

## 换气周期对减压罐包装生鲜香菇品质的影响

刘星, 付海姣, 冯丽萍, 张敏

(西南大学 食品科学学院, 重庆 400715)

**摘要:** 目的 研究在常温(20 ℃)、大气压力为 55 kPa 的条件下,不同换气周期对生鲜香菇贮藏品质的影响。方法 对减压罐包装香菇分别进行每 2 天换气处理和每天换气处理,测定其呼吸强度、失重率、可溶性固形物含量、多酚氧化酶(PPO)活性、丙二醛(MDA)含量和感官指标等。结果 每天换气处理组能延迟异味的产生,显著降低香菇的呼吸强度并保持较高的可溶性固形物含量( $P<0.05$ );每 2 天换气处理组能使香菇的整体感官品质维持在较高水平,显著抑制香菇的 PPO 活性,延缓 MDA 含量的增加( $P<0.05$ )。结论 在贮藏后期,每 2 天换气处理组的香菇其失重率显著低于每天换气处理组( $P<0.05$ )。

**关键词:** 香菇;减压罐包装;贮藏;换气周期

中图分类号: TB487; TS206

文献标识码: A

文章编号: 1001-3563(2014)01-0028-06

## Effect of Interval Ventilation Time on the Quality of Fresh Shiitake Mushrooms during Vacuum Tank Packaging Storage

LIU Xing, FU Hai-jiao, FENG Li-ping, ZHANG Min

(College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

**ABSTRACT: Objective** To investigate the effect of interval ventilation time on the quality of fresh shiitake mushrooms under 55 kPa hypobaric pressure condition at 20 ℃. **Methods** The shiitake mushrooms packaged in vacuum tank were treated with ventilating once every two days and daily ventilation, respectively. Respiratory intensity, weight loss rate, soluble solids content, polyphenol oxidase (PPO) activities, malonydialdehyde (MDA) content and sensory index were determined every two days. **Results** The results showed that daily ventilation treatment could inhibit the appearance of off-odor, significantly reduce the respiration intensity and maintain higher soluble solids content of shiitake mushrooms during vacuum tank packaging storage ( $P<0.05$ ). While the ventilating once every two days let shiitake mushrooms maintain higher overall sensory qualities, significantly inhibited the increase of PPO activities, and retarded the decrease of MDA content ( $P<0.05$ ). **Conclusion** The ventilating once every two days significantly reduced the weight loss of shiitake mushrooms in the late storage ( $P<0.05$ ).

**KEY WORDS:** shiitake mushrooms; vacuum tank packaging; storage; interval ventilation time

香菇味道鲜美,富含蛋白质、脂肪、碳水化合物、纤维、维生素和矿物质等营养元素<sup>[1]</sup>,更具有食用和药用双重价值<sup>[2]</sup>,被视为“菇中之王”<sup>[3]</sup>,是不可多得的保健食品<sup>[4]</sup>。近年来,鲜香菇的消费量与日俱增,

但鲜香菇采后生理代谢旺盛,具有较高的呼吸强度、蒸腾作用,易失水、褐变,易受微生物侵染,2~3 d 内便会失去商品价值<sup>[5-7]</sup>。目前,香菇保鲜的方法主要有气调保鲜、低温冷藏、抗氧化剂保鲜、辐照保鲜等,

收稿日期: 2013-10-17

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: 刘星(1981—),女,重庆人,硕士,西南大学讲师,主要研究方向为包装工程。

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。

但这些方法操作复杂,成本较高,而且可能影响色泽,使其应用受到限制。由此,寻求一种常温下操作简便、低成本、安全环保的香菇保鲜方法相当重要<sup>[8]</sup>。

