

# 短波紫外线处理对香菇采后品质的影响\*

姜天甲 陆仙英 蒋振晖 裴明黎 应铁进

(浙江大学生物系统工程与食品科学学院,杭州 310029)

**【摘要】** 研究了不同辐能流短波紫外线照射处理对采后香菇在4℃贮藏期间主要生理及品质指标的影响。结果表明:经2.0 kJ/m<sup>2</sup>或4.0 kJ/m<sup>2</sup>的短波紫外线处理后,可以显著抑制香菇硬度和丙二醛(MDA)含量的上升,延缓还原性糖与维生素C的下降并使维生素C含量维持在较高水平,同时促进了类黄酮的次生代谢合成,从而较好地保持香菇的感官品质和营养价值,延长香菇的贮藏保鲜期。这些结果表明,短波紫外线处理对采后香菇的贮藏保鲜具有潜在的应用前景。

**关键词:** 香菇 贮藏 短波紫外线 品质

中图分类号: TS255.3; S646.1<sup>+</sup>2 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2010)02-0108-05

## Effect of UV - C Treatment on Post-harvest Storage Quality of Shiitake Mushrooms

Jiang Tianjia Lu Xianying Jiang Zhenhui Pei Mingli Ying Tiejin

(School of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

### Abstract

The effects of different dose UV - C treatments on main physiological and quality parameters of shiitake mushrooms during storage were investigated. The experimental results indicated that 2.0 kJ/m<sup>2</sup> and 4.0 kJ/m<sup>2</sup> UV - C treatment significantly inhibits the increase in firmness and malonaldehyde (MDA) contents, delays the decrease in reducing sugar and vitamin C contents, and promotes synthesis and accumulation of flavonoid, therefore maintaining better quality, nutrition and extending the shelf life of shiitake mushrooms compared with the control treatment. The results suggested that UV - C treatment has the potential to apply on extending the shelf life of shiitake mushrooms.

**Key words** Shiitake mushrooms, Storage, UV - C, Quality

### 引言

香菇 (*Lentinula edodes*) 是世界第二大食用菌,也是我国特产之一<sup>[1]</sup>。新鲜香菇的含水率一般在90%以上,采后生理代谢旺盛、呼吸强度高、营养物质消耗快,在采收后2~3 d便会因严重失水干枯、皱缩而失去商品价值,给生产和贮运造成很大损失和制约。

低辐能流短波紫外线(UV - C)处理是一种无化学污染的物理处理方法,通过照射诱导果蔬自身

抗病性提高,可减少化学保鲜剂的应用,减轻采后腐烂损失,是一条绿色环保的贮藏保鲜途径。近年来,国外学者利用不同辐能流的UV - C照射采后果蔬,控制腐烂具有较好的效果,均不同程度地减轻了花椰菜(10 kJ/m<sup>2</sup>)、草莓(4.1 kJ/m<sup>2</sup>)、青椒(7.0 kJ/m<sup>2</sup>)、桃(2.4 kJ/m<sup>2</sup>)、葡萄(0.25~0.5 kJ/m<sup>2</sup>)、番茄(3.7 kJ/m<sup>2</sup>)等果蔬病害,延缓了老化过程,提高了贮藏期间的品质<sup>[2-7]</sup>。我国这方面的研究报道较少,迄今尚未见UV - C处理对香菇采后品质、贮藏性变化影响的报道。本文以香菇为试材进行不同辐

收稿日期: 2009-02-17 修回日期: 2009-03-02

\*“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD22B01)

作者简介: 姜天甲, 博士生, 主要从事农产品采后贮藏与保鲜研究, E-mail: m05jiangtianjia@zju.edu.cn

通讯作者: 应铁进, 教授, 博士生导师, 主要从事果蔬采后分子生物学、果蔬储运技术研究, E-mail: tjying@zju.edu.cn

能流 UV - C 照射对采后品质影响的研究,以筛选最佳辐能流,探索 UV - C 控制腐烂、延缓老化的作用,为开展香菇 UV - C 照射贮藏保鲜研究提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与处理

