

不同压力条件对减压罐贮藏生鲜香菇品质的影响

冯丽萍, 付海姣, 魏丹, 张敏

(西南大学, 重庆 400715)

摘要: **目的** 探讨在常温(20℃)下,不同压力条件对香菇减压贮藏效果的影响。**方法** 以常压, (80±5), (55±5), (30±5) kPa等不同压力处理香菇, 评定其呼吸强度、失重率、可溶性固形物含量、硬度、相对电导率和多酚氧化酶(PPO)活性等。**结果** 减压贮藏能抑制贮藏初期香菇的呼吸强度($P<0.05$), 并将香菇的呼吸高峰延迟至第8天;减压贮藏能减缓可溶性固形物含量的变化, 减少硬度的下降, 降低细胞膜的透性($P<0.05$);减压贮藏压力越低, 对香菇 PPO 活性的抑制作用越强($P<0.05$), 与其他处理组相比, (30±5) kPa 处理组在第10天时 PPO 活性达到最低, 为 7.43 U。**结论** 减压贮藏在一定程度上能导致香菇的失重率升高, 其中(55±5) kPa 减压贮藏压力下香菇的可溶性固形物含量、硬度、相对电导率等3个方面效果较佳。

关键词: 香菇;减压罐;减压贮藏;压力条件

中图分类号: TS206 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)19-0007-06

Effect of Different Pressure on the Quality of Fresh Shiitake Mushrooms during Vacuum Tank Packaging Storage

FENG Li-ping, FU Hai-jiao, WEI Dan, ZHANG Min

(Southwest University, Chongqing 400715, China)

ABSTRACT: **Objective** To investigate the effect of different pressure conditions on the hypobaric storage of shiitake mushrooms at 20℃. **Methods** The Pressures of the packaged shiitake mushrooms were controlled at (80±5), (55±5) and (30±5) kPa, respectively, and air storage was used as control. Respiratory intensity, weight loss rate, soluble solids content, firmness, relative conductivity, and PPO activities were determined every two days. **Results** The results showed that hypobaric storage could significantly reduce the respiration intensity of shiitake mushrooms during early storage ($P<0.05$) and delay the emergence of respiratory peak to the 8th day. What's more, it could effectively slow down the increase and decrease of soluble solids content, reduce the decrease of firmness and slow down the permeability of cell membrane ($P<0.05$); and the lower the storage pressure was, the lower the PPO activities of shiitake mushrooms were ($P<0.05$). By comparison, the PPO activity of shiitake mushrooms under (30±5) kPa hypobaric storage pressure was 7.43 U, which was the lowest. **Conclusion** The hypobaric storage led to the increase of weight loss rate of shiitake mushrooms to some extent. Overall, the soluble solids content, firmness and relative conductivity of shiitake mushrooms under (55±5) kPa hypobaric storage pressure were best.

KEY WORDS: shiitake mushrooms; vacuum tank; hypobaric storage; pressure condition

收稿日期: 2014-05-17

基金项目: 重庆市科技攻关应用技术研发类重点项目(cstc2012gg-yyjsB80003); 中央高校基本科研业务费专项资金(XDJK2013C130)

作者简介: 冯丽萍(1991—),女,西南大学硕士生,主攻农产品加工及贮藏工程。

通讯作者: 张敏(1975—),男,湖南株洲人,硕士,西南大学副教授,主要研究方向为食品包装材料及技术。

香菇,又名香蕈、冬菇、香菌,属于真菌门担子菌亚门伞菌目口蘑科香菇属,是世界上最著名的食用菌之一^[1]。香菇主要含有多糖(如葡聚糖)、抗氧化剂、膳食纤维、麦角固醇、维C、维生素B1、维生素B2、烟酸、叶酸、矿物质等生物活性化合物,具有很高的营养价值^[2]。鲜香菇等野生菌类高度易腐,采后的品质会快速降低,同时因其高呼吸速率的进行及体内酶活代谢,菇类易出现氧化褐变、失重、皱缩等现象,并伴随孢子形成,受细菌、霉菌、酵母菌等侵染,然而没有任何的物理保护措施能阻止水分散失或避免微生物侵染,导致菇类的货架期很短^[3-4],这将阻碍菇类新产品的分销及市场推广^[5-7]。虽然干制香菇容易保存,但是营养价值下降,因此产品需求已由传统的干品逐步向鲜品转变。

