

脉冲紫外线对新鲜葡萄抗氧化活性的影响

胡江瑛 (浙江省建德市食品药品检验检测中心, 浙江建德 311600)

摘要 [目的]研究4℃条件贮藏过程中脉冲紫外线对新鲜葡萄抗氧化活性的影响。[方法]通过测定脉冲强光处理后4℃条件贮藏8d过程中新鲜葡萄中DPPH·、 O_2^- ·、·OH和 H_2O_2 等的活性及还原能力来评价新鲜葡萄的抗氧化活性。[结果]脉冲紫外线处理可提高新鲜葡萄的抗氧化活性,且与辐照剂量有关,不同抗氧化活性提高程度有所不同。在贮藏过程中,各处理组的抗氧化活性均逐渐降低。当辐照剂量为1350 mJ/cm²时,葡萄的还原力及对DPPH·、 O_2^- ·、·OH和 H_2O_2 活性的清除率分别提高了8.5%、7.8%、9.2%、16.2%和33.4%。[结论]研究表明,脉冲紫外线可用来提高新鲜葡萄的品质。

关键词 脉冲紫外线;新鲜葡萄;还原能力;自由基

中图分类号 S663.1 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)21-119-04

Effects of Antioxidant Activity of Fresh Grapes by Pulse Ultraviolet Radiation

HU Jiang-ying (Food and Drug Inspection Center of Jiande City of Zhejiang Province, Jiande, Zhejiang 311600)

Abstract [Objective] The aim was to study the effects of pulsed ultraviolet ray on antioxidant activity of fresh grapes during storage of 4℃.

[Method] The antioxidant activity of fresh grapes were evaluated through determining reduction power and scavenging abilities of DPPH·, O_2^- ·, OH· and H_2O_2 in fresh grapes treated by pulsed light during storage of 8 days at 4℃. [Result] The results indicated that pulse ultraviolet radiation could increase the antioxidant activities of fresh grapes, showing the activities in the different aspects with different pulse irradiation dose. Of all tested groups, the antioxidant activity decreased during storage of the fresh grapes. The scavenging abilities to the reduction power, DPPH·, O_2^- ·, ·OH and H_2O_2 of the fresh grapes treated by 1350 mJ/cm² of pulsed light were increased 8.5%, 7.8%, 9.2%, 16.2% and 33.4%. [Conclusion] The study indicated that pulse ultraviolet radiation can be used to improve quality of fresh grapes.

Key words Pulse ultraviolet radiation; Fresh grape; Reductive ability; Free radicals

自由基作为机体的正常代谢产物,在平衡状态下,其在抗菌、消炎和抑制肿瘤等方面具有重要作用和意义;一旦平衡被打破,即在患病或衰老等条件下,会出现由于自由基水平升高而导致的病理现象。葡萄是一种浆果,含有大量的糖、有机酸、矿物质及维生素等多种营养物质^[1],其中的维生素、多酚类和黄酮类物质具有抗氧化活性,有利于清除体内过多自由基,保持其处于一个平衡状态,有利于人体健康。但鲜食葡萄由于其果粒皮薄多汁、含水量高,因此在贮藏过程中品质会下降,极易出现落粒、腐烂和干梗等现象^[2],在贮藏、运输、货架期中保鲜的困难极大,常造成极大的经济损失。

目前对于葡萄的保鲜方法主要有低温贮藏法、气调冷藏法^[3-4]、化学药剂贮藏法^[5-6]和涂膜贮藏法^[7]等。其中气调冷藏法主要是通过通过在冷藏的基础上提高CO₂的浓度并降低O₂的浓度,来减缓果蔬的呼吸作用,并抑制微生物的生长和生化活性。吕昌文研究认为,巨峰葡萄在5% O₂ + 8% ~ 12% CO₂的气调环境中贮藏效果最好^[3]。赵猛研究认为,0% O₂ + 3% CO₂是巨峰葡萄的最佳气调指标^[4]。还有研究人员提出,除了O₂和CO₂的浓度外还要与SO₂相结合才能更好地贮藏。近几年研究发现,同一种类的不同品种之间的最佳气调保鲜指标也是不同的,这就需要进行大量的试验来选择最佳条件,但由于气调保鲜库建造成本高,普及发展速度比较慢,设备不够成熟。化学药剂贮藏法是利用化学试剂来延长保质期,当前国内外应用的葡萄防腐保鲜剂主要是SO₂制

