

DOI:10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.90123

# 臭氧熏蒸浓度对双孢蘑菇质构及营养品质的影响

Effects of different concentrations of ozone fumigation on the storage quality of *Agaricus bisporus*

刘晨霞<sup>1,2</sup> 乔勇进<sup>1,2</sup> 田姗姗<sup>1,2,3</sup>

LIU Chen-xia<sup>1,2</sup> QIAO Yong-jin<sup>1,2</sup> TIAN Shan-shan<sup>1,2,3</sup>

姚连谋<sup>1,2</sup> 丁文峰<sup>4</sup>

YAO Lian-mou<sup>1,2</sup> DING Wen-feng<sup>4</sup>

(1. 上海市农业科学院农产品保鲜加工研究中心, 上海 201403; 2. 上海农产品保鲜加工工程技术研究中心, 上海 201403; 3. 安顺学院, 贵州 安顺 561000; 4. 上海联中食用菌专业合作社, 上海 201516)  
(1. Agri-Food Storage and Processing Research Center, Shanghai Academy of Agriculture Sciences, Shanghai 201403, China; 2. Shanghai Agri-Food Storage and Processing Engineering Technology Research Center, Shanghai 201403, China; 3. Anshun University, Anshun, Guizhou 561000, China; 4. Shanghai Lianzhong Edible Fungus Professional Cooperative, Shanghai 201516, China)

**摘要:**目的:延长双孢菇采后贮藏保鲜期。方法:以 A15 双孢蘑菇为试材,采用不同质量浓度臭氧(14.89, 29.77, 44.65 mg/m<sup>3</sup>)熏蒸处理,分析双孢菇在(1±1)℃冷库贮藏期间感官、质构和营养品质的变化。结果:贮藏第 8 天, 29.77 mg/m<sup>3</sup> 臭氧熏蒸处理延缓了双孢蘑菇硬度的降低,保持了较好的弹性、凝聚性和回复性,抑制了可溶性固形物、可溶性蛋白和维生素 C 的下降。结论:29.77 mg/m<sup>3</sup> 臭氧熏蒸处理的双孢菇贮藏期可延长至 8 d。

**关键词:**双孢蘑菇;臭氧;熏蒸;质构;贮藏;营养品质

**Abstract:** Objective: This study aimed to investigate the effects of different concentrations of ozone fumigation on the texture and nutritional quality of post-harvest *Agaricus bisporus* during cool storage. Methods: 'A15' *A. bisporus* was treated with ozone gas with concentrations of 14.89, 29.77 and 44.65 mg/m<sup>3</sup> respectively, and the changes in related indicators of each group during (1±1)℃ storage were analyzed, such as sensory, texture and nutrition. Results: When stored for 8 days, 29.44 mg/m<sup>3</sup> ozone fumigation treatments effectively maintained good springiness,

**基金项目:**上海市现代农业产业技术体系建设项目(编号:沪农科产字[2018]第 9 号);上海市科学技术委员会科技创新基地项目(编号:19DZ2251600);上海市科学技术委员会科研计划项目(编号:21 DZ2292200)

**作者简介:**刘晨霞,女,上海市农业科学院农产品保鲜加工研究中心助理研究员,硕士。

**通信作者:**乔勇进(1967—),男,上海市农业科学院农产品保鲜加工研究中心研究员,博士。

E-mail: yjqiao2002@126.com

**收稿日期:**2021-11-29

cohesiveness and resilience, and delayed the decrease of the sensory quality, hardness, soluble solids, vitamin C and soluble protein content. **Conclusion:** The 29.77 mg/m<sup>3</sup> ozone fumigation treatment of *A. bisporus* can most effectively to maintain its storage with an extension to 8 days.

