

# 双孢菇贮藏预处理及保鲜技术研究进展

王治洲, 李晓芳, 宋树鑫, 刘孟禹, 董同力<sup>\*</sup>

(内蒙古农业大学 食品科学与工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010018)

**摘要:** 双孢菇是世界性栽培的食用菌之一, 深受消费者喜爱。但采后短期内出现萎蔫、褐变等一系列不可逆生理现象, 普通低温贮藏期在 3 d~5 d, 容易失去商品价值及食用价值, 造成不必要的资源浪费。双孢菇的保鲜问题是市场需求和产业标准化的关键所在。综述了目前国内外双孢菇的预处理和保鲜技术, 通过预处理或保鲜的双孢菇可将其贮藏期提高 2 倍~5 倍。

**关键词:** 双孢菇; 预处理; 保鲜技术

## The Progress of the Research on the Pretreatment and Preservation of the *Agaricus bisporus*

WANG Zhi-zhou, LI Xiao-fang, SONG Shu-xin, LIU Meng-yu, DONG Tungalag<sup>\*</sup>

(College of Food Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, Inner Mongolia, China)

**Abstract:** *Agaricus bisporus* is one of global edible fungus and very popular with consumers. There is a series of irreversible physiological phenomena such as wilting and browning after picking. Low temperature storage is in 3 to 5 days. It is easy to lose commercial value and edible value and cause unnecessary waste of resources. The preservation of *Agaricus bisporus* is the key to market demand and industrial standardization. The pretreatment and preservation techniques were reviewed in the world at present. It can be increased by two to five times by pretreatment or preservation of *Agaricus bisporus*.

**Key words:** *Agaricus bisporus*; pretreatment; preservation technology

### 引文格式:

王治洲, 李晓芳, 宋树鑫, 等. 双孢菇贮藏预处理及保鲜技术研究进展[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(4): 200-206

WANG Zhizhou, LI Xiaofang, SONG Shuxin, et al. The Progress of the Research on the Pretreatment and Preservation of the *Agaricus bisporus*[J]. Food Research and Development, 2018, 39(4): 200-206

双孢菇又称白蘑菇、口蘑、洋蘑菇, 属草腐菌, 生长速度中偏快, 子实体多单生, 圆正、白色、无鳞片, 菌盖厚(直径一般为 5 cm~12 cm)、不易开伞, 菌柄中粗较直短, 菌肉白色, 肉质肥厚, 组织结实。双孢菇味道鲜美, 肉质肥嫩, 营养丰富, 富含 8 种人体必需氨基酸, 且具有保健、治疗和抗癌的作用, 是一种公认的高蛋白、

低脂绿色食品, 深受消费者亲睐。双孢菇是世界栽培规模最大、栽培范围最广的食用菌, 有“世界菇”之称<sup>[1-2]</sup>。我国自上世纪 30 年代在上海、福州等地开始栽培。随着市场经济的快速发展和现代化栽培基地的出现, 在保持出口大国地位的同时, 国内消费量逐年增加, 进一步改变和刺激了双孢菇栽培业的发展和进步。

质量是决定双孢菇销售的最重要因素, 主要体现在色泽、清洁度和是否有褐斑三方面。对于消费者而言, 更倾向于购买表面无覆土、通体洁白的双孢菇。但双孢菇由于自身组织鲜嫩, 导致采后贮藏性极低, 品质及营养价值急剧下降, 并会在短期内出现萎蔫、褐变等一系列不可逆生理现象, 使得其失去商品价值及

基金项目: 内蒙古自治区科技创新引导奖励资金项目(2016)、国家自然科学基金项目(21564012)

作者简介: 王治洲(1991—), 男(汉), 硕士研究生, 研究方向: 食品包装与储运。

<sup>\*</sup>通信作者: 董同力(1972—), 男(蒙古), 博士生导师, 研究方向: 食品包装与储运。

食用价值<sup>[3-5]</sup>。导致双孢菇腐败的外因主要有物理因素、化学因素和微生物因素<sup>[6]</sup>。物理因素包括温度、湿度和气体组分等,化学因素包括重金属离子、农药残留及化学消毒剂等,微生物因素包括细菌、霉菌、酵母菌等。双孢菇保鲜效果的好坏取决于3点:一是双孢菇成熟度;二是及时而有效的预处理;三是合理的贮藏条件和保鲜方法。综上,有效的预处理是保证双孢菇良好品质的前提,也是下一步储运环节的基础保障。而我国的双孢菇大多是以裸露或简单包裹的形式贮藏、运输和销售,过程中难免受到外界污染。欧美发达国家将良好农业规范[GAPs(Good Agricultural Practices)]和食品质量安全管理体系统一[HACCP(Hazard Analysis Critical Control Point)]贯穿整个过程——从农场到餐桌<sup>[7]</sup>。针对这个问题,行之有效的保鲜手段可以在保证双孢菇质量的前提下并延长其货架期,迎合市场和消费者的需求。

