

# 不同剂量短波紫外线照射对采后番茄后熟和发病的影响

荣瑞芬 冯双庆

(中国农业大学食品学院)

**摘要** 给采后绿熟番茄照射不同剂量短波紫外线并人工接种交链孢霉,测定其呼吸和乙烯产生速率、转色及发病指标,进行了贮藏保鲜效果分析。结果表明 2.4~3.6 kJ·m<sup>-2</sup>照射剂量能推迟呼吸及乙烯释放高峰 1~3 d,延缓番茄的成熟和转色,控制贮期病害发生。

**关键词** 番茄; 紫外照射; 后熟; 发病

**分类号** S609.3

## Effect of UV-C Light Irradiation on Ripening and Disease Infection of Postharvest Tomato

Rong Ruifen Feng Shuangqing

(College of Food Science and Technology, CAU)

**Abstract** After being irradiated with UV-C light of various dosages and artificially inoculated with *Alternaria alternaria* artificially, mature-green tomato were examined with respect to the preservation effect and disease resistance in terms of the index of respiration rate, ethylene production, color development and infection. The results showed that the respiration rate and ethylene production of fruit irradiated with UV-C light of 2.4~3.6 kJ·m<sup>-2</sup> doses were delayed 1~3 days, the ripening and color development were retarded and the disease infection was reduced.

**Key words** tomato; UV-C light; ripening; infection

新鲜水果蔬菜采后腐烂是一个全球性的问题,其中微生物侵染是造成腐烂的主要原因之一。美国等发达国家约 30% 的采后果蔬因腐烂而损失<sup>[1]</sup>,我国由于采后处理能力及冷藏设施不足,采后腐烂更加严重。目前控制腐烂最有效的措施是低温贮藏结合化学防腐剂的应用。由于防腐剂对人体健康及环境的不良影响,世界卫生组织已禁止使用一些化学防腐剂。因此探索一条可替代化学防腐的果蔬贮藏途径已势在必行,非化学防腐的果蔬贮藏研究不仅符合当前消费者对食品“天然、营养、安全”的要求,也符合发展绿色食品的果蔬贮藏趋势。利用短波紫外线(波长小于 280 nm 的紫外线,简称 UV-C)照射采后果蔬控制腐烂,延长采后寿命,是一种非化学防腐的果蔬保鲜方法,国外学者在这一领域已进行了许多品种的研究,表现出较好的效果<sup>[1~5]</sup>,而我国这方面的研究尚未见报道。以番茄为试材进行不同剂量短波紫外线照射贮藏效果研究,旨在筛选最佳照射剂量,探索 UV-C 对延缓果实成熟、控制腐烂的作用,为开展紫外照射贮藏及诱导采后抗病性研究提供理论依据。

收稿日期: 2000-07-24

荣瑞芬,北京圆明园西路 2 号中国农业大学(西校区),100094

## 1 材料和方法

### 1.1 UV-C 处理及贮藏条件

试验分 2 批进行, 紫外灯光源为功率 30 W, 长 88 cm, 直径 2.5 cm 的紫外杀菌灯, 先用 ZQJ-254 型紫外线强度计测得距紫外灯 10 cm 处紫外辐射强度为  $1.2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , 依据不同的照射时间确定照射剂量, 照射时先照番茄果顶面, 再照果蒂面, 以总照射时间确定照射剂量(表 1)。每处理随机取 20 个果, 重复 2 次。紫外照射处理后立即将番茄装入纸箱中, 保持黑暗, 曝光处理为紫外照射处理后不同时间曝光 12 h, 再返回黑暗条件下, 18~20 下存放, 每隔 1 d 观察番茄的转色及发病情况。

