

# 短波紫外照射对玫瑰香葡萄品质和白藜芦醇及其衍生物含量的影响

李一凡, 王凤玲\*, 赵绮晴, 杨 丹

(天津商业大学生物技术与食品科学学院, 天津市食品与生物技术重点实验室, 天津 300134)

**摘 要:** 采用超高效液相色谱-串联质谱法对玫瑰香葡萄中白藜芦醇及其衍生物的含量进行测定。结果表明, 当玫瑰香葡萄经过剂量为 $4.5 \text{ kJ/m}^2$ 的短波紫外照射后,  $20^\circ\text{C}$ 贮藏至48 h时, 白藜芦醇和白藜芦醇苷含量达到最高, 分别为 $90.29 \mu\text{g/g}$ 和 $163.28 \mu\text{g/g}$ ; 贮藏至72 h时, 紫檀芪含量达到最高 $38.67 \mu\text{g/g}$ 。短波紫外照射也可以降低可溶性固形物、VC、可滴定酸等品质评价指标的下降速率。

**关键词:** 玫瑰香葡萄; 白藜芦醇; 超高效液相色谱-串联质谱; 短波紫外

Effect of UV-C Irradiation on Quality and the Contents and Resveratrol and Its Derivatives in Muscat Grape

LI Yifan, WANG Fengling\*, ZHAO Qiqing, YANG Dan

(Tianjin Key Laboratory of Food and Biotechnology, College of Biotechnology and Food Science, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China)

**Abstract:** In this study, ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (UPLC-MS/MS) was used to determine the contents of resveratrol and its derivatives in Muscat grapes. After being irradiated with  $4.5 \text{ kJ/m}^2$  UV-C, Muscat grapes were stored at  $20^\circ\text{C}$ . The experimental results showed that the contents of resveratrol and resveratrol glucoside increased to their maximum values of  $90.29$  and  $163.28 \mu\text{g/g}$ , respectively, after 48 h of storage. After 72 h of storage, the content of pterostilbene increased to its maximum level ( $38.67 \mu\text{g/g}$ ). At the same time, UV-C radiation also decreased the rate of reduction in soluble solids, vitamin C and titratable acid.

**Key words:** Muscat grape; resveratrol; UPLC-MS/MS; ultraviolet-C (UV-C)

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201718028

中图分类号: TS205.9

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2017) 18-0175-05

引文格式:

李一凡, 王凤玲, 赵绮晴, 等. 短波紫外照射对玫瑰香葡萄品质和白藜芦醇及其衍生物含量的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(18): 175-179. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201718028. <http://www.spkx.net.cn>

LI Yifan, WANG Fengling, ZHAO Qiqing, et al. Effect of UV-C irradiation on quality and the contents and resveratrol and its derivatives in Muscat grape[J]. Food Science, 2017, 38(18): 175-179. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201718028. <http://www.spkx.net.cn>

白藜芦醇, 又称芪三酚, 是含有芪类结构的二苯乙烯芪类、非黄酮类多酚化合物, 素有“植物抗毒素”之称, 具有光敏性和热敏性, 在植物体中常以糖苷的形式存在, 称为白藜芦醇苷<sup>[1-3]</sup>。随着研究的深入, 紫檀芪、 $\epsilon$ -葡萄素等衍生物<sup>[4-5]</sup>也被发现, 它们具有更好地预防心血管疾病<sup>[6-9]</sup>、抗癌<sup>[10-12]</sup>、抗HIV<sup>[13]</sup>以及保肝<sup>[14-15]</sup>等活性。

研究发现受到臭氧<sup>[16]</sup>、水杨酸<sup>[17]</sup>、波长小于 $280 \text{ nm}$

的短波紫外 (ultraviolet-C, UV-C) 诱导葡萄等植物体大量合成白藜芦醇及其衍生物<sup>[18-21]</sup>。同时, 低剂量UV-C照射对葡萄、草莓等水果也表现出较好的防腐和保鲜效果<sup>[22-23]</sup>。

本实验利用不同剂量的UV-C照射玫瑰香葡萄后, 考察贮藏期间白藜芦醇及其衍生物含量和品质变化情况, 确定UV-C照射剂量、贮藏时间、贮藏温度等对营养品质的影响, 以期在赋予玫瑰香葡萄更多营养价值的同时达到保鲜目的。

收稿日期: 2016-07-13

作者简介: 李一凡 (1992—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品质量与安全。E-mail: 421338431@qq.com

