

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240719001

# 贺兰山东麓5种红葡萄酒酚类物质特征分析

开建荣<sup>1</sup>, 张伟<sup>2</sup>, 王彩艳<sup>1</sup>, 赵丹青<sup>1</sup>, 李彩虹<sup>1</sup>, 张静<sup>1</sup>,  
闫玥<sup>1</sup>, 陈翔<sup>1</sup>, 葛谦<sup>1\*</sup>

(1. 宁夏农产品质量标准与检测技术研究所, 银川 750002;

2. 宁夏农林科学院农业资源与环境研究所, 银川 750002)

**摘要: 目的** 对比分析贺兰山东麓同一酒庄不同品种单品葡萄酒中酚酸、黄烷醇、黄酮醇、花色苷含量差异, 明确不同品种葡萄酒特征酚类物质, 并探究酚类物质在葡萄酒品种鉴别中的可行性。**方法** 采集贺兰山东麓青铜峡产区一酒庄紫大夫、美乐、马尔贝克、赤霞珠、马瑟兰酿酒葡萄样品, 采用同一酿造工艺酿成葡萄酒, 检测分析5个品种葡萄酒中多酚类物质组分特性及差异, 构建基于多酚和有机酸的葡萄酒品种鉴别模型。**结果** 不同品种葡萄酒间酚酸、黄酮醇、黄烷醇、花色苷组分含量均存在显著差异( $P<0.05$ ), 酚酸、黄烷醇、黄酮醇均在美乐葡萄酒中达到最高, 花色苷在紫大夫葡萄酒中达到最高; 建立了基于正交偏最小二乘法(orthogonal partial least squares discriminant analysis, OPLS-DA)判别分析方法的葡萄酒品种鉴别模型, 其整体正确判别率为100%。**结论** 基于葡萄酒中多酚可实现同一产地不同品种葡萄酒的准确鉴别。

**关键词:** 红葡萄酒; 品种; 多酚; 花色苷; 鉴别

## Characteristics of phenolic substances in 5 varieties of red wines from the eastern foot of Helan Mountain

KAI Jian-Rong<sup>1</sup>, ZHANG Wei<sup>2</sup>, WANG Cai-Yan<sup>1</sup>, ZHAO Dan-Qing<sup>1</sup>, LI Cai-Hong<sup>1</sup>,  
ZHANG Jing<sup>1</sup>, YAN Yue<sup>1</sup>, CHEN Xiang<sup>1</sup>, GE Qian<sup>1\*</sup>

(1. Institute of Quality Standard and Testing Technology for Agro-products of Ningxia, Yinchuan 750002, China;

2. Institute of Agricultural Resources and Environment, Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Yinchuan 750002, China)

**ABSTRACT: Objective** To compare the content of phenolic acids, flavanols, flavonols and anthocyanins in different varieties of single wines from the same winery at the eastern foot of Helan Mountain, identify the characteristic phenolic substances of different varieties of wines, and explore the feasibility of phenolic substances in the identification of wine varieties. **Methods** Samples of 5 grape varieties—Zilong, Merlot, Malbec, Cabernet Sauvignon, and Marselan—were collected from a vineyard in the Qingtongxia region of the Helan Mountain East Foothills. The grapes were vinified using identical winemaking processes. The polyphenolic composition and its

**基金项目:** 宁夏回族自治区自然科学基金项目(2023AAC03419、2022AAC03633)、“十四五”农业高质量发展和生态保护科技创新示范课题项目(NGSB-2021-5)、国家自然科学基金项目(32260628)

**Fund:** Supported by the Ningxia Natural Science Foundation (2023AAC03419, 2022AAC03633), the “14th Five-Year Plan” Agricultural High-quality Development and Ecological Protection Science and Technology Innovation Demonstration Project (NGSB-2021-5), and the National Natural Science Foundation of China (32260628)

\*通信作者: 葛谦, 博士, 副研究员, 主要研究方向为葡萄酒风味化学与代谢调控。E-mail: geqian\_1116@163.com

\*Corresponding author: GE Qian, Ph.D, Associate Professor, Institute of Quality Standard and Testing Technology for Agro-products of Ningxia, Yinchuan 750002, China. E-mail: geqian\_1116@163.com

variations among the five varietal wines were analyzed, and a wine variety discrimination model was constructed based on polyphenolic compounds and organic acids. **Results** Significant differences ( $P < 0.05$ ) were observed in the contents of phenolic acids, flavonols, flavanols, and anthocyanins among the different varietal wines. Phenolic acids, flavanols, and flavonols were most abundant in Merlot wine, while anthocyanins were highest in Zilong wine. A wine variety discrimination model based on orthogonal partial least squares discriminant analysis (OPLS-DA) was established, achieving an overall correct classification rate of 100%. **Conclusion** The accurate discrimination of different grape variety from the same region can be achieved based on the polyphenolic compounds of the wines.

