

高氧气调包装对双孢蘑菇品质的影响

赵春霞, 李大虎, 程玉娇, 张敏
(西南大学, 重庆 400715)

摘要: **目的** 用高氧气调对双孢蘑菇进行处理, 研究不同O₂体积分数对双孢蘑菇品质的影响。**方法** 测定双孢蘑菇的感官评价、呼吸强度、硬度、失重率、可溶性固形物、L*值和PPO活性等指标。**结果** 在温度为5℃、相对湿度为90%的贮藏条件下, 高氧能较好地维持双孢蘑菇的硬度值、白度值和感官指标; 高氧处理组(O₂体积分数为80%)能抑制双孢蘑菇的呼吸强度和PPO活性; 高氧气调包装对双孢蘑菇的失重率和可溶性固形物含量无明显影响。**结论** 高氧气调(O₂体积分数为80%)对双孢蘑菇有较好的保鲜效果。

关键词: 双孢蘑菇; 高氧气调; 保鲜

中图分类号: TS206.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)15-0005-06

Effects of Modified Atmosphere Packaging with O₂ on the Qualities of *Agaricus Bisporus*

ZHAO Chun-xia, LI Da-hu, CHENG Yu-jiao, ZHANG Min
(Southwest University, Chongqing 400715, China)

ABSTRACT: Objective *Agaricus bisporus* was packaged using modified atmosphere with O₂, and the effects of different O₂ concentration on the quality of *Agaricus bisporus* were studied. **Methods** The sensory properties, respiration rate, hardness, weight loss rate, soluble solid content, whiteness and polyphenol oxidase (PPO) activity were measured during the storage period. **Results** Under storage conditions of 5℃ and RH 90%, high O₂ could better maintain the hardness value, whiteness value and sensory properties of *Agaricus bisporus*; treatment with 80% of O₂ could inhibit the respiration rate and maintain the PPO activity; packaging with modified atmosphere with O₂ had no significant effect on either the weight loss rate of the *Agaricus bisporus* or the soluble solid content. **Conclusion** 80% of O₂ showed better preservation effect on *Agaricus bisporus*.

KEY WORDS: *agaricus bisporus*; high Oxygen atmosphere packaging; preservation

双孢蘑菇是世界上产量最高、消费量最大的一种食用菌, 含有多种氨基酸、蛋白质、维生素和矿物质等^[1]。此外, 双孢蘑菇还具有良好的药用功能, 经常食用可以预防坏血病、肿瘤等疾病^[2]。随着人们生活水平的提高, 对食物品质要求也越来越严格。双孢蘑菇因其味道鲜美、质地柔软、营养价值丰富, 受到人们

的青睐。由于新鲜双孢蘑菇含水量高, 组织松软, 菌盖表面无保护结构, 导致采后蘑菇子实体易开伞、萎缩、褐变、受到细菌侵染^[3-4], 从而会影响双孢蘑菇的货架期, 降低其商品价值。

高氧气调 (high oxygen atmosphere packaging, HOAP) 指包装中O₂体积分数在21%~100%之间, 是近

收稿日期: 2014-05-04

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

作者简介: 赵春霞(1989—), 女, 山东人, 西南大学硕士生, 主攻食品包装材料及技术。

通讯作者: 张敏(1975—), 男, 湖南人, 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。

几年发展起来的一种果蔬保鲜技术。相关研究表明,高氧气调可以降低果蔬的呼吸作用^[5]和乙烯合成,抑制组织褐变^[6],影响微生物生长^[7-8],减少果蔬腐烂,减缓活性氧代谢和膜质过氧化作用^[9]。郑永华等^[10]用O₂(90%)处理枇杷果实,表明高氧能显著抑制其呼吸强度和多酚氧化酶(Polyphenol Oxidase, PPO)活性。Limbo等^[11]使用100 kPa的初始氧分压对鲜切马铃薯进行处理,表明高氧能显著抑制其褐变。

实验采用4种体积分数的O₂对双孢蘑菇进行气调包装,测定其感官评价、呼吸强度、硬度、失重率、可溶性固形物、白度和PPO等指标,研究了不同O₂体积分数对双孢蘑菇品质的影响。

