

高氧气调贮藏下双孢蘑菇品质和抗性物质变化

刘战丽^{1,2}, 王相友^{1*}, 朱继英¹, 王娟¹

(1. 山东理工大学农业工程与食品科学学院, 淄博 255049; 2. 中国农业大学工学院, 北京 100083)

摘要: 为探索高氧处理对双孢蘑菇保鲜的效果, 该试验研究了体积分数为 40%、60%、80% 和 100% O₂ 及空气气流连续处理对双孢蘑菇在 2℃、12 d 贮藏期间主要品质指标和抗性物质变化的影响。结果表明, 高氧处理对可溶性固形物含量无显著影响。60%~100%高氧处理可显著抑制双孢蘑菇硬度的下降、菇肉和菇皮的褐变以及细胞膜透性的增加, 60%~100%高氧处理的双孢蘑菇脯氨酸含量低于对照处理, 差异显著 ($p<0.05$); 可溶性蛋白质含量高于对照, 差异不显著。总体来看, 高氧处理有效保持了双孢蘑菇的品质。

关键词: 食用菌, 贮藏, 品质控制, 抗性物质

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.05.062

中图分类号: S646.09, S379.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2010)-05-0362-05

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 Zhanli, Wang Xiangyou, Zhu Jiying, et al. Effects of high oxygen atmosphere on quality and resistant substance of mushroom[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(5): 362—366. (in Chinese with English abstract)

0 引言

双孢蘑菇不仅味道鲜美, 而且营养价值极高。双孢蘑菇是世界性栽培的产量最多的食用菌之一。但是, 双孢蘑菇容易开伞、失水、褐变, 甚至腐烂, 常温下货架期只有 2~3 d^[1]。目前, 可以采用褐变抑制剂护色^[2], 气调包装保鲜^[3]以及低氧气调保鲜^[4]等手段有效保持双孢蘑菇的品质, 延长其货架期。高氧 (O₂ 体积分数 21%~100%) 贮藏是近几年发展起来的果蔬采后处理技术之一。高氧气调作为一种新的保鲜手段受到越来越多的重视。

相对于正常大气 (O₂ 体积分数 21%) 而言, 双孢蘑菇处于高氧环境中会受到逆境胁迫。植物受到各种逆境如干旱、盐、冷或热激等预处理能提高抗性^[5]。目前高氧气调贮藏是否可以提高双孢蘑菇的抗性, 还未见报道。本文研究不同浓度高氧气调贮藏下双孢蘑菇品质和抗性物质可溶性蛋白质和脯氨酸的变化, 以探索高氧对双孢蘑菇保鲜的作用, 为高氧气调保鲜在双孢蘑菇中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料和处理

双孢蘑菇采自山东省淄博市淄河镇, 采后 1~2 h 内

运回实验室, 在 2℃冷库中低温预处理 10~12 h。将双孢蘑菇放入干燥器中, 每个干燥器中放入 3 kg 双孢蘑菇。通过配气仪分别通入 O₂ 体积分数为 21% (对照)、40%、60%、80% 和 100%, 氮气作为补充的气体, 气体流速为 100 mL/min, 连续处理 12 d。用 O₂/CO₂ 分析仪 (丹麦) 检测气体浓度。每 3 d 随机抽样测定。

1.2 分析测定

1.2.1 硬度测定

用 GY-1 型果实硬度计测定。将双孢菇切去表皮, 然后将硬度计垂直于被测菇肉表面, 在均匀力的作用下将压头压入果肉内 5 mm, 以此时指针的读数作为双孢菇的硬度。每个处理随机挑选 4 个蘑菇, 每个蘑菇测 5 个位置硬度值。共计 20 个硬度值。

1.2.2 细胞膜透性测定

将双孢蘑菇切成 2 mm 厚的圆片, 称取 1 g, 放入 25 mL 重蒸馏水中, 25℃恒温浸泡 1 h, 搅拌均匀后用 DDS-11A 电导率仪测定浸提液的电导率, 然后加热至沸腾 30 min, 自然冷却至 25℃加重蒸馏水至 25 mL, 再测定其全渗电导率。以双孢蘑菇初始电导率与全渗电导率比值作为细胞膜透性变化的指标。重复 3 次测定。