## 1 双孢菇贮藏预处理

对于采后发生的二次污染,双孢菇的预处理成为第一道防御措施,同时也为后续出厂后的运输和销售奠定了良好的基础。

### 1.1 双孢菇采收与分级

采菇是双孢菇栽培生产的最后环节,不仅对产品的品质有影响,同时也影响下潮菇的产量。所以,适时采收和合理的采收方法是双孢菇从栽培到产品的基础所在<sup>[8]</sup>。在中国新鲜双孢菇可分为3个等级或分为正品和副品两个等级<sup>[9]</sup>。

### 1.2 双孢菇清洗消毒处理

采后的及时清洗,可以去除双孢菇表面覆土颗粒并抑制褐变和微生物生长,成为近年来双孢菇栽培业中广受欢迎的手段。Beelman和Duncan开发了一种蘑菇清洗工艺,首先进行高pH值抗菌清洗,随后用中性清洗剂清洗(起褐变抑制作用),该法有助于去除碎屑并延缓双孢菇微生物腐败<sup>[10]</sup>。Saper等研发了一种两步清洗工艺,在第一步中加入10 000 mg/L过氧化氢,第二步在清洗剂中加入3%异抗坏血酸钠、0.2%半胱氨酸盐酸盐和500 mg/L的乙二胺四乙酸(Ethylene Diamine Tetraacetic Acid, EDTA),此法效果优于亚硫酸处理的双孢菇<sup>[11]</sup>。采后的清洗消毒处理可以及时去除种植及采摘造成的微生物污染,其设备操作简单,成本低且易于推广<sup>[12]</sup>。目前我国大多数食用菌种植基地均采用这种方法。

### 1.3 双孢菇辐照处理

目前农产品辐照保鲜处理以伽马射线应用最多,

伽马辐照通常采用钴<sup>60</sup>作为放射源,食品药品监督管理局(Food and Drug Administration, FDA)批准使用辐照剂量1 kGy下可以有效延缓衰老和抑制细菌生长<sup>[13]</sup>。用<sup>60</sup>Co或<sup>137</sup>Cs作为放射源,低剂量辐照可以改善双孢菇自身品质,使双孢菇中的水分子活化,产生游离基,进而影响新陈代谢,抑制褐变并增强细胞持水力,减缓开伞速度,同时达到保鲜的目的<sup>[14]</sup>。Ajlouni等发现低剂量(1 kGy)伽马射线辐照与低温冷藏联合使用可以有效延长双孢菇货架期<sup>[15]</sup>。辐照处理无化学残留,加工效率高,可实现大规模自动化连续操作。但是,消费者对于伽马射线的放射性残留及其安全性问题持怀疑态度<sup>[16]</sup>。所以在实际应用中,通常结合气调包装和低温冷藏协同来实现保鲜,这样不仅可以较少剂量使用辐射杀菌,同时还起到更好的抑菌效果,增大双孢菇安全系数,起到1+1>2的效果。

### 1.4 真空预冷处理

真空预冷是指在真空条件下,水份快速在真空室内于低温蒸发,同时带走热量,达到快速制冷的效果。果蔬收获后,通过真空预冷可快速消除田间热,使中心温度接近贮藏温度。邱倩倩等分别在0.1、0.3、0.5 kPa下进行真空预冷后于0℃下贮藏,结果发现真空压力为0.3 kPa时,可以将呼吸高峰延迟2 d出现<sup>[17]</sup>。叶维等通过预冷温度和预冷压力两个变量,探索双孢菇的最佳真空预冷处理条件,预冷温度分别设定为5、7、9℃,预冷压力分别设定为800、1 000、1 200 Pa,结果发现双孢菇的最佳真空预冷条件为:预冷温度5℃,真空压力1 000 Pa<sup>[18]</sup>。后期贮藏实验结果表明经过真空预冷的双孢菇较对照组在色差、硬度、失重表现出很好的贮藏效果,说明采摘后及时的真空预冷能够有效散去田间热,使双孢菇整体处于贮藏温度。张海峰等发现预冷时间的长短对后期贮藏有明显的影响,结果表明预冷10 min可以有效降低呼吸强度,延缓新陈代谢<sup>[19]</sup>。目前,日本和欧美等发达国家为获得更好的保鲜效果率先在食品行业中使用真空预冷技术,而我国由于农业工业化普及率低,还有一定的差距,相信会提上日程<sup>[20]</sup>。