1 实验

1.1 材料与试剂

选用新鲜双孢蘑菇,购于重庆北碚天生农贸市场。选择原则为同批采收,无病虫害和机械损伤,菇体大小、形状、成熟度、颜色均匀一致。

试剂有:酚酞指示剂、氢氧化钠、无水乙醇、草酸、氯化钡、邻苯二酚、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠,分析纯,购于成都木兰镇工业开发区。

1.2 仪器与设备

仪器与设备有:MAP-500DD袋式气调包装机,上海炬钢机械制造有限公司;UltraScan PRO测色仪,美国HunterLab公司;WZ113型手持式折光仪,北京万成北精密仪器公司;H1650R台式高速冷冻离心机,湖南湘仪公司;UV-2450PC紫外分光光度计,日本岛津公司。

1.3 方法

将双孢蘑菇采后立即运送至实验室,并进行高氧气调包装。使用的气体比例(体积分数)见表1。每袋100 g左右,包装材料为40 μm厚的PE。将双孢蘑菇包装好后放于冷藏柜中,于温度为(5 ± 1)℃、相对湿度为90%的条件下贮藏,每2 d测1次指标。

1.3.1 感官评价

参考石启龙等^[12-13]的方法,由经过培训的6人对双孢蘑菇的色泽、质地、异味等感官指标进行评定。感官指标评定标准见表2。

表1 使用气体比例
Tab.1 O₂ proportion in MAP

| 处理组 | O ₂ 体积分数/% | N ₂ 体积分数/% |
|-----|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 80 | 20 |
| 2 | 60 | 40 |
| 3 | 40 | 60 |
| 4 | 21 | 79 |

表2 双孢蘑菇感官指标评价标准
Tab.2 Evaluation standard of sensory properties of *Agaricus bisporus*

| 评分 | 开伞 | 色泽 | 异味 | 是否发粘 | 质地 |
|------|------|------|------|------|------|
| 8~10 | 无 | 洁白 | 无 | 无 | 有弹性 |
| 6~8 | 轻度开伞 | 洁白 | 稍有异味 | 稍有发粘 | 稍有软烂 |
| 4~6 | 明显开伞 | 稍褐变 | 明显异味 | 明显发粘 | 明显软烂 |
| <4 | 开伞严重 | 严重褐变 | 异味严重 | 严重发粘 | 严重软烂 |

1.3.2 失重

参考Jiang等^[14]的方法。

1.3.3 呼吸强度

参考Li等^[15]的方法,即静置法。

1.3.4 白度

参考JAWORSKA等人^[16]的方法。采用UltraScan PRO测色仪测量双孢蘑菇伞盖的白度值,用L*表示。L*值越大,表示白度越大。

1.3.5 硬度

参考刘战丽等人^[17]的方法,用GY-1型果实硬度计测定。将双孢菇放平,然后将硬度计垂直放于伞盖表面中心点,均匀用力,压头深入5 mm,记下指针读数。每个处理组挑选10个左右,取平均值。

1.3.6 可溶性固形物含量

参考曹健康等^[18]的方法。取3~4株双孢蘑菇,放入研钵中研磨后,以干净的纱布过滤,得上清液。用手持式折光仪测定样品液中可溶性固形物含量,重复测定4次。

1.3.7 PPO

参考Oms-Oliu等^[19]的方法并略做修改。称取3.0 g样品、3.0 mL提取缓冲液,在冰浴条件下用研钵研磨成浆,温度为4℃、离心速率为10 480 r/min下离心30 min,收集的上清液即为酶提取液。往试管中加入4.0 mL(0.1 mol/L)、pH6.8磷酸缓冲液、1.0 mL(0.05 mol/L)邻苯二酚溶液和100 μL酶提取液。记录反应体系在

波长 420 nm 处的吸光度值,测定 4 min,重复 3 次。

1.3.8 数据处理

采用 Origin7.5 对数据进行图像处理,用 SPSS13.0 对各项指标进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 呼吸强度