**Keywords:** *Agaricus bisporus*; ozone; fumigation; texture; storage; nutritional quality

双孢蘑菇(*Agaricus bisporus*)俗称口蘑、白蘑菇,富含维生素和多糖,具有高蛋白、低脂肪、低热量的优点<sup>[1]</sup>,有“世界菇”“保健食品”和“素中之王”美誉<sup>[2]</sup>。双孢菇是呼吸跃变型菌菇,采后常温贮藏时其高代谢活性和高呼吸频率<sup>[3]</sup>,使得水分易蒸发、营养消耗较快,出现菌盖开伞、菌膜破裂、子实体萎缩,同时由于其子实体无明显保护结构,采收和贮藏期间不可避免的机械损伤和病菌微生物侵染极易引起褐变、腐烂和变质,保鲜期仅 1~3 d<sup>[4-6]</sup>。目前乙醇熏蒸<sup>[7]</sup>、涂膜保鲜<sup>[8]</sup>、气调保鲜<sup>[9]</sup>、低压贮藏<sup>[10]</sup>、高压二氧化碳处理<sup>[11]</sup>等技术已被应用于双孢菇采后贮藏保鲜研究中,但由于乙醇熏蒸速率和浓度控制不精准、涂膜处理操作复杂,气调、减压和高压二氧化碳成本较高,在实际生产中推广应用难度较大。

臭氧气体熏蒸因扩散性好、浓度均匀、彻底无死角、无残留、无污染、费用低等优点已成为目前较为先进的杀菌保鲜技术之一。其一方面能消除乙烯、乙醛、乙醇等果蔬呼吸所释放出的有害物质,钝化相关酶活性,降低呼吸强度,延缓果蔬后熟、衰老<sup>[12-13]</sup>。另一方面能使微生物

细胞膜通透性发生改变,对细胞不饱和脂肪酸和酶系统造成破坏,导致微生物代谢异常,起到抑菌、灭菌的作用<sup>[13-15]</sup>。目前,有关臭氧气体在果蔬采后保鲜技术应用、品质变化及果蔬致病微生物抑制等方面的研究较多,故将其应用于双孢菇保鲜中具有一定的理论基础和良好的适用性<sup>[16]</sup>。研究拟采用不同浓度的臭氧气体对双孢菇进行熏蒸保鲜处理,通过 TPA 测试模仿人的口腔咀嚼来表现其质地结构,结合传统感官描述和营养检测技术,探究不同浓度臭氧对双孢菇质地和组织结构的变化及贮藏保鲜效果,旨在为双孢菇采后品质保持和贮藏期延长提供理论依据和技术参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

A15 双孢蘑菇:采后当天运至冷库,筛选大小一致、无机械损伤的双孢蘑菇,于温度(1±1)℃、湿度(90±5)%冷库中预冷 12 h,再次筛选并分组、编号,上海联中食用菌专业合作社;

2,6 二氯酚靛蓝、抗坏血酸标准品、考马斯亮蓝 G-250、牛血清蛋白质、蔗糖标、茚三酮、萘酚、乙酸乙酯、浓硫酸、谷氨酸标准品、亮氨酸标准品等:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

臭氧发生器: SX-500 型,奥奈特环保电子(上海)有限公司;

电子天平: BSA2202S 型,德国赛多利斯公司;

酶标仪:  $\mu$ Quant 型,美国伯腾仪器有限公司;

质地分析仪: Stable Micro Systems 型,英国 Stable Micro Systems 公司;

全自动样品冷冻研磨仪: JX-FSTPR-1 型,上海净信科技有限公司;

分光测色计: CM-5 型,日本柯尼卡美能达株式会社;

水分测定仪: V20S 型,瑞士梅特勒-托利多公司;

数字折光仪: MZB 92 型,上海米清科工业有限公司;

高速冷冻离心机: H1850R 型,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;

水浴锅: TSGP05 型,美国 VWR 公司。

### 1.3 试验分组及处理

将预冷后的双孢蘑菇分为 4 组,每组 18 盒,每盒 250~300 g,以不通臭氧处理作为对照(CK),其他 3 组双孢蘑菇分别放入长×宽×高为 62 cm×43 cm×35 cm 的密闭塑料箱中,采用臭氧产量为 500 mg/h 的臭氧发生器分别处理 10,20,30 s,使箱内(G1、G2、G3)臭氧质量浓度分别为 14.89,29.77,44.65 mg/m<sup>3</sup>,室温静置 0.5 h,取出双孢蘑菇整齐摆放入 PP 塑料盒并用 0.03 mm 的低密度聚乙烯保鲜膜覆盖,于温度(1±1)℃、湿度(90±5)%冷库中分别贮藏 0,2,4,6,8,10 d,每次每组取 3 盒进行相关指标测定。

