

高氧气调包装对双孢蘑菇微生物及其品质的影响

李云云, 赵春霞, 程曦, 李婧, 张敏*

(西南大学食品科学学院, 农业部农产品贮藏保鲜质量安全风险评估实验室(重庆),

重庆市特色食品工程技术研究中心, 重庆 400715)

摘要: 对双孢蘑菇进行80%高氧处理, 研究高氧气调包装对双孢蘑菇微生物及其品质的影响。结果表明, 在贮藏过程中, 高氧气调包装能明显抑制双孢蘑菇中霉菌及酵母菌的生长, 对假单胞菌属总数也有明显的抑制作用($P<0.05$)。在贮藏前期, 高氧气调包装可以抑制嗜常温菌总数的增加, 但在贮藏后期反而促进其生长。高氧气调包装也能明显抑制双孢蘑菇抗坏血酸含量的下降($P<0.05$), 维持较高的总糖含量($P<0.05$)、较好的感官品质, 但对可溶性蛋白含量无明显影响。

关键词: 双孢蘑菇; 高氧气调包装; 微生物; 品质

Effects of High-Oxygen Modified Atmosphere Packaging on Microorganisms and Quality Maintenance in *Agaricus bisporus*

LI Yunyun, ZHAO Chunxia, CHENG Xi, LI Jing, ZHANG Min*

(Chongqing Engineering Research Center of Regional Food, Laboratory of Quality and Safety Risk Assessment for Agro-products on Storage and Preservation (Chongqing), Ministry of Agriculture, College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: The effects of 80% oxygen modified atmosphere packaging on microbial populations and quality maintenance of *Agaricus bisporus* were studied during cold storage at $(5 \pm 1) ^\circ\text{C}$. Results showed that during the process of storage, high-oxygen atmosphere could inhibit the growth of moulds and yeasts in *Agaricus bisporus*, and also had a significant inhibition on the total number of *Pseudomonas* genus. In the early stage of the storage, high oxygen packaging could inhibit the increase in the total number of mesophilic bacteria, but in the late storage instead promote its growth. Compared with control groups, high-oxygen atmosphere packaging could maintain a high sugar content, inhibit the decline of ascorbic acid content, and also maintain good sensory quality, but it had no significant effect on protein contents in *Agaricus bisporus*.

Key words: *Agaricus bisporus*; high-oxygen atmosphere packaging; microorganism; quality

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201602046

中图分类号: TS205.9

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2016)02-0261-05

引文格式:

李云云, 赵春霞, 程曦, 等. 高氧气调包装对双孢蘑菇微生物及其品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(2): 261-265.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201602046. <http://www.spkx.net.cn>

LI Yunyun, ZHAO Chunxia, CHENG Xi, et al. Effects of high-oxygen modified atmosphere packaging on microorganisms and quality maintenance in *Agaricus bisporus*[J]. Food Science, 2016, 37(2): 261-265. (in Chinese with English abstract)

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201602046. <http://www.spkx.net.cn>

双孢蘑菇 (*Agaricus bisporus*) 又称白蘑菇、蘑菇, 富含蛋白质、膳食纤维和维生素、矿物质, 具有较低的脂肪含量, 且有很好的口感, 深受消费者喜爱^[1]。采后双孢蘑菇水分含量高、表面无保护膜、组织松软、呼吸作用旺盛, 长时间贮藏易遭受微生物侵染, 腐败加剧^[2], 其中嗜常温菌、霉菌及酵母菌(清酒假丝酵母)、假单胞

菌属(托拉斯假单胞菌、荧光假单胞菌)等是造成双孢蘑菇腐坏的主要菌种^[3]。

高氧气调包装(氧含量大于70%)是一种新型保鲜技术, 它能明显降低微生物总数且能维持较好的产品品质^[4]。在高氧胁迫环境中, 当氧气含量大于0.1%时, 专性厌氧菌即不能生长。而对于好氧性细菌而言, 当氧气

收稿日期: 2015-05-11

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(XDJK2013C130)

作者简介: 李云云(1990—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品包装工程。E-mail: spbzlyy2014@163.com