与气调贮藏和单一冷藏相比,减压保鲜在原理及技术上更先进,使果蔬保鲜效果有了明显的进步,因而减压保鲜将在易腐果蔬保鲜方面发挥巨大作用,并在国际上被誉为“21世纪保鲜技术”、“保鲜史上的第三次革命”^[8]。Berrios等^[9]研究表明,16.5 kPa的减压贮藏压力能提高4.5℃贮藏温度下黑豆的保鲜品质。Apelbaum等^[10]对鳄梨的保鲜研究表明,在6℃冷藏环境中,鳄梨可以在8 kPa的贮藏压力下保持70 d不成熟,并且回复到常压后果实能够正常完熟。Romanazzi等^[11-12]用25 kPa的压力分别对草莓、葡萄进行4, 24 h的减压处理,均能显著降低草莓的灰霉病;对壳聚糖涂膜的樱桃进行4 h减压预处理,能够显著降低樱桃的腐烂率。Li等^[13]研究表明,35~40 kPa的减压贮藏压力能显著抑制(3±1)℃冷藏条件下绿芦笋的呼吸强度,能减少丙二醛含量的积累,显著提高绿芦笋感官品质,并延缓VC、可滴定酸、叶绿素和可溶性固形物含量的降低。

目前,国内外还没有相关文献研究不同压力条件对香菇减压贮藏品质的影响,该试验研究了常温下不同压力条件对减压罐贮藏香菇保鲜效果的影响,将为其提供试验依据,并为商业应用提供理论指导。

1 实验

1.1 材料

实验材料:新鲜香菇,重庆市北碚区农贸市场

售,当天采摘,立即运回实验室。

实验试剂:草酸、氢氧化钠、PEG6000(聚乙二醇)、PVPP(聚乙烯吡咯烷酮)、冰醋酸、酚酞、无水乙醇、三水合乙酸钠、邻苯二酚、Triton X-100、氯化钡,均为分析纯。

实验仪器与设备:YTB-60压力表,南京百坊仪表有限公司;VCR-30减压罐(容量3000 mL),美国卓朗电器集团有限公司;物性测定仪TA.XT2i,英国stable micro system公司;GL-20G-II高速冷冻离心机,上海安亭科学仪器厂;UV-2450紫外-可见分光光度计,日本岛津公司;W2-113手持式折光仪,北京万成北增精密仪器有限公司;DDS-308+电导率仪,成都世纪方舟科技有限公司。

选择大小、成熟度一致,无病虫害,无机械损伤的香菇,进行减压处理及对照处理。

减压组:香菇置于减压罐中,减压罐内大气压力分别为(80±5)kPa(A组)、(55±5)kPa(B组)、(30±5)kPa(C组)。对照组(CK):将香菇分装于40 μm未拉伸聚丙烯薄膜(CPP)后,用热封机封口。所有处理组置于20℃(该温度条件由空调控制),相对湿度为80%的条件中贮藏,每12 h调整一次压力值。实验重复3次。每隔1 d随机取样一次,进行各项指标测定,结果取其平均值。

1.2 检测方法

1.2.1 呼吸强度的测定^[13]

呼吸强度以每小时每千克香菇释放的CO₂的质量来表示,单位为mg/(kg·h)。

1.2.2 失重率的测定

参考Antmann等^[14]的方法。用香菇的原始质量减去贮藏后每组称得的质量,所得差值与香菇原始质量相除,即得失重率。

1.2.3 可溶性固形物含量的测定^[6]

可溶性固形物用质量分数(%)表示。

1.2.4 硬度的测定^[15]

香菇硬度采用TA.XT2i型物性质构仪测定,探头直径为5.0 mm,测前速度为2 mm/s,测中速度为2 mm/s,测后速度为5 mm/s,目标模式为探头下降10 mm,接触力为10.0 g,单位为g。

