

15 ℃贮藏下草菇的品质与生理生化分析
Morphological and physiological indexes of
Volvariella volvacea during storage at 15 ℃

查磊¹ 陈明杰¹ 严舒瀚¹ 李传华¹
ZHA Lei¹ CHEN Ming-jie¹ YAN Shu-han¹ LI Chuan-hua¹
汪虹¹ 奚莉萍¹ 王晨光² 赵妍^{1,2}

WANG Hong¹ XI Li-ping¹ WANG Chen-guang² ZHAO Yan^{1,2}

(1. 上海市农业科学院食用菌研究所, 上海 201403; 2. 上海百信生物科技有限公司, 上海 201403)

(1. Institute of Edible Fungi, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China;
2. Shanghai Baixin Biotechnology Company Limited, Shanghai 201403, China)

摘要:以草菇 V23 子实体为供试材料, 15 ℃ 下进行贮藏, 并测定 0, 12, 24, 36, 48, 60, 72, 96 h 各个时间点的形态指标及生理生化指标的变化。结果表明: 草菇的感官品质在贮藏期间呈下降趋势, 而失重率、相对电导率及丙二醛含量随着贮藏时间的延长逐渐升高, 可溶性糖与可溶性蛋白含量处于不断分解又合成的状态, 酸性蛋白酶活性变化不显著, 中性和碱性蛋白酶活性均呈先上升后下降的趋势。

关键词:草菇; 保鲜; 采后品质; 采后生理

Abstract: Fruit bodies of *Volvariella volvacea* V23 strains were stored at 15 ℃ after harvest. Morphological and physiological indexes were measured at 0, 12, 24, 36, 48, 60, 72 and 96 h after storage, respectively. The results showed that the sensory score of *V. volvacea* fruit bodies decreased with storage time, while weight loss rate, relative electric conductivity, and malondialdehyde content gradually increased with the prolongation of storage time. The contents of soluble sugar and protein were in a state of continuous decomposition and synthesis. No significant change was found in the activities of acid protease, while the activities of the neutral and alkaline proteases increased firstly and then decreased during storage.

Keywords: *Volvariella volvacea*; fresh keeping; post-harvest quality; post-harvest physiology

草菇 [*Volvariella volvacea* (Bull. Ex. Fr) Singer] 是热带、亚热带著名的食用菌, 在分类学上隶属真菌门、担子菌纲、伞菌目、光柄菇科、草菇属^[1]。草菇鲜食口感好, 并以鲜销为主, 但常温下其子实体生理代谢活动旺盛, 极易老化, 同时草菇在 10 ℃ 以下贮藏容易导致子实体发生自溶^[2-3], 或在 25 ℃ 以上的环境中贮藏使其呼吸速率和代谢活性增高, 新鲜草菇子实体在贮藏 48 h 内品质迅速下降, 从而失去商品价值^[4], 有研究^[5]表明草菇子实体的最适贮藏温度为 15~20 ℃, 基于此本研究选择在 15 ℃ 对草菇进行贮藏。

草菇形态指标的改变能直观地衡量草菇保鲜时的变质情况, 色泽的变化可能主要与多酚氧化酶和蛋白酶的作用有关^[6-7], 细菌^[8]和病毒^[9]入侵也会促进组织的褐变。硬度主要与蛋白酶降解蛋白有关^[10], 贮藏过程中硬度的变化与多糖、纤维素、几丁质等大分子物质的降解也有关系, 进而影响子实体的感官品质。在变质过程中, 细胞膜受到破坏, 膜透性增大, 电解液渗出, 导致相对电导率增加^[11]²⁰。丙二醛作为衡量膜脂过氧化的指标^[12-13], 其积累是细胞膜系统衰老和损坏的重要标志^[14-15]。食用菌子实体采摘后, 由于缺少外来营养的补充, 代谢只能通过消耗自身糖类产能, 导致多糖含量变化^[16], 糖的降解也是食用菌腐烂变质的主要原因之一^[17-18]。同时, 草菇在保鲜过程中其可溶性蛋白质会进行合成和降解。草菇贮藏保鲜影响最大的因素之一是蛋白酶, 草菇腐烂变质和蛋白酶活性密切相关^[19], 因此可溶性糖含量、可溶性蛋白含量以及蛋白酶的变化间接反映草菇的保鲜品质^[20]。

