



## 赵爽

北京市农林科学院农产品加工与食品营养研究所副研究员，从事农产品生理活性物质及产品加工研究 10 余年，主要侧重于食用菌活性物质的筛选和药用功能研究、活性药物包装和传输系统研究、食用菌保鲜技术研发以及功能食品和保健食品的开发，主持参加 20 余项国际级及省部级科研项目，获得省部级奖励 2 项，发表相关科技论文 30 余篇，获得国家发明专利 15 项，成功转让 3 项，开发食用菌功能产品 10 余项。

# 延长鲜切香菇货架期的保鲜工艺

赵哲坤<sup>1,2,3</sup> 吴林凤<sup>1,4</sup> 荣成博<sup>1</sup> 张函<sup>1,4</sup> 黄思诗<sup>1,4</sup> 刘宇<sup>1</sup>  
林冬梅<sup>3</sup> 赵爽<sup>1,2\*</sup>

①北京市农林科学院植物保护环境保护研究所 北京 100097

②北京市农林科学院农产品加工与食品营养研究所 北京 100097

③河北工程大学 生命科学与食品工程学院 河北 邯郸 056038

④百色学院 农业与食品工程学院 广西 百色 533000

**摘要：**通过优化最佳的鲜切香菇加工技术，延长鲜切香菇产品的货架期，为扩大工厂化生产提供依据。本研究设计了 3 种香菇清洗工艺以及 3 种气调保鲜方法，利用感官、气味和理化指标的变化来评价清洗保鲜效果。经过无菌水、次氯酸钠溶液以及未经清洗 3 种处理方式加工的鲜切香菇产品在低温储藏 120h 时，其表面微生物数量发生较大的变化，无菌水清洗处理组微生物总量达到  $4.68 \times 10^3$  CFU/g，而次氯酸钠溶液处理组和未经清洗的处理组的微生物含量分别为  $4.15 \times 10^3$  CFU/g 和  $3.05 \times 10^3$  CFU/g。对 3 种气调比例保鲜效果研究结果表明，未清洗+T1（15% CO<sub>2</sub>、5% O<sub>2</sub>、80% N<sub>2</sub>）处理组的香菇切片品质保存最好，在第 12 天时其多糖、蛋白质含量、抗坏血酸含量、类黄酮含量以及抗氧化活性达到最高，分别为 70.32mg/g、131.19mg/g、16.46mg/100g、1 272.57μg/g 和 73.02mmol/g；其总酚含量最低，为 2 133.88μg/g。通过电子鼻检测以及主成分分析（PCA）发现多种工艺组合中，未清洗+T1 处理组的香菇切片在储藏期 12d 内气

基金项目：北京市农林科学院科技创新能力建设专项（KJCX20200208）；北京市农林科学院农产品加工与营养健康协同创新中心项目（KJCX201915）

Supported by Science and Technology Innovation Capacity Construction Project of Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences (KJCX20200208), and Project of Agricultural Products Processing and Nutrition and Health Collaborative Innovation Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Science (KJCX201915).

\*Corresponding author. E-mail: shuangzhaow@126.com

ORCID: ZHAO Zhe-Kun (0000-0001-6900-8623)

Received: 2021-08-10, accepted: 2021-11-02

味变化最小, 显著优于其他处理组合。综上所述, 未清洗+T1 气体比例处理组是适宜鲜切香菇加工以及保鲜的优势工艺, 通过此方法可使鲜切香菇的货架期从 6d 延长至 12d, 对工厂化生产具有指导意义。

关键词: 香菇, 鲜切, 气调保鲜, 抗氧化活性, 电子鼻

[引用本文] 赵哲坤, 吴林凤, 荣成博, 张函, 黄思诗, 刘宇, 林冬梅, 赵爽, 2021. 延长鲜切香菇货架期的保鲜工艺. 菌物学报, 40(12): 3369-3382

Zhao ZK, Wu LF, Rong CB, Zhang H, Huang SS, Liu Y, Lin DM, Zhao S, 2021. Fresh-keeping technique for prolonging shelf life of fresh-cut *Lentinula edodes* fruiting bodies. *Mycosystema*, 40(12): 3369-3382

## Fresh-keeping technique for prolonging shelf life of fresh-cut *Lentinula edodes* fruiting bodies

ZHAO Zhe-Kun<sup>1, 2, 3</sup> WU Lin-Feng<sup>1, 4</sup> RONG Cheng-Bo<sup>1</sup> ZHANG Han<sup>1, 4</sup> HUANG Si-Shi<sup>1, 4</sup>  
LIU Yu<sup>1</sup> LIN Dong-Mei<sup>3</sup> ZHAO Shuang<sup>1, 2\*</sup>

①Institute of Plant and Environment Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China

②Institute of Agri-Food Processing and Nutrition, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China

③College of Life Sciences and Food Engineering, Hebei University of Engineering, Handan, Hebei 056038, China

④College of Agriculture and Food Engineering, Baise University, Baise, Guangxi 533000, China

**Abstract:** The aim of the study is prolonging the shelf life of fresh-cut *Lentinula edodes* products by optimizing the processing technology for applying to factory expanded production of *L. edodes* industry. Three kinds of cleaning processes and three types of air conditioning preservation methods were designed to evaluate the effects of cleaning and fresh-keeping based on the changes of sensory, odor and physicochemical indexes. The amounts of microorganism on the surface of the fresh-cut *L. edodes* slices rinsed by sterile water and sodium hypochlorite solution were significantly different as compared with unwashed slices under low temperature storage of 120h. The total amount of microorganism in sterile water rinsing treatment group reached  $4.68 \times 10^3$  CFU/g, and that in sodium hypochlorite solution treatment group and unwashed treatment group were  $4.15 \times 10^3$  CFU/g and  $3.05 \times 10^3$  CFU/g, respectively. The effects of the three kinds of air conditioning treatments showed that the unwashed slices treated by T1 (15% CO<sub>2</sub>, 5% O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> 80%) had the best preservatory quality, and the content of polysaccharide, protein, ascorbic acid, flavonoid and antioxidant activity were the highest on the 12th day, reaching 70.32mg/g, 131.19mg/g, 16.46mg/100g, 1 272.57μg/g and 73.02mmol/g, respectively, while the total phenol content was the lowest, being 2133.88μg/g. Electronic nose detection and PCA principal component analysis showed that the odor change of *L. edodes* unwashed slices treated with T1 was the least within 12 days' storage period, manifesting that the treatment was

significantly better than other treatments. In conclusion, the unwashed fresh-cut *L. edodes* treated with T1 was optimal for preservation of *L. edodes*, and the shelf-life of fresh cuttings could be extended from 6 days to 12 days.

**Key words:** *Lentinula edodes*, fresh cutting, air conditioning fresh-keeping, antioxidant activity, electronic nose

鲜切果蔬产品又称最小加工果蔬产品，通常指水果和蔬菜采后经分级、去皮、修整、切分和包装等工艺制成可供消费者直接食用或使用的产品（Wu & Wang 2017）。香菇 *Lentinula edodes* (Berk.) Pegle 是我国重要的食用菌（戴玉成等 2010；宋晓霞等 2021），其口味鲜美，营养丰富。随着生活节奏的加快，鲜切果蔬受到年轻消费者的追捧，香菇作为市场份额最大的食用菌之一，对其鲜切产品的需求迫在眉睫，但目前产业内针对食用菌的鲜切技术少之甚少，相关产品在市场上的占有比例非常低。香菇是消费者广泛接受的食用菌品种，其市场占有率较高，作为商超和中央厨房主销的食用菌，对于其鲜切加工技术的研究相对匮乏，本研究坚持“最少加工”的原则，以贮藏期内产品品质为指标，研发出鲜切香菇的加工及保鲜方法，为扩大加工生产提供有力的支撑。