1.2.3 颜色测定

采用 SC-80C 全自动色差计测定。用标准陶瓷板 (X=81.75, Y=86.40, Z=90.89) 作为工作标准, X、Y、Z 是仪器直接测得的三刺激值。测定双孢蘑菇子实体表面、内部菇肉组织切面的白度值, 用 L 值表示。 $L=0$ 为黑色, $L=100$ 为白色。 L 值越大, 表示颜色越白, 褐变越轻。重复 3 次测定。

1.2.4 可溶性固形物、游离脯氨酸和可溶性蛋白质测定

5 g 双孢蘑菇研磨, 用 3 层纱布过滤, 用手持折光仪 (泰光 405225, 中国) 测定可溶性固形物含量。用酸性

收稿日期: 2009-09-21 修订日期: 2010-03-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目“双孢蘑菇采后褐变进程的气调调控机制” (30871757)

作者简介: 刘战丽, 女, 山东泰安人, 博士生, 主要从事农产品贮藏及加工研究。淄博 山东理工大学农业工程与食品科学学院, 255049。

Email: zhl_liu@163.com

*通信作者: 王相友, 男, 山东高密人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事农产品贮藏及加工研究。淄博 山东理工大学农业工程与食品科学学院, 255049。Email: wxy@sdu.edu.cn

茆三酮比色法^[6]测定脯氨酸含量,以标准脯氨酸绘制标准曲线。用考马斯亮蓝 G-250 法^[6]测定可溶性蛋白质含量,以牛血清白蛋白作标准曲线。每个处理测定 3 个数值,取平均值。

1.3 数据统计分析

Excel2003 统计分析所有数据,计算标准误差并制图。用 SPSS12.0 软件对数据进行统计分析,采用 Duncan 法进行数据差异显著性多重比较。

2 结果与分析

2.1 硬度和可溶性固形物

硬度是双孢蘑菇的主要品质指标之一,与其成熟衰老密切相关。双孢蘑菇在冷藏期间硬度呈下降趋势。由图 1a 可见,对照和 O₂ 体积分数 40% 处理的双孢蘑菇硬度下降迅速,贮藏 6 d 后,硬度值由最初的 9.2×10^5 Pa 下降为 7.8×10^5 Pa,而此时 O₂ 体积分数 80%~100% 高氧处理的双孢蘑菇硬度值在 8.5×10^5 Pa 以上。而且高氧处理的双孢蘑菇硬度下降缓慢。可见, O₂ 体积分数 80%、100% 高氧处理可显著 ($p < 0.05$) 抑制双孢蘑菇硬度的下

降,而 O₂ 体积分数 40% 处理无显著影响。这与不同浓度高氧气调对草莓硬度变化的影响一致^[7]。在贮藏前 6 d,与对照比较, O₂ 体积分数 60% 处理对硬度无显著影响,6 d 后差异显著 ($p < 0.05$)。魏文毅^[8]在 2℃ 用高氧气调贮藏‘八月脆’桃,研究表明体积分数 90% 高氧处理 1 周能够保持较高的硬度,出库后能正常软化。李鹏霞等人^[9]研究认为, O₂ 体积分数 70% 处理 7 d 和 15 d,或 O₂ 体积分数 100% 处理 15 d 有利于冬枣果实货架期硬度的保持。

可溶性固形物含量的变化不但影响产品的风味,同时也反映产品的衰老进程。双孢蘑菇在贮藏前 9 d 可溶性固形物含量逐渐降低(图 1b), O₂ 体积分数 60%~100% 处理双孢蘑菇的可溶性固形物含量略高于对照和 O₂ 体积分数 40% 处理,处理间差异不显著;这一结果与前人在枇杷^[10]、草莓^[7]等高氧处理的研究结果一致。由于糖是呼吸代谢的主要底物,糖的分解导致可溶性固形物含量发生变化。在贮藏末期,可溶性固形物略有回升,这可能是由于双孢蘑菇贮藏过程中发生失水,可溶性固形物含量相对升高。