目前, 通常采用辐照^[21]、气调^[22]、涂抹保鲜^[23]等方法来贮藏草菇, 虽然能够在一定程度上延长其贮藏期, 但对采后保鲜的生理生化机制知之甚少, 缺乏系统性的形态及生理生

基金项目:上海市青年科技启明星计划(编号:16QB1400300); 上海市科技兴农重点攻关项目(编号:沪农科攻字 2015 第 5-6 号); 上海市食用菌产业技术体系[编号:沪农科产字(2017)第 9 号]

作者简介:查磊, 男, 上海市农业科学院研究实习员, 硕士。

通信作者:赵妍(1981—), 女, 上海市农业科学院副研究员, 博士。

E-mail: jiandan289@126.com

收稿日期:2018-04-14

化研究。基于此本研究收集了草菇 V23 的子实体,在 15 ℃ 条件下分别贮藏 0,12,24,36,48,60,72,96 h,从形态和生理生化 2 个方面对其进行系统性评价,为草菇保鲜技术开发提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 主要仪器及试剂

电导仪:DDS-307A 型,上海仪电科学仪器股份有限公司;
恒温调速回转式摇床:DKY-II 型,杜科(上海)自动化设备有限公司;
高速冷冻离心机:5810R 型,德国 Eppendorf AG 公司;
岛津紫外可见分光光度计:UV-1800 型,日本 SHI-MADZU 公司;
2-D Quant Kit 试剂盒:美国 GE Healthcare 公司;
浓硫酸:分析纯(95.0%~98.0%),国药集团化学试剂有限公司;

苯酚:分析纯(≥99.0%),国药集团化学试剂有限公司;
丙二醛(MDA)含量试剂盒:苏州科铭生物技术有限公司;

酸性蛋白酶(ACP)活性测定试剂盒、碱性蛋白酶(AKP)活性测定试剂盒、中性蛋白酶(NP)活性测定试剂盒:上海索桥生物科技有限公司。

1.1.2 样品处理

草菇 V23:上海范顺食用菌专业合作社,采后立即送到上海农业科学院处理,挑选个头饱满,表面光洁无病害,大小一致的完整子实体,随机分成 8 组,每组 30 粒,3 次重复,放在 15 ℃ 分别贮藏 0,12,24,36,48,60,72,96 h,测定各个时间点下草菇子实体的形态指标及生理生化指标。

1.2 方法

1.2.1 形态指标测定方法

(1) 感官评价:参考侯立娟等^[24]感官评分指标及分值表稍作修改进行测定,将感官指标各项得分的平均值,作为最终的评定数值。感官评分标准见表 1。

表 1 感官评分标准
Table 1 Sensory evaluation criteria

感官指标	硬度	风味	色泽	出水情况	有无凹陷
4	丰满、硬实	典型鲜菇味	无褐变	表面不黏、无出水	无凹陷
3	略失弹性、较硬	鲜菇味	略微褐变	表面稍黏、略出水	轻微凹陷
2	较软	轻微鲜菇味	变黄	明显发黏、出水	明显凹陷
1	腐烂、不可食用	无鲜菇味	内部变黄	严重发黏、大量出水	严重凹陷

(2) 失重率:参照文献^[10]²⁹。
(3) 底部直径缩短率、中径缩短率、菇高缩短率:参照文献^[10]²⁹。

1.2.2 生理指标测定方法

(1) 相对电导率:参照文献^[11]¹⁵测定。
(2) 丙二醛(MDA)含量:采用丙二醛含量试剂盒进行测定。
(3) 可溶性糖含量:采用苯酚法测定。
(4) 可溶性蛋白含量:取草菇子实体样品 0.2~0.5 g,加蒸馏水研磨至匀浆,定容至 10 mL,15 ℃ 下 3 500 r/min 离心 10 min,取上清液,用 2-D Quant Kit 试剂盒测定可溶性蛋白质含量。

(5) 蛋白酶活性:采用酸性蛋白酶(ACP)活性测定试剂盒、碱性蛋白酶(AKP)活性测定试剂盒、中性蛋白酶(NP)活性测定试剂盒进行测定。

2 结果与分析

2.1 形态指标

2.1.1 外观形态的改变 如图 1 所示,随着贮藏时间的延长,子实体外表面褐变加深,并出现不同程度的腐烂。在贮藏 0~24 h 期间,草菇子实体的外观形态无明显变化;贮藏 36 h 后,其表面开始出现凹陷,贮藏 48~96 h 时凹陷面积逐

