

引用格式:

刘思凡, 刘子雨, 李萍, 吴莉, 黄浩然, 单守明. 欧山种葡萄果实成熟期酚类物质含量及其合成相关基因表达量的比较[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2021, 47(1): 30–34.

LIU S F, LIU Z Y, LI P, WU L, HUANG H R, SHAN S M. Comparison of the content of phenolic compounds and the expression levels of their biosynthesis related genes in ripening stage of *Vitis vinifera* × *Vitis amurensis* red grape[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2021, 47(1): 30–34.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



欧山种葡萄果实成熟期酚类物质含量及其合成相关基因表达量的比较

刘思凡¹, 刘子雨¹, 李萍¹, 吴莉¹, 黄浩然², 单守明^{1*}

(1.宁夏大学农学院, 宁夏 银川 750021; 2.宁夏大学葡萄酒学院, 宁夏 银川 750021)

摘要:用超高效液相色谱法测定6个欧山种红色酿酒葡萄品种(品系)(北红、北玫、北玺、北馨、新北醇、北醇)果实成熟期6种单体酚(芦丁、表儿茶素、白藜芦醇、咖啡酸、没食子酸、儿茶素)含量;实时荧光定量PCR检测单体酚合成相关基因苯丙氨酸裂解酶基因(*PAL*)、肉桂酸-4-羟化酶基因(*C4H*)、类黄酮3'-羟化酶基因(*F3'H*)、类黄酮3',5'-羟化酶基因(*F3'5'H*)的相对表达量。结果表明:北红葡萄果实中含有较高总酚和单宁含量,分别为13.60和4.69 mg/g,除表儿茶素外,其余5种单体酚含量均较高,儿茶素含量最高,为34.83 mg/kg;北红葡萄的*PAL*和*C4H*基因相对表达量较高;除儿茶素和没食子酸外,北红葡萄咖啡酸与*F3'5'H*基因相对表达量、表儿茶素与*F3'H*基因相对表达量、芦丁与*C4H*基因相对表达量呈显著正相关,相关系数均为0.99;北玺葡萄芦丁与*C4H*基因相对表达量呈显著正相关,相关系数为0.99,与*F3'5'H*基因相对表达量呈极显著正相关,相关系数为1.00。

关键词:欧山种葡萄;红色酿酒葡萄;单体酚;基因相对表达量

中图分类号: S663.1

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2021)01-0030-05

Comparison of the content of phenolic compounds and the expression levels of their biosynthesis related genes in ripening stage of *Vitis vinifera* × *Vitis amurensis* red grape

LIU Sifan¹, LIU Ziyu¹, LI Ping¹, WU Li¹, HUANG Haoran², SHAN Shouming^{1*}

(1.College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China; 2.Wine School of Ningxia University, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: Ultra-high performance liquid chromatography (UPLC) method was used to determine the contents of 6 types of monomeric phenols(rutin hydrate, epicatechin, resveratrol, caffeic acid, gallic acid, catechin) from 6 *Vitis vinifera* × *Vitis amurensis* red wine grape varieties (strains) ('Beihong' 'Beimei' 'Beixi' 'Beixin' 'Xinbeichun' 'Beichun') during fruit ripening. Real-time fluorescent quantitative PCR was used to detect the expression of monomeric phenol synthesis related genes (*PAL*, *C4H*, *F3'H*, *F3'5'H*). The results showed that Beihong grape fruits contained high total phenols and tannins, which were 13.60 mg/g and 4.69 mg/g respectively; except for epicatechin, the content of the other 5 monomeric phenols in Beihong grape fruit is high, and the catechin content is the highest, which is 34.83 mg/kg. Relative expression levels of *PAL* and *C4H* genes in Beihong grapes are relatively high; except for catechin and gallic acid, caffeic acid and *F3'5'H* gene expression, epicatechin and *F3'H* gene expression, and rutin and *C4H* gene expression were significantly positively correlated in Beihong grape, with correlation coefficients both being 0.99. In Beixi grapes, rutin was