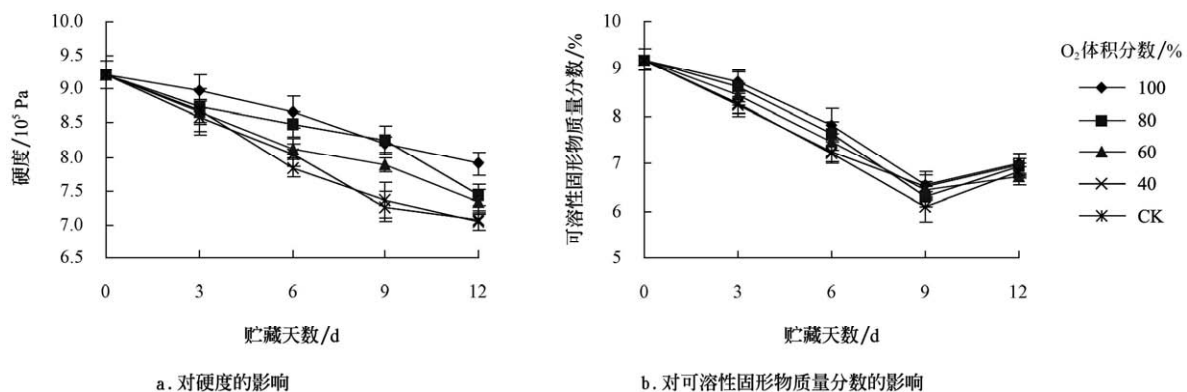


图 1 2℃ 下高氧气调贮藏对双孢蘑菇硬度和可溶性固形物的影响

Fig.1 Effects of high oxygen atmosphere on firmness and total soluble solids of mushroom during storage at 2℃

2.2 细胞膜透性

细胞膜在植物组织的新陈代谢过程中具有重要作用。细胞膜透性的高低可以代表细胞膜的完整程度和稳定性,一定程度上反映了细胞受伤害的情况。如图 2 所示,贮藏前期,细胞膜透性缓慢上升,冷藏有效抑制了细胞膜透性增加。在整个贮藏过程中,高氧处理和对照处理的细胞膜透性都逐渐升高。O₂ 体积分数 60%~100% 高氧处理的双孢蘑菇细胞膜透性明显低于对照处理 ($p < 0.05$),这说明高氧处理有效保持了细胞膜的稳定性。O₂ 体积分数 40% 处理与对照处理差异不显著。王贵禧等人^[11]的研究结果表明,采后高 O₂ 处理对抑制冬枣货架期相对电导率的升高有一定作用, O₂ 体积分数 100% 处理效果好于 O₂ 体积分数 70% 处理。

2.3 颜色

褐变是双孢蘑菇贮藏过程中极易发生的主要问题之一。由图 3 可见,贮藏过程中,双孢蘑菇菇皮和菇肉发生褐变,白度值逐渐下降。菇皮白度值在贮藏过程中下降较快,菇肉白度值在前 9 d 下降较慢,之后迅速下降。

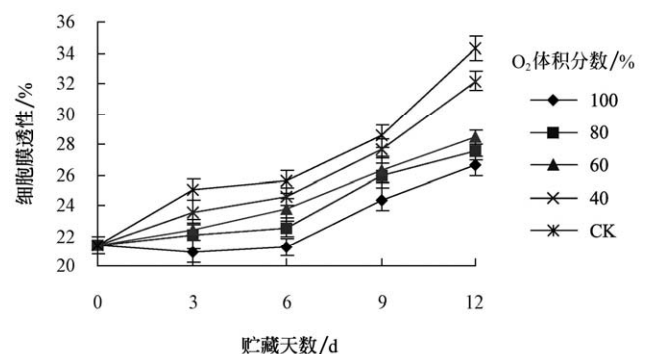


图 2 2℃ 下高氧气调贮藏对双孢蘑菇细胞膜透性的影响

Fig. 2 Effects of high oxygen atmosphere on cell membrane permeability during storage at 2℃

从图 3a 可以看出, O₂ 体积分数 60%~100% 高氧处理有效缓解了白度值的下降, O₂ 体积分数 100% 高氧处理则更为有效,与对照处理的白度值差异极显著 ($p < 0.01$)。从图 3b 来看,前 6 d 不同处理间白度值差异不显

著, 之后 O_2 体积分数 100% 处理有效的抑制了白度值的下降。贮藏 12 d 后, O_2 体积分数 60%~100% 高氧处理的双孢蘑菇白度值高于对照和 O_2 体积分数 40% 处理, 差异显著 ($p < 0.05$)。Jacxsens 等^[12]发现高氧可以有效减少或抑制蘑菇、根芹和菊苣的褐变。高氧气调包装的双孢蘑菇片可以贮藏 6 d, 而低氧包装的蘑菇片 3 d 就失去商业价值。Day^[13]用 O_2 体积分数 80% 和 N_2 体积分数 20% 的气