O_2 体积分数不同对双孢蘑菇呼吸强度的影响见图 1。在贮藏第 2 天时, $O_2(40\%)$ 、 $O_2(60\%)$ 和 $O_2(80\%)$ 处理组其呼吸强度明显下降,与 $O_2(21\%)$ 处理组差异显著 ($P < 0.01$),这可能是因为较高的 O_2 体积分数抑制了顺乌头酸酶的活性,使三羧酸(TCA)循环途径中柠檬酸到 α -酮戊二酸的反应受到抑制,从而抑制了双孢蘑菇呼吸强度。也有研究认为,高氧降低了细胞内的 pH 值,从而使与呼吸有关的酶活性受到影响,降低了其呼吸强度;在第 6 天时, $O_2(40\%)$ 、 $O_2(60\%)$ 和 $O_2(80\%)$ 处理组达到呼吸高峰,而 $O_2(21\%)$ 处理组在第 4 天时已经达到呼吸高峰,说明高氧可延迟双孢蘑菇的呼吸高峰。其中, $O_2(80\%)$ 处理组呼吸强度较低,与 $O_2(40\%)$ 和 $O_2(60\%)$ 处理组差异显著 ($P < 0.01$);在第 10 天时, $O_2(80\%)$ 处理组呼吸强度最低, $O_2(60\%)$ 处理组次之,两者差异显著 ($P < 0.01$);在第 12 天,高氧处理组的呼吸强度有不同程度的上升,可能是由于微生物侵染,菇体腐坏,从而导致呼吸强度升高。总体来说,高氧能延迟双孢蘑菇呼吸高峰的到来,而 $O_2(80\%)$ 的气调包装能显著抑制双孢蘑菇的呼吸强度。这与 Liu 等^[20]采用持续的 $O_2(80\%)$ 与 $O_2(100\%)$ 处理双孢蘑菇后,发现 $O_2(80\%)$ 与 $O_2(100\%)$ 处理组能显著抑制双孢蘑菇呼吸强度的结果一致。

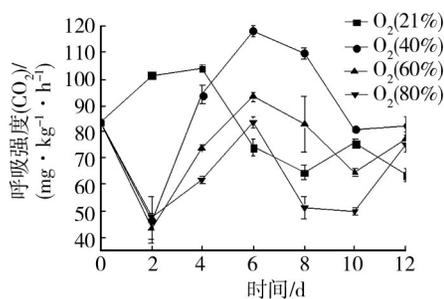


图1 O_2 体积分数不同对双孢蘑菇呼吸强度的影响

Fig.1 Effect of different O_2 concentration on the respiration rate of *Agaricus bisporus*

2.2 失重率

O_2 体积分数不同对双孢蘑菇失重率的影响见图 2。在整个贮藏期间,双孢蘑菇的失重率呈上升趋势。呼吸作用引起的糖类分解和蒸腾作用引起的水分流失是导致双孢蘑菇失重的主要原因。随着呼吸作用和蒸腾作用的持续进行,其失重率也逐步增加。 $O_2(40\%)$ 、 $O_2(60\%)$ 、 $O_2(80\%)$ 处理组的失重率高于 $O_2(21\%)$ 处理组,高氧处理对双孢蘑菇的失重率无明显影响。

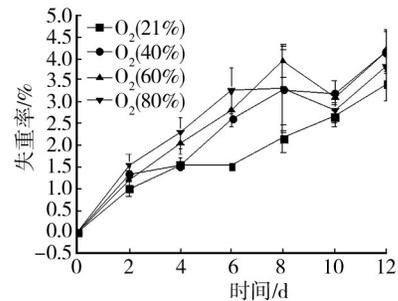


图2 O_2 体积分数不同对双孢蘑菇失重率的影响

Fig.2 Effect of different O_2 concentration on the weight loss of *Agaricus bisporus*