鲜香菇于 2009 年 1 月购自浙江省临安市,品种为花菇-135,采收当天运回实验室,选取朵形完整、菇肉肥厚、盖面平滑、色泽黄褐、个体大小一致、无破损、无畸形、无病虫害的香菇,随机分成 4 组。用紫外线强度计测得距紫外灯 36 cm 处的紫外光强度为  $200 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ,有效波长为 254 nm,在此处分别以辐能流为 0.5、2.0 和  $4.0 \text{ kJ}/\text{m}^2$  对其中 3 组香菇进行

照射处理,每种辐能流处理 21 个菇,3 次重复。照射时间达半程时翻转香菇,使其受照均匀。照射后将香菇装入  $18 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ 、厚 0.04 mm 的低密度聚乙烯(LDPE)保鲜袋并热封口,贮藏量为每袋( $60 \pm 5$ )g,另外 1 组(未照射)直接装袋封口作为对照,分别于  $4^\circ\text{C}$  下贮藏,定期测定各指标。

### 1.2 仪器与设备

TA - XT2i 型质构仪;紫外灯(20 W);TN - 2254 型紫外线强度计;UV - 9200 型紫外可见分光光度计。

### 1.3 测定方法

(1)感官指标测定采用文献[8]的评价方法,如表 1 所示。

表 1 香菇的感官评定指标

Tab. 1 Sense assessment index of shiitake mushroom

色泽		风味	
分值	感官等级	分值	感官等级
4	菌盖新鲜,黄褐色,菌褶白色或乳白色	4	味道正常,有香菇味
3	颜色正常,轻度褐变	3	正常,无气味
2	中度褐变,菌褶颜色变暗	2	微有酸味
1	严重褐变,有霉斑产生	1	明显有霉腐味

(2)失重率采用称量法<sup>[9]</sup>。

(3)呼吸强度采用静置法测定<sup>[10]</sup>,以每千克香菇每小时释放的  $\text{CO}_2$  质量表示,即  $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ 。

(4)硬度用英国 TA - XT2i 型质构仪测定,探头直径为 5 mm,将去柄的香菇菌盖固定在操作台上,探头以 2 mm/s 的穿刺速率进行下压,下压深度为 6 mm,通过力与时间的作用曲线,以最大峰值力( $N_{\text{max}}$ )为硬度指标。

(5)丙二醛(MDA)含量的测定采用硫代巴比妥酸比色法<sup>[11]</sup>。

(6)还原性糖含量的测定采用 3,5-二硝基水杨酸比色法<sup>[12]</sup>。

(7)维生素 C 含量的测定采用碘酸钾滴定法<sup>[13]</sup>。

(8)总酚、类黄酮含量采用文献[14]的方法,以没食子酸作标准曲线计算总酚含量,以芦丁作标准曲线计算类黄酮含量,单位为  $\text{mg}/(100 \text{ g})$ 。

(8)采用 LSD 法进行显著性检验。

## 2 结果与讨论

### 2.1 感官品质

贮藏期间香菇的感官品质变化如表 2 所示。不同的 UV - C 处理均能较好地保持香菇的色泽与风味,其中  $2.0 \text{ kJ}/\text{m}^2$  和  $4.0 \text{ kJ}/\text{m}^2$  处理保鲜效果最

好,贮藏 15 d 时仍能保持香菇的商品价值;对照香菇的保质期最短,在贮藏 15 d 后已干瘪、皱缩,菌褶颜色变暗,失去了鲜香菇的商品价值,这主要是由于其在冷藏过程中仍保持较高的呼吸速率和蒸腾速率,部分失水所致; $0.5 \text{ kJ}/\text{m}^2$  处理保鲜效果居中。

表 2 UV - C 处理对香菇色泽和风味的影响

Tab. 2 Effect of UV - C treatment on color and flavor of shiitake mushroom

贮藏时间/d	指标	处理辐能流/ $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$			
		0	0.5	2.0	4.0
3	色泽	4	4	4	4
	风味	4	4	4	4
6	色泽	4	4	4	4
	风味	4	4	4	4
9	色泽	3	3	4	4
	风味	4	4	4	4
12	色泽	3	3	4	4
	风味	3	3	3	3
15	色泽	2	2	3	3
	风味	2	3	3	3

