

低压对双孢菇贮藏品质和生理的影响

李建新¹, 王卓², 李沛³, 刘亚平^{3,*}

(1. 山西省食品质量监督检验研究院, 山西 太原 030012; 2. 西北农林科技大学生命科学院, 陕西 杨凌 712100; 3. 山西农业大学食品科学与工程学院, 山西 太谷 030801)

摘要:以双孢菇为试材,研究了0.02 MPa和0.04 MPa两个不同低压处理对其贮藏过程中质地、褐变和相关酶活性的影响。结果表明:与对照(0.1 MPa)相比,低压贮藏较好地保持了双孢菇超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)的活性,有效地抑制了丙二醛(MDA)含量的上升,延缓了双孢菇子实体的衰老进程;低压贮藏保持了双孢菇可溶性固形物和VC含量,有利于其硬度、弹性、咀嚼性等质地参数的保持;同时,降低了贮藏中双孢菇多酚氧化酶(PPO)的活性,较好地保持了双孢菇的色泽,有效抑制了褐变。其中,0.04 MPa压力下贮藏效果更好。

关键词: 低压贮藏; 双孢菇; 品质; 质地; 生理

Effect of Low-pressure on Storage Quality and Physiology of *Agaricus bisporus*

LI Jian-xin¹, WANG Zhuo², LI Pei³, LIU Ya-ping^{3,*}

(1. Shanxi Province Food Quality & Security Supervision and Inspection Institute, Taiyuan 030012, China; 2. Northwest A&F University, College of Science, Yangling 712100, China; 3. Shanxi Agricultural University, Food Science and Engineering College, Taigu 030801, China)

Abstract: In order to discuss the effect of low-pressure storage on texture, browning and related enzyme activity of mushroom, *Agaricus bisporus* was used as experimental material and treated at 0.02 MPa and 0.04 MPa low-pressure. The results showed that, low-pressure storage effectively maintained the activities of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and peroxidase (POD) in *Agaricus bisporus*, suppressed the increase of malondialdehyde (MDA) content and delayed the aging process of *Agaricus bisporus*. Low-pressure storage kept the contents of soluble solids and VC, which was helpful to the maintenance of hardness, springiness and chewiness of *Agaricus bisporus*. At the same time, low-pressure storage reduced the polyphenol oxidase (PPO) activity, maintained the color of *Agaricus bisporus* and effectively inhibited its browning. In conclusion, 0.04 MPa low-pressure showed the better storage effect.

Key words: low-pressure storage; *Agaricus bisporus*; quality; texture; physiology

中图分类号: S646.9; TS205.9 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1009-6221.2019.04.004

基金项目: 山西省重点研发计划重点项目(201703D211001-06-03)

作者简介: 李建新(1987—), 男, 汉族, 硕士, 研究方向: 食品科学。

*通讯作者: 刘亚平, 博士, 副教授, 研究方向: 果蔬贮藏保鲜。

进入21世纪以来,我国的食用菌栽培规模日益扩大,产量以及出口量均日益增长,现已跃至世界第一位^[1]。双孢菇[*Agaricus bisporus* (Lange) Sing.],俗称蘑菇、纽扣菇、口蘑、洋蘑菇、白蘑菇,在真菌分类学上隶属于真菌门中的蘑菇科蘑菇属^[2],目前是世界各国人民大量栽培并食用的一种菌类。双孢菇中含有18种氨基酸,其中含有8种必需氨基酸,以及丰富的维生素、烟酸、核苷酸等,其营养价值是其他普通果蔬的4~12倍,被人们誉为“素中之王”^[3]。而且,双孢菇特别适合老年人和儿童,具有清热解毒、消炎润肺、健脑、降血压、降血脂、抗肿瘤等多种保健作用。

