

农产品贮藏加工

食用菌贮藏保鲜技术研究进展

任浩, 于官楚, 孙炳新, 秦苏怡, 姜凤利, 辛广
(沈阳农业大学, 沈阳 110866)

摘要: **目的** 通过介绍国内外保鲜技术在食用菌保鲜中的应用进展, 为食用菌的贮藏保鲜提供理论参考。**方法** 分析影响食用菌品质下降的因素, 包括呼吸作用、水分含量、相对湿度、温度、微生物和气体环境等, 并总结多种食用菌的保鲜技术, 包括真空预冷、气调保鲜、减压贮藏、超高压处理、辐照处理、保鲜剂、电解水和臭氧处理等。**结论** 食用菌贮藏与保鲜技术可以更好地保护产品的品质, 并延长货架期。随着保鲜技术的不断创新与进步, 将为食用菌产业的健康发展提供有力保障。

关键词: 食用菌; 贮藏; 影响因素; 保鲜技术

中图分类号: S646 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)13-0001-11

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.13.001

Research Advances on the Storage and Preservation of Edible Fungi

REN Hao, YU Guan-chu, SUN Bing-xin, QIN Su-yi, JIANG Feng-li, XIN Guang
(Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

ABSTRACT: The work aims to provide theoretical reference for the preservation of edible fungi by introducing the application progress of preservation techniques at home and abroad in the preservation of edible fungi. The factors affecting the decline in quality of edible fungi were analyzed, including respiration, moisture content, relative humidity, temperature, microorganism and gas environment, and the preservation techniques of various edible fungi were summarized, including vacuum pre-cooling, modified atmosphere preservation, subatmospheric pressure storage, ultra-high pressure treatment, irradiation treatment, preservative, electrolyzed water and ozone treatment. Edible fungus storage and preservation techniques can better protect the quality of products and extend shelf life. With the continuous innovation and advancement of preservation techniques, it will provide a strong guarantee for the healthy development of the edible fungus industry.

KEY WORDS: edible fungi; storage; influential factors; preservation techniques

食用菌是可供人类食用的大型真菌, 具有味道鲜美、风味独特、富含多种营养物质与功能性成分等特点, 深受消费者喜欢^[1]。中国拥有丰富的食用菌物种资源, 年产量超过 3500 万 t, 食用菌产量占世界总产量的 70% 以上, 食用菌产业已成为我国农业种植业中继粮食、蔬菜、果树、油料之后的第五大产业^[2]。由于新鲜食用菌含水量高, 表面多孔并缺乏保护组织,

呼吸速率高, 在贮运和货架期间易出现失水、开伞、损伤、褐变、腐烂和异味等品质下降问题^[3-4], 因此食用菌的贮藏保鲜已经成为制约食用菌行业健康发展的一个关键问题。

食用菌贮藏保鲜技术的研究及应用是食用菌产业持续健康发展的有力保障。近年来, 随着食品科技的迅速发展, 各种新型的贮藏与保鲜技术不断涌

收稿日期: 2019-02-27

基金项目: 辽宁省博士科研启动基金(201601109); 国家重点研发计划(2018YFD0400200)

作者简介: 任浩(1992—), 男, 沈阳农业大学硕士生, 主攻食用菌保鲜技术。

通信作者: 孙炳新(1981—), 男, 博士, 沈阳农业大学讲师, 主要研究方向为食品包装与货架寿命。

现,给食用菌贮藏保鲜领域带来了生机与活力。针对不同的影响因素总结与其相对应的保鲜方法,从而更好地保持其采后品质,将多种保鲜技术的综合利用是未来的发展方向。在此背景下文中拟介绍影响食用菌品质下降的主要因素,包括呼吸作用、微生物、水分、温度和气体环境等,并结合国内外相关研究进展进行探讨。

1 影响因素

1.1 呼吸作用

呼吸是代谢过程,在此过程中植物吸收氧气,消耗底物(如碳水化合物、脂类和有机酸),并释放二氧化碳,在为子实体生理活动提供能量的同时,也为其它特定的生理产物提供了前体物质。此外,呼吸过程中释放的呼吸热会使子实体的温度升高,会提高生理反应速度及酶的活性,细胞壁中的几丁质和蛋白质在降解酶的作用下,聚合的网状结构会遭到破坏,加快食用菌的失水及软化,并产生自溶^[5-6]。与其他植物(如樱桃番茄和桃子)相比,食用菌的呼吸速率(在 $(20\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 时约为 $200\sim 500\text{ mg}/(\text{kg}\cdot\text{h})$)较高,是其它果蔬的几百倍以上^[7-9]。食用菌的高呼吸速率是其不耐贮藏的主要原因。双孢蘑菇在贮藏期间的呼吸速率变化可分为2个阶段:首先,呼吸速率从采收时的峰值迅速下降至50%左右,整个过程持续5~10 h;然后,呼吸速率在接下来的贮藏期基本呈缓慢下降的趋势^[10]。在蘑菇采收后进行快速预冷处理可迅速除去田间热,并降低其呼吸速率。伴随着持续的呼吸作用,呼吸速率会随着底物的减少而降低,所以呼吸速率也是反应食用菌生理衰老过程的良好指标。

1.2 微生物

从食用菌种植角度来看,培养基的生产主要依靠堆肥技术,生长环境为高温、高湿,为微生物提供了有利的生长条件,致使食用菌极易受到微生物的侵染。从食用菌本身角度来看,菇肉细嫩无保护组织,水分活度高,采后呼吸代谢旺盛,同样为微生物提供了有利的生长条件。从双孢蘑菇中分离的大多数(54%)细菌为假单胞菌^[11],张瑞颖等^[12]从平菇病斑组织分离出病原细菌T3,确认该病原细菌同样为假单胞菌。当假单胞菌的菌群数量达到 $7.6\times 10^6\text{ CFU}/\text{mL}$ 时将引起黄斑病^[13],然而该菌只侵染子实体的表面组织,感染深度一般不超过3 mm^[14]。此外,假单胞菌还分泌与蘑菇变性相关的粘性的胞外多糖(EPS)^[15]。柯莉娜等^[16]从腐烂的双孢蘑菇中分离鉴定得到6株细菌和8株真菌,主要包括黏质沙雷氏菌、产酸克雷伯菌和不动杆菌属等。

1.3 水分含量与相对湿度

食用菌中水分的质量分数高达85%~95%,其水分含量是衡量食用菌新鲜程度的重要指标之一。与大多数果蔬不同,食用菌表面组织细嫩,并缺乏角质层保护,采后极易在贮藏和货架过程中失水,并导致其细胞膨压下降、呼吸速率加快、酶活性增加,进而加速品质的快速劣变。

由此可见,在贮藏过程中要尽量提高贮藏环境的湿度,减小食用菌内外的蒸汽压差,避免因水分的快速流失而发生品质劣变现象。Mahajan等^[17]开发了一种装置来监测食用菌在不同环境温度和相对湿度下的质量损失率和蒸腾速率,结果发现相对湿度是对蒸腾速率影响最大的变量,双孢蘑菇在 4°C 条件下,当相对湿度由76%提高到96%时,蒸腾速率可以降低87%,由此可见相对湿度可以在很大程度上影响其蒸腾速率。有研究报道,香菇在温度为 2°C 、相对湿度为97%的环境下最有利于其品质的保持^[18]。姬松茸和双孢蘑菇贮藏环境的最佳相对湿度分别为95%和96%^[19-20]。

