



刘文,王超萍,任艳华,等.‘霞多丽’和‘维欧尼’2个酿酒白葡萄品种的品质性状分析[J].南京农业大学学报,2024,47(5):835-842.

LIU Wen,WANG Chaoping,REN Yanhua,et al. Analysis of quality traits in two winemaking white grape varieties ‘Chardonnay’ and ‘Viognier’ [J]. Journal of Nanjing Agricultural University,2024,47(5):835-842.

‘霞多丽’和‘维欧尼’2个酿酒白葡萄品种的品质性状分析

刘文¹,王超萍²,任艳华¹,刘司瑜¹,李少楠¹,房经贵^{1*}

(1.南京农业大学园艺学院,江苏南京210095;2.山东省葡萄研究院,山东济南250199)

摘要:[目的]本文旨在研究‘霞多丽’和‘维欧尼’2个酿酒白葡萄品种在乳山地区的品质特征,为白葡萄酒酿酒品种的利用、引种推广等提供一定的理论依据。[方法]以‘霞多丽’和‘维欧尼’为试验材料,对二者转色期和成熟期果实品质性状进行分析,并对转色期与成熟期的果实进行转录组测序。[结果]在成熟期,‘维欧尼’的粒重、横径、纵径、总酚含量、可溶性糖含量和可溶性固形物(TSS)含量较高,‘霞多丽’的总有机酸含量较高。从转色期到成熟期,‘维欧尼’较‘霞多丽’的可溶性糖含量、TSS和总酚含量变化程度更大,且在糖组分中,果糖和葡萄糖含量变化更快,其他性状变化程度相似。转录组分析结果表明,‘维欧尼’从转色期到成熟期的差异表达基因(DEG)数量高于‘霞多丽’。二者的差异表达基因都在18号染色体上分布最多,在15号染色体上分布最少。此外,通过对差异表达基因GO功能分析和KEGG代谢通路分析,筛选到5个与糖酸代谢相关的基因代谢通路。[结论]不同时期的2个白葡萄酒品种果实品质具有差异性,主要表现在果实的总有机酸、可溶性糖、TSS、总酚含量和横、纵径等方面;从转色期到成熟期,‘维欧尼’的果实性状发育比‘霞多丽’更快。2个品种在糖酸合成代谢通路上相关基因表达量的差异性可能是导致2个白葡萄酒品种果实品质性状差异的原因。

关键词:霞多丽;维欧尼;白葡萄酒;品质性状;转录组分析

中图分类号:S663.1

文献标志码:A

文章编号:1000-2030(2024)05-0835-08

Analysis of quality traits in two winemaking white grape varieties ‘Chardonnay’ and ‘Viognier’

LIU Wen¹,WANG Chaoping²,REN Yanhua¹,LIU Siyu¹,LI Shaonan¹,FANG Jinggui^{1*}

(1.College of Horticulture,Nanjing Agricultural University,Nanjing 210095,China;

2.Shandong Provincial Grape Research Institute,Jinan 250199,China)

Abstract:[Objectives] This paper aimed to explore the quality traits of ‘Chardonnay’ and ‘Viognier’, two winemaking white grape varieties in Rushan area, in order to provide certain theoretical basis for the utilization, introduction and promotion of white winemaking varieties. [Methods] ‘Chardonnay’ and ‘Viognier’ were used as the test materials, and the quality traits of fruits were analyzed in the veraison stage and maturity stage, and the transcriptome sequencing was performed on the fruits in the veraison stage and maturity stage. [Results] At the maturity stage, ‘Viognier’ was higher in grain weight, transverse diameter, longitudinal diameter, total phenolic content, soluble sugar content and total soluble solids (TSS) content, and ‘Chardonnay’ was higher in total organic acid content. From the veraison stage to maturity stage, the soluble sugar, TSS and total phenol contents in ‘Viognier’ changed more rapidly than ‘Chardonnay’. Among the sugar fractions, fructose and glucose content changed more rapidly, while other traits showed similar changes. The results of transcriptome analysis showed that the number of differentially expressed genes (DEG) was higher in ‘Viognier’ than in ‘Chardonnay’ from the veraison stage to maturity stage. Both differentially expressed genes were most distributed on chromosome 18 and least distributed on chromosome 15. In addition, the metabolic pathways of genes related to glycolate metabolism were screened by GO functional analysis and KEGG metabolic pathway analysis of differentially expressed genes. [Conclusions] There were differences in fruit quality between two white grape varieties in different periods, mainly in terms of total organic acid content, soluble sugar content, TSS content, total phenol contents and transverse and longitudinal diameter of the fruit. From the veraison stage to maturity stage, the development of fruit traits in ‘Viognier’ was faster than that of ‘Chardonnay’. The differences in the expression levels of related genes in the glycolic acid anabolic pathway between two varieties might be the reason for the differences in fruit quality traits between two white grape varieties.