### 1.4 指标测定

1.4.1 感官评分 参照史君彦等<sup>[17]</sup>的方法并修改,按表 1 对双孢菇形态、腐烂程度、气味、色泽、质地进行评价,多次评分后取平均值。

1.4.2 质地测试 在双孢菇菌盖顶端中心进行质地多面剖析(TPA)测定,选用 P/1S 球形探头,测前、中、后速率均为 1 mm/s;压缩距离 6 mm;触发值 5 g,测定参数包括硬度、弹性、凝聚性和回复性。

### 1.4.3 营养指标测定

(1) 可溶性固形物(TSS)含量:折光仪测定法<sup>[18]</sup>。

(2) 可溶性糖含量:萘酚试剂法<sup>[18]</sup>。

(3) 可溶性蛋白质含量:考马斯亮蓝法<sup>[18]</sup>。

(4) 维生素 C 含量:2,6 二氯酚靛蓝滴定法<sup>[18]</sup>。

### 1.5 数据处理

采用 Origin Pro 9.0 软件制图,通过 SPSS 17.0 软件进行显著性分析。字母不同表示在  $P < 0.05$  时差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 感官评分

由图 1 可知,随着贮藏时间的延长,双孢菇感官评分直线式下降,整个贮藏期 CK 和 G3 的下降速率显著高于 G1 和 G2( $P < 0.05$ )。贮藏第 0~4 天,各组双孢菇气味清

表 1 双孢菇的感官评定标准

Table 1 Sensory evaluation standard of *Agaricus bisporus*

评分	形态	腐烂程度	气味	色泽	质地
8~10	菇型良好,未开伞	无腐烂	清新浓郁菇香	洁白	丰满有弹性
6~8	菇型较好,未开伞	无腐烂	清新菇香,无异味	洁白	稍软、稍失弹性
4~6	菇体略有缩水,变小程度不明显,有开伞前兆	轻微腐烂,腐烂面积≤25%	淡淡菇香,无异味	稍褐变	变软
2~4	菇体失水,出现萎蔫,轻微开伞	腐烂,腐烂面积≤50%	有淡淡异味,但不明显	明显褐变、出现黑斑	明显变软
0~2	菇体严重失水,明显变小,全部开伞	严重腐烂,腐烂面积>50%	异味较明显	严重褐变、黑斑	严重软烂

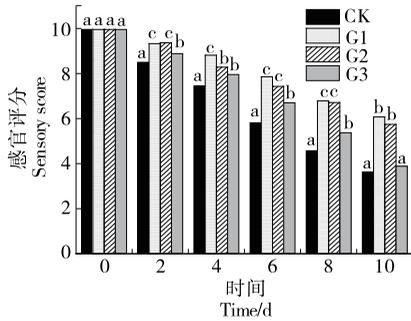


图 1 臭氧熏蒸对双孢蘑菇感官品质的影响

Figure 1 Effects of different concentrations of ozone fumigation on the sensory quality of *Agaricus bisporus*

香、未开伞,子实体表面洁白而富有弹性,品质良好。贮藏后期,双孢菇表面褐变、出现开伞、腐烂和异味,尤其是贮藏第 8~10 天,CK 和 G3 的感官评分分别下降了 63.55% 和 61.11%,子实体失水,出现萎蔫和开伞,与空气直接接触的表皮氧化褐变,腐败加重,失去商业价值,而 G1 和 G2 的感官评分仍较高。G1 和 G2 臭氧熏蒸处理的双孢菇在第 10 天的感官评分为 5.5~6.5 且差异不显著,说明较低浓度的臭氧熏蒸能够延缓双孢菇子实体表面褐变程度和开伞率,有效维持双孢菇的商品品质。

### 2.2 硬度

由图 2 可知,双孢菇硬度随贮藏时间的延长逐渐下降,一方面是由于蛋白质变性、多糖物质降解,另一方面是由于采后后熟过程中液泡破裂、菌丝收缩,使得细胞间隙变大,导致硬度下降<sup>[19-20]</sup>。贮藏第 10 天,CK 和 G2 的硬度下降最快,G1 和 G3 的较慢,且 G1 和 G3 之间差异不显著,但显著高于 CK 和 G2 的( $P < 0.05$ ),说明 G1 和 G3 的臭氧处理能够延缓双孢菇硬度的下降,可能是 G1 和 G3 的臭氧延缓了双孢菇在贮藏过程中的成熟衰老速率,与 CK 和 G2 相比,细胞壁中原果胶降解速率较低,组织细胞间结合力相对较高、分散度较低,从而保持了较好的硬度<sup>[21]</sup>。