*通信作者: 张敏(1975—), 男, 副教授, 硕士, 研究方向为食品包装保鲜材料及技术。E-mail: zmqx123@163.com

含量大于20%时,随着氧气体积分数的增加,微生物的生长率逐渐降低^[5]。有研究^[6]表明高氧气调包装能破坏细菌的膜结构,从而达到杀死细菌的目的,这也可能是因为较高体积分数的氧产生大量的活性氧,从而使微生物受到毒害所致。Allende等^[6]采用95%的高氧气调包装对鲜切菠菜进行研究时发现,高氧气调包装能明显抑制好氧嗜温菌总数的增加,对蔬菜色拉中乳酸菌的生长也有抑制作用,但对酵母菌的生长却起到了促进作用。Amanatidou等^[5]使用50%及90%高氧对鲜切胡萝卜条进行处理时发现,高氧能显著抑制其蔗糖含量的下降。目前国内外有关高氧气调包装对双孢蘑菇贮藏过程中微生物影响方面的研究很少,但微生物又是双孢蘑菇腐败的主要原因。

本实验室前期研究^[7]表明,80%的高氧对双孢蘑菇的总体保鲜效果最好。在此基础上,本实验通过对双孢蘑菇进行80%高氧气调包装,从包装袋内气体成分、嗜温菌、霉菌及酵母菌、假单胞菌、总糖含量、可溶性蛋白含量、抗坏血酸含量及感官评价等方面进行分析,深入研究高氧气调包装对双孢蘑菇贮藏期间微生物及品质的影响。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜双孢蘑菇购于重庆北碚天生农贸市场。要求同批采收,无病虫害和机械损伤,菇体成熟度、大小、形状、颜色均匀一致。

碘酸钾、碘化钾、淀粉(均为分析纯)、考马斯亮蓝G-250(生物染色剂) 重庆川东化工试剂公司;牛血清蛋白(生化试剂)、蒽酮(分析纯) 成都科龙化工试剂厂;马铃薯葡萄糖琼脂培养基、平板计数琼脂培养基(均为生物试剂) 北京奥博星生物技术公司;假单胞CFC选择性培养基、假单胞CFC选择性培养基添加剂(均为生化试剂) 青岛高科园海博生物技术公司。

1.2 仪器与设备

MAP-500DD袋式气调包装机 上海炬钢机械制造有限公司;PAC CHECK顶空分析仪 美国Mocon公司;H1650R高速冷冻离心机 长沙湘仪离心机公司;UV-2450PC紫外-可见分光光度计 日本岛津公司;XHF-D高速分散器 宁波新芝生物科技公司;VD-850桌上式洁净工作室 苏州净化设备公司;BXM-30R立式压力蒸汽灭菌器 上海博讯实业公司;DPH-系列电热恒温培养箱 上海一恒公司;XH-C旋涡混合器 金坛市白塔新宝仪器。

1.3 方法

1.3.1 样品准备

双孢蘑菇购买后立即运送到实验室,在200 $\mu\text{L/L}$ 次氯酸钠溶液中浸泡2 min,用蒸馏水漂洗2次,放于4 $^{\circ}\text{C}$ 冷藏室中进行冷风吹干。然后进行80%高氧气调包装和空气包装。实验组为80%氧气+20%氮气,对照组为空气。每袋 (100 ± 5) g,包装材料为40 μm 聚乙烯(氧透过量为 $2.25\times 10^{-3}\text{ cm}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d}\cdot\text{Pa})$,二氧化碳透过量为 $7.13\times 10^{-3}\text{ cm}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d}\cdot\text{Pa})$)。将包装后的双孢蘑菇放于 $(5\pm 1)^{\circ}\text{C}$,相对湿度90%条件下贮藏。每2 d测1次指标。

1.3.2 气体成分测定

用顶空气体分析仪检测,每次检测需将探针置于包装袋中部。

1.3.3 微生物测定

参考文献[8]的方法并略做修改。取5 g样品置于45 mL无菌生理盐水中,8 000 r/min均质2 min,得到1:10样品匀液。用无菌吸管吸取1 mL样品匀液缓慢注于盛有9 mL无菌生理盐水的无菌试管中,得到1:100样品匀液。按照上述程序,制备10倍稀释样品匀液。选取2~3个适宜稀释度样品匀液,各吸取1 mL于无菌平皿中,并将15~20 mL冷却至46 $^{\circ}\text{C}$ 的培养基倾注平板,转平板使其混合均匀。其中,嗜常温菌使用平板计数琼脂培养基,并于35 $^{\circ}\text{C}$ 条件下培养2 d;假单胞菌属使用假单胞CFC培养基和假单胞CFC培养基营养添加剂,于25 $^{\circ}\text{C}$ 条件下培养48 h;霉菌和酵母菌使用马铃薯葡萄糖琼脂培养基,于28 $^{\circ}\text{C}$ 条件下培养5~7 d。