Keywords: Chardonnay; Viognier; white wine; quality traits; transcriptome analysis

收稿日期:2023-10-20

基金项目:山东省重点研发计划项目(2022LZGCQY018);江苏省重点研发计划项目(BE2022381)

*通信作者:房经贵,教授,主要从事葡萄遗传育种和基因组学等研究,E-mail:fanggg@njau.edu.cn。

葡萄品质是影响葡萄酒质量的关键因素。葡萄的果实品质主要分为外在品质和内在品质,其中外在品质主要包括果粒重、果实纵横径、色泽等,内在品质主要包括糖、酸、可溶性固形物(TSS)及总酚含量等^[1-2]。葡萄转色期到成熟期是葡萄形态和生理生化指标发生巨大变化的时期,也是果实成熟和颜色改变的时期,这个过程表现为随着葡萄的成熟,果实中可溶性糖、TSS、总酚等含量增加而有机酸含量下降,同时合成与香气、风味有关的次生化合物等,因此葡萄转色期到成熟期为葡萄品质形成的关键期^[3-4]。

白葡萄酒是葡萄酒的主要种类之一。大部分白葡萄酒通常采用白色或浅色葡萄品种作为原料,榨汁澄清后低温发酵而成^[5-6]。世界上著名的酿酒白葡萄品种主要有‘霞多丽’‘雷司令’‘长相思’和‘白诗南’等欧亚种。山东省作为我国葡萄和葡萄酒的主产区之一,其酿酒葡萄栽培面积和葡萄酒产量处于全国第一,但酿酒白葡萄主栽品种较少,仅占酿酒葡萄品种的25%^[7]。而乳山作为山东省重要的葡萄和葡萄酒产区,具有独特的地理位置和气候,适宜酿酒葡萄的种植和栽培,目前该地区种植的酿酒白葡萄品种主要有‘霞多丽’和‘维欧尼’等^[8]。‘霞多丽’是世界上最古老、分布最广泛的酿酒葡萄品种之一,也是我国白葡萄酒酿造原料的主要品种,深受大众喜爱;‘维欧尼’因其独特的品质,既可用于混酿又可以做单品种酒,产地香气特征突出。‘霞多丽’和‘维欧尼’作为乳山地区白葡萄酒酿造原料的主要品种,由于受发展时期晚以及对栽培地区环境要求高等因素的影响,对其品种的品质性状及栽培表现等的研究报道较少。

本试验对‘霞多丽’和‘维欧尼’2个白葡萄酒酿造品种的主要品质性状及其在转色期到成熟期的变化情况进行研究,为‘霞多丽’和‘维欧尼’2个白葡萄酒酿酒品种的利用、品质评价以及果实发育的田间调控等提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为乳山台依湖酒庄的白葡萄酒酿酒品种‘霞多丽’和‘维欧尼’。‘霞多丽’为嫁接苗,树龄9~12年,采用单干双臂树形;‘维欧尼’为嫁接苗,树龄9年,采用单干单臂树形。葡萄园均采用常规管理措施。台依湖酒庄(36.89°N,121.52°E),地处山东半岛东南部、胶东低山丘陵区,属于暖温带季风气候,年平均日照时间2 095.5 h,年平均气温12.4℃,年降水量428.3~458.8 mm,该地区雨水充沛、光照充足、无霜期长;土壤以棕壤土为主,砾石含量高、透水性较好。

分别在转色期(即糖分快速积累期,V)和成熟期(M)收集葡萄样品。分别取2个品种3株树上相同节位上的果穗,并在果穗上、中、下位置共取15粒左右果实,每株为1个生物学重复,共3个生物学重复。样品采集后立即在液氮中冷冻。所有样品于-80℃保存,以备后续分析。

1.2 生理生化指标测定

采用游标卡尺测定果实纵向直径和横向直径;采用电子天平测定粒重;采用手持测糖仪测定可溶性固形物(TSS)含量;采用氢氧化钠溶液滴定法^[9]测定可滴定酸含量;采用蒽酮试剂法^[10]测定可溶性糖含量(以蔗糖计);采用福林-酚法^[11]测定总酚含量。

1.3 果实糖组分和有机酸组分的提取与测定

糖酸的测定采用高效液相色谱法^[12-13],并加以改良。取0.2 g果肉粉末于2 mL离心管中,加入1.5 mL超纯水,于80℃水浴30 min,12 000 r·min⁻¹离心10 min,将上清液倒入干燥的容器中(10 mL试管);重复上述步骤,合并2次的上清液,过滤后倒入样瓶,待测。

糖组分测定的色谱条件:Prevail Carbohydrate ES柱(100 mm×4.6 mm,5 μm);流动相:V(乙腈):V(水)=80:20;柱温50℃;流速1.0 mL·min⁻¹;进样量20 μL。有机酸组分测定的色谱条件:色谱柱Discovery C18柱(25 cm×4.6 mm,5 μm);流动相为50 mmol·L⁻¹的K₂HPO₄溶液,用磷酸调节pH值至2.4;柱温30℃;流速0.5 mL·min⁻¹;进样量2 μL;检测波长为210 nm。

1.4 转录组学分析

使用十六烷基三甲基溴化铵(CTAB)方法提取总RNA。文库制备和转录组测序由北京诺禾致源公司完成。使用DESeq2进行差异表达基因(DEG)分析,以 $|\log_2(\text{Fold Change})| \geq 1$ 、 $\text{padj} \leq 0.05$ 作为差异基因筛选条件。采用ClusterProfile软件对GO富集和KEGG通路进行分析。

1.5 数据处理

采用Microsoft Excel 2019软件处理数据,并使用TBtools v1、Prism 8.0.2软件制图。

2 结果与分析

2.1 2个酿酒白葡萄品种成熟期果实品质性状分析

成熟期的‘霞多丽’与‘维欧尼’果实品质性状存在差异(图1)。“维欧尼”的粒重、横径、纵径、总酚含量、可溶性糖含量和 TSS 含量均高于‘霞多丽’,但总有机酸含量低于‘霞多丽’。在果实糖酸组分含量中,‘维欧尼’和‘霞多丽’糖组分均为葡萄糖和果糖,且含量差异极显著。酸组分均含有酒石酸、苹果酸和柠檬酸,其中酒石酸含量差异极显著。‘维欧尼’的葡萄糖、果糖、苹果酸含量均高于‘霞多丽’,而酒石酸、柠檬酸含量低于‘霞多丽’。