### 2.2 失重率

贮藏期间香菇的失重率变化如图 1 所示。由图可见,UV - C 处理的失重率均小于对照,对照在 15 d 时失重率为 6.14%,而 UV - C 处理失重率在贮藏期

间始终保持在5%以下,其中 $4.0\text{ kJ/m}^2$ 处理与对照组差异达显著水平( $p < 0.05$ ),但各UV-C处理间无明显差异( $p > 0.05$ )。这说明UV-C处理在一定程度上能有效地降低香菇的呼吸速率,防止水分散失。

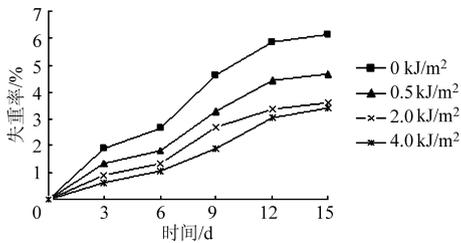


图1 不同处理下香菇失重率随贮藏时间变化曲线

Fig.1 Effect of different UV-C treatments on weight loss of shiitake mushroom

### 2.3 呼吸强度

贮藏期间香菇的呼吸强度变化如图2所示。由图可见,刚采收的香菇呼吸强度较高,贮藏期间对照的香菇呼吸速率下降缓慢,与对照相比,UV-C处理在一定程度上能抑制香菇贮藏期间的呼吸速率,其中 $4.0\text{ kJ/m}^2$ 处理与对照组差异达显著水平( $p < 0.05$ ),但UV-C处理间无明显差异( $p > 0.05$ )。香菇在贮藏中并无呼吸峰出现,可能因为低温( $4^\circ\text{C}$ )贮藏,合成过程的有效ATP减少<sup>[15]</sup>,使呼吸跃变消失或延迟。

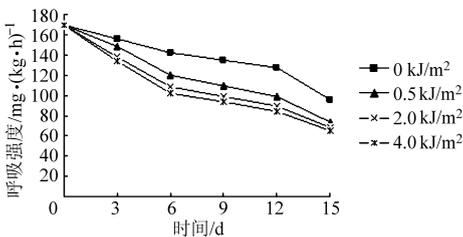


图2 不同处理下香菇呼吸强度随贮藏时间变化曲线

Fig.2 Effect of different UV-C treatments on respiration rate of shiitake mushroom

### 2.4 硬度

香菇贮藏期间的硬度变化如图3所示。在贮藏的前3d中,各种处理的硬度差别不大,3d后 $0.5\text{ kJ/m}^2$ 处理的香菇硬度下降速度较快;对照的香菇硬度呈升高趋势,菇体逐渐老化。 $2.0\text{ kJ/m}^2$ 和 $4.0\text{ kJ/m}^2$ 处理能显著( $p < 0.05$ )抑制香菇硬度的上升,延缓其老化过程,在贮藏后期仍能保持较好的硬度。这可能与适当辐能流的UV-C处理能抑制香菇体内与硬度有关的木质素或纤维素的合成有关。

### 2.5 丙二醛(MDA)含量

MDA可以损伤香菇的生物膜,使膜蛋白发生聚合,同时降低膜脂的不饱和度而引起膜流动性降低,造成细胞膜系统损害,加速香菇衰老<sup>[16]</sup>。香菇贮藏

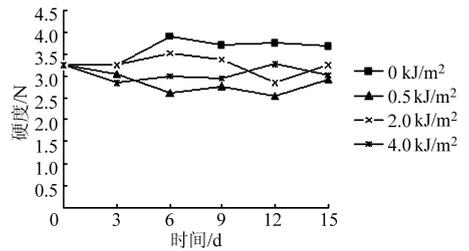


图3 不同处理下香菇硬度随贮藏时间变化曲线

Fig.3 Effect of different UV-C treatments on firmness of shiitake mushroom

期间的MDA含量变化如图4所示。在贮藏期间,与对照的MDA含量逐渐上升的趋势相比, $0.5$ 、 $2.0$ 和 $4.0\text{ kJ/m}^2$ 处理可抑制这种上升趋势,15d时MDA含量分别为对照的77.1%、82.0%和69.9%,对照与UV-C处理间差异达显著水平( $p < 0.05$ ),表明UV-C处理可以抑制香菇的氧化损伤。