体包装蘑菇片, 货架期可以达到 12 d, 而低氧包装货架期只有 2 d。邓云等^[14]认为高氧较好地保持了葡萄组织细胞膜的完整性, 减少了多酚氧化酶和酚类底物接触的机会, 降低了组织褐变。结合图 2 可以看出, 高氧处理抑制了双孢蘑菇细胞膜透性的增加, 从而有效降低了组织褐变。

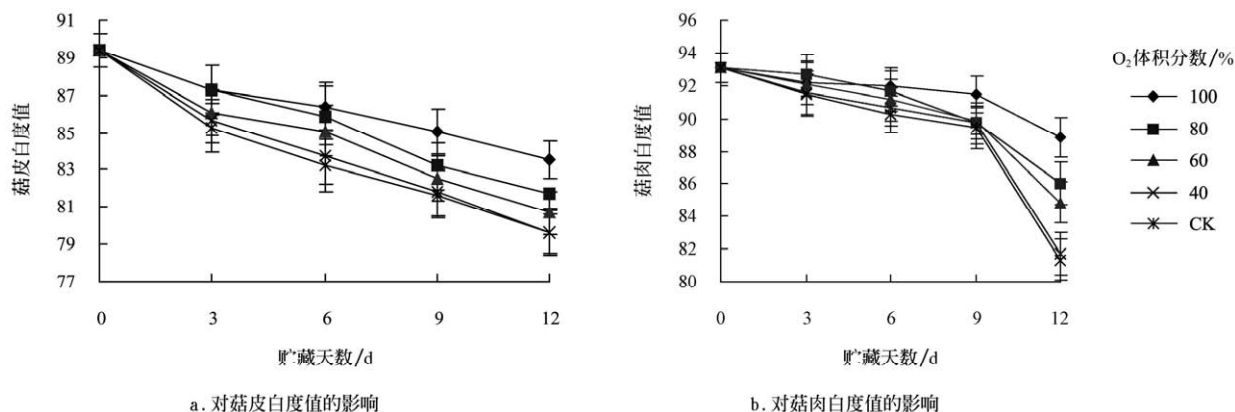


图 3 2℃下高氧气调贮藏对双孢蘑菇白度值的影响

Fig.3 Effects of high oxygen atmosphere on whiteness of mushroom during storage at 2°C

2.4 游离脯氨酸

游离脯氨酸存在于原生质中, 它是由谷氨酸通过吡咯唞-5-羧酸形成的, 是植物在逆境环境中参与渗透调节的一种重要有机物质。如图 4 所示, 在贮藏过程中, 双孢蘑菇中游离脯氨酸质量分数逐渐升高。贮藏前期, 游离脯氨酸质量分数升高缓慢, 不同处理间差异不显著。贮藏 3 d 后, 对照和 O_2 体积分数 40% 处理的脯氨酸质量分数高于 O_2 体积分数 60%~100% 高氧处理。贮藏 9 d 后, 对照处理脯氨酸的质量分数由最初的 1.31 mg/g 增加到 3.54 mg/g。这可能是由于高氧处理有效保持了细胞膜的完整性 (如图 2 所示), 而对照处理细胞膜透性增加, 脯氨酸积累用于缓解细胞膜的损伤。脯氨酸在抗逆中的主要作用有两点: 一是作为渗透调节物质保持原生质与环境的渗透平衡防止水分散失; 二是与蛋白质相互作用增加蛋白质的可溶性和减少可溶性蛋白的沉淀, 增强蛋白质和蛋白质间的水合作用, 从而保持细胞膜结构的完整性^[15]。脯氨酸在逆境下的积累可能有适应性的意义, 又可能是细胞结构和功能受损的表现^[16]。

2.5 可溶性蛋白质

双孢蘑菇中的蛋白质主要为各种酶的成分, 其变化能表明组织的代谢水平。如图 5 所示, 贮藏过程中, 可溶性蛋白质质量分数不断提高, 在贮藏前 6 d, O_2 体积分数 80%~100% 高氧处理的可溶性蛋白质质量分数显著高于其他处理 ($p < 0.05$), O_2 体积分数 100% 和对照处理的可溶性蛋白质质量分数由最初的 7.33 mg/g 分别升高到 8.87 和 8.35 mg/g。之后, 不同处理间差异不显著。张红艳^[17]报道脐橙在贮藏过程中可溶性蛋白质质量分数增