香菇含水量高、组织脆嫩，采后呼吸蒸腾作用强，经过机械切割后，会发生组织软化、失水变形、气味改变等现象，甚至菇体自身会激活自溶自噬机制，导致品质严重下降，缩短了产品的货架期（赵爽等 2020）。近年来，鲜切果蔬的清洗技术发展迅速，主要包括物理清洗技术和化学清洗技术。物理技术由于操作简便、绿色环保而广泛受到认可，而化学清洗因其具有较强的杀菌保鲜效果和低廉的成本，是目前最常用的清洗技术（张晓芳等 2020）。由于香菇质地脆嫩，不适合超声波与机械水力等物理方法清洗，且香菇子实体组织呈海绵状、易吸水，产品中

较高的含水量易引发微生物增殖和感官形态的劣变，因此本研究力求解决香菇在鲜切加工预处理过程中的清洁问题，从低成本清洗的角度出发，以表面微生物总数为指标，研究不同处理工艺的清洁效果。

研究显示对于食用菌整菇的保鲜技术大致可分为物理保鲜（低温、腌渍、气调、臭氧、辐射）、生物保鲜和化学保鲜（杜金艳 2021）。香菇的呼吸速率远高于其他果蔬（Ares *et al.* 2006），有实验表明在自发气调保鲜的气体中，较低的 CO<sub>2</sub> 浓度可以明显降低香菇的呼吸速率（张敏欢等 2019；张玉笑等 2020）；还有研究证明适当的气体组合处理能够降低采后果蔬中丙二醛含量，抑制多酚氧化酶及过氧化物酶活性，有效延缓褐变（Tian *et al.* 2004）。本研究设计了 3 种气体比例对鲜切香菇进行保鲜研究，通过测定不同贮藏期内的香菇切片的感官评价、营养成分和活性物质的变化，筛选出最适宜鲜切香菇保鲜的气调参数。另外，香菇气味是判定品质的一项重要指标。一般来说感官评价分析容易因主观性强、重复性差、嗅觉疲劳等问题影响对样品的分析结果（樊丽等 2014），本研究通过电子鼻测试不同处理组的气体分布和变化情况，实现对产品挥发性成分进行快速、无损检测，实现对产品内在质量的快速有效检测（Rosa *et al.* 2014；张鹏等 2015）。同时结合理化指标检测来判定品质变化，最终综合多种评价方法筛选出适合鲜切香菇加工的生产工艺。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

**1.1.1 香菇:** 238 号香菇, 采集于北京通州三宝香基地。

**1.1.2 仪器和试剂:** 荧光全波长酶标仪 (Tecan M200 PRO)、分析天平 (Ohaus Corporation FR224CN)、干燥箱 (Boxun)、冻干机 (Gold-Sim)、中型粉碎机 (KC-500)、离心机 (Eppendorf Centrifuge 5810 R)、复合气调保鲜包装机 (MAP-H350)、搅拌器、PEN3 型电子鼻、多功能切丁切片机。

没食子酸、草酸、福林酚试剂购自上海麦克林生化科技有限公司; 苯酚、硫酸、芦丁、碳酸钠、氯化钠、亚硝酸钠、硝酸铝、次氯酸钠、平板计数 (PCA) 培养基购自国药集团化学试剂有限公司; 氢氧化钠购自北京化工厂; BCA 蛋白定量试剂盒购自北京博迈德基因技术有限公司; FRAP 总抗氧化能力检测试剂盒购自碧云天生物技术有限公司; 维生素 C-ELISA 检测试剂盒购自北京奇松生物科技有限公司。

### 1.2 鲜切香菇的清洗工艺

选定 3 种清洁方式, 其中无菌水、100mg/L 次氯酸钠溶液按质量比 1:3 的比例浸泡香菇子实体, 转速为 100r/min 旋转清洗 5min, 以 200r/min 离心脱水 30s; 不经过清洗, 仅将香菇菌盖向下置于摇床 100r/min 振荡 5min。

### 1.3 表面微生物检测

将新鲜香菇子实体在洁净环境下切片, 每份样品 25g, 放置于 4℃ 低温保存备用。参照《GB4789.2-2016 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》方法, 记录鲜切香菇片 48h 后 5d 内的菌落生长情况, 计算其表面菌落总数。

### 1.4 气调保鲜

将鲜切香菇产品进行气调保鲜, 每 200g

置于一个气调盒内, 设置 3 种初始气调比例: T1 (15% CO<sub>2</sub>、5% O<sub>2</sub>、80% N<sub>2</sub>)、T2 (20% CO<sub>2</sub>、5% O<sub>2</sub>、75% N<sub>2</sub>) 和 T3 (25% CO<sub>2</sub>、5% O<sub>2</sub>、70% N<sub>2</sub>)。预冷后放置于 4℃, 湿度为 85%±5% 的冷库进行贮藏实验, 将仅用无菌水清洗、不进行气调包装的处理作为对照组且置于常温下保存。每 3d 取样 1 次, 进行产品理化指标的检测。

### 1.5 理化性质检测

**1.5.1 气味变化检测:** 利用电子鼻技术分析鲜切香菇产品气味变化的情况, 按照曹森等 (2017) 的方法略有改动, 将 10g 的鲜切香菇放入烧杯中加入 100mL 超纯水打成匀浆, 取 5g 匀浆样品于密封小瓶中, 在 25℃ 培养箱中放置 20min 后, 采用顶空吸气法直接将进样针头插入密封小瓶, 样品测试时间为 180s, 内部流量 300mL/min, 进样流量 300mL/min, 为了保证数据的稳定性和精准度, 选取测定过程中 171-175s 的稳定数据用于后续分析。

**1.5.2 水溶性多糖检测:** 不同检测点的香菇切片样品通过 55℃ 烘干后, 粉碎至粉末状, 精密称取不同处理组的烘干粉各 2g 加入 40mL 蒸馏水, 90℃ 旋转蒸发抽提 3h, 收集提取液加入 4 倍体积的无水乙醇进行多糖沉淀 12h, 离心收集沉淀烘干得到粗多糖后用蒸馏水溶解, 配制成样品溶液, 采用苯酚-硫酸法测定水溶性多糖 (赵启铎等 2011)。

**1.5.3 蛋白质含量检测:** 取不同检测点的香菇切片样品通过冷冻干燥的方法制得干品, 粉碎至粉末状, 精密称取不同处理组的冻干粉 0.1g 加入 3mL 生理盐水, 研磨至组织破碎后, 4℃ 浸提 3h, 7 000r/min 离心 15min, 取上清液, 即为粗蛋白提取液。将蛋白提取液进行适当的梯度稀释后采用 BCA 蛋白定量试剂盒测定蛋白质含量 (孙丽丽等 2018)。

**1.5.4 抗坏血酸含量检测:** 精密称取不同处理组的冻干粉 2g 于离心管中, 加入 40mL 蒸馏

水, 8 000r/min 离心 10min, 取上清液, 即为抗坏血酸提取液。按照维生素 C-ELISA 检测试剂盒测定抗坏血酸含量。

**1.5.5 类黄酮含量检测:** 类黄酮采用分光光度法测定 (王丽丽等 2021), 以芦丁作为标准品制作标准曲线。精密称取不同处理组的冻干粉 1g 于离心管中, 加入 80%乙醇 8mL, 在 8 000r/min、4℃下离心 10min, 吸取上清液 7mL, 用 60%乙醇添至 10mL, 加入 5% NaNO<sub>2</sub> 溶液 1mL, 摇匀后放置 6min, 加入 10% Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> 溶液 1mL, 摇匀后放置 6min, 加入 4% NaOH 溶液 10mL, 混匀后用 30%乙醇定容至 25mL, 摇匀后放置 15min 在 510nm 处测定吸光值, 并通过标准曲线计算待测样品提取液总类黄酮的含量。

