

不同前处理方法对鲜葡萄枝蔓中芪类化合物的影响研究

谢红旗^{1,3}, 杨星星^{1,3}, 曾建国^{1,2,3*}

1. 湖南农业大学园艺园林学院, 植物功能成分利用 2011 协同创新中心, 湖南 长沙 410128

2. 湖南省中药提取工程研究中心, 湖南 长沙 410331

3. 湖南农业大学 国家中药材生产(湖南)技术中心, 湖南 长沙 410128

摘要: **目的** 研究不同前处理方法对鲜葡萄 *Vitis vinifera* 枝蔓芪类化合物的影响。**方法** 采用 HPLC 法同时测定葡萄枝蔓中活性成分白藜芦醇和 ϵ -葡萄素, 对新剪枝的葡萄枝蔓进行不同方式的干燥处理: 阴干、烘干、冷藏; 对葡萄枝蔓采取整枝、切片和粉碎 3 种方式处理, 考察干燥过程中葡萄枝蔓中白藜芦醇和 ϵ -葡萄素的动态变化规律。**结果** 新鲜葡萄枝蔓中白藜芦醇和 ϵ -葡萄素的量均较低, 采用整枝阴干的前处理方式, 白藜芦醇随着阴干时间的延长而发生显著变化, 由初始的 0.063 mg/g 上升至 7.175 mg/g, ϵ -葡萄素也由初始的 0.838 mg/g 上升至 4.225 mg/g; 二者均随时间延长达到一定程度后又呈现下降的趋势。而对于采用将葡萄枝蔓进行切片阴干、切片冷藏、粉碎阴干、粉碎冷藏和不同温度快速烘干处理, 白藜芦醇和 ϵ -葡萄素变化不明显。**结论** 不同的处理方式能影响到剪枝后葡萄枝蔓中的白藜芦醇和 ϵ -葡萄素量的变化。采取整枝阴干处理, 白藜芦醇和 ϵ -葡萄素随时间的延长均呈现先显著升高再下降的变化趋势, 白藜芦醇和 ϵ -葡萄素在一定阶段能达到可开发利用的水平。

关键词: 葡萄枝蔓; 芪类化合物; 白藜芦醇; ϵ -葡萄素; 前处理方法

中图分类号: R282.23 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2014)24-3553-06

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2014.24.010

Influence of different pretreatment methods on stilbenoids in grapevine

XIE Hong-qi^{1,3}, YANG Xing-xing^{1,3}, ZENG Jian-guo^{1,2,3}

1. College of Horticulture and Landscape, Plant Functional Components Utilization 2011 Collaborative Innovation Center, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China

2. Hunan Engineering Research Center of Botanical Extraction, Changsha 410331, China

3. Center of National Chinese Herbal Medicine Production & Technology (Hunan), Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China

Abstract: Objective To study the influence of different pretreatment methods of grapevine on the content of stilbenoids in grapevine. **Methods** The concentration of resveratrol and ϵ -viniferin was determined by HPLC, the fresh grapevine sample after picked was pretreated by different methods such as drying in the shade, drying in a dryer under different temperature, keeping in cold storage, slicing, pulverization, or whole treating, and the dynamic changes of stilbenoids in grapevine was investigated. **Results** The contents of resveratrol and ϵ -viniferin in the fresh sample were very low, but the contents of resveratrol and ϵ -viniferin in the grapevine after picked would change significantly if treated as drying in the shade with whole branch, especially the content of resveratrol would rise from 0.063 mg/g to 7.175 mg/g with the extension of treating time, and the content of ϵ -viniferin would rise from 0.838 mg/g to 4.225 mg/g, but at some extent, the content would decline. The contents of resveratrol and ϵ -viniferin would not rise if the sample was pretreated as drying in the shade after slicing, drying in a dryer or keeping in cold storage. **Conclusion** The influence of different pretreatment methods to the contents of resveratrol and ϵ -viniferin is very large, during drying process in the shade with whole branch, the contents of resveratrol and ϵ -viniferin change obviously and display the tendency of increasing at the earlier phase of the drying

