

于晋泽, 李 萍, 张 娜, 等. 不同浓度臭氧对羊肚菌的保鲜作用[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(2): 494-499.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2020.02.033

不同浓度臭氧对羊肚菌的保鲜作用

于晋泽¹, 李 萍², 张 娜¹, 张志军³, 丛方地², 田 琳², 李淑芳¹

(1. 国家农产品保鲜工程技术研究中心<天津>, 天津市农产品采后生理与贮藏保鲜重点实验室, 天津 300384; 2. 天津农学院基础科学学院, 天津 300384; 3. 天津市林业果树研究所, 天津 300384)

摘要: 为了筛选最适宜羊肚菌保鲜的臭氧熏蒸浓度, 以人工种植的羊肚菌为试验材料, 贮藏前分别用 3 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 、5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 和 10 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 臭氧进行熏蒸处理, 之后用聚乙烯包装并于 1 $^{\circ}\text{C}$ 冷藏, 通过监测贮藏期间羊肚菌生理指标及感官品质的变化, 评价不同质量浓度臭氧熏蒸处理的保鲜作用。结果表明, 贮藏前用 5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 臭氧进行熏蒸, 可以有效减缓羊肚菌贮藏期间的质量损失, 减弱其呼吸强度, 降低其可溶性固形物含量的上升速度, 维持较高水平的多酚含量, 降低多酚氧化酶活性, 保持较高的过氧化物酶活性; 贮藏 35 d 时, 5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 臭氧熏蒸处理的羊肚菌感官得分显著高于空白对照和其他臭氧处理 ($P < 0.05$)。由试验结果可以看出, 贮藏前用 5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 臭氧进行熏蒸处理, 之后用聚乙烯包装贮藏, 可以有效维持羊肚菌的品质, 延长其贮藏期。

关键词: 羊肚菌; 臭氧熏蒸; 保鲜作用

中图分类号: TS 255.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2020)02-0494-06

Preservation effect of different concentrations of ozone on *Morchella*

YU Jin-ze¹, LI Ping², ZHANG Na¹, ZHANG Zhi-jun³, CONG Fang-di², TIAN Lin², LI Shu-fang¹

(1. National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products, Tianjin Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products, Tianjin 300384, China; 2. College of Basic Science, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China; 3. Tianjin Research Institute for Forestry and Pomology, Tianjin 300384, China)

Abstract: The optimum ozone fumigation concentration was screened for the preservation of *Morchella*. Artificially cultivable *Morchella* was used as the test material, and ozone fumigation treatments with concentrations of 3 $\mu\text{g}/\text{ml}$, 5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ and 10 $\mu\text{g}/\text{ml}$ were used before storage. The material was packed by polyethylene and refrigerated at 1 $^{\circ}\text{C}$, and the physiological indices and sensory qualities of *Morchella* during storage were periodically measured to evaluate the fresh-keeping effect of different treatments. The results showed that the treatment of fumigation with 5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ ozone before storage could effectively reduce the weight loss of *Morchella*, weaken the respiratory intensity and lessen the rising rate of soluble solid content during storage. In addition, under the treatment of fumigation with 5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ ozone, the polyphenol content of *Morchella* was maintained at a high level, the polyphenol oxidase (PPO) activity was reduced, and the peroxidase (POD) activity was maintained at a high level. At 35 days of storage, the sensory score of *Morchella* in the treatment of

收稿日期: 2019-09-22

基金项目: 天津市科技计划项目 (17YFYZCG00010); 天津市农业科技成果转化与推广项目 (201701100); 天津市“131”创新型人才团队项目 (20180337)

作者简介: 于晋泽 (1974-), 男, 山西忻州人, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为果蔬贮藏保鲜。(E-mail) 13032291162@126.com

通讯作者: 李 萍, (E-mail) liping790520@126.com

fumigation with 5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ ozone was significantly higher than that in the control and other treatments ($P < 0.05$). In conclusion, fumigation with 5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ ozone before storage, and then package with polyethylene can effectively maintain the quality of *Morchella* and prolong the shelf life.