**1.5.6 总酚含量检测:** 用没食子酸标准液制作标准曲线, 采用福林酚法进行测定 (张萍等 2016)。精密称取不同处理组的冻干粉 1g 于离心管中, 加入 8mL 无水乙醇, 90℃水浴 5min, 在 8 000r/min、4℃下离心 10min, 将上清液倒出用无水乙醇定容至 10mL, 吸取上清液 0.5mL, 加入 2.5mL 福林酚试剂, 再加入 2mL 0.75% NaCO<sub>3</sub> 溶液, 25℃水浴 35min 后测定 760nm 初吸光值, 以此计算待测样品中总酚的含量。

**1.5.7 抗氧化活性检测:** FRAP 法在酸性条件下抗氧化物可以还原 Fe<sup>3+</sup>生成蓝色的 Fe<sup>2+</sup>螯合物, 可通过测定吸光值确定螯合物的含量以确定还原能力的大小。精密称取不同处理组的冻干粉 2g 于离心管中, 加入 40mL 蒸馏水, 8 000r/min 离心 10min, 将上清液取出。采用铁离子还原能力法 (FRAP) 评价香菇切片样品的总抗氧化能力 (赵文恩和李茜倩 2011)。

**1.5.8 数据处理:** 每个样品重复检测 3 次, 利用 DPS 软件对数据进行分析, 采用 Duncan 新复极差法进行多重比较, a、b、c 标记显著

性差异 ( $P < 0.05$ )。数据展示为均值±SD。

## 2 结果与分析

### 2.1 表面微生物检测

因在 10<sup>-1</sup> 和 10<sup>-2</sup> 稀释度的条件下, 菌落数较多, 所以选定 10<sup>-3</sup> 稀释度进行计数统计, 样品贮藏 48h 后取样, 然后每 24h 采集数据, 共收集到第 144h。统计结果见表 1。

表 1 不同清洗方法表面微生物数量的变化

Table 1 Changes in the amount of microorganisms on the surface of *Lentinula edodes* fresh cuttings washed by different cleaning methods

| 清洗方法<br>Cleaning methods                  | 总细菌数<br>Total bacterial count (log <sub>10</sub> -CFU/g) |      |      |      |      |
|---|--|------|------|------|------|
|   | 48h  | 72h  | 96h  | 120h | 144h |
| 未清洗<br>Unwashed                           | 0  | 2.35 | 2.52 | 2.74 | 3    |
| 次氯酸钠清洗<br>Sodium hypochlorite<br>cleaning | 2.95   | 3    | 3.28 | 3.66 | 4.15 |
| 无菌水清洗<br>Sterile water cleaning           | 3.05   | 3.12 | 3.79 | 4.14 | 4.68 |

结果显示, 无菌水清洗处理组中鲜切香菇的菌落总数最高, 为 4.68log<sub>10</sub>-CFU/g, 其次是次氯酸钠溶液清洗处理组, 未清洗处理组的鲜切香菇总菌检出数最少, 为 3.00log<sub>10</sub>-CFU/g。根据《DBS44/ 006-2016 非预包装即食食品微生物限量》, 微生物指标中的菌落总数控制在 6.00log<sub>10</sub>-CFU/g 以下符合标准。虽然在检测时间点内 3 种清洁处理都符合标准, 但是从产品感官评价上分析发现未清洗的处理组其产品可以更好地保持新鲜度, 其次是次氯酸钠溶液清洗的处理方法可以有效地清除表面细菌。

图 1 显示的是不同的清洁处理方法在储藏期内对香菇切片的影响, 无菌水处理组在第 6 天时开始出现腐坏褐变的迹象, 失去商

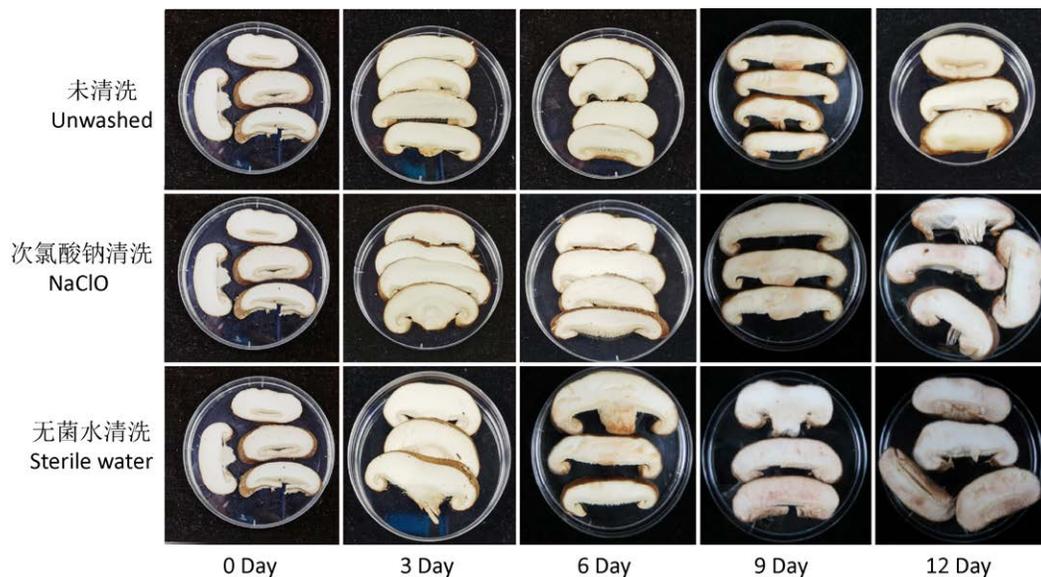


图 1 三种清洁方式处理后香菇切片形态的变化过程

Fig. 1 Morphological change process of *Lentinula edodes* slices washed by different cleaning methods.

品价值；第 12 天时已完全腐败变质并伴有难闻的气味。次氯酸钠处理组在第 9 天时出现褐变的趋势，气味发生改变；第 12 天时已经发生明显的褐变且开始产生刺鼻的气味。未清洗处理组在 9d 内都可以保持良好的商品性状，在第 12 天时才出现轻微水渍化和褐变的情况，未发生明显的气味变化。从感官评价结果分析，未清洗处理组能够延长鲜切香菇产品的货架期。

## 2.2 初始气调配比筛选及评价

依据不同清洁处理的效果，设计不同处理方法与气调配比的正交组合，以产品的理化指标评价出最适合的保鲜方法，具体组合见表 2。

表 2 不同清洗方法和气调比例正交组合

Table 2 Orthogonal combination of different cleaning methods and air conditioning ratios

| 气体比例            | 未清洗      |    |    | 次氯酸钠清洗                       |    |    |
|-----------------|----------|----|----|------------------------------|----|----|
| Gas ratio (%)   | Unwashed |    |    | Sodium hypochlorite cleaning |    |    |
| CO <sub>2</sub> | 15       | 20 | 25 | 15                           | 20 | 25 |
| O <sub>2</sub>  | 5        | 5  | 5  | 5                            | 5  | 5  |
| N <sub>2</sub>  | 80       | 75 | 70 | 80                           | 75 | 70 |

**2.2.1 气味指纹图谱：**PEN3 电子鼻内置有 10 个金属传感器，它们对不同气味均有不同的响应信号，通过气味指纹图谱中的位置能够反映不同传感器对待测样品挥发性气味的贡献率大小。距离中心点越远，主成分对于该变量的代表性就越大。气味指纹图谱分析显示，新鲜的香菇切片挥发性气味物质主要由氮氧化物（2 号传感器）和硫化物（7 号传感器）组成，随着贮藏期的延长，烷类物质（6 号传感器）的含量发生增加（图 2）。分析原因可能是因为有机物在分解代谢的过程中会产生次生代谢产物，如：甲烷类物质，进而促进挥发性物质中烷类含量的升高。通过图 2 分析发现未清洗+T1 气调比例处理组的烷类气体占比一直保持在较低的水平，不同检测点挥发性物质图谱变化差异最小，说明该处理组的产品在储藏期内气味变化最小，能够保持新鲜的状态。