**KEY WORDS:** red wine; variety; polyphenol; anthocyanin; identify

## 0 引言

宁夏贺兰山东麓产区酿酒葡萄种植面积 60.2 万亩, 是我国最大的酿酒葡萄集中连片产区, 超过我国酿酒葡萄种植面积的 1/3<sup>[1]</sup>, 是业界公认的世界上最适合种植酿酒葡萄、生产高端葡萄酒的黄金地带之一。葡萄原料对葡萄酒品质与风格起决定性作用。

酿酒葡萄果实中所含的糖、酸、多酚、花色苷等化合物相互作用, 共同形成了葡萄酒的独特风味和香气<sup>[2]</sup>。酚类物质作为葡萄果实中重要的功能成分, 不仅影响葡萄的抗病性、采后生理、贮存和保鲜<sup>[3]</sup>, 还构成了红葡萄酒的“骨架”成分<sup>[4-5]</sup>。酚类物质由一系列次生代谢产物构成, 受葡萄品种、土壤条件、气候及栽培方式等多种因素的共同影响<sup>[6-10]</sup>, 品种作为影响酚类物质合成的内部因素, 是造成其含量差异的主要因素<sup>[11-12]</sup>。葡萄果实中的酚类物质在酿造过程中通过浸渍进入到葡萄酒, 从而造就了葡萄酒的色泽、口感和香气等品质和风味特征<sup>[13-15]</sup>。陈娟等<sup>[16]</sup>研究发现, 马瑟兰和赤霞珠品种中酚类物质高于蛇龙珠和黑虎香; 孙树霖等<sup>[17]</sup>分析比较了 3 种红色酿酒葡萄果实酚类物质发现, 酚类物质含量因品种不同具有明显差异; XIA 等<sup>[18]</sup>研究表明, 东方品种葡萄果皮酚类物质含量高于欧亚种。目前不同品种葡萄中酚类物质等品质差异研究较多, 而对采用相同工艺酿造的品种间葡萄酒中品质差异研究较少。

本研究选取贺兰山东麓同一酒庄不同品种酿酒葡萄, 采用相同工艺酿制成葡萄酒, 基于超高效液相色谱-串联质谱法 (ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, UPLC-MS/MS), 检测分析不同品种单品葡萄酒中酚酸、黄烷醇、黄酮醇、花色苷组分特性及差异, 探讨酚类物质在葡萄酒品种鉴别中的可行性, 以期为新酒的开发提供参考数据, 为葡萄酒品种鉴别提供研究思路。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

葡萄酒材料: 采集贺兰山东麓青铜峡产区一酒庄的紫大夫、美乐、马尔贝克、赤霞珠、马瑟兰 5 个品种的酿酒葡萄各 3 份, 采用相同的工艺酿造成葡萄酒。

酚酸(没食子酸、原儿茶酸甲酯、丁香酸、原儿茶酸、3-羟基肉桂酸、对羟基苯甲酸、间羟基苯甲酸、龙胆酸、没食子酸儿茶素酯、原儿茶醛、香草酸乙酯、对羟基苯甲酸乙酯、香兰素、阿魏酸、对香豆酸、反式单阿魏酰酒石酸酯、咖啡酸、绿原酸)(纯度>96.1%)、黄烷醇(表儿茶酸、表没食子儿茶素、异鼠李素、杨梅素、表没食子儿茶素没食子酸酯、儿茶酸)(纯度>96.5%)、黄酮醇(白藜芦醇、芦丁、槲皮苷、山奈酚、根皮苷、异槲皮苷、木犀草素、槲皮素、木犀草苷、芹菜素)(纯度>96.5%)系列标准品(上海安普实验科技股份有限公司); 甲醇、甲酸、乙腈(色谱纯, 美国费希尔公司)。

Thermo TSQ ALTIS 型超高效液相色谱串联三重四级杆质谱仪(美国赛默飞科技世尔公司); LC-15C 高效液相色谱仪(配有二极管阵列检测器和 SIL-10AF 自动进样器, 日本岛津公司); PL202-L 型百分之一电子天平(瑞士梅特勒-托利多公司); Spursil C<sub>18</sub> 色谱柱(150 mm×2.1 mm, 3 μm, 北京迪马科技公司); Waters xTerra MS C<sub>18</sub> 反相色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm, 美国 Waters 公司)。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 酚酸测定