但是,双孢菇鲜菇子实体含水量极高^[4],肉质脆嫩,生命活动旺盛,呼吸作用很高^[5-6],导致子实体内营养物质消耗快。同时,在没有明显的保护结构、常温贮藏的情况下,水分极易蒸腾,菌膜会发生破裂,菌盖开伞、流失水分、子实体萎缩^[5],再加上不能阻止外界的机械损伤和物理伤害、有害微生物或致病菌侵染,采摘后非常容易腐烂和褐变^[7-8],导致风味劣变,从而失去商品价值和食用价值。双孢菇与市场中的其他新鲜果蔬相比,货架期短,仅能保存3~4 d^[9]。因此,亟需进行双孢菇贮藏保鲜技术的研究。

低压贮藏是把贮藏场所的气压降低,形成一定的真空度,使密闭容器内空气的各种气体组分的分压都相应降低,可以促进果蔬组织内挥发性有害气体向外扩散,从而减少由这些物质引起的衰老和生理病害,也从根本上消除CO₂中毒的可能性,在一些果蔬保鲜研究中取得了显著的效果^[10]。根据相关报道,有关双孢菇贮藏保鲜技术研究主要集中在低温冷藏^[11]、气调贮藏^[12-13]、放射性辐照保鲜^[14]、植物源或化学保鲜剂保鲜^[15]、溶液浸泡^[16-17]、超声保鲜^[18]和涂膜保鲜^[19]等方面,而对于双孢菇贮藏前进行低压贮藏对品质方面的研究尚未见报道。因此,本文采用双孢菇为试材,研究贮藏前低压贮藏对双孢菇子实体采后相关酶活性和贮藏品质的影响,以其为双孢菇采后生理提供支持和理论依据,同时进一步完善双孢菇物流中的保鲜技术,创造更好的效益。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

1.1.1 材料与试剂

双孢菇:购于太谷县果蔬批发市场。选取刚采摘、白色光洁、新鲜、个体大小均匀、无病虫害和机械损伤的双孢菇。

过氧化氢酶试剂盒、超氧化物歧化酶试剂盒、过

氧化物酶试剂盒、多酚氧化酶试剂盒,均购自南京建城生物工程研究所;磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、三氯乙酸、硫代巴比妥酸、草酸、抗坏血酸、2,6-二氯靛酚均为分析纯。

1.1.2 仪器与设备

TMS-Pro型质谱仪,TC-PIIG型色差仪,Eppendorf 5810R型离心机,WFJ2100型可见分光光度计,BS224S型电子天平,ST-P-RT型数显恒温水浴锅,TW-450E型塑封机,DZQ450L型真空充气包装机,WYT-J型阿贝折光仪。

1.2 方法

1.2.1 处理方法

供试双孢菇随机装入0.07 mm厚的低密度聚乙烯(LDPE)塑料袋。对照(0.1 MPa)装入袋中密封,处理使用真空充气包装机分别抽真空至0.04、0.02 MPa,处理3 s,热合封口,每个处理重复3次,置于常温贮藏,温度控制在15~20℃,每2 d取1次样测定相关指标。

1.2.2 测定项目与方法

1.2.2.1 可溶性固形物(TSS)含量

使用阿贝折光仪测定。

1.2.2.2 VC含量

采用2,6-二氯靛酚测定法^[20]测定。

1.2.2.3 质构指标

使用质构仪来测定低压贮藏对双孢菇贮藏过程中硬度、弹性以及咀嚼性的影响。测定双孢菇相关质构指标时,将供试的双孢菇样品放在测试台的正中间,质构仪的传感探头对准双孢菇菌盖正中心的部位进行垂直穿刺,通过传感器和计算机处理相关数据以此来测定双孢菇的质构指标,平行重复3次,计算得到质构指标的平均值。

测定模式:采用TPA质构分析模式;垂直穿刺所采用的探头是直径为6 mm的圆柱形探头;测定时的室温为15~20℃;测定双孢菇质构指标的TPA质构分析模式相关参数设置:测定时的起始力为0.4 N,测定时的速率为70 mm/min,测定样品前以及测定样品后的速率为200 mm/min,测定时的挤压距离为5 mm,两次挤压间隔时间为3 s,测定时数据的收集速率是200次/s。