减压贮藏又称为低压贮藏,指将产品置于密闭环境中,通过真空泵使此环境中的气压降低到一定程度,从而延缓产品的新陈代谢,延长保鲜期<sup>[9]</sup>。减压技术被国际上称为21世纪保鲜技术,该技术能够大大加速组织内乙烯及其他挥发性产物如乙醛、乙醇、 $\alpha$ 法呢烯等的扩散,因而减少由这些物质引起的细胞衰老和生理病害,从根本上消除CO<sub>2</sub>中毒的可能性<sup>[10]</sup>。颜廷才等人<sup>[11]</sup>的研究表明,与对照组相比,减压处理能延缓枣果硬度、可滴定酸、Vc及还原糖的变化速率,同时可抑制Vc氧化酶和多酚氧化酶活性,减缓枣果中Vc损失与果肉褐变速度,延缓果实衰老过程。庄青等人<sup>[12]</sup>对冬枣进行减压贮藏的研究表明,每3d换一次新鲜空气处理组其好果率最高,呼吸强度最低,硬度和Vc含量下降最缓慢,保鲜效果最好。王世奎等人<sup>[13]</sup>的研究表明,不同压力条件均在不同程度上抑制了平菇的呼吸强度,减缓了可溶性蛋白质的降解,延缓其表面色泽的褐变,并抑制了细胞膜相对电导率的升高,并且在50~60kPa压力条件下平菇的保鲜效果最佳。

目前,国内外无相关文献研究换气周期对减压罐贮藏香菇保鲜品质的影响,文中实验研究了在55kPa的贮藏压力下每天换气和每2d换气处理对减压罐中香菇保鲜效果的影响,为商业应用提供理论指导。

## 1 实验

### 1.1 材料与试剂

实验材料:鲜香菇,购于北碚区天生农贸市场,选择当天同批采收,要求成熟度、颜色和菇体大小基本一致,无病虫害与机械损伤。

实验试剂:氢氧化钠、草酸、无水乙醇、氯化钡、酚酞指示剂、冰醋酸、三水合乙酸钠、聚乙二醇PEG6000、聚乙烯吡咯烷酮、Triton X-100、邻苯二酚、三氯乙酸、2-硫代巴比妥酸,均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

实验仪器与设备:VCR-30减压罐(容量3000mL),美国卓朗电器集团有限公司;YTBF-60压力表,

南京百坊仪表有限公司;W2-113手持式折光仪,北京万成北增精密仪器有限公司;UV-245PC全自动紫外分光光度计,日本岛津公司;722可见分光光度计,上海光学仪器厂;GL-20-II高速冷冻离心机,上海安亭科学仪器厂。

### 1.3 过程

将减压罐内香菇菌柄削减至2cm左右,然后装入铺有4层纱布的减压罐中。试验设立2个处理组,分别为A组,每天换气;B组,每2d换气。减压罐中的大气压力为(55+5)kPa,温度为20℃,相对湿度为80%。每组均设置3个重复实验,每12h调整1次压力值,每2d抽样进行测定。

### 1.4 检测方法

#### 1.4.1 感官评价

评定小组由食品科学学院农产品加工及贮藏工程专业6名学生与导师组成,感官评分标准参照周兵等人<sup>[14]</sup>的方法并加以修改,对香菇的色泽、质地、气味等指标进行感官评价,具体评分标准见表1。

表1 香菇感官评价标准

Tab.1 Sensory evaluation standard of shiitake mushrooms

分值	色泽	质地	气味
4	菌盖新鲜、黄褐色,菌褶白色	香菇菌盖弹性好	气味正常,有香菇味
3	颜色正常,轻度褐变	弹性较好,个别香菇起皱	正常,无气味
2	中度褐变,菌褶颜色变暗	发软,开始有软化的症状	微有异味
1	严重褐变,局部腐烂	较软,香菇表面有水渍	有强烈异味

注:按照表1的评分标准打分,在每次得分相加后求取平均值。

香菇的整体感官品质得分为各分值相加之和。

#### 1.4.2 呼吸强度的测定

参考Li等人<sup>[15]</sup>方法,采用静置法。呼吸强度以每小时每千克香菇释放的CO<sub>2</sub>的质量来表示,单位为mg/(kg·h)。

#### 1.4.3 失重率的测定

参考KIM等人<sup>[16]</sup>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。失重率D的计算公式:

$$D = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $m_1$  为香菇样品的原始质量, g;  $m_2$  为贮藏后香菇样品的质量, g。

