

# 不同保鲜处理对平菇生理代谢的影响

孙亚男<sup>1,2</sup>, 李文香<sup>1,2</sup>

(1. 青岛农业大学 食品科学与工程学院, 山东 青岛 266109; 2. 山东省应用真菌重点实验室, 山东 青岛 266109)

**摘要:**以新鲜平菇为试材,分别用 1-甲基环丙烯(1-MCP)、抗坏血酸(VC)、水杨酸(SA)对平菇进行处理,以空白组为对照(CK),在模拟超市冷鲜货架温湿度条件(温度约 $(14\pm 1)^{\circ}\text{C}$ ,贮藏环境相对湿度约 85%)下,研究不同保鲜处理对平菇生理代谢的影响。结果表明:与对照相比,保鲜处理可显著抑制平菇的感官品质、可溶性固形物含量、可溶性蛋白质含量、总糖含量的下降,抑制甲醛含量上升( $P<0.05$ );与抗坏血酸和水杨酸处理相比,1-甲基环丙烯处理可显著抑制平菇失重率、呼吸强度、甲醛含量的上升,显著抑制平菇的感官品质、可溶性固形物含量、可溶性蛋白质含量、总糖含量的下降( $P<0.05$ )。3 种不同保鲜处理方法以 1-甲基环丙烯处理对平菇的保鲜效果最佳。

**关键词:**平菇;保鲜;1-甲基环丙烯(1-MCP);抗坏血酸(VC);水杨酸(SA);甲醛

**中图分类号:**S 646.1<sup>+</sup>4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)13-0147-05

平菇(*Pleurotus ostreatus*)属担子菌亚门、层菌纲、伞菌目、侧耳科、侧耳属<sup>[1-2]</sup>,学名侧耳,是目前我国生产量最大的食用菌,其栽培量居世界第一。随着健康饮食观念的不断深入,平菇以其高蛋白、低脂肪及药食兼用的特点,越来越受消费者的青睐,需求量逐年增加。新鲜平菇含水量高达 90%以上,且组织脆嫩,表面无保护组织。采后呼吸代谢旺盛,货架期非常短。但其又多以鲜活形式上市,采后如果处理不当,经过 2~3 d 就开始腐烂变质,失去商品价值,因此在平菇采后要进行一定的保鲜处理<sup>[3-4]</sup>。适宜的保鲜处理能避免其因生理活动和机械损伤导致的过早失水、组织结构老化及致病菌感染等问题,且操作简便。

自 2012 年青岛市场平菇甲醛含量超标事件在媒体曝光后,各级政府和广大消费者一直十分关注“菜篮子”的质量安全。针对平菇甲醛事件给众多食用菌生产者带来的困惑和经济上的巨大损失,近年来,围绕平菇、金针菇等食用菌的物流过程展开研究与探索,发现平菇、

金针菇等食用菌采后甲醛含量的变化与其采后保鲜方法密切相关<sup>[5]</sup>。

1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)作为一种乙烯抑制剂,能有效减少乙烯等促进果蔬后熟衰老物质的生成,并具有稳定、高效和无毒的优点,在延缓果实成熟衰老方面受到越来越多的重视<sup>[6-7]</sup>。水杨酸(SA)是一种广泛存在的植物内源性天然无毒的酚类化合物,能调节植物体内的活性氧代谢,诱导抗氧化酶活性提高,延缓采后果蔬成熟衰老<sup>[8]</sup>。抗坏血酸(VC)具有良好的抗氧化作用,能加强细胞活性,中和、过滤蔬果释放的乙烯气体转化为二氧化碳和水,从而显著减缓平菇蛋白质含量的下降和膜脂过氧化产物的积累,维持膜的完整性<sup>[9]</sup>。该研究以平菇为试材,利用不同的保鲜处理方法,探讨其对平菇生理代谢的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试平菇于 2014 年 11 月 20 日上午采摘于城阳喜盈门生物科技公司的平菇生产基地,选择现蕾后 5 d 的平菇,其子实体约八成熟,采摘菇体大小均匀、朵形正常、新鲜有光泽、无病虫害、无机械损伤的平菇共 35 kg。采后立即运回青岛农业大学食品学院教学实习基地冷库,在 $(1\pm 0.5)^{\circ}\text{C}$ 冷库中预冷 4 h 后,清除菇朵基部栽培基质,并将菇柄基部老化部分剪掉,备用。