1.2.5 相对电导率的测定

参考蒋冬花等^[16]的方法并加以修改。

1.2.6 多酚氧化酶(PPO)活性的测定

参考 Andr  s 等^[17]的方法并加以修改。PPO 活性以邻苯二酚作为底物用分光光度法测定。取 2 g 香菇加入到 5 mL 缓冲液中均质,于 4   以 12 000 g 离心 30 min,收集上清液即为酶提取液。1 mL 酶提取液与 1 mL 乙酸-乙酸钠缓冲液(50 mmol/L, pH5.5)和 1.0 mL 邻苯二酚溶液(50 mmol/L)混匀,于 420 nm 处连续测定 5 min,记录反应体系在该波长下每分钟吸光度的变化值。以每克香菇样品每分钟吸光度变化值增加 0.001 为一个活性单位。

2 结果与分析

2.1 不同压力条件下减压罐贮藏对香菇呼吸强度的影响

如图 1 所示,香菇在贮藏初期的呼吸强度较高。贮藏前 4 天,减压处理组香菇的呼吸强度均低于 CK 组($P<0.05$)。CK 组香菇于贮藏期第 4 天达到呼吸高峰,为 188.9 mg/(kg·h)。减压处理组均于第 8 天达到呼吸高峰,A,B,C 等 3 组处理的香菇呼吸峰值分别为 319.8, 367.9, 303.3 mg/(kg·h),且呼吸强度显著高于 CK 组($P<0.05$),其中(30±5) kPa 组香菇的呼吸强度显著低于(55±5) kPa 组($P<0.05$)。贮藏后期,各组香菇呼吸强度均逐渐降低。在贮藏初期,由于减压贮藏具有降氧快速、降温快速的特点,因而能够快速降低贮藏环境内的氧气浓度、香菇采后的呼吸热和田间热^[18]。由此可见,减压贮藏能够显著降低贮藏初期香菇的呼吸强度($P<0.05$),并能延缓香菇呼吸高峰的出现。

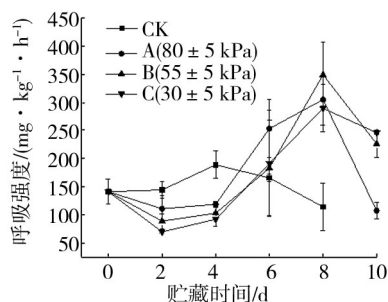


图1 不同压力条件下减压罐贮藏对香菇呼吸强度的影响

Fig.1 Effects of different hypobaric storage pressures on the respiration intensity of shiitake mushrooms during vacuum tank packaging storage

2.2 不同压力条件下减压罐贮藏对香菇失重率的影响

如图 2 所示,贮藏期第 2 天,A,B,C 处理组香菇的失重率极显著高于 CK 组($P<0.01$)。减压贮藏压力越低、真空度越大,香菇菇体内外的压力差也就越大,香菇水分损失也就越严重。香菇本身密度较小,组织结构疏松多孔、表面缺乏表皮结构,导致香菇水分散失也更加容易^[19]。贮藏期第 4 天,CK 组与 C 组的失重率继续增加,而 A,B 两组的稍稍有所降低。A 组香菇的失重率在贮藏期第 6 天极显著高于 CK 组($P<0.01$),在第 8 天显著高于 CK 组($P<0.05$)。贮藏中后期,香菇失重率开始下降,这可能是由于贮藏初期香菇失水较多,使得环境湿度增加,最后导致贮藏后期香菇出现反吸水所致,还可能是由于香菇失去的水分凝聚成水珠附着在香菇表面从而导致失重率降低。整个贮藏期间,除第 4 天、第 8 天外,A,B,C 等 3 组香菇的失重率均高于 CK 组。由此可见,减压贮藏在一定程度上会导致香菇的失重率升高,其中 C 组香菇的失重率在贮藏前期就急剧上升,并极显著高于其他 3 组($P<0.01$)。

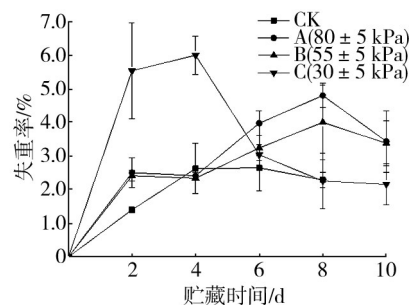


图2 不同压力条件下减压罐贮藏对香菇失重率的影响

Fig.2 Effects of different hypobaric storage pressures on the weight loss rate of shiitake mushrooms during vacuum tank packaging storage

