

低温气调贮藏下氧气含量对双孢蘑菇品质的影响*

王娟^{1,2} 王相友² 李霞²

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

【摘要】研究了在3℃低温和95%相对湿度的气调条件下,贮藏环境中O₂含量对双孢蘑菇采后贮藏品质的影响。结果表明,体积分数为5%的低氧含量能够有效地抑制双孢蘑菇的呼吸强度,并延迟呼吸高峰的出现;随着贮藏环境中O₂含量的降低,双孢蘑菇的失重减少、褐变程度降低、软化速度减缓;低氧含量能够使双孢蘑菇保持较高的可溶性固形物含量,延缓其成熟。

关键词: 双孢蘑菇 气调贮藏 氧含量 贮藏品质

中图分类号: S646.1⁺1; S609⁺.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2010)04-0110-04

Effects of Oxygen Concentration on Storage Quality of *Agaricus bisporus* under Low Temperature and Controlled Atmosphere Storage

Wang Juan^{1,2} Wang Xiangyou² Li Xia²

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. School of Agricultural and Food Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

Abstract

The effects of oxygen concentration on storage quality of *Agaricus bisporus* were studied at 3℃ and 95% relative humidity under controlled atmosphere storage. The results show that 5% oxygen concentration inhibits the respiration and postpones the arrival of respiratory climacteric of mushroom. Weight losing rate, browning degree and firmness of *Agaricus bisporus* all decreases with the reduction of oxygen concentration. The soluble solid of mushroom is maintained and the ripening is delayed with the low oxygen concentration.

Key words *Agaricus bisporus*, Controlled atmosphere storage, Oxygen concentration, Storage quality

引言

新鲜双孢蘑菇 (*Agaricus bisporus*) 色泽洁白, 营养丰富, 组织细嫩, 但其含水量高, 菌盖表面没有明显的保护结构, 采后后熟过程极其活跃, 影响其商品质量和货架寿命, 给生产和贮运造成很大损失和制约^[1-4]。

气调贮藏 (controlled atmosphere, 简称 CA) 是人为改变贮藏环境中气体成分的贮藏方法, 一般是降低环境中 O₂ 含量、提高 CO₂ 含量, 保持适于果蔬贮

藏的最佳气体成分。从而有效地降低所贮果蔬的呼吸速率, 以达到延缓后熟、延长保鲜期的目的^[5-6]。

不同贮藏保鲜方法对双孢蘑菇贮藏品质、呼吸作用、衰老以及其他生理生化代谢活动等方面的影响已有大量研究报道^[1,3,7-9]。但目前对双孢蘑菇低温气调贮藏过程中 O₂ 含量对其贮藏品质及生理特性的研究尚未见相关报道。已有研究表明, 双孢蘑菇较适宜的贮藏温度为 3℃^[2,7], 最适相对湿度为 93% ~ 100%^[10]。因此, 本文以双孢蘑菇为对象, 研究在温度 3℃ 和相对湿度 95% 贮藏环境中, 不同 O₂

收稿日期: 2009-06-16 修回日期: 2009-07-06

* 国家自然科学基金资助项目(30871757)和山东省自然科学基金资助项目(Y2006D33)

作者简介: 王娟, 博士生, 山东理工大学讲师, 主要从事农产品加工及贮藏研究, E-mail: wangjuan7912@163.com

通讯作者: 王相友, 教授, 博士生导师, 主要从事农产品加工及贮藏研究, E-mail: wxy@sdu.edu.cn

含量对双孢蘑菇贮藏品质及生理特性的影响。

1 材料与方法

1.1 试验材料

双孢蘑菇采自山东省临淄区边河镇南术北村。双孢蘑菇采后立即运至山东理工大学实验冷库,预冷 12~20 h 后,挑选菇体完整、颜色洁白、菇盖未开伞、无病虫害、无机械伤、子实体直径 25~35 mm 的双孢蘑菇作为试验材料。

1.2 试验方法

将试验双孢蘑菇分别置于气调箱中,连续通入 O₂ 和 N₂ 各组分含量恒定的混合气体,于 3℃ 低温和 95% 相对湿度下贮藏,每隔一天取样,分别对各指标进行测定。