加, 可能是保护性酶类大量产生所致。

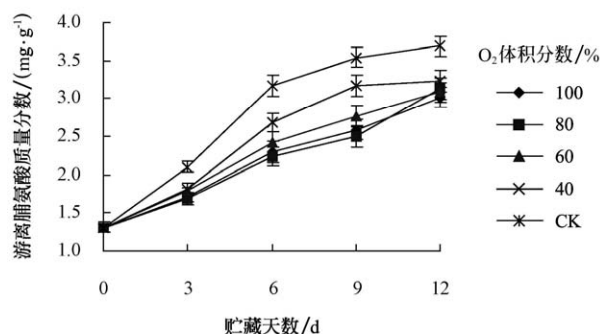


图 4 2℃下高氧气调贮藏对双孢蘑菇游离脯氨酸质量分数的影响

Fig.4 Effects of high oxygen atmosphere on mass fraction of free proline during storage at 2°C

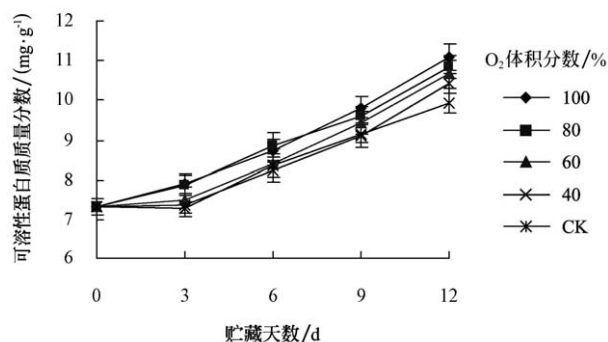


图 5 2℃下高氧气调贮藏对双孢蘑菇可溶性蛋白质质量分数的影响

Fig.5 Effects of high oxygen atmosphere on mass fraction of soluble protein during storage at 2°C

3 结 论

1) O_2 体积分数 60%~100%处理可显著抑制双孢蘑菇硬度的下降、菇肉和菇皮的褐变以及细胞膜透性的增加,因而高氧处理在双孢蘑菇贮藏保鲜中具有潜在的应用价值。

2) O_2 体积分数 60%~100%处理对双孢蘑菇的可溶性固形物含量无显著影响。高氧处理未促进了双孢蘑菇组织中性物质脯氨酸的积累,高氧处理的双孢蘑菇其可溶性蛋白质含量高于对照处理。

3) 40% O_2 处理对双孢蘑菇贮藏品质和抗性物质无显著影响。

[参 考 文 献]

