

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.01.025

可食性涂膜对双孢蘑菇生理和品质的影响^{*}

王相友 闫聪聪 刘战丽

(山东理工大学农业工程与食品科学学院, 淄博 255049)

【摘要】 研究了卡拉胶、羧甲基纤维素钠及其复配涂膜对(2±1)℃下贮藏的双孢菇生理和品质的影响。实验结果表明:羧甲基纤维素钠涂膜抑制双孢菇失重率的效果最好;卡拉胶涂膜在抑制呼吸速率、PPO活性、细胞膜通透性的上升和果实硬度、白度的下降方面效果最好,可以将双孢菇的货架期延长至12 d以上。

关键词: 双孢菇 保鲜 可食性涂膜

中图分类号: TS255.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)01-0141-05

Effect of Edible Coatings on Physiology and Quality of Mushrooms (*Agaricus bisporus*)

Wang Xiangyou Yan Congcong Liu Zhanli

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

Abstract

The effects of carrageenan, carboxymethyl cellulose solution and their complex film on the physiology and quality of mushrooms stored at (2±1)℃ were studied. The minimum loss of weight was obtained in fruits coated with CMC coating, the minimum value of respiration rate, PPO activity, membrane permeability and the maximum hardness and *L*^{*} value were obtained in mushrooms coated with carrageenan coating. Overall, the preservation effect of carrageenan film is the best, and it can extend the shelf-life of *Agaricus bisporus* to more than 12 d.

Key words *Agaricus bisporus*, Preservation, Edible coating

引言

双孢蘑菇含水率、呼吸速率较高,极易引发酶促褐变和微生物感染,因此其保质期很短^[1],常温下采后1 d,菇体就会失重,菌盖及菌褶开始破膜、开伞、失水、萎缩、褐变甚至腐烂,菌柄伸长,商品价值下降甚至丧失^[2]。

某些果蔬独特的表皮结构和蜡质层可以起到很好的保护作用,可食性涂膜保鲜正是根据这种保护机制利用仿生理论而产生的保鲜方法^[3]。可食性涂膜保鲜通过在膜与果实之间产生一个低O₂(1%~5%)、高CO₂(5%~10%)的气体环境,从而降低果蔬的水分和溶质迁移速率、气体交换速率、呼吸和氧化反应速率来延长果蔬的保质期^[4]。

多糖类材料,如淀粉及其衍生物、海藻酸盐、纤维素衍生物、卡拉胶、各种植物和微生物胶、壳聚糖和果胶等,对O₂和CO₂有良好的选择透过性,因此能有效地抑制表皮褐变的发生^[5]。卡拉胶是一种从海藻中提取的生物聚合物,已经在食品工业中得到广泛应用。Lee等^[6]将卡拉胶膜应用于苹果保鲜,有效地降低了失水率和氧化速率。贾慧敏等^[7]将卡拉胶、羧甲基纤维素钠(CMC)及其复配溶液应用于鲜切桃的保鲜,结果显示卡拉胶复配CMC涂膜能有效降低桃块的褐变程度及抑制酶活性。

本文将卡拉胶、CMC及其复配涂膜应用于双孢蘑菇保鲜,研究涂膜后双孢蘑菇生理和品质的变化,旨在探索一种双孢蘑菇涂膜保鲜的有效方法。

收稿日期: 2011-07-27 修回日期: 2011-08-22

^{*} 国家自然科学基金资助项目(30871757)和国家农业科技成果转化资金资助项目(2010GB2C600253)

作者简介: 王相友,教授,博士生导师,主要从事农产品加工与贮藏研究, E-mail: wxy@sdut.edu.cn

1 实验材料、设备与方法

1.1 实验材料

卡拉胶(海南南港卡拉胶食品公司)、CMC(重庆力宏有限公司)、聚乙二醇(PEG 200 药用级别,北京市国人逸康科技有限公司)和甘油(北京化学试剂厂)均为食品级,其他药品均为分析纯。双孢蘑菇采自山东省淄博市临淄区边河镇南术北村,菌株为 F56。双孢蘑菇采后立即运至山东理工大学实验冷库,(2±1)℃下预冷 20 h。挑选大小均匀(伞盖直径 3~4 cm)、菇色洁白、无机械损伤和无真菌感染的双孢菇进行实验。