通入气调箱的混合气体中,O₂ 体积分数分别为 5%、10%、15%、20%、25%,均以 N₂ 作为平衡气体。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 呼吸强度

呼吸强度采用密闭系统法^[11]进行测定。将 4 个蘑菇置于 1000 mL 密封的广口瓶中,(在其橡胶盖子上打一直径约为 3 mm 的孔,并贴上防漏硅胶片,用于气体取样分析),1 h 后取样分析气体成份中 O₂、CO₂ 的体积分数,并用排水法测定双孢蘑菇的体积,根据容器中 O₂ 或 CO₂ 含量的变化来计算其呼吸强度

$$r_{O_2} = \frac{(y_{O_2}^{t_0} - y_{O_2}^t) V}{100 W (t - t_0)} \tag{1}$$

$$r_{CO_2} = \frac{(y_{CO_2}^t - y_{CO_2}^{t_0}) V}{100 W (t - t_0)} \tag{2}$$

$$V = V_1 - V_2 \tag{3}$$

式中 r_{O_2} 、 r_{CO_2} ——O₂、CO₂ 呼吸强度, mL/(kg·h)
V——自由体积, mL
V₁——密封广口瓶的容积, mL
V₂——双孢蘑菇体积, mL
W——双孢蘑菇质量, kg
 $y_{O_2}^{t_0}$ 、 $y_{CO_2}^{t_0}$ —— t_0 时刻 O₂ 和 CO₂ 体积分数, %
 $y_{O_2}^t$ 、 $y_{CO_2}^t$ —— t 时刻 O₂ 和 CO₂ 体积分数, %

气样分析采用 GC-9800TFP 型专用气相色谱仪(上海科创色谱仪器有限公司)。色谱柱为 GDX-104 和 5 A 分子筛联合柱。载气为氢气,柱温为 55℃,热导检测器温度为 110℃。

1.3.2 失重率

以双孢蘑菇贮藏前、后质量变化与贮藏前质量的比值表示其失重率,即

$$v = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%$$

式中 v ——失重率, %
 m_1 ——贮藏前双孢蘑菇质量, kg
 m_2 ——贮藏后双孢蘑菇质量, kg

1.3.3 白度

采用 SC-80C 型全自动色差计测定。用标准陶瓷板(X=81.75,Y=86.40,Z=90.89)作为工作标准,测量双孢蘑菇子实体表面、内部菇肉组织切面的白度值,用 L 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。

1.3.4 硬度

用 GY-1 型果实硬度计测定。将双孢蘑菇切去表皮,然后将硬度计垂直于被测表面,在均匀力的作用下将压头压入果肉内 5 mm,以此时硬度计的读数作为双孢蘑菇的硬度。

1.3.5 可溶性固形物含量

采用 GB/T 12295-90,用手持折光仪进行测定。

2 结果与分析

2.1 呼吸强度

图 1 为不同 O₂ 含量下,双孢蘑菇的呼吸强度(O₂ 消耗量、CO₂ 产生量)随贮藏时间的变化曲线。由图 1 可见,不同 O₂ 含量下双孢蘑菇的呼吸跃变高峰约出现在贮藏的第 5 天至第 7 天,而且随着 O₂ 含量的降低呼吸高峰的峰值也随之降低。同样由图可以看出,在体积分数为 5% 的 O₂ 含量下,双孢蘑菇的呼吸强度在贮藏的第 9 天达到呼吸高峰,而其他 O₂ 含量下在贮藏的第 7 天就达到了呼吸高峰,而且峰值也随着 O₂ 含量的降低而降低。

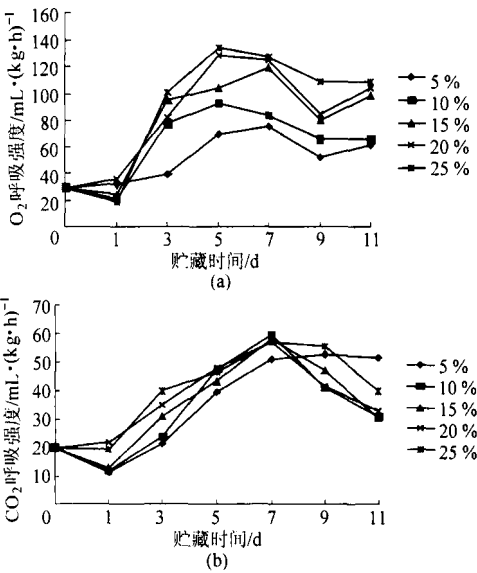


图 1 O₂ 体积分数对双孢蘑菇呼吸强度的影响
Fig. 1 Effects of oxygen concentration on *Agaricus bisporus* respiration intensity
(a) O₂ 消耗量 (b) CO₂ 产生量