剂^[5]。孔秋莲研究认为,SO₂伤害可引起葡萄汁液酸化,造成商品价值下降,不同的品种对SO₂的敏感性也不同;而且SO₂也存在一定的残留,可能会对人体造成损害^[6]。涂膜贮藏法就是给果蔬表面涂一层薄膜,来隔绝空气,延缓其呼吸作用,从而减少营养物质的损失。程度等通过1%壳聚糖涂膜杨梅的试验,结果发现处理杨梅果实的硬度变化最小^[7]。但由于葡萄个体比较小,涂膜比较费时,用喷洒涂膜也会导致涂膜不均匀。

脉冲紫外线以脉冲形式激发紫外线,它比传统的紫外线穿透力更强,利用瞬时、高强度的脉冲光能量杀灭食品和包装上各类微生物。目前较多研究集中于灭活效果上,但对食品的营养成分及口感影响上的研究较少。张佰清等通过研究表明,脉冲强光可以有效杀死鲜切西兰花上的大肠杆菌和黑曲霉菌^[8]。江天宝等研究表明,脉冲强光可以有效地杀灭熟地瓜干表面染菌^[9]。笔者主要研究脉冲紫外线辐照处理对葡萄品质的影响,为脉冲紫外线技术的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 原料。试验所用葡萄为紫黑色的巨峰葡萄品种,采摘自宁波市鄞州区水果种植户。

1.1.2 主要试剂。邻苯三酚、抗坏血酸、2-硫代巴比妥酸(TBA)、铁氰化钾、DPPH(1,1-二苯基苦基苯肼)、2-脱氧-D-核糖(DR)、乙二胺四乙酸(EDTA)、硼酸等,均为分析纯,购自国药集团化学试剂有限公司。

1.1.3 主要仪器设备。脉冲紫外线设备:试验使用的脉冲紫外线设备由抛光不锈钢材料制成,并用金属外壳围绕的1个处理室,备有1盏氙气灯和1个位于中心的挡板。脉冲强光光源参数:灯管总长,400 mm;极距,380 mm;直径,8 mm;

作者简介 胡江瑛(1964-),男,浙江杭州人,工程师,从事食品安全和检测工作。

鸣谢 感谢万里学院袁勇军副教授对论文的指导和提供试验设备。

收稿日期 2016-06-15

频率,1 次/s;紫外区能量占总能量约 22%,其中 UV-A 占 6.2%,UV-B 占 7.8%,UV-C 占 7.1%。距离灯管中心 13 cm 处的单次脉冲剂量为 150 mJ/cm²。紫外线峰值为 247 nm,辐照度为 615.0 W/cm²,脉冲宽度 234 ms。

台式高速离心机 (Neofuge 23R),力康发展有限公司;紫外分光光度计 (UV-1750),日本岛津公司;微弱化学发光与生物发光测量仪 (BPCL-1-KIC),中国科学院生物物理研究所。

1.2 方法

1.2.1 新鲜葡萄的前处理。挑选葡萄大小一致,用清水冲洗干净、晾干,然后放入妙洁保鲜袋中,并贴上标签。

1.2.2 脉冲紫外线处理新鲜葡萄。使用辐照剂量分别为 900、1 350、1 800 mJ/cm² 的脉冲紫外线对葡萄进行正反面的辐照处理,并将其置于 4 ℃ 冰箱内,定期取样测定相关指标。以未辐照处理作为对照,每小组试验设 3 个平行,结果用平均值表示。

1.3 测定和计算方法

1.3.1 待测样品的预处理。用榨汁机将样品榨成汁,然后 8 000 r/min 离心 5 min,留上清液待测。

1.3.2 测定方法。采用分光光度法,参照 He 等的方法测定葡萄的还原能力^[10];参照荣建华等的方法测定 DPPH· 活性^[11];参照阮征等的抗超氧阴离子试剂盒法并略作修改测定超氧阴离子 (O₂⁻·) 活性^[12-13];参照 Barry Halliwell 等的方法并略作修改测定羟基自由基 (·OH) 活性^[14];参照章亚彦等的方法并略作修改测定过氧化氢 (H₂O₂) 活性^[15]。

1.3.3 计算方法。清除率按下式计算:

$$\text{清除率}(\%) = [1 - (A_{\text{样}} - A_{\text{样对}}) / A_{\text{空白}}] \times 100$$