2.3 不同压力条件下减压罐贮藏对香菇可溶性固形物含量的影响

如图 3 所示,贮藏期第 2 天,各组香菇的可溶性固形物含量均有所上升,且 CK 组、A 组极显著高于 B 组、C 组($P<0.01$)。Tao 等^[20]研究表明,香菇的可溶性固形物含量在贮藏初期会有所增加,随后降低,这可能是由于香菇中淀粉水解为可溶性糖,从而使得可溶性固形物含量增加^[21]。CK 组香菇的可溶性固形物含量在贮藏期第 2 天后呈急剧下降趋势;A,B,C 等 3 组在第 2

天至第8天期间呈先下降后上升的趋势。贮藏第8天,A,B,C等3组香菇的可溶性固形物含量均极显著高于CK组($P<0.01$)。结果表明,减压贮藏能减缓香菇中可溶性固形物含量的变化($P<0.05$),这与王文凤^[22]等、常燕平等^[23]的观点相符;B处理组香菇可溶性固形物含量变化趋势最缓。

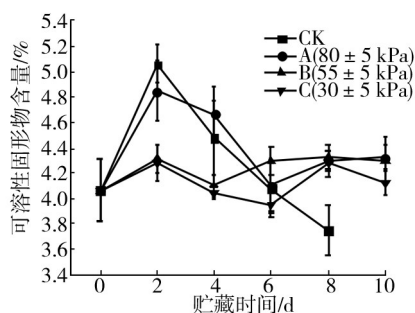


图3 不同压力条件下减压罐贮藏对香菇可溶性固形物含量的影响

Fig.3 Effects of different hypobaric storage pressures on the soluble solids contents of shiitake mushrooms during vacuum tank packaging storage

2.4 不同压力条件下减压罐贮藏对香菇硬度的影响

在香菇衰老腐败过程中,硬度的快速损失会导致其采后寿命变短并且使香菇易受真菌感染^[6]。Hernando等^[24]研究发现脱水处理会使香菇出现硬度衰减和组织塌陷的现象。呼吸作用引起的蛋白质、多糖类的降解,香菇的菌丝皱缩,中央液泡的萎缩断裂以及香菇表面及内部的间隙扩张等都会使硬度下降。另外,细胞壁内几丁质的合成、细菌酶造成的细胞壁降解以及内源自溶素活性的增强也会引起香菇硬度损失^[25]。还有研究表明,质量损失可能使硬度下降^[26]。故香菇硬度的变化是多方面因素协同作用的结果。

如图4所示,在整个贮藏期内,A,B,C等组香菇的硬度一直高于CK组。贮藏第2天,4组间香菇硬度的差异不显著($P>0.05$)。A,B,C等3组香菇的硬度上升,这可能是由香菇失水所致,而CK组香菇硬度的下降则可能是由于呼吸作用。贮藏中、后期,B组香菇的硬度一直维持在最高水平。在贮藏期第10天时,B组硬度高于A组($P>0.05$),并极显著地高于C组($P<0.01$)。结果表明,整个贮藏期内,减压贮藏能够较好地保持香菇的硬度,其中,B组(55 ± 5) kPa的贮藏压

力能使香菇的硬度在贮藏中、后期一直维持在较高水平,并显著抑制香菇硬度的降低($P<0.05$)。

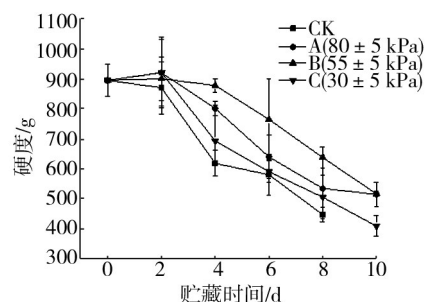


图4 不同压力条件下减压罐贮藏对包装香菇硬度的影响

Fig.4 Effects of different hypobaric storage pressures on the firmness of shiitake mushrooms during vacuum tank packaging storage