1.3.4 可溶性蛋白含量测定

参考Bradford^[9]方法,采用考马斯亮蓝G-250法。取1 g样品、3 mL蒸馏水于研钵中研磨成匀浆,在4 $^{\circ}\text{C}$ 、10 000 r/min条件下离心20 min,收集上清液即为可溶性蛋白提取液。低温保存备用,使用前稀释10倍。取1 mL提取液,加入5 mL考马斯亮蓝G-250溶液,在旋涡混合器上充分混合。静置15 min后,于595 nm波长处测其吸光度。以牛血清蛋白做标准曲线,查得相应的标准蛋白质量,计算可溶性蛋白含量。

1.3.5 总糖含量测定

参考黄伟坤^[10]的方法,采用蒽酮比色法。取5 g样品,加少量蒸馏水研磨成匀浆后,转移到具塞试管中并定容到10 mL。于沸水中提取30 min,过滤并定容至25 mL容量瓶中,即为总糖提取液。取1 mL提取液加入浸在冰水浴中的具塞试管中,同时立即加入4 mL蒽酮试剂,摇匀,立即放入沸水浴中,准确计时10 min后取出,冰浴冷却,620 nm波长处测其吸光度。以葡萄糖做标准曲线,计算样品中总糖含量。

1.3.6 VC含量测定

参考曹建康等^[11]方法,采用碘量法进行测定。

1.3.7 感官评价

参考文献[12-13]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。感官指标评定标准如表1所示。

表1 双孢蘑菇感官指标评价标准
Table 1 Standards for sensory evaluation of *Agaricus bisporus*

评分	开伞	色泽	异味	是否发黏	质地
8~10	无	色泽洁白	无	无	有弹性
6~8	轻度开伞	色泽洁白	稍异味	稍发黏	稍软
4~6	明显开伞	稍褐变	明显异味	明显发黏	明显软烂
<4	开伞严重	严重褐变	异味严重	严重发黏	严重软烂

1.4 数据分析

使用Origin 7.5软件绘图和SPSS 13.0对各项指标进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 包装袋内氧和二氧化碳气体含量变化

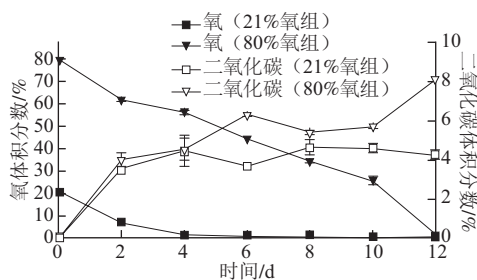


图1 包装袋内氧和二氧化碳含量变化

Fig. 1 Changes in O₂ and CO₂ contents in packaging bags

由图1所示,在整个贮藏过程中80%氧与21%氧处理组氧含量均呈下降趋势,二氧化碳含量均呈上升趋势,这是由于双孢蘑菇具有一定的呼吸强度,并且包装双孢蘑菇的聚乙烯袋具有一定的透气性的作用结果。在第2天时,两处理组氧体积分数均下降迅速,此时二氧化碳体积分数也上升迅速并且均达到4%左右,后面二氧化碳体积分数变化趋于平缓,说明双孢蘑菇的呼吸强度得到了一定的控制。到第6天时21%氧处理组氧体积分数已经低于1%,易导致双孢蘑菇产生无氧呼吸,进而影响其品质^[14],在第12天时,80%氧处理组氧体积分数下降较快,达到1.68%。实验结果与文献[15]用高氧贮藏香菇在整个贮藏过程中氧与二氧化碳体积分数变化趋势相一致。

2.2 高氧气调包装对嗜常温菌的影响

由图2可知,贮藏前2 d,各处理组嗜常温菌总数均缓慢下降。在2~6 d,80%氧与21%氧处理组呈上升趋势,且80%氧处理组能明显抑制嗜常温菌总数的增加。可能是因为高氧胁迫使大量的活性氧对微生物细胞分子造成损伤,从而抑制了微生物生长^[17]。在第8~12天,