1.2 涂膜液的制备

卡拉胶涂膜液(质量分数 0.6%)的制备:将 18 g 卡拉胶溶于 3 L 蒸馏水中,添加 13.5 g 增塑剂(PEG 200 与甘油质量比为 1:1),搅拌均匀后加热至 70℃,保温 20 min,然后冷却至室温^[8]。

CMC 涂膜液(质量分数为 1%)的制备:将 30 g CMC 溶于 3 L 蒸馏水中,添加 60 g 甘油作为增塑剂,搅拌均匀后加热至 70℃,保温 20 min,然后冷却至室温。

卡拉胶复配 CMC 涂膜液的制备:将 18 g 卡拉胶、30 g CMC 溶于 3 L 蒸馏水中,同时添加 60 g 甘油为增塑剂,搅拌均匀后加热至 70℃,保温 20 min,然后冷却至室温。

1.3 样品制备

把双孢蘑菇随机分成 4 组,分别为对照组、卡拉胶涂膜组(T1)、CMC 涂膜组(T2)、复合(卡拉胶复配 CMC)涂膜组(T3)。将各组样品分别浸入相应涂膜液,浸泡 1 min,室温下晾干,然后在(2±1)℃下贮藏。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 失重率

以贮藏后双孢蘑菇的质量与初始质量的比值作为失重率。每组样品每次测量取 6 个蘑菇,重复 3 次。

1.4.2 呼吸速率

参照李霞等^[9]的方法,双孢菇样品放入广口玻璃瓶中后密封,2 h 后用气相色谱仪(GC-9800 型,上海科创色谱仪器有限公司)分析容器内气体成分的变化。以 CO₂ 的产出量计算被测样品的呼吸速率。呼吸速率计算公式为

$$R_{CO_2} = \frac{(C_{CO_2}^{t_f} - C_{CO_2}^{t_i})V}{M(t_f - t_i)}$$

式中 $C_{CO_2}^{t_i}$ ——测量时间 t_i 时 CO₂ 体积分数

$C_{CO_2}^{t_f}$ ——测量时间 t_f 时 CO₂ 体积分数

V ——密封容器的自由体积,mL

M ——样品的质量,kg

1.4.3 硬度

果实硬度用 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,将指针的读数作为双孢蘑菇的硬度值。每个处理随意取 4 个蘑菇,每个蘑菇取 5 个值,然后取其平均值。

1.4.4 白度

每个处理取 3 个蘑菇,用 SC-80C 型自动色差计(北京康光仪器有限公司)测定表皮的 L^* 值,然后取其平均值。

1.4.5 PPO 活性

参照 Matuschek 等^[10]方法测定。取双孢蘑菇 3 g,加入 6 mL 0.05 mol/L 磷酸缓冲液(pH 值 6.8,含 2.5% 聚乙烯吡咯烷酮(PVP)和 0.01% Triton X-100)冰浴研磨,以 4℃ 10 000 r/min 冷冻离心 20 min,取上清液作为酶提取液。PPO 测定体系为 5 mL,其中 4.8 mL 0.05 mol/L 磷酸缓冲液(pH 值 6.8)与 0.05 mol/L 邻苯二酚 1 mL 混合后预热至 20℃,然后迅速加入 PPO 提取液 0.2 mL,混匀,空白加 0.2 mL 磷酸缓冲液。记录波长 420 nm 处 OD 值在 2 min 内的变化。一个酶活性单位 U 定义为:在上述实验条件下,每 1 min 引起 OD 值改变 0.01 所需的酶量。

1.4.6 细胞膜透性

用打孔器在双孢蘑菇上取材并将其切成厚度为 2 mm 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 型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。以双孢蘑菇浸提液前后两次电导率的差值与全渗电导率的比值作为细胞膜透性变化的指标。

2 结果与讨论

2.1 失重率

含水率是双孢蘑菇新鲜度的一个重要指标。双孢蘑菇子实体的失重,除了呼吸作用的消耗外,主要是由水分蒸发造成的。失水能够导致果实软化、成熟和衰老,当果实失水率超过 5% 时,果实会发生萎缩,新鲜度降低。