\*通信作者: 王凤玲 (1965—), 女, 高级实验师, 硕士, 研究方向为食品质量与安全。E-mail: wfiling@tjcu.edu.cn

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

玫瑰香葡萄样品 市售。

白藜芦醇(纯度>95%) 中国食品药品检定研究院; 白藜芦醇苷(纯度>95%) 东京化成工业株式会社; 紫檀芪(纯度>98%) 美国ChromaDex公司; 甲醇(色谱纯) 美国J.T.Baker公司; 甲酸(色谱纯) 德国CNW.EU公司; 乙酸乙酯(色谱纯) 天津市光复精细化工研究所; 超纯水 杭州娃哈哈百立食品有限公司; 没食子酸(分析纯) 上海市化学试剂三厂; 芦丁(分析纯) 天津市赢达稀贵化学试剂厂; 蔗糖(分析纯) 天津市化学试剂一厂; 碳酸钠(分析纯) 天津市德恩化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

1200超高压液相色谱仪、6410A三重四极杆质谱仪 美国Agilent公司; UV-C照射仪 天商冰源科技发展有限公司; ME215P电子天平 德国Sartorius公司; HC-2517高速离心机 科大创新股份有限公司; 八通道平行浓缩仪 北京莱伯泰科仪器股份有限公司; AS10200A超声清洗机 广东昆山仪器有限公司; Milli-Q水纯化系统 美国Millipore公司; WYT-32型手持糖度折光仪 上海精密仪器仪表有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 UV-C照射处理

将玫瑰香葡萄果实置于保鲜盒中避光放置, 取成熟度、颗粒大小和饱满程度相近的样品进行照射处理, 照射时将玫瑰香葡萄平放于紫外照射仪上层, 光强为 $1\,419\,\mu\text{W}/\text{cm}^2$ , 照射剂量分别为1.5、3.0、4.5、6.0、7.5  $\text{kJ}/\text{m}^2$ , 以正常日光照射为对照, 照射后玫瑰香葡萄果实置于保鲜盒中按照实验要求避光保存。

#### 1.3.2 样品前处理

将玫瑰香葡萄果实研磨成匀浆, 准确取样2.00 g, 加入30 mL乙酸乙酯, 超声提取30 min, 8 000 r/min离心10 min, 取上清液至氮吹管, 残渣继续加入10 mL乙酸乙酯, 重复以上操作步骤, 合并上清液, 氮气保护浓缩至干, 用甲醇溶解后定容至50 mL, 0.22  $\mu\text{m}$ 有机膜过滤后测定白藜芦醇及其衍生物含量。

#### 1.3.3 质谱与色谱条件

质谱条件: 电喷雾离子源负离子模式; 多反应监测模式; 毛细管电压4 000 V; 干燥气温度350  $^{\circ}\text{C}$ ; 流速10 L/min; 雾化气压力40 psi; 仪器参数见表1。

色谱条件: Thermo Golden色谱柱(3.6 mm $\times$ 250 mm, 5.0  $\mu\text{m}$ ); 0.1%甲酸-甲醇溶液(20:80,  $V/V$ )等度洗脱; 流速0.5 mL/min; 进样量10  $\mu\text{L}$ ; 柱温30  $^{\circ}\text{C}$ 。

表1 白藜芦醇、白藜芦醇苷、紫檀芪的超高效液相色谱-串联质谱仪器参数

Table 1 UPLC-ESI MS/MS parameters for analysis of Res, PD, and PS

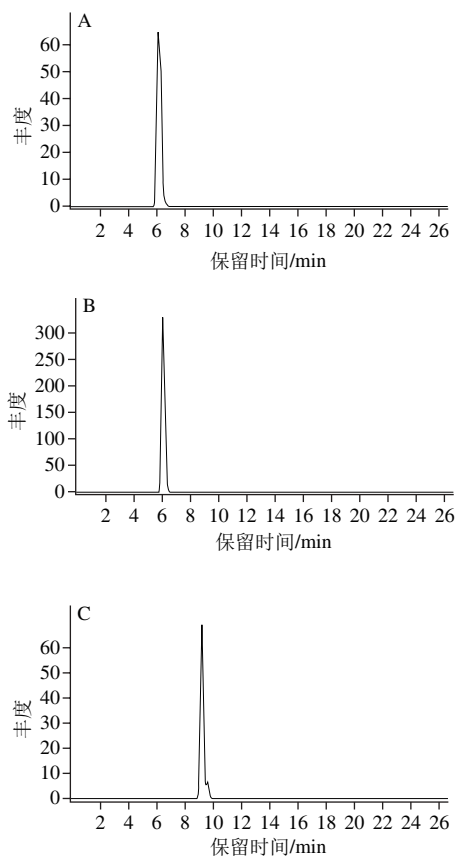
标准品	定性离子 ( $m/z$ )	定量离子 ( $m/z$ )	加速 电压/V	碰撞 能量/eV
白藜芦醇	227	143	-110	-20
白藜芦醇苷	389	227	-150	-10
紫檀芪	255	240	-105	-20