式中, $A_{\text{样}}$ 为样品在 700 nm 波长下的吸光度, $A_{\text{样对}}$ 为样品对照在 700 nm 波长下的吸光度, $A_{\text{空白}}$ 为空白对照在 700 nm 波长下的吸光度。

2 结果与分析

2.1 脉冲紫外线对新鲜葡萄还原能力的影响 还原力试验的原理是在弱酸性条件下,铁氰化钾被样品中的还原物质还原生成无色的亚铁氰化物,再与三价铁离子作用,反应生成蓝色的 $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ ^[16],在 700 nm 波长下,测定蓝色配合物的吸光值,吸光值越高,表明还原能力越强,则该样品的保存时间就越长。

由图 1 可知,脉冲辐照后立即测各组的还原力,与对照组相比,用脉冲紫外处理后的各组的还原力都明显提高了 ($P < 0.05$),其中 1 350 mJ/cm² 提高最多,为 8.5%。但在 2 d 时,发现辐照剂量为 1 800 mJ/cm² 的还原力降得最快且小于对照组,这可能是由于辐照剂量过大,导致温度瞬间升高,破坏酶活,而强光也会使 V_C 等物质分解,从而使其还原力降低。叶磊等研究得出,经 28 J/cm² 脉冲强光照后的蘑菇抗氧化能力降低,多酚和 V_C 等营养成分的含量明显减少^[17]。随着贮藏时间的增加,与对照组 (8 d) 相比,900 mJ/cm² 和 1 350 mJ/cm² 处理组的还原能力分别提高了 6.8% 和 13.0%。这可能是由于脉冲紫外线钝化葡萄中酶活,减缓了

呼吸作用。周春梅等研究表明,UV-C 能抑制果蔬在贮藏期间的呼吸强度,延缓 PPO 活性峰值的产生,保持较好的硬度和可溶性总糖含量^[18]。脉冲紫外线辐照中含有一定的 UV-C^[19],所以可使抗坏血酸积累,从而使还原力增强。从整体上看,各组的还原能力都在下降,这是由于物质代谢,消耗营养物质所致,但 900 mJ/cm² 和 1 350 mJ/cm² 处理组的还原力比对照组强 ($P < 0.05$)。

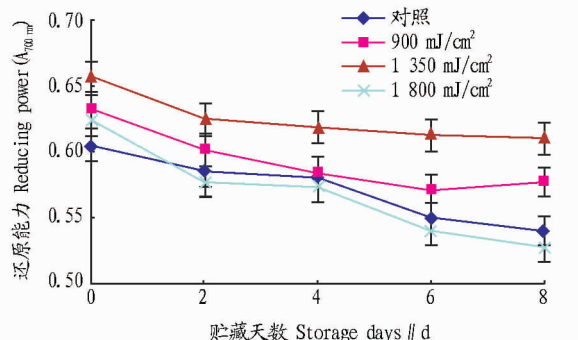


图 1 脉冲紫外线对新鲜葡萄还原能力的影响

Fig. 1 Effects of pulse ultraviolet radiation on the reduction ability of fresh grape

2.2 脉冲紫外线对于新鲜葡萄对 DPPH· 的清除作用的影响 DPPH· (1,1-二苯基苦基苯基) 一种稳定的自由基,其醇溶液呈深紫色,可见光区最大吸收峰为 517 nm^[20]。当自由基清除剂加入到 DPPH 甲醇溶液中时,DPPH· 的单电子被配对而使其颜色变浅,后成黄色,吸光度也随之降低,而且颜色变浅的程度与配电子数成化学计量关系^[21]。因此,可通过吸光度减弱的程度来评价自由基被消除的情况。

由图 2 可知,与对照组 (0 d) 相比,经脉冲紫外线 (900、1 350、1 800 mJ/cm²) 处理后对 DPPH· 的清除作用都略微有所提高 ($P < 0.05$),其中 1 800 mJ/cm² 组的清除率增加了 8.5%,这可能是由于紫外线促进了葡萄中的一些抗氧化物质的合成。Langcake 等发现,在葡萄叶片中存在白藜芦醇,其合成能力在遭受紫外照射、机械伤害及真菌感染时急剧增强^[22]。白藜芦醇是一种天然的抗氧化剂,从而提高了处理组对 DPPH· 的清除率,也可能由于人为挑选使葡萄间存在个体误差。试验过程中,发现加入葡萄汁后 DPPH 甲醇溶液的紫色褪色较快,这可能是由于新鲜葡萄中抗氧化能力比较强。第 2 天时,辐照剂量为 1 800 mJ/cm² 组的清除率急速下降,这可能是由于辐照剂量过大,而导致细胞内容物被破坏;再加上可能解冻不够完全,导致部分酶还未被激活而造成的。有相关研究表明,经短波紫外线照射的果蔬对 DPPH· 的抑制率显著增加^[23]。随着贮藏时间的增加,由于细胞的新陈代谢,消耗了一些物质,从而使各组的清除能力都有所下降,1 350 mJ/cm² 组的清除率总体上远高于对照组。