如图 1 所示,在整个贮藏过程中,处理组及对照组的失重率都不断上升,相对于对照组,3 种涂膜处理均减缓了双孢菇的失重,其中以 CMC 涂膜效果最为明显。贮藏第 12 天时,对照组的失重率达到了

2.44%,而 CMC 涂膜处理的仅为 0.53%。结果显示,相对于对照组,T1 和 T2 处理均显著地($p < 0.05$)抑制了双孢菇的失重,而经 T3 处理后,失重率低于对照,但是差异不显著。由实验结果可知 CMC 和卡拉胶涂膜都具有一定的阻水性,而在双孢菇保鲜方面 CMC 膜阻水性更好。杨乐^[11]等用 0.6% 的卡拉胶和 1% 的 CMC 涂膜保鲜方竹笋,结果显示卡拉胶在抑制失重方面比 CMC 效果更好,这是由于不同的果蔬生理活性不同造成的。因此可以得知不同的果蔬由于生理活性和生理结构不同,对涂膜液的要求也有所不同。

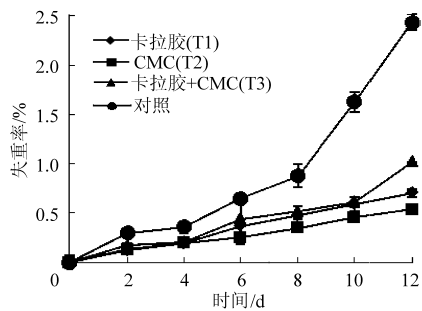


图 1 不同涂膜处理对双孢蘑菇失重率的影响
Fig.1 Effects of edible coatings on weight loss of mushrooms stored at 2°C

2.2 呼吸速率

呼吸作用是果蔬采后维持生命活动的一项基本保障。可食性涂膜能在果实表面产生一个高 CO_2 、低 O_2 的气体环境,高 CO_2 浓度能抑制琥珀酸脱氢酶的活性,诱导琥珀酸积累,最终抑制三羧酸循环^[12]。另外,低 O_2 浓度能有效抑制细胞色素氧化酶、抗坏血酸氧化酶、多酚氧化酶等的活性^[13]。因此,对果蔬进行涂膜处理有利于保持其良好品质。

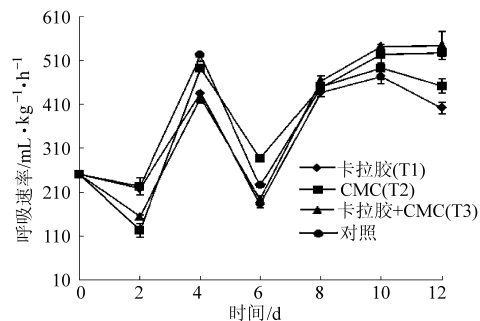


图 2 不同处理对双孢蘑菇呼吸速率的影响
Fig.2 Effects of edible coatings on respiration rates of mushrooms stored at 2°C

由图 2 可以看出双孢菇是呼吸跃变型果实,呼吸高峰在第 4 天出现。这与朱继英^[14]等的结果一致。对照组中呼吸高峰峰值为 521.2 $\text{mL}/(\text{kg}\cdot\text{h})$,而 T1 处理为 424.3 $\text{mL}/(\text{kg}\cdot\text{h})$ 。在贮藏过程中,T2 和 T3 处理的样品呼吸速率与对照无显著差异,T1

处理的样品呼吸速率明显低于对照($p < 0.05$)。这显示了卡拉胶可食性膜具有良好的阻气性,能有效降低双孢菇的呼吸速率,有利于保鲜。实验得出的双孢菇呼吸速率变化曲线与雷桥^[15]等在自然气调下得出的变化趋势相同。杨乐^[11]等将不同的涂膜材料应用于方竹笋保鲜,结果同样显示卡拉胶涂膜在抑制呼吸速率方面效果最好。