1.2.2.4 色差

测定色差时在双孢菇菌盖的正中心部位取1个点,平行重复3次,计算得到双孢菇样品的色差平均值。按照色差仪操作说明书的指示进行操作,L值代表着亮度,屏幕上显示的L值越大,则说明所测样品

的颜色越近乎于白色; a 值和 b 值代表着颜色彩度, a 为负值时表明所测样品的颜色偏向于绿色, a 为正值时表明所测样本的颜色偏向于红色; b 为负值时表明所测样本的颜色偏向于蓝色, b 为正值表明所测样本的颜色偏向于黄色;待测样品的色差值用 ΔE 来表示,按照下列公式^[21]计算待测样品的色差值:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

式中: ΔL 、 Δa 、 Δb 是色差仪标准板的 L 、 a 、 b 值与双孢菇样品的 L 、 a 、 b 值的差值。

1.2.2.5 超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、多酚氧化酶(PPO)活性

取样时沿双孢菇菌盖的垂直部位用刀片切下大小一致的菇条放在研钵中,用研钵将菇条冰浴研磨混匀,按照试剂盒操作说明书分别进行SOD、CAT、POD和PPO活性的测定,重复3次,计算酶活性得到平均值。

1.2.2.6 丙二醛(MDA)含量

采用硫代巴比妥酸(TBA)比色法^[22]测定。

1.2.3 数据处理

所有数据全部采用SPSS19.0和Excel 2010软件进行相关数据的处理以及分析。

2 结果与分析

2.1 低压贮藏对双孢菇 TSS 和 VC 含量的影响

由图1可以看出,在整个贮藏过程中,双孢菇的

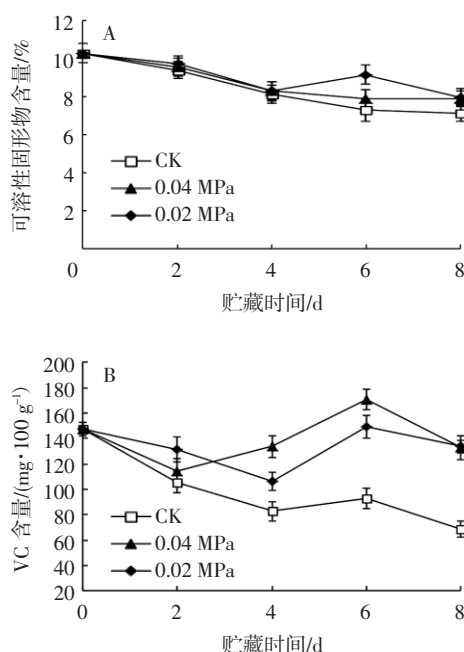


图1 低压贮藏对双孢菇 TSS(A)和 VC 含量(B)的影响

Fig.1 Effect of low-pressure storage on the contents of TSS(A) and VC(B) of *Agaricus bisporus*

TSS 含量随着贮藏时间的延长逐渐减少,低压贮藏的双孢菇 TSS 含量在贮藏后期(6~8 d)显著高于对照($P<0.05$)。对照双孢菇 VC 含量随着贮藏时间的延长逐渐减少, 低压贮藏双孢菇的 VC 含量后期有所增加, 低压贮藏的双孢菇 VC 含量显著高于对照($P<0.05$)。可见 0.02 MPa 和 0.04 MPa 的低压贮藏显著保持了双孢菇子实体 TSS 和 VC 的含量。