Key words: *Morchella*; ozone fumigation; preservation effect

羊肚菌味道鲜美,富含蛋白质、多糖、微量元素、氨基酸等多种成分^[1-2],具有免疫调节^[3]、抗氧化^[4]、抗糖尿病^[5]、降低胆固醇^[6]等活性,在药品和保健食品方面的开发和利用价值很大。然而,羊肚菌生理代谢旺盛,水分含量高,在贮藏运输过程中易受机械损伤和微生物侵染而腐烂变质,使其食用价值和商品价值遭受损失。目前,已有一些研究报道了延长羊肚菌采后贮藏期的方法。如杨威等^[7]采用6%棘托竹荪菌丝体保鲜液对羊肚菌进行涂膜处理,有效抑制了羊肚菌营养成分的过度损失;李翔等^[8]研究发现,用0.75%壳聚糖保鲜液对羊肚菌进行涂膜处理可以减弱羊肚菌的呼吸作用,使羊肚菌在贮藏期间保持更好的外观品质和营养价值。

随着人们健康意识的增强,无残留的绿色物理保鲜技术越来越受到青睐。臭氧具有极强的氧化性,被公认是一种广谱高效的杀菌剂,可以使微生物失活,减缓或阻止微生物与食物之间因生物化学反应导致的食品腐败,具有安全、无残留等优点,属于绿色物理保鲜技术^[9-10]。近年来,臭氧在猕猴桃^[11]、蓝莓^[12]、鲜食葡萄^[13]、黑桑葚^[14]、香椿^[15]和草菇^[16]等果蔬保鲜中的研究已有报道。然而,关于臭氧对羊肚菌保鲜作用的报道很少。此外,臭氧的浓度、使用形式和处理时间都会对保鲜效果产生影响^[17-19]。本试验以人工种植的羊肚菌为试验材料,贮藏前采用臭氧熏蒸处理,之后用聚乙烯(PE)包装,并于1℃冷藏,通过监测羊肚菌在贮藏期间生理指标及感官品质的变化,评价臭氧处理的保鲜作用,以期筛选出羊肚菌最适宜的臭氧熏蒸浓度,为羊肚菌绿色物理保鲜技术的开发和应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

试验用羊肚菌于2019年4月2日采自天津市蓟州区宏庄农作物种植专业合作社,品种为六妹。聚乙烯膜厚度为0.02 mm, O₂渗透系数为7 150 ml/(m²·d), CO₂渗透系数为23 500 ml/(m²·d),透湿性为5.51 g/(m²·d),由国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津)提供。福林酚[生物试剂(BR)]、Triton x-100(BR),由上海源叶生物科技有限公司提供;邻苯二酚(分析纯)、聚乙二醇(平均相对分子质量为6 000)、愈创木酚(纯度为98%),购自上海麦克林生化科技有限公司;焦性没食子酸

(纯度>99.0%),购自上海阿拉丁试剂有限公司;醋酸钠(分析纯)、碳酸钠(分析纯),由天津市化学试剂三厂提供。

1.2 仪器与设备

3S-K10型臭氧发生器,购自北京同林高科科技有限责任公司;CheckPoint手持式气体分析仪,购自丹麦PBI-Dansensor公司;PAL-1型手持式数显折射仪,购自日本爱拓公司;UV-1800型紫外-可见分光光度计,购自日本岛津公司。

1.3 试验方法

1.3.1 羊肚菌预处理及保鲜试验 将新鲜羊肚菌采后放入泡沫箱中,在2.5 h内运输至国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津),于1℃预冷12 h。挑选3份无机械损伤、无病虫害、大小适宜的羊肚菌,分别用3 μg/ml、5 μg/ml和10 μg/ml质量浓度的臭氧熏蒸处理30 min,之后装入衬有聚乙烯膜的塑料筐内,每筐装羊肚菌300 g左右,扎口后置于1℃冷库贮藏。每个处理重复3次,将未经臭氧处理的羊肚菌直接装入PE膜中,扎口,作为空白对照。每7 d对羊肚菌的失质量率、呼吸强度、可溶性固形物含量、多酚含量、多酚氧化酶(PPO)活性、过氧化物酶(POD)活性进行测定,并对羊肚菌进行感官评价。