研究表明,双孢蘑菇具有呼吸跃变特征,降低贮藏环境中的 O_2 含量能够有效地抑制其呼吸强度,并延迟呼吸高峰的出现。

2.2 失重率

水分含量是衡量双孢菇新鲜程度的重要指标之一。当失水率超过 5% 时双孢蘑菇子实体即萎蔫变软,新鲜程度下降。而子实体质量的降低除新陈代谢消耗外,主要是由于失水造成。

图 2 为不同 O_2 含量下,双孢蘑菇的失重率随贮藏时间的变化曲线。由图可以看出,随着贮藏时间的延长,各处理双孢蘑菇的失重率均呈上升趋势。在贮藏的第 11 天各处理的最高失重率仅为 2.1%,并且在贮藏的前 5 d 各处理间没有明显差异。这是由于双孢蘑菇的失重主要是由于失水造成的,而影响失水的主要因素是贮藏温度和湿度,由于本试验中各处理是在相同的低温($3^{\circ}C$)和高湿度(相对湿度 95%)条件下进行的,因此较好地保持了蘑菇子实体中的水分。由贮藏 7 d 后的失重率可以看出,在体积分数为 5% 和 10% 的 O_2 含量下贮藏的双孢蘑菇失重率低于其他 3 种 O_2 含量,这是由于低氧含量能够抑制双孢蘑菇的呼吸强度,降低其新陈代谢消耗,从而降低了其干物质的损耗。

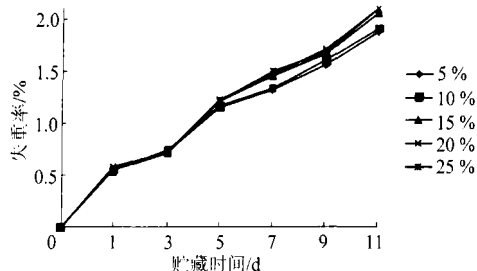


图 2 O_2 体积分数对双孢蘑菇失重率的影响曲线
Fig. 2 Effects of oxygen concentration on *Agaricus bisporus* weightlessness rate

2.3 白度

图 3 为不同 O_2 含量下,双孢蘑菇的菇肉及表皮白度值随贮藏时间的变化曲线。由图可知,不同 O_2 含量下贮藏时,白度值随贮藏时间均呈下降趋势,且 O_2 含量越高,褐变速度越快,褐变越严重。

Gormley 根据菇肉白度值将双孢蘑菇分为两类: $L \geq 86$ 为好品质, L 为 80 ~ 85 为可接受品质^[12]。由图 3a 可知,在双孢蘑菇贮藏前 7 d,其菇肉白度值变化趋势较缓慢,在第 7 天时,体积分数为 5%、10%、15% O_2 含量下贮藏的蘑菇白度值分别为 87.39、86.29、86.20,均为较好品质, O_2 体积分数为 20%、25% 处理的双孢蘑菇其白度值分别为 84.02、81.92,为可接受品质。到贮藏第 9 天时,各处理的白度值明显下降,除 5% 处理的白度值(80.55)为可接受品质,其他处理值均低于 80,为不可接受品质。