2.3 硬度

O_2 体积分数不同对双孢蘑菇硬度的影响见图 3,各处理组的硬度值呈下降趋势。硬度下降是由细胞壁中甲壳素合成导致细胞韧化、细胞膜渗透率的增加、蛋白质和多糖类物质的降解、细胞内液泡破裂、细胞间隙增大等因素引起的^[21-22]。在前 4 d 时,各处理组无明显差异。其中, $O_2(60\%)$ 处理组硬度值最高, $O_2(80\%)$ 处理组次之。这可能是因为高氧气调贮藏能维持细胞壁水解酶的活性,从而使其硬度值较高^[23];在第 6 天时, $O_2(40\%)$ 处理组硬度值最高,而 $O_2(80\%)$ 处理组硬度值下降明显,与其他各组差异显著 ($P < 0.05$),可能原因是 $O_2(80\%)$ 处理组此时的失重率最高(见图 2),而呼吸强度最低(见图 1),可见其失水率最高。组织失水导致细胞饱和度降低^[24],从而使双孢蘑菇硬度降低。在第 10 天时, $O_2(80\%)$ 处理组硬度值最大,与 $O_2(21\%)$ 处理组差异显著 ($P < 0.05$)。这可能是由于其呼吸强下降趋势减缓,多糖类物质降解缓慢,硬度值的下降也趋于平缓。在第 12 天时, $O_2(40\%)$ 处理组硬度值最高, $O_2(80\%)$ 处理组次之,两者差异不显著。综上所述,高氧处理能较好地维持双孢蘑菇的硬度值。

其中,在前4 d时 $O_2(60\%)$ 与 $O_2(80\%)$ 处理组的效果较好;在贮藏后期, $O_2(40\%)$ 与 $O_2(80\%)$ 处理组的效果较好。*Oms-Oliu*等人^[25]采用 $O_2(70\%)$ 对甜瓜进行处理,结果表明在整个贮藏期高氧能较好地维持其硬度值。

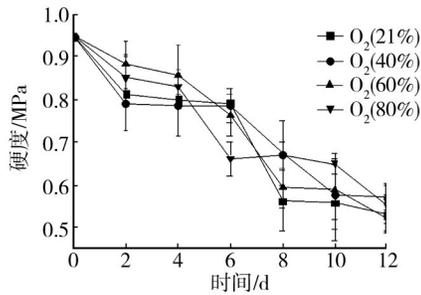


图3 O_2 体积分数不同对双孢蘑菇硬度的影响

Fig.3 Effect of different O_2 concentration on the firmness of *Agaricus bisporus*

2.4 可溶性固形物

O_2 体积分数不同对双孢蘑菇可溶性固形物的影响见图4。在第2天时,各处理组的可溶性固形物含量均有不同程度的下降,可能是由于可溶性固形物主要物质为可溶性糖,其作为呼吸作用的底物不断消耗,使其含量逐渐降低。其中, $O_2(80\%)$ 与 $O_2(21\%)$ 处理组含量最高,与其他两组差异显著($P<0.05$);在第2天到第6天时, $O_2(21\%)$ 处理组的可溶性固形物含量最高,与其他各组差异显著($P<0.05$);在第6天以后,各处理组的可溶性固形物含量均有不同程度的下降;在贮藏12 d时, $O_2(21\%)$ 处理组含量最高,与其他处理组差异极显著($P<0.01$)。综上所述,高氧处理对双孢蘑菇可溶性固形物的含量无明显影响。*Wszelaki*等人^[26]和*Perez*等人^[27]对草莓进行高氧处理,也得到了相同的结论。

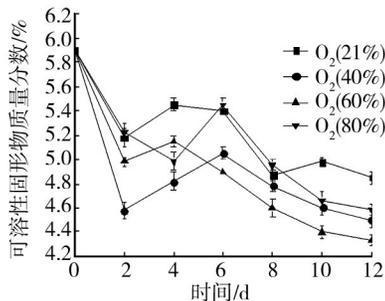


图4 O_2 体积分数不同对双孢蘑菇可溶性固形物的影响

Fig.4 Effect of different O_2 concentration on the soluble solids contents of *Agaricus bisporus*