2.3 硬度

在贮藏过程中,由于细胞膨压不断下降、细胞壁逐渐降解等因素,果实的硬度会不断下降。

图 3 显示了 $(2 \pm 1)^\circ\text{C}$ 贮藏过程中双孢蘑菇硬度的变化,在整个贮藏过程中,双孢蘑菇的硬度呈现先上升后下降的趋势。在贮藏的初始阶段,果实的硬度随时间延长不断增加,这可能与随着失水率的不断增加和果实的不断成熟,果实组织逐渐变得致密有关。随着果实贮藏过程中成熟度的不断增加,细胞壁中原果胶减少,可溶性果胶增加,细胞间失去了结合力,细胞不断分散。另外,贮藏过程中蛋白质、多糖等营养成分不断降解,以至贮藏 8 d 后硬度开始下降,第 10 天后均又有不同程度的上升,这可能是由于果蔬表面的涂膜逐渐硬化和果实表皮失水皱缩,使得硬度计探头下压时瞬时阻力变大引起的。总体来看,对照组的果实硬度在贮藏 10 d 后从 0.92 MPa 下降到 0.90 MPa,而 T1 和 T2 处理的样品的硬度分别上升到 1.02 MPa 和 0.99 MPa。在贮藏的 0~8 d 内,T1 处理样品高于对照,但是差异不显著,第 8 天 T1 和 T2 处理组的硬度显著高于对照组。结果显示,尽管多糖膜具有亲水特性,但是它们依然能起到延缓脱水的作用,因此,能够起到保持果实硬度的作用。Ribeiro 等^[2]将可食性涂膜应用于草莓保鲜,结果同样显示卡拉胶涂膜在抑制硬度下降方面效果最好。

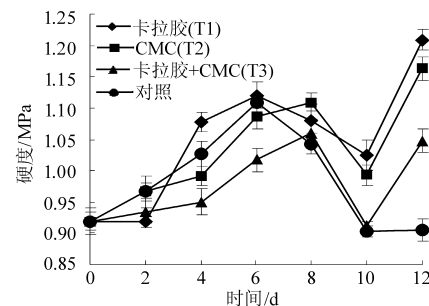


图 3 不同处理对双孢蘑菇硬度的影响
Fig.3 Effects of edible coatings on hardness of mushrooms stored at 2°C

2.4 白度

褐变是双孢菇采收后品质下降的重要指标之一,双孢菇褐变主要是由多酚氧化酶催化酪氨酸及

其他酚类化合物氧化而引起的。贮藏期间双孢菇的白度用 L^* 来表示。Gormley^[16] 根据双孢蘑菇的白度将其分为两类:白度大于等于 86 的为好品质菇,在 80~85 之间的为可接受品质。

由图 4 可以看出,贮藏期间双孢菇的白度不断下降,对照组在贮藏期间下降迅速,从 89.0 下降到 80.2,而 T1 和 T3 处理分别下降到 84.6 和 84.0。这和王相友等^[15] 在 2℃ 下用气调包装贮藏所取得的效果相同。T2 处理的蘑菇白度由贮藏初期的 89.0 下降到 79.5。T1 和 T3 处理的样品的褐变度明显 ($p < 0.05$) 低于对照,T2 处理反而加剧了双孢菇的褐变。这与贾慧敏等^[6] 在鲜切桃上得到的结果略有不同,他们得出的结论是经卡拉胶和 CMC 涂膜后,鲜切桃的 L^* 值低于对照,而卡拉胶和 CMC 复合涂膜的 L^* 值高于对照。这可能是由鲜切桃和双孢蘑菇的生理活性不同所引起的。T1 处理使双孢蘑菇维持好品质菇的时间在 9 d 左右,这说明了卡拉胶涂能有效抑制双孢蘑菇褐变。

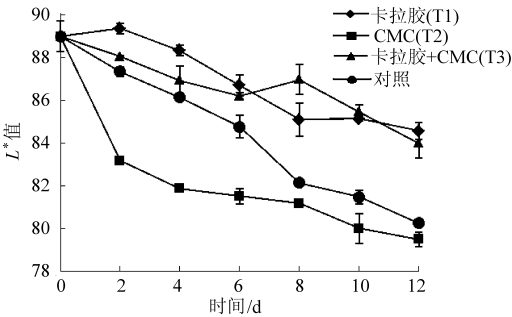


图 4 不同处理对双孢蘑菇白度的影响
Fig. 4 Effects of edible coatings on surface color of mushrooms stored at 2℃