### 1.3.4 玫瑰香葡萄理化品质检测

可溶性固形物含量: 采用手持糖度折光仪测定<sup>[24]</sup>; 可滴定酸含量: 采用NaOH滴定法测定<sup>[25]</sup>; VC含量: 采用2,6-二氯酚法测定<sup>[26]</sup>; 总酚含量: 采用Folin-Ciocalteu试剂法测定<sup>[27]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 标准品超高效液相色谱-串联质谱的测定



A.白藜芦醇; B.白藜芦醇苷; C.紫檀芪。

图1 标准品多反应监测模式质谱图

Fig. 1 MRM chromatograms of standards

按1.3.3节方法对白藜芦醇、白藜芦醇苷、紫檀芪3种标准品进行测定, 如图1所示。3种标准品出峰情况良好, 保留时间分别为白藜芦醇6.28 min、白藜芦醇苷6.07 min、紫檀芪9.26 min。

## 2.2 白藜芦醇及其衍生物检测方法学考察

### 2.2.1 标准曲线绘制

将3种标准品配制成系列溶液,按1.3.3节方法检测,进样分析平行3次,利用回归方程计算标准曲线,见表2。

表2 标准溶液的线性范围、线性方程和线性相关系数  
Table 2 Linear ranges, regression equations, correlation coefficients and limits of detection of Res, PD, and PS

标准品	线性范围/(ng/mL)	线性方程	线性相关系数
白藜芦醇	5.0~100.0	$y=12.890x-1.898$	0.999 4
白藜芦醇苷	1.0~100.0	$y=43.226x+104.29$	0.999 7
紫檀芪	5.0~100.0	$y=9.307x+2.091$	0.999 9

白藜芦醇、白藜芦醇苷、紫檀芪标准溶液线性范围内的相关系数均大于0.999,说明线性关系良好。

### 2.2.2 检出限和定量限结果

用流动相分别不断稀释标准储备溶液,按1.3.3节方法进行检测,并3倍于基线噪声的分析计算方法的检出限,10倍于基线噪声的分析计算方法的定量限。当信噪比为10时,得到定量限白藜芦醇为5.0 ng/mL,白藜芦醇苷为1.0 ng/mL,紫檀芪为5.0 ng/mL。

### 2.2.3 加标回收率测定结果

选取未经UV-C照射的玫瑰香葡萄为样品,向其中添加3个质量浓度水平的白藜芦醇、白藜芦醇苷和紫檀芪标准品溶液根据1.3.2节和1.3.3节所建立的检测方法进行加标回收率测定。每个样品平行实验3次,平均加标回收率和相对标准偏差见表3。

表3 白藜芦醇、白藜芦醇苷和紫檀芪的回收率(n=5)  
Table 3 Recovery of Res, PD, and PS spiked in blank sample (n=5)

标准品	样品溶液 实际量/(ng/g)	添加量/ (ng/g)	检测量/ (ng/g)	回收 率/%	相对标准 偏差/%
白藜芦醇	38.64±1.30	5.0	37.36±1.65	85.61	2.20
	38.64±1.30	20.0	56.49±1.89	96.35	1.81
	38.64±1.30	50.0	82.94±1.37	93.57	1.33
白藜芦醇苷	16.84±1.33	1.0	15.68±1.92	87.93	2.53
	16.84±1.33	20.0	34.15±2.03	92.72	1.25
	16.84±1.33	50.0	66.15±2.95	98.98	1.15
紫檀芪	—	5.0	4.43±1.02	88.64	1.78
	—	20.0	18.97±1.79	94.87	1.36
	—	50.0	49.52±1.66	99.03	1.13

注:—未检出。表5同。

由表3可知,白藜芦醇及其衍生物的回收率范围在85.61%~99.03%之间,相对标准偏差范围在1.13%~2.53%之间,说明建立的方法满足定量分析的要求,可将方法应用于实验检测。

