

# 短波紫外线处理对鲜切果蔬品质及抗氧化活性的影响研究进展

方晓彤<sup>1,2,3,5</sup>,陶永霞<sup>5</sup>,沈琦<sup>1,2,3,5</sup>,邵旭鹏<sup>1,2,3,5</sup>,王艳<sup>5</sup>,王成<sup>3,4,\*</sup>,刘峰娟<sup>1,2,3,\*</sup>

- (1.新疆农业科学院农业质量标准与检测技术研究所,新疆乌鲁木齐 830091;
- 2.农业农村部农产品质量安全风险评估实验室,新疆乌鲁木齐 830091;
- 3.新疆农产品质量安全重点实验室,新疆乌鲁木齐 830091;
- 4.新疆农业科学院科研管理处,新疆乌鲁木齐 830091;
- 5.新疆农业大学食品科学与药学学院,新疆乌鲁木齐 830052)

**摘要:**鲜切果蔬因具有营养、便利、新鲜、可食率达100%等特点,越来越受到人们的关注。但鲜切果蔬由于受到机械损伤,其品质下降、易被微生物污染。短波紫外线作为一种非热力杀菌技术,近年来被研究者们用于鲜切果蔬保鲜,得到了良好的效果。本文介绍了鲜切果蔬及短波紫外线技术的特点,综述了短波紫外线处理对鲜切果蔬安全品质、营养品质及感官品质的影响及短波紫外线处理对鲜切果蔬抗氧化物质及抗氧化活性的作用,并讨论短波紫外线技术在鲜切果蔬中的应用前景,为短波紫外线处理鲜切果蔬的深入研究和推广应用提供重要的理论依据和参考。

**关键词:**短波紫外线,鲜切果蔬,杀菌技术,营养品质,安全,抗氧化活性

## Research Development of Shortwave Ultraviolet Treatment on the Quality and Antioxidant Activity of Fresh-cut Fruits and Vegetables

FANG Xiao-tong<sup>1,2,3,5</sup>, TAO Yong-xia<sup>5</sup>, SHEN Qi<sup>1,2,3,5</sup>, SHAO Xu-peng<sup>1,2,3,5</sup>,  
WANG Yan<sup>5</sup>, WANG Cheng<sup>3,4,\*</sup>, LIU Feng-juan<sup>1,2,3,\*</sup>

- (1. Institute of Agricultural Quality Standard and Testing Technology, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China;
2. Laboratory of Quality and Safety Risk Assessment of Agricultural Products of Rural Ministry of Agriculture, Urumqi 830091, China;
3. Xinjiang Key Laboratory of Quality and Safety of Agricultural Products, Urumqi 830091, China;
4. Administration of Scientific Research, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China;
5. College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

**Abstract:** Fresh-cut fruits and vegetables are more and more concerned because of their nutrition, convenience, freshness and edible rate of 100%. However, due to mechanical damage, fresh-cut fruits and vegetables causes quality problems such as deterioration of quality and microbial contamination, which has restricted their industrial development. Therefore, how to preserve fresh-cut fruits and vegetables and extend their shelf life is an urgent problem to be solved. As a non-thermal sterilization technology, shortwave ultraviolet (UV-C) are used by researchers in fresh-cut fruits and vegetables for fresh-keeping in recent years, and has received good results. This paper introduces the characteristics of fresh-cut fruits and vegetables and shortwave ultraviolet technology. The effects of UV-C treatment on the safety quality, nutritional quality and sensory quality of fresh-cut fruits and vegetables, and the effects of UV-C treatment on antioxidants and antioxidant activity of fresh-cut fruits and vegetables are reviewed, and discusses the application prospect of short-wave ultraviolet radiation technology in fresh-cut fruits and vegetables, which would provide important theoretical basis and reference for the in-depth research and promotion of short-wave ultraviolet treatment of fresh-cut fruits and vegetables.