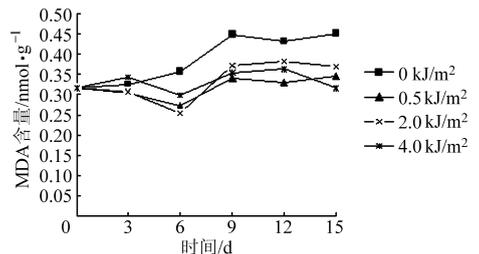


图4 不同处理下香菇MDA含量随贮藏时间变化曲线

Fig.4 Effect of different UV-C treatments on MDA content of shiitake mushroom

### 2.6 还原性糖质量比

贮藏期间香菇的还原性糖质量比变化如图5所示。由图可见,随着贮藏时间的增加,不同处理的香菇还原性糖含量均呈逐渐下降趋势。 $2.0\text{ kJ/m}^2$ 和 $4.0\text{ kJ/m}^2$ 处理的香菇还原性糖含量下降速率要小于其他处理,15d时分别为对照的126.7%与132.5%。还原性糖是果蔬采后的主要呼吸底物<sup>[13]</sup>,随着贮藏时间的延长其含量会逐渐下降。 $2.0\text{ kJ/m}^2$ 和 $4.0\text{ kJ/m}^2$ 的UV-C处理抑制了香菇采后的呼吸作用,从而保持了较高的还原性糖含量,延缓香菇品质的下降。

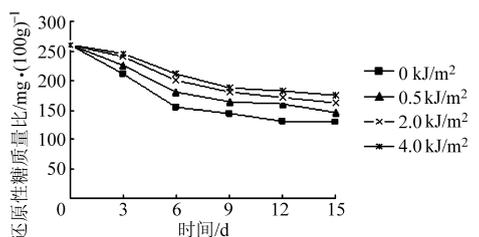


图5 不同处理下香菇还原性糖含量随贮藏时间变化曲线

Fig.5 Effect of different UV-C treatments on reducing sugar content of shiitake mushroom

### 2.7 维生素C质量比

香菇贮藏期间的维生素C质量比变化如图6

所示。由于呼吸作用及氧化作用的进行,贮藏的前3 d 维生素 C 含量迅速下降,随后下降速度缓慢并维持在一定水平。经 UV - C 处理的香菇维生素 C 含量在前3 d 下降速率要明显小于对照,在整个贮藏期间始终维持在较高水平,且到后期呈升高趋势。其中,以  $4.0 \text{ kJ/m}^2$  和  $2.0 \text{ kJ/m}^2$  处理的香菇表现最明显,贮藏至 15 d 时维生素 C 质量比分别为 3.23 与  $2.84 \text{ mg}/(100 \text{ g})$ ,显著高于  $0.5 \text{ kJ/m}^2$  处理的  $2.42 \text{ mg}/(100 \text{ g})$  ( $p < 0.05$ ),且与对照间差异达极显著水平 ( $p < 0.01$ )。这说明适当剂量的 UV - C 处理能够有效地防止香菇中维生素 C 的损耗,提高其贮藏品质。

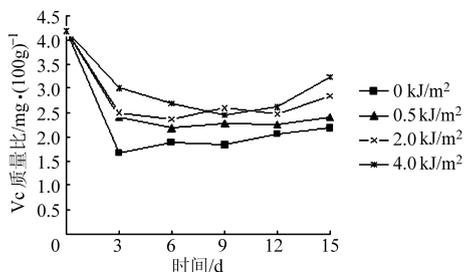


图6 不同处理下香菇维生素 C 含量随贮藏时间变化曲线  
Fig. 6 Effect of different UV - C treatments on vitamin C content of shiitake mushroom