1.3.2 测定指标与方法

1.3.2.1 失质量率 羊肚菌在贮藏期间的失质量率计算公式为:

失质量率=(贮藏前的羊肚菌质量-测定时的羊肚菌质量)/贮藏前的羊肚菌质量×100% (1)

1.3.2.2 呼吸强度 参照姜溪雨等^[20]的方法,每个处理选取150 g左右的羊肚菌(5~6个),准确称量后放入体积为3.0 L的保鲜盒内,于1℃密闭冷藏4 h。采用手持式气体分析仪测定CO₂体积分数,按照公式(2)计算呼吸强度[mg/(kg·h),以CO₂计]:

$$\text{呼吸强度} = \frac{G \times V \times 44}{t \times m \times 22.4} \times 1\,000 \quad (2)$$

式中,G为CO₂体积分数(%),V为保鲜盒与羊肚菌的体积差(L),t为测定时间(h),m为羊肚菌质量(kg)。

1.3.2.3 可溶性固形物含量 每个处理选取4个羊肚菌,放入研钵中捣碎,取匀浆,经尼龙纱布过滤后用数显折射仪测定可溶性固形物含量^[21]。

1.3.2.4 多酚含量 根据孟丽媛等^[22]的报道,用Folin-Ciocalteu法测定多酚含量。没食子酸标准曲

线的绘制方法:称取 0.2 g 焦性没食子酸,用 75% 甲醇定容至 50 ml 后摇匀,作为母液。分别吸取 0 ml、0.2 ml、0.4 ml、0.6 ml、0.8 ml、1.0 ml 焦性没食子酸母液,用蒸馏水定容至 25 ml,分别吸取 0.5 ml 稀释后的溶液,然后加入 1.0 ml 10% Folin-Ciocalteu 试剂、3.5 ml 去离子水混匀,再加入 3.0 ml 20% 碳酸钠溶液,在室温下静置 2 h 显色。在 765 nm 处测定吸光度,以吸光度(Y , OD_{765})为纵坐标、质量浓度(c , mg/ml)为横坐标,绘制得到没食子酸标准曲线: $Y=4.0906c+0.0052$, $R^2=0.9995$ 。

样品中多酚含量的测定方法:称取 3 g 羊肚菌(精确至 0.000 1 g),加入 30 ml 75% 甲醇溶液,于 55 °C 水浴提取 3 h,再于 4 °C、15 000 r/min 离心 10 min。取 0.5 ml 上清液,加入 1.0 ml 10% Folin-Ciocalteu 试剂、3.5 ml 去离子水混匀,然后加入 3.0 ml 20% 碳酸钠溶液,在室温下静置 2 h。在 765 nm 处测定吸光度,根据没食子酸标准曲线计算样品中的多酚含量。

1.3.2.5 多酚氧化酶活性 参照曹建康等^[21]的方

法,按照公式(3)计算多酚氧化酶活性 [$U/(min \cdot g)$]:

$$\text{多酚氧化酶活性} = \frac{\Delta OD_{420} \times V}{V_s \times m} \quad (3)$$

式中, ΔOD_{420} 为 1 min 内反应混合液吸光度的变化值, V 为样品提取液总体积(ml), V_s 为测定用样品提取液的体积(ml), m 为样品质量(g)。

1.3.2.6 过氧化物酶活性 参照曹建康等^[21]的方法,按照公式(4)计算过氧化物酶活性 [$U/(min \cdot g)$]:

$$\text{过氧化物酶活性} = \frac{\Delta OD_{470} \times V}{V_s \times m} \quad (4)$$

式中, ΔOD_{470} 为 1 min 内反应混合液吸光度的变化值, V 为样品提取液总体积(ml), V_s 为测定用样品提取液的体积(ml), m 为样品质量(g)。