**2.2.2 主成分分析（PCA）：**未清洗+T1 比例处理组不同时间段的气味变化并不明显，与气味指纹图谱的结果基本一致；其他组别在第 12 天时与零点气味相差较大，并且经无菌

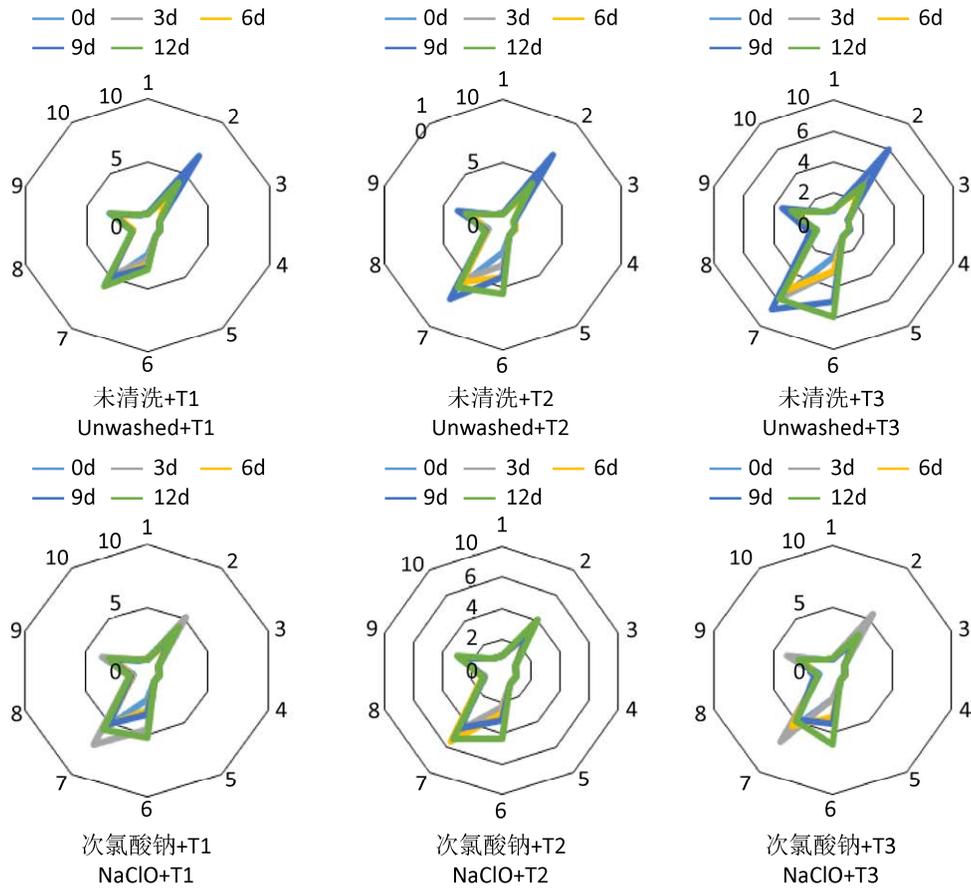


图 2 气味指纹图谱

Fig. 2 Smell fingerprint of *Lentinula edodes* slices washed by different cleaning methods. T1: 15% CO<sub>2</sub>, 5% O<sub>2</sub>, 80% N<sub>2</sub>; T2: 20% CO<sub>2</sub>, 5% O<sub>2</sub>, 75% N<sub>2</sub>; T3: 25% CO<sub>2</sub>, 5% O<sub>2</sub>, 70% N<sub>2</sub>. The same below.

水清洗后香菇切片气味变化剧烈 (图 3), 没有继续实验的价值, 故后续实验舍弃了无菌水清洗的处理组。

**2.2.3 多糖含量的变化:** 对不同处理组的多个时间点取样, 采用硫酸-苯酚法测定各个样品的多糖含量, 随着贮藏期的延长, 各处理组的香菇切片中的多糖含量均呈现下降的趋势 (图 4)。其中未清洗+T1 气调比例处理组中多糖含量下降相对缓慢, 在第 12 天时, 该处理组的多糖含量最高, 为 70.32mg/g; 而未清洗+T2 气调比例处理组的多糖含量最低, 为 60.61mg/g, 两者之间形成极其显著性差异。

**2.2.4 蛋白质含量的变化:** 对不同处理组的多个时间点取样, 采用 BCA 试剂盒测定各处理

组的蛋白质含量, 随着贮藏期的延长, 各处理组的香菇切片中的蛋白含量大多呈现先上升后下降的趋势, 在第 6 天到达顶峰值(图 5), 这一结果与王耀辉 (2015) 在研究杏鲍菇贮藏期内蛋白质含量变化的趋势相一致。其中未清洗+T1 气调比例处理组中蛋白含量后期下降相对缓慢, 在第 12 天时, 该处理组的蛋白质含量最高, 为 169.28mg/g, 与其他处理组之间存在极显著性差异。