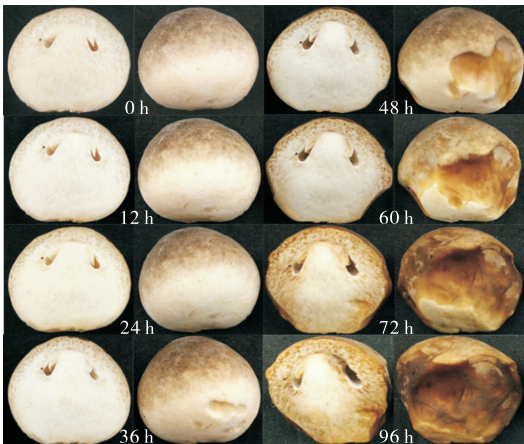


图 1 草菇子实体在 15 ℃ 贮藏期间的外观形态
Figure 1 Sensory quality of the *V. volvacea* fruit bodies stored at 15 ℃

渐变大,且凹陷处伴有出水、褐变加重等现象。
2.1.2 感官品质的改变 如图 2 所示,在 15 ℃ 贮藏 0~12 h 时草菇子实体感官品质无明显下降;贮藏 24~60 h 时,感官品质随时间的延长呈缓慢下降趋势;贮藏 60 h 后感官品质急剧下降。
2.1.3 失重率的改变 通常果实的贮藏温度越高,水分蒸发量会越大,失水达到一定程度时,外观出现萎蔫,对其品质和

生理代谢均产生较大的影响^[25]。草菇子实体在 15 ℃贮藏 96 h 内的失重率变化见图 3。结果表明:草菇子实体的失重率随贮藏时间的延长呈显著($P<0.05$)升高趋势,到贮藏 96 h 时,失重率已达到 20.9%。

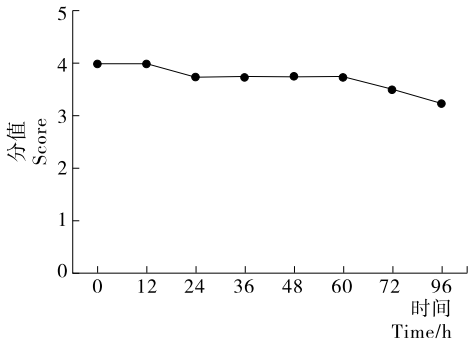


图 2 草菇子实体在 15 ℃贮藏期间的感官品质分值

Figure 2 Sensory score of *V. voluacea* fruit bodies stored at 15 °C

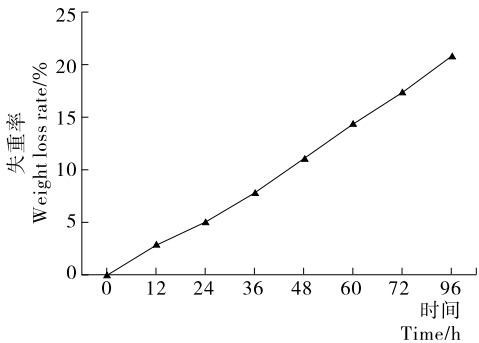


图 3 草菇子实体在 15 ℃贮藏期间的失重率

Figure 3 Weight loss rate of *V. voluacea* fruit bodies stored at 15 °C

2.1.4 草菇中径、底部直径及菇高的改变 从图 4 可以看出,贮藏 0~48 h 时,草菇子实体的中径、底部直径及菇高缩短率变化并不明显;贮藏 48~96 h 时,中径和底部直径缩短率开始显著($P<0.05$)升高,说明中径与底部直径在不断缩短;贮藏 72~96 h 时,菇高缩短率呈显著下降趋势,说明草菇子实体在此过程中有生长变长的现象。

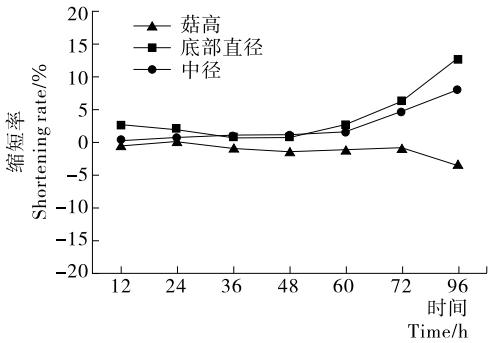


图 4 草菇子实体在 15 ℃贮藏期间的中径、底部直径、菇高缩短率

Figure 4 Shortening rate of middle diameter, bottom diameter and length in *V. voluacea* fruit bodies stored at 15 °C