2.2 低压贮藏对双孢菇质构指标的影响

由图2可以看出,在整个贮藏过程中,对照双孢菇的硬度、弹性以及咀嚼性均呈现较快速下降的趋势, 低压处理的双孢菇硬度、弹性以及咀嚼性贮藏前期变化不大,后期呈下降趋势。低压贮藏后期(6~8 d)双孢菇的硬度、弹性以及咀嚼性均显著大于对照双孢菇($P<0.05$),其中 0.04 MPa 低压贮藏双孢菇后期(6~8 d)与对照组之间存在极显著差异($P<0.01$)。可见低压贮藏显著保持了双孢菇的硬度、弹性以及咀嚼性,其中 0.04 MPa 的低压贮藏效果更显著。

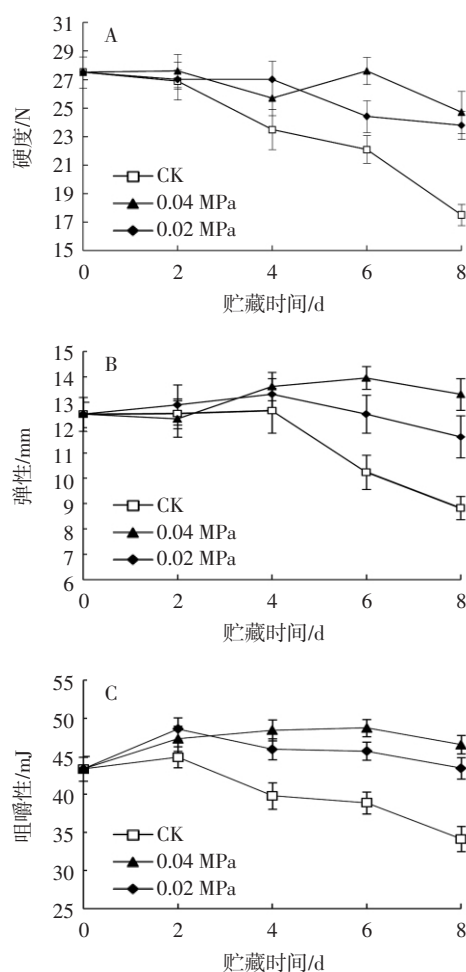


图2 低压贮藏对双孢菇硬度(A)、弹性(B)及咀嚼性(C)的影响

Fig.2 Effect of low-pressure storage on hardness(A), springness(B) and chewiness(C) of *Agaricus bisporus*

2.3 低压贮藏对双孢菇色泽的影响

由图3可以看出,在整个贮藏过程中,双孢菇的色差值和PPO活性均随贮藏时间的延长而增加。经过方差分析表明,低压贮藏的双孢菇与对照相比色差值无显著差异,但是在实际贮藏过程中低压贮藏的双孢菇色泽要好于未经处理的双孢菇。同时在贮藏后期(6~8 d)对照双孢菇的PPO活性显著高于低压贮藏的双孢菇($P<0.05$)。可见低压贮藏减缓了双孢菇PPO活性的上升,延缓了褐变。

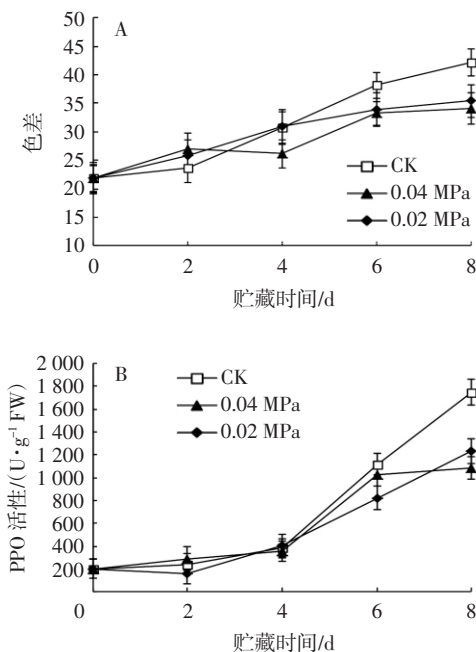


图3 低压贮藏对双孢菇色差(A)和PPO活性(B)的影响
Fig.3 Effect of low-pressure storage on chromatism (A) and PPO activity (B) of *Agaricus bisporus*

