

采收期对双孢蘑菇生理特性及贮藏品质的影响

王赵改¹ 杨 慧¹ 王安建¹ 杨丰菊² 魏书信¹

(1. 河南省农业科学院 农副产品加工研究所, 河南 郑州 450002; 2. 河南农业大学 食品科技学院, 河南 郑州 450002)

摘要:以双孢蘑菇品种 W-192 为试验材料,系统研究了 3 个采收期(根据菌盖直径和生长期分别记菌盖直径 2~3、3~4、4~5 cm 为采收期 I、II、III)双孢蘑菇的含水量、开伞率、褐变度、呼吸强度、总多酚、多酚氧化酶(PPO)活性及丙二醛 7 个指标在低温贮藏(4±1)℃期间的变化特征。结果表明,与采收期 I 和 III 相比,采收期 II 的双孢蘑菇延后 3 d 左右才出现呼吸高峰,丙二醛含量始终较低,含水量在贮藏前期较高,白度值在贮藏后期保持较好,开伞率在贮藏后期低于其他 2 组,体现出更好的耐贮藏性。对于低温贮藏的双孢蘑菇 W-192,应在采收期 II 采收;对即将上市的双孢蘑菇可在采收期 III 采收。

关键词:双孢蘑菇;采收期;生理特性;贮藏品质

中图分类号:S646.1+1 文献标识码:A 文章编号:1000-7091(2012)05-0134-05

Effect of Harvest Time on Physiological Property and Storage Quality of *Agaricus bisporus*

WANG Zhao-gai¹, YANG Hui¹, WANG An-jian¹, YANG Feng-ju², WEI Shu-xin¹

(1. Institute of Agricultural Products Processing, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China;
2. College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The characteristics of physiological and biochemical changes of *Agaricus bisporus* strain W-192 harvested at three different times (according to the fungus lid and growth period, fungus lid 2-3, 3-4, 4-5 cm were marked as harvest times I, II and III respectively) in low temperature storage (4±1)℃ were studied systematically, these indexes included water content, percentage cap opening, browning degree, the respiration rate, total polyphenol, polyphenol oxidase (PPO) activity and malondialdehyde. Compared with harvest time I and III, the appearance of respiration peak of harvest time II was later about 3 days, the content of malondialdehyde was always at a low level and it also had higher water content in early storage, white degree maintained good in late storage, while percentage cap opening was lower than the other two groups, harvest time II had a better storage quality. From the analysis of fresh-keeping performance, *Agaricus bisporus* strain W-192 should be harvested at harvest times II, while from biological yield the harvest times III is appropriate for upcoming *Agaricus bisporus*.

Key words: *Agaricus bisporus*; Harvest time; Physiological property; Storage quality

双孢蘑菇(*Agaricus bisporus*) 别名蘑菇、洋蘑菇、白蘑菇,富含甘露醇、菌糖、有机碱,是典型的高蛋白质、低脂肪、低热量的菌类保健食品,深受国际消费者欢迎,具有巨大的市场消费空间^[1],也是目前唯一全球性栽培的食用菌,其产量占食用菌总量的 50%^[2]。然而其含水量高,组织娇嫩,采后极易出现失水、褐变、腐烂等品质劣变现象^[3],导致采后损

失占年产量的 30% 左右,是一种耐贮藏性极弱的食用菌种,因此,解决双孢蘑菇的贮藏保鲜问题、延长其货架期是双孢蘑菇产业可持续发展的必经之路。

根据目前的研究,影响双孢蘑菇贮藏保鲜的因子主要包括温度、湿度、品种特性、采收期。其中,采收期已被证实是影响苹果^[4]、洋姜^[5]等易腐果蔬类贮藏保鲜的关键因素之一。在双孢蘑菇贮藏保鲜方

收稿日期:2012-08-13

基金项目:河南省农业科学院科技发展及示范推广专项(2011-196-59);国家自然科学基金项目(31101373);河南省重点攻关项目(102102110015)