2.2 生理指标

2.2.1 相对电导率的改变 相对电导率的变化可以反映细胞膜结构的完整性^[26]。从图 5 可以看出,15 ℃贮藏下草菇子实体的相对电导率随着贮藏的时间延长呈先升高,再保持稳定,后上升的总体趋势。贮藏 0~36 h 时,草菇子实体相对电导率为 53%~62%,呈显著($P<0.05$)上升趋势;贮藏 36~60 h 时,相对电导率无显著($P>0.05$)变化,稳定在 58%~62%;贮藏 60~96 h 时,相对电导率由 58.2%迅速升高至 81.9%,呈极显著($P<0.01$)上升趋势。说明草菇在 15 ℃贮藏 60~96 h 时,细胞膜受到严重破坏,电解液流出,导致相对电导率迅速上升,这可能是导致感官得分在 60 h 时下降的原因之一。

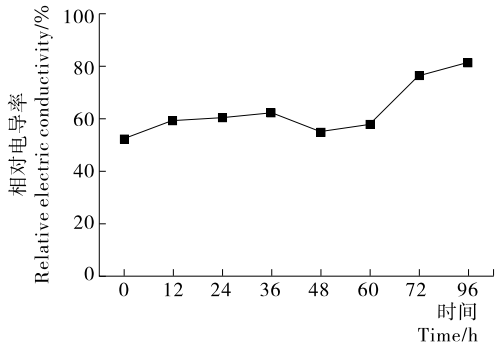


图 5 草菇子实体在 15 ℃贮藏期间的相对电导率

Figure 5 Relative electric conductivity in *V. voluacea* fruit bodies stored at 15 °C

2.2.2 丙二醛含量的改变 丙二醛是评价细胞膜系统受损伤程度的标志^[27-28]。由图 6 可知,贮藏 0~36 h 时,草菇 MDA 含量从 13.2 nmol/g 上升至 22.9 nmol/g,说明此段时间草菇细胞膜过氧化程度相对较低;贮藏 48~72 h 时,MDA 含量无显著性改变,基本稳定在 20 nmol/g 左右,说明草菇细胞膜过氧化程度增加放缓;贮藏 72~96 h 时,MDA 含量显著($P<0.05$)上升,并达到最高值(40.8 nmol/g),说明草菇细胞膜的过氧化程度急剧增加,这与相对电导率及感官得分的变化基本一致。

2.2.3 可溶性糖含量的改变 可溶性糖是参与细胞内碳水化合物代谢的临时储能,并被认为是蘑菇采后变质的一个重

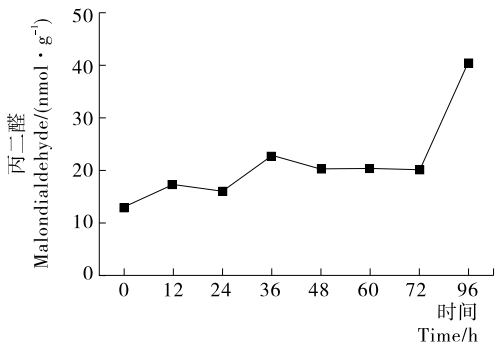


图 6 草菇子实体在 15 ℃贮藏期间的丙二醛含量

Figure 6 Malondialdehyde content in *V. voluacea* fruit bodies stored at 15 °C

要指标^[29]。如图 7 所示,贮藏 0~36 h 时,草菇子实体的可溶性糖含量总体呈现波动性改变;贮藏 36~96 h 时,可溶性糖含量呈先上升后下降的趋势。

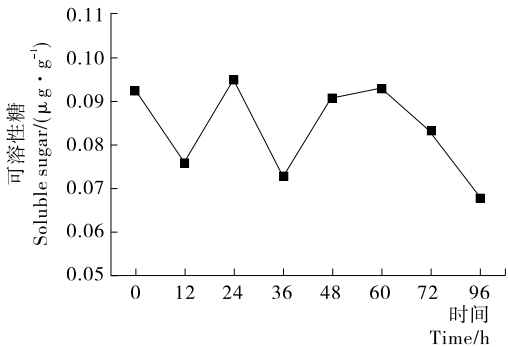


图 7 草菇子实体在 15 °C 贮藏期间的可溶性糖含量
Figure 7 Soluble sugar content of *V. volvacea* fruit bodies stored at 15 °C