2.5 不同压力条件下减压罐贮藏对香菇相对电导率的影响

通常用细胞膜透性来判断香菇变质的程度,而细胞膜透性的高低则通过测定其相对电导率来确定。如图5所示,在整个贮藏期内,香菇的相对电导率均呈上升趋势。贮藏第2天,CK组、B组和C组香菇的相对电导率略有下降,而A组的有所增加,并显著高于B组($P<0.05$),这可能是由于第2天时A组香菇呼吸强度高于B组(见图1),其生命活动较为剧烈,膜脂氧化速度加快,导致细胞膜通透性增加。贮藏第4天,各组香菇相对电导率均呈上升趋势。贮藏后期,CK组香菇的相对电导率高于A,B,C等3种减压处理组;贮藏第10天,B组处理显著低于A、C组($P<0.05$)。结果表明,在贮藏前期,减压贮藏对相对电导率的影响不显著($P>0.05$);在贮藏后期,减压处理能使香菇的相对

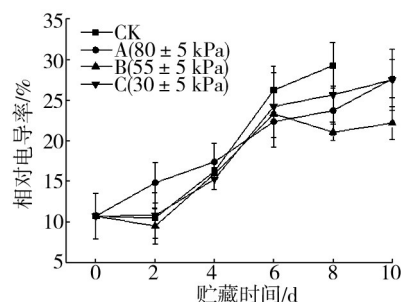


图5 不同压力条件下减压罐贮藏对香菇相对电导率的影响

Fig.5 Effects of different hypobaric storage pressures on the relative conductivity of shiitake mushrooms during vacuum tank packaging storage

电导率维持在较低水平。其中,B处理组能显著延缓香菇在贮藏后期相对电导率的增加($P<0.05$)。

2.6 不同压力条件下减压罐贮藏对香菇PPO活性的影响

香菇子实体菌体褐变与多酚氧化酶活性紧密相关,PPO催化酚类物质氧化变成无色醌,醌进一步聚合成黑色素类化合物^[27-29],使香菇发生酶促褐变。酶活性被抑制有利于保持香菇的颜色、风味、营养^[30]。从图6中可以看出,CK组各点PPO活性均高于减压处理组。贮藏第4天,各组香菇的PPO活性均呈上升趋势,其中,B组、C组均极显著低于CK组和A组($P<0.01$),CK组极显著高于A组($P<0.01$)。贮藏第8天时,各组间差异极显著($P<0.01$)。贮藏第10天,A,B,C等3组的PPO活性分别升高到100.05,47.03,7.43 U,且差异显著($P<0.05$)。结果表明,减压贮藏能够显著抑制香菇PPO活性的增加($P<0.05$),并且减压贮藏压力越低,对香菇PPO活性的抑制作用越强($P<0.05$)。常燕平等^[23]发现减压贮藏也能显著抑制冬枣的PPO活性,且压力越低,抑制作用越明显。

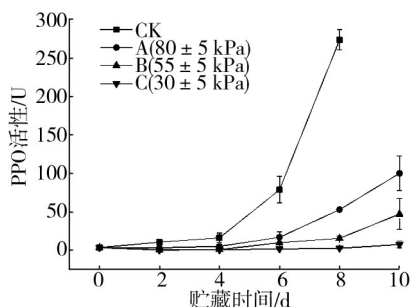


图6 不同压力条件下减压罐贮藏对香菇PPO活性的影响

Fig.6 Effects of different hypobaric storage pressures on the PPO activities of shiitake mushrooms during vacuum tank packaging storage

3 结语

试验研究了香菇在常温(20℃)下,大气压力分别为101,(80±5),(55±5)和(30±5)kPa等压力条件下贮藏,其保鲜品质的变化趋势,对贮藏期间香菇呼吸强度、失重率、可溶性固形物含量、硬度、相对电导率及PPO等因素的变化情况进行了分析。研究结果表明:减压贮藏能够显著降低贮藏初期香菇的呼吸强度,并

将香菇的呼吸高峰延迟至第8 d,而常压处理组的呼吸高峰出现在第4 d;减压贮藏能减缓可溶性固形物含量的变化并减少硬度的下降,能显著抑制香菇PPO活性的增加;减压贮藏压力越低,对香菇PPO活性的抑制作用越强($P<0.05$),与其他处理组对比,在第10 d时(30±5)kPa处理组PPO活性最低,为7.43 U。同时,减压处理能够在贮藏后期显著降低细胞膜的透性($P<0.05$)。其中,B组(55±5)kPa的减压贮藏压力下香菇的可溶性固形物含量变化趋势最缓,还可以使香菇的硬度在贮藏中、后期一直维持在较高水平,并且在贮藏后期能显著降低其细胞膜透性($P<0.05$)。