1.3.2.7 感官评价 选择经过培训的 6 人组成评价小组,分别从质地、腐烂情况、味道、褐变情况 4 个方面对羊肚菌进行感官评分,具体标准见表 1,取 4 项得分的总和作为评价结果。

表 1 羊肚菌的感官评价标准

Table 1 Criteria for sensory evaluation of *Morchella*

得分(分)	质地	腐烂情况	味道	褐变情况
8~9	饱满,有弹性	无水渍	无异味	菌柄洁白
6~7	稍有弹性	零星水渍	稍有异味	菌柄轻微褐变
4~5	变软	点状水渍	明显异味	菌柄稍有褐变
1~3	严重软烂或萎蔫	片状水渍样腐烂	严重异味	菌柄严重褐变

1.4 统计分析

所有指标均平行测定 3 次,以平均值±标准差作为测定结果,用 IBM SPSS Statistics 22.0 进行方差分析,用 Duncan's 多重比较进行均值间的差异显著分析, $P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同质量浓度臭氧处理对羊肚菌失质量率的影响

失水会造成羊肚菌不同程度的萎蔫,从而使其失去商品价值。由图 1 可以看出,随着贮藏时间的延长,羊肚菌的失质量率提高;贮藏 35 d 时,10 $\mu\text{g/ml}$ 臭氧处理的羊肚菌失质量率达到 2.85%,显著高于空白对照和其他臭氧处理 ($P<0.05$),3

$\mu\text{g/ml}$ 、5 $\mu\text{g/ml}$ 臭氧处理的羊肚菌失质量率分别仅为 1.22%、1.30%,显著低于空白对照 ($P<0.05$),说明这 2 个臭氧处理能够有效抑制羊肚菌贮藏期间的质量损失,使羊肚菌保持适宜的水分。

2.2 不同质量浓度臭氧处理对羊肚菌呼吸强度的影响

呼吸强度是衡量呼吸作用强弱的重要指标。由图 2 可以看出,贮藏 7 d 时,空白对照及各臭氧处理的羊肚菌均达到呼吸高峰,其中 10 $\mu\text{g/ml}$ 臭氧处理的羊肚菌呼吸强度最高,为 144.43 $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{h})$,其次是空白对照,而 3 $\mu\text{g/ml}$ 、5 $\mu\text{g/ml}$ 臭氧处理的羊肚菌呼吸强度相对较小。贮藏 35 d 时,5 $\mu\text{g/ml}$ 臭氧处理的羊肚菌呼吸强度最小,说明该质量浓度的臭氧处理可以最有效地降低羊肚菌的呼吸作用。此

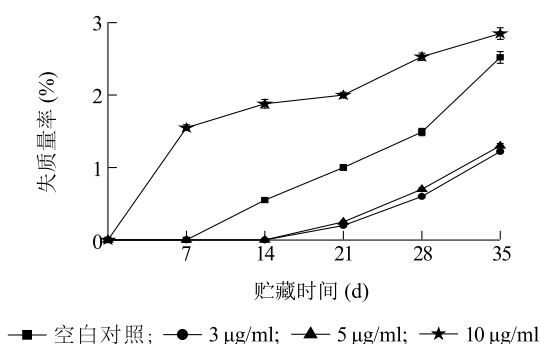


图1 不同质量浓度臭氧处理对羊肚菌失质量率的影响

Fig.1 Effects of different ozone concentrations on the weight loss rate of *Morchella*