作者简介:王赵改(1980-),女,河南驻马店人,助理研究员,博士,主要从事农产品保鲜与加工研究。

面李成华等^[6]、Braaksma 等^[7]考察了采收期对 Ag2796 和 U1 品种双孢蘑菇耐贮藏性的影响规律。为利于双孢蘑菇种质优选,前期工作对比分析了 4 种不同品种双孢蘑菇在不同采收期采收品质的变化。结果表明,双孢蘑菇品种 W-492 在成熟过程中表现出良好的综合采收品质^[8],但对 W-492 双孢蘑菇不同采收期的耐贮藏性及生理特性尚不了解,目前也很少见有相关报道。为此,本试验以双孢蘑菇品种 W-492 为材料,研究在低温贮藏条件下不同采收期对双孢蘑菇生理特性及贮藏品质的变化,以便确定其最佳采收期,同时为其采后品质劣变调控提供一定的理论参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料

双孢蘑菇采自河南省西平县双孢蘑菇示范基地,品种为 W-492,隔天采收,分 3 次完成。按生长期及菌盖直径分为 3 个等级:Ⅰ(菌盖直径 2~3 cm)、Ⅱ(菌盖直径 3~4 cm)、Ⅲ(菌盖直径 4~5 cm),放入塑料筐中于 $(4 \pm 1)^\circ\text{C}$ 贮藏,每筐装 15 个蘑菇作为 1 个重复,每个采收期(对应不同等级)3 个重复。每隔 3 d 测一次指标,共测 6 次。

1.2 测定项目及方法

1.2.1 生理指标的测定 双孢蘑菇生理指标的测定项目包括呼吸强度、总多酚含量、多酚氧化酶(PPO)活性和丙二醛含量。总多酚含量和 PPO 活性的测定可参照文献[8];呼吸强度的测定采用 WITT 微量氧气和二氧化碳检测仪,随机取双孢蘑菇 6 个,放于聚乙烯塑料盒中,用 PE 保鲜袋套盒封口,于 $(4 \pm 1)^\circ\text{C}$ 贮藏 4 h 后测定,每组做 3 次平行试验;丙二醛含量的测定采用袁陵^[9]的方法。

1.2.2 贮藏品质的测定 双孢蘑菇贮藏品质的测定项目包括失水率、褐变度和开伞率。失水率的测定采用常压干燥法,具体方法可参照文献[8];褐变度的测定采用 Hunter ColorFlex EZ 型色差仪,测量双孢蘑菇子实体菌盖的白度值,用 L 表示,其值范围为 0~100, L 值愈大,表明颜色愈白,褐变愈轻。

开伞率(Q)的计算公式为: $Q = \frac{N_1}{N_2} \times 100\%$ 。

其中 N_1 为开伞双孢蘑菇个数; N_2 为处理双孢蘑菇总数。

1.3 数据处理

数据采用 Origin 8.6 进行处理,用 SPSS 11.5 进行显著性分析及相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同采收期对双孢蘑菇生理特性的影响

2.1.1 呼吸强度 双孢蘑菇是以有氧呼吸为主的呼吸跃变型园艺产品^[10],采收后其子实体通过呼吸作用消耗自身养分获得能量进而维持生命活动,造成双孢蘑菇品质下降。呼吸强度的大小直接影响双孢蘑菇的贮藏特性,呼吸强度越高,释放的 CO_2 量越多,贮藏性越差^[11]。由图 1 可知,不同采收期的双孢蘑菇呼吸强度明显不同,在采收期Ⅰ采收的双孢蘑菇当天的呼吸强度为 $99.5 \text{ mg}/(\text{kg} \cdot \text{h})$,随着采收期的延迟和菌盖直径的增大,其呼吸强度逐渐升高,采收期Ⅱ和采收期Ⅲ的呼吸强度在采收当天分别达到 117.8 、 $179.5 \text{ mg}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ 。双孢蘑菇在整个贮藏期间,采收期Ⅲ的呼吸强度明显高于其他 2 个采收期($P < 0.05$),并在第 6 天出现呼吸高峰,峰值为 $152.4 \text{ mg}/(\text{kg} \cdot \text{h})$,是采收期Ⅱ呼吸高峰强度的 1.2 倍;采收期Ⅱ在贮藏前期的呼吸强度较平稳,直到第 9 天才出现呼吸高峰;采收期Ⅰ的双孢蘑菇进入贮藏期后,呼吸强度迅速升高,在第 3~6 天之间出现高峰。说明不同采收期的双孢蘑菇在贮藏期间的生理代谢不同,呼吸跃变出现的时间及强度也不一致,故其贮藏特性不一致。