2.2.4 可溶性蛋白含量的改变 可溶性蛋白被认为是组织破坏的敏感指标,也是支持持续代谢活性的营养源^[30]。草菇在保鲜过程中蛋白质会进行合成和降解,其含量处于波动状态(图 8)。在 15 °C 贮藏 0~12 h 时,草菇子实体的可溶性蛋白含量呈上升趋势,说明蛋白质仍在合成;贮藏 12~36 h 时,可溶性蛋白含量有所下降,说明蛋白质被降解;贮藏 36~72 h 时,可溶性蛋白质含量呈上升趋势;贮藏 72~96 h 时可溶性蛋白质含量迅速降低。研究结果表明,草菇子实体采后在 15 °C 贮藏期间,其蛋白质处于不断分解又合成的状态,但可溶性蛋白含量总体呈下降趋势,降解量大于合成量,与可溶性糖的变化趋势相似。

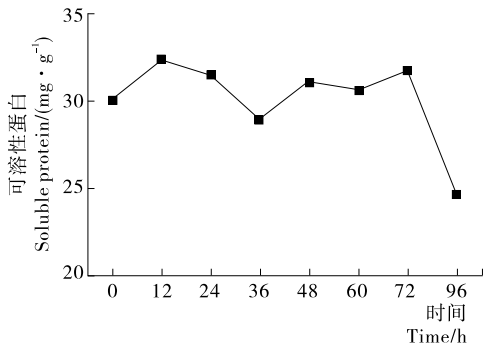


图 8 草菇子实体在 15 °C 贮藏期间的可溶性蛋白质含量
Figure 8 Soluble protein content of *V. volvacea* fruit bodies stored at 15 °C

2.2.5 蛋白酶活性的改变 菇体的腐烂与蛋白质的降解有关,蛋白酶的活性越高,蛋白质降解也越严重,菇体腐烂就越快^[6],在草菇贮藏期间蛋白酶是造成草菇软腐的原因之一。由图 9 可知,在 15 °C 贮藏下,草菇子实体的 ACP 酶活性在贮藏各时间点无显著性变化($P>0.05$);贮藏 0~60 h 时,NP 和 AKP 酶活性呈显著($P<0.05$)上升趋势;贮藏 60~96 h 时,NP 和 AKP 酶活性呈下降趋势。上述结果表明,在 15 °C 贮藏期间 NP 和 AKP 起主要作用,且在贮藏 60 h 时,NP 和 AKP 蛋白酶活性达到最高水平。

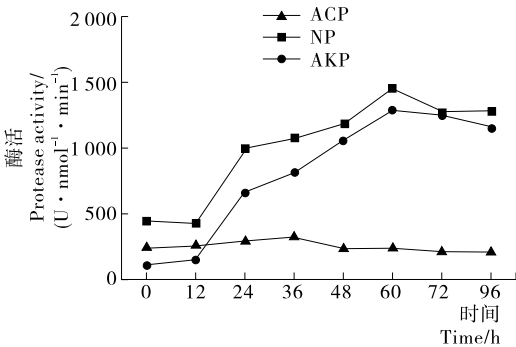


图 9 草菇子实体在 15 °C 贮藏期间的蛋白酶活性
Figure 9 Protease activity of *V. volvacea* fruit bodies stored at 15 °C

3 结论

在 15 °C 贮藏过程中,随着时间的延长草菇子实体的感官品质逐渐降低,失重率不断升高。相对电导率、丙二醛含量也随贮藏时间的延长呈上升趋势,表明草菇子实体的细胞膜损伤程度不断加剧;可溶性糖和可溶性蛋白含量的改变间接导致了贮藏期间感官品质的降低,尤其是中性和碱性蛋白酶活性的高表达,是引发草菇子实体发生软腐的主要原因之一。本研究在前人^[5]研究的基础上,选择草菇最适的贮藏温度,并在不同贮藏时间下测定其形态和生理生化变化规律,对进一步研究草菇保鲜的内在机理及保鲜技术的开发具有重要意义。