外,郑仕宏等^[23]的研究发现,臭氧能够使晚大新高砂梨表皮的气孔缩小,从而抑制砂梨的呼吸作用。

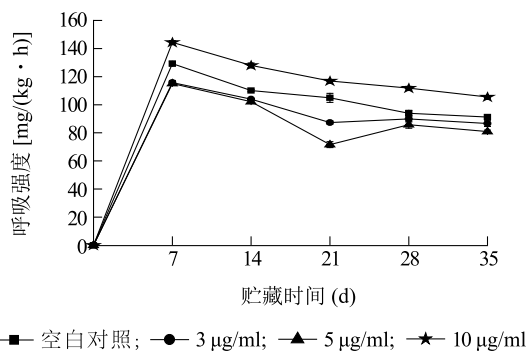


图2 不同质量浓度臭氧处理对羊肚菌呼吸强度的影响

Fig.2 Effects of different ozone concentrations on the respiratory intensity of *Morchella*

2.3 不同质量浓度臭氧处理对羊肚菌可溶性固形物含量的影响

由图3可以看出,在贮藏期间,羊肚菌可溶性固形物含量呈现先升高后降低的趋势。在贮藏前期,可溶性固形物含量的升高与羊肚菌后熟有关,而在贮藏后期,可溶性固形物含量的下降主要是由羊肚菌老化造成的。可溶性固形物含量与果蔬的成熟程度有关^[24],贮藏保鲜的目的之一就是要延缓可溶性固形物含量的上升速度^[25]。由图3还可以看出,臭氧处理的羊肚菌可溶性固形物含量在贮藏期间均低于空白对照,表明臭氧处理起到了抑制羊肚菌成熟老化的作用。5 µg/ml臭氧处理的羊肚菌可溶性固形物含量在整个贮藏期间处于最低水平,说明该处理可以有效降低羊肚菌可溶性固形物含量的上升速度。此外,滕建文等^[25]在使用臭氧对芒果进行保鲜处理时也发现了相似的结果。

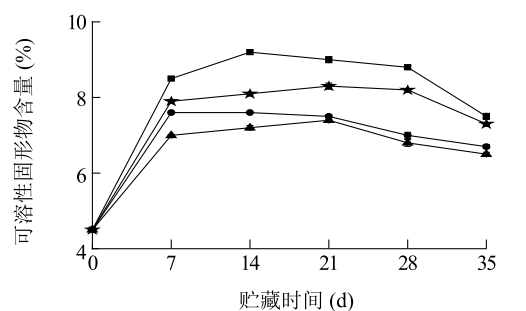


图3 不同质量浓度臭氧处理对羊肚菌可溶性固形物含量的影响

Fig.3 Effects of different ozone concentrations on the soluble solids content of *Morchella*

2.4 不同质量浓度臭氧处理对羊肚菌多酚含量的影响

由图4中各处理羊肚菌在贮藏期间多酚含量的变化情况可以看出,在贮藏期间,羊肚菌多酚含量呈现先增加后降低的趋势,臭氧处理的羊肚菌多酚含量高于空白对照,说明臭氧处理有利于维持羊肚菌的多酚含量。5 µg/ml臭氧处理的羊肚菌多酚含量在整个贮藏期间处于最高水平,贮藏35 d时,该处理羊肚菌的多酚含量为1.46 mg/g,分别比3 µg/ml、10 µg/ml臭氧处理和空白对照高0.21 mg/g、0.24 mg/g和0.31 mg/g,说明5 µg/ml臭氧处理可以最有效地降低羊肚菌的多酚损失,从而延缓其品质下降。

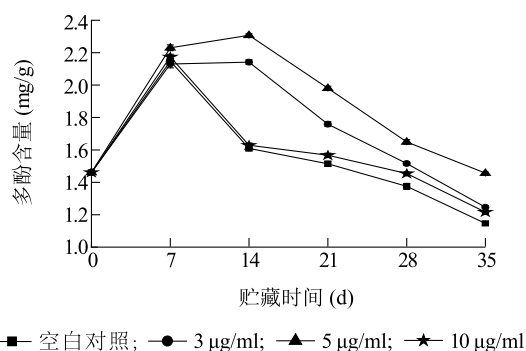


图4 不同质量浓度臭氧处理对羊肚菌多酚含量的影响

Fig.4 Effects of different ozone concentrations on the polyphenol content of *Morchella*