## 2.8 总酚和类黄酮质量比

酚类物质的氧化是影响采后香菇菇体组织色泽褐变、暗淡的主要因素,严重影响采后香菇的外观品质和商品价值。贮藏期间香菇的总酚和类黄酮质量比变化如图 7、8 所示。由图可知,各处理的总酚和类黄酮的变化趋势基本相同,呈前期下降后期上升的趋势。但总酚含量在各处理间无显著差异 ( $p > 0.05$ )。

对照的香菇在贮藏期间类黄酮含量逐渐减少,15 d 时的类黄酮含量为开始贮藏时的 89.4%; UV - C 处理在 9 d 后有效促进了类黄酮含量的增加,15 d 时分别为对照的 122.4%、142.8% 和 133.6%,处理与对照间差异达显著水平 ( $p < 0.05$ )。其中以  $2.0 \text{ kJ/m}^2$  和  $4.0 \text{ kJ/m}^2$  处理的香菇表现最明显。这表明 UV - C

照射促进了香菇贮藏中类黄酮物质的次生代谢合成。酚类物质的积累,表明酶促褐变受到抑制,菇体组织的褐变减轻。

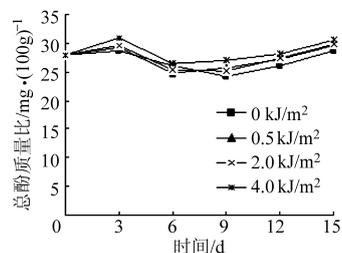


图7 不同处理下香菇总酚随贮藏时间变化曲线  
Fig. 7 Effect of different UV - C treatments on total phenolic of shiitake mushroom

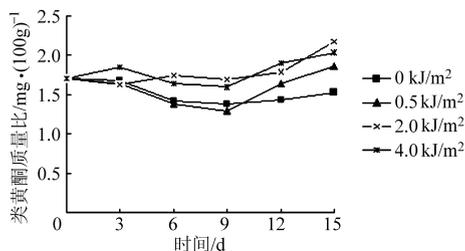


图8 不同处理下香菇类黄酮随贮藏时间变化曲线  
Fig. 8 Effect of different UV - C treatments on flavonoid of shiitake mushroom

## 3 结束语

未经 UV - C 处理的香菇在贮藏期间,MDA 含量逐渐增加,还原性糖、维生素 C 与类黄酮含量逐渐降低,导致香菇迅速老化,表现为菇体褐变,硬度升高,失去原有的风味与品质。

辐能为  $2.0 \text{ kJ/m}^2$  或  $4.0 \text{ kJ/m}^2$  的 UV - C 处理能降低呼吸速率,抑制 MDA 含量的增加,延缓还原性糖与维生素 C 含量的下降并使维生素 C 保持在相对较高的水平上,促进了采后香菇类黄酮次生代谢合成,在增加香菇功能成分含量的同时,保持香菇较高的品质,延长香菇的贮藏保鲜期。 $0.5 \text{ kJ/m}^2$  的 UV - C 处理保鲜效果相对较弱。

## 参 考 文 献

- 李月梅. 香菇的研究现状及发展前景[J]. 微生物学报, 2005, 32 (4): 149 ~ 152.  
Li Yuemei. Research status and prospect of *Lentinula edodes* [J]. Microbiology, 2005, 32 (4): 149 ~ 152. (in Chinese)
- Costa L, Vicente A R, Civello P M, et al. UV-C treatment delays postharvest senescence in broccoli florets [J]. Postharvest Biol. Technol., 2006, 39 (2): 204 ~ 210.
- Jeronimo P, Vicente A R, Martinez G A, et al. Combined use of UV-C irradiation and heat treatment to improve postharvest life of strawberry fruit [J]. J. Sci. Food Agric., 2004, 84 (14): 1831 ~ 1838.
- Ariel RV, Carlos P, Laura L, et al. UV-C treatment reduce decay, retain quality and alleviate chilling injury in pepper [J]. Postharvest Biol. Technol., 2005, 35 (1): 69 ~ 78.
- Gustavo G A, Chien Y W, George J B. UV-C irradiation reduces breakdown and chilling injury of peaches during cold storage [J]. J. Sci. Food Agric., 2004, 84 (5): 415 ~ 422.