## 2 双孢菇保鲜

保鲜主要针对的是鲜销菇和处于储运期待加工的原料菇。适时采收、无机械损伤和尽可能降低新陈代谢并维持其正常生理是食用菌保鲜的原则。

### 2.1 保鲜剂保鲜

保鲜剂保鲜是通过使用化学试剂(如酶钝化剂、生长抑制剂、保鲜剂等)和植物生长激素(如细胞分裂

素、矮壮素、萘乙酸等),从而改变双孢菇细胞渗透压,同时抑制酶活和新陈代谢并抑制或杀死微生物,达到延长货架期的目的。杨明月通过正交试验探索出最佳溶液配比:10 g/L的焦磷酸钠和柠檬酸、0.3 g/L的抗坏血酸和0.8 g/L的氯化钙,经此保鲜剂处理过的双孢菇在3℃条件下用聚乙烯(Polyethylene, PE)包装,保鲜可达10 d,相较于空白组将货架期延长1倍<sup>[21]</sup>。其中氯化钙和柠檬酸起到维持新鲜度的作用,抗坏血酸可以有效地抑制后熟,而焦磷酸钠可以充当护色剂的角色。4种天然保鲜剂的协同作用,不但获得较好的保鲜效果,还能消除消费者对于传统化学保鲜剂残留问题的疑虑。Braaksma等指出多种食用菌可以产生细胞分裂素,且通过外援细胞分裂素处理后的双孢菇,开伞率相较于对照组明显降低<sup>[22]</sup>。这个方法的好处在于,不需要外部干预,工厂内可以将细胞分裂素自产自销,提高相同或不同潮期双孢菇的利用率。Hu等通过使用100 mmol/L的4-甲氧基肉桂酸(4-Methoxycinnamic acid, MCA)相较空白取得明显的保鲜效果<sup>[23]</sup>,wang等使用甘氨酸甜菜碱取得12 d的保藏效果<sup>[24]</sup>。采用保鲜剂保鲜的前提是了解化学药剂的特性、作用和卫生指标,且一般用于短期的保鲜和护色。随着公众对食品安全意识的增强,天然保鲜剂逐渐代替传统化学保鲜剂<sup>[25]</sup>,而且保鲜剂与气调保鲜的缓释作用成为目前研究的趋势<sup>[26]</sup>,所以要因地制宜,灵活使用。

## 2.2 低温保鲜

低温能够抑制双孢菇的呼吸和酶活,减缓新陈代谢,同时抑制微生物生长繁殖,从而达到短期内较好的保鲜效果。双孢菇的最佳保藏温度一般在2℃~8℃之间,以4℃为最佳。双孢菇低温保鲜一般采用冰藏和机械冷藏,如果条件允许,可建立从采收到销售的冷链系统。冰藏保鲜采用天然或人造的冰块,通过建造冰窖进行低温保鲜,此法在北方冬季由于成本低廉而大量使用;机械冷藏是在冷库内建立机械制冷系统,通过低温进行保鲜。Gerald等在书中指出研究不同贮藏温度和相对湿度对双孢菇保鲜效果的影响,分别设置贮藏温度为5、10、15℃,相对湿度设置为91%、94%、97%、99%,结果表明,失重率随着贮藏温度的升高和相对湿度的下降而显著升高( $p<0.05$ )<sup>[27]</sup>,可见贮藏温度的改变是造成双孢菇变质的重要因素之一。Tano等研究在气调室中温度波动对鲜蘑菇品质的影响,将新鲜蘑菇置于气调包装容器内,温度设定在4℃,试验组以2 d+4℃、2 d+20℃的周期进行温度波动;结果显示,与恒温组相比,温度波动造成蘑菇褐变严重、组织酒精含量升高、组织软化,对蘑菇的质量造成严重损

害,该试验证明,贮藏过程中温度的波动变化会对蘑菇品质造成严重影响<sup>[28]</sup>。综上,通过了解不同品种食用菌的最佳贮藏温度,与其他保鲜方法协同使用,可以有效提高冷藏的保鲜效果,延长双孢菇的货架期。

## 2.3 紫外脉冲保鲜

紫外光(Ultraviolet, UV)是波长在100 nm~280 nm的电磁波,因为可以破坏微生物脱氧核糖核酸(Deoxyribonucleic acid, DNA)、核膜和细胞膜而具有杀菌能力,避免微生物的侵扰,保证其质量。双孢菇的紫外处理由脉冲进行,能量以短脉冲的形式(纳米级)周期性地释放。相较于持续性紫外发光设备而言,脉冲紫外光一般认为非热处理过程,且更加节能。Guan等用短波紫外(Ultraviolet-C, UV-C)处理双孢菇后在4℃下贮藏,结果表明,相较于对照组,紫外处理可以有效抑制双孢菇表面褐变和微生物的数量,处理的前7天,可以保持总酚、抗坏血酸的含量和白度值高水平,后期则差异不显著<sup>[29]</sup>。路媛媛研究了不同剂量对双孢菇贮藏效果的影响,通过使用0.5、1、2 kJ/m<sup>2</sup>紫外波于4℃贮藏,结果表明,1 kJ/m<sup>2</sup>的紫外波可以保持双孢菇良好的色泽和营养价值,抑制酶活并提高抗氧化能力<sup>[30]</sup>。紫外光保鲜是近些年崛起的新型双孢菇处理技术,可以显著提高采摘后双孢菇的质量并延缓衰老。Simon等通过安全性评估(包括动物实验)证明,紫外光处理对蘑菇的品质没有影响<sup>[31]</sup>。Guan等研究发现使用0.45 kJ/m<sup>2</sup>~3.15 kJ/m<sup>2</sup>的紫外光照射,可以有效降低双孢菇表面的微生物数量<sup>[32]</sup>。相较其他技术,不会造成食品内部辐射残留,操作简单安全,条件允许可以贯穿整个双孢菇保鲜过程,同时结合气调和低温可以达到更好的效果,但成本较高<sup>[30]</sup>。