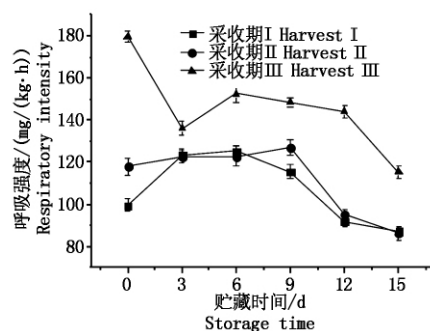


图 1 不同采收期双孢蘑菇呼吸强度随贮藏时间的变化

Fig. 1 The change of respiration intensity of *Agaricus bisporus* harvested at different times in storage

2.1.2 总多酚含量 总多酚作为酶促褐变的底物,其含量与双孢蘑菇的褐变密切相关^[12]。从图 2 可以看出,在整个贮藏期间,不同采收期的双孢蘑菇总多酚含量变化基本一致,均呈先升高后降低的趋势,并在第 9 天达到高峰,分别为 894.6 、 846.1 、 $783.4 \mu\text{g}/\text{g}$ 。上述结果与刘吟等^[13]报道的双孢蘑菇子实体在贮藏期间总多酚含量变化的趋势一致,但达到高峰的时间有差别,这可能与双孢蘑菇的品种、种植环境及贮藏环境等因素有关。

2.1.3 PPO 活性 PPO 是生物体内引起酶促褐变的主要酶类^[14],它能催化生成黑色或褐色物质,严

重影响双孢蘑菇的感官品质。由图 3 可知,不同采收期的双孢蘑菇 PPO 活性差异明显,在采收期 I 采收的双孢蘑菇当天的酶活性为 $108 \text{ U}/(\text{g} \cdot \text{min})$,随着采收期的延迟和菌盖直径的增大,其酶活逐渐降低,采收期 II 和采收期 III 的酶活在采收当天分别达到 $72.54 \text{ U}/(\text{g} \cdot \text{min})$,这和其呼吸强度的趋势恰好相反。双孢蘑菇在贮藏期间,PPO 活性高峰出现的时间也随着采收期不同而表现出差异,基本上与采收期呈现明显的负相关趋势,即采收期越晚,其酶活高峰出现的越早。采收期 I、采收期 II 和采收期 III 的 PPO 活性分别在第 9 天、第 6 天和第 3 天开始出现高峰,但整体呈上升趋势。

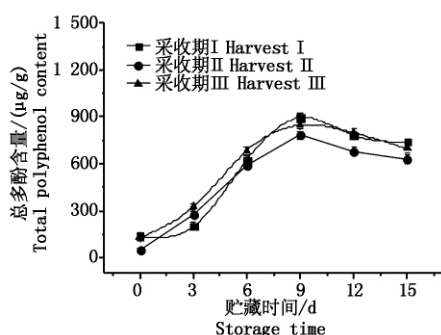


图 2 不同采收期双孢蘑菇总多酚含量随贮藏时间的变化

Fig. 2 The change of total polyphenol content of *Agaricus bisporus* harvested at different times in storage

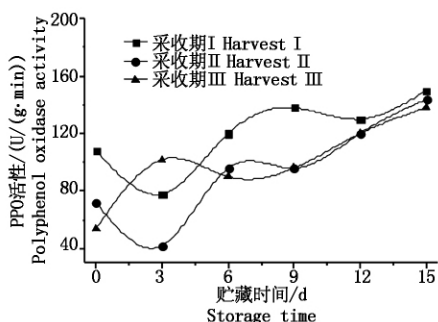


图 3 不同采收期双孢蘑菇 PPO 活性随贮藏时间的变化

Fig. 3 The change of PPO activity of *Agaricus bisporus* harvested at different times in storage