2.4 低压贮藏对双孢菇活性氧代谢的影响

由图4可以看出,在整个贮藏过程中,双孢菇的SOD活性变化表现为先上升后下降的趋势,在贮藏第4天SOD活性达到最高,在贮藏后期(6~8 d)低压贮藏双孢菇的SOD活性显著高于对照的双孢菇($P<0.05$),可见,低压贮藏显著保持了双孢菇的SOD活性;同时,贮藏期间低压贮藏的双孢菇CAT活性显著大于对照双孢菇($P<0.05$),分析其原因可能是由于在刚采摘的双孢菇中有 H_2O_2 ,此时为了清除 H_2O_2 ,所以CAT活性高,到了贮藏后期,由于双孢菇的衰老, H_2O_2 大量产生所以在贮藏后期CAT活性表现为上升,而且0.04 MPa低压贮藏双孢菇的CAT活性极显著高于对照($P<0.01$),可见低压贮藏显著保持双孢菇CAT活性;在POD活性上,低压贮藏双孢菇的POD活性显著高于对照(6~8 d)($P<0.05$),可见,低压贮藏显著保持了双孢菇POD活性;在膜脂过氧化方面,双孢菇

MDA含量的变化表现为上升趋势,随贮藏时间的延长而增加,对照双孢菇MDA含量显著高于低压贮藏的双孢菇($P<0.05$),可见,低压贮藏具有抑制双孢菇子实体中MDA含量上升的作用,可以延缓双孢菇子实体的衰老进程。

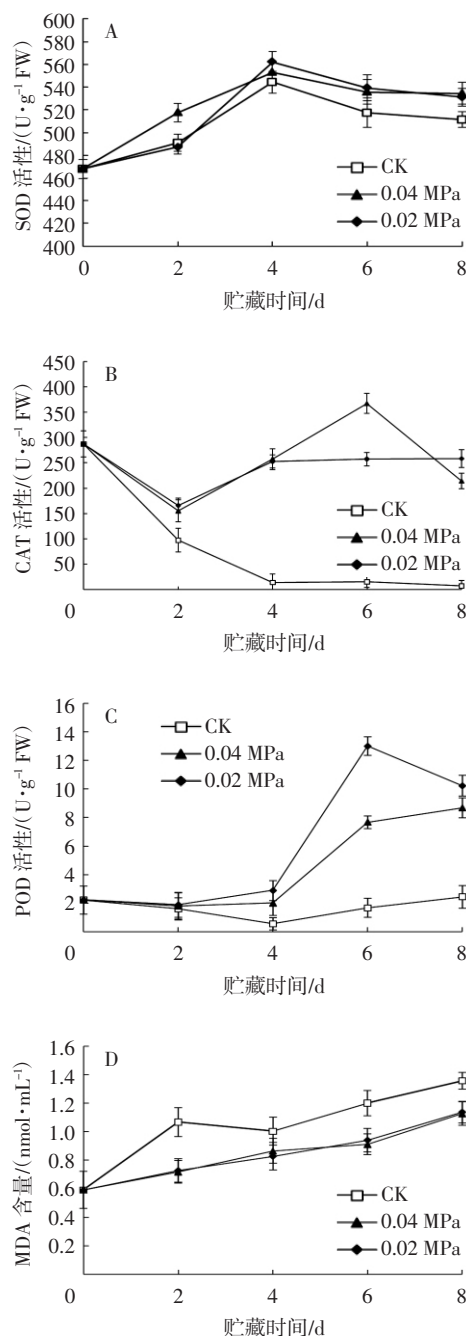


图4 低压贮藏对双孢菇活性氧代谢的影响
Fig.4 Effect of low-pressure storage on the active oxygen metabolism of *Agaricus bisporus*