## 2.3 UV-C照射对玫瑰香葡萄品质的影响

正常光照条件(对照组)和UV-C不同剂量不同时间照射条件后,在4℃避光贮藏7d,玫瑰香葡萄品质指标变化见表4。

表4 玫瑰香葡萄贮藏过程中品质变化

Table 4 Quality changes of Muscat grape during storage

检测指标	贮藏时间/d	0 kJ/m <sup>2</sup>	1.5 kJ/m <sup>2</sup>	3.0 kJ/m <sup>2</sup>	4.5 kJ/m <sup>2</sup>	6.0 kJ/m <sup>2</sup>	7.5 kJ/m <sup>2</sup>
可溶性 固形物 质量分数/%	0	18.9±0.01 <sup>a</sup>	18.9±0.01 <sup>a</sup>	19.0±0.02 <sup>a</sup>	19.2±0.03 <sup>a</sup>	18.9±0.02 <sup>a</sup>	19.1±0.01 <sup>a</sup>
	1	18.5±0.03 <sup>b</sup>	18.3±0.02 <sup>c</sup>	18.8±0.00 <sup>b</sup>	18.9±0.01 <sup>b</sup>	18.8±0.00 <sup>a</sup>	18.8±0.00 <sup>b</sup>
	3	17.9±0.00 <sup>c</sup>	18.7±0.01 <sup>b</sup>	18.6±0.01 <sup>b</sup>	18.6±0.01 <sup>c</sup>	18.4±0.01 <sup>b</sup>	18.5±0.01 <sup>c</sup>
	5	17.3±0.04 <sup>d</sup>	17.9±0.02 <sup>d</sup>	18.2±0.02 <sup>c</sup>	18.0±0.00 <sup>d</sup>	18.3±0.02 <sup>b</sup>	18.1±0.02 <sup>d</sup>
	7	16.8±0.02 <sup>e</sup>	17.8±0.01 <sup>d</sup>	17.8±0.01 <sup>d</sup>	17.9±0.02 <sup>d</sup>	17.3±0.01 <sup>e</sup>	17.0±0.01 <sup>e</sup>
VC含量/ (mg/100 g)	0	67.8±3.01 <sup>a</sup>	68.0±3.04 <sup>a</sup>	67.9±0.94 <sup>a</sup>	67.5±3.29 <sup>a</sup>	67.8±1.87 <sup>a</sup>	68.1±1.58 <sup>a</sup>
	1	66.8±1.92 <sup>b</sup>	67.8±3.32 <sup>a</sup>	67.6±2.21 <sup>a</sup>	67.4±2.54 <sup>a</sup>	67.6±3.89 <sup>a</sup>	67.9±2.66 <sup>b</sup>
	3	63.4±3.60 <sup>c</sup>	65.9±1.00 <sup>c</sup>	66.3±3.72 <sup>b</sup>	66.4±4.07 <sup>b</sup>	65.2±2.99 <sup>b</sup>	65.7±1.09 <sup>c</sup>
	5	60.7±2.87 <sup>d</sup>	63.6±2.77 <sup>c</sup>	63.7±1.09 <sup>c</sup>	64.2±3.89 <sup>b</sup>	64.9±3.79 <sup>b</sup>	64.0±1.45 <sup>c</sup>
	7	58.9±1.33 <sup>e</sup>	60.3±1.69 <sup>d</sup>	62.1±2.24 <sup>d</sup>	62.5±1.77 <sup>d</sup>	62.3±4.00 <sup>c</sup>	61.7±2.88 <sup>d</sup>
可滴定酸 质量分数/%	0	0.288±0.004 <sup>a</sup>	0.289±0.089 <sup>a</sup>	0.293±0.037 <sup>a</sup>	0.291±0.089 <sup>a</sup>	0.285±0.059 <sup>a</sup>	0.287±0.089 <sup>a</sup>
	1	0.280±0.023 <sup>b</sup>	0.284±0.024 <sup>b</sup>	0.288±0.039 <sup>b</sup>	0.286±0.120 <sup>b</sup>	0.282±0.079 <sup>b</sup>	0.279±0.003 <sup>b</sup>
	3	0.278±0.014 <sup>b</sup>	0.281±0.076 <sup>b</sup>	0.283±0.026 <sup>c</sup>	0.279±0.013 <sup>c</sup>	0.283±0.099 <sup>b</sup>	0.272±0.077 <sup>c</sup>
	5	0.269±0.000 <sup>c</sup>	0.273±0.048 <sup>c</sup>	0.275±0.046 <sup>d</sup>	0.275±0.012 <sup>c</sup>	0.272±0.027 <sup>c</sup>	0.269±0.301 <sup>c</sup>
	7	0.252±0.032 <sup>d</sup>	0.264±0.056 <sup>d</sup>	0.272±0.037 <sup>d</sup>	0.270±0.045 <sup>c</sup>	0.261±0.066 <sup>d</sup>	0.259±0.009 <sup>d</sup>
总酚含量/ (mg/100 g)	0	0.038±0.004 <sup>a</sup>	0.040±0.002 <sup>a</sup>	0.040±0.003 <sup>a</sup>	0.039±0.012 <sup>a</sup>	0.041±0.009 <sup>a</sup>	0.037±0.011 <sup>a</sup>
	1	0.036±0.002 <sup>a</sup>	0.038±0.005 <sup>a</sup>	0.037±0.008 <sup>a</sup>	0.037±0.007 <sup>a</sup>	0.038±0.006 <sup>a</sup>	0.033±0.007 <sup>b</sup>
	3	0.029±0.003 <sup>b</sup>	0.034±0.003 <sup>b</sup>	0.035±0.004 <sup>a</sup>	0.033±0.003 <sup>b</sup>	0.034±0.004 <sup>a</sup>	0.031±0.003 <sup>b</sup>
	5	0.024±0.003 <sup>c</sup>	0.028±0.006 <sup>c</sup>	0.031±0.002 <sup>b</sup>	0.033±0.006 <sup>b</sup>	0.032±0.002 <sup>b</sup>	0.030±0.005 <sup>c</sup>
	7	0.019±0.001 <sup>d</sup>	0.023±0.004 <sup>c</sup>	0.026±0.005 <sup>c</sup>	0.028±0.002 <sup>c</sup>	0.022±0.005 <sup>c</sup>	0.024±0.008 <sup>d</sup>