80%氧处理组嗜常温菌总数高于21%氧处理组,且在第10天两者差异显著($P<0.05$)。而在21%氧处理组由于双孢蘑菇的呼吸作用和嗜常温菌的消耗,使包装袋中氧大量消耗,二氧化碳含量增加,二氧化碳会直接改变膜的流动性,直接抑制一些酶的活性并使其内部酸化,从而抑制微生物的生长^[17-18]。综上,高氧气调包装在贮藏前期能抑制嗜常温菌总数的增加,但在贮藏后期反而促进其生长。与Jacxsens等^[19]用高氧对蘑菇、芹菜、茼蒿3种蔬菜进行微生物分析后的结果一致。

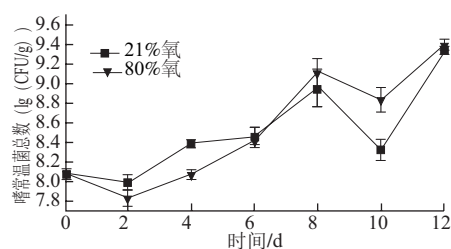


图2 高氧气调包装对双孢蘑菇嗜常温菌总数的影响

Fig. 2 Effect of high-oxygen modified atmosphere packaging on the mesophilic bacterial count of *Agaricus bisporus*

2.3 高氧气调包装对霉菌和酵母菌的影响

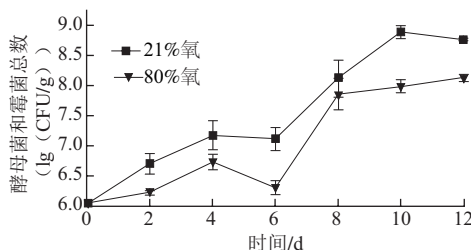


图3 高氧气调包装对双孢蘑菇霉菌和酵母菌总数的影响

Fig. 3 Effect of high-oxygen modified atmosphere packaging on total yeast and mould counts of *Agaricus bisporus*

由图3可知,在整个贮藏期,各处理组总体呈上升趋势,两组差异显著($P<0.05$),80%氧处理组能明显抑制霉菌和酵母菌总数(图3)。可能是因为高氧胁迫产生的活性氧超出了细胞本身的抗氧化能力,从而影响了酵母菌的电子传递链系统^[20]。Jacxsens等^[19]采用95%的氧气调包装也可显著抑制鲜切根芹菜和菊苣在4℃贮藏时酵母菌的生长。van der Steen等^[21]的研究也表明高氧气调包装可明显减少草莓和树莓果实中酵母菌和霉菌的生长。

2.4 高氧气调包装对假单胞菌属的影响

由于双孢蘑菇在生长中受到肥料的污染,其主要的腐败菌是革兰氏阴性菌假单胞菌属^[22]。由图4可知,在整个贮藏期,各处理组假单胞菌属总数逐渐上升。其中,与21%氧处理组相比,80%氧处理组维持了较低的假单胞菌属总数,并在第4、6、10天差异显著($P<0.05$)。

同时,由图2~4可知,嗜常温菌总数由初始的8.1 (lg (CFU/g)) 增加到9.4 (lg (CFU/g));霉菌和酵母菌则是由6.0 (lg (CFU/g)) 增加到8.65 (lg (CFU/g));而假单胞菌属初始总数为6.0 (lg (CFU/g)),最后却为10 (lg (CFU/g)) 左右,假单胞菌不仅增长速度快,而且到贮藏后期是主要的微生物菌群。这也是贮藏后期双孢蘑菇出现黑色暗点、加速腐烂的主要原因^[23]。Day^[24]对鲜切马铃薯进行70%氧处理后也发现高氧气调包装可以抑制假单胞菌属的生长。

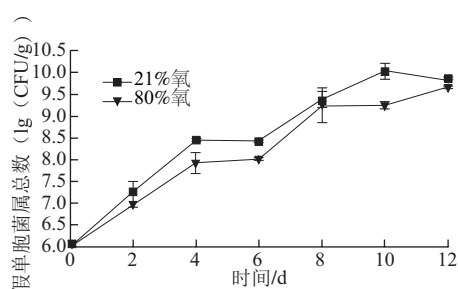


图4 高氧气调包装对双孢蘑菇假单胞菌总数的影响

Fig.4 Effect of high-oxygen modified atmosphere packaging on the total *Pseudomonas* count of *Agaricus bisporus*

