平衡 ROS 代谢并维持食用菌的抗氧化能力。

2.4. 水解反应

食用菌采摘后,由于细胞结构的破坏和酶系统的激活,水解反应显著加剧,导致其品质迅速劣变。水解反应主要涉及多糖、蛋白质和脂类等大分子物质的分解。例如,细胞壁中的几丁质和纤维素在几丁质酶、纤维素酶的作用下逐渐降解,造成组织软化,硬度下降[11]。同时,蛋白质在蛋白酶的作用下分解为氨基酸和多肽,虽然可能产生风味物质,但过度水解会导致质地松散和营养成分流失[12]。脂类则在脂肪酶的催化下生成游离脂肪酸,进一步氧化后引发酸败和异味,影响食用菌的风味和安全性[13]。研究表明,双孢蘑菇在采后 48 小时内,纤维素酶活性可增加约 50%,导致其硬度下降 30%以上[11]。为抑制水解反应,常采用低温贮藏($0^{\circ}C\sim4^{\circ}C$)以降低酶活性,或通过涂膜技术(如 1%壳聚糖)阻隔氧气和水分交换,从而延缓水解进程。此外,冰温贮藏($0^{\circ}C\sim-5^{\circ}C$)结合湿度调控可显著减缓蟹味菇的蛋白质降解速率,使其储存 30 天后蛋白质含量仍保持初始水平的 70%。这些研究提示,通过物理和化学手段协同调控水解酶活性,是维持食用菌采后品质的关键策略。

3. 食用菌常用的保鲜方法

食用菌采后保鲜技术主要包括物理、化学和生物三大类方法。物理保鲜技术如低温冷藏、气调包装、辐照处理和涂膜技术,通过控制温度、湿度和气体成分延缓食用菌的衰老和腐败。化学保鲜技术利用化学试剂抑制酶活性和微生物生长。生物保鲜技术则采用天然提取物或生物拮抗剂实现安全保鲜。

3.1. 物理技术的应用

3.1.1. 低温技术保鲜

食用菌最常用的保鲜贮藏方式就是低温保鲜,包括低温贮藏、速冻和真空冷冻干燥保鲜[14][15]。其原理是:(1)抑制微生物活动:低温环境可以有效抑制食用菌中微生物的活动,从而延长其保鲜期。低温贮藏通过降低环境温度,抑制菇体的新陈代谢和致腐微生物的活动,从而达到延长贮藏保鲜的目的。(2)控制呼吸作用:低温环境能够减缓食用菌的呼吸作用,减少其代谢产物的积累,从而保持其新鲜度和品质。研究表明,低温贮藏可以显著抑制食用菌的呼吸强度,延缓其衰老过程。但是,低温贮藏除要注意

防止冻伤外,还应关注:(1) 防止结露现象:在将食用菌放入冷库前进行预冷处理,可以防止蘑菇骤然降温而出现结露现象,这不仅会影响食用菌的品质,还会增加制冷系统的负荷。预冷的方法包括水冷、冰冷和真空冷却等,其中真空冷却效果较好,但需要专用设备。(2) 控制湿度和气体成分:在低温贮藏过程中,控制冷库的相对湿度在 90%左右,并通过通风保持冷库内温度均匀,控制二氧化碳浓度在 0.3%以下。这些措施有助于保持食用菌的新鲜状态,防止其萎缩和变质。

3.1.2. 辐照技术保鲜

辐照保鲜技术的使用是食用菌保鲜技术的一大突破。辐射保鲜主要是利用放射性元素如钴-60 或铯-137 产生的 γ 射线或电子束等电离辐射能量,对食用菌进行处理,以达到杀菌、杀虫、防止霉变和延长保质期的效果[16]。其原理是:(1) 杀菌和杀虫:辐射能量能够破坏微生物和昆虫的细胞结构,导致它们失去活性或死亡,从而有效控制食用菌表面的有害微生物和昆虫。(2) 防止霉变:辐射能够抑制霉菌的生长,防止食用菌在储存过程中发生霉变,保持其品质。(3) 延长保质期:通过抑制食用菌的新陈代谢活动,延缓其衰老和腐烂过程,从而延长其货架期。