2.1.4 丙二醛含量 逆境诱发双孢蘑菇膜脂过氧化产生丙二醛(MDA),其含量的高低可用来衡量植物体的抗性强弱及衰老程度。从图 4 可以看出,采收期 I 的双孢蘑菇经过 6 d 的贮藏就开始出现丙二醛的积累高峰,达到 4.3 nmol/g ,其平均水平比其他 2 个采收期都高(最高达 0.45 nmol/g),说明在采收期 I 采收的双孢蘑菇尚未成熟,采收后对逆境的抗性强弱。3 个采收期采收的双孢蘑菇其丙二醛含量随贮藏时间的延长逐渐增加,但采收期 II 的丙二醛积累量在整个贮藏期始终低于其他 2 个采收期的积累量。

2.2 不同采收期对双孢蘑菇外观贮藏品质的影响

2.2.1 褐变度 双孢蘑菇在贮藏期间随着采收期

的延迟,子实体菌盖表面的颜色会发生由白色转变为褐色、最后转变为黑色的品质劣变现象。因此,双孢蘑菇贮藏期间的褐变度是衡量其外观贮藏品质好坏的重要指标,用白度值 L 表示。根据 Gormley^[15] 的研究,双孢蘑菇的白度值 ≥ 85 的为好品质菇,介于 $80 \sim 85$ 的为可接受品质菇,白度值越大菇的品质越好。由图 5 可知,不同采收期的双孢蘑菇在整个贮藏期间,白度值均呈下降趋势,其与贮藏时间呈极显著相关(表 1)。采收期 II 的双孢蘑菇由采收时的 90.4 下降到贮藏结束时的 86.5 ,在整个贮藏期间白度值下降幅度最小,平均每天下降 0.26 ;而采收期 I 由采收时的 91.4 下降到 85.1 ,平均每天下降 0.42 ;采收期 III 由采收时的 89.8 下降到 85.6 ,平均每天下降 0.28 。但在贮藏前期,采收期 I 的白度值高于其他 2 组,并在第 6 天差异达到显著水平($P < 0.05$),说明采收期 I 采收的双孢蘑菇在短期贮藏时能保持较好的外观品质。

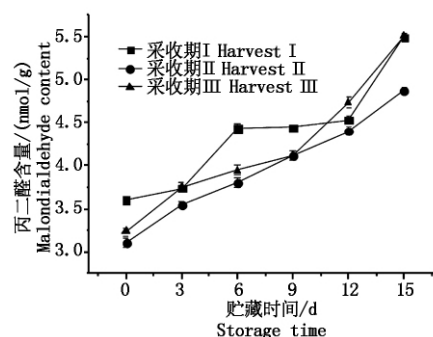


图 4 不同采收期双孢蘑菇丙二醛含量随贮藏时间的变化

Fig. 4 The change of malondialdehyde content of *Agaricus bisporus* harvested at different times in storage

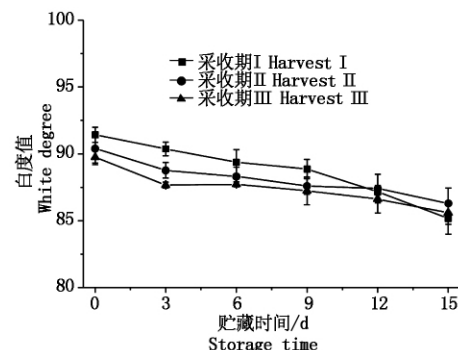


图 5 不同采收期双孢蘑菇白度值随贮藏时间的变化

Fig. 5 The change of white degree of *Agaricus bisporus* harvested at different times in storage

对双孢蘑菇褐变度进行相关性分析(表 1)表明,褐变度与贮藏时间、含水量、开伞率、呼吸强度、总多酚、PPO 和丙二醛均密切相关,且受采收期的影响。但无论哪个采收期,其褐变度与贮藏时间和开伞率均呈极显著相关,与含水量呈显著相关,说明随着贮藏期的延长,其褐变、开伞及萎焉等外观品质劣