**Key words:** shortwave ultraviolet (UV-C); fresh cut fruits and vegetables; sterilization technology; nutritional quality; safety; antioxidant activity

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2020)10-0344-06

收稿日期: 2019-08-29

作者简介: 方晓彤(1996-),女,硕士研究生,研究方向:农产品贮藏保鲜,E-mail:fangxiaotongfxt@163.com。

\*通讯作者:王成(1971-),男,硕士,研究员,研究方向:农产品质量安全,E-mail:wangcheng312@sina.com。

刘峰娟(1985-),女,博士,副研究员,研究方向:农产品质量安全,E-mail:liufengjuan2050@126.com。

基金项目:现代农业产业技术体系项目(CARS-25);新疆维吾尔自治区天山雪松计划(2017XS07);自治区天山英才工程项目。

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2020.10.058

引文格式:方晓彤,陶永霞,沈琦,等.短波紫外线处理对鲜切果蔬品质及抗氧化活性的影响研究进展[J].食品工业科技,2020,41(10):344-349.

鲜切果蔬起源于上世纪50年代<sup>[1]</sup>的美国,起初以去皮马铃薯为主原料<sup>[2]</sup>,后出现切分成薄片、条状的马铃薯鲜切产品。20世纪60年代出现了商业化发展的鲜切产业,但果蔬种类较少,保存时间较短,主要用于供应速食店。在我国,随着人民生活水平的提高,部分地区的超市、餐厅出售的鲜切果蔬越来越多,随着保鲜技术的发展和更新换代,鲜切果蔬的品质有了改善。然而,货架期短和加工后果蔬质量下降是制约鲜切果蔬发展的关键问题。因此如何解决鲜切果蔬由于受到削皮、切割等机械损伤出现的微生物侵染、营养损失、组织软化、褐变等问题已成为研究热点。

目前对鲜切果蔬保鲜的技术分为物理、化学、生物保鲜方法,由于人们对食品安全关注度逐渐增强,化学保鲜方法遭到排斥,物理保鲜方法认可度较高。短波紫外线处理属于物理保鲜方法,是自然光中的一种光线。在电磁波谱中,将波长范围在100~400 nm之间的电磁辐射称为紫外线。根据紫外线波长的差异,分为长波紫外线(UV-A)、中波紫外线(UV-B)和波长为短波紫外线(UV-C)。波长分别为315~340、280~320、200~280 nm。早期短波紫外线作为非热处理技术因其操作简单、安全、无化学残留等优点受到了广泛的关注和认可,对其的研究重点主要是杀菌消毒功能,近年来,UV-C的研究重点已从消毒杀菌等安全性能转变为保证食品质量的保鲜技术。

因此本文就近年来短波紫外线对鲜切果蔬安全、营养、感官品质及紫外线诱导对果蔬中抗氧化物质和抗氧化活性的影响进行综述,以期短波紫外线在鲜切果蔬中的应用提供参考。

## 1 UV-C 处理在果蔬中的应用

早期短波紫外线作为非热处理技术因其操作简单、安全、无化学残留等优点受到了广泛的关注和认可,对其的研究重点主要是杀菌消毒的功能,如使用短波紫外线可杀灭用于洗涤废水中的病原菌,减少水资源的浪费<sup>[3]</sup>。使用UV-C处理蔓越莓调味果汁,能有效的减少微生物数量、抑制大肠杆菌和沙门氏菌,在灭菌的同时,还可将花青素和抗坏血酸降低含量控制在FDA允许范围内<sup>[4]</sup>。

近年来,UV-C的研究重点已从消毒杀菌等安全性能转变为保证食品质量的保鲜技术。UV-C照射鲜切果蔬表面,可以穿透微生物细胞膜,引起同一DNA链中相邻的胸腺嘧啶和胞嘧啶之间发生交联,导致DNA翻译和复制受阻,细胞功能受到损伤,最终导致细胞死亡<sup>[5]</sup>,从而达到杀菌、保鲜、延长货架期的目的。有研究表明,低剂量的紫外线照射可使有机体产生兴奋效应,从而诱导植物体内产生积极的变化,包括产生抗真菌物质及延迟成熟等<sup>[6]</sup>。Rodoni等<sup>[7]</sup>用UV-C处理鲜切红辣椒,发现UV-C不会改变鲜切红辣椒的酸度、糖类物质含量,并且具有抵抗