2.5 白度值

O_2 体积分数不同对双孢蘑菇白度值的影响见图5。双孢蘑菇的褐变主要是由菇体内的酚类物质在氧气和多酚氧化酶存在的条件下被氧化成醌类物质,然后进一步聚合成黑色物质,从而使双孢蘑菇褐变^[28]。在第2天时,各处理组的白度值均有不同程度的下降。其中, $O_2(80\%)$ 处理组白度值最高;在第4天时, $O_2(80\%)$ 处理组白度值加剧下降,而 $O_2(60\%)$ 和 $O_2(40\%)$ 处理组下降平缓,可能原因是双孢蘑菇在第4天时的PPO活性最大(见图6),导致褐变加剧;在第6天以后,各处理组的白度值均呈下降趋势,可能是由于随着菇体的衰老,细胞膜透性增大,增加了底物与PPO的接触的几率,从而导致白度值降低。其中,以 $O_2(80\%)$ 处理组效果最好,与其他处理组差异显著($P<0.05$),主要是由于第6天后 $O_2(80\%)$ 处理组的PPO活性较低(见图6)。综上所述,高氧处理能较好地维持双孢蘑菇的白度,其中,以 $O_2(80\%)$ 处理组始终保持较高的白度值。*梁小玲*等人^[29]采用高氧结合抗坏血酸对鲜切梨片进行处理,结果表明, $O_2(90\%)$ 与抗坏血酸能显著抑制褐变的发生。

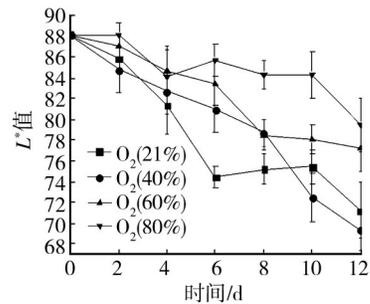


图5 O_2 体积分数不同对双孢蘑菇白度的影响

Fig.5 Effect of different O_2 concentration on the browning of *Agaricus bisporus*

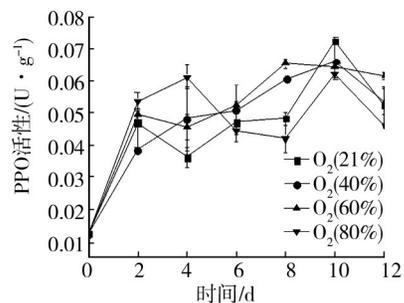


图6 O_2 体积分数不同对双孢蘑菇PPO活性的影响

Fig.6 Effect of different O_2 concentration on the polyphenol oxidase (PPO) activity of *Agaricus bisporus*

2.6 PPO活性

O₂体积分数不同对双孢蘑菇PPO活性的影响见图6。在第2天时,各处理组PPO活性都逐渐上升;在第4天时,O₂(80%)处理组的PPO活性最大,与O₂(40%)和O₂(60%)处理组差异显著($P<0.05$),O₂(0%)处理组PPO活性最小,可能原因是在第4天O₂(21%)处理组达到呼吸高峰,即O₂极具消耗而CO₂快速增加,从而抑制了双孢蘑菇PPO活性^[30];在第4天到第10天时,O₂(80%)处理组PPO活性逐渐下降,而其他处理组PPO活性则逐渐上升,可能原因是过高的O₂体积分数产生过量无色产物醌对PPO活性产生负反馈抑制作用,从而抑制了PPO活性;在第10天时,O₂(0%)处理组PPO活性最大,与O₂(60%)和O₂(40%)处理组差异显著($P<0.05$),可能原因是细胞内PPO是与质体、线粒体等细胞器内膜结合,因而其活性很低^[31]。随着贮藏时间的增长,细胞膜通透性增加,导致PPO活性的增大。综上所述,在贮藏后期,O₂(80%)处理组对PPO活性具有抑制作用,与其他处理组差异显著($P<0.05$)。王成涛等人^[32]采用不同氧分压对金针菇进行气调包装,结果表明,O₂(80%)处理组能维持其较高的PPO活性。

2.7 感官评价

O₂体积分数不同对双孢蘑菇感官指标的影响见图7。各处理组在贮藏期间均呈下降趋势。在前4 d下降趋势平缓,但在第4天以后,双孢蘑菇感官品质变化较大。在贮藏第6天时,O₂(21%)处理组双孢菇已经组织软化、表面发粘并出现明显异味,失去其商品价值,O₂(40%)与O₂(60%)处理组也在第8天左右出现褐变、明显开伞等现象。O₂(80%)处理组在第10天时仍具有一定的商品价值。

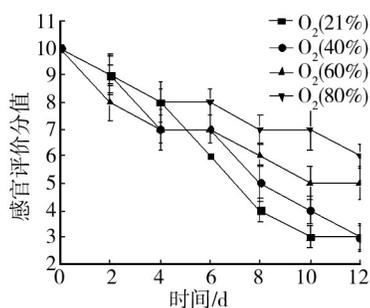


图7 O₂体积分数不同对双孢蘑菇感官评价的影响

Fig.7 Effect of different O₂ concentration on the sensory properties of *Agaricus bisporus*