## 2.4 电场保鲜

高压静电场和高压脉冲电场是近年来才兴起的一门用于果蔬保鲜研究的新兴技术<sup>[33]</sup>。其保鲜机理主要表现在以下几点:1.改变细胞膜电位,通过改变细胞膜两侧电位进而影响细胞代谢;2.影响果蔬呼吸系统电子传递,减弱电子传递效率,影响烟酰胺腺嘌呤二核苷酸(Nicotinamide adenine dinucleotide, NADH)和H<sup>+</sup>与游离氧分子的结合,间接控制呼吸强度;3.水分子共鸣,一方面通过破坏氢键和疏水键而使酶活性钝化,另一方面使微生物细胞膜穿孔导致死亡,达到抑制自身生理和微生物繁殖的效果;4.臭氧作用,电场能够电离空气中的氧气,产生微量的臭氧,在抑菌的同时会与乙烯反应生成CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O,抑制果蔬衰老,达到保鲜的目的<sup>[34]</sup>。Nicolò等通过高压脉冲电场与超声波来研究双孢菇柄部水分迁移状况,由此来判断不同处



理对新鲜双孢菇水分的影响<sup>[35]</sup>。研究发现,通过分别扫描 260、280 nm 以及 400 nm~800 nm 不同波段的波长,使用超声波的处理相较于高压脉冲电场处理而言会明显增大吸光度值,说明超声波会破坏双孢菇的组织结构完整性,从而释放化合物导致吸光度的增大,而高压脉冲电场则与空白对照组差异不显著,表明电场的存在有利于保持双孢菇组织水分并保证组织的完整性。总之,电场保鲜是一种高效绿色的保鲜手段,能耗低、无药物残留、不会造成二次污染,但厂房和仪器投资费用高,在实际的推广和应用中仍面临一定的危险性,由于高压问题,操作人员需培训后使用并掌握一定的用电安全知识。

## 2.5 气调保鲜

气调保鲜技术是通过调整环境气体来延长食品贮藏寿命和货架寿命的技术,其基本原理为:在一定的封闭体系内,通过各种调节方式得到不同于正常大气组分的调节气体,抑制导致食品变败的生理生化过程及微生物的活动。气调保鲜主要采用人工降氧气调法和自发气调法。

### 2.5.1 人工降氧气调法

人工降氧气调法常用的手段有充氮气法、充二氧化碳法及气调库的使用等。充氮气/二氧化碳法的机理是用充氮/二氧化碳的方法置换库内气体以达到降氧的目的,这种方式可实现快速降氧,一般可在 24 h 或稍长点时间内达到气体浓度规定值。气调库是建立在冷库的基础上,通过对贮藏室内温度、湿度、氧气、二氧化碳和乙烯浓度等条件的控制,具有良好的隔热性和气密性,并长期处于此平衡状态以达到保证果蔬品质,延长贮藏期的目的<sup>[36]</sup>。Liu 等通过将双孢菇暴露于相对浓度为 80 % 的高氧气氛条件下与空白比较,结果表明,高氧条件可以保持良好的白度值,并延缓过氧化物的氧化<sup>[37]</sup>。孙涵等通过两个阶段的动态高氧气调,改变贮藏过程中的气体组分来达到比静态气调更好的保鲜效果,研究发现,第一阶段使用 100 % 浓度的氧气,第二阶段(即贮藏的第 3 天)80 % 的氧气和 20 % 的二氧化碳,相较于普通的气调贮藏,这种动态气调可以将双孢菇贮藏期延长至 28 d<sup>[38]</sup>。这种动态气调后期气体组分的变化类似自发气调在贮藏中达到气体平衡的效果,但是造作繁琐,成本较高。通常气调库相较于冷库可将果蔬货架期延长 0.5 倍~1 倍。目前,气调库的保鲜效果已得到公众的认可,但是关键在于成本和推广力度,有理由相信气调库将来在冷链占有重要一环<sup>[36]</sup>。

### 2.5.2 自发气调包装

包装是使果蔬产品标准化和商业化的重要措施。自发气调包装(Equilibrium Modified Atmosphere Packaging, EMAP)指在贮藏过程中,无需任何人为操作,完全通过薄膜对气体的选择透过性和果蔬呼吸调节包装内的气体组分,最终达到动态平衡,保持包装内稳定而适宜的气氛。其不但可以有效地抑制果蔬的生理代谢和微生物繁殖,延缓衰老,而且操作便捷且保鲜效果显著,在延长货架期的同时,较大程度的保留风味和营养物质<sup>[39]</sup>。自发气调包装主要用于完整、鲜切或最小化加工的果蔬包装,已经成功实现广泛的商业应用<sup>[40]</sup>。