**2.2.5 抗坏血酸含量的变化:** 对不同处理组的多个时间点取样, 利用维生素 C-ELISA 检测试剂盒测定各处理组的抗坏血酸含量, 贮藏期内各处理组抗坏血酸的含量呈整体下降趋势 (图 6), 这一结果与汤诗琪 (2018) 研究

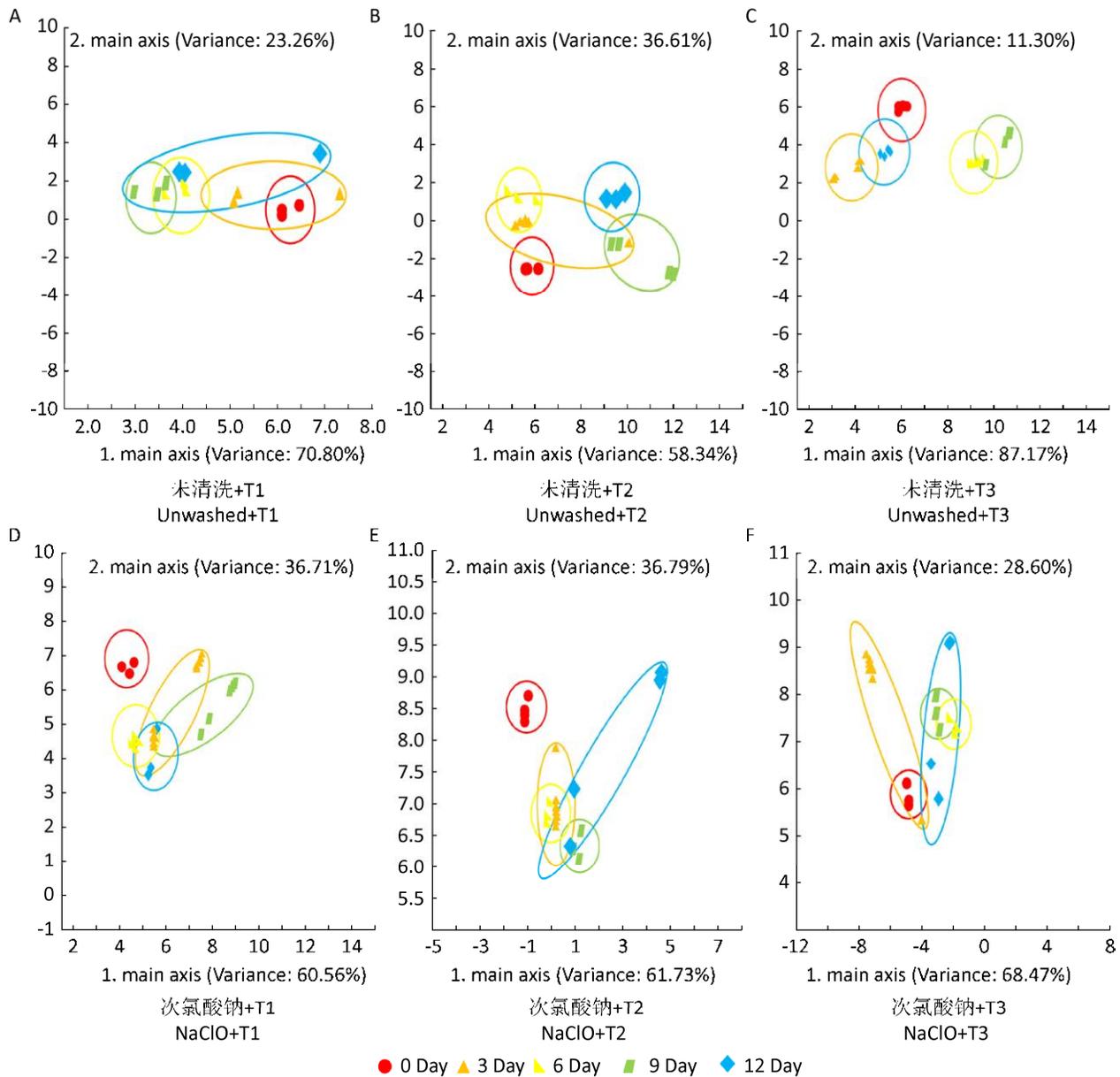


图3 PCA 主成分分析 A-F 为不同处理组: A: 未清洗+T1; B: 未清洗+T2; C: 未清洗+T3; D: 次氯酸钠+T1; E: 次氯酸钠+T2; F: 次氯酸钠+T3

Fig. 3 PCA principal component analysis of detection results of odor change of *Lentinula edodes* slices treated with different cleaning methods. A-F indicates different treatment groups, A: Unwashed+T1; B: Unwashed+T2; C: Unwashed+T3; D: NaClO+T1; E: NaClO+T2; F: NaClO+T3.

哈密瓜贮藏期间抗坏血酸变化的趋势相一致。在第 12 天时, 未清洗+T1 气调比例处理组的样品中抗坏血酸含量最高, 营养物质保存程度最为完好, 为 16.46mg/100g; 次氯酸钠清洗+T3 气调比例处理组的样品中抗坏血酸含量最低, 为 14.37mg/100g。未清洗+T1

处理组与其他处理组之间存在显著性差异。

**2.2.6 类黄酮含量的变化:** 对不同处理组的多个时间点取样, 通过比色法测定各处理组的类黄酮的含量, 贮藏期间各处理组样品中类黄酮的含量整体为显著下降的趋势 (图 7), 第 3 天到第 6 天之间发生剧烈变化, 未清洗

+T1 气调比例处理组可以减少类黄酮的流失, 在第 12 天时, 样品中的类黄酮含量最高, 为  $1272.57\mu\text{g/g}$ , 而次氯酸钠清洗+T3 气调比例处理组样品中类黄酮的含量最低, 为  $995.93\mu\text{g/g}$ 。在第 12 天时, 未清洗+T1 处理组与其他处理组之间差异极显著。

**2.2.7 总酚含量的变化:** 对不同处理组的多个时间点取样, 采用福林酚法测定各处理组的总酚的含量, 贮藏期间各处理组样品中酚类物质会随着时间的增加而逐渐累积 (图 8), 酚类物质在植物体内种类繁多、含量丰富、分布广泛, 是果蔬酶促褐变的重要底物 (王

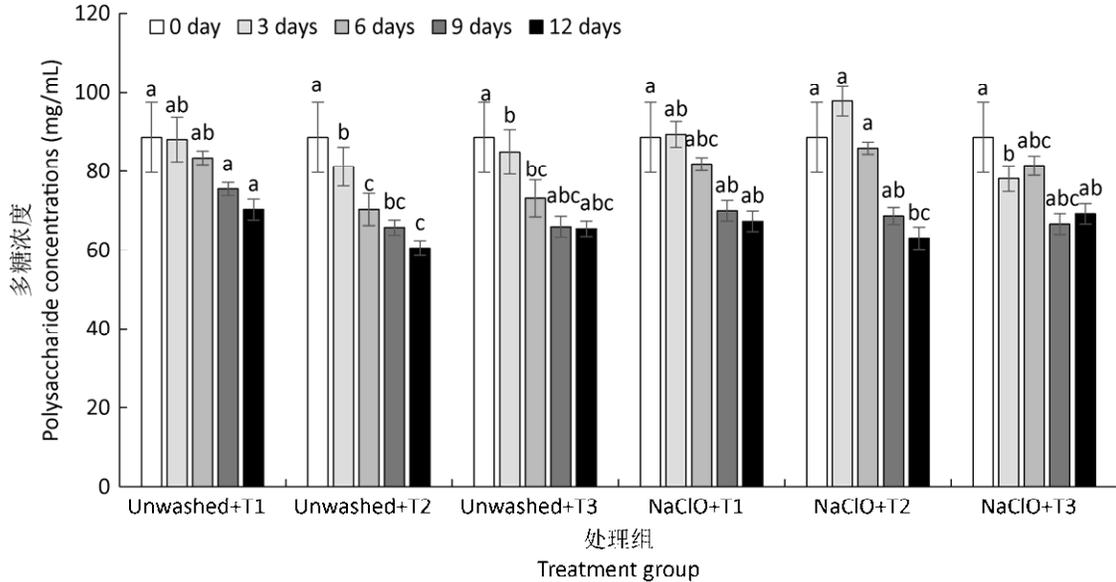


图 4 不同时间点样品的多糖含量变化趋势 不同小写字母表示差异显著,  $P<0.05$ 。下同

Fig. 4 Variation trend of polysaccharide content in samples of *Lentinula edodes* slices treated with different cleaning methods at different time points (days). Different lowercase letters indicate significant differences ( $P<0.05$ ). The same below.

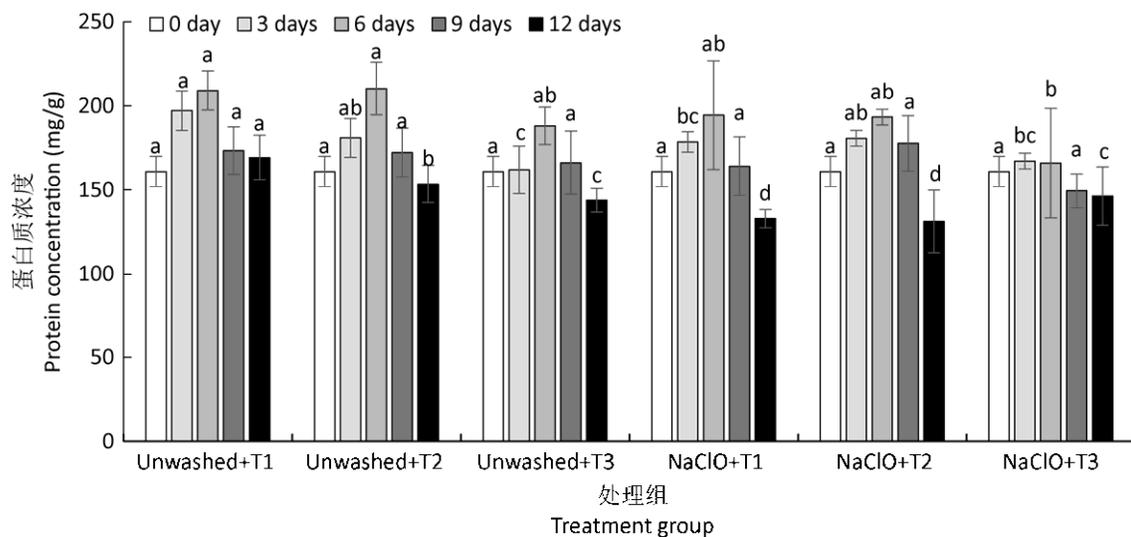


图 5 不同处理组样品在贮藏期间蛋白质含量的变化

Fig. 5 Variation of protein content in samples of *Lentinula edodes* slices treated with different cleaning methods during storage.