2.5 不同质量浓度臭氧处理对羊肚菌多酚氧化酶活性的影响

果蔬采后贮藏过程中出现的组织褐变与多酚氧化酶的活性密切相关。由图5可以看出,贮藏期间

羊肚菌的 *PPO* 活性大致呈现先下降后上升再下降的趋势,贮藏 14 d 时,羊肚菌的 *PPO* 活性达到峰值。贮藏 0~7 d, *PPO* 活性的下降是由于进入低温贮藏环境后, *PPO* 活性受到抑制造成的;贮藏 7~14 d, *PPO* 活性的上升是羊肚菌果实成熟的结果。由图 5 还可以看出,贮藏 35 d 时,5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 臭氧处理的羊肚菌 *PPO* 活性为 1.05 U/(min·g),显著低于空白对照和其他处理 ($P<0.05$),说明该处理可以有效抑制羊肚菌的 *PPO* 活性,减轻其褐变程度,从而延长其贮藏期。此外,罗文靖等^[26]也报道了臭氧处理可以有效抑制库尔勒香梨贮藏期间 *PPO* 活性的增强,从而延缓了其褐变进程。

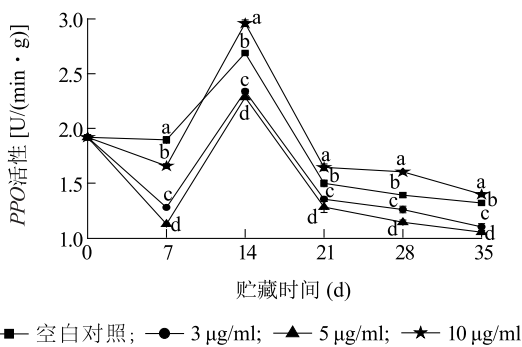


图 5 不同质量浓度臭氧处理对羊肚菌 *PPO* 活性的影响

Fig.5 Effects of different ozone concentrations on polyphenol oxidase (*PPO*) activity of *Morchella*

2.6 不同质量浓度臭氧处理对羊肚菌过氧化物酶活性的影响

过氧化物酶可以分解超氧化物歧化酶参与歧化反应产生的过氧化氢,避免活性氧的过量积累。由图 6 可以看出,贮藏 28 d 时,羊肚菌的 *POD* 活性达到峰值,随后呈现出下降的趋势;贮藏 35 d 时,5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 臭氧处理的羊肚菌 *POD* 活性为 0.059 U/(min·g),显著高于空白对照和其他臭氧处理 ($P<0.05$),分别是 3 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 、10 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 臭氧处理和空白对照羊肚菌 *POD* 活性的 1.16、1.40 和 1.23 倍,说明 5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 臭氧处理可以较好地维持羊肚菌的 *POD* 活性,从而促进羊肚菌自身有效清除体内产生的自由基,延缓品质下降。

2.7 不同质量浓度臭氧处理对羊肚菌感官得分的影响

由图 7 可以看出,随着贮藏时间的延长,羊肚菌

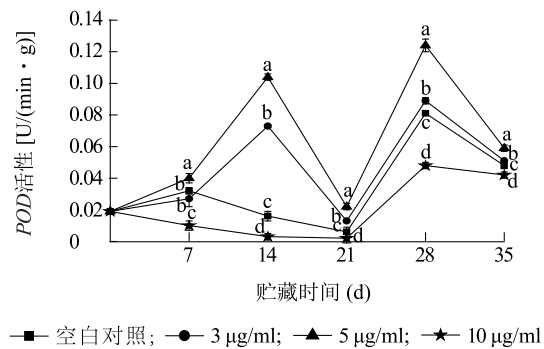


图 6 不同质量浓度臭氧处理对羊肚菌 *POD* 活性的影响

Fig.6 Effects of different ozone concentrations on peroxidase (*POD*) activity of *Morchella*