### 2.3 质构品质

由图 3 可知,随着贮藏时间的延长,双孢菇弹性、凝聚性和回复性等变化趋势大体相同且呈“上升—下降—上升”趋势,贮藏第 0~4 天,双孢菇弹性、凝聚性和回复性逐渐增加,表示子实体弹性增强,细胞间结合力增高,压缩后回复性增加,可能是低温条件下双孢菇呼吸代谢虽有所抑制但仍在继续,消耗能量使得双孢菇开始逐渐后熟,组织松软。贮藏第 6 天,双孢菇表面因高代谢活性和高呼吸频率使得子实体衰老,硬度迅速下降,组织细胞受到损伤发生轻微果肉自溶,此时双孢菇弹性、凝聚性和回复性也迅速降低。贮藏第 6~8 天,双孢菇开始萎缩,组织结构韧性增强而不松散,且自溶引起菇体表面产生

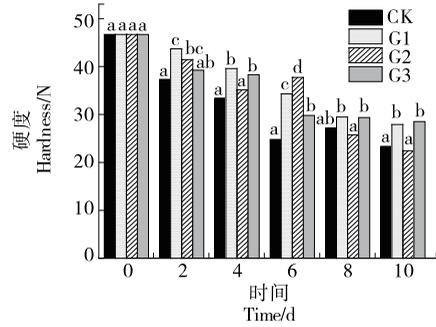


图 2 臭氧熏蒸对双孢蘑菇硬度的影响

Figure 2 Effects of different concentrations of ozone fumigation on the hardness of *Agaricus bisporus*

黏液,从而使弹性上升,凝聚性和回复性增加。贮藏第 10 天,CK 的弹性显著高于各臭氧处理组的( $P < 0.05$ ),说明 CK 双孢菇表面黏附性较强,自溶较为严重,臭氧处理能降低双孢菇衰老和自溶速率;CK 和 G3 的凝聚性差异较小,但显著高于 G1 和 G2 的( $P < 0.05$ ),此时 CK 和 G3 的回复性显著高于 G1 和 G2 的( $P < 0.05$ ),与贮藏第 8 天相比,G1 和 G2 臭氧处理组双孢菇回复性无明显变化,表明 G1 和 G2 能够较好地保持双孢菇组织结构,维持菇体紧密度和韧性,对双孢菇采后质构品质的保持具有较好的作用。

### 2.4 可溶性固形物(TSS)和水分含量

由图 4 可知,双孢菇水分和 TSS 含量并不是单一地增加或减少,而呈波折性的变化,且二者大体呈相反的变化趋势,主要是由于可溶性固形物含量是组织中溶于水的物质,当双孢菇水分含量升高时,可溶性固形物相对含量就会降低。贮藏第 2 天,CK 组双孢菇水分含量下降了 1.72%,臭氧熏蒸处理组保持较好。随着贮藏时间的延长,水分含量逐渐上升,TSS 逐渐降低,可能是由于双孢菇的高代谢活性和高呼吸频率使得双孢菇逐渐衰老,TSS 作为呼吸底物被消耗,组织细胞受到损伤,导致溶酶体破裂,溶酶体酶被释放,细胞被溶酶体酶降解,从而发生轻微自溶,外观表现为果肉溶解,水分含量增高。贮藏第 8 天,G2 双孢菇水分含量显著低于 CK 和其他处理组,说明该浓度臭氧能显著抑制衰老速率,抑制子实体自溶。贮藏第 10 天,各组水分差异不显著,G1 和 G2 的 TSS 含量显著高于 CK 和 G3( $P < 0.05$ ),说明 G1 和 G2 臭氧处理能在一定程度上延缓双孢菇 TSS 含量的下降。