3 结语

采用O₂体积分数不同的高氧气调包装对双孢蘑菇进行处理,表明高氧能延迟双孢蘑菇呼吸高峰的到来,O₂(80%)处理组能显著抑制双孢蘑菇的呼吸强度。在贮藏前期,O₂(60%)与O₂(80%)处理组能较好地维持双孢蘑菇的硬度值,而在贮藏后期,O₂(80%)与O₂(40%)处理组的效果较好。高氧能显著抑制双孢蘑菇的白度值,维持其较好的质地、色泽和香气,但只有O₂(80%)处理组能维持较低的PPO活性。高氧对双孢蘑菇的失重率和可溶性固形物含量没有明显影响。

参考文献:

- 1] VETTER J. Chemical Composition of Fresh and Conserved *Agaricus Bisporus* Mushroom[J]. *European Food Research and Technology*, 2003, 217(1): 10—12.
- 2] 周晓庆,胡蓉,邹凯,等. MAP技术在新鲜食用菌包装保鲜中的研究进展[J]. *包装工程*, 2010, 31(15): 117—121.
ZHOU Xiao-qing, HU Rong, ZOU Kai, et al. Research Progress of MAP Technology on Fresh-keeping Packaging of Fresh Edible Fungi[J]. *Packaging Engineering*, 2010, 31(15): 117—121.
- 3] 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.
- 4] 杜传来,郁志芳,韩玲玲. 气调保鲜包装对双孢菇贮藏效果的影响[J]. *包装工程*, 2010, 31(23): 17—21.
DU Chuan-lai, YU Zhi-fang, HAN Ling-ling. Effect of Fresh-keeping Modified Atmosphere Packaging on Storage Effect of *Agaricus Bisporus*[J]. *Packaging Engineering*, 2010, 31(23): 17—21.
- 5] 王洪霞,张敏. 高氧气调包装对金针菇保鲜品质的影响[J]. *包装工程*, 2013, 34(9): 18—23.
WANG Hong-xia, ZHANG Min. Influence of High Concentration Oxygen Modified Atmosphere Packaging on *Flammulina Velutipes* Preservation Quality[J]. *Packaging Engineering*, 2013, 34(9): 18—23.
- 6] LU C, TOIVONEN P. Effect of 1 and 100 kPa O₂ Atmospheric Pretreatments of Whole "Spartan" apples on Subsequent Quality and Shelf Life of Slices Stored in Modified Atmosphere Packages[J]. *Postharvest Biology and Technology*,