#### 1.4.4 可溶性固形物的测定

参考 TAO 等人<sup>[17]</sup>的方法, 以质量分数表示, 重复测定 4 次, 计算平均值和标准偏差。

#### 1.4.5 多酚氧化酶(PPO)活性的测定

参考 JIANG 等人<sup>[18]</sup>的方法, 并加以修改。

酶液提取: 香菇样品 2.0 g, 加入 5.0 mL 含 1 mmol PEG6000, PVPP(质量分数为 4%) 和 Triton X-100(体积分数为 1%) 的用 0.1 mol/L、pH5.5 乙酸-乙酸钠缓冲液稀释的提取缓冲液, 冰浴研磨至浆状, 于 4 ℃, 12 000×g 的条件下离心 30 min, 上清液即为酶提取液, 在低温条件下保存备用。

PPO 反应体系: 酶提取液 1.0 mL, 加入 1.0 mL 50 mmol/L、pH5.5 的乙酸-乙酸钠缓冲液和 1.0 mL 50 mmol/L 的邻苯二酚溶液, 摇匀, 测定反应体系在波长为 420 nm 下的吸光度值。

#### 1.4.6 丙二醛(MDA)含量的测定<sup>[19]</sup>

称取 1.0 g 香菇样品, 加入 5.0 mL 100 g/L 的三氯乙酸(TCA)溶液, 在冰浴条件下研磨成浆后, 在 4 ℃, 12 000×g 的条件下离心 30 min, 吸取 2.0 mL 的上清液, 加入质量分数为 0.67% 的 TBA 溶液 2 mL, 混合后沸水浴 20 min, 取出冷却后再次低温离心 30 min, 分别测定上清液在波长分别为 450, 532, 600 nm 处的吸光度值。重复测定 3 次并计算结果。

## 2 结果与分析

### 2.1 换气周期对减压罐包装香菇呼吸强度的影响

由图 1 可知, 香菇具有较高的初始呼吸强度, 这可能是由机械损伤所引起。因为在样品准备时切除了部分菌柄, 导致香菇需要旺盛的呼吸作用来愈合伤口, 从而防止细菌感染<sup>[15]</sup>。在第 2 天, B 处理组的呼吸强度开始升高, 这可能是因为香菇进行呼吸作用产生了呼吸热, 导致贮藏环境温度升高, 从而加速了香菇的呼吸作用。A 处理组呼吸强度下降, 则可能是由于频繁的换气, 不仅将外界低温气体带入贮藏环境, 也带走了贮藏环境内的高温气体, 从而使得贮藏环境内温度降低, 呼吸作用减弱, 呼吸强度下降。此时 A、B 2 组间的差异不显著。在第 4 天, B 处理组达到呼

吸高峰, 与 A 处理组相比差异极显著 ( $P < 0.01$ )。在随后的贮藏期内, A、B 2 组的呼吸强度均呈下降趋势。第 8 天, A 处理组的呼吸强度显著低于 B 处理组 ( $P < 0.05$ )。贮藏后期, A、B 2 组间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。由此可知, 每天换气处理能够降低减压贮藏期间香菇的呼吸强度, 并维持在较低水平。

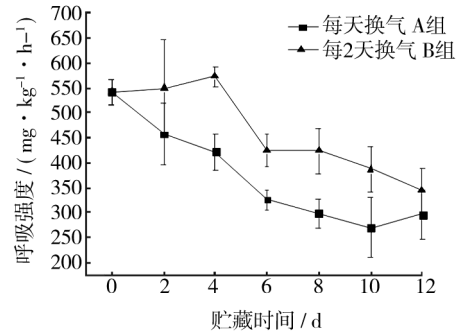


图 1 换气周期对减压罐包装香菇呼吸强度的影响

Fig. 1 Effects of interval ventilation time on the respiration rate of shiitake mushrooms during vacuum tank packaging storage