目前,市场上常用的气调包装材料有乙烯-醋酸乙烯共聚物(ethylene-vinyl acetate copolymer, EVA)、低密度聚乙烯(Low Density Polyethylene, LDPE)和聚丙烯(Polypropylene, PP),具有良好的加工性能、透明度和力学性能。但是,一方面这些材料是不可降解的,大量使用会造成严重的环境污染;另一方面,这些材料的  $\text{CO}_2/\text{O}_2$  的选择透过性无法满足包装袋内果蔬的呼吸,容易造成无氧呼吸所导致的酒精中毒等现象,如刚采收的双孢菇在 PVC 包装中保持 2 h~6 h 就会在密封包装内形成厌氧环境<sup>[41]</sup>,所以对双孢菇的保鲜只能达到 4 d~6 d<sup>[42-44]</sup>。为了取得较好的保鲜效果,通过对 PE 等传统材料改性成为一种常用的手段。陈守江等通过建立扩散模型使用包装打孔的方式,在 30  $\mu\text{m}$  的 PE 袋内装入 250 g 双孢菇,并均匀打 11 个 2 mm 的微孔,结果表明,在 10 d 的贮藏期内,袋内湿度保持在 90 %~93 % 之间,失水率保持在 3 %~5 %,证明打孔可以在保持良好气调功能的前提下,调节 PE 的透湿性,从而避免结露导致双孢菇腐败,并对开孔研究提供一定的指导意义<sup>[45]</sup>。Ban 等使用改性 PE 对双孢菇进行保鲜,贮藏过程中  $\text{O}_2$  的浓度为 2 %~3 %,  $\text{CO}_2$  浓度为 3 %~4 %,达到适宜的气体组分<sup>[46]</sup>。李志啸通过在包装材料中添加纳米银、纳米二氧化钛、纳米凹凸棒土和纳米二氧化硅制备一种纳米聚乙烯包装袋,贮藏期间有效降低多酚氧化酶活性和木质素的积累,达到较好的保鲜效果<sup>[47]</sup>。在硅窗气调控制下,通过比较 0、0.4、0.8 和 1.2  $\text{cm}^2$  的硅窗面积,开始充入 100 mL/L 的  $\text{O}_2$ 、100 mL/L 的  $\text{CO}_2$  和 800 mL/L 的  $\text{N}_2$ ,结果发现,当硅窗面积为 0.8  $\text{cm}^2$  时,  $\text{O}_2$  浓度在 31 mL/L~37 mL/L 之间,  $\text{CO}_2$  浓度在 137 mL/L,达到高  $\text{CO}_2$  低  $\text{O}_2$  的效果<sup>[48]</sup>,但其对硅窗面积要求苛刻,不利于实际大规模批发生产。

以上对 PE 的改性方法虽然取得较好的保鲜效

果。但改性操作繁琐,又没有解决白色污染问题,所以,新型生物完全可降解材料应运而生。一方面,聚碳酸亚丙酯(Poly propylene carbonate, PPC)和聚己内酯(Polycaprolactone, PCL)等可降解材料具有良好的透明度、相容性、透气性和力学性能,这些特性使得可降解材料相较于传统石油制品脱颖而出;另一方面,完全可降解的特性不仅不会污染环境,反而可以改良土壤,这正符合国家可持续发展的理念。梁敏等前期研究通过在PCL中添加PPC改性并运用于双孢菇的保鲜,试验表明,PPC的加入明显改善了PCL的阻隔性能和力学性能,适宜的 $\text{CO}_2/\text{O}_2$ 的选择透过性将双孢菇的贮藏期延长至21 d,并保持良好的营养价值和白度值<sup>[49]</sup>。我们近期的研究通过在聚己二酸/对苯二甲酸丁二酯(Poly(butyleneadipate-co-terephthalate, PBAT)内混入PCL改性并将其应用于双孢菇保鲜,可将 $\text{O}_2$ 保持在1%, $\text{CO}_2$ 保持在3%,有效地保持良好的白度值和感官。综上,随着对相关领域综合认知的进步,能够建立更有效具有针对性的预测数学模型,有利于设计更好的气调保藏体系。目前气调包装已在市场应用中显示出巨大的潜力,具有无化学残留、操作简单、便于运输等优势<sup>[50]</sup>,是目前最有效、最经济的手段之一<sup>[51]</sup>,特别是可降解材料的应用以及与采后预处理、冷藏等方法的协同使用,能够用最低的成本达到最好的保鲜效果。

### 2.5.3 活性包装

活性包装主要是指抗菌包装和可食用膜。抗菌包装在气调保鲜系统中具有多种显著的屏障功能,可以分为两类:迁移性和非迁移性。非迁移性抑菌包装是将抑菌物质链接到高分子的功能基团中或将抗菌物质固定在膜的表面,所以在这种情况下,食品必须与包装膜紧密接触,才能有效发挥抑菌作用。而迁移性抑菌包装指将抗菌物质加入到包装膜中或吸附于膜表面,然后缓慢迁移到食品表面成为食品的一部分,最终被人体消化吸收,所以抗菌物质的添加和应用要严格遵循国家标准,还要保证在特定食品基质和气调包装系统中保持抗菌性能<sup>[52]</sup>。目前,国际公认并具有实际应用前景的有细菌素(乳酸链球菌素、片球菌素、肉食杆菌素等)和天然植物提取物(大蒜素、茶多酚、海藻糖等)<sup>[53]</sup>。张洪军等用大蒜精油和肉桂精油以1:2配制抗菌剂并分别添加5、10、15、20  $\mu\text{L}$ 于PE表面,结果显示,10  $\mu\text{L}$ 的抑菌包装有效抑制褐变,对还原糖和失重率影响不大,并保持较高的 $V_c$ 含量<sup>[43]</sup>。试验证明,天然精油的提取与使用可以有效附着于PE膜表面并作用于双孢菇,从而延长货架期。