单体酚参照 JU 等<sup>[19]</sup>方法测定, 采用高效液相色谱仪进行检测。色谱柱为 Waters xTerra MS C<sub>18</sub> 反相色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm), 取 100 mL 乙酸乙酯加入 50 mL 葡萄酒样品中, 分别萃取 3 次, 35 °C 减压旋蒸至干, 甲醇定容至 25 mL, 0.45 μm 微孔有机滤膜过滤后待测。流动相 A: 2% 的乙酸水溶液; 流动相 B: 0.5% 乙酸水溶液-乙腈(50:50, V:V); 流动相 A:B=50:50。梯度洗脱程序: 0~50 min: 10%~55% A; 50~60 min: 55%~100% A; 60~65 min: 100%~10% A; 65~75 min: 10% A。柱温 30 °C, 流速: 0.8 mL/min。检测波长: 280 nm(羟基安息酸), 320 nm(羟基肉桂酸类)。利用保留时间确定各单体酚成分, 采用外标法计算浓度。

#### 1.2.2 黄烷醇测定

葡萄酒中黄烷醇的测定参照 T/NAIA 085—2021《葡萄酒中黄烷醇类物质含量的测定 高效液相色谱法》。

#### 1.2.3 黄酮醇测定

葡萄酒中黄酮醇的测定参照 T/NAIA 082—2021《葡萄酒中黄酮醇类物质含量的测定 高效液相色谱法》。

### 1.2.4 花色苷测定

葡萄酒样品过 0.45  $\mu\text{m}$  有机相滤膜后上机测定, 采用超高效液相色谱串联三重四极杆质谱仪测定。色谱条件: 色谱柱: Spursil C<sub>18</sub> (150 mm $\times$ 2.1 mm, 3  $\mu\text{m}$ ); 流动相: A 为 0.1% 甲酸水溶液; B 为 0.1% 甲酸-甲醇:乙腈(1:1, V:V); 洗脱梯度: 0 min B 相比例为 10%, 12 min 增至 50%, 30 min 降至 10%, 平衡 5 min; 流速 0.30 mL/min, 柱温: 40  $^{\circ}\text{C}$ , 进样量 2  $\mu\text{L}$ 。质谱条件: 电喷雾离子源, 鞘气: 35 arb; 辅助气: 10 arb; 离子喷雾电压分别为 4000 V/-2500 V; 温度: 350  $^{\circ}\text{C}$ ; 离子传输管温度: 300  $^{\circ}\text{C}$ 。扫描模式: 全扫模式; 扫描方式: 正离子/负离子。

### 1.3 数据处理

采用 Excel 2019 软件进行数据整理; 采用 SPSS 25.0 软件对不同品种葡萄酒中监测指标进行单因素方差分析, 采用 SIMCA-P 13.0 中的正交偏最小二乘法(orthogonal partial least squares discriminant analysis, OPLS-DA)进行葡萄酒品种鉴别模型构建及图形绘制。每个样品重复测定 3 次, 表中数据以平均值 $\pm$ 标准偏差表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同品种葡萄酒中酚类物质差异分析

酚类物质是植物生长发育过程中产生的重要次级代谢物, 葡萄果实中的酚类物质及其衍生物按其化学结构主要有: 酚酸类、黄烷醇类、黄酮醇类等<sup>[20]</sup>, 因葡萄品种结构属性不同, 从而造成果实酚类物质的合成有所差异<sup>[21]</sup>。

#### 2.1.1 酚酸类

酚酸类化合物具有抗氧化、抗炎、抗肿瘤等多种功效, 广泛存在于谷物、水果、蔬菜等产品中, 主要分为苯甲酸衍生物和肉桂酸衍生物<sup>[22]</sup>。

在 16 种羟基安息酸类物质中, 香草酸甲酯、4-乙炔基愈创木酚、香兰素和香草酸 4 种物质未检出, 马尔贝克和马瑟兰单品葡萄酒中没食子酸儿茶素酯和香草酸乙酯也未检出。检出的 12 种羟基安息酸类物质含量差异较大, 没食子酸、原儿茶酸甲酯和丁香酸为羟基安息酸的主要成分, 含量分别为 11.26~22.03、6.02~11.97、2.18~5.61 mg/L; 原儿茶酸、3-羟基肉桂酸、对羟基苯甲酸、间羟基苯甲酸、龙胆酸含量介于 0.1~1.0 mg/L; 原儿茶醛、香草酸乙酯和对羟基苯甲酸乙酯含量低于 0.1 mg/L, 结果见表 1。从不同品种葡萄酒中 12 种物质来看, 美乐单品葡萄酒中没食子酸、原儿茶酸甲酯、丁香酸、没食子酸儿茶素酯含量高于其他品种葡萄酒; 马尔贝克单品葡萄酒中 3-羟基肉桂酸较高; 赤霞珠单品葡萄酒中原儿茶酸、对羟基苯甲酸、间羟基苯甲酸、龙胆酸、原儿茶醛含量较高; 马瑟兰单品葡萄酒中对羟基苯甲酸乙酯含量较高。除马尔贝克和马瑟兰单品葡萄酒, 没食子酸、3-羟基肉桂酸在其他品种葡萄酒中