高湿贮藏虽然可以减少食用菌水分的流失,但是温度波动时容易出现水蒸汽冷凝现象,冷凝水回滴会使食用菌表面出现斑点,且高湿环境也会促进微生物的生长^[8]。为了避免以上负面现象的发生,高湿贮藏尽量要结合适宜且稳定的低温条件。

1.4 温度

温度是影响果蔬采后成熟和品质的关键因素,蘑菇的贮藏品质与其生理代谢活动有着密切的关系,在一定温度范围内,温度越高食用菌的生理代谢活动越强,保鲜效果越差^[21]。草菇在 15°C 下可保鲜3 d,真姬菇在 4°C 下可保鲜7 d,而在 30°C 下草菇和真姬菇只能保鲜1 d^[22]。双孢蘑菇在 $3.5\sim 15.0^{\circ}\text{C}$ 的贮藏条件下,温度越低越能减缓褐变的发生,使其货架期得以延长^[23]。由此可见,低温贮藏是减缓食用菌腐败变质最有效的方法。平菇在 2°C 下贮藏可维持较高的硬度和韧性,抑制褐变^[24]。杏鲍菇的最佳贮藏温度为 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$ ^[25]。在低温贮藏条件下,需要注意由于温度的波动而导致的冷害甚至冻害等情况。双孢蘑菇在 3°C 条件下贮藏时品质较好,且不会出现冷害^[19],而在 2°C 下贮藏时会发生冷害^[26]。双孢蘑菇在贮藏过程中如果温度发生波动将导致开伞率、呼吸强度、多酚氧化酶(PPO)活性和褐变程度的增加^[27-28],因此要选择适宜且恒定的贮藏温度。

1.5 气体环境

气体环境是影响食用菌呼吸作用的一个重要因素,为了减缓食用菌衰老的速度,往往要改变其所处环境的气体组成^[29]。早在20世纪80年代就有研究发

现不同比例的氧气(O_2)和二氧化碳(CO_2)会对食用菌菌柄、呼吸强度以及开伞程度产生不同的影响^[30]。 O_2 是生命体进行有氧呼吸所必不可少的成分, O_2 浓度的减少或增大都会对生命体的相关生理生化活动产生巨大的影响。当双孢蘑菇贮藏在 CO_2 体积分数(0, 5%, 10%, 15%, 20%)不同的环境中,随着 CO_2 浓度的升高,可以减缓质量损失率的增加和硬度的下降,其中当 CO_2 体积分数为20%时相对最好^[31]。 CO_2 之所以会抑制呼吸作用,是因为二氧化碳是呼吸过程的产物,并能引起反馈抑制^[32],且二氧化碳对线粒体活动有很强的控制作用,包括柠檬酸盐和琥珀酸的氧化, CO_2 浓度的升高会影响三羧酸循环的中间体和相关酶的活性^[33]。当 CO_2 浓度过高时,会出现 CO_2 中毒的现象^[34]。高浓度 O_2 能够减少无氧呼吸,抑制酶促褐变,减少乙烯的生成,降低病原微生物的影响^[35]。用体积分数60%~100%的氧气处理双孢菇可以延缓硬度下降和内外褐变的发生^[36]。Liu等^[37]同样发现,将双孢蘑菇贮藏在高氧(O_2 的体积分数为80%)条件下可以延缓褐变,且对细胞膜的损伤相对较小。金针菇在高氧气(O_2 的体积分数为80%, CO_2 的体积分数为0~20%)的条件下可以抑制PPO酶的活性和呼吸速率,减少水分的散失及颜色变化,使货架期延长至15 d^[38]。

1.6 其他影响因素

食用菌的栽培环境、采收期的选择和采收时的成熟度也是影响食用菌贮藏品质的影响因素。双孢蘑菇的褐变程度(损伤敏感性)受栽培环境条件及采收期的影响较大。高巍等^[39]的研究表明,覆土的厚度和湿度,以及菇房内的相对湿度等因素对双孢蘑菇机械损伤敏感性有着重要影响。未开伞的香菇具有更好的耐贮性和抗氧化能力^[40]。直径为3~4 cm的双孢蘑菇较其他直径的双孢菇延后3 d出现呼吸高峰,丙二醛的含量始终较低,白度值保持得较好^[41]。不同品种、不同采收期的茶薪菇贮藏特性不同,棕色品种比白色品种更耐贮藏,中期采收的棕色茶薪菇最耐贮藏^[42]。

此外,机械损伤是影响食用菌贮藏特性和感官指标的另一个重要因素。食用菌在采收、分级、包装、贮藏、运输、加工和销售等过程中,因受到挤压、跌落、振动、碰撞和摩擦等作用,都会对其造成机械损伤。机械损伤会从不同方面来影响食用菌的品质,受损部位细胞的破裂会造成细胞液外流,底物可与酶充分接触。如果受损部位表皮破裂,则一方面会提高氧气进入量,另一方面也会提高微生物感染的风险^[43]。由此可知,选育一些耐瘀伤和低机械敏感性的蘑菇品种,也将是食用菌产业所要关注的一个重点。

2 保鲜方法

目前,食用菌保鲜技术主要分为物理保鲜和化学保鲜,基于物理的方法有真空预冷、气调包装、减压储藏、超高压和辐照处理;基于化学方法的有保鲜剂、电解水和臭氧处理。化学保鲜方法对食用菌的营养价值和感官指标有不同程度的破坏,而物理方法的处理条件易于控制,受外界环境影响小,没有化学污染,且对食用菌营养和风味的破坏相对较小。由于物理方法普遍成本较高,因此适用于工业化大批量处理与生产。

2.1 物理处理

2.1.1 真空预冷

农产品预冷是将蔬菜的温度在采摘后迅速降低到所需储藏温度的过程,可以有效降低蔬菜在采摘后的呼吸和新陈代谢速率,对果蔬品质的保持有着重要的作用^[44]。真空预冷技术由预冷技术发展而来,能够迅速消除田间热,使产品中心温度在短时间内下降至所需贮藏温度附近^[45]。真空预冷技术主要通过产品中水分的快速蒸发来带走热量,以提高产品的降温效率,但成本很高,且产品质量损失率相对较大^[46]。食用菌在10℃时的呼吸速率是0℃时的3倍,采收后立即降温,可减缓其呼吸代谢过程,延长其货架期^[47]。由于蘑菇具有多孔结构,且水分含量高,所以比较适合采用真空预冷处理^[48]。双孢菇的最佳真空预冷工艺条件为压力1 kPa,温度为5℃^[49-50]。

2.1.2 气调包装

气调包装(MAP)是目前果蔬行业中一种比较常见的保鲜方式,可有效保存各种水果蔬菜^[51]。在气调包装中,果蔬周围的空间由一定比例的混合气体填充,这样可以长时间保持产品的新鲜状态^[52]。对于食用菌来说,气调包装可以抑制食用菌的呼吸强度,使其处于缓慢的代谢过程中^[53]。据统计发现,MAP已经在食用菌的贮藏保鲜中被广泛应用^[54]。

MAP的贮藏效果受到很多因素的影响,如贮存环境的温度和湿度,包装膜的材质和薄膜面积,包装内气体的成分,以及果蔬的表面积,都会影响MAP的贮藏效果^[55-56]。在低温贮藏环境中,低氧条件对双孢蘑菇表皮和菇肉的褐变都有明显的抑制作用,并且 O_2 体积分数为5%时能够有效地抑制双孢蘑菇的呼吸强度^[21]。为了研究气体成分对双孢蘑菇保鲜的影响,曹冬洁等^[31]采用不同浓度的 CO_2 对双孢蘑菇进行包装,发现随着 CO_2 浓度的升高,可以延缓质量损失率的增加和硬度的下降,其中当 CO_2 的体积分数为20%时能显著降低呼吸速率,并通过降低过氧化物酶(POD)和PPO活性来延缓褐变程度的增加,以及固