### 2.2 换气周期对减压罐包装香菇失重率的影响

由图 2 可知, 整个贮藏期间, 2 组香菇的失重率都呈持续上升趋势, 香菇失重一部分是由蒸腾作用引起的水分损失, 另一部分则是由呼吸作用引起的有机物损失<sup>[16,20]</sup>。贮藏前 6 d, 换气周期对减压罐包装香菇的失重率的影响不显著 ( $P > 0.05$ ), 但 B 处理组香菇的失重率较低。减压贮藏后期, B 处理组的香菇其失重率显著低于 A 处理组 ( $P < 0.05$ ), 这可能是由于在减压贮藏期间频繁换气导致香菇的蒸腾作用加剧所致。结果表明, B 处理组的香菇失重率较低。

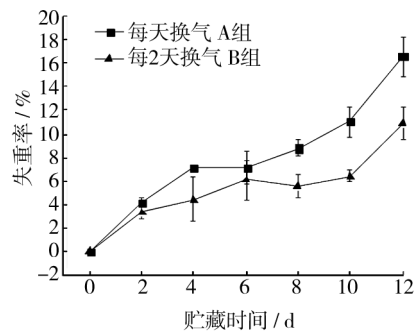


图 2 换气周期对减压罐包装香菇失重率的影响

Fig. 2 Effects of interval ventilation time on the weight loss rate of shiitake mushrooms during vacuum tank packaging storage

### 2.3 换气周期对减压罐包装香菇可溶性固形物含量的影响

由图3可知,在贮藏初期,B处理组香菇的可溶性固形物含量呈下降趋势,第6天时,呈极显著下降趋势( $P<0.01$ )。A处理组香菇的可溶性固形物含量在贮藏初期呈上升趋势,在第2天时极显著高于B处理组( $P<0.01$ )。随后,A处理组香菇的可溶性固形物含量下降,这是呼吸作用消耗有机物的结果(见图1)。在第6天,A处理组的可溶性固形物含量达到最低,但仍极显著高于B处理组( $P<0.01$ )。在贮藏后期,A,B 2处理组的可溶性固形物含量逐渐增加,A处理组的可溶性固形物含量明显高于B处理组( $P<0.01$ )。结果表明,换气周期对减压罐包装香菇的可溶性固形物含量有显著影响,每天换气处理的香菇其可溶性固形物含量在贮藏前中期均显著高于每2天换气处理组( $P<0.01$ )。

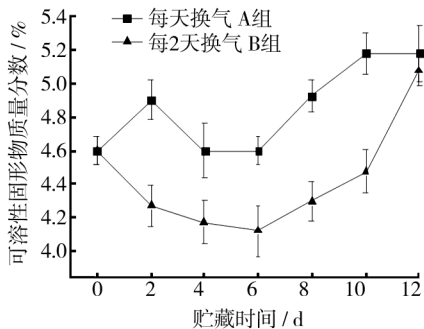


图3 换气周期对减压罐包装香菇可溶性固形物含量的影响

Fig.3 Effects of interval ventilation time on the soluble solids content of shiitake mushrooms during vacuum tank packaging storage

### 2.4 换气周期对减压罐包装香菇 PPO 活性的影响

如图4所示,贮藏期第2天,2组香菇的PPO活性分别从初始值101.00 U降低到60.05 U和48.18 U,但2组间差异不显著( $P>0.05$ )。贮藏期第4天,A处理组的PPO活性继续降低,而B处理组的PPO活性则显著增加,并显著高于A处理组( $P<0.05$ )。贮藏期第6天,A处理组香菇的PPO活性增加到60.85 U,B处理组则降到50.40 U,差异不显著( $P>0.05$ )。从第8天开始,A处理组香菇的PPO活性显著上升( $P<0.05$ ),到第12天时,其活性增加到467.70 U;而B处理组香菇的PPO活性一直处于较低阶段,到第12天时,其活性为84.13 U。贮藏期结束时,A组香菇的PPO活性增加了363.07%,而B组活性并没有