果胶溶解、软化、腐烂的功效,从而保持营养品质。使用6.0 kJ/m<sup>2</sup>的UV-C照射樱桃,发现UV-C可诱导苏氨酸、天冬氨酸等氨基酸的合成、抑制果胶的降解、提高樱桃抗氧化能力的作用<sup>[8]</sup>。Alejandro等<sup>[9]</sup>对新鲜Tatsoi幼叶用UV-C预处理后结合高氧包装材料进行处理,发现此种处理方法可以有效的保持幼叶的新鲜度、减少水资源的浪费,并推测可以将此种方法运用到其他绿色蔬菜中。在果蔬种植过程中UV-C也可有效的提高果蔬抗病性、增强其防御病害能力,如UV-C照射草莓可增加草莓对灰霉病的抗性<sup>[10]</sup>。目前,UV-C已被应用于果蔬采后贮藏保鲜领域,因其具有延缓成熟、提高果蔬抗病性和抗真菌能力、保证果蔬品质等特点,在鲜切果蔬领域也有广阔的应用前景。

## 2 UV-C 处理对鲜切果蔬品质影响

### 2.1 UV-C 处理对鲜切果蔬安全品质的影响

鲜切果蔬受到机械损伤后,易在贮藏运输期间遭到微生物的侵染,导致其腐败变质。UV-C照射能有效抑制鲜切果蔬表面微生物。Manzocco等<sup>[11]</sup>采用1.2 kJ/m<sup>2</sup>的UV-C处理鲜切苹果,发现UV-C处理后的鲜切苹果相比未处理组菌落总数减少1lg~2lg CFU/g,有较强的稳定性。Francisco等<sup>[12]</sup>采用1.4~13.7 kJ/m<sup>2</sup>的UV-C对鲜切西瓜进行处理并与常用的果蔬产品消毒液进行比较,发现使用消毒液处理的西瓜质量较差,易被污染导致腐烂。其中4.1 kJ/m<sup>2</sup> UV-C处理组与对照组相比,微生物数量减少了1lg CFU/mL,且不影响西瓜整体感官质量,随着照射剂量的增大,微生物数量减少程度也随之增大,从而证明UV-C处理鲜切西瓜可以减少鲜切西瓜表面的微生物,是一种有效的保鲜方法。使用0.3 kJ/m<sup>2</sup> UV-C照射鲜切西兰花,与清水冲洗相比可使其菌落总数减少1.1lg CFU/g,使用0.5 kJ/m<sup>2</sup> UV-C照射鲜切西兰花与未处理组相比菌落总数可减少40%<sup>[13]</sup>。坂崎肠杆菌是常见于鲜切果蔬中的病原体。Santo等<sup>[14]</sup>研究了不同剂量的UV-C(0~10 kJ/m<sup>2</sup>)对鲜切Royal gala苹果、鲜切Rocha梨、鲜切Piel de sap甜瓜中坂崎肠杆菌的影响,发现UV-C处理可以有效的减少接种在鲜切果蔬上的坂崎肠杆菌。李斯特菌常见与食品中,若中毒可导致血液和脑组织感染,使用0.5 kJ/m<sup>2</sup> UV-C照射鲜切西兰花可有效灭活10<sup>2</sup> CFU/g李斯特菌<sup>[15]</sup>。综上所述,短波紫外线处理技术可抑制鲜切果蔬表面微生物生长、杀灭致病菌,相对于消毒液等化学处理方法,无残留无污染无危害,且价廉。

### 2.2 UV-C 处理对鲜切果蔬营养品质的影响

维生素C是人体所需的高效抗氧化剂之一,其含量可以作为衡量果蔬营养价值的重要指标。研究发现UV-C可以抑制鲜切果蔬中维生素C的下降,耿亚娟等<sup>[15]</sup>采用20 W的紫外灯照射鲜切苹果5、10、

15 min,在同一贮藏时间内,UV-C处理组的维生素C含量均高于未处理组,尤其是UV-C处理15 min的鲜切苹果可以更好抑制维生素C含量的下降。闫帅等<sup>[16]</sup>使用UV-C照射鲜切鸡毛菜,发现UV-C照射组维生素C含量虽有下降,但在相同贮藏时间内一直高于对照组,贮藏12 d后UV-C照射9 min的鲜切鸡毛菜维生素C含量高于对照组28.9%。UV-C照射鲜切红心萝卜后,可以有效抑制维生素C含量的下降<sup>[17]</sup>。UV-C处理后的香菇在室温下可延长保质期,类黄酮和维生素C含量得以提高,抗氧化能力得以增强,从营养角度来看,具有一定的实用价值,UV-C处理可能是保持香菇品质和延长其采后寿命的一种有效的非化学方法<sup>[18]</sup>。以0.86 kJ/m<sup>2</sup>的UV-C处理鲜切胡萝卜,可有效提高其胡萝卜素的含量,有利于其营养品质<sup>[19]</sup>。