形物含量的下降。通过 O₂ 处理能够使蘑菇保持较好的外观和营养成分。将双孢蘑菇放于氧气体积分数为 100% 和 80% 的条件下保存,发现氧气体积分数为 100% 时能够有效降低褐变程度^[57]。Li 等^[58]将香菇放在由不同初始气体组成的气调包装中,发现低氧包装(O₂ 的体积分数为 3%, CO₂ 的体积分数为 5%)能抑制乙醇的生成,而高氧(O₂ 的体积分数为 100%)和中氧(O₂ 的体积分数为 50%)可以维持更好的营养成分。因为持续的呼吸作用,O₂ 和 CO₂ 含量不能维持稳定,因此需要选择具有高选择渗透性的包装材料^[59]。随着高分子材料的迅猛发展,目前,聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、聚氯乙烯(PVC)、聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)、双向拉伸聚苯乙烯(BOPS)、聚苯乙烯(PS)收缩膜、聚丁二烯(PB)拉伸膜、乙烯-醋酸乙烯共聚膜(EVA)等都是 MAP 包装常用的聚合膜材料^[60]。除此之外,一些新型复合包装材料也逐渐被开发出来。Gholami 等^[61]就发明了一种新型的纳米复合包装材料(PET/壳聚糖/LDPE)用于双孢菇的气调包装,发现新材料比传统 PVC 薄膜具有更好的保鲜性能。王治洲等^[62]发现聚对苯二甲酸-己二酸-1,4-丁二醇酯/聚己内酯(PBAT/PCL)共混薄膜也可有效抑制双孢菇的褐变,使其能长时间维持良好的感官品质和营养价值。Shi 等^[63]将纳米粉末(纳米 Ag 的质量分数为 0.34%, 纳米 TiO₂ 的质量分数为 0.39%, 凹凸棒石粘土的质量分数为 0.28%, 纳米 SiO₂ 的质量分数为 0.11%)添加到聚乙烯材料中,用于金针菇的气调包装,可以有效降低其呼吸速率,更好地保持其品质。对 LDPE 薄膜进行打孔(0.45 mm)用于草菇的贮藏,打孔数量为 20 和 40 时能更好地保持草菇的硬度。在总酚含量、抗氧化性和细菌总数等方面,当打孔数为 40 时效果最好^[64]。如果包装膜的透气性(氧气、二氧化碳、水蒸汽)不能满足最优的贮藏条件,则对材料进行不同孔径和孔数的打孔处理,也会提高产品的贮藏保鲜效果。

2.1.3 减压贮藏

减压贮藏保鲜技术是 21 世纪新型的保鲜技术,其通过降低果蔬贮藏环境中的气压和氧气浓度,来促进果蔬组织内部有害气体的快速排出,以减缓果蔬衰败。当双孢蘑菇采用 25.3 kPa 和 50.7 kPa 的压力处理时,可以降低其呼吸强度,减缓褐变程度,维持较高的可溶性固形物含量,但质量损失率会增加,压力越小质量损失率越大^[65]。双孢蘑菇和杏鲍菇在真空预冷后减压储藏的最佳压力值为 10 kPa,此时质量损失率和呼吸强度相对最低^[66]。杏鲍菇在 2~4 °C 下减压贮藏(60 kPa)时,可以有效延缓褐变程度,抑制丙二醛含量的上升($P < 0.01$),降低呼吸强度($P < 0.01$)^[67]。减压贮藏通过减少水分含量,降低水分活度,可以抑制微生物的生长,但是处理后质量损失率随之增加,如

何平衡货架时间与商品价值损失之间的关系也是需要考虑的一个重要问题。

2.1.4 超高压处理

超高压处理技术是一种以 100 MPa 以上静压对食品进行特殊加工的一种技术,在低温下进行杀菌的同时,可以抑制酶的活性,更好地保持产品的色、香、味及营养物质。杏鲍菇在 200 MPa 下处理 9 min,然后在 4 °C 下贮藏,可降低其 PPO 酶活性,抑制褐变,减缓硬度的下降^[68]。将双孢蘑菇置于真空(2~4 kPa)条件下保持 3 min,然后采用聚乙烯袋真空包装,再进行超高压处理(950 MPa) 5 min,可以使多酚氧化酶失活^[69]。将鸡腿菇在 200 MPa, 40 °C 条件下处理 10 min,可以最大程度地保留其营养成分,其亚油酸、氨基酸的含量分别为 0.179, 2.43 g/100 g(鲜样),必需氨基酸含量为 0.89 g/100 g(鲜样)^[70]。双孢菇在 400 MPa 超高压条件下处理 15 min 后,监测范围内的微生物全部失活^[71]。由此发现,鸡腿菇在超高压(268.1 MPa, 25.0 °C, 14.3 min)处理后,其菌落总数也可以得到有效控制^[72]。超高压处理主要通过高压来减少微生物含量,降低其酶活性,具有较好的保鲜效果。由于现阶段相关设备的处理效率较低,因此还不能适用于大批量的工业化生产。

2.1.5 辐照处理

辐照处理技术被视为是继巴氏杀菌后的第二大食品杀菌技术,对食物施加电离辐射(如 γ 和电子束)以破坏可能存在于食物中的微生物或昆虫,从而达到延长食品的货架期的目的,且对感官和营养成分产生的影响较小^[73]。果蔬辐照处理的主要辐照源包括红外线、紫外线、X 射线和 γ 射线等^[74]。在很多国家(如阿根廷、中国、克罗地亚、匈牙利、以色列、韩国、墨西哥、波兰和英国)延长新鲜蘑菇货架期的推荐剂量为 1~3 kGy^[75]。双孢蘑菇经过 2 kGy 的 γ 辐照能有效抑制 PPO 活性,减缓其褐变,在 10 °C 条件下的货架期可长达 10 d^[76]。Wani 等^[77]发现同样在 2 kGy 的 γ 辐照处理后,能明显降低双孢菇的质量损失率(温度为 (10 ± 2) °C, 相对湿度为 85%),将其开伞时间推迟了 9 d,货架期延长到 12 d。由此可见,辐照处理在起到杀菌作用的同时,也能够抑制酶活性,降低呼吸及生理作用,更好地维持其硬度,质量损失较小。杏鲍菇最佳的 γ 辐照剂量为 1 kGy^[73]。同时有研究也表明,使用 γ 辐射可能会导致食用菌化学组分变化^[78]。短波紫外线(UV-C, 254 nm)联合过氧化氢处理双孢菇可使大肠杆菌 O157:H7 下降 0.87 lg CFU/g,菌落总数减少 0.2~1.4 lg CFU/g^[79]。1 kGy 剂量的电子束辐照可以通过减少有氧和嗜冷微生物的数量来延长双孢菇切片的货架期^[80]。双孢蘑菇用 2 kGy 的电子束进行处理时,对水溶性糖、氨基酸、维生素 B₁、维生素 B₂ 和烟酸的含量无显著的影响,但是维生素 C 含