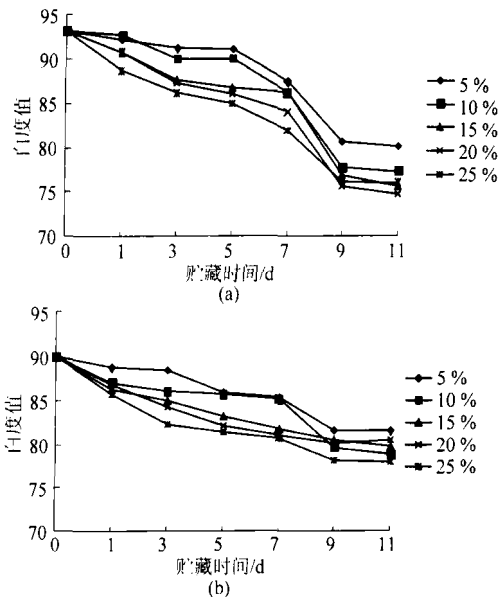


图 3 O_2 体积分数对双孢蘑菇白度的影响曲线
Fig. 3 Effects of oxygen concentration on *Agaricus bisporus* whiteness
(a) 菇肉 (b) 表皮

由图 3b 可以看出,在整个贮藏期间,双孢蘑菇表皮褐变程度变化趋势较菇肉慢。在贮藏前 7 d,各处理菇肉的白度值均高于相应处理的表皮白度值,而到贮藏第 9 天之后,则出现了相反的现象。这是由于双孢蘑菇不同部位的组织结构不同,各种酶活性不同。菇肉的褐变程度主要与蘑菇的生理代谢和相关酶活性有关,而表皮直接与外界贮藏环境相接触,因此其褐变程度还与贮藏环境中的温度、湿度和气体成分有关。

2.4 硬度

双孢蘑菇含水率非常高,表面又没有明显的保护组织,采后极易蒸腾失水,引起组织萎蔫、发糠、硬度下降;另外,贮藏过程中蛋白质、多糖等营养物质降解,也是引起硬度下降的因素。不同 O_2 含量下,双孢蘑菇子实体硬度随贮藏时间的变化如图 4 所示。

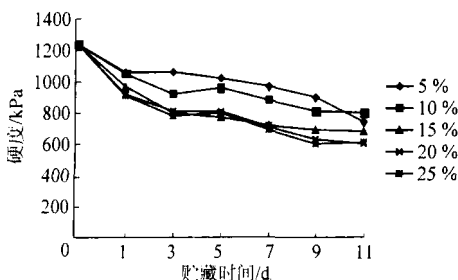


图 4 O_2 体积分数对双孢蘑菇硬度的影响曲线
Fig. 4 Effects of oxygen concentration on *Agaricus bisporus* firmness

由图可知,双孢菇子实体硬度随贮藏时间的延长而减弱,并且随 O_2 含量的降低而增强。双孢蘑菇硬度与细胞原果胶含量呈正相关^[10]。其硬度下降

是由于在贮藏过程中成熟度增加,细胞壁中原果胶减少,可溶性果胶增加,使细胞间失去了结合力,导致细胞分散,硬度下降。 O_2 体积分数为 5% 时其硬度最高,说明其成熟度相对最低,也就是说,较低的 O_2 含量能够延缓双孢蘑菇的成熟。

2.5 可溶性固形物含量

可溶性固形物含量变化是果蔬贮藏期间多种营养物质变化的综合表现,是衡量果实品质的一个重要指标。图 5 为不同 O_2 含量下,双孢蘑菇的可溶性固形物含量随贮藏时间的变化曲线。由图可知,在整个贮藏期间,可溶性固形物含量的变化呈下降趋势,而且 O_2 含量越高其下降趋势变化越明显,这与高氧环境下呼吸速率高,呼吸消耗快有关。

3 结束语

双孢蘑菇具有呼吸跃变特征,降低贮藏环境中的 O_2 含量能够有效地抑制其呼吸强度,并延迟呼吸

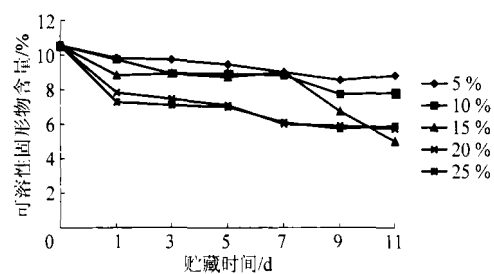


图 5 O_2 体积分数对双孢蘑菇可溶性固形物含量的影响
Fig. 5 Effects of oxygen concentration on *Agaricus bisporus* soluble solid