注:采用Duncan's多重比较分析,同一组别中同一列肩标不同字母表示差异显著(P<0.05)。表5同。

在贮藏过程中,玫瑰香葡萄中的可滴定酸被逐渐消耗,可溶性固形物、VC含量也逐渐减少,品质指标呈现下降趋势。对比对照组和实验组,贮藏时间超过5d后,照射剂量为3.0 kJ/m<sup>2</sup>或4.5 kJ/m<sup>2</sup>时,可溶性固形物、可滴定酸、多酚、VC含量均高于其他处理组,说明经UV-C照射处理可以有效抑制品质下降幅度,达到了保鲜目的。

## 2.4 UV-C照射玫瑰香葡萄中白藜芦醇及其衍生物含量

表5 玫瑰香葡萄中白藜芦醇、白藜芦醇苷和紫檀芪含量

Table 5 The contents of Res, PD, and PS in Muscat grapes

检测指标	贮藏 时间/h	0 kJ/m <sup>2</sup>	1.5 kJ/m <sup>2</sup>	3.0 kJ/m <sup>2</sup>	4.5 kJ/m <sup>2</sup>	6.0 kJ/m <sup>2</sup>	7.5 kJ/m <sup>2</sup>
白藜芦醇	0	18.56±1.56 <sup>b</sup>	30.19±1.37 <sup>b</sup>	52.71±1.39 <sup>a</sup>	46.53±3.01 <sup>a</sup>	31.87±1.54 <sup>a</sup>	24.19±0.99 <sup>a</sup>
	24	20.38±2.09 <sup>c</sup>	40.88±2.49 <sup>b</sup>	63.01±2.01 <sup>b</sup>	68.80±2.83 <sup>c</sup>	39.81±1.75 <sup>b</sup>	30.51±1.59 <sup>b</sup>
	48	22.59±1.88 <sup>c</sup>	52.12±2.05 <sup>b</sup>	79.56±2.49 <sup>c</sup>	86.53±2.42 <sup>d</sup>	43.64±2.03 <sup>b</sup>	42.88±1.81 <sup>c</sup>
	72	17.32±1.43 <sup>b</sup>	45.89±1.85 <sup>b</sup>	66.83±1.90 <sup>b</sup>	59.47±1.39 <sup>b</sup>	37.90±2.81 <sup>a</sup>	37.32±2.03 <sup>b</sup>
	96	15.28±1.79 <sup>a</sup>	43.72±1.57 <sup>b</sup>	52.11±2.08 <sup>a</sup>	43.24±2.51 <sup>a</sup>	33.89±1.02 <sup>a</sup>	35.76±2.35 <sup>b</sup>
白藜芦醇苷	0	42.05±3.42 <sup>a</sup>	74.78±2.48 <sup>a</sup>	130.86±3.44 <sup>b</sup>	138.82±3.74 <sup>a</sup>	97.61±2.58 <sup>a</sup>	74.85±3.14 <sup>a</sup>
	24	49.24±2.47 <sup>b</sup>	86.52±3.10 <sup>b</sup>	135.88±3.79 <sup>b</sup>	142.35±3.20 <sup>b</sup>	101.33±2.39 <sup>b</sup>	89.22±2.29 <sup>b</sup>
	48	56.33±2.51 <sup>c</sup>	93.10±2.77 <sup>c</sup>	147.29±2.85 <sup>c</sup>	150.79±2.88 <sup>c</sup>	112.85±2.58 <sup>c</sup>	95.19±3.15 <sup>c</sup>
	72	48.29±3.09 <sup>b</sup>	87.49±2.41 <sup>b</sup>	129.00±1.93 <sup>b</sup>	126.44±1.39 <sup>b</sup>	103.88±1.07 <sup>b</sup>	90.21±2.19 <sup>b</sup>
	96	40.37±2.11 <sup>a</sup>	72.18±3.02 <sup>a</sup>	83.87±2.03 <sup>a</sup>	89.83±1.57 <sup>a</sup>	87.31±1.69 <sup>a</sup>	84.33±1.33 <sup>b</sup>
紫檀芪	0	—	—	—	—	—	—
	24	—	5.65±0.34 <sup>a</sup>	8.98±0.49 <sup>a</sup>	10.30±1.29 <sup>a</sup>	9.79±0.56 <sup>a</sup>	7.86±0.97 <sup>a</sup>
	48	—	7.32±1.21 <sup>a</sup>	10.53±1.35 <sup>a</sup>	13.73±0.79 <sup>a</sup>	14.21±1.33 <sup>a</sup>	9.24±1.02 <sup>a</sup>
	72	—	19.83±0.97 <sup>b</sup>	18.92±1.21 <sup>b</sup>	31.47±2.32 <sup>b</sup>	25.99±2.01 <sup>b</sup>	17.30±1.35 <sup>b</sup>
	96	—	20.01±1.32 <sup>c</sup>	19.11±1.79 <sup>b</sup>	26.26±0.92 <sup>b</sup>	25.31±1.67 <sup>b</sup>	17.58±2.31 <sup>b</sup>