表 1 2 批试验的不同 UV-C 处理

第 1 批试验			第 2 批试验		
UV-C 剂量/ $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$	照射时间 $t/\text{s}$	曝光处理	UV-C 剂量/ $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$	照射时间 $t/\text{s}$	曝光处理
CK	0		CK	0	
3.6	300		2.4	200	
3.6 光	300	立即曝光	3.6	300	
6.0	500		4.8	400	
			3.6 光 1	300	24 h 后曝光
			3.6 光 2	300	48 h 后曝光

3.6 光为 UV-C 处理后立即曝光, 光 1 为 UV-C 处理后 24 h 曝光, 光 UV-C 处理后 48 h 曝光, 下同。

### 1.2 转色及发病指标的测定

转色及病斑级别分为 5 级

0 级——全绿, 1 级——果顶转色, 2 级——果顶及果面部分转色, 3 级——果面大部转色, 4 级——果面全部转色。

转色率  $Q = \text{转色果数} / \text{检查总果数} \times 100\%$

转色指数 =  $[\sum(\text{转色级别} \times \text{该级别果数}) / (4 \times \text{检查总果数})] \times 100\%$

自然发病级别:

0 级——无病斑

1 级——病斑个数 < 3 个, 病斑直径 < 5 mm

2 级——病斑个数 < 3 个, 病斑直径 < 8 mm

3 级——病斑个数 < 3 个, 病斑直径 < 15 mm

4 级——病斑个数 > 3 个, 最大病斑直径 > 15 mm

人工接种发病级别:

0 级——无病斑

1 级——病斑直径 < 10 mm

2 级——病斑直径 10~20 mm

3 级——病斑直径 20~30 mm

4级——病斑直径> 30 mm

发病率 $\varphi$  = 发病果数/检查总果数  $\times$  100%

发病指数 =  $[\sum(\text{发病级别} \times \text{该级别个数}) / (4 \times \text{检查总果数})] \times 100\%$

### 1.3 呼吸强度和乙烯的测定

呼吸强度: 静止法, 同时取气样存于小瓶中。

乙烯: 气谱法。条件: 进样口温度 120 , 柱温 80 , 检测器温度 150 , 填充柱 GDX-502, 柱长 2 m, 直径 3 mm, 载气流速  $20 \text{ mL} \cdot \text{m} \cdot \text{in}^{-1}$ , 氢气流速  $30 \text{ mL} \cdot \text{m} \cdot \text{in}^{-1}$ , 空气流速  $350 \text{ mL} \cdot \text{m} \cdot \text{in}^{-1}$ 。

### 1.4 人工接种

将从病果上分离纯化的黑霉菌菌交链孢在含有 PDA 培养基的试管中培养 6 d 后, 加入 5 mL 含 0.03% 吐温 80 的无菌水, 剧烈振荡制成孢子悬浮液, 通过血球计数板确定孢子悬浮液浓度, 然后稀释至浓度为  $7.5 \times 10^4$  的悬液。用 75% 的乙醇将对照及 UV-C 处理 3 d 后的番茄进行表面消毒, 再用消毒过的牙签在果面上平均划 3 个 3 mm 长  $\times$  3 mm 深的伤口, 然后用无菌移液枪接种 20  $\mu\text{L}$  制备好的孢子悬液。接种后的番茄装入食品保鲜袋中, 袋中放置无菌湿滤纸保湿, 扎紧袋口置 24 培养箱中培养, 每隔 1 d 检查感病及病斑发展情况。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同剂量 UV-C 处理对番茄转色的影响

不同剂量 UV-C 处理对番茄的转色影响不同。从表 2 中可以看出对照和  $6.0 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$  处理果转色较早, 采后 4 d CK 和  $6.0 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$  果转色率均为 20%, 转色指数分别为 7.5% 和 5.0%, 而  $3.6 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$  及其曝光处理果转色率分别为 10% 和 0%。采后 15 d, 各处理果全部转红, 但  $3.6 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$  及其曝光处理果转色指数仍较小为 52.5%, 显著低于 CK 的 72.5%, 也低于  $6.0 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$  的 55%。从表 3 数据可知采后 10 d 对照与各处理果基本转红, 但以 2.4, 3.6, 4.8  $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$  处理果转色程度低, 转色指数分别为 45%, 47.5% 和 47.5%, 较对照转色指数 87.5% 显著降低 42.5%, 40% 和 40%, 2 个曝光处理果转色指数稍高于不曝光处理, 但无显著差异。2 次试验结果表明 2.4, 3.6, 4.8  $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$  及  $3.6 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$  曝光紫外处理能显著推迟番茄果实成熟, 延缓转色; 可见光对 UV-C 处理推迟成熟的作用影响较小。