1-MCP 贴购于台湾利统股份有限公司。电子分析天平(奥豪斯国际贸易(上海)有限公司);ZA-70B 打浆机(天津市康达电器有限公司);745 型紫外可见分光光度

**第一作者简介:**孙亚男(1990-),女,硕士研究生,研究方向为生鲜农产品贮藏加工。E-mail:18765906735@163.com.

**责任作者:**李文香(1963-),女,博士,教授,硕士生导师,现主要从事生鲜农产品贮藏加工等研究工作。E-mail:xiang7332@126.com.

**基金项目:**山东省现代农业产业技术体系建设经费资助项目(SDAIT-11-011-09);2014 年山东省农业重大应用技术创新资助项目。

**收稿日期:**2016-02-14

计(上海光谱仪器有限公司);WAY-2S 数字阿贝折射仪(上海精密科学仪器有限公司);RE-52AA 旋转蒸发器(上海亚荣生化仪厂);HHs 型电热恒温水浴锅(天津市华北实验仪器有限公司)。

## 1.2 试验方法

将整理好的平菇分成 4 组,每组 2.5 kg 放入储藏箱内,在第 1 组平菇表面放入 1-MCP 贴 1 张,在其表面均匀喷洒少许蒸馏水,密封贮藏;第 2 组平菇喷洒 1%抗坏血酸(VC),密封贮藏;第 3 组平菇喷洒 1%水杨酸(SA),密封贮藏;第 4 组不做处理(CK),密封贮藏。将不同保鲜方法处理的平菇置于模拟超市生鲜食品货架温湿度条件下,即温度约(14±1)℃,贮藏环境相对湿度控制在 85%,进行贮藏试验,每天随机取样进行各项指标的测定。每处理重复 3 次,结果取平均值。

## 1.3 项目测定

1.3.1 失重率 采用质量法测定。失重率(%) =  $(M_0 - M_i) / M_0 \times 100$ 。式中, $M_0$ :样品的原始质量(g); $M_i$ :样品贮藏  $i$  天后的质量(g)。

1.3.2 感官评定 以平菇的气味、形态、子实体表面气生菌丝生长状况、质地为评定指标,挑选 10 位具有专业感官评分经验人员采用 10 分制法对不同包装的平菇进行感官评定<sup>[10]</sup>。各评定指标的权重见表 1,其具体评分标准见表 2。

表 1 各评定指标的权重

Table 1 The weight function of each evaluation index

评定指标 Evaluation index	气味 Smell	形态 Form	气生菌丝生长情况 Aerial hyphae	质地 Texture
权重 The weight function	1.6	2.4	2.8	3.2

表 2 各指标的评分标准

Table 2 Each index of the scoring criteria

评定指标 Evaluation index	分值 Score	感官表现 Sensory
气味 Smell	1.2~1.6	清新菇味
	0.8~1.2	菇味变淡,无异味
	0.4~0.8	轻微异味
	<0.4	明显异味
形态 Form	1.8~2.4	朵型完整,边缘内卷,无开伞、无机械损伤
	1.2~1.8	朵型基本完整,少量边缘出现裂痕
	0.6~1.2	1/2 菇朵开伞、边缘裂开
	<0.6	2/3 以上菇朵开伞、边缘裂开
气生菌丝 Aerial hyphae	2.1~2.8	无气生菌丝生长
	1.4~2.1	菇柄与菌盖相连处有微量气生菌丝
	0.7~1.4	菇柄与菌盖相连处有明显气生菌丝
	<0.7	菇柄和菌盖表面均有大量气生菌丝
质地 Texture	2.4~3.2	坚挺、有弹性
	1.6~2.4	较坚挺,较有弹性
	0.8~1.6	较软,略有弹性
	<0.8	松软,无弹性