收稿日期: 2019-07-31

修回日期: 2020-12-03

基金项目: 宁夏回族自治区农业育种专项 (NXNYYZ201502)

作者简介: 刘思凡(1993—), 男, 宁夏吴忠人, 硕士研究生, 主要从事葡萄逆境与分子生物学研究, 492827329@qq.com; *通信作者, 单守明, 博士, 教授, 主要从事葡萄逆境与分子生物学研究, fxssm@163.com

significantly positively correlated with the relative expression of *C4H* gene, with a correlation coefficient of 0.99, and was extremely significantly positively correlated with *F3'5'H* gene expression, with a correlation coefficient of 1.00.

Keywords: hybrid of *Vitis vinifera* and *Vitis amurensis*; red wine grape; monomeric phenol; relative gene expression

葡萄浆果中的酚类物质含量丰富, 结构复杂。依据其化学结构主要可分为类黄酮酚和非类黄酮酚两大类^[1]。酚类物质的含量及其组成成分对于葡萄的果实品质以及葡萄酒的外观、口感、稳定性等有重要影响, 其含量和种类在不同的种及品种间表现出显著差异。URCAN 等^[2]研究表明, 圆叶葡萄中含有较多的鞣花酸类多酚物质。不同品种的圆叶葡萄中鞣花酸含量的变化规律也有所不同^[3]。山葡萄中总花色苷的含量高于欧亚种葡萄, 以双糖苷为主, 而欧亚种葡萄的花色苷则以单糖苷为主^[4]。野生白色毛葡萄的总酚含量高于‘雷司令’和‘白羽’^[5]。酿酒葡萄品种中的白藜芦醇含量显著高于鲜食葡萄品种^[6]。

欧山种葡萄是中国农业科学院植物研究所利用中国野生山葡萄和欧亚栽培品种杂交育成的酿酒葡萄品种, 果实品质优良, 抗寒、抗病性较好^[7]。宁夏贺兰山东麓产区地理条件优越, 是公认的酿酒葡萄生长最佳生态区之一^[8]。笔者选择贺兰山东麓产区欧山种 6 个红色酿酒品种(品系)为研究对象, 对其成熟期酚类物质含量及其合成相关基因苯丙氨酸裂解酶基因(*PAL*)、肉桂酸-4-羟化酶基因(*C4H*)、类黄酮 3'-羟化酶基因(*F3'H*)、类黄酮 3', 5'-羟化酶基因(*F3'5'H*)相对表达量进行综合分析, 以期对宁夏产区筛选较适宜推广的欧山种酿酒葡萄品种(品系)提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为 2013 年定植的 6 个欧山种红色酿酒葡萄品种(品系)北红、北玫、北玺、北馨、新北醇、北醇。

1.2 方法

试验于 2018 年 10 月上旬在宁夏贺兰山东麓平吉堡农业科技示范园进行。

选取无病虫害、着生方向一致的葡萄果穗 3 穗, 在每穗果的中部采集果粒 60 粒, 除梗后液氮速冻, 研磨成粉, 置于-80 °C 冰箱保存, 备用。

1.2.1 酚类物质的测定

葡萄果实样品单宁的含量采用 Folin-Denis 比

色法^[9]测定, 总酚采用 Folin-Ciocalteu 比色法^[9-10]测定。

参照文献[11-12]方法, 提取葡萄果实单体酚, 测定芦丁、表儿茶素、白藜芦醇、咖啡酸、没食子酸、儿茶素含量。

1.2.2 葡萄果实酚类合成相关基因表达量的测定

葡萄果实样品中总 RNA 的提取按照 TIANGEN RNAPrep Pure 多糖多酚植物总 RNA 提取试剂盒说明书进行。以总 RNA 为模板, 用 Takara PrimeScript TM RT reagent Kit with gDNA Eraser(Perfect Real-Time)试剂盒进行反转录与纯化。选取 *EF* 基因为内参基因, 基因 *PAL*、*C4H*、*F3'H*、*F3'5'H* 的引物如表 1 所示, 由上海生工生物工程有限公司设计完成。