高峰的出现。由于低氧含量对双孢蘑菇呼吸强度的抑制,使其新陈代谢消耗有所降低,从而降低了干物质的损耗。低氧含量对双孢蘑菇表皮及菇肉的褐变都有明显的抑制作用,体积分数为 5% 和 10% O_2 环境下,双孢蘑菇在贮藏的第 7 天仍能保持较好的品质。随着 O_2 含量的降低,双孢蘑菇的软化速度减缓,可溶性固形物含量的损耗速度也有所减缓,从而延缓了双孢蘑菇的成熟。

参 考 文 献

1 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. Study on storage of mushroom under modified atmosphere[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(6): 144 ~ 147. (in Chinese)

2 朱继英,王相友,许英超. 贮藏温度对双孢蘑菇采后生理和品质的影响[J]. 农业机械学报, 2005, 36(11): 92 ~ 94.
Zhu Jiying, Wang Xiangyou, Xu Yingchao. Effects of storage temperature on the postharvest physiology and quality of *Agaricus bisporus*[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(11): 92 ~ 94. (in Chinese)

3 徐宏青,王宏,刘超. 双孢蘑菇辐照保鲜研究[J]. 安徽农业科学, 2002, 30(6): 848 ~ 850.
Xu Hongqing, Wang Hong, Liu Chao. Study on the fresh-keeping of *Agaricus bisporus*[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2002, 30(6): 848 ~ 850. (in Chinese)

4 徐鑫. 食用菌贮藏保鲜探析[J]. 食用菌, 2002(2): 43 ~ 44.
Xu Xin. A discussion and analysis of edible fungi storage technology[J]. Edible Fungi, 2002(2): 43 ~ 44. (in Chinese)

5 王世清,姜文利,李凤梅,等. 气调库与气调贮藏保鲜技术[J]. 粮油加工, 2008(10): 124 ~ 127.
Wang Shiqing, Jiang Wenli, Li Fengmei, et al. CA warehouse and CA storage technology[J]. Cereals and Oils Processing, 2008(10): 124 ~ 127. (in Chinese)

6 康明丽,刘坤. 桃果采后生理变化与保鲜技术研究[J]. 北方园艺, 2008(5): 233 ~ 235.
Kong Mingli, Liu Kun. Research on post-harvest physiology and fresh-keeping technology on peach [J]. Northern Horticulture, 2008(5): 233 ~ 235. (in Chinese)

7 石启龙,王相友,王娟,等. 不同贮藏温度对双孢蘑菇生理特性的影响[J]. 食品工业科技, 2005, 26(3): 165 ~ 169.
Shi Qilong, Wang Xiangyou, Wang Juan, et al. Effect of different temperature on physiological characteristics of *Agaricus bisporus*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2005, 26(3): 165 ~ 169. (in Chinese)

8 谢雯君,林启训,王则金,等. 双孢蘑菇涂膜保鲜技术研究[J]. 中国农学通报, 2005, 21(10): 72 ~ 76.
Xie Wenjun, Lin Qixun, Wang Zejin, et al. Study on fresh-keeping technology of *Agaricus bisporus* by coating[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(10): 72 ~ 76. (in Chinese)

9 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.
Shi Qilong, Wang Xiangyou, Wang Juan, et al. Effect of different package material on keeping quality of *Agaricus bisporus* [J]. Food Science, 2005, 26(6): 253 ~ 256. (in Chinese)

10 许英超,朱继英,王相友. 相对湿度对双孢菇采后生理的影响[J]. 保鲜与加工, 2006, 32(1): 13 ~ 15.
Xu Yingchao, Zhu Jiying, Wang Xiangyou. Effects of relative humidity on postharvest physiology of *Agaricus bisporus*[J]. Storage and Process, 2006, 32(1): 13 ~ 15. (in Chinese)

(下转第 123 页)

间的数据采集、动画显示、趋势曲线绘制、实时和历史数据处理和报表输出打印等功能。

(3) 整个监控系统主要以 PLC 程序控制和组态软件的二次开发来实现多种控制策略,需要元器件少,具有较大的可修改性和扩展性,方便进一步升级,降低了成本,提高了系统的性价比。