对5组实验组玫瑰香葡萄样品进行1.5、3.0、4.5、6.0 kJ/m<sup>2</sup>和7.5 kJ/m<sup>2</sup> UV-C照射,正常光照射对照,4℃

避光贮藏, 间隔24 h检测其中白藜芦醇及其衍生物含量, 见表5。经UV-C照射后, 玫瑰香葡萄中白藜芦醇及白藜芦醇苷呈现先增加后降低的趋势。紫檀芪在贮藏24 h后被检出。

经UV-C照射后立即取样检测, 照射剂量为 $3.0 \text{ kJ/m}^2$ 时, 白藜芦醇在玫瑰香葡萄中的含量基本达到最大值 $52.71 \mu\text{g/g}$ , 含量约为对照组的2.5倍; 照射剂量为 $4.5 \text{ kJ/m}^2$ 时, 白藜芦醇苷在玫瑰香葡萄中的含量基本达到最大值 $138.82 \mu\text{g/g}$ , 含量约为对照组的4倍; 紫檀芪含量与对照组没有差别, 未能检出。当辐射剂量继续增大时, 白藜芦醇和白藜芦醇苷的含量开始下降, 较大剂量的辐射影响了白藜芦醇及白藜芦醇苷的合成。

4℃避光放置后, 经UV-C照射处理后的玫瑰香葡萄中白藜芦醇、白藜芦醇苷的含量在48 h内增加并达到最大值, 随着贮藏时间的延长, 呈现下降趋势; 紫檀芪含量在照射剂量 $4.5 \text{ kJ/m}^2$ 贮藏72 h后达到最大值 $31.47 \mu\text{g/g}$ 。贮藏时间超过48 h后, 白藜芦醇含量呈下降趋势, 紫檀芪开始大量增加。

## 2.5 贮藏温度对白藜芦醇及其衍生物含量的影响

经剂量为 $4.5 \text{ kJ/m}^2$  UV-C照射后的玫瑰香葡萄在0、4℃和20℃条件下避光贮藏, 经24、48、72 h和96 h后分别检测白藜芦醇及其衍生物的含量, 如图2所示。

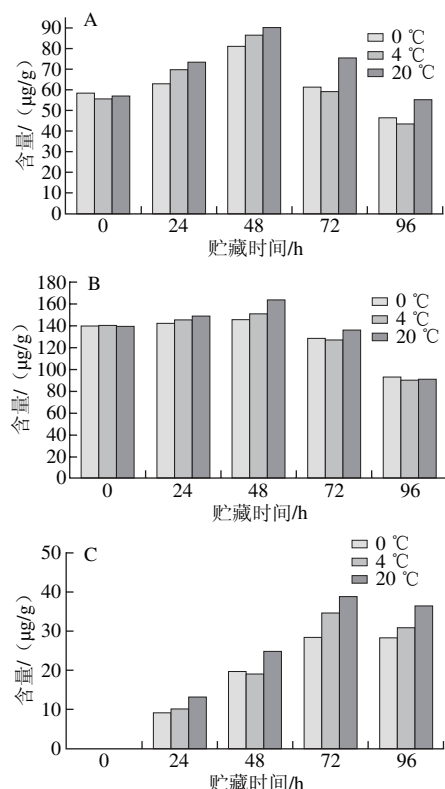


图2 不同温度避光贮藏后白藜芦醇(A)、白藜芦醇苷(B)和紫檀芪(C)含量变化

Fig. 2 Changes in Res (A), PD (B) and PS (C) contents after storage at different temperatures