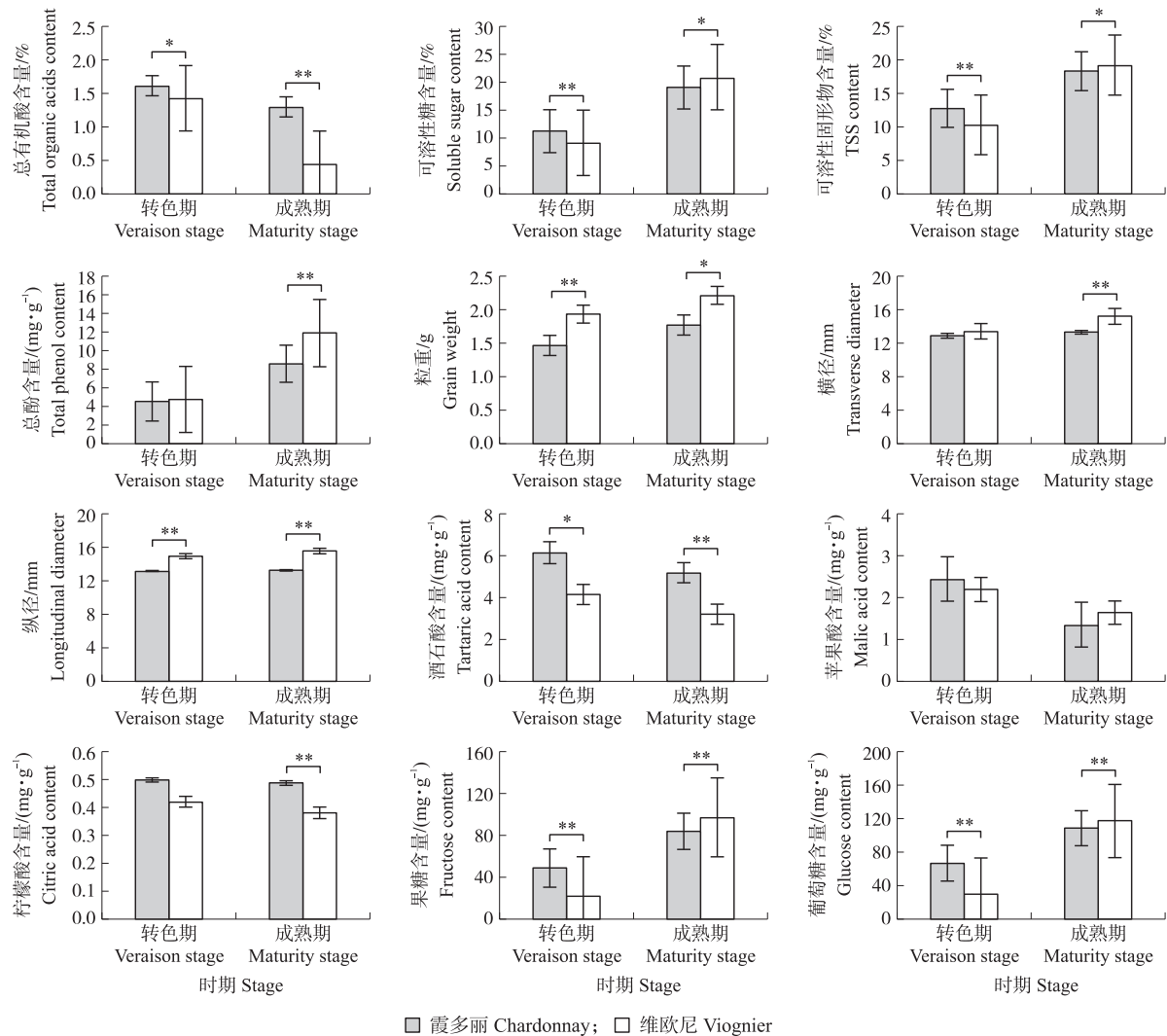


图1 2个酿酒白葡萄品种在转色期和成熟期果实的品质指标

Fig. 1 Indicators of fruit quality of two wine making white grape varieties at the veraison stage and maturity stage

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$.

2.2 从转色期到成熟期葡萄果实品质性状的变化

转色期的‘霞多丽’与‘维欧尼’果实品质性状存在一定差异(图1)。“霞多丽”总有机酸、可溶性糖、TSS 含量高于‘维欧尼’,其总酚含量、粒重和横径、纵径低于‘维欧尼’。可溶性糖含量、TSS 含量、粒重以及果实纵径在不同品种中差异极显著。

从转色期到成熟期,‘霞多丽’和‘维欧尼’果实性状变化趋势大致相同。随着果实的成熟,2个品种果实中的果粒大小、果实横径、纵径、可溶性糖含量、TSS 含量、总酚含量增加;总有机酸含量及有机酸组分(酒石酸和苹果酸)含量下降;柠檬酸含量变化不大。

‘维欧尼’大部分品质变化均比‘霞多丽’快。其中,‘维欧尼’总酚含量、TSS 含量的变化幅度均大于‘霞多丽’。在糖酸组分的变化中,‘霞多丽’和‘维欧尼’的酒石酸和苹果酸含量随着果实的成熟下降,而

果糖和葡萄糖含量均明显高于转色期。其中,‘维欧尼’的果糖和葡萄糖含量变化幅度较大。

2.3 2个葡萄品种转色期与成熟期果实的转录组分析

2.3.1 差异表达基因的筛选 分别对2个品种转色期和成熟期的果实进行了转录组测序,总共获得52.58 G的原始测序数据。Clean reads占原始数据reads数的91.78%~94.70%,GC含量为46.86%~48.01%, Q_{30} 碱基百分比大于94%。由此可知,测序质量良好,测序数据可进一步分析。将各样品的Clean reads与葡萄基因组的参考序列进行对比,5.56%~9.09%比对到多个位置,77.79%~84.68%比对到唯一位置,表明数据可以用于后续分析。