收稿日期: 2014-04-23

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2012BAI29B04); 国际合作项目(2013DFA31790)

作者简介: 谢红旗(1974—), 男, 副教授, 硕士研究生导师, 主要研究方向为天然产物开发与利用。

Tel/Fax: (0731)84686560 E-mail: xiehongqi2006@sohu.com

*通信作者 曾建国 Tel: (0731)84687293 E-mail: ginkgo@world-way.net

process, and then decrease with the extension of time. The contents of resveratrol and ϵ -viniferin can reach the level of utilization with the pretreatment of drying process in the shade.

Key words: grapevine; stilbenoids; resveratrol; ϵ -viniferin; pretreatment method

白藜芦醇近年来被发现存在于葡萄植株的各个部位^[1-3],在植物抗病性、人类心血管疾病和癌症预防等方面都表现出优异的特性^[4]。白藜芦醇的低聚物如葡萄素等芪类化合物(二苯乙烯类化合物)在抗炎、抗菌、抗癌、抗氧化、预防心血管疾病方面,被证明具有与白藜芦醇相似的活性,有的甚至比白藜芦醇的活性还高^[5]。由于葡萄植株中(叶、果)白藜芦醇的量较低,仅百万分之五左右,开发成本非常高,目前市场上白藜芦醇产品主要来源于我国的药用植物虎杖。由于来源于虎杖的白藜芦醇产品中含有一定的毒副作用的共存组分,欧美市场更青睐来源于葡萄的白藜芦醇产品,且价格也要高很多。

通过对葡萄植株各部位中白藜芦醇和葡萄素等芪类化合物的代谢累积规律研究发现,葡萄植株中白藜芦醇和葡萄素等芪类化合物的量分布顺序依次是主藤>侧藤>支藤>叶 $\approx$ 叶柄^[6],但每个部位中白藜芦醇的量都很低。为了能利用葡萄中的白藜芦醇,人们希望能增加葡萄植株中白藜芦醇的量,研究发现白藜芦醇及葡萄素是以植物毒素的形式存在于植株体内的,其合成是植物体抵御各种不利于植物生长而发生应激反应而产生的^[7]。因此,通过生物胁迫诱导白藜芦醇的合成而增加白藜芦醇在植株中的积累是目前研究的一个重要方向^[8],如采用病原菌体侵袭诱导、物理诱导和化学诱导等,也有研究表明采用生态胁迫(灌水、施肥频率、延迟采收)的方法增加白藜芦醇在葡萄中的积累。这些方法对提高白藜芦醇的量具有一定的作用,但效果不明显。

在葡萄栽培过程中,为了提高产量,每年在秋冬季需要修剪掉大量的葡萄藤枝蔓,剪下来的葡萄藤枝蔓一般都是采取就地烧掉的办法进行处理,造成了生态环境的污染和资源的严重浪费。在实验研究过程中发现剪枝后自然放置一段时间的葡萄枝蔓中白藜芦醇的量比新鲜葡萄枝蔓中白藜芦醇的量高很多。本实验考察葡萄剪枝后,对葡萄枝蔓进行不同方式的处理(包括室温阴干、晒干、冷藏、不同温度快速烘干等)对葡萄枝蔓中白藜芦醇和葡萄素量的影响。通过本研究探明白藜芦醇和葡萄素在葡萄植株中的代谢累积规律,为将葡萄枝蔓变废为宝、合理开发葡萄植株中的白藜芦醇和葡萄素提供

科学依据,为开发保健型的白藜芦醇产品提供新的材料来源。

1 仪器与材料

葡萄样品采集于湖南浏阳永安镇葡萄园,为湖南省中药提取工程研究中心提供,由湖南中医药大学杨广民教授鉴定为葡萄 *Vitis vinifera* L. 的藤枝蔓。白藜芦醇对照品(批号 111535-200502,质量分数 $\geq 98\%$)购自中国食品药品检定研究院; ϵ -葡萄素对照品(质量分数 $\geq 98\%$),本实验室自制。甲醇、乙酸为色谱纯,其他试剂均为分析纯。