参 考 文 献

1 陈厚荣, 阚建全, 张建军, 等. 蒸气加热式花椒烘干房设计[J]. 西南农业大学学报:自然科学版, 2004, 26(2): 233 ~ 235.
Chen Hourong, Kan Jianquan, Zhang Jianjun, et al. The design of a steam-heated drying-house for Chinese prickly ash[J]. Journal of Southwest Agricultural University: Natural Science, 2004, 26(2): 233 ~ 235. (in Chinese)

2 韩清华, 李树君, 张云川, 等. 食用菌工厂化栽培环境的远程监测系统[J]. 农业机械学报, 2008, 39(8): 123 ~ 127.
Han Qinghua, Li Shujun, Zhang Yunchuan, et al. Remote monitoring system of edible fungus industrial cultivation environment[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(8): 123 ~ 127. (in Chinese)

3 卢剑, 陈立新. 基于 PLC 与 PC 机监控管理软件的液位测控[J]. 微计算机信息测控自动化, 2006, 22(28): 121 ~ 123.
Lu Jian, Chen Lixin. Measurement & control of liquid level basing on PLC and PC's monitor and control management software [J]. Control & Automation, 2006, 22(28): 121 ~ 123. (in Chinese)

4 朱奕丹, 吴凯波. 主从式 S7-200 PPI 通信与 MCGS 监控组态设计[J]. 自动化技术与应用, 2006, 25(5): 21 ~ 23.
Zhu Yidan, Wu Kaibo. S7-200 PPI host-slave communication[J]. Techniques of Automation & Applications, 2006, 25(5): 21 ~ 23. (in Chinese)

5 严盈富. 基于 PLC 和组态软件的包衣系统研究[J]. 微计算机信息测控自动化, 2006, 22(31): 67 ~ 69.
Yan Yingfu. Research of wrap-covering system based on PLC and configuration software[J]. Control & Automation, 2006, 22(31): 67 ~ 69. (in Chinese)

6 陈立平, 黄文倩, 孟志军, 等. 基于 CAN 总线的变量施肥控制器设计[J]. 农业机械学报, 2008, 39(8): 101 ~ 104.
Chen Liping, Huang Wenqian, Meng Zhijun, et al. Design of variable rate fertilization controller based on CAN bus[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(8): 101 ~ 104. (in Chinese)

7 何强, 栗震霄, 陈宝军. 数字化粮情测控系统性能测试[J]. 粮油加工, 2006(9): 69 ~ 71.
He Qiang, Li Zhenxiao, Chen Baojun. Digital detection system's performance test [J]. Cereals and Oils Processing, 2006(9): 69 ~ 71. (in Chinese)

8 胡国良, 龚国芳, 杨华勇. 盾构模拟试验平台监控系统[J]. 农业机械学报, 2007, 38(1): 164 ~ 167.
Hu Guoliang, Gong Guofang, Yang Huayong. Condition monitoring system of simulator test rig for shield tunnelling machine [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(1): 164 ~ 167. (in Chinese)



(上接第 113 页)

11 王相友, 李霞, 王娟, 等. 气调包装下果蔬呼吸速率研究进展[J]. 农业机械学报, 2008, 39(8): 94 ~ 99.
Wang Xiangyou, Li Xia, Wang Juan, et al. Advances of respiration rate in modified atmosphere packaging for fruits and vegetables[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(8): 94 ~ 99. (in Chinese)

12 Gormley R. Chill storage of mushrooms[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1975,26(4): 401 ~ 411.

13 李霞,王相友,王娟. 双孢蘑菇主动气调包装试验[J]. 农业机械学报,2009,40(9):131 ~ 137.
Li Xia, Wang Xiangyou, Wang Juan. Active modified atmosphere packaging experiment for *Agaricus bisporus* [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(9):131 ~ 137. (in Chinese)

14 王娟,王相友,李霞. 气调包装下双孢蘑菇呼吸特性[J]. 农业机械学报,2009,40(10):102 ~ 105,70.
Wang Juan,Wang Xiangyou,Li Xia. Respiration characteristics of *Agaricus bisporus* under modified atmosphere packaging [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(10):102 ~ 105,70. (in Chinese)