量会受到影响^[81]。0.5 kGy 剂量的电子束可以抑制双孢菇的开伞,使其在常温下的货架期延长 2 d^[82]。虽然辐照处理可以延长食用菌的货架期,但是其营养成分也可能会发生相应改变,因此辐照种类和剂量的选择要经过多方面的论证。

2.2 化学处理

2.2.1 保鲜剂

针对蘑菇在采摘后由于呼吸生理代谢、病原微生物侵染、酶的作用等引起品质下降过快的问题,人们常常利用化学保鲜剂和生物保鲜剂来控制这些对蘑菇贮藏的不利因素。

1) 化学保鲜剂。化学保鲜剂是利用某些无毒、无异味且对人体无害的化学试剂按照一定比例配制成溶液,涂抹在果蔬表面形成具有一定阻隔性的薄膜,通过在果蔬内部形成一个低氧环境,可以达到减少水分的蒸发、延长货架期的目的。双孢菇在维生素 C (0.2 mmol/L) 中浸泡 1 min, 0~2 °C 下贮藏,能够显著抑制其褐变^[83]。双孢菇采后用质量分数为 0.5% 的 CaCl₂ 溶液处理可以提高其抗氧化酶活性,抑制自由基的产生和脂氧合酶的生成,延长双孢菇的货架期^[84]。Gupta 等^[85]通过研究不同杀菌剂(H₂O₂ 溶液,柠檬酸溶液和 EDTA 溶液)对双孢菇采后保鲜的影响,发现质量分数为 2.5% 柠檬酸可以更好地控制质量损失率,抑制双孢菇的过氧化氢酶、过氧化物酶以及多酚氧化酶的活性,延缓褐变速率,减少微生物数量。采用水杨酸(250 μM)处理同样可以延缓双孢菇的褐变速率,在 4 °C 下可以贮藏至 21 d^[86]。Beelman 等^[87]开发了一种蘑菇的洗涤工艺(美国专利 5919507),在第 1 阶段采用高 pH (pH 9.0 或以上) 抗菌剂进行洗涤,然后再进行中和洗涤(中和洗涤液含有异抗坏血酸和异抗坏血酸钠的缓冲溶液,其他褐变抑制剂如抗坏血酸盐、EDTA 或氯化钙也可以被添加到中和溶液中),该过程可以清洗蘑菇表面污垢,并延迟因微生物造成的腐败变质。Sapers 等^[88]开发了一种应用于双孢菇保鲜的洗涤工艺,首先使用质量分数为 1% 的双氧水溶液进行洗涤,再使用质量分数分别为 2.25%~4.5% 的 V_C, 0.2% 的半胱氨酸-HCl 和 0.05%~0.1% 的 EDTA 进行洗涤,该方法处理后的白度值与硫化处理后的白度值基本一致。

2) 生物保鲜剂。生物保鲜剂的作用原理是将某些具有杀菌或抑菌活性的天然物质配制成适当浓度的溶液,通过浸泡、喷淋或涂膜等方式抑制或杀灭果蔬中的微生物。通过隔离果蔬与空气直接接触(延缓氧化),调节贮藏环境的气体组成和相对湿度来达到防腐保鲜的目的。将新鲜双孢菇用质量分数为 2% 的海藻酸盐浸泡 2 min 后,置于氧气体积分数为 100% 的环境中,可以有效保持其硬度,降低其褐变程度和

开伞率,货架期可延长至 16 d^[89]。壳聚糖能在果蔬表面形成一层薄膜,使果蔬在一个低氧、高二氧化碳浓度的环境中,从而使果蔬保持新鲜^[90]。添加竹汁的壳聚糖和添加薄荷精油的黄蓍胶涂都可以使双孢菇的保鲜效果增强,更好地延缓其褐变速率,降低质量损失率,将货架期延长到 14 d 以上^[91-92]。

2.2.2 电解水和等离子体活化水

电解水(EW)的概念最先在俄罗斯被提出,用于水净化、水再生和医疗器械的消毒^[93]。最近电解水逐渐被应用于果蔬的保鲜中,电解水在贮藏食品过程中会释放出 Cl₂,当 Cl₂ 的质量浓度大于 70 mg/L 时,单增李斯特菌和埃希氏大肠杆菌 O157:H7 会受到显著性的抑制^[94]。将低质量浓度 EW (有效氯的质量浓度为 2~5 mg/L) 与其它 4 种消毒剂(强电解水、柠檬酸(质量分数为 1%)、臭氧水溶液和次氯酸钠溶液)的杀菌效果进行比较时,结果无显著性差异,说明低浓度的电解水就具备较强的杀菌作用^[95]。双孢菇采用质量浓度为 25mg/L EW 进行处理后,再结合被动气调包装进行贮藏,可以延缓其褐变和质量损失率的增加^[96]。水的等离子体处理(称为等离子体活化水(PAW))产生酸性环境,其导致氧化还原电位和电导率的变化以及活性氧(ROS)和氮物质(RNS)的形成,因此,PAW 具有与水不同的化学组成,并且可以作为微生物消毒的替代方法。双孢菇用 PAW 处理 10min,在 20 °C 条件下储存 7 d,细菌和真菌的数量减少 1.5 lg CFU/g 和 0.5 lg CFU/g^[97],因此 EW 和 PAW 都是从抑制微生物生长繁殖的角度来延长食用菌的货架期。

2.2.3 臭氧

臭氧的杀菌机制是通过其分解,并释放出新生态氧,迅速穿过真菌、细菌等微生物的细胞壁、细胞膜,使细胞膜受到损伤,继而渗透到膜组织内,使菌体蛋白质变性,破坏酶系统,正常的生理代谢过程失调或中止,导致菌体休克或死亡,达到消毒、灭菌、防腐的效果^[98]。臭氧也具有强氧化能力,与细胞间酶和细胞成分反应后可迅速杀死微生物^[99]。当双孢菇经 4.28 mg/m³ 的臭氧气体处理后,PPO 活性会增高,立即发生褐变,而将流速为 5.0 g/h 的臭氧气体通入冰水中,制得臭氧水溶液不仅不会促进褐变,还会起到较好的护色、保鲜作用,同时也可以降低开伞率^[100]。采用 5.3 mg/L 的臭氧处理可以将双孢菇表面的沙门氏菌、李斯特菌和大肠杆菌分别减少 3.61, 2.80, 3.41 lg CFU/g^[101]。

3 结语

随着食品工业科技的不断进步,以及贮藏保鲜技术的不断发展,食用菌的贮藏保鲜已经从传统的冷藏

保鲜转变为科技保鲜。食用菌贮藏保鲜技术使食用菌在保持新鲜品质的同时,还显著地延长了产品的贮藏期或货架期,为食用菌产业的健康发展提供了有力保障。尽管食用菌的保鲜方法多种多样,实际应用时还应根据食用菌种类、贮藏要求以及设备情况等作出选择。此外,食用菌的贮藏与保鲜是一个系统工程,涉及前期的品种选育、栽培到采前处理,再到采后的贮藏与包装等多个环节,因此今后食用菌的贮藏与保鲜将是以上多个环节相互联合、不断创新与发展的共同结果。

参考文献:

- [1] 顾可飞, 周昌艳, 李晓贝. 食用菌的营养价值及药用价值[J]. 食品工业, 2017, 38(10): 228—231.
GU Ke-fei, ZHOU Chang-yan, LI Xiao-bei. Nutritional Value and Medicinal Value of Edible Fungi[J]. Food Industry, 2017, 38(10): 228—231.
- [2] 李玉. 中国食用菌产业发展现状、机遇和挑战——走中国特色菇业发展之路,实现食用菌产业强国之梦[J]. 菌物研究, 2018, 16(3): 125—131.
LI Yu. Status Quo, Opportunities and Challenges of China's Edible Fungus Industry—Taking the Road of Chinese Mushroom Industry Development and Realizing the Dream of Edible Mushroom Industry Powerful Country[J]. Fungal Research, 2018, 16(3): 125—131.
- [3] 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.
YU Hua, LIU Da-yu, LI Zong-tang, et al. Research Progress on Postharvest Physiological Characteristics and Preservation Technology of Edible Fungi[J]. Chinese Edible Fungi, 2015, 34(1): 70—73.
- [4] 张愨, 范柳萍. 国内外果蔬保鲜技术发展状况及趋势分析[J]. 蔬菜, 2004(12): 27—29.
ZHANG Min, FAN Liu-ping. Analysis on the Development Status and Trend of Fruit and Vegetable Fresh-keeping Technology at Home and Abroad[J]. Vegetables, 2004(12): 27—29.
- [5] PAUDEL E, BOOM R M, HAAREN E V, et al. Effects of Cellular Structure and Cell Wall Components on Water Holding Capacity of Mushrooms[J]. Journal of Food Engineering, 2016, 187: 106—113.
- [6] 解越, 张敏, 朱赛赛. 贮藏温度对茄子果实活性氧代谢及细胞壁降解的影响[J]. 现代食品科技, 2016, 32(2): 142—151.
XIE Yue, ZHANG Min, ZHU Sai-sai. Effects of Storage Temperature on Active Oxygen Metabolism and Cell Wall Degradation of Eggplant Fruit[J]. Modern Food Science & Technology, 2016, 32(2): 142—151.
- [7] MISTRITOTIS A, BRIASSOULIS D, GIANNOULIS A, et al. Design of Biodegradable Bio-based Equilibrium Modified Atmosphere Packaging (EMAP) for Fresh Fruits and Vegetables by Using Micro-perforated Poly-lactic Acid (PLA) Films[J]. Postharvest Biology & Technology, 2015, 111: 380—389.
- [8] SINGH P, LANGOWSKI H C, WANI A A, et al. Recent Advances in Extending the Shelf Life of Fresh *Agaricus Mushrooms*: a Review[J]. J Sci Food Agric, 2010, 90(9): 1393—1402.
- [9] WEI W, PING L, XIA Q, et al. Fresh-keeping Effects of Three Types of Modified Atmosphere Packaging of Pine-mushrooms[J]. Postharvest Biology & Technology, 2017, 132: 62—70.
- [10] BURTON K S, PARTIS M D, WOOD D A, et al. Accumulation of Serine Proteinase in Senescent Sporophores of the Cultivated Mushroom, *Agaricus Bisporus*[J]. Mycol Res, 1997, 101(2): 146—152.
- [11] DOORES S, KRAMER M, BEELMAN R. Evaluation and Bacterial Populations Associated with Fresh Mushrooms (*Agaricus Bisporus*)[J]. Developments in Crop Science, 1987, 10: 283—294.
- [12] 张瑞颖, 左雪梅, 姜瑞波. 平菇褐斑病病原菌的分离与鉴定[J]. 中国食用菌, 2007, 26(5): 58—60.
ZHANG Rui-ying, ZUO Xue-mei, JIANG Rui-bo. Isolation and Identification of the Pathogen of *Pleurotus ostreatus*[J]. Chinese Edible Mushrooms, 2007, 26(5): 58—60.
- [13] SOLER-RIVAS C, ARPIN N, OLIVIER J M, et al. WLIP, a Lipodepsipeptide of *Pseudomonas 'Reactans'*, as Inhibitor of the Brown Blotch Disease of *Agaricus Bisporus*[J]. Journal of Applied Microbiology, 2010, 86(4): 635—641.
- [14] 张瑞颖, 胡丹丹, 左雪梅, 等. 平菇和双孢蘑菇细菌性褐斑病研究进展[J]. 中国学术期刊文摘, 2007, 34(5): 549—554.
ZHANG Rui-ying, HU Dan-dan, ZUO Xue-mei, et al. Research Progress of Bacterial Brown Spot Disease of *Pleurotus ostreatus* and *Agaricus Bisporus*[J]. Chinese Journal of Academic Periodicals, 2007, 34(5): 549—554.
- [15] FETT W F, WELLS J M, CESCUTTI P, et al. Identification of Exopolysaccharides Produced by Fluorescent *Pseudomonads* Associated with Commercial Mushroom (*Agaricus Bisporus*) Production [J]. Applied & Environmental Microbiology, 1995, 61(2): 513—517.
- [16] 柯莉娜, 胡泳华, 高焕娟, 等. 肉桂酸及其衍生物对双孢蘑菇致腐微生物的体外抑菌效果比较[J]. 厦门大学学报(自然版), 2016, 55(3): 330—335.