显著增加。在贮藏期间,减压罐贮藏香菇的PPO活性先下降后上升,每2 d换气处理更能抑制香菇PPO活性的增加( $P<0.01$ )。

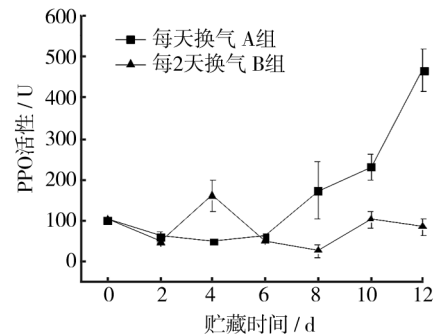


图4 换气周期对减压罐包装香菇 PPO 活性的影响

Fig.4 Effects of interval ventilation time on the PPO activities of shiitake mushrooms during vacuum tank packaging storage

### 2.5 换气周期对减压罐包装香菇 MDA 的影响

MDA是果蔬组织发生膜脂过氧化作用的产物,它不仅可以损伤香菇的细胞质膜,使得膜蛋白发生聚合,还能降低膜脂的不饱和度从而导致细胞膜流动性降低,加速香菇衰老<sup>[21]</sup>。如图5所示,贮藏期前6 d时,A处理组的MDA含量明显高于B处理组。在第8天,2组香菇的MDA含量均有所下降,A组含量仍显著高于B组( $P<0.05$ )。在贮藏后期,A,B 2处理组的MDA逐渐升高。在第12天,2处理组间差异显著( $P<0.05$ )。由此可见,在减压贮藏期间,香菇的MDA含量随储藏时间的增加而增加,并且每2 d换气处理能显著抑制香菇MDA含量的积累( $P<0.05$ ),使其保持在较低水平。

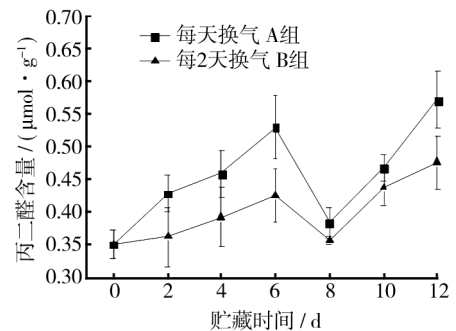


图5 换气周期对减压罐包装香菇丙二醛含量的影响

Fig.5 Effects of interval ventilation time on the MDA content of shiitake mushrooms during vacuum tank packaging storage

### 2.6 换气周期对减压罐包装香菇感官品质的影响

换气周期对减压罐包装香菇色泽、质地、气味以



及整体品质的影响效果见表2。色泽方面:A处理组香菇在第6天时色泽的分值开始降低,到第12天时香菇表面有霉菌产生,这可能是由于频繁的换气导致新鲜空气重新进入贮藏环境,促进了酶促褐变的发生,加速了香菇的衰老腐败;B处理组能更好地保持香菇的色泽,在整个贮藏期内都保持较高的色泽分值。质地方面:A处理组香菇衰老较快,导致香菇软化,表面出现水渍现象,致使香菇质地分值较低;B处理组分值较高。气味方面:A处理组能够延缓香菇异味的产生时间,在第10天时才出现异味;B处理组在贮藏期第8天时就产生了异味。整体品质方面:虽然A处理组能够抑制异味的产生,但B处理组的整体品质在贮藏期内仍处于较高水平。

表2 换气周期对减压罐包装香菇感官品质的影响

Tab.2 Effects of interval ventilation time on the sensory evaluation of shiitake mushrooms during vacuum tank packaging storage

	处理组	贮藏时间/d						
		0	2	4	6	8	10	12
色泽	A	4	4	4	3	3	2	1
	B	4	4	4	4	4	3	3
质地	A	4	4	3	3	2	2	1
	B	4	4	4	3	3	2	2
气味	A	4	4	4	3	3	2	1
	B	4	4	3	3	2	1	1
整体品质	A	12	12	11	9	8	6	3
	B	12	12	11	10	9	6	6