试验发现,减压贮藏能在一定程度上导致香菇的失重率升高($P<0.05$)。田世平等^[31]指出,目前水分丧失过多是果蔬减压贮藏的主要问题之一,其原因主要是贮藏容器密闭性不好,从外界进入容器的空气及附带热量过多,从而使果蔬水分蒸腾偏高。由此,关于减压罐贮藏对香菇失重率的影响有待于进一步研究。该研究结果对于确定香菇的适宜减压贮藏条件,指导香菇的贮藏保鲜具有一定的实际意义,也为减压贮藏技术在生产上的应用提供理论基础。

参考文献:

- [1] 王东明,应俊辉,傅兵. 香菇子实体生长发育过程中形态特征与生理特性研究[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(4): 734—737.
WANG Dong-ming, YING Jun-hui, FU Bing. Study on Morphological and Physiological Characteristics during the Development of *Lentinus Edodes* Fruit Body[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2012, 51(4): 734—737.
- [2] LINDEQUIST U, NIEDERMEYER T H, J LICH W D. The Pharmacological Potential of Mushrooms[J]. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine, 2005, 2(3): 285—299.
- [3] SIM N A, GONZ LEZ-FANDOS E, TOBAR V. The Sensory and Microbiological Quality of Fresh Sliced Mushroom (*Agaricus Bisporus* L.) Packaged in Modified Atmospheres[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2005, 40(9): 943—952.
- [4] FERNANDES, ANTONIO A L, BARREIRA J C, et al. Effects of Gamma Irradiation on the Chemical Composition and Antioxidant Activity of *Lactarius Deliciosus* L. Wild Edible Mushroom[J]. Food and Bioprocess Technology, 2013, 6(10): 2895—2903.