随贮藏时间延长, 白藜芦醇、白藜芦醇苷的含量呈现先增加后降低的趋势, 紫檀芪含量逐渐增加后趋于平稳。与0℃和4℃相比, 贮藏温度为20℃时, 相同贮藏时间条件下, 玫瑰香葡萄中白藜芦醇及其衍生物的含量均较高。贮藏温度20℃, 贮藏48 h后白藜芦醇和白藜芦醇苷含量达到最高, 分别为 $90.29$ 、 $163.28 \mu\text{g/g}$ ; 贮藏温度20℃, 贮藏72 h后紫檀芪含量达到最高 $38.67 \mu\text{g/g}$ 。

研究<sup>[28]</sup>发现植物体内白藜芦醇通过苯丙氨酸代谢途径合成, 合成量受苯丙氨酸解氨酶等的影响; 体外实验证明<sup>[29-30]</sup>, 白藜芦醇衍生物的合成与过氧化物酶和多酚氧化酶的活性有关。温度是酶活力的主要影响因素之一, 导致不同贮藏温度条件下, 玫瑰香葡萄中白藜芦醇及其衍生物含量不同。

## 3 结论

UV-C照射处理降低了玫瑰香葡萄中可溶性固形物、可滴定酸、VC等风味物质或营养物质在贮藏期间的下降速率, 有效保持了玫瑰香葡萄在贮藏期内品质。

经UV-C照射后, 玫瑰香葡萄会产生应急反应, 照射剂量、贮藏时间和贮藏温度都是显著影响条件。UV-C照射剂量为 $4.5 \text{ kJ/m}^2$ 时, 20℃贮藏48 h, 白藜芦醇和白藜芦醇苷含量达到最高, 分别为 $90.29 \mu\text{g/g}$ 和 $163.28 \mu\text{g/g}$ ; 20℃贮藏72 h, 紫檀芪含量达到最高 $38.67 \mu\text{g/g}$ 。

## 参考文献:

- [1] 彭晓琳. 白藜芦醇数据库建立、深圳居民摄入量评估及生物效应、代谢学研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2011: 17-21. DOI:10.7666/d.d186499.
- [2] POTTER G A, PATTERSON L H, WANOGHO E, et al. The cancer preventative agent resveratrol is converted to the anticancer agent piceatannol by the cytochrome P450 enzyme CYP1B1[J]. British Journal of Cancer, 2002, 86(5): 774-778. DOI:10.1038/sj.bjc.6600197.
- [3] KALLITHRAKA S, ARVANITOYANNIS I, EI-ZAJOULI A, et al. The application of an improved method for trans-resveratrol to determine the origin of Greek red wines[J]. Food Chemistry, 2001, 75(3): 355-363. DOI:10.1016/S0308-8146(01)00213-8.
- [4] 李洁, 熊兴耀, 曾建国, 等. 白藜芦醇的研究进展[J]. 中国现代中药, 2013, 15(2): 100-108. DOI:10.3969/j.issn.1673-4890.2013.02.005.
- [5] 黄卫文, 李忠海, 黎继烈, 等. 白藜芦醇的合成研究进展[J]. 中南林业科技大学学报, 2010, 30(10): 72-77. DOI:10.3969/j.issn.1673-923X.2010.10.013.
- [6] 黎永胜, 文军. 白藜芦醇的药理作用研究进展[J]. 医学综述, 2008, 14(3): 469-471. DOI:10.3969/j.issn.1006-2084.2008.03.065.
- [7] 孟雪莲, 杨静玉, 吴春福. 白藜芦醇的药理学作用研究进展[J]. 沈阳药科大学学报, 2008, 25(增刊1): 51-54. DOI:10.14066/j.cnki.cn21-1349/r.2008.s1.010.
- [8] 张宝红. 白藜芦醇药理研究进展[J]. 现代医院, 2008, 8(3): 66-68. DOI:10.3969/j.issn.1671-332X.2008.03.034.
- [9] 夏开元, 戎卫华. 葡萄中的功效成份: 白藜芦醇、白藜芦醇苷和原花青素[J]. 食品科学, 2002, 23(8): 356-359. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2002.08.112.