的感官得分表现出下降趋势。贮藏 14 d 开始,10 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 臭氧处理的羊肚菌感官得分最低,外观上表现为失水严重,质地萎蔫,褐变度高于空白对照和其他臭氧处理,这可能是由于 10 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 臭氧超过了羊肚菌对臭氧的最高耐受质量浓度,造成了羊肚菌的臭氧伤害^[27],这与羊肚菌失质量率、呼吸强度、*PPO* 活性和 *POD* 活性等生理指标的测定结果一致。由图 7 还可以看出,贮藏 35 d 时,5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 臭氧处理的羊肚菌感官得分显著高于空白对照和其他臭氧处理 ($P<0.05$),说明该臭氧质量浓度处理更有利于保持羊肚菌的感官品质,从而延长其贮藏期。

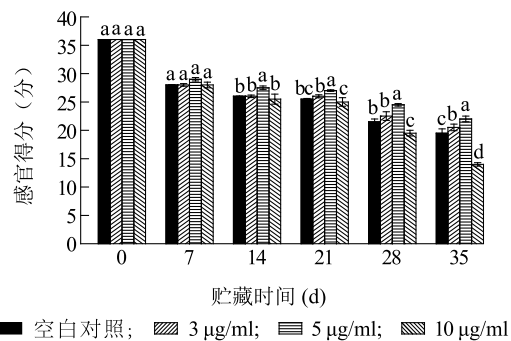


图 7 不同质量浓度臭氧处理对羊肚菌感官评价的影响

Fig.7 Effects of different ozone concentrations on sensory score of *Morchella*

3 结论

贮藏前用不同质量浓度的臭氧进行熏蒸处理对羊肚菌贮藏期间的保鲜作用不同。通过分析贮藏期

间羊肚菌的生理指标和感官评价结果可以看出,贮藏前用 5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 臭氧进行熏蒸处理,之后采用聚乙烯包装,再于 1 $^{\circ}\text{C}$ 冷藏是羊肚菌采后的最佳保鲜方式,可以有效减缓羊肚菌贮藏期间的质量损失,减弱其呼吸强度,降低其可溶性固形物含量的上升速度,使羊肚菌保持较高的多酚含量,同时减弱多酚氧化酶活性,维持较高的过氧化物酶活性,使羊肚菌保持较高的感官品质。

参考文献:

- [1] MENG X, CHE C C, ZHANG J M, et al. Structural characterization and immunomodulating activities of polysaccharides from a newly collected wild *Morchella sextelata*[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 129: 608-614.
- [2] HE S L, ZHAO K T, MA L F, et al. Effects of different cultivation material formulas on the growth and quality of *Morchella* spp. [J]. Saudi Journal of Biological Sciences, 2018, 25(4): 719-723.
- [3] CUI H L, CHEN Y, WAGN S S, et al. Isolation, partial characterisation and immunomodulatory activities of polysaccharide from *Morchella esculenta*[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2011, 91(12): 2180-2185.
- [4] GURSOY N, SARIKURKCU C, CENGİZ M, et al. Antioxidant activities, metal contents, total phenolics and flavonoids of seven *Morchella* species[J]. Food and Chemical Toxicology, 2009, 47(9): 2381-2388.
- [5] ZHAGN Q, WU C, WANG T, et al. Improvement of biological activity of *Morchella esculenta* protein hydrolysate by microwave-assisted selenization[J]. Journal of Food Science, 2019, 84(1): 73-79.
- [6] LI Y, YUAN Y, LEI L, et al. Carboxymethylation of polysaccharide from *Morchella angusticeps* Peck enhances its cholesterol-lowering activity in rats[J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 172: 85-92.
- [7] 杨威,樊建,赵天瑞.棘托竹荪菌丝体提取液对羊肚菌保鲜的研究[J].中国食用菌, 2017, 36(4): 53-57.
- [8] 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.
- [9] ONG M K, ALI A. Antifungal action of ozone against *Colletotrichum gloeosporioides* and control of papaya anthracnose[J]. Postharvest Biology and Technology, 2015, 100: 113-119.
- [10] ALEXOPOULOS A, PLESSAS S, CECIU S, et al. Evaluation of ozone efficacy on the reduction of microbial population of fresh cut lettuce (*Lactuca sativa*) and green bell pepper (*Capsicum annuum*)[J]. Food Control, 2013, 30(2): 491-496.
- [11] LUO A W, BAI J Q, LI R, et al. Effects of ozone treatment on the quality of kiwifruit during postharvest storage affected by *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum*[J]. Journal of Phytopathology, 2019, 167(7/8): 470-478.
- [12] ZHOU D D, WANG Z, TU S C, et al. Effects of cold plasma, UV-C or aqueous ozone treatment on *Botrytis cinerea* and their potential application in preserving blueberry[J]. Journal of Applied Microbiology, 2019, 127(1): 175-185.
- [13] ADMANE N, GENOVESE F, ALTIERI G, et al. Effect of ozone or carbon dioxide pre-treatment during long-term storage of organic table grapes with modified atmosphere packaging[J]. LWT - Food Science and Technology, 2018, 98: 170-178.
- [14] HAN Q, GAO H Y, CHEN H J, et al. Precooling and ozone treatments affects postharvest quality of black mulberry (*Morus nigra*) fruits[J]. Food Chemistry, 2017, 221: 1947-1953.
- [15] LIN S H, CHEN C K, LUO H X, et al. The combined effect of ozone treatment and polyethylene packaging on postharvest quality and biodiversity of *Toona sinensis* (A.Juss.) M.Roem[J]. Postharvest Biology and Technology, 2019, 154: 1-10.
- [16] 董华强,崔志新,王惠珍,等.室温臭氧保鲜草菇研究[J].中国食用菌, 1999, 18(2): 40-42.
- [17] SOUZA L P, FARONI L R A, HELENO F F, et al. Effects of ozone treatment on postharvest carrot quality[J]. LWT - Food Science and Technology, 2018, 90: 53-60.
- [18] KUMAR T B, MUTHUKUMARAPPAN K, O'DONNELL C P, et al. Modelling colour degradation of orange juice by ozone treatment using response surface methodology[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 88(4): 553-560.
- [19] 邢淑婕,刘开华.臭氧保鲜技术在刺芹侧耳低温贮藏中的应用[J].食用菌学报, 2011, 18(1): 53-58.
- [20] 姜溪雨,贾文韬,孙诗雨,等.不同厚度保鲜袋对寒富苹果保鲜效果影响[J].园艺与种苗, 2016(10): 15-18.
- [21] 曹建康,姜微波,赵玉梅.果蔬采后生理生化实验指导[M].北京:中国轻工业出版社, 2013.
- [22] 孟丽媛,王凤舞.西兰花多酚提取工艺及其抗氧化活性研究[J].中国食品学报, 2013, 13(5): 62-68.
- [23] 郑仕宏,周文化,周其中.晚大新高砂梨臭氧保鲜试验研究[J].中南林业科技大学学报(自然科学版), 2007, 27(3): 75-78.
- [24] 胡子有.金都1号火龙果果实发育过程中品质的变化规律分析[J].南方农业学报, 2018, 49(12): 2500-2505.
- [25] 滕建文,曾文谨,姬晨,等.芒果的臭氧保鲜研究[J].食品科技, 2008(8): 233-235.
- [26] 罗文靖,耿金川,陈存坤,等.臭氧处理对库尔勒香梨采后生理及贮藏品质的影响[J].食品研究与开发, 2017, 38(23): 182-187.
- [27] 李梦钗,王玉忠,温秀军,等.草莓臭氧保鲜试验初报[J].北方园艺, 2010(9): 192-193.

(责任编辑:徐艳)