Waters 1525 型高效液相色谱仪(自动进样器、四元泵、柱温箱、DAD 检测器),美国沃特世公司;Mettler ML204 电子天平,梅特勒-托利多仪器有限公司;数显恒温水浴锅,江苏省金坛市荣华仪器制造有限公司;高速中药粉碎机,浙江瑞安市永历机械制造有限公司;KQ-5200DB 台式数控超声清洗器,昆山市超声仪器有限公司;真空干燥箱,上海市实验仪器总厂。

2 方法与结果

2.1 含水量测定

参照《中国药典》2010 年版第一部附录 IX H 项下第一法(烘干法)测定供试品含水量^[9]。精密称取每批样品质量(M_1),约 2.0 g,置于烘箱中 105 $^{\circ}\text{C}$ 烘烤至质量不再减少,放置干燥箱冷却并称质量(M_2),则含水量(A)= $1-M_1/M_2$ 。

2.2 葡萄枝蔓前处理方法

取同一批次葡萄枝蔓 60 kg,分成 3 等份,1 份切片,1 份粉碎,1 份保持原样。干燥方式均采用阴干(室温避光)、烘干(50、75、100 $^{\circ}\text{C}$)和冷藏(4 $^{\circ}\text{C}$) 3 种方式。在干燥过程中定期随机取样,取适量材料粉碎后检测白藜芦醇、 ϵ -葡萄素的质量分数和含水量。

2.3 白藜芦醇和 ϵ -葡萄素的测定^[6]

采用 HPLC 法测定葡萄植株中白藜芦醇和 ϵ -葡萄素, Hypersil BDS C_{18} 柱(250 mm $\times$ 4.6 mm, 5 μm),流动相为 1%乙酸水溶液-甲醇,梯度洗脱,洗脱程序:0~5 min, 20%~30%甲醇;5~15 min, 30%甲醇;15~18 min, 30%~37%甲醇;18~29 min, 37%甲醇;29~35 min, 37%~50%甲醇;35~

57 min, 50%甲醇; 57~58 min, 50%~100%甲醇; 58~61 min, 100%甲醇; 61~62 min, 100%~20%甲醇; 62~65 min, 20%甲醇; 体积流量 0.8 mL/min, 进样量 5 μ L, 检测波长 310 nm, 柱温 35 $^{\circ}$ C。

精密称取白藜芦醇对照品 14.7 mg, ϵ -葡萄糖素对照品 17.8 mg, 甲醇溶解并定容至 50 mL 量瓶中, 得对照品溶液。精密量取对照品溶液 0.50、1.00、2.00、5.00、8.00、10.00 mL, 分别置于 10 mL 量瓶中, 加入甲醇稀释至刻度, 摇匀, 进样检测, 用于绘制标准曲线。

经不同方式处理的葡萄枝蔓粉碎后, 过 2 号筛, 准确称取 5.0 g 样品, 置于 250 mL 的磨口锥形瓶中, 加入 80% 甲醇溶液 100 mL, 称质量, 进行超声提取, 提取时间为 1 h, 平行操作 3 次。提取完成后冷却至室温, 甲醇补足减失的质量, 高速 (5 000 r/min) 离心 15 min, 取上清液经 0.45 μ m 微孔滤膜滤过, HPLC 法测定白藜芦醇和 ϵ -葡萄糖素的量。

2.4 数据处理

采用 origin 7.0 软件绘制白藜芦醇、 ϵ -葡萄糖素的质量分数和含水量变化趋势图。

3 结果

3.1 不同前处理方式水分的变化

对剪枝后的葡萄枝蔓进行切片和整枝样品进行不同处理, 考察阴干、冷藏过程中水分的变化趋势, 实验结果见图 1~6。不同处理方式水分的变化趋势不同, 采取阴干处理方式水分下降速度比较慢, 整枝阴干处理 4 个月, 水分才下降至 10% 左右, 采取切片或粉碎阴干方式, 水分下降速度相对较快, 在 45 d 左右就达到 10% 左右。采取快速烘干方式, 葡萄枝蔓快速失水达到干燥。而采用冷藏方式, 含