3 讨论

经活性氧代谢中相关酶活性以及MDA含量的测定可以得知,经过低压贮藏的双孢菇与0.1 MPa下

的双孢菇相比, 低压贮藏具有保持双孢菇子实体 POD、CAT 和 SOD 活性的作用, 同时也具有抑制双孢菇子实体 MDA 含量上升的作用, 使双孢菇子实体内的活性氧代谢维持在较低的水平, 抑制了膜脂过氧化, 推迟了采摘后成熟衰老进程; 经过质构仪测定的相关质构指标可以得知, 低压贮藏的双孢菇与 0.1 MPa 下的双孢菇相比, 低压贮藏具有保持双孢菇子实体硬度、弹性以及咀嚼性的作用。因此, 低压贮藏可以保持双孢菇子实体的质地品质, 延长双孢菇货架期; 经过色泽相关试验可知, 低压贮藏的双孢菇与未经低压贮藏的双孢菇相比较, 低压贮藏可以抑制 PPO 活性的上升延缓褐变。

综上所述, 低压贮藏有利于双孢菇的贮藏保鲜, 延长货架期。经过分析可能是因为在抽真空的过程中, 贮藏袋内的气压下降, 袋内的各种气体成分也会随之下降, 氧气浓度同样也会快速下降^[23-26], 氧气浓度的降低, 减缓了呼吸作用以及营养物质的消耗; 与此同时, 低压贮藏的双孢菇由于贮藏环境中的压力降低, 会与子实体内部的压力形成一定的内外压力差, 这种压力差会使子实体中的有害气体向外扩散。因此, 真空包装会在一定程度上减轻有害气体对双孢菇造成的损害。

0.02 MPa 的低压贮藏与 0.04 MPa 相比, 0.04 MPa 对双孢菇子实体的贮藏保鲜效果更好。经过分析, 可能是因为 0.02 MPa 的真空度过低, 双孢菇子实体内部与环境中的气压形成的压力差过大, 同时由于其特殊的结构, 会使得双孢菇子实体产生一定的损伤, 对组织产生一定的破坏, 相关的生理代谢也会随之发生变化, 同时也会造成双孢菇子实体呼吸强度的上升, 消耗大量的营养物质, 子实体颜色加深, 减少了贮藏时间, 品质劣变, 失去商品价值, 但低压贮藏的极限压力值以及有害气体对双孢菇的伤害仍需进一步的试验研究才可以确定。

4 结论

(1) 低压贮藏很好地保持了双孢菇的色泽和质地品质以及 POD、CAT 和 SOD 的活性, 有效地抑制了 PPO 活性和 MDA 含量的上升, 且 0.04 MPa 处理的保鲜效果优于 0.02 MPa。

(2) 双孢菇采用 0.07 mm 厚的 LDPE 袋进行低压贮藏, 贮藏温度为 15~20 ℃, 适宜的压力为 0.04 MPa。

参考文献:

[1] 孟德梅, 申琳, 陆军, 等. 双孢菇采后感官品质变化的

因素分析与保鲜技术研究进展[J]. 食品科学, 2010, 31(15): 283-287.