对2个品种果实发育时期之间的差异表达基因进行筛选,其中,‘维欧尼’共筛选出8 832个DEG,占有所有表达基因的55%以上;‘霞多丽’共筛选出1 935个DEG,占有所有表达基因的12%以上(表1)。

表1 不同品种在不同时期的基因表达数及差异表达基因(DEG)数

Table 1 Number of gene expression and differentially expressed genes(DEG) number in different varieties during different periods

品种 Variety	转色期的基因数 Number of genes at the veraison stage	成熟期的基因数 Number of genes at the maturity stage	DEG数 Number of DEG
霞多丽 Chardonnay	15 634	15 772	1 935
维欧尼 Viognier	15 820	15 161	8 832

通过比较2个品种的DEG,发现有1 256个相同的基因(图2-A)。进一步分析了DEG的上调和下调基因,发现‘维欧尼’的上调基因数小于下调基因数,分别为4 252和4 580个;‘霞多丽’的上调基因数大于下调基因数,分别为1 136和799个(图2-B)。2个品种在转色期和成熟期不同染色体上的差异基因表

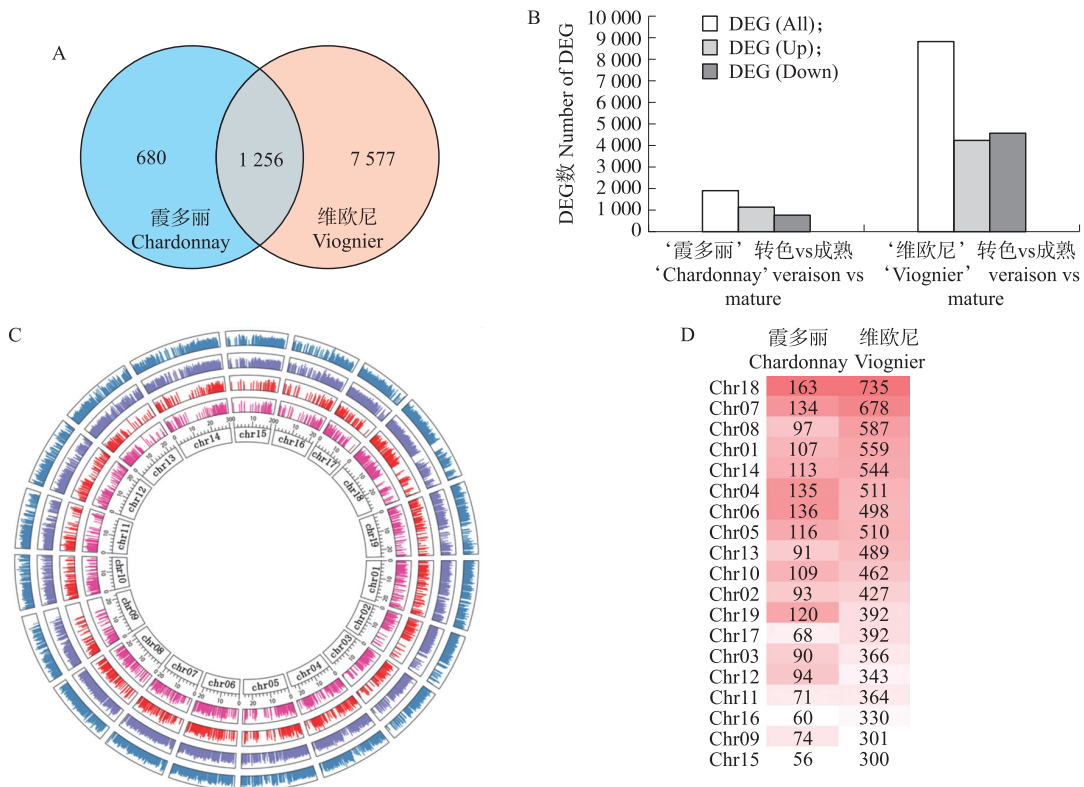


图2 2个品种的DEG分析

Fig. 2 DEG analysis of two varieties

A. 不同品种转色期和成熟期的DEG维恩图;B. 不同品种上调和下调的DEG数;C. 转色期与成熟期不同品种染色体上的差异基因表达水平[由内向外依次为:ChaV(‘霞多丽’转色期)、ChaM(‘霞多丽’成熟期)、VioV(‘维欧尼’转色期)、VioM(‘维欧尼’成熟期)];D. 不同品种差异表达基因的染色体分布热图。

A. Venn diagrams of DEG of different varieties in veraison stage and maturity stage;B. Number of DEG adjusted upward and downward for different varieties;C. Differential gene expression levels on chromosomes of different varieties in veraison stage and maturity stages [From the inside to the outside, it is the ChaV(‘Chardonnay’ veraison stage), ChaM(‘Chardonnay’ maturity stage), VioV(‘Viognier’ veraison stage), VioM(‘Viognier’ maturity stage)];D. Heat map of chromosomal distribution of differentially expressed genes in different varieties.