注:感官分值<2.5 分即已失去商品价值。

1.3.3 其它指标测定 呼吸强度:在室温条件下,采用静置法测定<sup>[11]</sup>;可溶性固形物含量采用阿贝折射仪法测定;可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝法测定<sup>[11]</sup>;总糖含量采用苯酚-硫酸法测定<sup>[11]</sup>;甲醛含量采用乙酰丙酮分光光度法测定<sup>[12]</sup>。

## 1.4 数据分析

数据采用 Excel 和 SPSS 软件进行数据处理和差异显著性分析, $P<0.05$  表示具有统计学意义。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同保鲜处理对平菇失重率的影响

失重率变化与平菇的新鲜度密切相关,是平菇采后重要的品质指标之一<sup>[13]</sup>。由图 1 可见,4 种不同处理的平菇,失重率均随着贮藏时间的延长而不断增加。在整个贮藏过程中,对照组的失重率显著高于 3 种保鲜处理组( $P<0.05$ ),说明保鲜处理可降低平菇采后贮藏的失重率。1-MCP 处理的平菇失重率显著低于 SA 处理和 VC 处理的平菇失重率( $P<0.05$ ),表明 1-MCP 处理对抑制平菇失重率上升效果明显。在贮藏前期,平菇的失重率增加较快,从第 3 天开始增加较缓慢,这可能是由于新鲜平菇游离态水分所占比重大,容易失去水分导致的,随着结合态水分比重增大,平菇表皮组织逐渐干缩,水分的流失越来越困难,失重率的变化幅度也就随之减小。

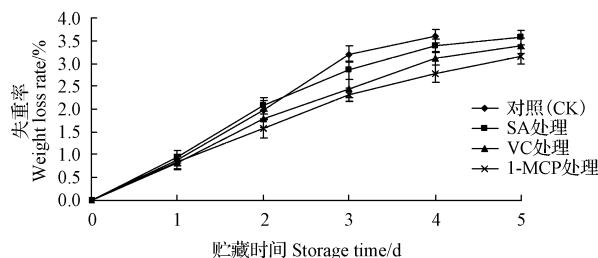


图 1 不同保鲜处理对平菇失重率的影响

Fig. 1 The effect of different preservation treatments on weight loss rate of *Pleurotus ostreatus*

### 2.2 不同保鲜处理对平菇感官品质的影响

感官品质是平菇采后品质评价的重要指标之一,直接影响人们的消费欲<sup>[14]</sup>。由表 3 可以看出,不同保鲜处理的平菇,感官分值均随着贮藏时间的延长呈下降趋势。与对照组相比,保鲜处理能较好保持平菇的感官品质。其中,在贮藏的前期,3 种保鲜处理的平菇感官分值差异不显著( $P>0.05$ );贮藏 2 d 后,1-MCP 处理的平菇感官分值显著比 SA 处理和 VC 处理的平菇感官分值下降速度缓慢( $P<0.05$ ),而 VC 处理比 SA 处理的平菇感官分值下降速度缓慢( $P<0.05$ )。至贮藏结束时,以 1-MCP 处理的平菇感官分值最高,说明 1-MCP 处理对保持平菇感官品质效果明显。

表 3

不同处理组平菇感官评分结果

Table 3

*Pleurotus ostreatus* sensory score result under different treatment groups

处理 Treatment	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d
对照(CK)	9.65±0.24A	8.24±0.28A	6.65±0.14A	5.21±0.13A	—
SA处理	9.65±0.24A	8.18±0.31A	6.52±0.29B	5.51±0.25B	4.24±0.36A
VC处理	9.65±0.24A	8.95±0.20B	7.33±0.16C	6.30±0.20C	5.08±0.27B
1-MCP处理	9.65±0.24A	8.89±0.25B	7.45±0.24D	6.66±0.22D	5.57±0.24C