2.3 脉冲紫外线对于新鲜葡萄对 O₂⁻· 的清除作用的影响 目前 O₂⁻· 测定的方法往往需要特殊仪器或昂贵的试剂,不能满足普通实验室筛选清除 O₂⁻· 物质的研究需要。邻苯三酚在弱碱性条件下能发生自氧化链式反应,可生成超氧阴离子和有色中间产物,该有色中间产物在 $\lambda = 320$ nm 处

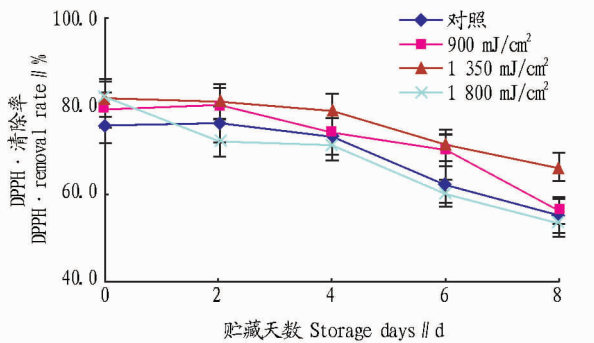


图2 脉冲紫外线对新鲜葡萄 DPPH· 自由基清除能力的影响

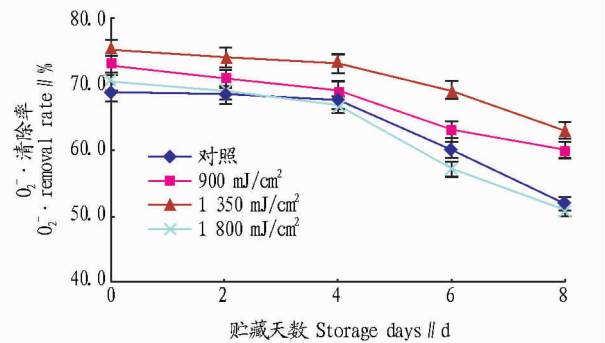
Fig.2 Effects of pulse ultraviolet radiation on DPPH· free radical scavenging ability of fresh grape

有一特征吸收峰,而且在 pH < 9.0 时,邻苯三酚自氧化速率与生成的 $O_2^{\cdot-}$ 的浓度呈正相关^[24],因而可采用分光光度法测定 $O_2^{\cdot-}$ 的清除作用,间接评价鲜切葡萄的抗氧化能力。

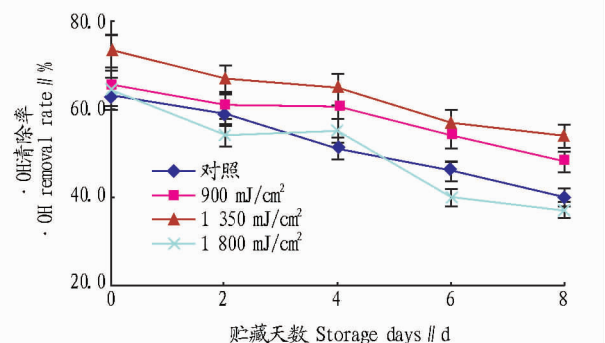
由图 3 可知,经脉冲紫外线处理后,新鲜葡萄对 $O_2^{\cdot-}$ 的清除作用显著提高 ($P < 0.05$),尤其是辐照剂量为 900 和 1 350 mJ/cm²,它们相对于对照组(0 d)分别提高了 5.74% 和 9.17%。这可能是光刺激,诱导抗氧化物质的产生。当细胞受到紫外线等刺激后,活性氧(ROS)增多,破坏了氧化与抗氧化之间的平衡,而过多的 ROS 能够激活核因子,从而促进机体产生许多氧化物质和抗氧化物质^[25]。但随着时间的增加,各组对于 $O_2^{\cdot-}$ 的清除率均逐渐下降,但是辐照剂量为 900 和 1 350 mJ/cm² 的 2 组的清除率变化比较平缓,且都明显高于辐照剂量为 1 800 mJ/cm² 的处理组和对照组 ($P < 0.05$)。在第 2 天时,900 mJ/cm² 组的清除率有略微增加 ($P < 0.05$),这可能由于脉冲光照强度太大,温度较高,使蛋白质中色氨酸发生降解,造成蛋白质结构改变而使多酚氧化酶失活^[26],从而使多酚类物质增加,进而使葡萄中的多酚类物质含量增加,清除自由基的能力变强,导致其清除率增大。在第 4 天后,各组清除率都明显下降,这是由于时间的增加,细胞开始老化,失水,导致代谢变缓,从而导致各组的清除率都降低了。结果表明,一定剂量的脉冲紫外线对于新鲜葡萄对 $O_2^{\cdot-}$ 的清除率有一定提高,其中辐照剂量为 1 350 mJ/cm² 组最好。