- KE Li-na, HU Yong-hua, GAO Huan-juan, et al. Comparison of Antibacterial Effects of Cinnamic Acid and Its Derivatives on the Microorganisms Caused by *Agaricus Bisporus*[J]. Journal of Xiamen University (Natural Science), 2016, 55(3): 330—335.
- [17] MAHAJAN P V, OLIVEIRA F A R, MACEDO I. Effect of Temperature and Humidity on the Transpiration Rate of the Whole Mushrooms[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 84(2): 281—288.
- [18] 李武. 香菇采后保鲜技术[J]. 农业新技术, 1997(2): 29—31.
- LU Wu. Techniques for Preservation of Mushrooms after Harvest[J]. New Agricultural Technology, 1997(2): 29—31.
- [19] ZHU J, WANG X, XU Y. Effects of the Postharvest Storage Temperature and Its Fluctuations on the Keeping Quality of *Agaricus Bisporus*[J]. International Journal of Food Engineering, 2006, 2(1): 88—91.
- [20] CLIFFEBYRNES V, O'BEIRNE D, BOYLSTON T D. Process-modified Atmosphere and Humidity Parameters for High-quality Sliced Mushrooms (*Agaricus Bisporus* L)[J]. Journal of Food Quality, 2010, 33(Supplement S1): 286—302.
- [21] 王娟, 王相友, 李霞. 低温气调贮藏下氧气含量对双孢蘑菇品质的影响[J]. 农业机械学报, 2010, 41(4): 110—113.
- WANG Juan, WANG Xiang-you, LI Xia. Effects of Oxygen Content on the Quality of *Agaricus Bisporus* under Low Temperature and Atmospheric Storage[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2010, 41(4): 110—113.
- [22] 巫光宏, 詹福建, 钱春梅, 等. 不同温度处理对草菇、真姬菇蛋白酶活性变化的影响 [J]. 华南农业大学学报, 2004, 25(2): 71—4.
- WU Guang-hong, ZHAN Fu-jian, QIAN Chun-mei, et al. Effects of Different Temperature Treatments on Protease Activity Changes of Straw Mushroom and *Pleurotus ostreatus*[J]. Journal of South China Agricultural University, 2004, 25(2): 71—74.
- [23] DEBABANDYA M, BIRA Z M, KERRY J P, et al. Postharvest Hardness and Color Evolution of White Button Mushrooms (*Agaricus Bisporus*)[J]. Journal of Food Science, 2010, 75(3): E146—E152.
- [24] LI D, QIN X, TIAN P, et al. Toughening and Its Association with the Postharvest Quality of King Oyster Mushroom (*Pleurotus Eryngii*) Stored at Low Temperature[J]. Food Chemistry, 2015, 196: 1092—1100.
- [25] 谢丽源, 郑林用, 彭卫红, 等. 不同温度对采后杏鲍菇贮藏品质的影响研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(22): 334—338.
- XIE Li-yuan, ZHENG Lin-yong, PENG Wei-hong, et al. Effects of Different Temperatures on the Storage Quality of Postharvest *Pleurotus Eryngii*[J]. Food Science and Technology, 2015, 36(22): 334—338.
- [26] 李成华, 黄文. 温度对双孢蘑菇贮藏特性影响的研究[C]// 中国菌物学会第4届会员代表大会暨全国第七届菌物学学术讨论会论文集, 2008: 5.
- LI Cheng-hua, HUANG Wen. Study on the Effect of Temperature on the Storage Characteristics of *Agaricus Bisporus*[C]// Proceedings of the 4th Member Congress of the Chinese Society of Fungi and the 7th National Symposium on Mycology, 2008: 5.
- [27] 朱继英, 王相友, 许英超. 贮藏温度对双孢蘑菇采后生理和品质的影响[J]. 农业机械学报, 2005, 36(11): 92—94.
- ZHU Ji-ying, WANG Xiang-you, XU Ying-chao. Effects of Storage Temperature on Postharvest Physiology and Quality of *Agaricus Bisporus*[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2005, 36(11): 92—94.
- [28] 许英超. 双孢蘑菇气调保鲜机理的研究[D]. 淄博: 山东理工大学, 2006.
- XU Ying-chao. Study on the Mechanism of Air-conditioning Preservation of *Agaricus Bisporus*[D]. Zibo: Shandong University of Technology, 2006.
- [29] 周晓庆, 胡蓉, 邹凯, 等. MAP技术在新鲜食用菌包装保鲜中的研究进展[J]. 包装工程, 2010, 31(15): 117—121.
- ZHOU Xiao-qing, HU Rong, ZOU Kai, et al. Research Progress of MAP Technology in Fresh Edible Fungi Packaging and Preservation[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(15): 117—121.
- [30] MURR D, MORRIS L, 钟仲贤. 气体对蘑菇贮藏的影响[J]. 食用菌, 1980(4): 46—48.
- MURR D, MORRIS L, ZHONG Zhong-xian. Effects of Gas on Mushroom Storage[J]. Edible Fungi, 1980(4): 46—48.
- [31] 曹冬洁, 王相友, 王娟. 低温气调贮藏下CO₂含量对双孢蘑菇品质的影响[J]. 农产品加工, 2016(4): 4—8.
- CAO Dong-jie, WANG Xiang-you, WANG Juan. Effects of CO₂ Content at Low Temperature and Atmospheric Storage on the Quality of *Agaricus Bisporus*[J]. Agricultural Products Processing, 2016(4): 4—8.
- [32] LOPEZ-BRIONES G, VAROQUAUX P, BUREAU G, et al. Modified Atmosphere Packaging of Common Mushroom[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2010, 28(1): 57—68.
- [33] MANGARAJ S, GOSWAMI T K, KULKARNI S D, et al. Modified Atmosphere Packaging of Fruits and Vegetables[J]. Food Science and Nutrition, 2011, 21(3):

- 309—332.
- [34] 田广瑞, 王安建, 魏书信, 等. 双孢蘑菇贮藏条件对其生理生化变化影响的研究进展[J]. 农产品加工(学刊), 2012(1): 89—92.
TIAN Guang-ru, WANG An-jian, WEI Shu-xin, et al. Research Progress of the Effects of Storage Conditions of *Agaricus Bisporus* on Physiological and Biochemical Changes[J]. Agricultural Products Processing, 2012(1): 89—92.
- [35] TOIVONEN P M A. Fresh-cut Apples: Challenges and Opportunities for Multi-disciplinary Research[J]. Canadian Journal of Plant Science, 2006, 86(5): 1361—1368.
- [36] 刘战丽, 王相友, 朱继英, 等. 高氧气调贮藏下双孢蘑菇品质和抗性物质变化[J]. 农业工程学报, 2010, 26(5): 362—366.
LIU Zhan-li, WANG Xiang-you, ZHU Ji-ying, et al. Changes in Quality and Resistant Substances of *Agaricus Bisporus* under High Oxygen Storage[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(5): 362—366.
- [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] 王洪霞, 张敏. 高氧气调包装对金针菇保鲜品质的影响[J]. 包装工程, 2013, 34(9): 18—23.
WANG Hong-xia, ZHANG Min. Effect of High Oxygen Conditioning Packaging on Fresh-keeping Quality of *Flammulina Velutipes*[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(9): 18—23.
- [39] 高巍, JP B J, OENE D, 等. 环境因子对双孢蘑菇损伤敏感性的影响[J]. 菌物学报, 2016, 35(11): 1375—1386.
GAO Wei, JP B J, OENE D, et al. Effects of Environmental Factors on the Sensitivity of *Agaricus Bisporus*[J]. Journal of the Chinese Physiology, 2016, 35(11): 1375—1386.
- [40] 孟德梅, 宋天姿, 申琳, 等. 采收期对香菇耐贮特性及抗氧化酶系统的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(2): 275—279.
MENG De-mei, SONG Tian-zi, SHEN Lin, et al. Effects of Harvesting Period on Storage Capacity and Antioxidant Enzyme System of *Lentinus Edodes*[J]. Food Science, 2011, 32(2): 275—279.
- [41] 王赵改, 杨慧, 王安建, 等. 采收期对双孢蘑菇生理特性及贮藏品质的影响[J]. 华北农学报, 2012, 27(5): 134—138.
WANG Zhao-gai, YANG Hui, WANG An-jian, et al. Effects of Harvesting Time on Physiological Characteristics and Storage Quality of *Agaricus Bisporus*[J]. ACTA North China Agricultural University, 2012, 27(5): 134—138.
- [42] 段颖. 茶薪菇贮藏特性和保鲜技术研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2005.
DUAN Ying. Study on Storage Characteristics and Preservation Technology of *Agrocybeaegerita*[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2005.
- [43] GAO W, WEIJN A, BAARS J J P, et al. Quantitative Trait Locus Mapping for Bruising Sensitivity and Cap Color of *Agaricus Bisporus* (Button Mushrooms)[J]. Fungal Genetics & Biology Fg & B, 2015, 77: 69—81.
- [44] 付艳武, 高丽朴, 王清, 等. 蔬菜预冷技术的研究现状[J]. 保鲜与加工, 2015, 15(1): 58—63.
FU Yan-wu, GAO Li-pu, WANG Qing, et al. Research Status of Vegetable Pre-cooling Technology[J]. Preservation and Processing, 2015, 15(1): 58—63.
- [45] 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.
DENG Dong-quan, SUN Heng, XIAO You-ming, et al. Current Status and Development Prospect of Vacuum Precooling Technology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2002, 23(7): 73—75.
- [46] BARNARD N. Some Experiments in Vacuum Cooling[J]. Mushroom Journal, 1974(14): 48—51.
- [47] DIAMANTOPOULOU P, PHILIPPOUSSIS A. Cultivated Mushrooms: Preservation and Processing[M]. Boca Raton: CRC Press, 2015: 495—526.
- [48] ZHENG L, SUN D W. Vacuum Cooling of Foods[J]. Emerging Technologies for Food Processing, 2005, 34(7): 35—37.
- [49] 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.
YE Wei, LI Bao-guo. Vacuum Precooling *Agaricus Bisporus* and Its Storage and Preservation Process[J]. Food and Fermentation Industry, 2016, 42(2): 203—207.
- [50] 陶菲, 张懋, 余汉清, 等. 不同真空预冷终温对双孢蘑菇保鲜的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2005, 24(3): 39—43.
TAO Fei, ZHANG Min, YU Han-qing, et al. Effects of Different Vacuum Pre-cooling Final Temperatures on the Preservation of *Agaricus Bisporus*[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2005, 24(3): 39—43.
- [51] CALEB O J, MAHAJAN P V, AL-SAID A J, et al. Modified Atmosphere Packaging Technology of Fresh and Fresh-cut Produce and the Microbial Consequences—A Review[J]. Food & Bioprocess Technology, 2013, 6(2): 303—329.
- [52] SANDHY A. Modified Atmosphere Packaging of Fresh