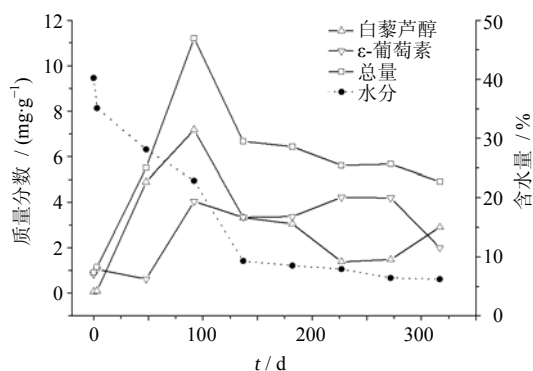


图1 葡萄枝蔓整枝阴干过程中白藜芦醇、 ϵ -葡萄糖素和水分变化情况

Fig. 1 Changes of resveratrol, ϵ -viniferin, and water levels in intact grapevine during drying process in shade

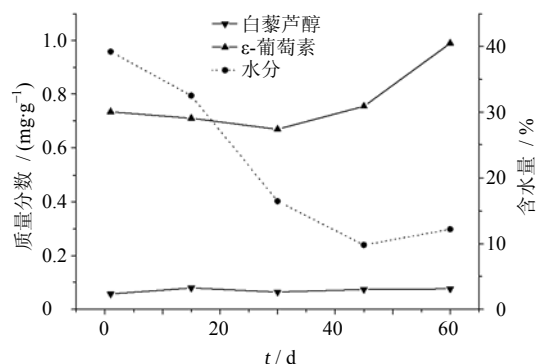


图2 切片阴干过程中白藜芦醇、 ϵ -葡萄糖素和水分变化情况
Fig. 2 Changes of resveratrol, ϵ -viniferin, and water levels in sliced grapevine during drying process in shade

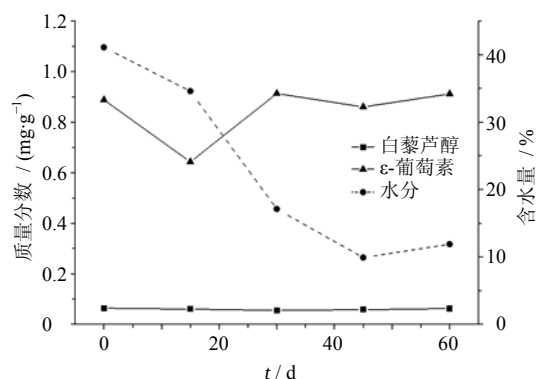


图3 粉碎阴干过程中白藜芦醇、 ϵ -葡萄糖素和水分变化情况
Fig. 3 Changes of resveratrol, ϵ -viniferin, and water levels in crushed grapevine during drying process in shade

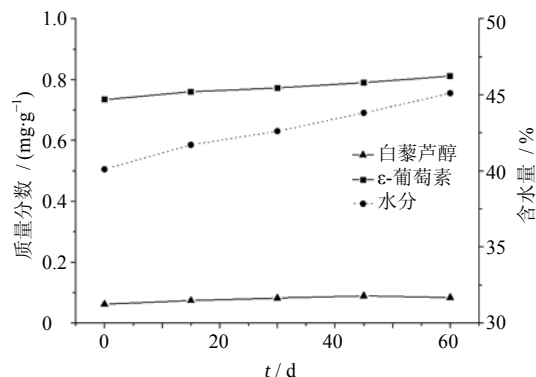


图4 整枝冷藏过程中白藜芦醇、 ϵ -葡萄糖素和水分变化情况
Fig. 4 Changes of resveratrol, ϵ -viniferin, and water levels in intact grapevine during drying process in cold storage