2.4 脉冲紫外线对于新鲜葡萄对 $\cdot OH$ 的清除作用的影响 羟基自由基($\cdot OH$)是一种重要的活性氧,具有极强的得电子能力,几乎可以与所有物质发生不同类型的化学反应。其试验原理是过氧化氢发生均裂产生 $\cdot OH$, α -脱氧核糖受 $\cdot OH$ 攻击后发生裂解,在酸性、加热的条件下与硫代巴比妥酸反应生成红色化合物,可在波长 532 nm 处测定其吸光值^[27]。

从整体来看,各组对 $\cdot OH$ 的清除能力呈下降趋势,这可能是葡萄在贮藏过程中,细胞开始衰老,黄酮类物质减少,酶活降低,代谢减缓而导致的必然趋势。与对照组(0 d)相比,经脉冲紫外线处理后的各组的清除率都有增加 ($P < 0.05$),其中 1 350 mJ/cm² 组的清除率增加最明显 ($P < 0.05$),增加了 16.23%。在 4 d 时,900 和 1 800 mJ/cm² 组的清除率有所

图3 脉冲紫外线对新鲜葡萄 $O_2^{\cdot-}$ 清除能力的影响Fig.3 Effects of pulse ultraviolet radiation on $O_2^{\cdot-}$ scavenging ability of fresh grape

增加,这可能因为葡萄存在个体差异,或因为脉冲紫外线使酚类物质和黄酮类物质的含量有所增加。大量试验表明^[28-30],在各种植物提取液中,酚类化合物在清除 $\cdot OH$ 、保护脱氧核糖降解的反应过程中起着非常重要的作用。在 6 d 时,1 800 mJ/cm² 组的清除率急速降低,这或许是因为高强度高频率的辐照,使细胞受损,导致产生氧化应激反应,导致 ROS 快速生成^[25]。

图4 脉冲紫外线对新鲜葡萄 $\cdot OH$ 清除能力的影响Fig.4 Effects of pulse ultraviolet radiation on $\cdot OH$ scavenging ability of fresh grape

2.5 脉冲紫外线对于新鲜葡萄对 H_2O_2 的清除作用的影响 过氧化氢,也被称为双氧水,极不稳定易分解,同时具有氧化性和还原性,是一种强氧化剂^[31]。过氧化氢酶是植物体内清除过氧化氢的主要酶类,因此酶活越强过氧化氢的含量就越低。在酸性氯化钠介质中,碘化钾与过氧化氢反应析出碘,加入淀粉呈蓝色,在波长 585 nm 处测吸光度(A),过氧化氢含量与 A 成线性关系。

由图 5 可以看出,与对照组相比(0 d),经脉冲紫外线辐照后的各组的 H_2O_2 清除率都有所增加,其中辐照剂量为 1 350 mJ/cm² 组和 900 mJ/cm² 组的清除率各增加了 33.4% 和 17.2%。在 2 d 时,1 350 mJ/cm² 组和 1 800 mJ/cm² 组的清除率有略微的提高 ($P < 0.05$),这可能是由于过氧化氢酶的含量增加或者是活性变强,而快速分解过氧化氢,从而导致其清除率增加。Jiang 等研究表明,用适当的短波紫外线处理香菇后在 $(1 \pm 1)^\circ C$ 下贮藏 15 d,能使香菇保持一定的硬度,并使总黄酮和 V_c 含量更高,而且抗氧化酶、超氧化物歧化