变现象几乎同时发生,并且相互促进,基本不受采收期的影响。而褐变度与内部生理指标呼吸强度、总多酚含量、PPO 活性和丙二醛含量的相关性与采收

期密切相关,最终呈现出不同的褐变程度,说明采收期对双孢蘑菇褐变度的影响通过影响其内部生理代谢而实现。

表 1 3 个采收期的双孢蘑菇在贮藏期间其褐变度与其他指标的相关性分析

Tab. 1 The correlation analysis between browning degree and other indexes of *Agaricus bisporus* harvested at different times in storage

采收期 Harvest time	贮藏时间 Storage time	含水量 Water content	呼吸强度 Respiratory intensity	开伞率 Percentage cap opening	总多酚含量 Total polypheno content	PPO 活性 PPO activity	丙二醛含量 MDA content
I	R	-0.964	0.823	0.859	-0.978	-0.688	-0.882
	P	0.002	0.044	0.028	0.001	0.137	0.011
II	R	-0.969	0.872	0.660	-0.920	-0.868	-0.796
	P	0.001	0.024	0.154	0.009	0.025	0.058
III	R	-0.922	0.867	0.914	-0.949	-0.629	-0.950
	P	0.009	0.025	0.011	0.004	0.181	0.004

2.2.2 失水率 研究表明^[16],双孢蘑菇失水 5% 后就会失鲜、表面萎焉,不仅严重影响其外观品质,还会影响正常的生理过程。因此,失水率是衡量双孢蘑菇采后贮藏保鲜的重要指标之一。由图 6 可知,在 15 d 的低温贮藏过程中,不同采收期的双孢蘑菇含水量整体呈下降趋势,但采收期 I 和采收期 II 的含水量在整个贮藏期间均高于采收期 III。与采收当天的含水量相比,采收期 II 的双孢蘑菇在整个贮藏期间失水率最小,平均每天下降 0.14%,经过 15 d 的贮藏期共下降 2.1%;而采收期 I 平均每天下降 0.28%,整个贮藏期间共失水 4.3%;采收期 III 平均每天下降 0.15%,整个贮藏期间共失水 2.3%。3 个采收期的双孢蘑菇在贮藏后期失水率均有一定程度的波动,可能是子实体表面蒸腾作用失水与呼吸作用释放水分共同作用的结果^[6]。

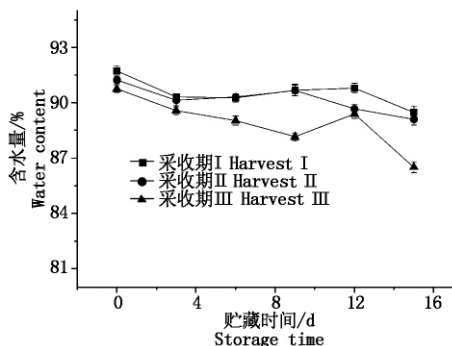


图 6 不同采收期双孢蘑菇含水量随贮藏时间的变化

Fig. 6 The change of water content of *Agaricus bisporus* harvested at different times in storage

2.2.3 开伞率 前期研究结果表明,双孢蘑菇从未开伞到完全开伞预示着其衰老,营养物质发生迁移或缺乏,局部细胞死亡,双孢蘑菇的生理及外形发生变化,进而造成品质及商品价值大大降低,故开伞是表征双孢蘑菇形态质量的另一个重要参数。由图 7

可知,在低温贮藏的第 3 天,采收期 I 和 II 这 2 两组的开伞率为 0,采收期 III 的开伞率为 6.25%;在贮藏前 9 d,采收期 I 的开伞率一直低于其他 2 组;随着贮藏时间的延长,采收期 I 的双孢蘑菇在贮藏后期更易开伞,此时采收期 II 的开伞率处于较低水平。在整个贮藏期间,3 组的开伞率逐渐增大,且采收期 III 的开伞率一直较高。表明随着采收期的延迟和菌盖直径的增大,双孢蘑菇逐步趋向衰老,开伞率也越高,这与 Hammond 等^[17]的研究结果较一致。