- 6 Nigro F, Ippolito A, Lima G. Use of UV-C light to reduce Botrytis storage rot of table grapes [J]. *Postharvest Biol. Technol.*, 1998, 13 (3): 171 ~ 181.
- 7 Maharaj R, Arul J, Nadeau P. Effect of phytochemical treatment in the preservation of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Capello) by delaying senescence [J]. *Postharvest Biol. Technol.*, 1999, 15 (1): 13 ~ 23.
- 8 刘燕, 卢立新. 香菇气调保鲜包装工艺研究 [J]. *贮运与保鲜*, 2007, 33 (11): 155 ~ 158.  
Liu Yang, Lu Lixin. Research on the modified atmosphere packaging technology of *Lentinus edodes* [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2007, 33 (11): 155 ~ 158. (in Chinese)
- 9 吴广臣. 食品质量检验 [M]. 北京: 中国计量出版社, 2006.
- 10 南京大学. 无机及分析化学实验 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- 11 蒋德安. 植物生理实验手册 [M]. 成都: 四川科技出版社, 1998.
- 12 杨新美. 食用菌研究法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- 13 曹建康, 姜微波, 赵玉梅, 等. 果蔬采后生理生化实验指导 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
- 14 林植芳, 李双顺, 张东林. 采后荔枝果皮色素、总酚及有关酶活性的变化 [J]. *植物学报*, 1988, 30 (16): 40 ~ 45.  
Lin Zhifang, Li Shuangshun, Zhang Donglin. Changes of pigment, phenol and enzyme activity in postharvest litchi fruit peel [J]. *Journal of Integrative Plant Biology*, 1988, 30 (16): 40 ~ 45. (in Chinese)
- 15 李志澄, 刘斌. 蔬菜现代贮藏技术 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985.
- 16 陈少裕. 膜脂过氧化对植物细胞的伤害 [J]. *植物生理学通讯*, 1991, 27 (2): 84 ~ 90.  
Chen Shaoyu. Injury of membrane lipid peroxidation to plant cell [J]. *Plant Physiology Communications*, 1991, 27 (2): 84 ~ 90. (in Chinese)

(上接第 107 页)

(2) 通过对传统风力机制动数学模型的研究分析, 设计了柔性制动系统, 并搭建了可模拟风力机真实运行工况的半物理仿真实验台。

(3) 通过半物理仿真实验, 验证了柔性制动系统的可行性, 与传统的制动系统相比, 柔性制动系统能够有效地减小齿轮箱扭矩波动, 使制动过程平缓。

#### 参 考 文 献

- 1 李俊峰, 高虎, 王仲颖, 等. 2008 中国风电发展报告 [R]. 北京: 中国环境科学出版社, 2008.  
Li Junfeng, Gao Hu, Wang Zhongying, et al. China wind power report 2008 [R]. Beijing: China Environment Science Publishing Company, 2008. (in Chinese)
- 2 叶杭冶. 风力发电机组的控制技术 [M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- 3 Rajambal K, Umamaheswari B, Chellamuthu C. Electrical braking of large wind turbines [J]. *Renewable Energy*, 2005, 30 (15): 2 235 ~ 2 245.
- 4 Hancke G P, Zietsman R E. A control system for maintaining constant braking torque on a disk brake dynamometer [C]. *IEEE*, 1989, 3: 307 ~ 312.
- 5 林勇刚, 徐立, 李伟, 等. 电液比例变桨距风力机半物理仿真试验台 [J]. *中国机械工程*, 2005, 16 (8): 667 ~ 670.  
Lin Yonggang, Xu Li, Li Wei, et al. Semi-physical simulation test-bed for electro-hydraulic proportional pitch-controlled wind turbine system [J]. *China Mechanical Engineering*, 2005, 16 (8): 667 ~ 670. (in Chinese)
- 6 骆涵秀, 李世伦, 朱捷, 等. 机电控制 [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1994.
- 7 董景新, 赵长德, 熊沈蜀, 等. 控制工程基础 [M]. 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2003.