达水平存在差异,其中,‘霞多丽’的DEG在染色体上的分布不均;‘维欧尼’DEG在染色体上的分布较为均匀(图2-C)。“霞多丽”和“维欧尼”的DEG都在18号染色体上分布的数量最多,在15号染色体上分布的数量最少(图2-D)。

2.3.2 差异表达基因GO功能分析 按照生物过程、分子功能和细胞组分进行GO分类,‘霞多丽’和‘维欧尼’分别富集到707和851个生物功能,其中‘霞多丽’包括364个生物过程、95个细胞组分和248个分子功能;‘维欧尼’包括444个生物过程、113个细胞组分和294个分子功能。

对以上3类中基因丰度前5个最显著条目进行注释(图3)。根据GO富集分析结果,‘霞多丽’和‘维欧尼’的差异表达基因富集到不同的生物功能。‘霞多丽’在生物过程中主要富集到芳香族氨基酸家族代谢、糖类代谢等亚类;在细胞组分中主要富集到胞外区、类囊体、类囊体部分等亚类;在分子功能中主要富集到营养储存库活动、糖基水解酶活性、氧化还原酶活性等亚类。而‘维欧尼’在生物过程中主要富集到谷氨酰胺家族氨基酸代谢、小分子代谢等亚类;在细胞组分中主要富集到蛋白酶体复合体、内肽酶复合物等亚类;在分子功能中主要富集到氧化还原酶活性、辅酶结合、磷酸吡哆醛结合等亚类。

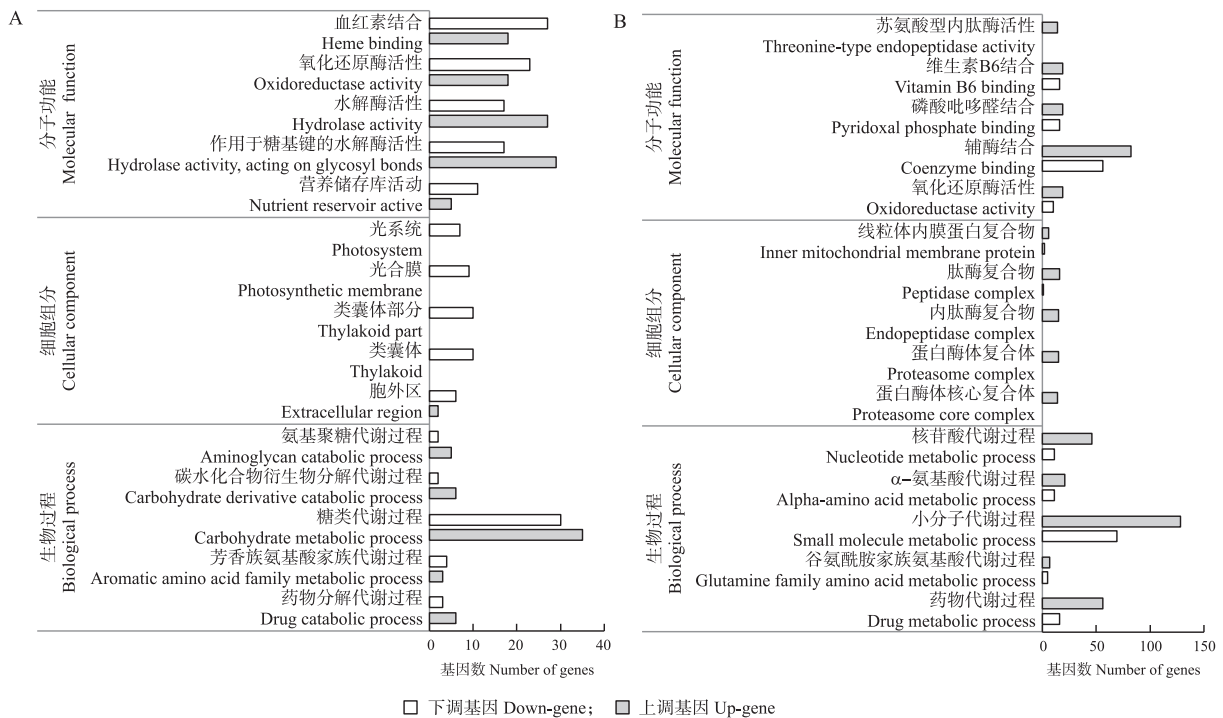


图3 不同品种的差异表达基因GO功能分析

Fig. 3 Analysis of GO function of differentially expressed genes of different varieties

A. ‘霞多丽’的差异表达基因的GO功能分析;B. ‘维欧尼’的差异表达基因的GO功能分析。

A. GO functional analysis of differentially expressed genes in ‘Chardonnay’; B. GO functional analysis of differentially expressed genes in ‘Viognier’.

2.3.3 差异基因KEGG代谢通路分析 对差异表达基因的KEGG代谢通路进行分析,KEGG注释结果表明,在‘霞多丽’和‘维欧尼’中共有886和4527个差异表达基因,分别定位到109和114条KEGG的代谢通路上。如图4所示:‘霞多丽’在苯丙类生物合成和植物激素信号转导等途径显著富集;‘维欧尼’在植物激素信号转导、氨基酸的生物合成和糖酵解/葡萄糖生成等途径显著富集。

2.3.4 糖酸代谢途径差异表达基因 从2个品种筛选到的DEG分别参与5个糖酸代谢通路,其中果糖和甘露糖代谢、淀粉和蔗糖代谢、丙酮酸代谢、乙醛酸和二羧酸代谢、抗坏血酸和醛糖代谢在2个品种中的表达模式有所区别,在有机酸合成途径中最明显,大部分基因在2个品种中的表达模式不同。对糖酸代谢通路上的差异表达基因进行热图富集,结果(图5)显示,2个品种在转色期和成熟期差异较大。‘维欧尼’葡萄糖酸代谢途径相关的己糖激酶(hexokinase, HXK)、苹果酸脱氢酶(malate dehydrogenase, MDH)、柠檬酸合酶(citrate synthase, CS)、L-艾杜糖脱氢酶(L-idonate dehydrogenase, L-IdnDH)基因在成熟期的表达量高于‘霞多丽’。HXK是葡萄糖和果糖生物合成途径中的酶,MDH、CS和L-IdnDH分别是苹果酸、柠檬酸和酒石酸生物合成途径中的关键酶,推测这些关键酶基因的差异表达是造成2个品种糖酸含量差异显著的主要原因。