- [5] FERNANDES, ANTONIO A L, BARREIRA J, et al. Effects of Gamma Irradiation on Physical Parameters of Lactarius Deliciosus Wild Edible Mushrooms[J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 74: 79—84.
- [6] JIANG T J, FENG L F, LI J R. Changes in Microbial and Postharvest Quality of Shiitake Mushroom (*Lentinus Edodes*) Treated with Chitosan-glucose Complex Coating under Cold Storage[J]. Food Chemistry, 2012, 131(3): 780—786.
- [7] JIANG T, FENG L, ZHENG X, et al. Physicochemical Responses and Microbial Characteristics of Shiitake Mushroom (*Lentinus Edodes*) to Gum Arabic Coating Enriched with Natamycin During Storage[J]. Food Chemistry, 2013, 138(2): 1992—1997.
- [8] 朱梦矣. 枇杷采后品质劣变机理及减压贮藏保鲜技术研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2010.
ZHU Meng-yi. Study on Post Harvest Quality Deterioration and Hypobaric Storage Technology of Loquat Fruit[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2010.
- [9] BERRIOS J D J, SWANSON B G, ADELINE C W. Physico-chemical Characterization of Stored Black Beans (*Phaseolus Vulgaris* L.) [J]. Food Research International, 1999, 32(10): 669—676.
- [10] APELBAUM A, ZAUBERMAN G, FUCHS Y. Prolonging Storage Life of Avocado Fruits by Subatmospheric Pressure[J]. Hort Science, 1977, 12(2): 115—117.
- [11] ROMANAZZI G, NIGRO F, IPPOLITO A, et al. Effect of Short Hypobaric Treatments on Postharvest Rots of Sweet Cherries, Strawberries and Table Grapes[J]. Postharvest Biology and Technology, 2001, 22(1): 1—6.
- [12] ROMANAZZI G, NIGRO F, IPPOLITO A. Short Hypobaric Treatments Potentiate the Effect of Chitosan in Reducing Storage Decay of Sweet Cherries[J]. Postharvest Biology and Technology, 2003, 29(1): 73—80.
- [13] LI W, ZHANG M, YU H Q. Study on Hypobaric Storage of Green Asparagus[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 73(3): 225—230.
- [14] ANTMANN G, ARES G, LEMA P, et al. Influence of Modified Atmosphere Packaging on Sensory Quality of Shiitake Mushrooms[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 49(1): 164—170.
- [15] YE J J, LI J R, HAN X X, et al. Effects of Active Modified Atmosphere Packaging on Postharvest Quality of Shiitake Mushrooms (*Lentinula Edodes*) Stored at Cold Storage[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2012, 11(3): 474—482.
- [16] 蒋冬花, 许朝渊, 张萍华, 等. 3种保鲜剂对香菇保鲜效果[J]. 食品科学, 2004, 25(9): 194—197.
- JIANG Dong-hua, XU Chao-yuan, ZHANG Ping-hua, et al. Effects of Three Preservatives on Fruit of *Lentinus Edodes* for Fresh-keeping[J]. Food Science, 2004, 25(9): 194—197.
- [17] ANDR S A, TIM N M, MOLINA G, et al. Effect of MAP Storage on Chemical, Physical and Sensory Characteristics of "N Scalos" (*Lactarius Deliciosus*) [J]. Food Packaging and Shelf Life, 2014, 102(36): 219—231.
- [18] 姚强, 张晨, 贺家亮. 减压贮藏在果蔬保鲜中的应用研究进展[J]. 农产品加工学刊, 2009(5): 64—65.
YAO Qiang, ZHANG Chen, HE Jia-liang. The Application Research Development of Hypobaric Storage in Fruits and Vegetables[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2009(5): 64—65.
- [19] 周兵, 励建荣, 黄建颖, 等. 壳聚糖衍生物对香菇生物涂膜保鲜的研究[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(9): 212—216.
ZHOU Bing, LI Jian-rong, HUANG Jian-yin, et al. Effects of Chitosan Derivate Coating on the Postharvest *Lentinus Edoes* [J]. Food and Fermentation Industries, 2011, 37(9): 212—216.
- [20] TAO F, ZHANG M, YU H Q, et al. Effects of Different Storage Conditions on Chemical and Physical Properties of White Mushrooms after Vacuum Cooling[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 77(3): 545—549.
- [21] 刘新社, 刘三军. 减压结合低温对杏李贮藏性状的影响[J]. 果树学报, 2011, 28(3): 521—525.
LIU Xin-she, LIU San-jun. Effects of Hypobaric and Low Temperature on Storage Quality of Pluot Fruit[J]. Journal of Fruit Science, 2011, 28(3): 521—525.
- [22] 王文凤, 孟庆瑞, 张广燕, 等. 减压贮藏对安哥诺李果实生理生化特性的影响[J]. 中国食品学报, 2007, 7(2): 86—91.
WANG Wen-feng, MENG Qing-rui, ZHANG Guang-yan, et al. Effect of Hypobaric Storage on the Fruit Physiological and Biochemical Properties of Angeleno Plum[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2007, 7(2): 86—91.
- [23] 常燕平, 王如福. 冬枣减压贮藏过程中几种生理生化指标的变化[J]. 食品科学, 2003, 24(12): 135—137.
CHANG Yan-ping, WANG Ru-fu. Physiological and Biochemical Study on Hypobaric Storage of Chinese Jujube Dong-zao[J]. Food Science, 2003, 24(12): 135—137.
- [24] HERNANDO I, SANJU N N, P REZ-MUNUERA I, et al. Rehydration of Freeze-Dried and Convective Dried *Boletus Edulis* Mushrooms: Effect on Some Quality Parameters[J].

(下转第37页)