可食用膜主要由一种或多种蛋白质(明胶、玉米蛋白、大豆蛋白)、脂类(脂质)或多糖(纤维素、树胶、淀粉)组成。由多糖或蛋白质构成的膜对水蒸汽的阻隔性差,但由于交联作用而具有良好的力学性能;由脂类物质构成的膜有良好的防水性,但透明度不高。这些物质的极性决定了自身的实际应用和相容性。涂膜保鲜可以很大程度的修复果蔬表面的机械损伤,由于覆盖果蔬表面的气孔,可以形成高 $\text{CO}_2/\text{O}_2$ 选择透过性和低氧气渗透性,有利于形成厌氧氛围和降低食品安全风险。张宇航等采用壳聚糖为基质,复合竹液(具有抗氧化功效)进行涂膜保鲜,可以延长保质期到14 d<sup>[54]</sup>。雯君等用海藻酸钠、琼脂和魔芋涂膜液对双孢菇进行涂膜优化,结果发现,双孢菇采用海藻酸钠保鲜效果最好,最优条件为0.8 g/100 g的海藻酸钠/水和0.8 g/100 g的蔗糖酯/水于4 min的涂膜时间<sup>[55]</sup>。王相等比较卡拉胶、羧甲基纤维素钠(Carboxymethylcellulose sodium, CMC)涂膜液、和复配液与空白组对照,结果发现卡拉胶涂膜能够显著( $p<0.05$ )抑制多酚氧化酶的活性和呼吸强度,相较于其他处理取得较好的保鲜效果<sup>[56]</sup>。Jiang则发现2%的海藻酸钠涂膜与高氧条件共同作用较只有高氧处理可以有效保持双孢菇的硬度<sup>[57]</sup>。综上,活性包装的抑菌性已得到广泛认同,但其实际操作繁琐,目前没有推广应用,相信随着研究的深入和相关机械的推广与应用会得到市场的认可。

### 3 结论与展望

我国当前市场对双孢菇的贮藏停留在传统冷藏阶段,与发达国家差距大,如设施不足、贮运设备落后、产业化体系不健全等问题明显。随着对双孢菇生理研究的深入和保鲜技术的完善和发展,新型的保鲜技术会应用而生,但有效及时的预处理和多种保鲜方式协同作用是当前解决双孢菇采后的主要趋势。在满足市场需求的前提下更好地服务于大众,不但可以节约资源,而且迎合市场和消费者的需求,实现科技成果的转化和应用,间接推动科技创新和农业的发展。

### 参考文献:

- [1] Griensven L J L D V. The edible and medicinal button mushroom [*Agaricus bisporus* (J.Lge) imbach] and its relatives: Present status, use and future in commerce and research[J]. International Journal of Medicinal Mushrooms, 2001, 3:311-331
- [2] Villares A, Mateovivaracho L, García Lafuente A, et al. Storage temperature and UV-irradiation influence on the ergosterol content in edible mushrooms[J]. Food Chemistry, 2014, 147(4):252
- [3] 张明春,郭丽娟.双孢菇保鲜研究[J].食品科学,1997,18(12):56-