2.5 PPO 活性

酚类物质氧化是果实褐变的主要原因^[17]。PPO 是广泛存在于植物中的一种末端氧化酶,它能催化酚类物质氧化,导致果蔬组织褐变。涂膜保鲜能通过改变果实内源 CO_2 、 O_2 和乙烯水平而达到延迟成熟的目的。

如图 5 所示,在贮藏过程中,PPO 活性均随时间的推移而不断升高,所有涂膜处理均延缓了 PPO 活性的上升,这是因为卡拉胶、CMC 以及它们的复合涂膜能在双孢菇表面与膜之间形成一个高 CO_2 、低 O_2 的气体环境,这样的气体环境可以抑制双孢菇的呼吸速率,进而减缓果实的衰老进程,有利于保持果实细胞组织的完整性,有效降低无活性的结合态 PPO 向有活性的游离态 PPO 转化。结果显示 0~4 d 时,处理组 PPO 活性高于对照组,这可能是由于涂膜处理对双孢菇表面造成一定的损伤,使其生理

活性有所升高导致的。5 d 以后处理组 PPO 活性均低于对照。贮藏期间,只有 T1 处理与对照组的 PPO 活性差异显著 ($p < 0.05$),说明卡拉胶涂膜能有效减缓双孢菇的 PPO 活性的上升,有利于保持其优良品质。

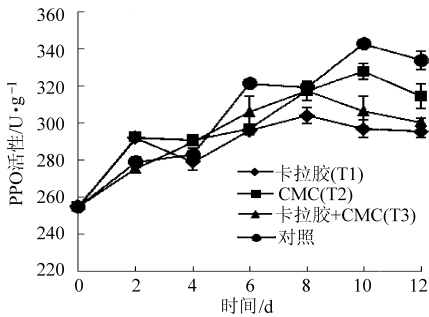


图 5 不同处理对双孢蘑菇 PPO 活性的影响
Fig. 5 Effects of edible coatings on PPO activity of mushrooms stored at 2℃

2.6 膜透性

果蔬组织的衰老和膜透性有关,随着细胞膜结构的破坏,膜的相对透过率逐渐增大。因此,细胞膜的完整性能用相对透过率来表示。果蔬在贮藏期间经历着一个逐渐腐败的过程,膜透性的变化能反映果蔬组织衰老和遭受破坏的程度^[18]。

膜透性与细胞膜的完整程度呈负相关,随着细胞的不断降解,膜透性不断升高。图 6 显示,在整个贮藏过程中对照组的膜透性最高,在第 12 天时,对照组的膜透性约为 77%,而涂膜组均在 70% 左右。这充分说明涂膜处理能够有效地降低脂质过氧化和电解质外漏的发生。3 种涂膜处理均极显著地 ($p < 0.01$) 延缓了细胞膜透性的上升,其中卡拉胶涂膜效果最为显著,说明卡拉胶涂膜可以有效地保持细胞膜的稳定性,延缓双孢菇的衰老。刘战丽^[19] 等用 O_2 含量为 60%~100% 的高氧处理,也可使双孢菇的膜透性低于对照。Lee^[20] 等认为由于涂膜材料的阻水性和氧气阻隔性能,使得可食性膜在果蔬表面起到了气调保鲜的效果。

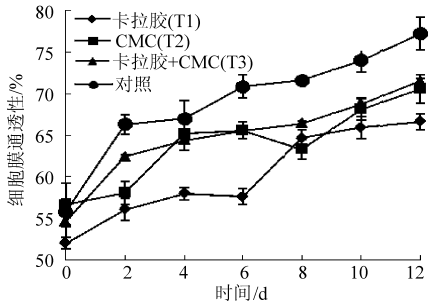


图 6 不同处理对双孢蘑菇膜透性的影响
Fig. 6 Effects of edible coatings on membrane permeability of mushrooms stored at 2℃