- [2] 陈士瑜. 菇菌生产技术全书[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 1.
- [3] KHAN Z U. 复合保鲜剂处理对双孢菇采后品质及相关生理及分子变化的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
- [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. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2007.05.021.
- [5] VAROQUAUX P, GOUBLE B, BARRON C, et al. Respiratory parameters and sugar catabolism of mushroom (*Agaricus bisporus* Lange)[J]. Postharvest Biology and Technology, 1999, 16(1): 51-61. DOI: 10.1016/S0925-5214(99)00004-6.
- [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. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2007.00321.x.
- [7] BRENNAN M, LE PORT G, PULVIRENTI A, et al. The effect of sodium metabisulphite on the whiteness and keeping quality of sliced mushrooms[J]. LWT-Food Science and Technology, 1999, 32(7): 460-463. DOI: 10.1006/food.1999.0575.
- [8] BRENNAN M, LE PORT G, GORMLEY R. Post-harvest treatment with citric acid or hydrogen peroxide to extend the shelf life of fresh sliced mushrooms[J]. LWT-Food Science and Technology, 2000, 33(4): 285-289. DOI: 10.1006/food.2000.0657.
- [9] BURTON K S, NOBLE R. The influence of flush number, bruising and storage temperature on mushroom quality [J]. Postharvest Biology and Technology, 1993, 3(1): 39-47. DOI: 10.1016/0925-5214(93)90025-X.
- [10] 张红梅, 武红, 王如福. 低压条件下冬枣的膜脂过氧化变化[J]. 中国农业大学学报, 2009, 14(6): 51-55. DOI:10.3321/j.issn:1007-4333.2009.06.010.
- [11] GUILLAUME C, SCHWAB I, GASTALDI E, et al. Biobased packaging for improving preservation of fresh common mushrooms (*Agaricus bisporus* L.)[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2010, 11(4): 690-696. DOI: 10.1016/j.ifset.2010.05.007.
- [12] JIANG T J. Effect of alginate coating on physicochemical and sensory qualities of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) under a high oxygen modified atmosphere[J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 76: 91-97. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2012.09.005.
- [13] 敖静, 黄雪梅, 张昭其. 蔬菜气调贮藏保鲜技术研究进展[J]. 保鲜与加工, 2015, 15(5): 72-76, 80. DOI:10.3969/j.issn.1009-6221.2015.04.015.

- [14] 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. DOI:10.11869/hnxb.2011.01.0088.
- [15] 张强,王松华,祝嫦巍,等.两种复配保鲜剂对双孢菇保鲜作用的研究[J].现代食品科技,2013,29(10):2431-2435.
- [16] 沈奇,孙娅,张维敏,等.钙处理对双孢菇贮藏期间品质的影响[J].食品科学,2013,34(12):331-335. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201312069.
- [17] 孙娅,李志强,王毓宁,等.采后钙处理对双孢菇贮藏生理的影响[J].食品工业科技,2013,34(2):322-326.
- [18] LAGNIKA C, ZHANG M, MOTHIBE K J. Effects of ultra-sound and high pressure argon on physico-chemical properties of white mushrooms (*Agaricus bisporus*) during postharvest storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 82: 87-94. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2013.03.006.
- [19] 张宇航,王宝刚,邢淑婕.竹汁联合壳聚糖对双孢菇涂膜保鲜效果的影响[J].中国食品添加剂,2014(4):122-126. DOI:10.3969/j.issn.1006-2513.2014.04.015.
- [20] 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,2007.
- [21] VARNALIS A I, BRENNAN J G, MACDOUGALL D B, et al. Optimisation of high temperature puffing of potato cubes using response surface methodology[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 61(2): 153-163. DOI: 10.1016/S0260-8774(03)00082-7.
- [22] 闫怡.鲜切青椒和鲜切油豆角保鲜加工关键技术研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2015.
- [23] 康明丽,张平.减压贮藏理论及技术研究进展[J].食品与机械,2001,82(2):9-10. DOI: 10.3969/j.issn.1003-5788.2001.02.001.
- [24] 王莉,张平,王世军.果蔬减压保鲜理论与技术研究进展[J].保鲜与加工,2001,1(5):3-6. DOI:10.3969/j.issn.1009-6221.2001.05.002.
- [25] 李志刚,宋婷,郝利平,等.适宜压力条件保持减压贮藏杏鲍菇品质[J].农业工程学报,2015,31(18):296-303. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.18.040.
- [26] 李志刚,宋婷,郝利平,等.不同温度对杏鲍菇减压贮藏品质的影响[J].农业工程学报,2015,31(3):322-338. DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2015.03.045.

收稿日期:2018-11-03