差异显著( $P<0.05$ ); 紫大夫、马尔贝克和赤霞珠单品葡萄酒中的原儿茶酸甲酯与其他品种葡萄酒差异显著( $P<0.05$ ); 丁香酸在不同品种葡萄酒间具有显著差异( $P<0.05$ ); 原儿茶酸在紫大夫和赤霞珠单品葡萄酒间不具显著差异( $P>0.05$ ); 对羟基苯甲酸和间羟基苯甲酸在紫大夫和马尔贝克单品葡萄酒间不具有显著差异( $P>0.05$ ); 龙胆酸在美乐和马瑟兰单品葡萄酒间不具有显著差异( $P>0.05$ ); 没食子酸儿茶素酯在检出的 3 个品种葡萄酒间差异显著( $P<0.05$ ); 美乐单品葡萄酒中的原儿茶醛与其他品种葡萄酒具有显著差异( $P<0.05$ ); 香草酸乙酯在检出的 3 个品种葡萄酒间不具有显著差异( $P>0.05$ ); 紫大夫、美乐和马尔贝克单品葡萄酒中的对羟基苯甲酸乙酯与赤霞珠和马瑟兰单品葡萄酒具有显著差异( $P<0.05$ )。

羟基肉桂酸类 8 种物质中肉桂酸、芥子酸、绿原酸和香豆酸未检出。检出的 4 种物质含量在品种间存在显著差异( $P<0.05$ ), 其中马瑟兰单品葡萄酒中阿魏酸和对香豆酸含量较高, 马尔贝克单品葡萄酒中反式单阿魏酰酒石酸酯和咖啡酸含量高于其他品种。紫大夫和美乐单品葡萄酒中阿魏酸与其他品种间具有显著差异( $P<0.05$ ); 马尔贝克和赤霞珠单品葡萄酒中对香豆酸不具有显著差异, 但与其他品种差异显著( $P<0.05$ ); 紫大夫和赤霞珠单品葡萄酒中反式单阿魏酰酒石酸酯不存在显著差异, 但与其他品种差异显著; 美乐和赤霞珠单品葡萄酒中咖啡酸不存在显著性差异, 但与其他品种差异显著, 美乐单品葡萄酒中的咖啡酸含量显著低于其他品种。

从酚酸总量来看, 羟基安息酸含量远高于羟基肉桂酸, 5 个品种葡萄酒中美乐单品葡萄酒中的羟基安息酸和酚酸总量均最大, 平均值分别为 41.01 mg/L 和 43.26 mg/L, 紫大夫单品葡萄酒中酚酸总量最低, 平均值为 29.98 mg/L。羟基肉桂酸含量最高和最低的品种分别为马瑟兰和美乐单品葡萄酒, 平均含量为 8.74 mg/L 和 2.24 mg/L。

#### 2.1.2 黄烷醇

黄烷醇是赋予葡萄和葡萄酒苦味和收敛感的主要物质, 影响葡萄酒涩、苦味的优劣和强弱<sup>[23]</sup>。在测定的 6 种黄烷醇中, 除了马尔贝克和马瑟兰单品葡萄酒中表没食子儿茶素没食子酸酯未检出外(表 2), 其他品种葡萄酒中的 6 种物质均有检出。5 个单品葡萄酒的黄烷醇检测结果中, 各物质含量差异较大, 儿茶酸和表儿茶酸为黄烷醇的主要成分, 含量分别为 19.42~34.17 mg/L、10.37~19.17 mg/L; 表没食子儿茶素、异鼠李素和杨梅素含量介于 0.06~2.20 mg/L; 表没食子儿茶素没食子酸酯含量低于 0.02 mg/L。紫大夫单品葡萄酒中表没食子儿茶素含量高于其他品种; 美乐单品葡萄酒中表儿茶酸和儿茶酸含量较高; 异鼠李素和杨梅素含量在赤霞珠单品葡萄酒中含量较高。整体来看, 黄烷醇含量在美乐单品葡萄酒中达到了最大值, 为 54.89 mg/L, 在马瑟兰单品葡萄酒中含量最低为 31.29 mg/L。