- 58
- [4] Brennan M, Le P G, Gormley R. Post-harvest treatment with citric acid or hydrogen peroxide to extend the shelf life of fresh sliced mushrooms[J]. LWT-Food Science and Technology, 2000, 33(4): 285-289
- [5] 陈存坤, 董成虎, 纪海鹏, 等. 臭氧处理对双孢菇采后生理和贮藏品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(17):155-158
- [6] 钟耀广. 食品安全学[M]. 2 版. 北京:化学工业出版社, 2010:3-4
- [7] 陈宗道. 食品质量与安全管理[M]. 北京:中国农业大学出版社, 2011:4-7
- [8] Liu J, Wu Y C, Kan J, et al. Changes in reactive oxygen species production and antioxidant enzyme activity of *Agaricus bisporus* harvested at different stages of maturity [J]. J Sci Food Agric, 2013, 93(9):2201-2206
- [9] 杨宁. 双孢菇常用保存方法[J]. 科学种养, 2015(6):59-60
- [10] Beelman R B, Duncan E M. Preservation compositions and methods for mushrooms, US 5919507 A[P]. 1999-07-06
- [11] Sapers G M, Miller R L, Pilizota V, et al. Shelf-life extension of fresh mushrooms (*Agaricus bisporus*) by application of hydrogen peroxide and browning inhibitors[J]. Journal of Food Science, 2001, 66(2):362-366
- [12] Mau J L, Miklus M B, Beelman R B. The shelf life of *Agaricus* mushrooms[J]. Developments in Food Science, 1993,33:255-288
- [13] Beaulieu M, Lacroix M, Charbonneau R, et al. Effects of Gamma-Irradiation dose-rate on microbiological and physical quality of mushrooms (*Agaricus bisporus*)[J]. Sciences Des Aliments, 1992, 12:289-303
- [14] Ângela Fernandes, Antonio A L, Oliveira M B P P, et al. Effect of gamma and electron beam irradiation on the physico-chemical and nutritional properties of mushrooms: A review[J]. Food Chemistry, 2012, 135(2):641-650
- [15] Ajlouni S O, Beelman R B, Thompson D B. Influence of gamma irradiation on quality characteristics, sugar content, and respiration rate of mushrooms during postharvest storage[J]. Developments in Food Science, 1996,32:103-121
- [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] 邱倩倩, 杨兆丹, 刘斌, 等. 真空预冷压力对双孢菇贮藏效果的研究[J]. 保鲜与加工, 2016(6):30-35
- [18] 叶维, 李保国. 真空预冷双孢菇及其贮藏保鲜工艺[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(2):203-207
- [19] 张海峰, 王延锋, 韩省华, 等. 预冷时间对双孢菇真空预冷保鲜效果的影响[J]. 安徽农业科学, 2014(20):6798-6799
- [20] 邓东泉, 孙恒, 肖尤明, 等. 真空预冷技术的现状和发展前景[J]. 食品工业科技, 2002, 23(7):73-75
- [21] 杨明月. 双孢蘑菇天然保鲜剂筛选的试验研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2007
- [22] Braaksma A, Schaap D J, Donkers J W, et al. Effect of cytokinin on cap opening in *Agaricus bisporus* during storage[J]. Postharvest Biology & Technology, 2001, 23(2):171-173
- [23] Hu Y H, Chen C M, Xu L, et al. Postharvest application of 4-methoxy cinnamic acid for extending the shelf life of mushroom (*Agaricus bisporus*)[J]. Postharvest Biology & Technology, 2015, 104: 33-41
- [24] Wang Z, Chen L, Yang H, et al. Effect of exogenous glycine betaine on qualities of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) during postharvest storage[J]. European Food Research and Technology, 2015, 240(1):41-48
- [25] Palafoxcarlos H. Maintaining Antioxidant Potential of Fresh Fruits and Vegetables After Harvest[J]. Critical Reviews in Food Science & Nutrition, 2015, 55(6):806-822
- [26] Alikhanikoupaei M, Mazlumzadeh M, Sharifani M, et al. Enhancing stability of essential oils by microencapsulation for preservation of button mushroom during postharvest[J]. Food Sci Nutr, 2014, 2(5): 526-533
- [27] GeraldM Sapers, JamesR Gorny, AhmedE Yousef. 果蔬微生物学[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2011:105-106
- [28] Tano K, Arul J, Doyon G, et al. Atmospheric composition and quality of fresh mushrooms in modified atmosphere packages as affected by storage temperature abuse[J]. Journal of Food Science, 1999, 64(6): 1073-1077
- [29] Guan W, Fan X, Yan R. Effects of UV-C treatment on inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, microbial loads, and quality of button mushrooms[J]. Postharvest Biology & Technology, 2012, 64(1):119-125
- [30] 路媛媛. UV-C 和高 CO<sub>2</sub> 处理对双孢蘑菇采后生理及抗氧化品质的影响研究[D]北京. 中国农业科学院, 2016:8-33
- [31] Simon R R, Borzelleca J F, Deluca H F, et al. Safety assessment of the post-harvest treatment of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) using ultraviolet light[J]. Food & Chemical Toxicology, 2013, 56(2): 278-289
- [32] Guan W, Fan X, Yan R. Effects of UV-C treatment on inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, microbial loads, and quality of button mushrooms[J]. Postharvest Biology & Technology, 2012, 64(1):119-125
- [33] 王丽平, 李苑, 余海霞, 等. 高压电场对生鲜食品保鲜机理研究进展[J]. 食品科学, 2017(3):278-283
- [34] Barba F J, Parniakov O, Pereira S A, et al. Current applications and new opportunities for the use of pulsed electric fields in food science and industry[J]. Food Research International, 2015, 77:773-798
- [35] Dellarosa N, Frontuto D, Laghi L, et al. The impact of pulsed electric fields and ultrasound on water distribution and loss in mushrooms stalks[J]. Food Chemistry, 2017, 236:94
- [36] 周斌, 费汉华, 刘小更. 农产品冷链物流背景下的果蔬气调保鲜技术应用[J]. 价值工程, 2016, 35(26):238-239
- [37] Liu Z, Wang X. Changes in color, antioxidant, and free radical scavenging enzyme activity of mushrooms under high oxygen modified atmospheres[J]. Postharvest Biology & Technology, 2012, 69(2):1-6
- [38] 孙涵, 李玲, 王相友. 双孢菇高氧动态气调保鲜参数优化[J]. 农业工程学报, 2016, 32(24):282-290