PCR 反应体系 25 μ L: 模板 DNA 1 μ L(模板浓度 200 ng/ μ L), 上、下游引物各 0.5 μ L, 2 \times UltraSYBR Mixture(CWBIO) 12.5 μ L, ddH₂O 10.5 μ L。反应程序采用 2 步法: 95 °C 预变性 10 min, 95 °C 变性 15 s, 60 °C 退火/延伸 1 min, 40 个循环。每次循环第 2 步进行荧光采集, 以 ddH₂O 代替 cDNA 的 NTC 为对照, 所有 PCR 反应设置 3 次生物学重复。试验结果参照 HASHIMOTO 等^[13]的方法, 用 $2^{-\Delta\Delta C_t}$ 对数据进行定量分析。

表 1 qRT-PCR 引物序列

Table 1 Primer sequences of real-time fluorescence quantitative PCR

基因	引物序列(5'-3')
<i>PAL</i>	F CATATCCACTGA TGC AGA AG
	R TCCCCTCACACATTGGAGTA
<i>C4H</i>	F CTGCAAGGAAGTAAAGGAGA
	R ACCATGCGTTACCAGGATA
<i>F3'H</i>	F GCCTCCGTGCTGCTCAGTT
	R GAGAAGAGGTGGACGGAGCAAATC
<i>F3'5'H</i>	F AAACCGCTCAGACCAAACC
	R ACTAAGCCACAGGAAACTAA

1.3 数据处理

运用 DPS 7.05、Excel 2007 和 Sigma Plot 12.5 处理和分析试验数据。

2 结果与分析

2.1 欧山种酿酒葡萄果实酚类物质的含量

2.1.1 不同品种(品系)间总酚和单宁含量的差异

由表 2 可以看出, 北红葡萄果实总酚和单宁含

量最高,分别为 13.60 mg/g 和 4.69 mg/g,与其余品种(品系)的差异显著,北醇总酚含量最低,仅为 3.15 mg/g;除北红外,其余品种(品系)单宁含量均较低。

2.1.2 不同品种(品系)间白藜芦醇含量的差异

欧山种葡萄果实中白藜芦醇含量都较低,含量为 0.08~4.90 mg/kg,平均含量 1.04 mg/kg。北红果实中白藜芦醇含量显著高于其余品种(品系)的,达到 4.9 mg/kg,北玺的白藜芦醇含量仅为北红含量的 19%,但也显著高于其余 4 个品种(品系)的。

2.1.3 不同品种(品系)间酚酸类物质含量的差异

北红果实中咖啡酸和没食子酸的含量均最高,分别为 5.92 mg/kg 和 3.15 mg/kg;北玺果实中酚酸含量与北玫、北馨咖啡酸和没食子酸含量差异不显著,但显著高于其余 3 个品种(品系);北馨果实中没食子酸含量较高,为 2.17 mg/kg,其咖啡酸含量

最低,仅为 0.56 mg/kg;北玫果实中没食子酸和咖啡酸含量分别为 1.83 mg/kg 和 0.98 mg/kg,咖啡酸和没食子酸总量仅低于北红和北玺。

2.1.4 不同品种(品系)间黄酮类物质含量的差异

欧山种葡萄果实的芦丁含量都较高,北红芦丁含量最高,为 28.35 mg/kg,与其余品种(品系)的差异显著。葡萄果实中儿茶素含量远高于表儿茶素,北红表现差异最显著,北玺果实中表儿茶素含量仅低于北馨的,为 8.79 mg/kg,儿茶素含量为 17.53 mg/kg,显著低于北红和北醇的;北馨果实中表儿茶素含量显著高于其他品种的,为 9.49 mg/kg;北玫果实中表儿茶素和儿茶素含量均较低,北醇 11 号果实中儿茶素含量较高,为 19.2 mg/kg,表儿茶素含量较低,为 2.05 mg/kg;新北醇果实中表儿茶素含量显著高于北醇,儿茶素含量显著低于北醇的。