### 2.5 营养品质

由图 5(a)可知,低温贮藏期间,各组双孢菇可溶性糖含量变化并不呈单一的上升或下降趋势,而是一个较为复杂的变化过程,与 Donker 等<sup>[22]</sup>的结果一致。随着贮藏时间的延长,CK、G1 和 G3 的可溶性糖含量在第 4 天发生了跃变式增长,达到贮藏期峰值,G2 在第 6 天达到峰值,其中 CK 和 G3 的可溶性糖峰值含量显著高于 G1 和 G2 的( $P < 0.05$ ),但 CK 和 G3 之间、G1 和 G2 之间差异

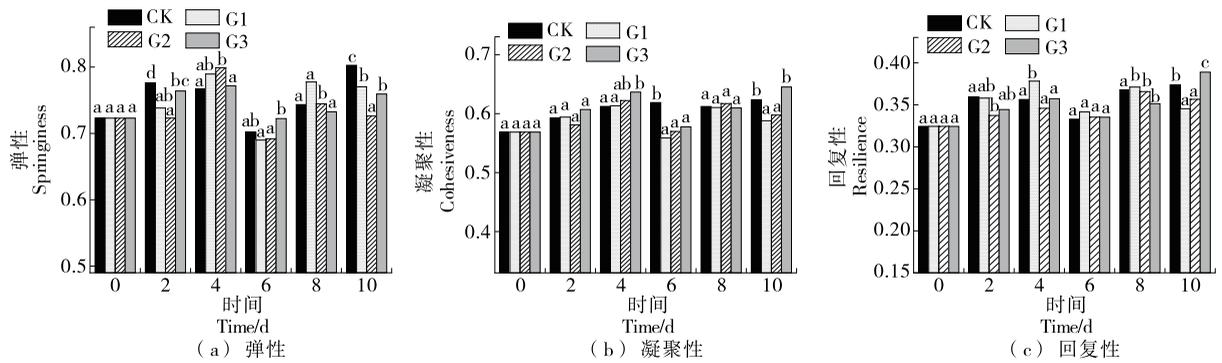


图3 臭氧熏蒸对双孢蘑菇弹性、凝聚性和回复性的影响

Figure 3 Effects of different concentrations of ozone fumigation on the springiness, cohesiveness and resilience of *Agaricus bisporus*

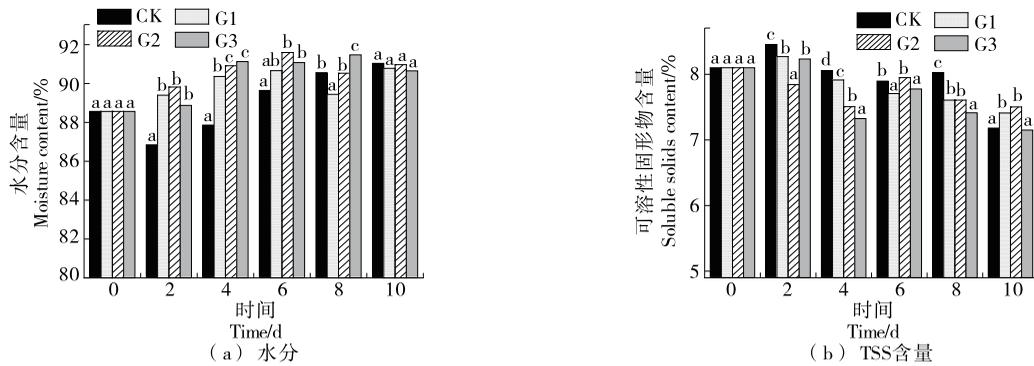


图4 臭氧熏蒸对双孢蘑菇水分和 TSS 含量的影响

Figure 4 Effects of different concentrations of ozone fumigation on the moisture and total soluble solid content of *Agaricus bisporus*

不显著,可能是双孢菇采后主要呼吸基质甘露醇的消耗具有滞后性,而 G2 浓度的臭氧熏蒸使甘露醇的消耗滞后了 2 d<sup>[23-24]</sup>。贮藏第 6~10 天,双孢菇逐渐衰老,品质劣变,可溶性糖含量逐渐下降,且各组之间无显著性差异。

由图 5(b)可知,贮藏期间,各组双孢菇可溶性蛋白含量变化趋势为“上升—下降—上升—下降”。贮藏第 0~2 天,各组双孢菇可溶性蛋白含量上升且差异不显著,可能是因为双孢菇自身合成蛋白引起蛋白质含量的增加,