- [1] 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: 272—277.
- [2] 王相友, 石启龙, 王娟, 等. 双孢蘑菇护色保鲜技术研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20 (6): 205—208.
Wang Xiangyou, Shi Qilong, Wang Juan, et al. Color protection and freshness-keeping technology of *Agaricus bisporus* during modified atmosphere storage[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20 (6): 205—208. (in Chinese with English abstract)
- [3] 石启龙, 王相友, 赵亚, 等. 双孢蘑菇 MA 保鲜技术研究[J]. 农业机械学报, 2004, 35 (6): 144—147.
Shi Qilong, Wang Xiangyou, Zhao Ya, et al. Studies on MA storage of *agaricus bisporus*[J]. Transactions of the CSAM, 2004, 35(6): 144—147. (in Chinese with English abstract)
- [4] 朱继英. 双孢蘑菇采后褐变机理及气调保鲜技术研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2006.
Zhu Jiying. Mechanism of postharvest browning and techniques of controlled atmosphere storage for *Agaricus bisporus*[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2006. (in Chinese with English abstract)
- [5] 曾韶西, 王以柔, 李美如. 不同胁迫预处理提高水稻幼苗抗寒性期间膜保护系统的变化比较[J]. 植物学报, 1997, 39(4): 308—314.
Zeng Shaoxi, Wang Yirou, Li Meiru. Comparison of the changes of membrane protective system in rice seedlings during enhancement of chilling resistance by different stress pretreatment[J]. Acta Botanica Sinica, 1997, 39(4): 308—314. (in Chinese with English abstract)
- [6] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [7] 陈学红, 郑永华, 杨震峰, 等. 高氧处理对草莓采后腐烂和品质的影响[J]. 农业工程学报, 2004, 20(5): 200—202.
Chen Xuehong, Zheng Yonghua, Yang Zhenfeng, et al. Effect of high oxygen treatments on fruit decay and quality of strawberries[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(5): 200—202. (in Chinese with English abstract)
- [8] 魏文毅. ‘八月脆’桃保鲜过程中相关生理变化研究[D]. 陕西: 西北农林科技大学, 2004.
- [9] Wei Wenyi. Studies of postharvest physiological changes of ‘Bayuecui’ peach[D]. Shanxi: Northwest Agriculture and Forestry University, 2004. (in Chinese with English abstract)
- [10] 李鹏霞, 王贵禧, 梁丽松, 等. 高氧处理对冬枣货架期呼吸强度及品质变化的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(7): 180—183.
Li Pengxia, Wang Guixi, Liang Lisong, et al. Effects of high oxygen treatments on respiration intensity and quality of ‘DongZao’ jujube during shelf-life[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(7): 180—183. (in Chinese with English abstract)
- [11] 郑永华, 苏新国, 李欠盛, 等. 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 Yonghua, Su Xinguo, Li Qiansheng, et al. The effect of high oxygen on respiratory rate, polyphenol oxidase activity in postharvest loquat fruits[J]. Plant Physiology Communications, 2000, 36(4): 318—320. (in Chinese with English abstract)
- [12] 王贵禧, 李鹏霞, 梁丽松, 等. 高氧处理对冬枣货架期间膜脂过氧化和保护酶活性的影响[J]. 园艺学报, 2006, 33(3): 609—612.
Wang Guixi, Li Pengxia, Liang Lisong, et al. Effect of postharvest high oxygen treatments on ‘DongZao’ jujube membrane lipids peroxidation and defensive enzyme activities during shelf-life[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2006, 33(3): 609—612. (in Chinese with English abstract)
- [13] Jaxsens 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: 197—210.
- [14] Day B P F. Fresh Prepared Produce: GMP for High Oxygen MAP and Non-sulphite Dipping[M]. Chipping Campden, Gloshister, UK: Campden and Chorleywood Food Research Association Group, 2001.
- [15] Deng Y, Wu Y, Li Y F, et al. Studies of postharvest berry abscission of ‘Kyoho’ table grapes during cold storage and high oxygen atmospheres[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 43: 95—101.
- [16] 潘瑞炽, 董愚得. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1997: 320.
- [17] 汤章城. 逆境条件下植物脯氨酸的累积及其可能的意义[J]. 植物生理学通讯, 1984, 20(1): 15—21.
Tang Zhangcheng. Accumulation of proline in stressed plants and its possible significance[J]. Plant Physiology Communications, 1984, 20(1): 15—21. (in Chinese with English abstract)
- [18] 张红艳, 鲍江峰, 彭抒昂. 脐橙果实贮藏过程中主要有机物质含量的变化[J]. 亚热带植物科学, 2003, 32 (4): 1—3.
Zhang Hongyan, Bao Jiangfeng, Peng Shu'ang. Changes of main organic material contents in navel orange fruits during storage[J]. Subtropical Plant Science, 2003, 32(4): 1—3. (in Chinese with English abstract)

Effects of high oxygen atmosphere on quality and resistant substance of mushroom

Liu Zhanli^{1,2}, Wang Xiangyou^{1*}, Zhu Jiying¹, Wang Juan¹

(1. School of Agriculture and Food Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China;

2. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Fresh mushrooms (*Agaricus bisporus*) were placed in jars linked by continuous flow (100 mL/min) of humidified air (control), 40%, 60%, 80% or 100% O₂ at 2°C for 12 days to investigate the effects of high oxygen atmosphere on quality and resistant substance. The results showed that the content of soluble solids was slightly affected by high oxygen concentration. The treatments with 60%-100% O₂ significantly inhibited the decrease of firmness, browning and increase of cell membrane permeability of mushroom. The content of free proline under 60%-100% O₂ was lower than that of control, and the difference was significant ($p < 0.05$). The content of soluble protein under 60%-100% O₂ was higher, and there was no significant difference. So high oxygen concentration is effective on improving the quality of mushroom.

Key words: fungi, storage, quality control, resistant substance