- Produce: Current Status and Future Needs[J]. *LWT-food Science and Technology*, 2010, 43(3): 381—392.
- [53] 高银. 食用菌保鲜技术研究进展[J]. *种业导刊*, 2007(7): 33—34.
- GAO Yin. Research Progress in Edible Fungus Preservation Technology[J]. *Seed Industry Guide*, 2007(7): 33—34.
- [54] XUE Z, HAO J, YU W, et al. Effects of Processing and Storage Preservation Technologies on Nutritional Quality and Biological Activities of Edible Fungi: a Review: Effects of Processing and Preservation Technologies on Edible Fung[J]. *Journal of Food Process Engineering*, 2016, 40(3): 262—271.
- [55] BELAY Z A, CALEB O J, OPARA U L. Modelling Approaches for Designing and Evaluating the Performance of Modified Atmosphere Packaging (MAP) Systems for Fresh Produce: a Review[J]. *Food Packaging & Shelf Life*, 2016, 10: 1—15.
- [56] RUX G, MAHAJAN P V, LINKE M, et al. Humidity-Regulating Trays: Moisture Absorption Kinetics and Applications for Fresh Produce Packaging[J]. *Food & Bioprocess Technology*, 2016, 9(4): 1—8.
- [57] LIU Z L, WANG X Y, ZHU J Y, et al. Effect of High Oxygen Modified Atmosphere on Post-harvest Physiology and Sensorial Qualities of Mushroom[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2010, 45(6): 1097—1103.
- [58] LI Y, ISHIKAWA Y, SATAKE T, et al. Effect of Active Modified Atmosphere Packaging with Different Initial Gas Compositions on Nutritional Compounds of Shiitake Mushrooms (*Lentinus Edodes*)[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2014, 92(2): 107—113.
- [59] GUILLAUME C, SCHWAB I, GASTALDI E, et al. Biobased Packaging for Improving Preservation of Fresh Common Mushrooms (*Agaricus Bisporus* L)[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2010, 11(4): 690—696.
- [60] 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 in Extending the Storage Period of Fruits and Vegetables by Modified Atmosphere Packaging[J]. *Printed Today*, 2018(10): 61—64.
- [61] GHOLAMI R, AHMADI E, FARRIS S. Shelf life Extension of White Mushrooms (*Agaricus Bisporus*) by Low Temperatures Conditioning, Modified Atmosphere, and Nanocomposite Packaging Material[J]. *Food Packaging & Shelf Life*, 2017, 14: 88—95.
- [62] 王治洲, 道日娜, 徐畅, 等. PBAT/PCL 可降解气调保鲜膜对双孢菇的保鲜效果[J]. *食品工业*, 2018, 39(4): 118—124.
- WANG Zhi-zhou, DAO Ri-na, XU Chang, et al. Fresh-keeping Effect of PBAT/PCL Degradable Modified Plastic Wrap on *Agaricus Bisporus*[J]. *Food Industry*, 2018, 39(4): 118—124.
- [63] SHI C, WU Y, FANG D, et al. Effect of Nanocomposite Packaging on Postharvest Senescence of *Flammulina Velutipes*[J]. *Food Chemistry*, 2018, 246: 414.
- [64] DHALSAMANT K, DASH S K, BAL L M, et al. Effect of Perforation Mediated MAP on Shelf Life of Mushroom (*Volvariella Volvacea*)[J]. *Scientia Horticulturae*, 2015, 189: 41—50.
- [65] 程曦, 张敏, 傅阳, 等. 减压贮藏对双孢菇保鲜品质的影响[J]. *食品与机械*, 2016, 32(8): 110—114.
- CHENG Xi, ZHANG Min, FU Yang, et al. Effects of Vacuum Storage on Fresh-keeping Quality of *Agaricus Bisporus*[J]. *Food & Mechanical*, 2016, 32(8): 110—114.
- [66] 杨兆丹, 邸倩倩, 刘斌, 等. 蘑菇真空预冷后的减压贮藏效果研究[J]. *食品科技*, 2015, 40(11): 314—317.
- YANG Zhao-dan, QI Qian-qian, LIU Bin, et al. Study on the Effect of Vacuum Storage after Vacuum Precooling of Mushrooms[J]. *Food Science and Technology*, 2015, 40(11): 314—317.
- [67] 李志刚, 宋婷, 冯翠萍, 等. 不同温度对杏鲍菇减压贮藏品质的影响[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(3): 332—338.
- LI Zhi-gang, SONG Ting, FENG Cui-ping, et al. Effects of Different Temperatures on the Decompression Storage Quality of *Pleurotus Eryngii*[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(3): 332—338.
- [68] 杨华, 喻歆茹, 钱德康, 等. 超高压处理对鲜杏鲍菇品质的影响[J]. *现代食品科技*, 2014, 30(12): 164—169.
- YANG Hua, YU Xin-ru, QIAN De-kang, et al. Effect of Ultra High Pressure Treatment on the Quality of Fresh *Pleurotus Eryngii*[J]. *Modern Food Science & Technology*, 2014, 30(12): 164—169.
- [69] MATSER A M, KNOTT E R, TEUNISSEN P G M, et al. Effects of High Isostatic Pressure on Ushrooms[J]. *Journal of Food Engineering*, 2000, 45(1): 11—16.
- [70] 陈锡威, 楼雄珍, 王允祥. 超高压对鸡腿菇营养成分的影响[J]. *食品工业科技*, 2008, 29(7): 228—229.
- CHEN Xi-wei, LUO Xiong-zhen, WANG Yun-xiang. Effects of Ultra High Pressure on the Nutritional Composition of *Coprinus Comatus*[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2008, 29(7): 228—229.
- [71] 楼雄珍, 王允祥, 吴峰华, 等. 超高压处理对双孢菇蛋白质量的影响[J]. *现代农业科技*, 2008(3): 5—6.