但也有研究表明UV-C照射会降低鲜切果蔬中维生素C含量。雷屈文等<sup>[20]</sup>研究短波紫外线对鲜切菜的影响时发现,经UV-C照射后的鲜切菜,贮藏2 d后维生素C含量显著下降,亚硝酸盐含量上升。Alothman等<sup>[21]</sup>将鲜切菠萝、鲜切香蕉、鲜切番石榴在UV-C下分别照射0、10、20、30 min后发现与无任何处理的对照组相比,UV-C处理后的鲜切香蕉的维生素C含量有所提升,鲜切菠萝、鲜切番石榴的维生素C含量均有下降,其原因可能是实验时鲜切果蔬暴露在氧气和光照下,维生素C易在光、氧、加热和抗坏血酸氧化酶、过氧化物酶等酶的作用下被氧化,UV-C处理也可产生部分热量,因此会导致维生素C含量的下降。Gustavo等<sup>[22]</sup>使用UV-C分别照射鲜切芒果0、1、3、5和10 min后于5℃贮藏,发现鲜切芒果的维生素C含量随辐照贮藏时间的延长而降低,但照射后的总抗氧化能力有所提高。较低剂量(1.6、2.8 kJ/m<sup>2</sup>)照射下,对鲜切西瓜中的番茄红素含量无影响,较高剂量(4.8、7.2 kJ/m<sup>2</sup>)照射下番茄红素有降低的现象<sup>[23]</sup>。由此可见,UV-C对鲜切果蔬营养品质的影响与果蔬种类及照射剂量有关。

### 2.3 对鲜切果蔬感官品质影响

2.3.1 颜色 随着贮藏时间的延长,鲜切果蔬会出现亮度、色调改变的现象,鲜切胡萝卜贮藏过程中易发生表面脱水,再加上受到机械损伤,会出现表面增白现象<sup>[24]</sup>。Carla等<sup>[25]</sup>的研究证实了鲜切胡萝卜在贮藏过程中白度增加,但其对鲜切胡萝卜使用UV-C照射和热处理联合处理,研究整体品质时发现,UV-C处理组的鲜切胡萝卜贮藏10 d后,与刚切割的胡萝卜颜色没有明显差别,因此UV-C处理可以较好的保持鲜切胡萝卜的颜色<sup>[26]</sup>。UV-C处理可抑制鲜切莲藕的褐变,使用75 W短波紫外线在距离鲜切莲藕30 cm处照射,4℃贮藏8 d后发现,使用UV-C处理5和10 min的鲜切莲藕褐变程度、可溶性鞣含量明显降低<sup>[27]</sup>。但也有研究表明采用UV-C照射鲜切莲藕40 min后,鲜切莲藕出现较高度度的褐变,因此长时间或高剂量的UV-C辐射可能会诱导果蔬褐变,其原因是UV-C过量照射会导致细胞受损、诱导褐变相关酶活性增加,从而使果蔬褐变度增加<sup>[28]</sup>。

2.3.2 硬度 使用UV-C照射鲜切苹果,发现UV-C照射使鲜切苹果内部水分迅速迁移至干燥的表面,加快脱水,表面果胶裂解酶失活,形成一层薄膜从而增加其硬度<sup>[29-30]</sup>。Lamikanra等<sup>[31]</sup>发现UV-C照射鲜切甜瓜可以降低呼吸速率,在贮藏期显著延缓硬度下降;对鲜切菠萝进行UV-C照射0、60、90 s后,发现照射60和90 s与0 s有显著差异且90 s照射组硬度下降速率低于60 s<sup>[32]</sup>。UV-C照射也可以延缓西兰花根部的弯曲和变软<sup>[33]</sup>。使用20 W/m<sup>2</sup>的UV-C照射鲜切甜瓜,发现UV-C照射组在贮藏期硬度下降趋势小于未照射组,且在贮藏第7 d硬度有上升趋势<sup>[34]</sup>。