- [6] 卢立新,周德志. 基于疲劳损伤理论的果品振动损伤模型表征[J]. 农业工程学报,2009,25(11):341—344.
LU Li-xin, ZHOU De-zhi. Model for Vibration-cumulative Bruising of Fruit Based on Fatigue Damage Theory[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(11): 341—344.
- [7] 陈安军. 斜支承弹簧包装系统冲击特性研究[J]. 包装工程, 2010, 31(15): 1—3.
CHEN An-jun. Study on Shock Characteristic of Packaging System with Inclined Support Spring[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(15): 1—3.
- [8] WANG J, WANG Z W, LU L X, et al. Three-dimensional Shock Spectrum of Critical Component for Nonlinear Packaging System[J]. Shock and Vibration, 2011, 18(3): 437—445.
- [9] WANG J, JIANG J H, LU L X. Dropping Damage Evaluation for a Tangent Nonlinear System with a Critical Component[J]. Computer and Mathematical with Applications, 2011, 61(8): 1979—1982.
- [10] WANG J, DUAN F, JIANG J H, et al. Dropping Damage Evaluation for a Hyperbolic Tangent Cushioning System with a Critical Component[J]. Journal of Vibration and Control, 2012, 18(10): 1417—1421.
- [11] 高德, 卢富德. 具有转动包装系统的正切非线性模型冲击响应研究[J]. 振动与冲击, 2010(10): 131—136.
GAO De, LU Fu-de. Shock Response of a Nonlinear Tangent Packaging System with Rotation[J]. Journal of Vibration and Shock, 2010(10): 131—136.
- [12] 高德, 卢富德. 考虑转动的双曲正切与正切组合模型缓冲系统冲击响应研究[J]. 振动工程学报, 2012(1): 6—11.
GAO De, LU Fu-de. The Shock Response of Hyperbolic Tangent and Tangent Comprehensive Model on Cushion System Considering Rotary Motion[J]. Journal of Vibration Engineering, 2012(1): 6—11.
- [13] 高德, 卢富德. 聚乙烯缓冲材料多自由度跌落包装系统优化设计[J]. 振动与冲击, 2012(3): 69—72.
GAO De, LU Fu-de. Optimization Design of MDOF Package Cushioning System Made of Polyethylene[J]. Journal of Vibration and Shock, 2012(3): 69—72.
- [14] 段宁宁, 陈安军. 矩形脉冲激励下斜支承系统易损件的冲击特性研究[J]. 包装工程, 2013, 34(7): 21—24.
DUAN Ning-ning, CHEN An-jun. Shock Characteristics of Vulnerable Components of Tilted Support System under Rectangular Pulse Excitation[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(7): 21—24.
- [15] 宋爽, 王蕾, 陈安军. 悬挂式弹簧系统跌落冲击问题的变分迭代法[J]. 噪声与振动控制, 2013, 33(6): 36—39.
SONG Shuang, WANG Lei, CHEN An-jun. Variational Iteration Method for Analyzing Dropping Shock of Suspended Spring System[J]. Noise and Vibration Control, 2013, 33(6): 36—39.

(上接第12页)

- Journal of Food Science, 2008, 73(8): 356—362.
- [25] ZIVANOVIC S, BUSHIER R, KIM K. Textural Changes in Mushrooms (*Agaricus Bisporus*) Associated with Tissue Ultrastructure and Composition[J]. Journal of Food Science, 2000, 65(8): 1404—1408.
- [26] MCARDLE F, KUHN G, BEELMAN R. Influence of Vacuum Soaking on Yield and Quality of Canned Mushrooms[J]. Journal of Food Science, 1974, 39(5): 1026—1028.
- [27] JIANG T J, ZHENG X L, LI J R, et al. Integrated Application of Nitric Oxide and Modified Atmosphere Packaging to Improve Quality Retention of Button Mushroom (*Agaricus Bisporus*) [J]. Food Chemistry, 2011, 126(4): 1693—1699.
- [28] ROBERTSON G L. Food Packaging and Shelf Life: A Practical Guide[M]. CRC Press, 2010.
- [29] JOLIVET S, ARPIN N, WICHES H J, et al. *Agaricus Bisporus* Browning: A Review[J]. Mycological Research, 1998, 102(12): 1459—1483.
- [30] 赵天瑞, 樊建, 赵吉顺, 等. 冻结工艺对香菇PPO和POD活性的影响[J]. 昆明理工大学学报(理工版), 2010, 35(5): 79—82.
ZHAO Tian-rui, FAN Jian, ZHAO Ji-shun, et al. Effect of Freezing on PPO and POD Activity in *Lentinus Edodes* (Berk) Singer[J]. Journal of Kunming University of Science and Technology (Science and Technology), 2010, 35(5): 79—82.
- [31] 田世平, 罗云波, 王贵禧. 园艺产品采后生物学基础[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
TIAN Shi-ping, LUO Yun-bo, WANG Gui-xi. Postharvest Biological Basis of Horticulture & Gardening Products[M]. Beijing: Science Press, 2011.