水量随着存放时间的延长略有上升。

3.2 不同处理方式对葡萄枝蔓中芪类化合物量的影响

葡萄枝蔓提取液的 HPLC 色谱图见图 7。白藜芦醇和 ϵ -葡萄糖素的工作曲线的线性回归方程、相关系

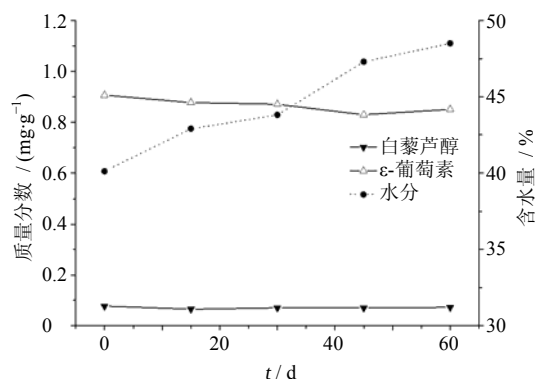


图5 粉碎冷藏过程中白藜芦醇、ε-葡萄素和水分变化情况
Fig. 5 Changes of resveratrol, ε-viniferin, and water levels in crushed grapevine during cold storage process

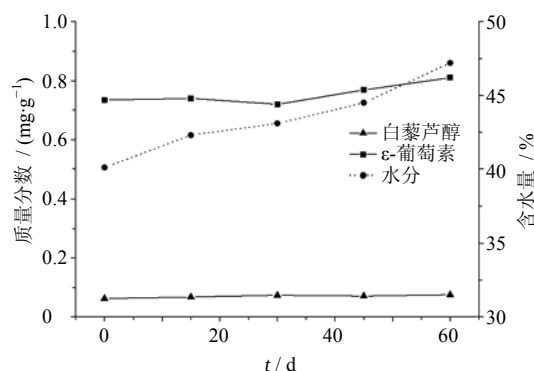


图6 切片冷藏过程中白藜芦醇、ε-葡萄素和水分变化情况
Fig. 6 Changes of resveratrol, ε-viniferin, and water levels in sliced grapevine during cold storage process

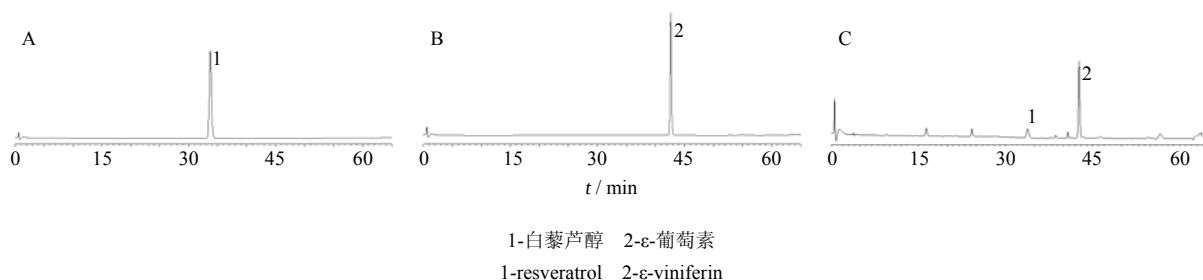


图7 白藜芦醇 (A) 和 ε-葡萄素 (B) 对照品以及葡萄枝蔓样品 (C) 的 HPLC 图
Fig. 7 HPLC of resveratrol (A), ε-viniferin (B) reference substance, and grapevine sample (C)

数和线性范围分别为白藜芦醇 $Y=45\,373X-33\,883$, $R^2=0.999\,8$, 线性范围为 $14.7\sim294.0\,\mu\text{g/mL}$ 。ε-葡萄素 $Y=7\,526X+12\,339$, $R^2=0.999\,5$, 线性范围为 $17.8\sim356.0\,\mu\text{g/mL}$ 。结果表明, 白藜芦醇、ε-葡萄素质量浓度与峰面积线性关系良好。实验结果表明, 新鲜葡萄藤枝蔓中白藜芦醇的量非常低, 仅为 $0.063\,\text{mg/g}$, 达不到利用的价值, ε-葡萄素的量相对较高, 达到 $0.838\,\text{mg/g}$, 约为白藜芦醇量的15倍。