酶、抗坏血酸过氧化物等酶的活性都有增加,从而延缓 O_2^- 和 H_2O_2 的生成速度^[32]。从整体上看,各组的清除率整体呈下降趋势,较对照组显著提高($P < 0.05$)。因为脉冲紫外线在激活抗氧化酶的同时也诱导自由基的产生,随着贮藏时间的增加,物质被消耗,细胞衰老而导致抗氧化活性的下降。

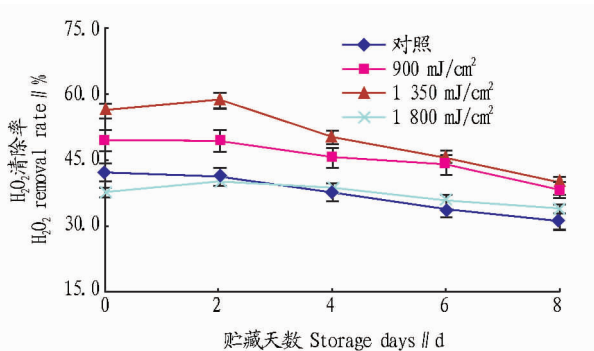


图5 脉冲紫外线对新鲜葡萄对 H_2O_2 清除率的影响

Fig.5 Effects of pulse ultraviolet radiation on H_2O_2 removal rate of fresh grape

3 结论与讨论

试验得出,在一定辐照剂量内,脉冲紫外线对新鲜葡萄的抗氧化活性具有促进作用。但随贮藏时间增加,因正常生命活动及代谢,样品中各类物质含量的减少,而导致其抗氧化活性均降低。

脉冲紫外线对提高新鲜葡萄的抗氧化活性与辐照剂量有关。其中脉冲紫外线的辐照剂量为900和1350 mJ/cm²的葡萄的抗氧化活性显著提高($P < 0.05$)。与对照组(0 d)相比,当辐照剂量为1350 mJ/cm²时,葡萄的还原力及对DPPH·、 O_2^- ·、·OH和 H_2O_2 活性的清除率分别提高了8.5%、7.8%、9.2%、16.2%和33.4%。第8天,1350 mJ/cm²组葡萄还原力及对DPPH·、 O_2^- ·、·OH和 H_2O_2 活性的清除率高于对照组($P < 0.05$)。

脉冲紫外线是一种新型的冷杀菌技术,它具有杀菌高效、环保、节能和无残留等特点,但是由于其紫外线的穿透力不强,对多层不透明包装鲜切果蔬效果较差。辐照时间过短达不到保鲜效果;过长易使果蔬局部温度升高,破坏组织细胞,造成酶促或非酶促反应,影响产品外观和品质,因而需使用多种技术相结合,果蔬保鲜技术还有待发展,且脉冲紫外线的安全性还有待研究。

参考文献

- [1] 李桂芬,刘廷松.葡萄贮藏生理研究进展[J].果树科学,2000,17(1):63-69.
- [2] 曹明明,阎瑞香,冯叙桥,等.热处理对鲜切玫瑰香葡萄抗氧化活性及生理生化品质的影响[J].食品科学,2012,33(8):279-284.
- [3] 吕昌文.巨峰葡萄贮藏障碍分析及对策[J].天津农业科学,1994(3):8-11.
- [4] 赵猛.不同品种葡萄耐藏性及气调贮藏研究[J].山西果树,1996(3):22.