随着新陈代谢的不断进行,自身营养物质被消耗,子实体组织中一些蛋白质降解酶活性增强,蛋白质水解,为保证生命活动的正常进行其组织内代谢水平处于动态变化。与贮藏第 0 天相比,第 10 天的 CK 和各臭氧组可溶性蛋白含量分别下降了 0.08%,0.12%,0.03%,0.04%,是由于蛋白分解速度加快,不仅可溶性蛋白水解,膜结合蛋白也会水解,导致组织衰老<sup>[25-26]</sup>,说明 G2 和 G3 臭氧处理对可溶性蛋白消耗的抑制效果优于 CK 和 G1。

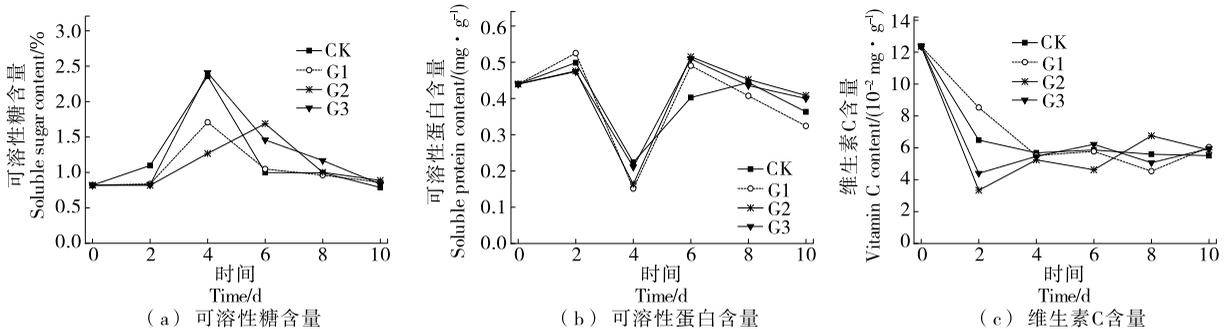


图5 臭氧熏蒸对双孢蘑菇可溶性糖、可溶性蛋白和维生素 C 含量的影响

Figure 5 Effects of different concentrations of ozone fumigation on the soluble sugar, soluble protein, and vitamin C content of *Agaricus bisporus*

由图 5(c)可知,贮藏第 2 天,双孢菇为适应低温环境,呼吸作用和氧化作用增强,维生素 C 含量急剧下降,分别下降了 47.56%,31.01%,73.05%,64.45%,说明低浓度臭氧熏蒸处理在短期的低温贮藏下延缓了维生素 C 的损失,抑制了双孢菇的呼吸作用,减少了营养的消耗,而高浓度臭氧熏蒸可能对双孢菇产生了逆境胁迫,使得维生素 C 降解。随着贮藏时间的延长,双孢菇维生素 C 含量在一定范围内波动,贮藏第 8 天,G2 的维生素 C 含量显著高于 CK、G1 和 G3 的( $P < 0.05$ )。贮藏第 10 天,CK 与臭氧熏蒸组之间差异不显著,说明当贮藏时间延长至 10 d 时,臭氧处理对双孢菇维生素 C 含量的保持并无明显作用,其作用机制仍需进一步研究。

### 3 结论

试验表明,臭氧处理能够保持双孢菇较好的外观品质、质构品质和营养品质。贮藏第 8 天,29.77 mg/m<sup>3</sup> 臭氧熏蒸处理的贮藏效果最好,双孢菇的商品性较好,其能够降低双孢菇高代谢活性和高呼吸频率,延缓衰老进程,保持较好的硬度、弹性、凝聚性和回复性等质构品质,同时抑制可溶性固形物、可溶性糖和维生素 C 的降解。而 44.65 mg/m<sup>3</sup> 的臭氧处理对维持双孢菇品质效果不如 29.77 mg/m<sup>3</sup>,可能是高浓度臭氧加快了双孢菇的膜脂过氧化程度,使得子实体出现褐变和软化,导致衰老速率加快。当贮藏期延长至 10 d 时,14.89,29.77 mg/m<sup>3</sup> 臭氧熏蒸处理对双孢菇的保鲜效果差异不大,后续需再次优化臭氧浓度,并揭示其对双孢菇代谢活性及机制的影响。

#### 参考文献

[1] 孙晓燕,郭慧,余君彤,等. 自溶对双孢菇多糖的体外抗氧化和抗肿瘤活性影响[J]. 食品科学. (2021-07-27)[2021-10-20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210727.0910.010.html>.  
SUN Xiao-yan, GUO Hui, YU Jun-tong, et al. Autolysis alters the in vitro antioxidant and antitumor activities of *Agaricus bisporus* polysaccharides[J]. Food Science. (2021-07-27)[2021-10-20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210727.0910.010.html>.