- 2000, 18(2):99—107.
- [7] JACXSENS L, DEVLIEGHERE F, VAN DER S C, et al. Effect of High Oxygen Modified Atmosphere Packaging on Microbial Growth and Sensorial Qualities of Fresh-cut produce [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2001, 71(2): 197—210.
- [8] HOOGERWERF S, KETS E, DIJKSTERHUIS J. High-oxygen and High-carbon Dioxide Containing Atmospheres Inhibit Growth of Food Associated Moulds[J]. *Letters in Applied Microbiology*, 2002, 35(5):419—422.
- [9] 陈学红, 秦卫东, 马利华, 等. 高氧气调包装对鲜切莴苣呼吸和酶活性的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2012, 37(12): 208—212.
- CHAN Xue-hong, QIN Wei-dong, MA Li-hua, et al. Effect of High Oxygen MAP on Respiration and Enzyme Activity of Fresh-cut Lettuce[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2012, 37(12):208—212.
- [10] 郑永华, 李三玉. 高氧对枇杷果实贮藏期间呼吸速率和多酚氧化酶活性及品质的影响[J]. *植物生理学通讯*, 2000, 36(4):318—320.
- ZHENG Yong-hua, LI San-yu. The Effect of High Oxygen on Respiratory Rate, Polyphenol Oxidase Activity and Quality in Postharvest Loquat Fruits[J]. *Plant Physiology Communications*, 2000, 36(4):318—320.
- [11] LIMBO S, PIERGIOVANNI L. Shelf Life of Minimally Processed Potatoes Part 1. Effects of High Oxygen Partial Pressures in Combination with Ascorbic and Citric Acids on Enzymatic Browning[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2006, 39(3):254—264.
- [12] 石启龙, 王相友, 王娟, 等. 包装材料对双孢蘑菇贮藏保鲜效果的影响[J]. *食品科学*, 2005, 26(6):253—256.
- WANG Qi-long, WANG Xiang-you, WANG Juan, et al. Effect of Different Package Material on Keeping Quality on *Agaricus bisporus*[J]. *Food Science*, 2005, 26(6):253—256.
- [13] 刘星, 付海姣, 冯丽萍, 等. 换气周期对减压罐包装生鲜香菇品质的影响[J]. *包装工程*, 2014, 35(1):28—33.
- LIU Xing, FU Hai-jiao, FENG Li-ping, et al. Effect of Interval Ventilation Time on the Quality of Fresh Shiitake Mushrooms during Vacuum Tank Packaging Storage[J]. *Packaging Engineering*, 2014, 35(1):28—33.
- [14] JIANG T, JAHANGIR M M, WANG Q, et al. Accumulation of Lignin and Malondialdehyde in Relation to Quality Changes of Button Mushrooms (*Agaricus bisporus*) Stored in Modified Atmosphere[J]. *Food Science and Technology International*, 2010, 16(3):217—224.
- [15] LI T H, ZHANG M, WANG S J. Effects of Temperature on *Agrocybe Chaxingu* Quality Stored in Modified Atmosphere Packages with Silicon Gum Film Windows[J]. *Lwt-Food Sci Technol*, 2008, 41(6):965—973.
- [16] JAWORSKA G, BEFNAS E. The Effect of Preliminary Processing and Period of Storage on the Quality of Frozen *Boletus Edulis* (Bull. Fr.) Mushrooms[J]. *Food Chem*, 2009, 113(4): 936—943.
- [17] 刘战丽, 王相友, 朱继英, 等. 高氧气调贮藏下双孢蘑菇品质和抗性物质变化[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(5):362—366.
- LIU Zhan-li, WANG Xiang-you, ZHU Ji-ying, et al. Effects of High Oxygen Atmosphere on Quality and Resistant Substance of Mushroom[J]. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(5):362—366.
- [18] 曹健康, 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.
- CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. *Experiment Guidance of Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.
- [19] OMS-OLIU G, AGUILÓ-AGUAYO I, MARTÍN-BELLOSO O, et al. Effects of Pulsed Light Treatments on Quality and Antioxidant Properties of Fresh-cut Mushrooms (*Agaricus bisporus*) [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2010, 56(3):216—222.
- [20] LIU Z, WANG X, ZHU J, et al. Effect of High Oxygen Modified Atmosphere on Post-harvest Physiology and Sensorial Qualities of Mushroom[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2010, 45(6):1097—1103.
- [21] ZIVANOVIC S, BUESCHER R W, KIM K S. Textural Changes in Mushrooms (*Agaricus Bisporus*) Associated with Tissue Ultrastructure and Composition[J]. *J Food Sci*, 2000, 65(8): 1404—1408.
- [22] PARENTELLI C, ARES G, CORONA M, et al. Sensory and Microbiological Quality of Shiitake Mushrooms in Modified -atmOsphere packages[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2007, 87(9):1645—1652.
- [23] STEWART D, OPARKA J, JOHNSTONE C, et al. Effect of Modified Atmosphere Packaging (MAP) on Soft Fruit Quality [J]. *Scottish Crop Research Institute*, 1999:119.
- [24] JIANG T J, JAHANGIR M M, WANG Q S, et al. Accumulation of Lignin and Malondialdehyde in Relation to Quality Changes of Button Mushrooms (*Agaricus bisporus*) Stored in