### 2.2 UV-C 处理对番茄发病的影响

不同 UV-C 照射剂量对番茄发病的影响不同。表 2 结果表明采后 20 d  $3.6 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$  及其曝光处理果发病率为 10%, 显著低于对照发病率的 30%,  $6.0 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$  处理果发病率为 20%, 由此可知 UV-C 处理后曝光与不曝光控制病害效果一致, 果实发病率并不随照射剂量增大而降低。表 3 人工接种试验中 UV-C 处理控制病害效果与表 2 结果相似。接种 17 d 时, 5 个处理中, UV-C 处理果发病率及发病指数都极显著地低于对照, 以  $3.6 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$  处理果发病率及发病指数最低, 分别为 8.3%, 和 3.3%, 表明 UV-C 处理可提高番茄的抗病性, 控制番茄病害以  $3.6 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$  剂量最好, 其次为 2.4 和  $3.6 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$  曝光处理。

表 2 第 1 批 UV-C 处理番茄转色及发病情况

采后天数 t/d	处理 kJ·m <sup>-2</sup>	转色率 Q/%	转色指数 /%	采后天数 t/d	发病率 Q/%	发病指数 /%
4	CK	20	7.5			
	3.6	10*	2.5**			
	3.6光	0**	0**			
	6.0	20	5.0			
6	CK	30	22.5			
	3.6	10	7.5			
	3.6光	20	2.5			
	6.0	50	12.5			
10	CK	80	52.5		20	7.5
	3.6	90	40		10*	2.5*
	3.6光	80	40	15	10	2.5*
15	CK	100	72.5		30	12.5
	3.6	100	52.5*		10**	2.5
	3.6光	100	52.5*	20	10**	2.5
	6.0	100	55		20	5.0

表 3 第 2 批 UV-C 处理番茄转色及人工接种发病情况

采后天数 t/d	处理 kJ·m <sup>-2</sup>	转色率 Q/%	转色指数 /%	采后天数 t/d	发病率 Q/%	发病指数 /%
6	CK	70	27.5		8.3	1.83
	2.4	30*	10**		0	0
	3.6	60**	15**		0	0
	4.8	40**	10**	12	16.67	5
	3.6光1	60	17.5		25	8.3
8	CK	100	67.5		16.67	8.3
	2.4	80	25		0	0
	3.6	80	32.5		0	0
	4.8	80	30	14	41.67	11.67
	3.6光1	90	42.5		25	10
10	CK	100	87.5		58.3	36.67
	2.4	90	45**		33.3**	10**
	3.6	100	47.5**		8.3**	3.3**
	4.8	100	47.5**		41.67**	23.3*
	3.6光1	100	50**	17	33.3**	20**
10	3.6光2	100	52.5**		25**	16.67**