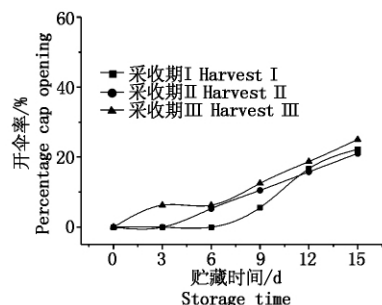


图 7 不同采收期双孢蘑菇开伞率随贮藏时间的变化

Fig. 7 The change of percentage cap opening of *Agaricus bisporus* harvested at different times in storage

3 结论与讨论

为深入了解采收期对双孢蘑菇品种 W-192 采后品质的影响,本研究不仅分析了采收期对失水率、开伞率、褐变度等外观贮藏品质的影响,同时对呼吸强度、总多酚含量、多酚氧化酶(PPO)活性及丙二醛含量等相关内部生理特征指标进行了测定。

褐变度与开伞率是衡量双孢蘑菇感官品质的重要标准,从外观形态上来看,3 个采收期的双孢蘑菇随着贮藏期的延长其外观品质均呈下降趋势。采收期 I (2~3 cm) 采收的蘑菇其失水率、褐变度及开伞率在贮藏前期(采后第 9 天)均低于采收期 II

(3~4 cm) 和采收期Ⅲ(4~5 cm),这与 Braaksma 等^[7]对双孢蘑菇品种 U1 在常温下的研究结果较一致。根据 Braaksma 等的研究,较早的采收期(菌盖直径 1.5~3 cm)能有效延迟开伞现象,但其贮藏时间很短。本试验研究结果表明,随着贮藏期的延长,采收期Ⅰ采收的双孢蘑菇其外部感官性能急剧下降;采收期Ⅱ采收的双孢蘑菇在外部感官上综合表现均优于其他 2 个采收期,显现出较为稳定的耐贮藏特性;采收期Ⅲ采收的蘑菇其失水率、褐变度及开伞率在整个贮藏期都显著高于其他 2 个采收期,这与李成华等^[6]认为,菌盖直径为 5~6 cm 的双孢蘑菇 Ag2796 在低温条件下($(2 \pm 1)^\circ\text{C}$)具较好的耐贮藏性有所差异。由此可见,采收期对双孢蘑菇采后耐贮藏性的影响不仅与品种自身的生理特性有关,而且与采后的贮藏环境有关。对于低温贮藏($(4 \pm 1)^\circ\text{C}$)的双孢蘑菇品种 W-492 来说,仅从耐贮藏保鲜性能上分析,其采收期应在其直径为 3~4 cm 时采收;如结合生物学产量,对于即将上市的蘑菇可在菌盖直径 4~5 cm 时采收。

双孢蘑菇为呼吸跃变型园艺产品,呼吸强度是衡量其贮藏保鲜的重要因素之一。呼吸强度的大小直接影响着双孢蘑菇的贮藏特性,呼吸强度越高,释放的 CO_2 量越多,贮藏性越差。试验结果表明,采收期Ⅲ的蘑菇呼吸强度在整个采收期明显高于其他 2 个采收期,并在第 6 天出现呼吸高峰,其峰值是采收期Ⅱ呼吸高峰强度的 1.2 倍;采收期Ⅱ的蘑菇到第 9 天才出现呼吸高峰,这与其有较好的耐贮藏性相一致;采收期Ⅰ的蘑菇没有明显的呼吸高峰,可能与测量间隔的时间较长有关,后期的呼吸强度较低与其趋向衰老有关^[18],其在后期较高的丙二醛含量也证明了这一点。3 个采收期的双孢蘑菇总多酚及丙二醛含量积累趋势上表现较为一致,均呈现先低后高的趋势,这与刘吟等^[13]、阎瑞香等^[19]、李南弈等^[20]的研究结果较一致。

在 PPO 活性方面,3 个采收期的 PPO 活性开始出现高峰的时间不尽一致,采收期Ⅰ、采收期Ⅱ和采收期Ⅲ的 PPO 活性分别在第 9 天、第 6 天和第 3 天开始出现高峰,与采收期呈现明显的负相关趋势。随后,3 个采收期的 PPO 活性均呈上升趋势,可能是双孢蘑菇衰老胁迫底物,使得潜伏态的酶又被诱导激发的缘故^[18]。