[2] NI Xiao-yu, YU Jia-hao, SHAO Ping, et al. Preservation of *Agaricus bisporus* freshness with using innovative ethylene manipulating active packaging paper [J]. Food Chemistry, 2021, 345 (8): 128757.

[3] LI Tao, ZHANG Jun, GAO Xi-yang, et al. The molecular mechanism for the ethylene regulation of postharvest button mushrooms maturation and senescence[J]. Postharvest Biology and Technology, 2019, 156: 110930.

[4] 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.

[5] 杜传来,韩玲玲. 气体吸收剂对双孢菇贮藏效果的影响[J]. 食品与机械, 2011, 27(1): 102-105.  
DU Chuan-lai, HAN Ling-ling. Effect of the gas absorbing agent on

preservation of *Agaricus bisporus*[J]. Food & Machinery, 2011, 27 (1): 102-105.

[6] CLIFFE-BYRNES V, O'BEIRNE D. Effects of gas atmosphere and temperature on the respiration rates of whole and sliced mushrooms (*Agaricus bisporus*): Implications for film permeability in modified atmosphere packages[J]. Journal of Food Science, 2007, 72(4): 197-204.

[7] 刘锦,李云云,程圣,等. 双孢菇贮藏不同时期乙醇处理对其保鲜作用研究[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(4): 227-233.  
LIU Jin, LI Yun-yun, CHENG Sheng, et al. Effect of ethanol treatment on the preservation of *Agaricus bisporus* storage in different periods[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(4): 227-233.

[8] 周振,赵立,郭圣伦,等. 双孢菇涂膜保鲜技术研究[J]. 中国果菜, 2018, 38(11): 1-5, 14.  
ZHOU Zhen, ZHAO Li, GUO Sheng-lun, et al. Study on the technology of coating preservation of *Agaricus bisporus*[J]. China Fruit & Vegetable, 2018, 38(11): 1-5, 14.

[9] DJEKIC I, VUNDUK J, TOMAŠEVIC I, et al. Total quality index of *Agaricus bisporus* mushrooms packed in modified atmosphere[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 97(9): 3 013-3 021.

[10] 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. Effect of hypobaric storage on quality of *Agaricus bisporus*[J]. Food & Machinery, 2016, 32(8): 110-114.

[11] 李静,李顺峰,田广瑞,等. 高压二氧化碳处理对双孢蘑菇贮藏品质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(2): 101-105.  
LI Jing, LI Shun-feng, TIAN Guang-rui, et al. Effect of high-pressure carbon dioxide treatment to keeping quality of button mushroom (*Agaricus bisporus*) [J]. Food & Machinery, 2016, 32(2): 101-105.

[12] SHARMA M, HUDSON J B. Ozone gas is an effective and practical antibacterial agent[J]. American Journal of Infection Control, 2008, 36(8): 559-563.

[13] KARACE H, VELIOGLU Y S. Ozone applications in fruit and vegetable processing[J]. Food Reviews International, 2007, 23(1): 91-106.

[14] FAN L, SONG J, HILDEBRAND P D, et al. Interaction of ozone and negative air ions to control microorganisms[J]. Journal of Applied Microbiology, 2002, 93(1): 144-148.

[15] ÖZTEKIN S, ZORLUGENÇ B, ZORLUGENÇ F K, et al. Effects of ozone treatment on micro flora of dried figs[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 75(3): 396-399.

[16] 邹凯,赵东方,胡蓉,等. 臭氧在鲜切果蔬保鲜中的应用[J]. 食品工业科技, 2012, 33(14): 376-379, 384.  
ZOU Kai, ZHAO Dong-fang, HU Rong, et al. Application of ozone in storage of fresh-cut fruits and vegetables[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(14): 376-379, 384.

(下转第 158 页)