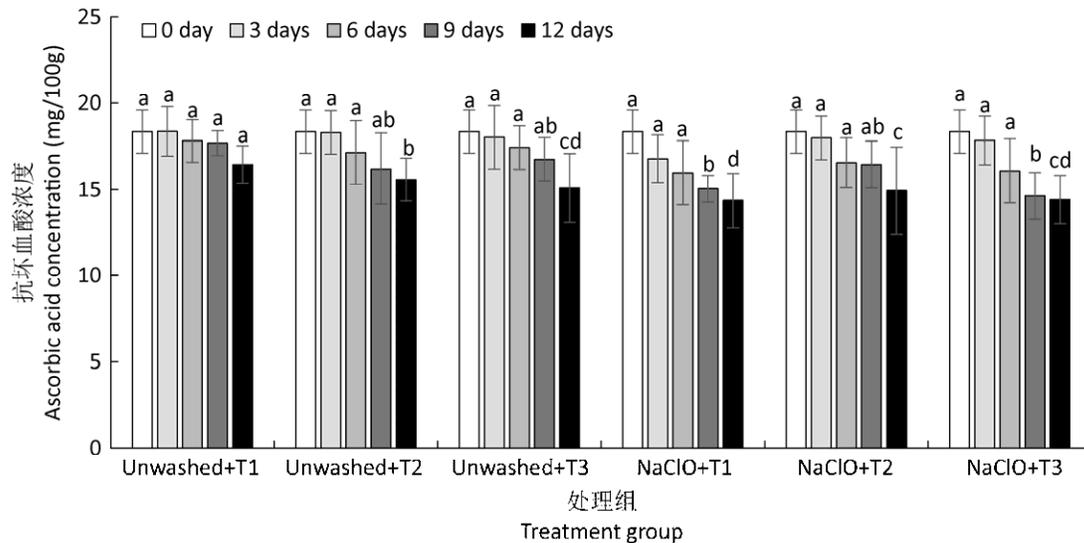


图 6 不同处理组样品在贮藏期间抗坏血酸含量的变化

Fig. 6 Variation of ascorbic acid content in samples of *Lentinula edodes* slices treated with different cleaning methods during storage.

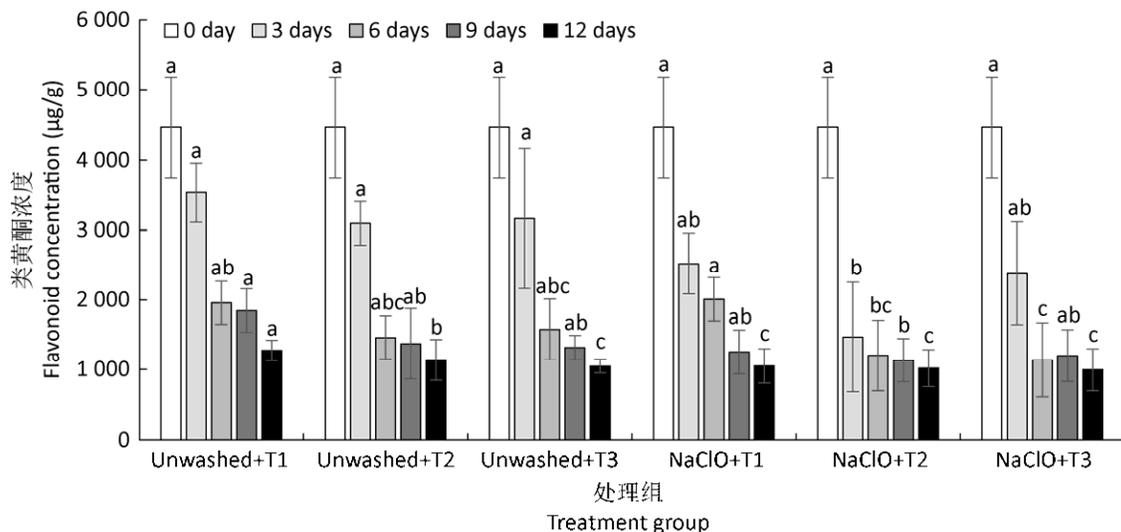


图 7 不同处理组样品在贮藏期间类黄酮含量的变化

Fig. 7 Variation of flavonoid content in samples of *Lentinula edodes* slices treated with different cleaning methods during storage.

彬等 2016)。沈茹茹等 (2017) 发现, 酚类物质的含量会随着时间的延长而增加, 减少酚类物质的积累有利于延缓果蔬的褐变, 这与我们的实验结果相一致。未清洗+T1 气调比例处理组样品中酚类物质增长较慢, 并在第 12 天时, 总酚含量最低, 仅为 2 133.88 $\mu\text{g/g}$ , 与次氯酸钠清洗的 3 个处理组的样品存在显

著性差异。

**2.2.8 抗氧化活性的变化:** 对不同处理组的多个时间点取样, 利用 FRAP 试剂盒测定了各处理组的抗氧化活性, 贮藏期内各处理组样品的抗氧化活性在不断降低, 未清洗+T1 气调比例处理组样品的抗氧化活性变化不大, 在第 12 天时为 73.02 $\text{mmol/g}$ , 相较于零点仅降

低了 9.2% (图 9)。与其他处理组相比, 存在显著性差异。程曦等 (2016) 指出抑制双孢蘑菇褐变的因素可能与较高的抗氧化活性有关, 很明显未清洗+T1 气调比例处理组的抗氧化活性保存得最好, 且在第 12 天时最高与其他处理组之间均存在极显著差异。

综合多种理化指标的检测结果显示, 未清洗+T1 气调比例处理组可以使产品品质变化最小, 结合感官评价结果筛选出其为鲜切香菇最佳的加工及保鲜工艺, 可以使产品的货架期从 6d 延长至 12d, 提升了产品的价值。

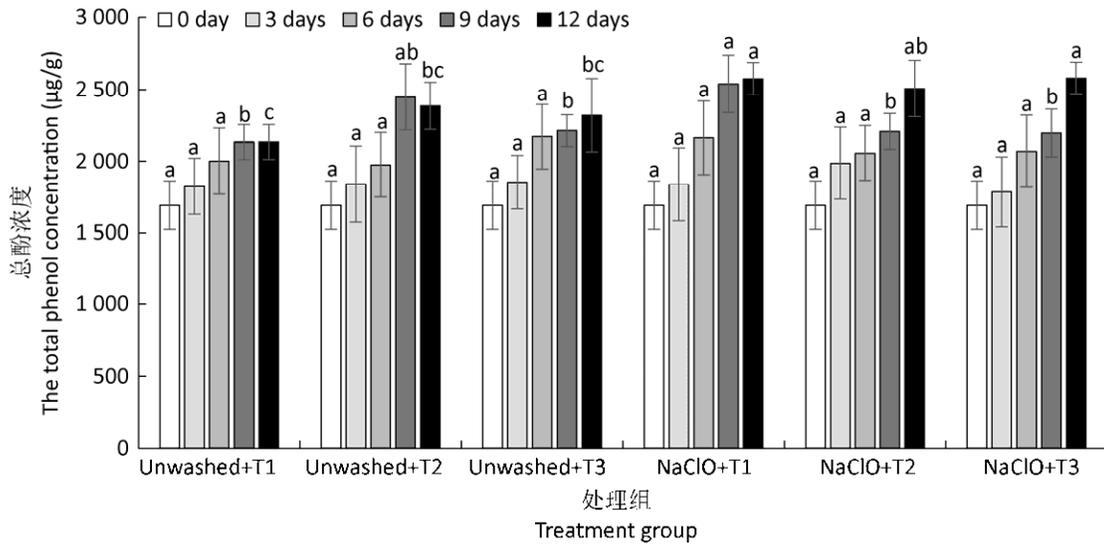


图 8 不同处理组样品在贮藏期间总酚含量的变化

Fig. 8 Variation of total phenol content in samples of *Lentinula edodes* slices treated with different cleaning methods during storage.