注:每列中相同小写字母代表无显著性差异,不同字母代表有显著性差异, $P<0.05$ 。

### 2.3 不同保鲜处理对平菇呼吸强度的影响

呼吸作用是生物有机体采收后重要的生理活动之一,是生命活动的重要标志<sup>[15]</sup>。呼吸代谢强度的大小与品质变化的快慢密切相关<sup>[16]</sup>。由图2可以看出,随着贮藏时间的延长,不同处理的平菇呼吸强度均呈“先升后降”的变化趋势,这是因为平菇采收后继续进行呼吸作用,达到生理上的完全成熟后随着呼吸基质的损耗而随之下降。对照组与SA处理组在贮藏的第2天出现呼吸高峰,VC处理组与1-MCP处理组在贮藏的第3天出现呼吸高峰。在整个贮藏期间,1-MCP处理的平菇呼吸强度显著低于对照组、SA处理和VC处理( $P<0.05$ ),这可能是因为1-MCP可削弱呼吸跃变型果实的呼吸速率,延迟果实乙烯高峰的出现,因此使用1-MCP保鲜处理可有效推迟平菇的后熟。

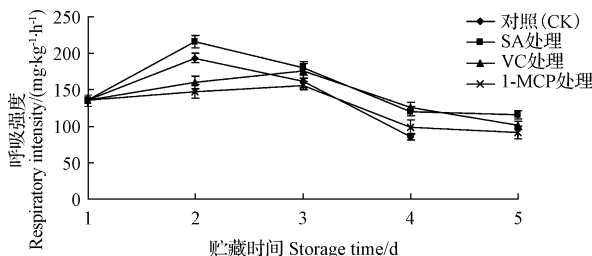


图2 不同保鲜处理对平菇呼吸强度的影响

Fig. 2 The effect of different preservation treatments on respiratory intensity of *Pleurotus ostreatus*

### 2.4 不同保鲜处理对平菇可溶性固形物含量的影响

可溶性固形物在食品中可用作评价食品品质的指标,其含量与成熟程度相关<sup>[17]</sup>。由图3可以看出,随着贮藏时间的延长,不同处理的平菇可溶性固形物含量均呈“先升后降”的变化趋势,这可能是由于可溶性固形物作为呼吸作用的基质,随呼吸作用的进行被逐渐消耗而下降。与对照组相比,保鲜处理可显著抑制平菇可溶性固形物含量的下降( $P<0.05$ );1-MCP处理的平菇可溶性固形物含量显著高于SA处理和VC处理( $P<0.05$ )。1-MCP可以延缓平菇等采收后需要经过后熟果实贮藏初期可溶性固形物的上升和贮藏后期可溶性固形物的下降,说明1-MCP可抑制果实中淀粉转化和可溶性糖降解。

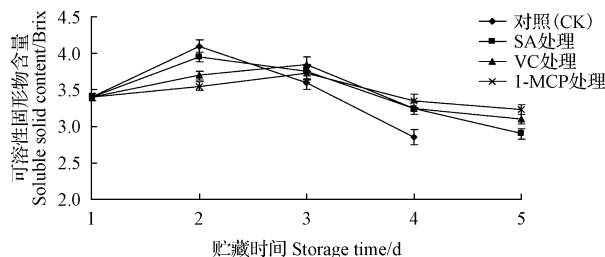


图3 不同保鲜处理对平菇可溶性固形物含量的影响

Fig. 3 The effect of different preservation treatments on soluble solid content of *Pleurotus ostreatus*

### 2.5 不同保鲜处理对平菇可溶性蛋白质含量的影响

由图4可以看出,在整个贮藏期间,不同处理的平菇其可溶性蛋白质含量均随着贮藏时间的延长呈下降趋势。在贮藏前3d,1-MCP处理的平菇可溶性蛋白质含量显著高于对照处理、SA处理和VC处理的平菇的可溶性蛋白质含量( $P<0.05$ )。而从4d之后,1-MCP处理和VC处理的平菇可溶性蛋白质含量差异不显著( $P>0.05$ ),且二者均显著高于对照处理与SA处理的平菇可溶性蛋白质的含量( $P<0.05$ )。这可能是因为平菇体内的可溶性蛋白质大多是参与各种代谢的酶类,1-MCP对乙烯的抑制作用与脂氧合酶(lipoxygenase, LOX)活性变化有很密切的关系,所以,1-MCP处理能保持平菇较高的可溶性蛋白质含量。