## 3 UV-C处理对果蔬抗氧化物质及抗氧化活性的影响

果蔬被切割后会自主产生相应的防御体系,机械损伤部位发生伤呼吸、大量的乙烯被释放,导致表面活性氧的产生,活性氧破坏果蔬的自由基代谢,加快果蔬的衰老,严重影响果蔬生理品质。果蔬自身防御体系通过诱导抗氧化物积累,提高超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化物酶(peroxidase, POD)和过氧化氢酶(catalase, CAT)等抗氧化物酶的活性来对抗活性氧<sup>[35]</sup>,从而提高果蔬品质。

### 3.1 抗氧化相关酶活性

抗氧化相关的酶,如PPO、POD、SOD、CAT等,其酶活对鲜切果蔬品质及抗氧化能力有密切关系。PPO、POD是褐变反应相关酶,POD的活性与果蔬损伤、生理应激和酚类底物有直接关联,SOD可将超氧阴离子自由基(O<sup>2-</sup>)转化为H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,CAT可将H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>转化为H<sub>2</sub>O<sup>[36]</sup>。周成敏等<sup>[37]</sup>将黄甜竹笋剥壳后采用2.6 kJ/m<sup>2</sup>的UV-C照射,于6℃、85%~90%相对湿度环境下贮藏10 d发现,UV-C处理显著抑制了木质素和H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>含量的上升,同时也显著抑制了POD、肉桂醇脱氢酶(cinnamyl alcohol dehydrogenase, CAD)、PPO的活性,显著提高了SOD和CAT的活性。Zhang等<sup>[38]</sup>将鲜切紫甘蓝分为六层,对其进行UV-C处理,结果显示UV-C照射后的鲜切紫甘蓝SOD、POD、CAT活性均比未照射组高,因此UV-C可以提高其抗氧化酶的活性。姜丹等<sup>[39]</sup>研究柠檬酸和UV-C联合处理鲜切苹果,使用UV-C每5 min照射鲜切苹果的一面,发现UV-C处理后的鲜切苹果POD呈现先上升后下降趋势,其活性明显高于柠檬酸处理组、柠檬酸UV-C联合处理组。UV-C处理组清除自由基的能力也明显高于其他组,PPO活性也高于其他处理组,由此反映出UV-C处理对鲜切苹果抗氧化相关酶的活性有提高作用,可以延缓鲜切苹果的衰老。Lamikanra等<sup>[31]</sup>在10℃下使用UV-C照射鲜切甜瓜,与未进行UV-C照射的果实相比,前者能增加POD的活性,从而引起鲜切甜瓜的防御反应,延长鲜切甜瓜的货架期。Oms-Oliu等<sup>[40]</sup>认为抗氧化酶的活性与UV-C照射剂量有直接关系,因此适宜的UV-C照射剂量可有效提高抗氧化酶的活性,若剂量过高,反而会导致酶活受到影响。

### 3.2 非酶抗氧化物质及抗氧化活性

非酶抗氧化物质是指果蔬中所含的抗氧化物质,如多酚类物质、花青素、类黄酮等。短波紫外线照射处理可诱导鲜切果蔬的次生代谢作用,促使果蔬多酚及类黄酮等次生代谢产物含量的增加<sup>[41]</sup>。