- LOU Xiong-zhen, WANG Yun-xiang, WU Feng-hua, et al. Effect of Ultra High Pressure Treatment on Protein Content of *Agaricus Bisporus*[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2008(3): 5—6.
- [72] 周存山, 王允祥, 杨虎清, 等. 超高压处理对鸡腿菇菌落总数的影响[J]. 中国食用菌, 2008, 27(4): 24—27.
- ZHOU Cun-shan, WANG Yun-xiang, YANG Hu-qing, et al. Effect of Ultra-high Pressure Treatment on the Total Number of Colonies of *Coprinus Comatus*[J]. Chinese Journal of Edible Fungi, 2008, 27(4): 24—27.
- [73] AKRAM K, KWON J H. Food Irradiation for Mushrooms: a Review[J]. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry, 2010, 53(3): 257—265.
- [74] 赵喜亭, 周颖媛, 邵换娟. 果蔬贮藏辐照保鲜技术研究进展[J]. 北方园艺, 2013(20): 169—172.
- ZHAO Xi-ting, ZHOU Ying-yuan, SHAO Huan-juan. Research Progress in Irradiation Preservation Technology for Fruit and Vegetable Storage[J]. Northern Horticulture, 2013(20): 169—172.
- [75] ICGFI T. Enhancing Food Safety Through Irradiation[J]. ICGFI Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture, 2013, 24(2): 19—25.
- [76] GAUTAM S, SHARMA A, THOMAS P. Gamma Irradiation Effect on Shelf-life, Texture, Polyphenol Oxidase and Microflora of Mushroom (*Agaricus Bisporus*)[J]. International Journal of Food Sciences & Nutrition, 1998, 49(1): 5—10.
- [77] WANI A M, HUSSAIN P R, MEENA R S, et al. Effect of Gamma Irradiation and Sulphitation Treatments on Keeping Quality of White Button Mushroom *Agaricus Bisporus* (J Lge)[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2010, 44(5): 967—973.
- [78] FERNANDES Â, BARREIRA J C M, GÜNAYDI T, et al. Effect of Gamma Irradiation and Extended Storage on Selected Chemical Constituents and Antioxidant Activities of Sliced Mushroom[J]. Food Control, 2016(6): 328—337.
- [79] GUAN W, FAN X, YAN R. Effect of Combination of Ultraviolet Light and Hydrogen Peroxide on Inactivation of *Escherichia Coli* O157:H7, Native Microbial Loads, and Quality of Button Mushrooms[J]. Food Control, 2013, 34(2): 554—559.
- [80] ZEYNEP SEVIMLI Y, MOREIRA R G, ELENA C P. Combined Vacuum Impregnation and Electron-beam Irradiation Treatment to Extend the Storage Life of Sliced White Button Mushrooms(*Agaricus Bisporus*)[J]. Journal of Food Science, 2014, 79(1): E39—E46.
- [81] 张娟琴, 邢增涛, 白冰, 等. 电子束辐照对双孢菇采后品质的影响[J]. 核农学报, 2011, 25(1): 88—92.
- ZHANG Juan-qin, XING Zeng-tao, BAI Bing, et al. Effects of Electron Beam Irradiation on Postharvest Quality of *Agaricus Bisporus*[J]. Chinese Journal of Nuclear, 2011, 25(1): 88—92.
- [82] KOORAPATI A, FOLEY D, PILLING R, et al. Electron-beam Irradiation Preserves the Quality of White Button Mushroom (*Agaricus Bisporus*) Slices[J]. Journal of Food Science, 2010, 69(1): SNQ25—SNQ9.
- [83] 王毓宁, 胡花丽, 孙娅, 等. 保鲜剂对双孢菇褐变的影响[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(5): 1141—1145.
- WANG Yu-ning, HU Hua-li, SUN Ya, et al. Effects of Preservatives on Browning of *Agaricus Bisporus*[J]. Journal of Jiangsu Agricultural Sciences, 2012, 28(5): 1141—1145.
- [84] 孙娅, 李志强, 王毓宁, 等. 采后钙处理对双孢菇贮藏生理的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(2): 322—326.
- SUN Ya, LI Zhi-qiang, WANG Yu-ning, et al. Effects of Postharvest Calcium Treatment on the Storage Physiology of *Agaricus Bisporus*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(2): 322—326.
- [85] GUPTA P. Efficacy of Different Washing Treatments on Quality of Button Mushrooms (*Agaricus Bisporus*)[J]. Journal of Food Processing & Technology, 2016, 35 (7): 6—10.
- [86] DOKHANIEH A Y, AGHDAM M S. Postharvest Browning Alleviation of *Agaricus Bisporus* Using Salicylic Acid Treatment[J]. Scientia Horticulturae, 2016, 207: 146—151.
- [87] DUNCAN E M, BEELMAN R B. Preservation Compositions and Methods for Mushrooms: US, 5919507[P]. 2000-03-08.
- [88] 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, 2010, 66(2): 362—326.
- [89] 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.
- [90] 吕佳美悦, 牛荣丽. 壳聚糖天然保鲜剂的研究进展[J]. 中国医药科学, 2012, 2(3): 29—31.
- LYU Jia-mei-yue, Niu Rong-li. Research Progress of Chitosan Natural Preservatives[J]. Journal of Chinese Medical Sciences, 2012, 2(3): 29—31.
- [91] 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.

- ZHANG Yu-hang, WANG Bao-gang, XING Shu-jie. Effects of Bamboo Juice Combined with Chitosan on Fresh-keeping Effect of *Agaricus Bisporus*[J]. China Food Additives, 2014(4): 122—126.
- [92] NASIRI M, BARZEGAR M, SAHARI M A, et al. Application of Tragacanth Gum Impregnated with Satureja Khuzistanica Essential Oil as a Natural Coating for Enhancement of Postharvest Quality and Shelf Life of Button Mushroom (*Agaricus Bisporus*)[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 106: 218—226.
- [93] HRICOVA D, STEPHAN R, ZWEIFEL C. Electrolyzed Water and Its Application in the Food Industry[J]. J Food Prot, 2008, 71(9): 1934—1947.
- [94] SHIGENOBU K, SEIICHIRO I, KAZUHIKO I. Efficacy of Acidic Electrolyzed Water Ice for Pathogen Control on Lettuce[J]. Journal of Food Protection, 2004, 67(11): 2544—2549.
- [95] DING T, RAHMAN S M E, OH D H. Inhibitory Effects of Low Concentration Electrolyzed Water and Other Sanitizers Against Foodborne Pathogens on Oyster Mushroom[J]. Food Control, 2011, 22(2): 318—322.
- [96] ADAY M S. Application of Electrolyzed Water for Improving Postharvest Quality of Mushroom[J]. LWT-food Science and Technology, 2016, 68: 44—51.
- [97] YINGYIN X, YING T, RUONAN M, et al. Effect of Plasma Activated Water on the Postharvest Quality of Button Mushrooms, *Agaricus Bisporus*[J]. Food Chemistry, 2016, 197(Pt A): 436—444.
- [98] KANOFISKY J R, SIMA P. Singlet Oxygen Production from the Reactions of Ozone with Biological Molecules[J]. Journal of Biological Chemistry, 1991, 266(14): 9039—9042.
- [99] PRABHA V, BARMA D, SINGH R, et al. Ozone Technology in Food Processing: a Review[J]. Indian Institute of Crop Processing Technology, 2015, 8(16): 4031—4047.
- [100] 张佳佳, 蒋益虹, 邵永华, 等. 湿冷与臭氧技术在双孢蘑菇保鲜上的应用[J]. 中国食品学报, 2008, 8(6): 75—81.
- ZHANG Jia-jia, JIANG Yi-hong, SHAO Yong-hua, et al. Application of Wet Cooling and Ozone Technology in Preservation of *Agaricus Bisporus*[J]. Chinese Journal of Food Science, 2008, 8(6): 75—81.
- [101] AKATA I, TORLAK E, ERCI F. Efficacy of Gaseous Ozone for Reducing Microflora and Foodborne Pathogens on Button Mushroom[J]. Postharvest Biology & Technology, 2015, 109: 40—44.