从理论上讲,褐变度应该和 PPO 活性及底物总多酚呈极显著相关,但试验结果并没有这种趋势,可能因为酶促褐变是一种接触性反应,而生物体内的膜系结构使酶和底物分开,在膜系分区结构尚未破

坏的情况下,褐变反应不会发生。一旦发生膜脂过氧化生成丙二醛,使细胞膜透性增加,褐变发生并得以加剧,由此可以推测,丙二醛含量应和褐变度呈显著或极显著相关,这和本试验结果一致($P < 0.01$)。说明酶促褐变是一个复杂反应过程,而保持菇体内细胞膜脂结构的稳定性有利于抑制酶促褐变进程,这在某种程度上为双孢蘑菇褐变的有效调控提供了理论依据。

参考文献:

- [1] Kerrigan R W. Global genetic resources for *Agaricus* breeding and cultivation[J]. Canadian Journal of Botany, 1995, 73(1): 973-979.
- [2] 王德宇. 双孢蘑菇多糖的分离、纯化及结构研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2008.
- [3] 孟德梅, 申琳, 陆军, 等. 双孢菇采后感官品质变化的因素分析与保鲜技术研究进展[J]. 食品科学, 2011, 31(15): 283-286.
- [4] 张静娥, 郭丹, 韩英群, 等. 采收期对岳帅苹果采后贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2012, 12(1): 12-15.
- [5] Bach V, Kidmose U, Kjeldsen B, et al. Effects of harvest time and variety on sensory quality and chemical composition of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers[J]. Food Chemistry, 2012, 133: 82-89.
- [6] 李成华, 张永丹, 刘吟, 等. 采收期对双孢蘑菇采后耐贮藏品质影响的研究[J]. 中国食用菌, 2009, 28(5): 46-49.
- [7] Braaksma A, Schaap D J, Schipper C M A. Time of harvest determines the post-harvest quality of the common mushroom *Agaricus bisporus* [J]. Postharvest Biology and technology, 1999, 16: 195-198.
- [8] 王赵改, 杨慧, 李靖, 等. 采收期对不同品种双孢蘑菇品质影响研究[J]. 河南农业科学, 2012, 41(7): 107-110, 127.
- [9] 袁陵. 采后钙处理对奉节脐橙果皮褐变及钙调蛋白相关基因表达的影响[D]. 重庆: 重庆大学, 2010.
- [10] 孟德梅, 申琳, 陆军, 等. 双孢菇采后感官品质变化的因素分析与保鲜技术研究进展[J]. 食品科学, 2011, 31(15): 283-286.
- [11] 刘战丽, 王相友. 双孢蘑菇采后生理生化及保鲜技术研究进展[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(11): 183-186.
- [12] 罗晓芳. 组织培养过程中 PPO 活性和总酚含量的研究[J]. 北京林业大学学报, 1999(1): 92-95.
- [13] 刘吟, 李成华, 吴关威, 等. 双孢蘑菇子实体采后褐变及相关生化变化研究[J]. 中国食用菌, 2010, 29(3): 48-51.
- [14] 卞生珍, 杨清香. 双孢菇采后的生理生化变化[J]. 新疆师范大学学报: 自然科学版, 2007, 26(2): 80-83.
- [15] Gormley T R. Chill storage of mushroom[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1985, 26(4): 401-402.
- [16] 孟德梅, 宋天资, 申琳, 等. 采收期对香菇耐贮特性及抗氧化酶系统的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(2): 275-279.
- [17] Hammond J B W, Nichol S R. Changes in respiration and soluble carbohydrates during the post-harvest storage of mushrooms (*Agaricus bisporus*) [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1975, 26(6): 835-842.
- [18] 卞生珍, 杨清香. 双孢菇采后的生理生化变化[J]. 新疆师范大学学报: 自然科学版, 2007, 26(2): 80-83.
- [19] 阎瑞香, 李宁, 朱志强, 等. 不同保鲜膜对双孢菇采后褐变及相关酶活性的影响[J]. 北方园艺, 2010(13): 196-198.
- [20] 李南弈, 金群力, 刘春艳, 等. 双孢蘑菇储藏中的褐变及相关酶活性研究[J]. 食用菌学报, 2009, 16(3): 53-56.