表 2 供试欧山种酿酒葡萄品种(品系)果实中酚类物质的含量

品种(品系)	总酚/ (mg·g ⁻¹)	单宁/ (mg·g ⁻¹)	白藜芦醇/ (mg·kg ⁻¹)	咖啡酸/ (mg·kg ⁻¹)	没食子酸/ (mg·kg ⁻¹)	芦丁/ (mg·kg ⁻¹)	儿茶素/ (mg·kg ⁻¹)	表儿茶素/ (mg·kg ⁻¹)
北红	(13.60±0.31)a	(4.69±0.21)a	(4.90±0.34)a	(5.92±0.31)a	(3.15±0.33)a	(28.35±0.05)a	(34.83±0.96)a	(0.37±0.01)f
北玫	(6.22±0.81)c	(2.89±0.61)b	(0.12±0.03)c	(0.98±0.06)bc	(1.83±0.12)cd	(25.17±0.06)b	(14.66±0.10)d	(3.21±0.14)d
新北醇	(4.92±0.10)d	(1.01±0.11)c	(0.13±0.01)c	(0.79±0.05)c	(1.45±0.08)de	(24.97±0.04)c	(15.68±0.19)d	(6.06±0.20)c
北醇	(3.15±0.16)e	(1.63±0.16)c	(0.13±0.02)c	(0.62±0.03)c	(1.15±0.05)e	(24.98±0.02)c	(19.20±0.43)b	(2.05±0.14)e
北玺	(7.73±0.27)b	(1.14±0.07)c	(0.13±0.03)b	(1.33±0.07)b	(2.56±0.05)b	(25.25±0.01)b	(17.53±0.06)c	(8.79±0.23)b
北馨	(4.12±0.32)de	(1.67±0.27)c	(0.13±0.04)c	(0.56±0.05)c	(2.17±0.13)bc	(25.14±0.01)b	(17.23±0.06)c	(9.49±0.27)a

同列不同字母表示品种(品系)间差异显著($P<0.05$)。

2.2 欧山种酿酒葡萄果实酚类物质合成相关基因的相对表达量

由图 1 可知,6 个葡萄品种(品系)中,北红 *PAL* 和 *C4H* 基因相对表达量均最高,而北玫 *PAL* 和 *C4H* 基因相对表达量均最低。与对照新北醇相比,北馨 *PAL* 基因的表达上调,*C4H* 基因的表达下调,*PAL* 相对表达量显著高于 *C4H* 的;北玺 *PAL* 和 *C4H* 基

因的相对表达量均上调,但 *C4H* 的相对表达量显著高于 *PAL* 的;北醇 *PAL* 和 *C4H* 基因均表达上调。

与对照相比,北玺 *F3'H* 和 *F3'5'H* 基因的表达均上调且相对表达量较高,北醇、北红 *F3'H* 基因的表达均上调,*F3'5'H* 基因的表达下调;北醇 *F3'5'H* 表达下调,北玫和北馨 *F3'H* 和 *F3'5'H* 基因表达均下调。