3.2.1 阴干过程中葡萄枝蔓中白藜芦醇和 ε-葡萄素的变化 阴干处理采取3种方式: 整枝阴干、切片阴干和粉碎阴干, 考察了3种处理过程葡萄枝蔓中白藜芦醇和 ε-葡萄素随时间的变化趋势, 结果见图1~3。在整枝阴干试验过程中, 考察时间比较长, 葡萄枝蔓中白藜芦醇的量随阴干时间的延长变化非常大, 在阴干过程的前90 d, 白藜芦醇的量急剧增加, 从 $0.063\,\text{mg/g}$ 上升到 $7.175\,\text{mg/g}$, 升幅达到100多倍。随后到230 d左右逐渐下降至 $1.4\,\text{mg/g}$, 然后又有一个逐步上升阶段。ε-葡萄素的量随时间变化也非常明显, 在阴干过程中的前3个月, ε-葡萄素由新鲜时的 $0.838\,\text{mg/g}$ 上升到 $4.225\,\text{mg/g}$, 升高

了约5倍。随后从90~317 d, ε-葡萄素的量呈现波动, 特别是从180 d开始, 与白藜芦醇的量呈现此消彼长的趋势。实验还考察了整枝阴干过程中白藜芦醇和 ε-葡萄素总量随时间的变化情况, 在整枝阴干过程中, 白藜芦醇和 ε-葡萄素总量在90 d前一直呈上升趋势, 到达90 d时总量达到 $11.2\,\text{mg/g}$, 比鲜样品时的总量提高12倍左右, 90 d后再呈下降趋势。

在切片阴干和粉碎阴干过程中, 白藜芦醇随阴干时间的延长基本没有什么变化, 其量保持在一个非常低的水平, 几乎没有增加。ε-葡萄素的变化也不是非常明显, 到45 d后略有上升。

3.2.2 冷藏过程中葡萄枝蔓中白藜芦醇和 ε-葡萄素的变化 将剪枝后的葡萄枝蔓采取整枝、粉碎和切片3种方式处理, 粉碎后置于 $4\,^{\circ}\text{C}$ 冰箱中冷藏, 考察葡萄藤枝蔓中白藜芦醇和 ε-葡萄素随时间的变化情况, 考察时间为45 d。结果见图4~6, 在3种处理方式冷藏过程中, 葡萄藤枝蔓中白藜芦醇和 ε-葡萄素基本上保持鲜样时的水平未发生显著变化。

3.2.3 烘干过程中葡萄枝蔓中白藜芦醇和 ε-葡萄素的变化 试验设置了3个不同烘干温度: 50、75、

100 ℃, 考察烘干方式对整枝、切片和粉碎的葡萄枝蔓中白藜芦醇和 ϵ -葡萄素的影响, 结果见表 1。结果表明采取不同温度烘干葡萄枝蔓后, 白藜芦醇和 ϵ -葡萄素与烘干前的量变化不大。

表 1 不同温度烘干后白藜芦醇和 ϵ -葡萄素的量
Table 1 Resveratrol and ϵ -viniferin levels after drying at different temperatures

烘干温度 / ℃	白藜芦醇 / (mg·g ⁻¹)			ϵ -葡萄素 / (mg·g ⁻¹)		
	整枝	切片	粉碎	整枝	切片	粉碎
50	132	34	46	1 021	888	856
75	115	40	79	986	635	791
100	84	53	66	904	843	783