2.5 高氧气调包装对总糖含量的影响

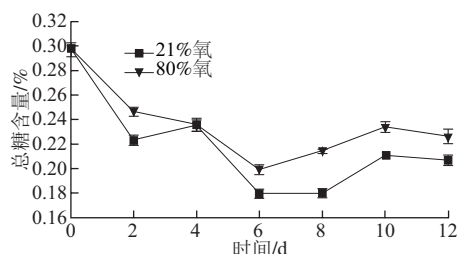


图5 高氧气调包装对双孢蘑菇总糖含量的影响

Fig.5 Effect of high-oxygen modified atmosphere packaging on the total sugar content of *Agaricus bisporus*

总糖是双孢蘑菇的一项重要营养指标,也是采后果蔬衰老的重要指示剂^[25]。在贮藏期间,总糖含量出现不同程度的下降(图5)。在前6 d,总糖含量下降较快,可能是因为糖是呼吸作用的主要底物,实验室前期研究表明^[7],21%氧处理组呼吸作用一直维持在较高水平,而80%氧处理组呼吸作用也快速增长,并在第6天达到呼吸高峰,在第6天后,总糖含量略微上升。总体而言,高氧抑制了总糖含量的下降,在贮藏后期与对照组差异显著($P<0.05$)。王成涛等^[26]使用高氧对绿芦笋进行处理后,结果表明高氧能明显抑制总糖含量的下降。

2.6 高氧气调包装对可溶性蛋白含量的影响

由图6可知,各处理组可溶性蛋白含量在贮藏期间总体呈下降趋势。21%氧处理组可溶性蛋白含量高于80%氧处理组,差异不显著($P<0.05$),且在第12天,两处理

组的可溶性蛋白含量大致相同。理论上来说,高氧调包装能抑制微生物的生长(图3、4),微生物总数的减少会抑制蛋白质含量的降低。而在本结论中,高氧调对可溶性蛋白含量没有明显影响,所以高氧调对双孢蘑菇中可溶性蛋白含量的影响有待进一步研究。而刘站丽等^[27]对双孢蘑菇进行连续高氧处理后,其可溶性蛋白质质量分数增加,与本实验结果不同。

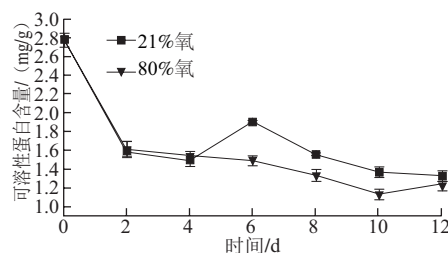


图6 高氧气调包装对双孢蘑菇可溶性蛋白含量的影响

Fig.6 Effect of high-oxygen modified atmosphere packaging on the soluble protein of *Agaricus bisporus*

2.7 高氧气调包装对抗坏血酸含量的影响

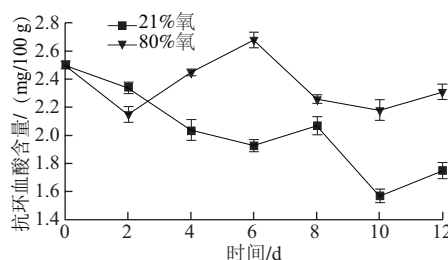


图7 高氧气调包装对双孢蘑菇抗坏血酸含量的影响

Fig.7 Effect of high-oxygen modified atmosphere packaging on the ascorbic acid content of *Agaricus bisporus*

抗坏血酸是反映采后果蔬品质的关键指标^[28],同时也是一种强抗氧化剂,可以还原组织体内活性氧,降低组织损伤。由图7可知,在贮藏期间,随着贮藏时间的延长,21%氧处理组整体呈下降趋势。而80%氧处理组在前2 d抗坏血酸含量下降相对较快,但在第2~6天抗坏血酸含量迅速上升,并且在第6天时达到最大值,比21%氧处理组高出0.75 mg/g,整体与21%氧处理组相比差异显著($P<0.05$)。维生素是一种对微生物正常代谢不可缺少的且不能简单的用碳源或氮源自行合成的有机物,微生物的生长会影响维生素的含量。由此可知,80%氧处理组明显抑制了假单胞菌及霉菌和酵母菌的总数,从而抑制了抗坏血酸含量的降低,更好地维持果蔬品质。陈学红等^[29-30]在草莓和茼蒿的研究中也得到相同的结论。