参考文献

[1] 吕作舟. 食用菌栽培学[J]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 279.
[2] SCHWALB M N. Developmentally regulated proteases from the basidiomycete *Schizophyllum commune* [J]. Journal of Biological Chemistry, 1977, 252(23): 8 435-8 439.
[3] HÄNSELER E, NYHLÉN L E, RAST D M. Isolation and properties of chitin synthetase from *Agaricus bisporus mycelium*[J]. Experimental Mycology The Journal of Biological Chemistry, 1983, 7(1): 17-30.
[4] NERYA O, BEN-ARIE R, LUZZATTO T, et al. Prevention of *Agaricus bisporus* postharvest browning with tyrosinase inhibitors[J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 39 (3): 272-277.
[5] 王富民, 宫秀荣, 高君辉, 等. 草菇采后保鲜研究[J]. 食用菌, 1990(4): 35-37.
[6] ZHANG Dong-lin, QUANTICK Peter-C. Effects of chitosan coating on enzymatic browning and decay during postharvest storage of litchi (*Litchi chinensis* Sonn) fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 1997, 12(2): 195-202.
[7] 李世贵, 陈明杰, 凌霞芬. 草菇蛋白酶的鉴定[J]. 食用菌学报, 2000(3): 21-24.
[8] LARGETEAU Michèle-L, SAVOIE Jean-Michel. Microbially induced diseases of *Agaricus bisporus*; biochemical mechanisms and impact on commercial mushroom production[J]. Applied Microbiology & Biotechnology, 2010, 86(1): 63-73.
[9] ELIBUYUK Ibrahim-ozet, BOSTAN Hidayet. Detection of a vi-

rus disease on white button mushroom (*Agaricus bisporus*) in Ankara, Turkey[J]. International Journal of Agriculture & Biology, 2010, 12(4): 597-600.

[10] 李亚鹏. 海藻糖、甘露醇在草菇耐低温中的作用[D]. 上海: 上海海洋大学, 2014.

[11] 姜威. 低温胁迫下草菇抗氧化应答反应中关键酶的表达量变化及活性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2014.

[12] LONG Jian-gang, WANG Xue-min, GAO Hong-xiang, et al. Malonaldehyde acts as a mitochondrial toxin: inhibitory effects on respiratory function and enzyme activities in isolated rat liver mitochondria[J]. Life Sciences. 2006, 79 (15): 1 466-1 472.

[13] 阎瑞香, 李宁, 朱志强, 等. 不同保鲜膜对双孢菇采后褐变及相关酶活性的影响[J]. 北方园艺, 2010(13): 196-198.

[14] 吴国虹, 谢宝贵, 江玉姬, 等. 不同包装方式对 1-MCP 处理草菇的保鲜效应[J]. 食用菌学报, 2014, 21(3): 60-65.

[15] 逯连静, 陈明杰, 邢增涛, 等. 打孔膜包装对草菇品质及生理生化影响[J]. 食用菌学报, 2013, 20(1): 56-61.

[16] 祝子坪, 李娜, 唐雪明. 草菇 V23 子实体耐低温性能改良的初步研究[J]. 核农学报, 2016, 30(12): 2 312-2 317.

[17] 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.

[18] 乔勇进, 张娜娜, 戚文元, 等. 食用菌采后生理及保鲜技术与展望[J]. 上海农业学报, 2015, 31(6): 145-149.

[19] 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(2): 71-74.

[20] 谢雯君, 王则金. 蘑菇采后生理及保鲜技术研究进展[J]. 食品与机械, 2005(3): 69-72.

[21] 叶蕙, 陈建勋, 余让才, 等. γ 辐照对草菇保鲜及其生理机制的研究[J]. 核农学报, 2000(1): 24-28.

[22] 谢福泉, 谢宝贵, 林远崇, 等. $^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐照对草菇生理生化指标及保鲜效果的影响[J]. 食用菌学报, 2005(2): 41-46.

[23] 伍国明. 微波处理与涂膜对草菇控温贮藏保鲜的影响研究[J]. 食用菌学报, 2009, 16(2): 45-50.

[24] 侯立娟, 林金盛, 方东路, 等. 脱氢醋酸钠对草菇外观品质和保护酶活性的影响[J]. 江苏农业学报, 2014, 30(6): 1 484-1 489.

[25] 张苹苹, 李喜宏, 杨莉杰, 等. 生鲜罗汉果适宜贮藏温度及特性研究[J]. 食品科技, 2017, 42(10): 44-48.

[26] 周拥军, 郜海燕, 陈杭君, 等. 减压贮藏对杏鲍菇采后活性氧代谢的影响[J]. 核农学报, 2015, 29(6): 1 108-1 113.