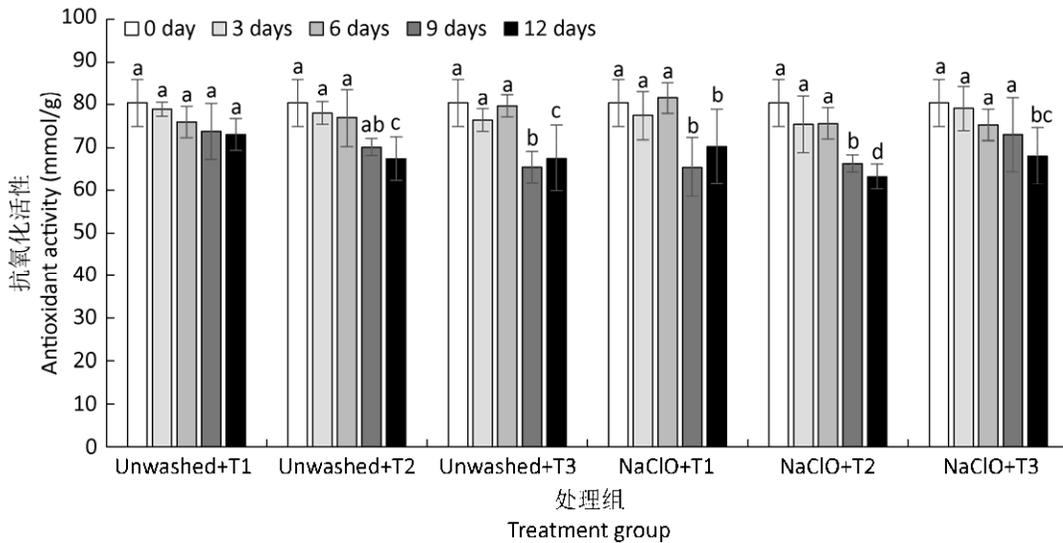


图 9 不同处理组样品在贮藏期间抗氧化活性的变化

Fig. 9 Variation of antioxidant activity in samples of *Lentinula edodes* slices treated with different cleaning methods during storage.

### 3 讨论

鲜切加工标准化生产的工艺是经过清洗、脱水、去皮、切分等环节。通常情况下清洗工艺被认为是必不可少的环节,但是对于香菇来说其子实体质地疏松,易吸水,清洗环节添加入了大量的水,导致鲜切菇片品质严重下降,引发微生物的增殖,因此,清洗环节不适用于鲜切香菇的加工过程。香菇在栽培过程中的培养料需要经过灭菌、接种、发菌等过程都需要无菌或清洁环境,故香菇表面微生物相较于土培作物表面较少,不清洗可能满足加工的需求。本研究通过3种不同的清洁工艺,参考《DBS44/006-2016非预包装即食食品微生物限量》标准,确定鲜切产品表面微生物总量,以证实未清洗震动除杂质的清洁方法可以满足食品安全的标准,打破了鲜切加工过程必需清洗的传统工艺,遵循了鲜切加工的最少加工原则。以本研究为基点,推测工厂化生产的食用菌品种能够满足洁净栽培的要求,其子实体鲜切加工过程中均可以采用未清洗震动除杂质的清洁方法作为加工的预处理工艺。

本研究比较了不同清洁工艺处理后香菇切片在低温贮藏条件下不同时间检测点上表面微生物的总量,优选出未清洗和次氯酸钠溶液清洗2种处理方式,并通过不同的初始气调比例进行组合包装在低温进行贮藏研究。利用测定不同时间点样品中多糖、蛋白质、抗坏血酸、类黄酮、总酚含量以及抗氧化活性,从产品品质上筛选出最佳的加工工艺,结合气味及感官评价确定产品的货架期。研究表明,未清洗+T1处理组中香菇切片的多糖、蛋白质、抗坏血酸、类黄酮的含量在第12天时依旧保持在最高水平分别为70.32mg/g、131.19mg/g、16.46mg/100g、1272.57 $\mu$ g/g,其抗氧化活性相对比较稳定,

为73.02mmol/g,仅下降了9.2%。

同时我们用电子鼻检测不同天数、不同处理组鲜切香菇的挥发性物质成分,气味指纹图谱结果表明,传感器2号(氮氧化合物)、6号(甲烷类)、7号(萜烯类和有机硫化物)对第1主成分、第2主成分的贡献率较大,这与鲁加惠等(2019)使用PEN3电子鼻对香菇干制品挥发性气味物质的结论基本一致。PCA分析结果表明,在第9天时各处理组之间在气味上产生了较大差异,气味物质成分比例变化最大。除未清洗+T1处理组在贮藏期内气味物质占比变化不大,产生的甲烷类气体较少外,其他处理组均有较大变化。说明电子鼻可以对其他处理组不同贮藏时间的鲜切香菇进行有效区分,未清洗+T1处理组由于对气味的保持较好,电子鼻无法对其进行有效区分,进而证明了未清洗+T1处理组的处理工艺可以对鲜切香菇起到有效的保鲜作用。

通过微生物检测、理化指标以及感官评价综合分析显示鲜切香菇经过未清洗+T1气调比例(15% CO<sub>2</sub>、5% O<sub>2</sub>、N<sub>2</sub> 80%)处理后营养指标下降最少,商品性状保持最为完好,微生物检测符合标准,该加工工艺可以使产品的货架期从6d延长至12d,显著提升了产品的市场价值,可以将其扩大到工厂化生产中应用。

### [REFERENCES]

- Ares G, Parentelli C, Gambaro A, Lareo C, Lema P, 2006. Sensory shelf life of shiitake mushrooms stored under passive modified atmosphere. *Postharvest Biology and Technology*, 41(2): 191-197
- Cao S, Zhao CF, Zhong M, Ma C, Ji N, Xie XL, Wu YJ, Wang R, 2017. Effect of modified atmosphere packaging on the storage quality of *Capsicum annuum* L. *Science and Technology of Food Industry*, 38(13): 271-276+280 (in Chinese)