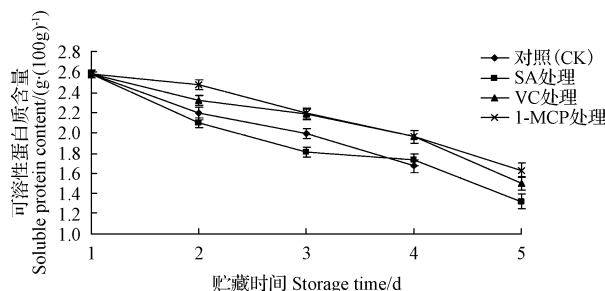


图4 不同保鲜处理对平菇可溶性蛋白质含量的影响

Fig. 4 The effect of different preservation treatments on soluble protein content of *Pleurotus ostreatus*

### 2.6 不同保鲜处理对平菇总糖含量的影响

由图5可以看出,随着贮藏时间的延长,4种不同处理的平菇其多糖含量均呈逐渐降低的变化趋势。其中,在贮藏前3d,3种保鲜处理的平菇多糖含量差异不显著



( $P>0.05$ ),但显著高于对照组;但从贮藏的第3天开始,1-MCP处理的平菇多糖含量显著高于SA处理和VC处理的平菇多糖含量( $P<0.05$ ),而SA处理和VC处理的平菇多糖含量差异不显著( $P>0.05$ )。表明1-MCP处理能有效抑制平菇中多糖的降解速率。

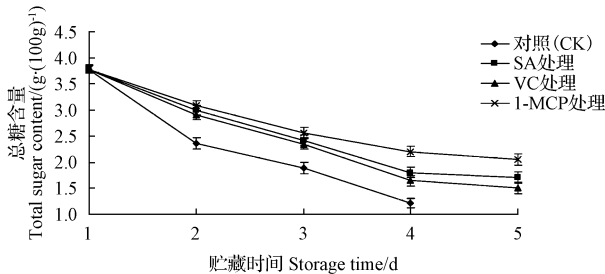


图5 不同保鲜处理对平菇总糖含量的影响

Fig. 5 The effect of different preservation treatments on total sugar content of *Pleurotus ostreatus*

## 2.7 不同保鲜处理对平菇甲醛含量的影响

由图6可以看出,随着贮藏时间的延长,整个贮藏过程中4种不同处理的平菇子实体的甲醛含量均呈逐渐升高的变化趋势。在贮藏期间,与对照组对比,保鲜处理平菇能在很大程度上抑制甲醛含量的上升;1-MCP处理和VC处理的平菇甲醛含量的上升趋势显著低于SA处理( $P<0.05$ );VC处理和1-MCP处理的平菇甲醛含量差异不显著( $P>0.05$ )。至贮藏结束,以1-MCP处理的平菇甲醛含量最低,所以1-MCP处理的平菇对抑制甲醛含量上升效果最为明显。

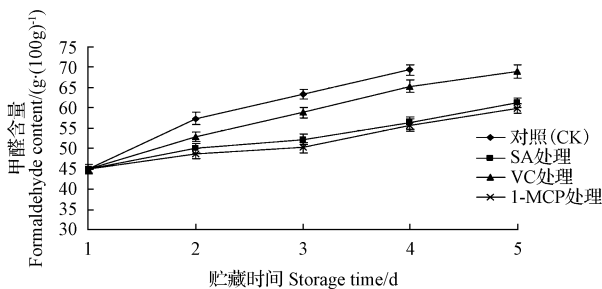


图6 不同保鲜处理对平菇总甲醛含量的影响

Fig. 6 The effect of different preservation treatments on formaldehyde content of *Pleurotus ostreatus*