**3.2.1 酚类物质** UV-C 照射采后果蔬产生的非生物胁迫可以提高果蔬中酚类物质<sup>[42]</sup>、黄酮类物质<sup>[43]</sup>的含量。Rodoni 等<sup>[44]</sup>研究了 UV-C 处理番茄,发现其可以提高酚类物质和黄酮类物质的含量,对咖啡酸、对香豆素、反式阿魏酸、绿原酸、没食子酸、原儿茶酸、芦丁、槲皮素等酚酸和类黄酮含量及总酚含量均有显著提高作用。与未处理的番茄果实相比,UV-C 处理组在贮藏 21 d 总酚含量均呈上升趋势,贮藏 28 d 后略有下降,贮藏末期再次上升。UV-C 处理组总酚类物质含量显著高于对照。贮藏 35 d 后,UV-C 处理组酚类总含量最高,比对照组高约 12.82%。Bravo 等<sup>[45]</sup>使用 UV-C 对鲜切番茄照射后也有类似发现,适当剂量的 UV-C 可显著提高番茄中的酚类化合物,但若照射时间超过 12 h,将会导致酚类物质含量降低,其原因可能是产生了光氧化反应。Carla 等<sup>[26]</sup>研究表明,鲜切胡萝卜经过 UV-C 处理后总酚含量有所提高。绿原酸是胡萝卜中主要的酚类化合物,是一种含有奎宁酸的咖啡酸酯<sup>[46]</sup>,UV-C 处理可以促进这些抗氧化化合物在贮藏过程中的增强。Rodoni 等<sup>[7]</sup>研究发现 UV-C 照射鲜切红辣椒可以促使表皮酚类物质的积累从而延长鲜切辣椒的货架期。Alothman 等<sup>[21]</sup>对将鲜切菠萝、鲜切香蕉、鲜切番石榴在 UV-C 下分别照射 0、10、20、30 min 后发现总酚含量较未处理组相比有所提高,在 UV-C 照射鲜切芒果的研究发现,UV-C 处理 60 min 后,芒果中酚类物质含量增加<sup>[47]</sup>。高梵等<sup>[17]</sup>使用 UV-C 处理的鲜切红心萝卜,发现 0.86 kJ/m<sup>2</sup> 的 UV-C 处理显著提高了 PAL、C4H、4-CL 的活性,从而促进鲜切红心萝卜的次生代谢。其他剂量的 UV-C 处理可使花青素和黄酮类物质含量的增加、延缓抗坏血酸含量的下降,从而提升鲜切红心萝卜的抗氧化活性。紫甘蓝中含有较高水平的抗氧化物质<sup>[48]</sup>,Wu 等<sup>[49]</sup>采用不同剂量的 UV-C 照射鲜切紫甘蓝,在 3.0 kJ/m<sup>2</sup> 的照射剂量下,花青素的含量显著提高,且可改变与花青素代谢相关的葡萄糖淀粉酶、酰基转移酶基因及与花青素色素相关的 R2R3MYB 基因。综上所述,适当剂量的 UV-C 可诱导果蔬酚类物质合成增加。Reyes 等<sup>[50]</sup>研究发现,果蔬损伤后诱导酚类物质的产生情况取决于组织的类型、鲜切果蔬自身的初始酚类物质含量和种类,因此酚类物质的变化可能与果蔬种类、切割面积等有直接原因,所以不同的鲜切果蔬经 UV-C 照射后会诱导不同的酚类物质合成。

**3.2.2 抗氧化活性** 在 UV-C 处理对鲜切果蔬抗氧化活性的影响方面,Alothman 等<sup>[47]</sup>研究 UV-C 照射鲜切芒果和鲜切菠萝,发现 UV-C 可提高其清除自由基的能力。与无任何处理的对照相比,UV-C 处理后的鲜切芒果 DPPH 自由基清除率增加了 2%,鲜切菠萝增加了 4%,因此经 UV-C 处理的样品的抗氧化

活性可显著提高。钱书意等<sup>[51]</sup>采用 UV-C 照射白玉菇,贮藏 7 d 后,UV-C 处理组的 DPPH 自由基清除率明显高于无处理的对照组,可提高白玉菇的抗氧化能力,这与 Wu 等<sup>[52]</sup>和 Jiang 等<sup>[18]</sup>使用 UV-C 处理双孢蘑菇和鲜切香菇后的结论一致。

## 4 展望

综上所述,短波紫外线技术不仅有保持鲜切果蔬等采后果蔬的品质、增强其抗氧化性、延长货架期的作用,而且可以有效的提高果蔬抗病性、增强其防御病害能力<sup>[53]</sup>。但由于不同种类的果蔬对短波紫外线的耐受性不同,照射后产生的非生物性胁迫表现也不同,而且 UV-C 的作用效果还受果蔬的成熟度、病原微生物的种类、辐照剂量、贮藏温度等诸多因素的影响<sup>[54]</sup>,因此,应加大研究力度。