贮藏温度为 20

\* 为 0.05 显著水平, \*\* 为 0.01 显著水平, 下同。

### 2.3 不同 UV-C 处理对番茄呼吸强度的影响

UV-C 处理均不同程度地抑制了番茄的呼吸强度。图 1 中 CK 第 7 天出现呼吸高峰, 峰值为 20.8 mg·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>; 3.6 kJ·m<sup>-2</sup> 处理果呼吸高峰出现在采后第 9 天, 较对照推迟 2 d, 峰值较小为 17.27 mg·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>; 6.0 kJ·m<sup>-2</sup> 处理果呼吸高峰较 3.6 kJ·m<sup>-2</sup> 的稍高, 但也低于对照。图 2 结果表明对照与 3.6 kJ·m<sup>-2</sup> 光 1 处理果呼吸高峰出现较早, 在采后第 6 天, 且 3.6 kJ·m<sup>-2</sup> 光 1 高峰值较对照高, 这可能与它的起始呼吸值高有关; 2.4 kJ·m<sup>-2</sup>, 3.6 kJ·m<sup>-2</sup> 及 4.8 kJ·m<sup>-2</sup> 处理果呼吸高峰出现在采后第 9 天, 峰值与对照相近, 无显著差异。图 1、图 2 的结果表明低剂量 UV-C 处理能推迟呼吸高峰 1~3 d, 在转色上表现为开始转色比对照晚, 转色指数较对照小, 与所观察的番茄转色情况一致。

### 2.4 不同 UV-C 处理对番茄乙烯释放量的影响

UV-C 处理对番茄乙烯释放量的影响与对呼吸的影响趋势大致相同。两批处理中对照乙烯高峰均出现在采后第 6 天, 峰值分别为 17.64 和 28.36 μL·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>; 而 3.6 kJ·m<sup>-2</sup> 和 2.4 kJ·m<sup>-2</sup>, 3.6 kJ·m<sup>-2</sup> 及 4.8 kJ·m<sup>-2</sup> 处理果乙烯高峰被推迟 1~2 d, 分别出现在采后第 7 天和第 8 天, 峰值也相应降低, 分别为 9.0, 14.58, 15.7 和 17.52 μL·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>。6.0 kJ·m<sup>-2</sup> 处理果乙烯高峰值较高, 为 34.86 μL·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>, 这可能与高剂量照射对番茄产生胁迫效应有关, 使得乙烯产生量加大。

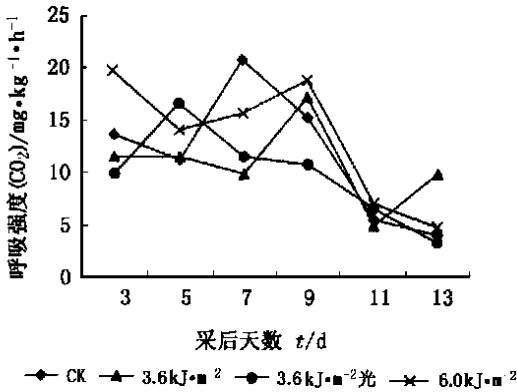


图1 第1批UV-C处理对番茄呼吸强度的影响

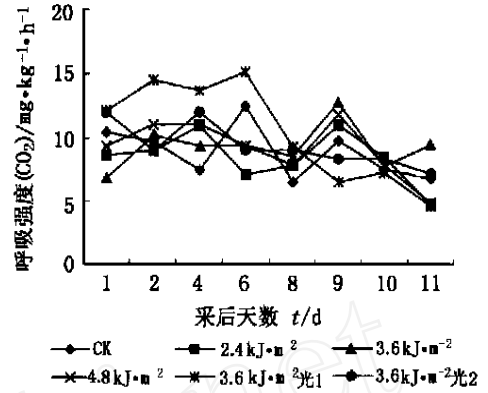


图2 第2批UV-C处理对番茄呼吸强度的影响

### 3 讨论

紫外照射是一种非电离辐射,它只能穿透果蔬的表面组织。UV-C具有杀菌作用,已经被作为一种有效的杀菌消毒手段而利用。UV-C照射采后果蔬控制病害,延长采后寿命的作用可能包括它的杀菌作用,但不仅限于这一点。许多研究报道了低剂量紫外照射植物能够产生生物学效应,如促进种子发芽、植物生长和诱导植物产生抗病性<sup>[6]</sup>。本研究中人工接种试验结果也表明UV-C照射能诱导番茄产生抗病性,抑制病害发生及发展。但是高剂量UV-C照射会造成果实表面褐变,出现烫伤状病害,本试验中 $60\text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 照射剂量处理后,有些番茄表面出现少量针点状褐斑,由褐斑极易引起番茄发病,与Liu<sup>[7]</sup>的研究结果一致。