## 3 讨论与结论

平菇采收后贮藏过程中,随着贮藏时间的延长,菇体水分逐渐散失并伴随着糖、蛋白质的降解,平菇子实体糖分和可溶性蛋白质含量的降低是平菇品质下降的主要方面。用1-MCP处理平菇,可显著提高平菇的感官品质,该结论与SUN等<sup>[16]</sup>研究结果一致;1-MCP处理可抑制平菇呼吸代谢强度,减缓可溶性固形物、糖分、可溶性蛋白质含量的下降速度,与孙希生等<sup>[18]</sup>和TRINCHERO等<sup>[19]</sup>研究结论相符。

该研究发现,平菇子实体在采收之初即有一定的甲醛含量,表明平菇子实体中较低浓度的甲醛是在其生长发育及成熟衰老过程中,通过自身的生理生化代谢产生,而非人为添加<sup>[20]</sup>。随着平菇贮藏时间的延长,菇体中甲醛含量逐渐上升,而用1-MCP处理的平菇,可显著抑制甲醛含量的上升。这可能是在平菇的衰老过程中,随着乙烯代谢量的增加,引起平菇子实体正常代谢平衡被破坏,导致甲醛类物质的积累;而用1-MCP处理平菇,可抑制乙烯的生理作用,从而降低乙烯对正常生理代谢的破坏,减少平菇内甲醛的形成与积累。

经保鲜处理的平菇在贮藏期间其各项生理代谢指标均优于空白处理;其中,1-MCP处理的平菇在贮藏期间呼吸强度、失重率、甲醛含量均得到显著的抑制,且能较好保持平菇的感官品质和总糖、可溶性蛋白质等营养指标。综合上述研究结果以及前人的研究报道,认为1-MCP处理平菇可抑制内源甲醛的形成与乙烯的生理作用密切相关,但内源甲醛的形成机制及代谢途径尚有待进一步探讨。

## 参考文献

- [1] 李文香,赵淑芳,樊铭聪,等.不同保鲜膜对平菇保鲜效果的影响[J].中国农学通报,2015,31(26):84-89.
- [2] 李文香,王士奎,樊铭聪,等.3种不同贮藏方式对平菇保鲜品质的影响[J].中国食用菌,2014,33(2):53-56.
- [3] 付伟,焦云红,王更先,等.复方保鲜剂在平菇采收后保鲜中的应用研究[J].北方园艺,2014(18):151-154.
- [4] 张莉,刘林德,丁涓,等.平菇复合保鲜剂的筛选及保鲜效果[J].食品科学,2011,31(2):314-317.
- [5] 张丽,王丽媛,刘进杰,等.一种香菇复合保鲜剂的筛选[J].食品科学,2008,29(8):628-632.
- [6] 李志强,汪良驹,王文辉,等.1-甲基环丙烯延缓果实衰老的生理效应及其应用[J].植物生理学通讯,2007,43(1):201-206.
- [7] 徐慧君,边才苗,王锦文.3种食用菌营养成分的测定[J].安徽农业科学,2010,38(14):7544-7546.
- [8] CHOI H, KIM G H. Quality changes in *Pleurotus ostreatus* during modified atmosphere storage as affected by temperatures and packaging material[J]. Acta Horticultural, 2003, 628:357-362.
- [9] 孟雪娇,邸昆,丁国华.水杨酸在植物体内的生理作用研究进展[J].中国农学通报,2010,26(15):207-214.
- [10] LI F J, ZHANG X H, SONG B C, et al. Combined effects of 1-MCP and MAP on the fruit quality of pear (*Pyrus bretschneideri* Reld cv. Laiyang) during cold storage[J]. Sci Horticulture, 2013, 164:544-551.
- [11] 曹健康,姜微波,赵玉梅,等.果蔬采收后生理生化实验指导[M].北京:中国轻工业出版社,2007.
- [12] 王冬芬,李道敏.乙酰丙酮法测香菇中的甲醛[J].河南预防医学,2014,25(1):40-41.
- [13] ANTMANN G, ARES G, LEMA P, et al. Influence of modified atmosphere packaging on sensory quality of shiitake mushrooms[J]. Postharvest Biology Technology, 2008, 49:164-170.
- [14] DEEPAK R, MICHIIKO S, RYOIC M. Effect of modified atmosphere (MA) packaging on glutathione and some other qualitative parameters of hiratake mushroom[J]. J Jpn Soc Hort Sci, 2000, 69(4):435-439.