目前,国内外学者对于 UV-C 照射对果蔬品质及抗氧化活性的影响已有较多的报道,也初步了解了 UV-C 照射对果蔬品质及抗氧化活性影响的原因,但是研究还不够深入和全面。未来对 UV-C 照射技术应用于果蔬保鲜方面的研究应考虑以下几点:UV-C 处理对果蔬品质及抗氧化活性影响的机理;短波紫外线对不同果蔬香气成分的影响及调控机制;UV-C 处理对果蔬中微生物及其真菌毒素的影响,为鲜切果蔬的质量安全提供技术保障;目前在保证鲜切果蔬营养及品质的前提下,减少其腐败变质,仅靠一项保鲜技术,难度较大,因此可研究短波紫外线技术与其他技术相结合,如与 1-MCP<sup>[55]</sup>、生物保鲜剂<sup>[56]</sup>、热水和高氧气调包装处理<sup>[57]</sup>、电解水<sup>[58]</sup>、UV-B<sup>[59]</sup>等处理相结合,可使其确保安全的前提下,发挥更好的作用,避免果蔬营养过量流失,尽可能延长其货架期,保证鲜切果蔬营养品质和质量安全。

## 参考文献

- [1] Florence C, Phrutiya N, David R, et al. Visible light as a new tool to maintain fresh-cut lettuce post-harvest quality [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2018, 135(13): 51-56.
- [2] Latifah M N, Aziz Ab, Ruwaida A, et al. Processing and handling of fresh-cut tropical fruits [J]. *Acta Horticulturae*, 2016, 1141(1): 91-102.
- [3] Ignat A, Manzocco L, Bartolomeoli I, et al. Minimization of water consumption in fresh-cut salad washing by UV-C light [J]. *Food Control*, 2015, 50(2): 491-496.
- [4] Gopisetty S, Patras A, Kilonzo-Nthenge A, et al. Impact of UV-C irradiation on the quality, safety, and cytotoxicity of cranberry flavored water using a novel continuous flow UV system [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2018, 95(3): 230-239.
- [5] Jiao Z, Hu L N, Zhang C L, et al. Effect of ultraviolet-c irradiation on phenolic compounds and antioxidant activity of postharvest *Actinidia arguta* fruit [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2016, 32(11): 177-183.
- [6] Sheng K, Zheng H, Shui S S, et al. Comparison of postharvest UV-B and UV-C treatments on table grape: Changes in phenolic compounds and their transcription of biosynthetic genes during storage [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2018, 138(6):