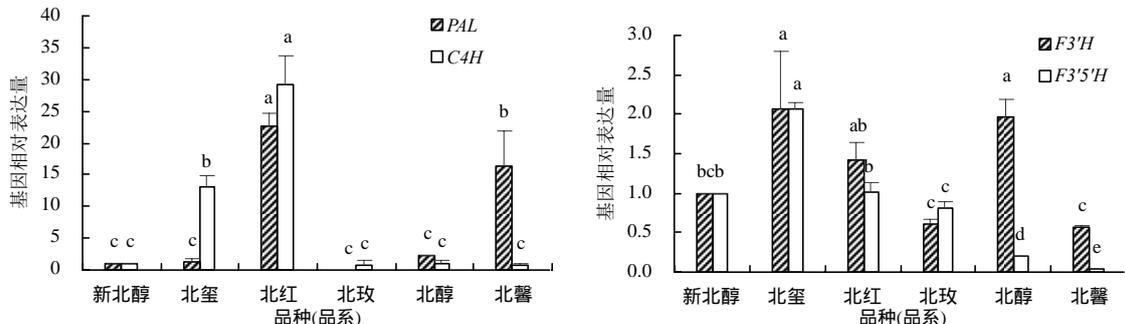


图 1 欧山种酿酒葡萄果实酚类物质合成相关基因的相对表达量

Fig.1 Comparison of expression levels of phenolic compounds related genes in fruit of hybrid of *Vitis vinifera* and *Vitis amurensis* wine grapes during maturity

2.3 欧山种酿酒葡萄果实酚类物质合成相关基因转录水平与单体酚含量的相关性

欧山种葡萄果实单体酚含量与酚类物质合成相关基因相对表达量的相关系数(表 3)表明:北红葡萄咖啡酸和表儿茶素含量与 *F3'5'H* 基因相对表达量呈显著正相关,相关系数均为 0.99;芦丁含量与 *C4H* 基因相对表达量呈显著正相关,相关系数为 0.99。北玺葡萄芦丁含量与 *C4H* 基因和 *F3'5'H* 相对表达量分别呈显著、极显著正相关,相关系数分别为 0.99 和 1.00。

表 3 北红和北玺葡萄果实单体酚含量与合成相关基因相对表达量的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between the monomeric phenols in Beihong and Beixi grape fruit and the relative expression of synthetic related genes

品种 (品系)	单体酚	相关系数			
		<i>PAL</i>	<i>C4H</i>	<i>F3'H</i>	<i>F3'5'H</i>
北红	没食子酸	-0.76	0.58	-0.99	0.99
	儿茶素	-0.66	-0.81	-0.19	-0.15
	咖啡酸	-0.54	0.80	-0.89	0.99*
	表儿茶素	0.81	-0.52	0.99*	-0.97
	芦丁	0.15	0.99*	-0.37	0.66
北玫	白藜芦醇	-0.16	0.97	-0.63	0.85
	没食子酸	-0.60	0.43	0.83	-0.48
	儿茶素	0.62	0.98	0.76	0.73
	咖啡酸	0.72	-0.28	-0.72	0.61
	表儿茶素	-0.14	-0.95	-0.98	-0.29
	芦丁	0.99*	0.57	0.08	1.00**
	白藜芦醇	-0.12	0.83	0.99*	0.03

表示相关性显著($P < 0.05$); *表示相关性极显著($P < 0.01$)。

3 讨论

葡萄果实中的酚类物质成分高度依赖葡萄品种,对葡萄酒的外观、收敛性、入口性和保健性以及酒体质量起决定性作用^[14]。JEANDET^[15]研究结果表明,白藜芦醇含量与品种密切相关,并在果实成熟过程中不断减少。本研究结果表明,欧山种葡萄果实的白藜芦醇含量为 0.08~4.90 mg/kg,平均含量为 1.04 mg/kg;没食子酸含量相较于咖啡酸含量在葡萄品种(品系)中差异较大,这与 MOSKOWITZ^[16]研究结果相一致。黄酮醇类物质的含量较高,北红积累的类黄酮物质(芦丁)含量较多,相比于欧亚种葡萄中(儿茶素和表儿茶素)^[17],欧山种葡萄中的远