- [15] 李琛,翁桢. 鲜食平菇在贮运过程中品质变化研究[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(12): 3696-3699.
- [16] SUN X J, BAI Y, DUONG A, et al. Formaldehyde in China: Production, consumption, exposure levels, and health effects[J]. Environ Int, 2009, 35(8): 1210-1224.
- [17] 俞其林, 励建荣. 食品中甲醛的来源与控制[J]. 现代食品科技, 2007, 23(10): 76-78.

- [18] 孙希生, 王志华, 辛广, 等. 不同处理条件下 1-MCP 对金冠苹果呼吸强度和品质的影响[J]. 果树学报, 2004, 21(2): 141-144.
- [19] TRINCHERO G D, SOZZI G O, COVATTA F. Inhibition of ethylene action by 1-methylcyclopropene extends postharvest life of 'Bartlett' pears[J]. Postharvest Biol Technol, 2004, 32: 193-204.
- [20] 李文香, 孙亚男, 赵淑芳, 等. 不同通透性保鲜膜对平菇品质及其内源甲醛含量的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(11): 4489-4495.

## Effect of Different Preservation Treatments on *Pleurotus ostreatus* Physiological Metabolism

SUN Yanan<sup>1,2</sup>, LI Wenxiang<sup>1,2</sup>

(1. Food Science and Engineering College, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109; 2. Shandong Provincial Laboratory of Applied Mycology, Qingdao, Shandong 266109)

**Abstract:** The aim of the present work was to compare the effect of three different kinds of preservation methods, including 1-methylcyclopropene(1-MCP), vitamin C(VC) and salicylic acid(SA) on *Pleurotus ostreatus* fresh-keeping under the condition of simulated cold fresh supermarket shelf temperature and humidity (temperature around  $(14 \pm 1)^\circ\text{C}$ , storage environment relative humidity around 85%). The results showed that compared with treatment of blank space, preservation treatments could improve the quality; compared with vitamin C (VC) and salicylic acid (SA) treatment, *Pleurotus ostreatus* with 1-MCP could reduce the postharvest weight loss, respiration intensity and formaldehyde, maintain higher sensory score, soluble solid, soluble protein, total sugar content. Under the condition of *Pleurotus ostreatus* with 1-MCP, the fresh-keeping effect was the best.

**Keywords:** *Pleurotus ostreatus*; fresh-keeping; 1-MCP; VC; SA; formaldehyde

## 平 菇

### 知识窗

【别名】侧耳、耳菇、北风菌、蚝菌。

【来源】为担子菌纲伞菌目白蘑科侧耳属(平菇属)植物侧耳 *Pleurotus ostreatus* (Jacq-exFr.) Quel. 的子实体。

【产地】我国各地区均有栽培。

【形态特征】平菇由菌丝体和子实体组成。菌丝体是白色、多细胞分枝的丝状体。子实体丛生或叠生,分为菌盖和菌柄2个部分。菌盖呈贝壳形或舌状,褶长,延生。菌柄生于菌盖一侧(偏生或侧生),白色,中实,柄着生处下凹。孢子圆柱形,无色,光滑。

【采收加工】采收方法:一手摁住培养料,另一只手握住菌柄部位旋转扭下,轻放于篮子里,勿使菌盖破裂。

【营养成分】平菇蛋白质含量高,氨基酸、维生素(硫胺素、核黄素、烟酸)和矿质元素(磷、铁、钾)含量丰富。

【性味归经】性平,味甘。入肝、胃经。

【功效】补虚,抗癌。适宜体质虚弱、气血不足、营养不良者食用;适宜癌症患者食用;适宜高血压病、高血脂症、动脉硬化、冠心病者食用。

【食用方法】素炒或制成荤菜皆可。



(来源:食用本草·上卷)