4 讨论

芪类化合物是虎杖、花生、葡萄等植物中的次生代谢产物, 是植物体受到外来病菌 (如灰霉病菌) 浸染时产生的一种抗毒素, 也有研究证明通过一些非生物因子, 如紫外光线、生化试剂、臭氧、高盐、冷冻、损伤、重金属盐的刺激作用, 也能诱导采收后果实产生一定量的白藜芦醇。次生代谢与初生代谢一样是植物体内重要的生理代谢, 次生代谢产物在协调植物体与环境的关系上起到重要作用, 植物面临环境胁迫时, 次生代谢产物能够提高植物自身保护和生命存活能力。国内外对于植物中次生代谢产物合成与环境诱导作用及产生机制, 以及植物生长与次生代谢产物积累等做了大量的研究工作, 形成了一些基础理论^[10-11], 如碳素/营养平衡假说、生长/分化平衡假说、最佳防御假说和资源获得假说等。如棉花中的驱虫挥发性次生代谢产物是在受到昆虫刺激后才合成的。植物体内次生代谢产物的合成与积累需要环境条件的诱导。

次生代谢产物的合成与众多因素有关, 除了与环境胁迫有关以外, 次生代谢产物的合成途径是一个复杂的过程, 受到很多因素的影响, 如植物体内的生物酶、微生物的量与活性是影响次生代谢产物合成的一个重要原因。中药材的采后干燥过程, 对于药材来说是一个水分胁迫的过程, 有研究证明在这一过程中会启动植物的抗旱应激机制而导致某些次生代谢产物的量上升^[12]。本实验在前期实验过程中发现葡萄藤废枝在存放过程中出现白藜芦醇量的变化, 因此对其前处理方式进行了研究。

研究结果显示, 采取不同的处理方式, 包括白藜芦醇、 ϵ -葡萄素在内的芪类化合物的量差异非常

显著, 采取快速干燥方式, 芪类化合物的量不会明显上升, 而采取整枝阴干的方式, 白藜芦醇和 ϵ -葡萄素显著上升。白藜芦醇升高的原因, 可从 2 个方面进行探讨, 一是葡萄藤中芪类化合物的相互转化; 二是植物体的胁迫应激机制所导致芪类化合物的量变化。

有文献报道^[13]葡萄藤中除含有白藜芦醇外, 还含有一系列的白藜芦醇的衍生物和低聚物, 包括二聚物葡萄素、三聚物、四聚物、甚至六聚物以及它们的苷类化合物等。它们是由二苯乙烯结构衍生而来的一类次生代谢产物^[14-16]。白藜芦醇在葡萄藤中的量很低, 但在适当条件下, 白藜芦醇与其低聚物能发生相互转化: 白藜芦醇脱氢聚合成葡萄素等芪类化合物; 或白藜芦醇低聚物发生降解反应而转化成白藜芦醇。在新鲜葡萄枝剪枝后, 在生物酶和微生物作用下, 较高聚合物的芪类化合物降解为低聚合度的芪类化合物, 这样白藜芦醇和其二聚物葡萄素的量发生明显升高。特别值得关注的是, 在采取整枝阴干过程中白藜芦醇在 90 d 左右达到高峰后, 白藜芦醇呈现下降的趋势, 这可能是因为代谢产物自身发生降解的缘故, 但当到达后期, 白藜芦醇又有一定程度的上升趋势, 这可能是因为其二聚物葡萄素发生降解生成白藜芦醇导致其量上升, 这从 ϵ -葡萄素在这一阶段降低的事实得到证明。在其他干燥方式过程中, 白藜芦醇和葡萄素的量变化不明显, 说明在这些过程中葡萄藤中的生物酶和微生物受到了破坏, 白藜芦醇与其聚合物相互转化条件受到了影响。

另外一种可能机制是在整枝阴干过程初期, 水分下降速度较慢, 葡萄藤枝蔓生命过程并没完全终止, 由于植物体受到了伤害, 生物环境发生了很大的改变, 植物体启动了胁迫应激机制, 导致芪类化合物大量的合成和积累。而对于粉碎和切片处理, 即使采取阴干处理, 白藜芦醇和 ϵ -葡萄素的量没有明显变化, 说明采取切片和粉碎处理植物体的生命基本终结, 芪类化合物的合成途径遭到破坏, 不再有植物体的代谢活动发生。采取快速干燥的方式, 由于植物体内的生物酶活性被破坏, 白藜芦醇的合成途径被破坏, 白藜芦醇和葡萄素等芪类化合物不再合成和积累, 其量不会有明显的增加。