- [39] 李家政. 果蔬自发气调包装原理与应用[J]. 包装工程, 2011(15): 33-38
- [40] Oliveira F, Sousa-Gallagher M J, Mahajan P V, et al. Development of shelf-life kinetic model for modified atmosphere packaging of fresh sliced mushrooms[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 111 (2):466-473
- [41] Vol N. Growth and Enterotoxin Production of *Staphylococcus aureus* in Fresh Packaged Mushrooms (*Agaricus bisporus*) [J]. Journal of Food Protection, 1996, 59(8):819-826
- [42] 王步江. 包装方式对双孢菇货架期品质和生理的影响 [J]. 食品科技, 2012(8):57-61
- [43] 张洪军, 潘艳娟, 王建清. 大蒜/肉桂精油复配 PE 膜对双孢菇的保鲜研究[J]. 包装与食品机械, 2015, 33(4):21-25
- [44] 潘艳娟, 王建清, 王猛. 气调与精油等包装技术联合应用对双孢菇品质的影响[J]. 包装工程, 2015(9):33-37
- [45] 陈守江, 王海鸥, 张李阳. 果蔬平衡调湿包装设计及其验证[J]. 农业工程学报, 2014, 30(19):309-315
- [46] Ban Z, Li L, Guan J, 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
- [47] 李志啸, 杨文建, 方东路, 等. 纳米包装材料对双孢菇细胞壁代谢及品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(6):248-253
- [48] Li T, Zhang M. The Physiological and Quality Change of Mushroom *Agaricus bisporus* Stored in Modified Atmosphere Packaging with Various Sizes of Silicone Gum Film Window[J]. Food Science & Technology Research, 2013, 19(19):569-576
- [49] 梁敏. 改性 PCL 自发气调保鲜膜对双孢菇的保鲜效果[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2016
- [50] 史君彦, 夏春丽, 范林林, 等. 不同保鲜膜处理对双孢菇保鲜效果的影响[J]. 食品工业, 2016(12):50-54
- [51] Akbarirad H, Kazemeini S M, Shariaty M A. Deterioration and some of applied preservation techniques for common mushrooms (*Agaricus bisporus*, followed by *Lentinus edodes*, *Pleurotus* spp.)[J]. Journal of Microbiology Biotechnology & Food Sciences, 2013, 2 (6): 2398-2402
- [52] Vermeiren L, Devlieghere F, Beest M V, et al. Developments in the active packaging of foods[J]. Trends in Food Science & Technology, 1999, 10(3):77-86
- [53] 谌馥佳, 燕照玲, 李恩中. 现代果蔬保鲜技术及植物源果蔬保鲜剂研究进展[J]. 河南农业科学, 2016, 45(12):7-12
- [54] 张宇航, 王宝刚, 邢淑婕. 竹汁联合壳聚糖对双孢菇涂膜保鲜效果的影响[J]. 中国食品添加剂, 2014(4):122-126
- [55] 谢雯君, 林启训, 王则金, 等. 双孢蘑菇涂膜保鲜技术研究[J]. 中国农学通报, 2005, 21(10):72-76
- [56] 王相友, 闫聪聪, 刘战丽. 可食性涂膜对双孢蘑菇生理和品质的影响[J]. 农业机械学报, 2012, 43(1):141-145
- [57] Jiang T. Effect of alginate coating on physicochemical and sensory qualities of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) under a high oxygen modified atmosphere[J]. Postharvest Biology & Technology, 2013, 76(1):91-97

收稿日期 2017-06-15

(上接第 187 页)

价值. 综合各种理化指标, 0.622 %山梨酸钾+1.25 %脱氢乙酸钠+0.626 %D-SE 处理对复水损伤蒜米保鲜效果最佳, 0.626 %山梨酸钾+1.25 %脱氢乙酸钠+0.622 %D-SE 处理效果次之。

#### 参考文献:

- [1] 陈功, 王莉. 大蒜保鲜贮藏与深加工技术[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2003: 1-5
- [2] 闫森森, 许真, 徐蝉, 等. 大蒜功能成分研究进展[J]. 食品科学, 2010 (5): 312-318
- [3] 梅四卫, 朱涵珍. 大蒜研究进展[J]. 中国农学通报, 2009, 25(8): 154-158
- [4] 卞茂启, 卞倩倩, 何娜. 2011 年我国大蒜产业营销状况及 2012 年的机遇、挑战与对策[J]. 保鲜与加工, 2012(3): 1-5
- [5] 孙继祥. 山东大蒜产销现状及存在问题分析[J]. 黄河蔬菜, 2010 (4): 11-12
- [6] 王腾飞, 窦玉焕, 李雪芹. 金乡大蒜出口形势与对策研究[J]. 中国园艺文摘, 2010(5): 59-60
- [7] 陈云堂, 张建伟. 辐照蒜米保鲜技术研究[J]. 核农学通报, 1996, 17 (6): 263-264
- [8] 张艳明, 胡传银. 复合护色液对蒜米防绿变效果的研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(21): 9060
- [9] 马利华, 秦卫东, 陈学红, 等. 涂膜处理对蒜米贮藏品质及抗氧化性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(1): 199-204
- [10] 曲祖乙, 刘靖. 食品分析与检验[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2006: 98-100
- [11] 张丽霞, 张国强. 大蒜素含量的测定方法研究[J]. 湖北农业科学, 2009, 48(3): 713-714
- [12] 李瑜, 乔明武. 黄原胶单一膜及复合膜涂膜保鲜蒜米效果研究[J]. 食品发酵与工业, 2008, 34(10): 92-94
- [13] Hong S I, Kim D M. Storage quality of chopped garlic as influenced by organic acids and high-pressure treatment[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2001, 81(4): 397-403
- [14] 杨凤娟, 刘世琦. 大蒜素研究进展[J]. 安徽农业科学, 2003, 31(6): 1034-1037
- [15] Gleitz J, PETERS T H. Pharmacological significance of an enteric coated formulation of garlic powder[J]. Medizinische Welt, 1995, 46: 8-9, 458

收稿日期 2017-08-08