- [10] 胡超. 白藜芦醇对HepG2细胞的影响及机制探讨[D]. 长沙: 中南大学, 2012: 3-17. DOI:10.7666/d.y2198505.
- [11] 白杨, 潘隽丽, 苏薇薇. 白藜芦醇与白藜芦醇甙的研究进展[J]. 中药材, 2004, 31(1): 55-59. DOI:10.3321/j.issn:1001-4454.2004.01.031.
- [12] 张玉松. 虎杖苷抗肿瘤作用及机制研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2013: 9-31.
- [13] 黄宁, 杨柳萌, 王睿睿, 等. 白藜芦醇衍生物体外抗HIV-1活性的初步研究[J]. 中国新药杂志, 2012, 21(7): 740-745.
- [14] 马宁, 王建芬, 徐芳, 等. 白藜芦醇衍生物及类似物的药理活性与分析方法研究进展[J]. 中国新药杂志, 2011, 20(2): 120-128.
- [15] 马丁, 胡凯. 白藜芦醇脱氢二聚体viniferin的研究进展[J]. 科技信息, 2011(29): 487-488. DOI:10.3969/j.issn.1001-9960.2011.29.386.
- [16] BONOMELLI A, MERCIER L, FRANCHET J, et al. Response of grapevine defenses to UV-C exposure[J]. America Journal of Enology and Viticulture, 2004, 55(1): 51-59.
- [17] SGARBI E, FORNASIERO R B, LINS A P, et al. Phenol metabolism is differentially affected by ozone in two cell lines from grape (*Vitis vinifera* L.) leaf[J]. Plant Science, 2003, 165(5): 951-957.
- [18] WU C C, WU C I, WANG W Y, et al. Low concentrations of resveratrol potentiate the antiplatelet effect of prostaglandins[J]. Planta Medicine, 2007, 73(5): 439-443.
- [19] FERNANDEZ-MAR M I, MATEOS R, GARCIA-PARRILLA M C, et al. Bioactive compounds in wine: resveratrol, hydroxytyrosol and melatonin: a review[J]. Food Chemistry, 2012, 130(4): 797-813. DOI:10.1016/j.foodchem.2011.08.023.
- [20] 徐金. UV-C辐射对葡萄叶片和邻近果穗果实白藜芦醇合成的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2012: 16-27.
- [21] 郑先波, 李晓东, 吴本宏, 等. 葡萄离体叶片和果实白藜芦醇及其糖苷合成对UV-C辐射诱导的响应[J]. 园艺学报, 2010, 37(8): 1227-1234. DOI:10.16420/j.issn.0513-353x.2010.08.017.
- [22] HUANG X, MAZZA G. Simultaneous analysis of serotonin, melatonin, piceid and resveratrol in fruits using liquid chromatography tandem mass spectrometry[J]. Journal of Chromatography A, 2011, 1218(25): 3890-3899. DOI:10.1016/j.chroma.2011.04.049.
- [23] 季梅, 娄红祥, 王小宁. 液相色谱-质谱联用法测定不同产地虎杖中白藜芦醇及其糖苷的含量[J]. 药物分析杂志, 2008, 28(12): 1987-1992. DOI:10.16155/j.0254-1793.2008.12.007.
- [24] 厉维江, 厉超阳, 谢亚利, 等. 采后UV-C处理对葡萄抗病性和品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(9): 51-53. DOI:10.13989/j.cnki.0517-6611.2011.09.205.
- [25] 黄治钰. 酿酒葡萄对不同内生真菌菌株再侵染后的生理生化响应[D]. 昆明: 云南大学, 2015: 26-29.
- [26] 边凤霞. 不同葡萄品种在采后贮藏过程中果实品质变化的比较研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2013: 12-13.
- [27] 田莉. 葡萄果实查耳酮合成酶研究-基因克隆、表达、纯化、抗体的制备以及UV对葡萄果实查耳酮合成酶的调节[D]. 北京: 中国农业大学, 2007: 50-52.
- [28] HELENE C, ALIAN D, FRANCOIS L, et al. Gene induction of stilbene biosynthesis scots pine in response to ozone treatment, wounding, and fungal infection[J]. Plant Physiology, 2000, 124(2): 865-872.
- [29] 王琴飞. 赤霞珠葡萄叶片中以白藜芦醇为底物的代谢酶的研究[D]. 海口: 海南大学, 2008: 16-27.
- [30] 刘新荣, 高丽萍, 夏涛. 紫外处理对酿酒葡萄果皮中白藜芦醇及其二聚体合成的影响[J]. 激光生物学报, 2009, 18(1): 56-61. DOI:10.3969/j.issn.1007-7146.2009.01.011.