3.1.3. 气调技术保鲜

气调保鲜(MA)食用菌是一种在控制最适温度、湿度前提下,通过调节储藏环境的气体成分(CO_2 、 O_2 和乙烯等)和比例来延长食用菌保鲜期的方法。通过 MA 技术抑制食用菌的呼吸强度,降低其新陈代谢过程,同时延缓其成熟衰老,保持其商品价值。高帅平等[17]研究了高 CO_2 气调处理对香菇的保鲜作用,研究中以聚乙烯(PE)膜形成自发气调装置,发现相关技术能抑制与褐变相关酶的活性,包括过氧化物酶、多酚氧化酶和苯丙氨酸解氨酶等,进而延缓细胞衰老进程,保障香菇品质。

3.1.4. 可食性涂膜技术保鲜

食用菌可食性涂膜保鲜的原理是通过在食用菌表面形成一层薄膜,从而减缓氧气渗透、降低水分蒸发、减少微生物和气体的扩散,达到保鲜效果[18]。涂膜具有选择透气性、阻水性,能够隔离食用菌与空气进行气体交换,抑制呼吸作用,减少营养物质的消耗,同时减少病原菌的侵染,防止腐烂。刘小霞等以蜂胶、蜂蜡、吐温等制作涂膜保鲜剂,应用于双孢菇保鲜,发现能通过抑制酶活、降低呼吸强度等方式来保障其营养、质构及商品性[19]。李翔等利用壳聚糖涂膜保鲜羊肚菌,发现在贮藏期间能明显保持产品品质和营养价值[20]。

3.2. 化学技术的应用

化学技术保鲜历史悠久,且效果良好,主要是利用化学试剂处理食用菌,阻碍与食用菌生理相关的系列生化反应,抑制或杀灭微生物,进而尽量保持食用菌品质。常见物质包括化学还原剂(Vc 、亚硫酸盐等)、氧化剂(高锰酸钾、过氧化氢等)、抗菌剂(抗生素、乙醇等)、防腐剂等,主要通过两个途径达到保鲜,一种是抑制与生理活动相关的酶活性;另一种是杀灭或抑制微生物、虫害等。李云云等利用乙醇保鲜双孢菇,发现相关技术可以通过降低菌落总数和呼吸强度来维持产品营养、质构和感官价值[21]。

3.3. 生物技术的应用

生物技术保鲜包括(1) 利用生物技术,包括基因工程、酶工程等,通过基因沉默、外源抗性基因导入、基因干扰物等方式提升食用菌抗病性或降低或升高相关酶活性,进而提高食用菌抗逆性或干扰成熟衰老相关基因,达到保持食用菌品质的目的;相关研究主要在菌种驯化、新特菌种改良等方面可开展相关研究。(2) 利用生物天然提取物或此代谢产物等来抑制或杀死微生物、虫害等,进而来保障食用菌品质和商品性[22]-[24]。李瑶等利用 1-甲基环丙烯(1-MCP)结合保鲜盒保鲜金针菇,发现处理组的营养品质和感

官都能得到较好的维持[22]。邓梦琴等通过乳酸链球菌素处理平菇贮藏品质的影响,发现依靠乳酸链球菌素抗菌活性,能将平菇贮藏延长到 15 天后,相关处理能显著降低失重率、丙二醛含量、PPO 活性,保障平菇品质和商品性[23]。

3.4. 多技术耦合保鲜技术的应用

食用菌保鲜三要素包括温度、湿度和气体成分,特别是适宜的温度和湿度是食用菌保鲜的关键,因此不论是上述物理、化学或生物保鲜技术,都需要在保证低温、高湿条件,进而保证食用菌保鲜效果。

加强多技术耦合保鲜技术发展是未来食用菌保鲜的重要方向。关于多技术耦合保鲜研究较多,包括:

(1) 物理保鲜技术 + 低温(高湿)耦合保鲜技术。相关研究包括“低压电场 + 低温(高湿)”“涂膜保鲜 + 低温(高湿)”“负离子处理 + 低温(高湿)”“紫外线 + 低温(高湿)”“脉冲强光 + 低温(高湿)”“气调 + 低温(高湿)”“X 射线 + 低温(高湿)”等[17][25]-[30]。(2) 化学保鲜技术 + 低温(高湿)耦合保鲜技术。由于化学保鲜技术安全问题,相关研究当前已不作为主流研究,这里将不再进行过多研究。(3) 生物保鲜技术 + 低温(高湿)耦合保鲜技术。相关研究主要通过相关活性物质干预与食用菌成熟衰老相关激素水平,进而通过延缓食用菌成熟衰老来保鲜食用菌,包括 1-MCP、三磷酸腺苷和羧基氰化物间氯苯胺、硫化氢、臭氧、褪黑素等[17][31]-[35]。

4. 结论与展望

随着食用菌产业的不断发展,食用菌产量急剧上升,食用菌鲜品若不能在短期内销售出去,势必会面临品质劣变,严重影响乡村振兴战略实施。因此,食用菌保鲜技术对于食用菌产业发展意义重大,而常见的物理技术,包括低温贮藏、气调贮藏、辐射、等离子处理和涂层等多种保鲜方法成为重要的研究方向;化学技术保鲜虽然应用也较为广泛,但是化学制品安全性又是一大挑战,且化学保鲜剂长期使用可能影响人体健康和环境;生物保鲜技术是发展历史最短的一种手段,但相关效果依然可观,只是碍于发展时间限制,相关技术发展仍较为缓慢,亟需研究者给予更多关注。未来,食用菌保鲜研究应聚焦于根据不同品种特性,量身定制保鲜技术,提升保鲜效果;同时,优化保鲜方法,使其更具环境友好性和成本效益,例如开发天然保鲜剂、利用生物控制技术;多技术耦合保鲜技术的应用成为未来研究的重要方向。此外,加强与企业合作,促进保鲜技术落地及工业化应用,对推动食用菌产业可持续发展意义重大。

基金项目

大学生创新训练计划项目(S202411396059)。

参考文献

- [1] 冯涛,水梦竹,李雪,等. 食用菌风味物质的研究进展[J]. 食用菌学报, 2018, 25(4): 97-104.
- [2] 李妍. 食用菌食品的营养价值及其保健功能[J]. 现代食品, 2020(23): 153-155.
- [3] 罗晓莉,吴素蕊,华蓉,等. 6 种常见野生食用菌的营养功能特性分析及产业发展建议[J]. 中国食用菌, 2024, 43(2): 1-10.
- [4] 尹梦奇. “内外兼修”锁住食用菌产业“含金量”[N]. 四川日报, 2025-02-21(002).
- [5] 杨永佳,孔芑,景赛,等. 食用菌采后品质变化及物理保鲜技术研究进展[J]. 包装工程, 2024, 45(1): 139-147.
- [6] 边晓琳. 不同气体成分和包装材料对金针菇采后品质和活性氧代谢的影响[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京农业大学, 2010.
- [7] 张雨,贡建民,毕阳,等. 金针菇采后品质劣变与保鲜研究进展[J]. 食品科学, 2021, 42(21): 285-291.
- [8] 何奎,马瑞娟,王莹捷. 食用菌保鲜技术研究现状与展望[J]. 乡村科技, 2024, 15(9): 147-150.