[27] 田红炎, 饶景萍. 二氧化氯处理对机械损伤猕猴桃果实的防腐保鲜效果[J]. 食品科学, 2012, 33(18): 298-302.

[28] 宋姝婧, 王晓拓, 王志东, 等. 5 种植物精油对樱桃番茄常温保鲜效果的影响[J]. 核农学报, 2015, 29(5): 932-939.

[29] JIANG Tian-jia. Effect of alginate coating on physicochemical and sensory qualities of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) under a high oxygen modified atmosphere[J]. Post-harvest Biology & Technology, 2013, 76(1): 91-97.

[30] LI Na, CHEN Feng-mei, CUI Feng-ji, et al. Improved post-harvest quality and respiratory activity of straw mushroom (*Volvariella volvacea*) with ultrasound treatment and controlled relative humidity[J]. Scientia Horticulturae, 2017, 225: 56-64.

(上接第 47 页)

[2] 卫春会, 边名鸿, 黄治国, 等. 桑椹酒香气成分的 HS-SPME-GC-MS 分析[J]. 食品与机械, 2013, 29(3): 27-30, 93.

[3] LIEW A G, SULAIMAN N M, AROUA M K, et al. Optimization of headspace sampling using solid-phase microextraction (SPME) for volatile components in starfruit juice [J]. International Journal of Food Engineering, 2013, 9(2): 227-232.

[4] SONCIN S, CHIESA L M, CANTONI C, et al. Preliminary study of the volatile fraction in the raw meat of pork, duck and goose[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2006, 20 (5): 436-439.

[5] 綦艳梅, 张宁, 徐晓兰, 等. 不同萃取头萃取月盛斋清香牛肉挥发性成分[J]. 精细化工, 2012, 29(10): 960-964.

[6] 韩云秀. 牛肉风味物质分析及其检测方法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017: 24-31.

[7] 原琦, 罗爱平, 何光中, 等. 不同部位奶公狍小白牛肉挥发性风味物质分析[J]. 食品与机械, 2015, 31(5): 39-42.

[8] 周恒量, 胡玉娇, 李诚, 等. 风味泡鹅肉挥发性风味物质 GC-MS 检测中的 HS-SPME 萃取工艺优化[J]. 食品与机械, 2016, 32 (3): 82-87, 112.

[9] 潘见, 杨俊杰, 邹英子. 不同涂层 SPME 与 GC-MS 联用比较分析两种猪肉挥发性风味成分[J]. 食品科学, 2012, 33(12): 169-172.

[10] 兰欣, 汪东风, 张莉, 等. HS-SPME 法结合 GC-MS 分析崂山绿茶的香气成分[J]. 食品与机械, 2012, 28(5): 96-101.

[11] MATTIOLO E, LICCIARDELLO F, LOMBARDO G M, et al. Volatile profiling of durum wheat kernels by HS-SPME/GC-MS[J]. European Food Research and Technology, 2017, 243: 147-155.

[12] TAT L, COMUZZO P, STOLFO I, et al. Optimization of wine headspace analysis by solid-phase microextraction capillary gas chromatography with mass spectrometric and flame ionization detection[J]. Food Chemistry, 2005, 93(2): 361-369.

[13] 席嘉佩, 詹萍, 田洪磊, 等. 基于 SPME-GC-MS 和 PCA 的不同萃取头对新疆烤羊肉香气成分萃取效果比较[J]. 食品科学, 2018(10): 234-241.

[14] 王学敬, 李聪, 王玉峰, 等. SPME-GC-MS 法分析德州扒鸡挥发性风味成分的条件优化及成分分析[J]. 南京农业大学学报, 2016, 39(3): 495-501.

[15] 张迪雅, 谢丹婷, 李晔. 应用电子鼻和 GC-MS 比较牛肉不同部位的挥发性物质组成[J]. 食品工业科技, 2017, 38(21): 241-246.

[16] 王珺, 贺稚非, 李洪军, 等. 顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱法分析兔肉的挥发性风味物质[J]. 食品科学, 2013, 34 (14): 212-217.

[17] XIE Jian-chun, SUN Bao-guo, ZHENG Fu-ping, et al. Volatile flavor constituents in roasted pork of Mini-pig[J]. Food Chemistry, 2008, 109(3): 506-514.

[18] 孙志昶, 韩玲, 李永鹏, 等. 舍饲与放养饲养方式下藏麻猪肉的挥发性成分对比[J]. 食品科学, 2011, 32(14): 257-260.