- Cheng X, Zhao CX, Li YY, Li J, Zhang M, 2016. Effects of high oxygen packaging on antioxidant activity and browning of *Agaricus bisporus*. *Food and Fermentation Industries*, 42(10): 68-74 (in Chinese)
- Dai YC, Zhou LW, Yang ZL, Wen HA, Bau T, Li TH, 2010. A revised checklist of edible fungi in China. *Mycosystema*, 29: 1-21 (in Chinese)
- Du JY, 2021. Research progress on postharvest physiological characteristics and preservation technology of edible fungi. *Agricultural Development and Equipment*, 2021(1): 128-129 (in Chinese)
- Fan L, Ren XL, Xiang CY, Kang J, 2014. Aroma quality of gala apple during storage evaluated by electronic nose and gas chromatography-mass spectrometry. *Food Science*, 35(22): 164-168 (in Chinese)
- Lu JH, Zhang YL, Liang J, Zhang L, Zhang HW, 2019. Effects of three drying processes on volatile substances and sensory characteristics in *Lentinus edodes*. *Science and Technology of Food Industry*, 40(24): 262-269 (in Chinese)
- Rosa P, Antonosio SB, Silvia MR, Jose SC, 2014. Establishment of the varietal profile of *Vitis vinifera* L. grape varieties from different geographical regions based on HS-SPME/GC-qMS combined with chemometric tools. *Microchemical Journal*, 116(9): 107-117
- Shen RR, Wan B, Zhang SR, Ding RX, Lu QQ, Kan J, 2017. Research status of browning of fresh cut fruits and vegetables. *Science & Technology Vision*, 2017(16): 52-53 (in Chinese)
- Sun LL, Mai YT, Gu TT, Sun DY, Liu YP, Dai CY, Liu H, 2018. Optimization of the extraction technology of protein from *Psoralea corylifolia* by BCA method. *Journal of Hainan Normal University (Natural Science Edition)*, 31(2): 158-163 (in Chinese)
- Song XX, Zhang LJ, Zhao Y, Song CY, Li CH, Chen MJ, Tan Q, Huang JC, 2021. Nuclear migration and cytoplasmic inheritance during mon-mon crossing of *Lentinula edodes*. *Acta Edulis Fungi*, 28(1): 16-21 (in Chinese)
- Tang SQ, 2018. Study on quality change and browning mechanism of air-dried cantaloupe slices during storage. Master Thesis, Chongqing University, Chongqing. 18 (in Chinese)
- Tian SP, Jiang AL, Xu Y, Wang YS, 2004. Responses of physiology and quality of sweet cherry fruit to different atmospheres in storage. *Food Chemistry*, 87(1): 43-49
- Wang B, Chen MD, Zhu HS, Liu JT, Wen QF, 2016. Research advances in enzymatic browning of fruits and vegetables. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 32(28): 189-194 (in Chinese)
- Wang LL, Lin QX, Song ZS, Chen L, 2021. Spectrophotometric determination of total flavonoids in tea. *Acta Tea Sinica*, 62(1): 1-6 (in Chinese)
- Wang YH, 2015. Optimization of modified atmosphere packaging preservation technology of *Pleurotus eryngii*. Master Thesis, Sichuan Agricultural University, Ya'an. 20 (in Chinese)
- Wu CS, Wang KJ, 2017. Research progress of the physical preservation technology in fresh-cut fruits and vegetables. *Academic Periodical of Farm Products Processing*, 2017(7): 55-58, 64
- Zhang MH, Wang LM, Wang ZZ, Dong TLG, 2019. Electrostatic field combined with equilibrium modified atmosphere packaging for the preservation of potatoes. *Food Science*, 40(9): 269-275 (in Chinese)
- Zhang P, Shao D, Li JK, Yan TC, Chen SH, 2015. Effects of cold storage time on aroma components of grape during subsequent shelf life. *Food Science*, 37(2): 218-224 (in Chinese)
- Zhang P, Wang YH, Zhang CS, Wang P, Tan P, 2016. Study on determining cherry polyphenols content by Folin method. *Food Research and Development*, 37(2): 146-149 (in Chinese)
- Zhang XF, Hu WZ, Liu CH, Chen C, Feng K, Jin LM, Zhang YH, Sun XY, 2020. Research progress on effects of cleaning technology on microorganisms

- and quality of fresh-cut fruits and vegetables. *Science and Technology of Food Industry*, 41(13): 336-342 (in Chinese)
- Zhang YX, Ma YL, Guo YY, Chen Y, Liu SS, Yuan LP, Zhang XH, Gao X, Li T, 2020. Effects of O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> active modified atmosphere packaging on storage quality of shiitake mushroom. *China Fruit & Vegetable*, 40(11): 2-20 (in Chinese)
- Zhao QD, Shu LX, Ma L, Cui GH, 2011. Determination of polysaccharide in huaiganjunzhi by phenol-sulfuric acid method. *Journal of Yichun University*, 33(8): 74-76 (in Chinese)
- Zhao S, Su Z, Gu TT, Gao Q, Rong CB, Song S, Liu Y, 2020. Analysis of fresh-cut shiitake (*Lentinula edodes*) and autolysis during storage. *Biotechnology Bulletin*, 36(5): 46-52 (in Chinese)
- Zhao WE, Li XQ, 2011. The total antioxidant capacity of red pigment from jujube peel was determined by FRAP method. *Journal of Zhengzhou University (Engineering Science)*, 32(3): 28-30+35 (in Chinese)
- [附中文参考文献]**
- 曹森, 赵成飞, 钟梅, 马超, 吉宁, 谢晓林, 吴艺娟, 王瑞, 2017. 自发气调包装对辣椒贮藏品质的影响. *食品工业科技*, 38(13): 271-276+280
- 程曦, 赵春霞, 李云云, 李婧, 张敏, 2016. 高氧气调包装对双孢蘑菇抗氧化活性及褐变的影响. *食品与发酵工业*, 42(10): 68-74
- 戴玉成, 周丽伟, 杨祝良, 文华安, 图力古尔, 李泰辉, 2010. 中国食用菌名录. *菌物学报*, 29: 1-21
- 杜金艳, 2021. 食用菌采后生理特性与保鲜技术研究进展. *农业开发与装备*, 2021(1): 128-129
- 樊丽, 任小林, 向春燕, 亢键, 2014. 基于电子鼻和 GC-MS 评价嘎拉苹果采后芳香品质. *食品科学*, 35(22): 164-168
- 鲁加惠, 张雨露, 梁进, 张梁, 张海伟, 2019. 3 种干燥方式对香菇挥发性物质及感官特性的影响. *食品工业科技*, 40(24): 262-269
- 沈茹茹, 万冰, 张舒蓉, 丁若曦, 路倩倩, 阚娟, 2017. 鲜切果蔬褐变问题研究现状. *科技视界*, 2017(16): 52-53
- 宋晓霞, 章炉军, 赵妍, 宋春艳, 李传华, 陈明杰, 谭琦, 黄建春, 2021. 香菇单杂过程中核迁移和细胞质遗传规律. *食用菌学报*, 28(1): 16-21
- 孙丽丽, 麦雨婷, 谷婷婷, 孙道裕, 刘艳萍, 戴春燕, 刘红, 2018. BCA 法优化补骨脂蛋白质的提取工艺. *海南师范大学学报 (自然科学版)*, 31(2): 158-163
- 汤诗琪, 2018. 哈密瓜风干片贮藏过程中品质变化及褐变机理研究. 重庆大学硕士论文, 重庆. 18
- 王彬, 陈敏氢, 朱海生, 刘建汀, 温庆放, 2016. 果蔬酶促褐变研究进展. *中国农学通报*, 32(28): 189-194
- 王丽丽, 林清霞, 宋振硕, 陈林, 2021. 分光光度法测定茶叶中总黄酮含量. *茶叶学报*, 62(1): 1-6
- 王耀辉, 2015. 杏鲍菇气调包装保鲜技术优化. 四川农业大学硕士论文, 雅安. 20
- 张敏欢, 王莉梅, 王治洲, 董同力嘎, 2019. 静电场结合自发气调包装对马铃薯贮藏期间的保鲜效果. *食品科学*, 40(9): 269-275
- 张鹏, 邵丹, 李江阔, 颜廷才, 陈绍慧, 2015. 葡萄冷藏时间对贮后货架期芳香物质的影响. *食品科学*, 37(2): 218-224
- 张萍, 王毅红, 张春生, 王盼, 谭萍, 2016. 樱桃多酚含量的福林法测定研究. *食品研究与开发*, 37(2): 146-149
- 张晓芳, 胡文忠, 刘程惠, 陈晨, 冯可, 金黎明, 张艳慧, 孙小渊, 2020. 清洗技术对鲜切果蔬微生物与品质影响的研究进展. *食品工业科技*, 41(13): 336-342
- 张玉笑, 马阳历, 郭衍银, 陈勇, 刘莎莎, 员丽苹, 张新华, 高霞, 李彤, 2020. O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 自发气调对香菇保鲜效果的影响. *中国果菜*, 40(11): 2-20
- 赵启铨, 舒乐新, 马琳, 崔国红, 2011. 硫酸-苯酚法测定槐甘菌质多糖的含量. *宜春学院学报*, 33(8): 74-76
- 赵爽, 苏哲, 谷彤彤, 高琪, 荣成博, 宋爽, 刘宇, 2020. 鲜切香菇贮藏过程中质构变化与自溶自噬分析. *生物技术通报*, 36(5): 46-52
- 赵文恩, 李茜倩, 2011. FRAP 法测定大枣枣皮红色素的总抗氧化能力. *郑州大学学报 (工学版)*, 32(3): 28-30+35

(本文责编: 王敏)