### 3 结语

首次尝试将减压罐包装应用于香菇的保鲜中,探讨了不同换气周期对其保鲜效果的影响。研究表明,每天换气处理能延迟香菇异味的产生,能够显著降低减压贮藏期间香菇的呼吸强度,并保持较高的可溶性固形物含量( $P < 0.05$ ),而每2 d换气处理组能使香菇保持较好的色泽和质地,其整体感官品质较高。每2 d换气处理能够显著抑制香菇PPO活性的增加,还能够延缓香菇丙二醛含量的增加( $P < 0.05$ )。在减压贮藏前期,换气周期对香菇失重率的影响不显著( $P > 0.05$ ),而在后期,每2天换气处理组的香菇其失重率显著低于每天换气处理组( $P < 0.05$ )。

由上可知,减压罐包装生鲜香菇有较好的保鲜效果。在生产实践中,可以将所需贮藏的原料进行采摘、清理、预冷等一系列预处理后,直接置于具有一定

压力值的减压容器中进行保存。整个过程可操作性较强,密闭的减压容器成本较低,具有优良的保鲜效果,因此在实际运用过程中有较为广阔的前景。

### 参考文献:

- [1] XU C, HAIYAN Z, JIANHONG Z, et al. The Pharmacological Effect of Polysaccharides from *Lentinus Edodes* on the Oxidative Status and Expression of VCAM-1 mRNA of Thoracic Aorta Endothelial Cell in High-fat-diet Rats[J]. Carbohydrate Polymers, 2008, 74(3): 445—450.
- [2] ZHENG Z, SHETTY K. Solid State Production of Polygalacturonase by *Lentinus Edodes* Using Fruit Processing Wastes[J]. Process Biochemistry, 2000, 35(8): 825—830.
- [3] 刘燕, 卢立新. 香菇气调保鲜包装工艺研究[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(11): 155—157.  
LIU Yan, LU Li-xin. Research on the Modified Atmosphere Packaging Technology of *Lentinus edodes*[J]. Food and Fermentation Industries, 2007, 33(11): 155—158.
- [4] 李月梅. 香菇的研究现状及发展前景[J]. 微生物学通报, 2005, 32(4): 149—152.  
LI Yue-mei. Research Status and Prospect of *Lentinula edous*[J]. Acta Microbiologica Sinica, 2005, 32(4): 149—152.
- [5] 肖菲, 李云飞, 王璐怡, 等. 微波处理对香菇杀菌及贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(13): 327—331.  
XIAO Fei, LI Yun-fei, WANG Lu-yi, et al. Effect of Microwave Treatment on Quality of Mushroom During Storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(13): 327—331.
- [6] 吴宁, 金城, 黄菊, 等. 葡萄籽提取物对香菇保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(8): 299—302.  
WU Ning, JIN Cheng, HUANG Ju, et al. Effect of Grape Seed Extract on Preservation of Shiitake Mushroom (*Lentinus edodes*)[J]. Food Science, 2013, 34(8): 299—302.
- [7] 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.
- [8] 张平, 王东辉. 大豆蛋白膜保鲜香菇效果的研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2002, 14(2): 87—90.  
ZHANG Ping, WANG Dong-hui. Study on the Effect of Fresh-Keeping with Soyprotein Film in *Lentinus Edodes*[J]. J of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 2002, 14(2): 87—90.
- [9] 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 & Curdeuing Products [M]. Beijing: Science Press, 2011.
- [10] 王博, 李光乐, 林茂, 等. 减压贮藏保鲜技术优点及问题探析[J]. 广东农业科学, 2012, 39(2): 79—82.  
WANG Bo, LI Guang-le, LIN Mao, et al. Discussion about the Advantages and Problems of Hypobaric Storage [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2012, 39(2): 79—82.
- [11] 颜廷才, 王淑琴, 李江阔, 等. 减压贮藏对辽西鲜枣衰老的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2007, 38(2): 157—161.  
YAN Ting-cai, WANG Shu-qin, LI Jiang-kuo, et al. Effects of Hypobaric Storage on Senescence of Jujube in the West of Liaoning [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2007, 38(2): 157—161.
- [12] 庄青, 王庆国. 换气周期对减压贮藏冬枣品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(8): 125—127.  
ZHUANG Qing, WANG Qing-guo. Effect of Interval Ventilation Time on Quality of 'Dongzao' Jujube during Hypobaric Storage [J]. Food and Fermentation Industries, 2005, 31(8): 125—127.
- [13] 王士奎, 牟其云, 李文香, 等. 不同压力条件对平菇减压贮藏效果的影响[J]. 现代食品科技, 2013, 29(5): 978—981.  
WANG Shi-kui, MU Qi-yun, LI Wen-xiang, et al. Effect of Different Pressure on the Hypobaric Storage of Pleurtus Ostreatus [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(5): 978—981.
- [14] 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-ying, et al. Effects of Chitosan Derivate Coating on the Postharvest Lentinus Edoes [J]. Food and Fermentation Industries, 2011, 37(9): 212—216.
- [15] LI T, ZHANG M, WANG S. Effects of Temperature on Agrocybe Chaxingu Quality Stored in Modified Atmosphere Packages with Silicon Gum Film Windows [J]. LWT—Food Science and Technology, 2008, 41(6): 965—973.
- [16] KIM K M, KO J A, LEE J S, et al. Effect of Modified Atmosphere Packaging on the Shelf-life of Coated, Whole and Sliced Mushrooms [J]. LWT—Food Science and Technology, 2006, 39(4): 365—372.
- [17] TAO F, ZHANG M, HANGQING Y, 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.
- [18] JIANG T. 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.
- [19] 李合生, 孙群, 赵世杰. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.  
LI He-sheng, SUN Qun, ZHAO Shi-jie. Principle and Technology of Plant Physiology and Biochemistry Experiment [M]. Beijing: China Higher Education Press, 2003.
- [20] GUILLAUME C, SCHWAB I, GASTALDI E, et al. Biobased Packaging for Improving Preservation of Fresh Common Mushrooms (Agaricus Bisporus L) [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2010, 11(4): 690—696.
- [21] 陈少裕. 膜脂过氧化对植物细胞的伤害[J]. 植物生理学通讯, 1991, 27(2): 84—90.  
CHEN Shao-yu. Injury of Membrane Lipid Peroxidation to Plant Cell [J]. Plant Physiology Communications, 1991, 27(2): 84—90.