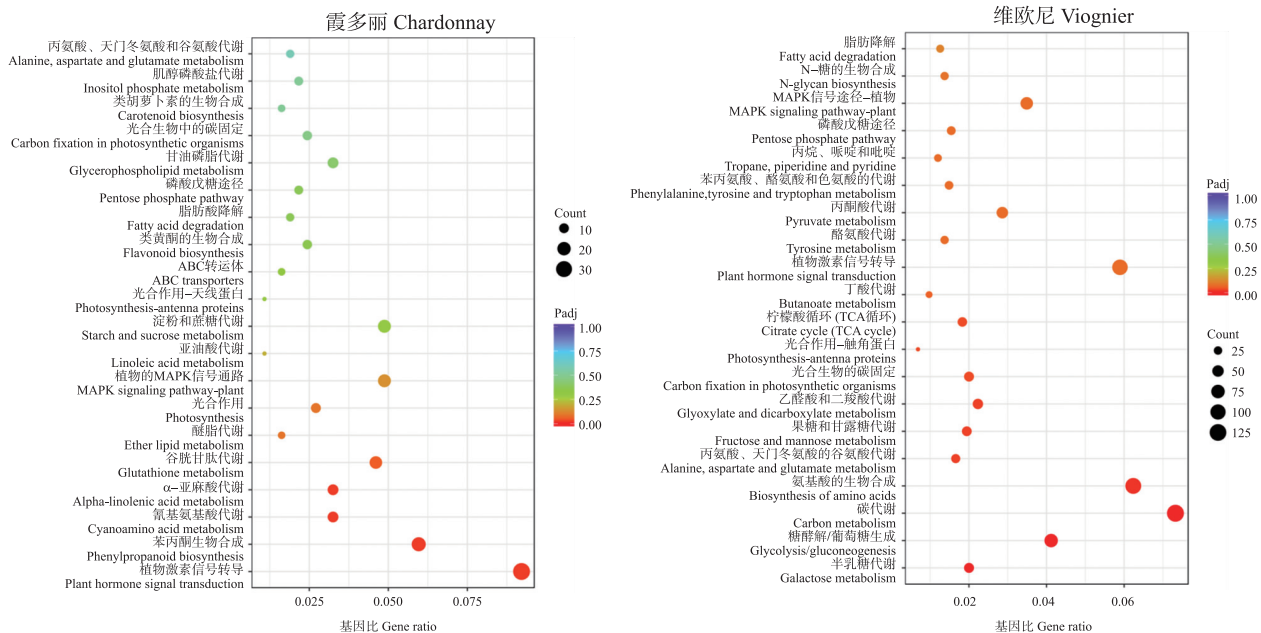


图 4 不同品种的差异表达基因 KEGG 功能分析

Fig. 4 Functional analysis of differentially expressed genes KEGG in different varieties

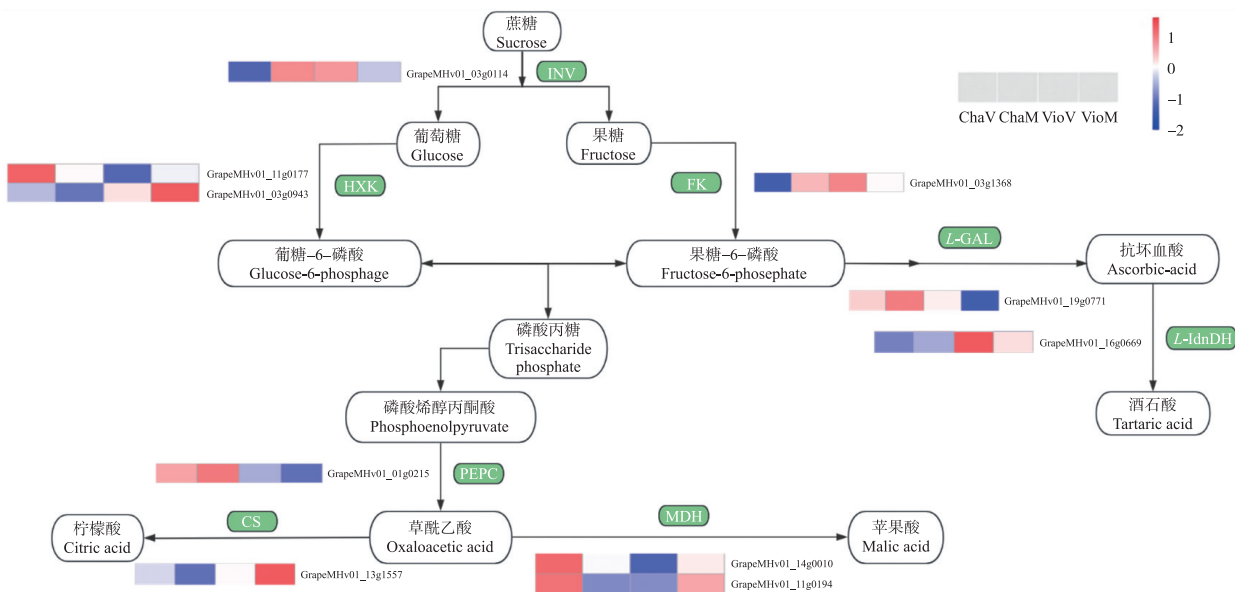


图 5 2 个品种葡萄可溶性糖和有机酸的代谢途径及相关基因的表达模式

Fig. 5 Metabolic pathways of soluble sugar and organic acid in two varieties and expression patterns of related genes

INV: 蔗糖酶 Invertase; HXK: 己糖激酶 Hexokinase; FK: 果糖激酶 Fructokinase; PEPC: 磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶 Phosphoenolpyruvate carboxylase; CS: 柠檬酸合酶 Citrate synthase; MDH: 苹果酸脱氢酶 Malate dehydrogenase; L-GAL: L-半乳糖 L-galactose; L-IdnDH: L-艾杜糖脱氢酶 L-idonate dehydrogenase.