低于欧亚种葡萄的。

葡萄成熟过程中,葡萄果实中酚类物质通过苯丙氨酸代谢途径持续积累。酚类物质的种类和含量在不同葡萄种、品种、品系间呈显著差异,这主要与葡萄果实中酚类合成基因的调控有关,花色苷合成主要受到 *PAL*、*C4H*、*F3'H*、*F3'5'H* 等基因的调控。欧山种葡萄除北玫外,其余品种与对照新北醇相比 *PAL* 基因表达均上调,北红 *PAL* 基因相对表达量是对照的 20 倍以上,这与孙润泽等^[18]研究结果相似。*C4H* 基因表达上调,可以增加苯丙烷代谢酚酸类物质(香豆酸、阿魏酸和咖啡酸)的合成^[19],酚酸类物质与 *C4H* 基因呈现相关性,但本研究中北红、北玫的咖啡酸含量与 *C4H* 基因相关程度低,可能是欧山种葡萄综合抗性比欧亚种葡萄强,不完全依靠肉桂酸-4-羟化酶合成的香豆酸、阿魏酸和咖啡酸等病原菌抑制物,也能在不利条件下进行正常的生长发育。*F3'H* 和 *F3'5'H* 在类黄酮合成途径中分别参与合成二氢槲皮素和二氢杨梅酮,二者进而形成花青素和花苜素类花色苷。赵权^[20]研究发现双红山葡萄成熟期 *F3'5'H* 转录水平高于 *F3'H* 的转录水平。而在本试验中,只有北玫表现与双红相似,其余品种(品系)均表现相反的情况,这可能与品种特性、产地和年份等有关。

参考文献:

- [1] 赵权,王军,段长青.山葡萄果实发育过程中花色苷和非花色苷酚成分及其含量的变化[J].植物生理学通讯,2010,46(1):80-86.
ZHAO Q, WANG J, DUANG C Q. Changes in components and content of anthocyanin and non-anthocyanin phenolic compounds during fruit development of *Vitis amurensis* Rupr.[J]. Plant Physiology Communications, 2010, 46(1): 80-86.
- [2] URCAN D E, LUNG M, GIACOSA S, et al. Phenolic substances, flavor compounds, and textural properties of three native romanian wine grape varieties[J]. International Journal of Food Properties, 2016, 19(1): 76-98.
- [3] 魏征,郭文锋,黄羽,等.圆叶葡萄种子发育过程中多酚积累特性[J].食品科学,2018,39(4):154-164.
WEI Z, GUO W F, HUANG Y, et al. Characteristic of polyphenol compounds accumulation in Muscadine grapes[J]. Food Science, 2018, 39(4): 154-164.
- [4] HE F, MU L, YAN G L, et al. Biosynthesis of anthocyanins and their regulation in colored grapes[J]. Molecules, 2010, 15(12): 9057-9091.