乙烯能促进果实成熟。低剂量UV-C处理能推迟呼吸和乙烯高峰的出现,本试验 $2.4, 3.6\text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 照射能推迟番茄1~3d出现呼吸和乙烯高峰,在成熟转色上表现为延缓转红,与Maharaj报道的“推迟alco-baca番茄呼吸和乙烯高峰7~9d”有差异<sup>[8]</sup>。Liu<sup>[7]</sup>的研究表明 $3.6\sim 7.5\text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 剂量能延缓转色,提高保鲜率,我们的研究表明佳粉15番茄的适宜剂量为 $2.4\sim 4.8\text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 。这可能与所选试材不同有关。果实成熟度越高抗病性越小,UV-C处理提高抗病性作用与它能延缓成熟有关。Maharaj<sup>[8]</sup>的研究表明低剂量UV-C能维持果实中高水平腐胺(一种多胺)含量,多胺的生物合成和许多胁迫有关,它是具多重功能的抗衰老因子,能够抑制乙烯的产生,稳定细胞膜结构,清除由衰老而导致的自由基,从而延缓衰老。

紫外照射会造成DNA损害,可见光具有消除其损害,恢复DNA功能的作用,紫外照射还可引起植物其它的生理生化变化<sup>[9]</sup>。Steven在研究UV-C控制桃褐腐病时,设计了可见光恢复因素,其研究结果表明UV-C处理后立即暴露于可见光下,果实的发病率与对照间无显著差异,认为UV-C诱导的抗病性能被可见光消除<sup>[4]</sup>。本试验中UV-C处理后暴露于可见光与不暴露可见光间的发病率无显著差异,表明可见光不能消除UV-C延缓着色、控制病害的作用。UV-C照射延缓衰老,诱导抗病性可能涉及到更为复杂的生理生化过程,其机理还需进行深入细致的研究。

## 参 考 文 献

- 1 Charles L Wilson, Ahmed Edo Chalutz, Samir Droby, et al Potential of induced resistance to control postharvest diseases of fruits and vegetables Plant Disease, 1994, 78(9): 837~ 844
- 2 Droby S E, Chalutz E, et al Factors affecting UV -induced resistance in grapefruit against the green decay caused by *Penicillium digitatum*. Plant Pathology, 1993, 42: 424~ 428
- 3 Stevens C, Khan V A, Lu J Y, et al Induced resistance of sweetpotato to Fusarium root rot by UV -C hommesis Crop Protection, 1999, 18: 463~ 470
- 4 Stevens C, Khan V A, Lu J Y, et al The gemicidal and hometic effects of UV -C light on reducing brown rot disease and yeast microflora of peaches Crop Protection, 1998, 17(1): 75~ 84
- 5 毕阳. 采后短波紫外线照射对果蔬腐烂的控制. 食品科学, 1996, 17(12): 58~ 61
- 6 Victor Rodov, Shimshon Ben-Yehoshua, Jong Jin Kim, et al Ultraviolet illumination induces scoparone production in kumquat and orange fruit and improves decay resistance J Amer Soc Hort Sci, 1992, 117(5): 788~ 792
- 7 Liu J, Stevens C, Khan V A, et al Application of ultraviolet-C light on storage rots and ripening of tomatoes J of Food Protection 1993, 56(10): 868~ 872
- 8 Maharaj R, Arul J, Nadeau P. Effect of photochemical treatment in the preservation of fresh tomato by delaying senescence Postharvest Biology and Technology. 1999, 15: 13~ 21
- 9 余叔文. 植物生理与分子生物学. 北京: 科学出版社, 1998. 770~ 860