- [5] 王慧芳,王娟.葡萄采后生理及贮藏保鲜技术研究进展[J].山西果树,2006,112(4):39-40.
- [6] 孔秋莲.葡萄采后贮藏中 SO_2 伤害机制及调控措施研究[D].沈阳:沈阳农业大学,1990.
- [7] 程度,王益光,罗自生,等.壳聚糖涂膜对杨梅品质的影响(简报)[J].植物生理通讯,2001,37(6):506-507.
- [8] 张佰清,王江宁.脉冲强光对鲜切西兰花杀菌效果及品质影响[J].食品工业,2014,35(3):187-189.
- [9] 江天宝,陆燕,陆则坚.脉冲强光对熟地干杀菌效果及品质的影响[J].福建农林大学学报(自然科学版),2007,36(2):201-204.
- [10] PRICE A H, YOUNG E M, TOMOS A D. Quantitative trait loci associated with stomatal conductance, leaf rolling and heading date mapped in upland rice (*Oryza sativa*) [J]. New phytologist, 1997, 137(1): 83-91.
- [11] 荣建华, 李小定, 谢笔钧. 大豆肽体外抗氧化效果的研究[J]. 食品科学, 2002, 23(11): 118-120.
- [12] 阮征, 邓泽元, 严奉伟, 等. 槲寄生多酚和 V_C 在化学模拟体系中清除超氧阴离子和羟自由基的能力[J]. 核农学报, 2007, 21(6): 602-605.
- [13] 阮征, 邓泽元, 吴龙耀, 等. HPLC法测定油菜花粉中黄酮含量及六种破壁方法对黄酮提取的影响[J]. 食品科学, 2008, 29(10): 455-458.
- [14] BARRY H, JOHN M, OKEZIE I. The deoxyribose method: A simple "test-tube" assay for determination of rate constants for reactions of hydroxyl radicals [J]. Analytical biochemistry, 1987, 165(1): 215-219.
- [15] 章彦彦, 林荔, 苏必桂. 碘化钾碘蓝分光光度法测定微量过氧化氢[J]. 分析试验室, 2001, 20(4): 41-42.
- [16] 黄诚, 尹红, 李地才. 铁氰化钾-三氯化铁光度法测定蔬菜中还原糖含量[J]. 理化检验, 2011, 47(10): 1143-1145.
- [17] 叶磊, 周拥军, 陈杭君, 等. 脉冲强光技术在鲜切果蔬保鲜加工中应用研究进展[J]. 核农学报, 2014, 28(10): 1880-1884.
- [18] 周春梅, 王欣, 刘宝林. 短波紫外线处理时间对白玉菇自发气调保鲜的影响[J]. 食品与发酵工业, 2011, 27(3): 230-234.
- [19] 罗海波, 姜丽, 余坚勇, 等. 鲜切果蔬的品质及贮藏保鲜技术研究进展[J]. 食品科学, 2010, 31(3): 307-311.
- [20] 彭长连, 陈少薇, 林植芳, 等. 用清除有机自由基 DPPH 法评价植物抗氧化能力[J]. 生物化学与生物物理进展, 2000, 27(6): 658-661.
- [21] 何晓华, 许龙, 曾建国, 等. 不同提取方法赶黄草提取物清除 DPPH 自由基的作用研究[J]. 时珍国医国药, 2009(2): 221-224.
- [22] LANGCAKE P, PRYCE R J. The production of resveratrol by *Vitis vinifera* and other members of the Vitaceae as a response to infection or injury [J]. Physiological and plant pathology, 1976, 9: 77-86.
- [23] VICENTE A R, PINEDA C, LEMOINE L, et al. UV-C treatments reduce decay, retain quality and alleviate chilling injury in pepper [J]. Postharvest biology and technology, 2005, 35: 69-78.
- [24] 陈玫, 张海德, 陈敏, 等. 几种中药不同溶剂组分的抗氧化活性研究[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2006, 45(6): 131-133.
- [25] GONZALEZ-AGUILAR G A, VILLA-RODRIGUEZ J A, AYALA-ZAVALLA J F. Improvement of the antioxidant status of tropical fruits as a secondary response to some postharvest treatments [J]. Trends in food science and technology, 2010, 23(2): 1-8.
- [26] 马凤鸣, 李浦, 叶万军, 等. 脉冲强光对梨多酚氧化酶钝化实验研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(6): 159-162.
- [27] 邓乾春, 陈春艳, 潘雪梅. 白果活性蛋白的酶法水解及抗氧化活性研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(11): 156-160.
- [28] 王华, 姚亚平, 王毕妮, 等. 高粱籽粒提取物抗氧化活性的研究[J]. 食品与发酵工业, 2007(10): 123-127.
- [29] 曹伟, 陈卫军, 索志荣, 等. 啤酒及其酚类提取物的抗氧化作用[J]. 西北大学学报, 2005, 35(1): 53-56.
- [30] 吴素芳, 曹伟, 姚亚萍, 等. 油菜花粉提取物对羟基自由基介导2-脱氧核糖损伤的抑制作用[J]. 食品科学, 2006, 27(10): 544-548.
- [31] 刘建业. 过氧化氢的应用和国内行业发展现状[J]. 牙膏工业, 2004(3): 41-42.
- [32] JIANG T J, JAHANGIR M M, JIANG Z H, 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.