3 结束语

上述 3 种涂膜处理中,卡拉胶涂膜能显著地($p < 0.05$)抑制双孢菇果实的 PPO 活性、呼吸速率和细胞膜通透性的上升,延缓硬度和 L^* 的下

降;CMC 涂膜在抑制失重方面效果最好。这说明卡拉胶涂膜的阻气性能优于 CMC 涂膜,而在阻水性方面则略显不足。复合涂膜保鲜效果不明显。总体而言,卡拉胶涂膜对双孢菇的保鲜效果最好。

参 考 文 献

- 1 Lescano G. Extension of mushrooms (*Agaricus bisporus*) shelf life by gamma radiation [J]. Postharvest Biology and Technology, 1994, 4(3): 255 ~ 260.
- 2 Gormley R. Chill storage of mushrooms [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1975, 26(4):401 ~ 411.
- 3 王昕,李建桥,任露泉. 果蔬可食涂膜保鲜的应用和发展[J]. 农业工程学报, 2004,20(2):284 ~ 287.
Wang Xin, Li Jianqiao, Ren Luquan. Application and development of edible coatings for fruits and vegetables [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(2): 284 ~ 287. (in Chinese)
- 4 Bai J, Baldwin E A, Hagenmaier R H. Alternatives to shellac coatings provide comparable gloss, internal gas modification, and quality for delicious apple fruit [J]. HortScience, 2002, 37(3):559 ~ 563.
- 5 Cassandro A, Nigel H B, Siva G. Effects of coating concentration, ripening stage, water status and fruit temperature on pear susceptibility to friction discolouration [J]. Postharvest Biology and Technology, 2001, 21(3): 283 ~ 290.
- 6 Lee J Y, Park H J, Lee C Y, et al. Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents [J]. LWT-Food Science and Technology, 2003,36(3):323 ~ 329.
- 7 贾慧敏,韩涛,李丽萍,等. 可食性涂膜对鲜切桃褐变的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(3): 282 ~ 286.
Jia Huimin, Han Tao, Li Liping, et al. Effects of edible coatings on browning of fresh-cut peach fruits [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(3):282 ~ 286. (in Chinese)
- 8 曾文兵.可食性复合涂膜保鲜剂对延长鲜切苹果货架期的研究[J]. 食品科学, 2006, 27(2):262 ~ 265.
Zeng Wenbing. Study on extending shelf-life of fresh-cut apples with edible coatings complex preservative [J]. Food Science, 2006, 27(2):262 ~ 265. (in Chinese)
- 9 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)
- 10 Matuschek E, Svanberg U. The effect of fruit extracts with polyphenol oxidase (PPO) activity on the in vitro accessibility of iron in high-tannin sorghum [J]. Food Chemistry, 2005, 90(4):765 ~ 771.
- 11 杨乐,王洪新.不同可食性涂膜对方竹笋保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技,2011,32(2):305 ~ 308.
- 12 Deng Y, Wu Y, Li Y F. Physiological responses and quality attributes of ‘Kyoho’ grapes to controlled atmosphere storage [J]. LWT-Food Science and Technology, 2006, 39(6):584 ~ 590.
- 13 Özden Ç, Bayindirli L. Effects of combinational use of controlled atmosphere, cold storage and edible coating applications on shelf life and quality attributes of green peppers [J]. European Food Research and Technology, 2002, 214(4):320 ~ 326.
- 14 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 ~ 97.
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 ~ 97. (in Chinese)
- 15 雷桥,周颖越,徐文达. 环境因素对自然气调下双孢蘑菇呼吸速率影响的初步研究[J]. 农业工程学报,2005, 21(7): 153 ~ 157.
- 16 Ribeiro C, Vicente A A, Teixeira J A, et al. Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence [J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 44(1):63 ~ 70.
- 17 Macheix J J, Fleuriot A,Billot J. Fruit phenolics [M]. USA: CRC Press,1990.
- 18 林河通,席玑芳,陈绍军,等. 龙眼采后生理和病理及贮运技术研究进展[J]. 农业工程学报, 2002,18(1):185 ~ 190.
Lin Hetong, Xi Yufang, Chen Shaojun, et al. Research advances of postharvest physiology, postharvest pathology and storage and transport technologies for longan fruits [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2002, 18(1):185 ~ 190. (in Chinese)
- 19 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 Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(5): 362 ~ 366. (in Chinese)