综上所述, 葡萄藤剪枝后, 采取整枝阴干的处理方式, 其枝蔓中的白藜芦醇和 ϵ -葡萄素的量会显著升高, 这可能与 2 种机制有关, 采取整枝阴干的

方式,有可能是芪类化合物的合成途径不会迅速被破坏,有利于抗胁迫应激机制的保持,白藜芦醇和 ϵ -葡萄素的量发生显著的上升;或者是采用阴干的方式,白藜芦醇聚合物在微生物和酶的作用下,白藜芦醇聚合物发生降解而转化为白藜芦醇和葡萄糖素有关。至于是何种机制处于主导地位,还有待进一步研究。

参考文献

- [1] 王琴飞,马丽艳,黄绵佳,等. 高效液相色谱法测定葡萄叶中5种芪类化合物[J]. 分析化学, 2008, 36(10): 1359-1363.
- [2] Sun B S, Ribes A, Leandro M C, et al. MI Stilbenes: quantitative extraction from grape skins, contribution of grape solids to wine and variation during wine maturation [J]. *Anal Chim Acta*, 2006, 563(1/2): 382-390.
- [3] Sun B S, Ferrão C, Spranger M I. Effect of wine style and winemaking technology on resveratrol level in wines [J]. *Cienciae Tecnica Vitivinicola*, 2003, 18: 77-91.
- [4] 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(2): 469-471.
- [5] Sierra R, Erkan K, Mazzaa G. Grape cane waste as a source of trans-resveratrol and trans-viniferin: High-value phytochemicals with medicinal and anti-phytopathogenic applications [J]. *Ind Crops Prod*, 2008, 27(3): 335-340.
- [6] 谢红旗,刘发宝,杨星星,等. 葡萄植株中白藜芦醇及葡萄糖含量动态积累规律研究[J]. 天然产物研究与开发, 2012, 24(8): 1079-1082.
- [7] Langcake P, Pryce R J. The production of resveratrol and the viniferins by grapevines in response to ultraviolet irradiation [J]. *Phytochemistry*, 1977, 16(8): 1193-1196.
- [8] 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.
- [9] 中国药典[S]. 一部. 2010.
- [10] Frischknecht P M, Schuhmacher K, Mullerscharer H, et al. Phenotypic plasticity of *senecio vulgaris*: from contrasting habitat types growth and pyrrolizidine alkaloid formation [J]. *J Chem Ecol*, 2001, 27(2): 343-358.
- [11] Barto E K, Cipollini D. Testing the optimal defense theory, and the growth-differentiation balance hypothesis in *Arabidopsis thaliana* [J]. *Oecologia*, 2005, 146(2): 169-178.
- [12] 张榕,李焱,周铜水. 晒干过程中黄芩药材黄酮类成分的动态变化[J]. 复旦学报:自然科学版, 2010, 49(5): 575-581.
- [13] Korhammer S, Reniero F, Mattivi F. An oligostilbene from *Vitis* roots [J]. *Phytochemistry*, 1995, 38(6): 1501-1504.
- [14] Pezet R, Pont V, Cuenat P. Method to determine resveratrol and pterostilbene in grape berries and wines using high performance liquid chromatography and highly sensitive fluorometric detection [J]. *J Chromatogr A*, 1994, 663(22): 191-197.
- [15] Pezet R, Perret C, Jean Denis J B, et al. ϵ -viniferin, a resveratrol dehydromer: one of the major stilbenes synthesized by stressed grapevine leaves [J]. *J Agric Food Chem*, 2003, 51(18): 5488-5492.
- [16] Jiang L Y, He S, Sun C R, et al. Selective $^1\text{O}_2$ quenchers, oligostilbenes, from *Vitis wilsonae*: Structural identification and biogenetic relationship [J]. *Phytochemistry*, 2012, 77(5): 294-303.