- 研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2007.
- CHEN Qi-guang. The Design of Top Layer Software System and Research on Geometric Distortion Rectification for Photogrammetric Scanner[D]. Xi'an: Xidian University, 2007.
- [11] 郑红,李俊,陈海霞,等. 红外畸变图像并行校正快速实现算法研究[J]. 仪器仪表学报,2011,32(11):2530—2535.
- ZHENG Hong, LI Jun, CHEN Hai-xia, et al. Research on Fast Algorithm for Parallel Correction of Distorted Infrared Image[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2011, 32(11):2530—2535.
- [12] 张淑兵. 文本图像的几何畸变校正技术研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2007.
- ZHANG Shu-bing. Research For Geometric Distortion Correction Technology of Text Image[D]. Xi'an: Xidian University, 2007.
- [13] 张森. 数字图像几何畸变自动校正算法的研究与实现[D]. 上海:上海交通大学,2007.
- ZHANG Sen. The Study and Implementation of Geometric-distortion Auto-correcting Algorithm of Digital Image[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2007.
- [14] 李庆峰,付忠良,刘琴. 一种高效的倾斜图像校正方法[J]. 计算机工程,2006,21:194—196.
- LI Qing-feng, FU Zhong-liang, LIU Qin. An Effective Skew Image Correction Method[J]. Computer Engineering, 2006, 21:194—196.
- [15] 何成平,龚益民,俞亚珍. 汉信码图像预处理技术及实现[J]. 包装工程,2010,31(1):72—75.
- HE Cheng-ping, GONG Yi-min, YU Ya-zhen. Pre-processing Technology of Chinese Sensible Code Image and Its Realization[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(1):72—75.
- [16] 张森,赵群飞,冶建科. 一种数字图像几何畸变的自动校正方法[J]. 机电一体化,2007(3):60—64.
- ZHANG Sen, ZHAO Qun-fei, YE Jian-ke. A Method of Auto-correcting Geometrical Distortion of Digital Images[J]. Mechatronics, 2007(3):60—64.

(上接第10页)

- Modified Atmosphere[J]. Food Science and Technology International, 2010, 16(3):217—224.
- [25] OMS-OLIU G, RAYBAUDI-MASSILIA M R, SOLIVA-FORTUNY R, et al. Effect of Superatmospheric and Low Oxygen Modified Atmospheres on Shelf-life Extension of Fresh-cut melon[J]. Food Control, 2008, 19(2):191—199.
- [26] WSZELAKI A L, MITCHAM E J. Effects of Superatmospheric Oxygen on Strawberry Fruit Quality and Decay[J]. Postharvest Biology and Technology, 2000, 20(2):125—133.
- [27] PEREZ A G, SANZ C. Effect of High-oxygen and High-carbon-dioxide Atmospheres on Strawberry Flavor and Other Quality traits[J]. J Agr Food Chem, 2001, 49(5):2370—2375.
- [28] 张芳. 影响双孢蘑菇褐变代谢机制研究[D]. 福州:福建农林大学,2012.
- ZHANG Fang. Browning Metabolism Research during the Storage of Agaricus Bisporus[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2012.
- [29] 梁小玲,卢立新. 高氧气调结合化学试剂处理对鲜切梨颜色变化的影响[J]. 食品与发酵工业,2008,34(6):152—154.
- LIANG Xiao-ling, LU Li-xin. Effect of High Oxygen MAP Combined Chemical Reagent on Color Change of Fresh-cut pear[J]. Food and Fermentation Industries, 2008, 34(6):152—154.
- [30] PEN L, JIANG Y. Effects of Chitosan Coating on Shelf Life and Quality of Fresh-cut Chinese Water Chestnut[J]. Lwt-Food Sci Technol, 2003, 36(3):359—364.
- [31] 宋吉轩,陈超,雷尊国,等. 马铃薯加工过程中褐变机理及其抑制效果研究[J]. 安徽农业科学,2010(1):329—331.
- SONG Ji-xuan, CHEN Chao, LEI Zun-guo, et al. Browning Metabolism and Inhibitory Effect Research During the Processing of Potato[J]. Journal of Anhui Agricultural, 2010(1):329—331.
- [32] 王成涛,王昌涛,刘柳,等. 不同氧分压对金针菇贮藏保鲜效果的影响[J]. 食品科学,2010,31(18):385—389.
- WANG Cheng-tao, WANG Chang-tao, LIU Liu, et al. Effect of Oxygen Pressure on Fresh-keeping of Needle Mushroom[J]. Food Science, 2010, 31(18):385—389.