(上接第27页)

- XIAO Ming-yu, PAN Hong-xia, XU Yong-wei, et al. Preparation of Polylactic Acid Biaxially Oriented Film and Their Properties [J]. New Chemical Materials, 2006, 34(12): 71—74.
- [11] AURAS R, SINGH S P, SINGH J J. Evaluation of Oriented Poly(Lactide) Polymers vs Existing PET and Oriented PS for Fresh Food Service Containers [J]. Packaging Technology and Science, 2005, 18(4): 207—216.
- [12] AURAS R, HARTE B, SELKE S, et al. Mechanical, Physical, and Barrier Properties of Poly(Lactide) Films [J]. Journal of Plastic Film, 2003, 19(2): 123—135.
- [13] DELPOUVE N, STOCLET G, SAITER A, et al. Water Barrier Properties in Biaxially Drawn Poly(Lactic Acid) Films [J]. Journal of Physical Chemistry B, 2012, 116(15): 4615—4625.
- [14] AURAS R, HARTE B, SELKE S. An Overview of Poly(lactides) as Packaging Materials [J]. Macromolecular Bioscience, 2004, 4(9): 835—864.
- [15] AURAS R, HARTE B, SELKE S J. Effect of Water on the Oxygen Barrier Properties of Poly(Ethylene Terephthalate) and Polylactide Films [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2004, 92(3): 1790—1803.
- [16] FISCHER E W, STERZEL H J, WEGNER G. Investigation of the Structure of Solution Grown Crystals of Lactide Copolymers by Means of Chemical Reactions [J]. Colloid and Polymer Science, 1973, 251: 980—990.