- [9] 姜天甲. 主要食用菌采后品质劣变机理及调控技术研究[D]: [博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- [10] 李宏吉, 焦迎春, 范琳琳, 等. 五种野生青海食用菌提取物的抗氧化活性研究[J]. 现代食品科技, 2014, 30(11): 188-193.
- [11] 商立超, 弓志青, 王文亮, 等. 食用菌采后保鲜技术研究进展[J]. 山东农业科学, 2022, 54(7): 149-156.
- [12] 于纪聪, 张传明. 食用菌保鲜加工的原理与常识[J]. 农业知识, 2005(5): 36.
- [13] 周忠明, 沈海霞. 食用菌保鲜技术的研究进展[J]. 现代园艺, 2022, 45(8): 178-180+183.
- [14] 饶克诚, 黄文, 王益, 等. 食用菌品质评价因素及保鲜技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2023, 44(17): 454-462.
- [15] 关荣发, 蒋家新, 黄光荣, 等. 纳米级食品包装材料安全性的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(1): 134-137.
- [16] 徐丽婧, 高丽朴, 王清, 等. 辐照保鲜技术及其在双孢蘑菇保鲜中的应用[J]. 食品工业科技, 2014, 35(9): 392-395.
- [17] 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.
- [18] 杨青, 顾颖慧. 常见可食性涂膜保鲜剂研究进展[J]. 现代食品, 2020(22): 81-83.
- [19] 刘小霞, 安学明, 负建民, 等. 蜂胶、蜂蜡复合涂膜剂对双孢蘑菇的保鲜作用[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(16): 187-194.
- [20] 李翔, 肖星星, 邓杰, 等. 壳聚糖涂膜保鲜羊肚菌研究[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2018, 37(4): 366-369.
- [21] 李云云. 乙醇熏蒸处理对双孢蘑菇保鲜品质的影响[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 西南大学, 2017.
- [22] 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]: [硕士学位论文]. 重庆: 西南大学, 2018.
- [23] 邓梦琴, 王大平. 生物保鲜剂 Nisin 对平菇保鲜效果的影响[J]. 贵州农业科学, 2014, 42(3): 130-132.
- [24] 钱磊, 刘连强, 李凤美, 等. 食用菌生物保鲜技术研究进展[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(1): 226-231.
- [25] 郭敬泽, 梁杰, 曹美琳, 等. 低压电场辅助冷藏对鲜香菇保鲜效果的影响[J]. 农产品加工, 2025(6): 1-5.
- [26] 张振杰, 周晓媛, 宾莹, 等. 卡拉胶/黄原胶/阿拉伯胶复合保鲜膜性能研究[J]. 绿色包装, 2025(4): 21-25.
- [27] 张赛丽. 负离子处理对香菇采后风味品质及基因表达的影响[D]: [硕士学位论文]. 温州: 温州大学, 2022.
- [28] 靳超超. 短波紫外线对香菇采后贮藏品质的影响及机理研究[D]: [硕士学位论文]. 太原: 山西农业大学, 2022.
- [29] 王龔, 沈玥琳, 徐佳钰, 等. 脉冲强光处理对平菇采后生理及贮藏品质的影响[J]. 浙江工业大学学报, 2025, 53(2): 161-170.
- [30] 崔媛, 钟媛媛, 蔚江涛, 等. 电子束转靶 X 射线预处理对双孢菇采后贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2024, 45(23): 242-249.
- [31] 连伊阳, 褚路路, 章敏, 等. 褪黑素联合 1-MCP 对草菇的保鲜效果研究[C]//中国菌物学会. 中国菌物学会 2024 年学术年会论文摘要. 2024: 132.
- [32] 林晓彤, 李帆, 胡兴成, 等. 三磷酸腺苷和羰基氰化物间氯苯胺处理对草菇贮藏品质的影响[J]. 菌物学报, 2024, 43(10): 163-178.
- [33] 陈啸. 硫化氢处理对采后金针菇抗氧化系统及谷胱甘肽合成代谢的影响[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江工商大学, 2024.
- [34] 宁天玉, 顾淑惠, 汤艺, 等. 臭氧处理对鹿茸菇储藏期防腐保鲜效果的影响[J]. 常熟理工学院学报, 2023, 37(5): 62-66.
- [35] 肖鑫鑫, 李佩艳, 苏娇, 等. 褪黑素处理对金针菇贮藏品质和褐变的影响[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(7): 242-249.