3 讨论

‘霞多丽’和‘维欧尼’是我国重要的白色酿酒葡萄栽培品种,不同葡萄品种在不同发育时期的果实品质存在差异^[14]。凌梦琪等^[15]研究发现,‘维欧尼’果实性状主要表现为高糖低酸且果香浓郁,而‘霞多丽’葡萄汁中的可滴定酸含量较‘维欧尼’高。本研究中,在成熟期 2 个酿酒白葡萄品种在乳山地区果实品质差异大,主要表现在总有机酸、总酚含量以及果实横、纵径等方面。‘霞多丽’具有多变的品种特性,在凉爽气候下的葡萄酒具有极高的酸度;在气候温暖的地区,‘霞多丽’成熟度高,酿造的葡萄酒酒精度高、酸度低^[16]。本研究中,成熟期的‘霞多丽’酸度较高,可能与乳山地区的气候有关。乳山地区葡萄成熟季节温度明显较低,海洋性气候特点明显,因此葡萄的酸度低。酿酒葡萄的品质决定了葡萄酒的香味及

特性^[17],其中酚类物质是葡萄酒香气的主要来源之一。刘静等^[18]研究发现,胶东半岛南部台依湖葡萄酒产区的‘维欧尼’干白葡萄酒香气物质含量丰富。本研究中,成熟时期的‘维欧尼’表现为酸度低,总酚含量高。从‘霞多丽’和‘维欧尼’转色期到成熟期果实品质的变化发现,2个白色酿酒葡萄品种在果实总酚含量方面的差异决定了二者酿出的葡萄酒风格迥异。

糖酸是果实生长发育过程的基础物质,同时也是果实品质形成的关键指标^[19-20]。本研究对‘霞多丽’和‘维欧尼’不同时期糖酸合成相关代谢通路上的差异表达基因进行分析,发现大部分糖酸代谢通路上的差异表达基因在2个品种成熟过程中的表达量变化趋势不同。例如,果糖代谢通路上的 *FK* 基因在‘霞多丽’成熟过程中表达量升高,而在‘维欧尼’中表达量降低;葡萄糖代谢通路上的 *HXK* 基因在‘霞多丽’成熟过程中表达量降低,而在‘维欧尼’中表达量升高。葡萄成熟果实中的可溶性糖组分主要为葡萄糖和果糖^[21],且果实中糖酸的积累与其相关代谢通路上的酶有关^[22]。本研究中,‘维欧尼’的糖组分含量在果实转色期到成熟期过程中较‘霞多丽’增加幅度大,且在不同时期差异极显著。通过 RNA-Seq 分析,结合糖代谢通路发现,2个品种在糖代谢通路上的差异性可能是导致2个品种糖含量差异的原因。葡萄有机酸组分主要包括酒石酸、苹果酸和柠檬酸,且酒石酸含量显著高于苹果酸,柠檬酸含量次之^[23]。本研究表明,在差异表达基因中,成熟期‘维欧尼’酸代谢通路上的 *CS* 和 *L-IdnDH* 基因表达量均高于‘霞多丽’,这可能是造成成熟时期2个品种酒石酸和柠檬酸含量显著增加的原因。

参考文献 References:

- [1] Rustioni L, Altomare A, Shanshiashvili G, et al. Microclimate of grape bunch and sunburn of white grape berries: effect on wine quality [J]. *Foods*, 2023, 12(3): 621.
- [2] 王小龙, 史祥宾, 冀晓昊, 等. 基于主成分分析的酿酒葡萄杂交后代果实品质评价 [J]. *中外葡萄与葡萄酒*, 2021(5): 8-13.
Wang X L, Shi X B, Ji X H, et al. Fruit evaluation of hybrid progeny of wine grape based on principal component analysis [J]. *Sino-Overseas Grapevine & Wine*, 2021(5): 8-13 (in Chinese with English abstract).
- [3] Sweetman C, Wong D C, Ford C M, et al. Transcriptome analysis at four developmental stages of grape berry (*Vitis vinifera* cv. Shiraz) provides insights into regulated and coordinated gene expression [J]. *BMC Genomics*, 2012, 13: 691.
- [4] Rogiers S Y, Coetzee Z A, Walker R R, et al. Potassium in the grape (*Vitis vinifera* L.) berry: transport and function [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2017, 8: 1629.
- [5] García-Cortijo M C, Villanueva E C, Castillo-Valero J S, et al. Wine consumption in China: profiling the 21st century Chinese wine consumer [J]. *Ciência e Técnica Vitivinícola*, 2019, 34(2): 71-83.
- [6] Ma T Z, Han S Y, Zhang B, et al. White winemaking in cold regions with short maturity periods in Northwest China [M]// *White Wine Technology*. Amsterdam: Elsevier, 2022: 355-367.
- [7] 王超萍, 胡文效, 蒋锡龙, 等. 山东省酿酒葡萄产业发展现状及对策 [J]. *现代农业科技*, 2019(18): 65, 67.
Wang C P, Hu W X, Jiang X L, et al. Development status and countermeasures of wine grape industry in Shandong Province [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2019(18): 65, 67 (in Chinese with English abstract).
- [8] 刘凡启, 张赛行, 冷翔鹏, 等. 胶东乳山地区‘小芒森’葡萄栽培技术规程 [J]. *中外葡萄与葡萄酒*, 2020(3): 38-41.
Liu F Q, Zhang S X, Leng X P, et al. Cultivation technical regulations of ‘Petit Manseng’ in Rushan region of Jiaodong [J]. *Sino-Overseas Grapevine & Wine*, 2020(3): 38-41 (in Chinese with English abstract).
- [9] 张志良. 植物生理学实验指导 [M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 1990.
Zhang Z L. *Experimental Instruction of Plant Physiology* [M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 1990 (in Chinese).
- [10] 张自强, 王森, 胡琼, 等. 南方鲜食枣正常果与裂果不同时期内含物含量的比较 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2018, 38(1): 37-42.
Zhang Z Q, Wang S, Hu Q, et al. Cracked jujube and normal internal substance content comparative study in different periods of southern fresh-eat jujube [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2018, 38(1): 37-42 (in Chinese with English abstract).
- [11] 严守雷, 王清章, 彭光华. 藕节中总酚含量的福林法测定 [J]. *华中农业大学学报*, 2003, 22(4): 412-414.
Yan S L, Wang Q Z, Peng G H. Folin method to determine the total phenols content in the joints of lotus roots [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2003, 22(4): 412-414 (in Chinese with English abstract).
- [12] 陈晓丽. 高效液相色谱法测定酿酒葡萄果实中的有机酸 [J]. *河北果树*, 2019(4): 12-14.
Chen X L. Determination of organic acids in wine grape fruit by HPLC [J]. *Hebei Fruits*, 2019(4): 12-14 (in Chinese).
- [13] Liu H F, Wu B H, Fan P G, et al. Inheritance of sugars and acids in berries of grape (*Vitis vinifera* L.) [J]. *Euphytica*, 2007, 153(1): 99-107.
- [14] 陈丽华, 杨喜盟, 贾昊, 等. 气温升高与干旱对灵武长枣果实糖积累、蔗糖代谢关键酶及相关基因表达的影响 [J]. *核农学报*, 2020, 34(9): 2112-2123.
Chen L H, Yang X M, Jia H, et al. Effects of elevated temperature and drought on sugar accumulation, key sucrose enzymes metabolism and related gene expression in fruit of jujube cultivar Lingwuchangzao [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2020, 34(9): 2112-2123

- (in Chinese with English abstract).
- [15] 凌梦琪,王诗,时同华,等. 碣石山产区不同白葡萄品种性状及葡萄酒风味品质分析[J]. 食品与发酵工业,2023,49(19):112-119.
Ling M Q,Wang S,Shi T H,et al. Analysis of varietal traits and wine flavor characteristics of different white grape varieties from Jieshi Mountain region[J]. Food and Fermentation Industries,2023,49(19):112-119(in Chinese with English abstract).
- [16] Gambetta J M,Bastian S E P,Cozzolino D,et al. Factors influencing the aroma composition of Chardonnay wines[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,2014,62(28):6512-6534.
- [17] 康俊杰. 酿酒葡萄品质监控与优质葡萄酒的酿造[D]. 石家庄:河北科技大学,2011.
Kang J J. Quality and control of grape and wine[D]. Shijiazhuang:Hebei University of Science and Technology,2011(in Chinese with English abstract).
- [18] 刘静,汤晓宏,胡文效,等. 鲁东台依湖产区‘维欧尼’干白葡萄酒特征香气的研究[J]. 中外葡萄与葡萄酒,2018(6):50-54,58.
Liu J,Tang X H,Hu W X,et al. Study on the characteristic aroma of ‘Viognier’ dry white wines from Taiyi Lake region of Shandong[J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine,2018(6):50-54,58(in Chinese with English abstract).
- [19] 王德孚,杨志军,孙江妹,等. 梨不同品种果实可溶性糖积累差异及代谢相关酶活性[J]. 果树学报,2014,31(1):30-38.
Wang D F,Yang Z J,Sun J M,et al. Difference in soluble sugar accumulation and related enzyme activity of fruits among different pear cultivars[J]. Journal of Fruit Science,2014,31(1):30-38(in Chinese with English abstract).
- [20] 蒲小秋. 枣果实糖积累和代谢酶活性变化及其基因表达的研究[D]. 阿拉尔:塔里木大学,2017.
Pu X Q. Study on the changes of sugar accumulation,metabolic enzyme activity and gene expression in the fruits of jujube[D]. Ala'er:Tarim University,2017(in Chinese with English abstract).
- [21] Johnson L A,Carroll O E. Organic acid and sugar contents of scuppernong grapes during ripening[J]. Journal of Food Science,1973,38(1):21-24.
- [22] 章英才,苏伟东,景红霞,等. 灵武长枣果实韧皮部后糖分运输生理特征研究[J]. 核农学报,2016,30(1):171-177.
Zhang Y C,Su W D,Jing H X,et al. Physiological characteristic of postphloem sugar transport in fruit of *Ziziphus jujuba* Mill cv. Lingwuchangzao[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences,2016,30(1):171-177(in Chinese with English abstract).
- [23] 成冰,张京芳,徐洪宇,等. 不同品种酿酒葡萄有机酸含量分析[J]. 食品科学,2013,34(12):223-228.
Cheng B,Zhang J F,Xu H Y,et al. Analysis of organic acid contents in wine grape from different cultivars[J]. Food Science,2013,34(12):223-228(in Chinese with English abstract).

责任编辑:范雪梅