2.8 高氧气调包装对感官评价的影响

由图8可知,双孢蘑菇的感官评价得分在贮藏期间均呈下降趋势。在前4 d两组并没有显著性差异,但在4 d以后,21%氧处理组双孢蘑菇感官品质下降迅速,而80%

氧处理组双孢蘑菇感官品质下降缓慢,表现出显著性差异。在贮藏第6天时,21%氧处理组双孢蘑菇已经组织软化、表面发黏并出现明显异味,失去其商品价值,而80%氧处理组在第10天时仍具有一定的商品价值。

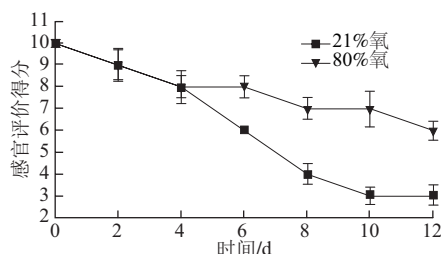


图8 高氧气调包装对双孢蘑菇感官评价的影响

Fig.8 Effect of high-oxygen modified atmosphere packaging on the sensory evaluation of *Agaricus bisporus*

3 结论

实验对双孢蘑菇进行80%高氧处理,研究高氧气调包装对双孢蘑菇微生物总数及其品质的影响。结果表明,在贮藏过程中,高氧气调包装能明显抑制双孢蘑菇中霉菌及酵母菌的生长,对假单胞菌属总数也有明显的抑制作用($P<0.05$),同时,高氧气调包装在贮藏前期也能抑制嗜常温菌总数的增加。高氧气调包装也能明显抑制双孢蘑菇抗坏血酸含量的下降($P<0.05$)。在贮藏后期,与对照组相比能维持较高的总糖含量($P<0.05$)和较好的感官品质,但高氧气调包装对双孢蘑菇中可溶性蛋白含量无明显影响。由以上可知,高氧气调包装能较好地抑制双孢蘑菇中微生物的生长,抑制腐败,同时对双孢蘑菇保鲜过程中品质的保持起到一定的作用。

参考文献:

- [1] GUILLAMON E, GARCIA-LAFUENTE A, LOZANO M, et al. Edible mushrooms: role in the prevention of cardiovascular diseases[J]. Fitoterapia, 2010, 81(7): 715-723. DOI:10.1016/j.fitote.2010.06.005.
- [2] SINGH P, WANI A A, SAENGERLAUB S, et al. Understanding critical factors for the quality and shelf-life of MAP fresh meat: a review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2011, 51(2): 146-177. DOI:10.1080/10408390903531384.
- [3] MASSON Y, AINSWORTH P, FULLER D, et al. Growth of *Pseudomonas fluorescens* and *Candida sake* in homogenized mushrooms under modified atmosphere[J]. Journal of Food Engineering, 2002, 54(2): 125-131. DOI:10.1016/S0260-8774(01)00193-5.
- [4] 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.
- [5] AMANATIDOU A, SLUMP R A, ORRIS L G M G, et al. High oxygen and high carbon dioxide modified atmospheres for shelf-life extension of minimally processed carrots[J]. Food Chemistry and Toxicology, 2000, 65(1): 61-66. DOI:10.1111/j.1365-2621.2000.tb15956.x.
- [6] ALLENDE A, LUO Y G, MCEVOY J L, et al. Microbial and quality changes in minimally processed baby spinach leaves stored under super atmospheric oxygen and modified atmosphere conditions[J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 33(1): 51-59. DOI:10.1016/j.postharvbio.2004.03.003.
- [7] 赵春霞, 李大虎, 程玉娇, 等. 高氧气调包装对双孢蘑菇品质的影响[J]. 包装工程, 2014, 35(15): 5-10.
- [8] GAO M S, FENG L F, JIANG T J. Browning inhibition and quality preservation of button mushroom (*Agaricus bisporus*) by essential oils fumigation treatment[J]. Food Chemistry, 2014, 149: 107-113. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.10.073.
- [9] BRADFORD M M. Rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing principle of protein-dye binding[J]. Analytical Biochemistry, 1976, 72(1/2): 248-254. DOI:10.1016/0003-2697(76)90527-3.
- [10] 黄伟坤. 食品检验与分析[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1995: 88-89.
- [11] 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.
- [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. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2005.06.060.
- [13] 刘星, 付海蛟, 冯丽萍, 等. 换气周期对减压罐包装生香菇品质的影响[J]. 包装工程, 2014, 35(1): 28-33.
- [14] 徐文达, 程裕东, 岑伟平, 等. 食品软包装材料与技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003: 191-197.
- [15] LI Y, ISHIKAWA Y, SATAKE T, et al. Effect of active modified atmosphere packaging with different initial gas compositions on nutritional compounds of shiitake mushrooms (*Lentinus edodes*)[J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 92: 107-113. DOI:10.1016/j.postharvbio.2013.12.017.
- [16] AMANATIDOU A, SMID E J, GORRIS L G M. Effect of elevated oxygen and carbon dioxide on the surface growth of vegetable-associated micro-organisms[J]. Journal of Applied Microbiology, 1999, 86(3): 429-438. DOI:10.1046/j.1365-2672.1999.00682.x.
- [17] AGUILERA J, PETIT T, WINDE J H, et al. Physiological and genome-wide transcriptional responses of *Saccharomyces cerevisiae* to high carbon dioxide concentrations[J]. FEMS Yeast Research, 2005, 5(6/7): 579-593. DOI:10.1016/j.femsyr.2004.09.009.
- [18] GARCIA-GONZALEZ L, GEERAERD A H, SPILIMBERGO S, et al. High pressure carbon dioxide inactivation of microorganisms in foods: the past, the present and the future[J]. International Journal of Food Microbiology, 2007, 117(1): 1-28. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2007.02.018.
- [19] JACKSENS L, DEVLIEGHERE F, van der STEEN 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(2/3): 197-210. DOI:10.1016/S0168-1605(01)00616-X.
- [20] MORADASFERREIRA P, COSTA V, PIPER P, et al. The molecular defences against reactive oxygen species in yeast[J]. Molecular Microbiology, 1996, 19(4): 651-658. DOI:10.1046/j.1365-2958.1996.403940.x.
- [21] van der STEEN C, JACKSENS L, DEVLIEGHERE F, et al. Combining high oxygen atmospheres with low oxygen modified atmosphere packaging to improve the keeping quality of strawberries and raspberries[J]. Postharvest Biology and Technology, 2002, 26(1): 49-58. DOI:10.1016/S0925-5214(02)00005-4.
- [22] JIANG T J, FENG L F, WANG Y B. Effect of alginate/nano-Ag coating on microbial and physicochemical characteristics of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) during cold storage[J]. Food Chemistry, 2013, 141(2): 954-960. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.03.093.
- [23] JIANG T, FENG L, LI J. 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: 780-786. DOI:10.1016/j.foodchem.2011.08.087.
- [24] DAY B P F. Fresh prepared produce: GMP for high oxygen map and non-sulphite dipping[M]. Campden and Chorleywood Food Research Association Group, 2001: 76.
- [25] DUAN Z F, XING Z T, SHAO Y, et al. Effect of electron beam irradiation on postharvest quality and selected enzyme activities of the white button mushroom, *Agaricus bisporus*[J]. Journal of Applied Microbiology, 2010, 58(17): 9617-9621. DOI:10.1021/jf101852e.
- [26] 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. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2008.09.030.
- [27] 刘战丽, 王相友, 朱继英. 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): 362-365. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2010.05.062.
- [28] LI X H, JIANG Y Q, LI W L, et al. Effects of ascorbic acid and high oxygen modified atmosphere packaging during storage of fresh-cut eggplants[J]. Food Science and Technology International, 2014, 20(2): 99-108. DOI:10.1177/1082013212472351.
- [29] 陈学红, 郑永华, 杨震峰. 高氧处理对草莓果实抗氧化活性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2006, 32(4): 5-8. DOI:10.3321/j.issn:0253-990X.2006.04.002.
- [30] 陈学红, 秦卫东, 马利华. 高氧气调包装对鲜切莴苣抗氧化活性的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(8): 313-317.