- 74-81.
- [7] Rodoni L M, Zaro M J, Hasperu , et al. UV - C treatments extend the shelf life of fresh - cut peppers by delaying pectin solubilization and inducing local accumulation of phenolics [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 63(1) :408-414.
- [8] Michail M, Evangelos K, Chrysanthi P, et al. Metabolic features underlying the response of sweet cherry fruit to postharvest UV - C irradiation [J] Plant Physiology and Biochemistry, 2019, 144(1) :49-57.
- [9] Alejandro T, Mariano O, Francisco A, et al. Combined effect of UV - C pretreatment and high oxygen packaging for keeping the quality of fresh - cut Tatsoi baby leaves [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2012, 14(6) :115-121.
- [10] Forges M, V squez H, Charles F, et al. Impact of UV - C radiation on the sensitivity of three strawberry plant cultivars (*Fragaria x ananassa*) against, *Botrytis cinerea* [J]. Scientia Horticulturae, 2018, 240(13) :603-613.
- [11] Manzocco L, Pieve S D, Bertolini A, et al. Surface decontamination of fresh - cut apple by UV - C light exposure: Effects on structure, colour and sensory properties [J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 61(2-3) :165-171.
- [12] Francisco A, Robles P A, Perla A G, et al. Low UV - C illumination for keeping overall quality of fresh - cut watermelon [J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 55(2) :114-120.
- [13] Cyrelys C, Florence C, Ingrid A, et al. Decontamination of *Listeria innocua* from fresh - cut broccoli using UV - C applied in water or peroxyacetic acid, and dry - pulsed light [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2019, 52(15) :438-449.
- [14] Santo D, GracA A, Nunes C, et al. Survival and growth of *Cronobacter sakazakii* on fresh - cut fruit and the effect of UV - C illumination and electrolyzed water in the reduction of its population [J]. International Journal of Food Microbiology, 2016, 231:10-15.
- [15] 耿亚娟, 王艳颖, 齐海萍, 等. 紫外照射对鲜切苹果营养品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2016, 37(1) :331-333, 337.
- [16] 闫帅, 刘贤金, 梁颖, 等. 紫外线照射对鲜切鸡毛菜品质的影响 [J]. 江苏农业学报, 2014, 30(1) :189-193.
- [17] 高梵, 龙清红, 韩聪, 等. UV - C 处理对鲜切红心萝卜抗氧化活性的影响 [J]. 食品科学, 2016, 37(11) :12-17.
- [18] Jiang T, Jahangir M M, Jiang Z, et al. Influence of UV - C treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and texture of postharvest shiitake (*Lentinus edodes*) mushrooms during storage [J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 56(3) :209-215.
- [19] 陈晨. UV - C 处理对鲜切胡萝卜品质和抗氧化活性的影响 [D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- [20] 雷屈文, 王青, 燕平梅, 等. 紫外线处理对鲜切菜品质的影响 [J]. 农产品加工 (学刊), 2010(2) :75-78, 81.
- [21] Alotman M, Bhat R, Karim A A. UV radiation - induced changes of antioxidant capacity of fresh - cut tropical fruits [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2009, 10(4) :512-516.
- [22] Gustavo A, M nica A, Mart nez M A, et al. Improving antioxidant capacity of fresh - cut mangoes treated with UV - C [J]. Journal of Food Science, 2007, 72(3) :197-202.
- [23] Francisco A, Robles P A, Perla A G, et al. Low UV - C illumination for keeping overall quality of fresh - cut watermelon [J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 55(2) :114-120.
- [24] Park M H, Kim J G. Low - dose UV - C irradiation reduces the microbial population and preserves antioxidant levels in peeled garlic (*Allium sativum*) during storage [J]. Postharvest Biology and Technology, 2015, 100(5) :109-112.
- [25] Carla A, Joaquina P, Elsam G, et al. Evaluation of a pre - cut heat treatment as an alternative to chlorine in minimally processed shredded carrot [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2010, 11(1) :155-161.
- [26] Carla A, Joaquina P, Margarida D, et al. Fresh - cut carrot quality as affected by abiotic stress (heat shock and UV - C irradiation) pre - treatments [J]. LWT - Food Science and Technology, 2012, 48(2) :197-203.
- [27] Wang D, Chen L, Ma Y, et al. Effect of UV - C treatment on the quality of fresh - cut lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) root [J]. Food Chemistry, 2019, 278(1) :659-664.
- [28] Marie T, Mercier J, Makhlof J, et al. Physiological basis of UV - C - induced resistance to *Botrytis cinerea* in tomato fruit. Role of pre - and post - challenge accumulation of the phytoalexin - rishitin [J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 47(1) :10-20.
- [29] Manzocco L, Dri A, Quarta B. Inactivation of pectic lyases by light exposure in model systems and fresh - cut apple [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2009, 10(4) :500-505.
- [30] Manzocco L, Pieve S D, Bertolini A, et al. Surface decontamination of fresh - cut apple by UV - C light exposure: Effects on structure, colour and sensory properties [J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 61(2) :165-171.
- [31] Lamikanra O, Kueneman D, Ukuku D, et al. Effect of processing under ultraviolet light on the shelf life of fresh - cut cantaloupe melon [J]. Journal of Food Science, 2005, 70(9) :C534-C539.
- [32] Pan Y, Zu H. Effect of UV - C Radiation on the quality of fresh - cut pineapples [J]. Procedia Engineering, 2012, 37(2) :113-119.
- [33] Gin s B, Perla A, Pradas I, et al. Moderate UV - C pretreatment as a quality enhancement tool in fresh - cut Bimi broccoli [J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 62(3) :327-337.
- [34] Manzocco L, Pieve S D, Maifreni M. Impact of UV - C light on safety and quality of fresh - cut melon [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2011, 12(1) :13-17.
- [35] Huang R H, Xia R X, Hu L M, et al. Antioxidant activity and oxygen - scavenging system in orange pulp during fruit ripening and maturation [J]. Scientia Horticulturae, 2007, 113(2) :166-172.
- [36] Ho - Min K, Saltveit M E. Activity of enzymatic antioxidant