- [5] 刘金豹, 杜中军, 翟衡. 葡萄浆果中的主要多酚化合物及影响因素[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2003(2): 22-26. LIU J B, DU Z J, ZHAI D. The main polyphenolics in grape berry and their influencing factors[J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine, 2003(2): 22-26.
- [6] 贺晋瑜. 酚类物质对葡萄酒品质的影响[J]. 山西农业科学, 2012, 40(10): 1118-1120. HE J Y. The influence of phenolic compounds on wine quality[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2012, 40(10): 1118-1120.
- [7] 杜珂, 李德美. '北红' '北玫' 葡萄制汁及调配工艺研究[J]. 中国果树, 2016(4): 11-15. DU K, LI D M. Study on 'Beihong' and 'Beimei' grape juice and blending technology[J]. China Fruits, 2016(4): 11-15.
- [8] 李栋梅. 不同矮化整形方式对蛇龙珠葡萄果实花色苷积累的影响[D]. 银川: 宁夏大学, 2018. LI D M. Effects of different dwarf training system on accumulation of anthocyanin in Cabernet-Gemischtd[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2018.
- [9] 王华. 葡萄与葡萄酒实验技术操作规范[M]. 西安: 西安地图出版社, 1999. WANG H. Technical Specifications for Grape and Wine Experiments[M]. Xi'an: Xi'an Map Publishing Press, 1999.
- [10] 邓波, 秦洋. 赤霞珠和蛇龙珠葡萄果实中不同组分含量的研究[J]. 齐鲁工业大学学报(自然科学版), 2012, 26(3): 27-30. DENG B, QIN Y. Comparative study of the different compound content in grape berry of Cabernet-Sauvignon and Cabernet-Gemischtd[J]. Journal of Shandong Institute of Light Industry(Natural Science Edition), 2012, 26(3): 27-30.
- [11] 唐国冬, 廖欣怡, 郑雅轩, 等. 低温对赤霞珠葡萄香气和单体酚含量的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(20): 55-61. TANG G D, LIAO X Y, ZHENG Y X, et al. Effect of cryogenic treatment on aroma compounds and monophenols in Cabernet-Sauvignon grape[J]. Food Science, 2017, 38(20): 55-61.
- [12] 王美丽, 吴鲁阳, 张振文, 等. HPLC 法测定不同葡萄品种成熟过程中单体酚的变化[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2007, 35(4): 134-138. WANG M L, WU L Y, ZHANG Z W, et al. Changing of mono-phenol during grape ripening tested by HPLC[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2007, 35(4): 134-138.
- [13] HASHIMOTO K, ECKERT C, UTA A, et al. Phosphorylation of calcineurin B-like (CBL) calcium sensor proteins by their CBL-interacting protein kinases (CIPKs) is required for full activity of CBL-CIPK complexes toward their target proteins[J]. Journal of Biological Chemistry, 2012, 287(11): 7956.
- [14] DE LA CERDA-CARRASCO A, REMIGIO L S, HUGO N K, et al. Phenolic composition and antioxidant capacity of pomaces from four grape varieties(*Vitis vinifera* L.)(J). Journal of the Science of Food and Agriculture, 2015, 95(7): 1521-1527.
- [15] JEANDET P, BESSIS R, GAUTHERON B. The production of resveratrol (3, 5, 4'-trihydroxystilbene) by grape berries in different developmental stages[J]. American Journal of Enology & Viticulture, 1991, 42(1): 41-46.
- [16] MOSKOWITZ A H, HRAZDINA G. Vacuolar contents of fruit subepidermal cells from *Vitis* species[J]. Plant Physiology, 1981, 68(3): 686-692.
- [17] 胡丽, 彭文婷, 卢浩成. 不同酿酒葡萄果实类黄酮及香气物质差异分析[J]. 食品科学, 2020, 41(14): 225-233. HU L, PENG W T, LU H C. Analysis on differences in flavonoids and aroma compounds of different wine grape varieties[J]. Food Science, 2018, 41(14): 225-233.
- [18] 孙润泽, 张雪, 成果, 等. 葡萄苯丙氨酸解氨酶基因家族的全基因组鉴定及表达分析[J]. 植物生理学报, 2016, 52(2): 195-208. SUN R Z, ZHANG X, CHENG G, et al. Genome-wide characterization and expression analysis of the phenylalanine ammonia-lyase gene family in grapevine (*Vitis vinifera* L.)(J). Plant Physiology Communications, 2016, 52(2): 195-208.
- [19] 张维一, 毕阳. 果蔬采后病害与控制[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996. ZHANG W Y, BI Y. Postharvest diseases and control of fruits and vegetables[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1996.
- [20] 赵权. 山葡萄花色苷生物合成结构基因 *F3'H* 和 *F3'5'H* 的表达[J]. 贵州农业科学, 2015, 43(9): 7-10. ZHAO Q. Expression of *F3'H* and *F3'5'H* structural genes related to anthocyanins biosynthesis in *Vitis amurens* [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2015, 43(9): 7-10.

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 罗维