表 1 不同品种葡萄酒中酚酸含量(mg/L)  
Table 1 Phenolic acid content in different varieties of wines (mg/L)

种类	紫大夫	美乐	马尔贝克	赤霞珠	马瑟兰	P	
没食子酸	11.26±0.02 <sup>d</sup>	22.03±0.04 <sup>a</sup>	13.82±0.20 <sup>c</sup>	15.42±0.46 <sup>b</sup>	13.58±0.44 <sup>c</sup>	0.00	
原儿茶酸甲酯	10.88±0.20 <sup>b</sup>	11.97±0.17 <sup>a</sup>	10.25±0.27 <sup>b</sup>	10.15±0.86 <sup>b</sup>	6.02±0.02 <sup>c</sup>	0.00	
丁香酸	2.18±0.05 <sup>c</sup>	5.61±0.23 <sup>a</sup>	3.34±0.12 <sup>d</sup>	3.93±0.08 <sup>c</sup>	5.23±0.12 <sup>b</sup>	0.00	
原儿茶酸	0.67±0.01 <sup>a</sup>	0.57±0.00 <sup>b</sup>	0.38±0.01 <sup>c</sup>	0.73±0.07 <sup>a</sup>	0.40±0.01 <sup>c</sup>	0.00	
3-羟基肉桂酸	0.20±0.01 <sup>c</sup>	0.14±0.01 <sup>d</sup>	0.53±0.00 <sup>a</sup>	0.26±0.00 <sup>b</sup>	0.51±0.03 <sup>a</sup>	0.00	
对羟基苯甲酸	0.13±0.01 <sup>d</sup>	0.24±0.01 <sup>b</sup>	0.12±0.00 <sup>d</sup>	0.28±0.01 <sup>a</sup>	0.15±0.01 <sup>c</sup>	0.00	
间羟基苯甲酸	0.14±0.01 <sup>d</sup>	0.26±0.00 <sup>b</sup>	0.13±0.00 <sup>d</sup>	0.30±0.01 <sup>a</sup>	0.18±0.01 <sup>c</sup>	0.00	
羟基安息酸	龙胆酸	0.18±0.01 <sup>c</sup>	0.13±0.01 <sup>d</sup>	0.27±0.00 <sup>b</sup>	0.44±0.02 <sup>a</sup>	0.14±0.01 <sup>d</sup>	0.00
没食子酸儿茶素酯	0.23±0.02 <sup>b</sup>	0.56±0.05 <sup>a</sup>	-	0.10±0.01 <sup>c</sup>	-	0.00	
原儿茶醛	0.04±0.00 <sup>a</sup>	0.02±0.00 <sup>b</sup>	0.04±0.00 <sup>a</sup>	0.05±0.00 <sup>a</sup>	0.04±0.01 <sup>a</sup>	0.00	
香草酸乙酯	0.03±0.00 <sup>a</sup>	0.03±0.00 <sup>a</sup>	-	0.03±0.00 <sup>a</sup>	-	0.00	
对羟基苯甲酸乙酯	0.01±0.00 <sup>b</sup>	0.01±0.00 <sup>b</sup>	0.01±0.00 <sup>b</sup>	0.02±0.00 <sup>a</sup>	0.02±0.00 <sup>a</sup>	0.00	
总量	25.66±0.89 <sup>d</sup>	41.01±1.20 <sup>a</sup>	28.89±1.00 <sup>c</sup>	31.89±1.25 <sup>b</sup>	26.28±1.04 <sup>d</sup>	0.00	
阿魏酸	0.22±0.01 <sup>c</sup>	0.20±0.00 <sup>c</sup>	0.14±0.00 <sup>d</sup>	0.43±0.02 <sup>b</sup>	0.52±0.01 <sup>a</sup>	0.00	
对香豆酸	1.04±0.04 <sup>c</sup>	0.30±0.01 <sup>d</sup>	1.76±0.06 <sup>b</sup>	1.81±0.01 <sup>b</sup>	2.79±0.11 <sup>a</sup>	0.00	
羟基肉桂酸	反式单阿魏酰酒石酸酯	1.75±0.05 <sup>c</sup>	1.39±0.03 <sup>d</sup>	2.91±0.01 <sup>a</sup>	0.71±0.01 <sup>c</sup>	2.22±0.13 <sup>b</sup>	0.00
咖啡酸	1.37±0.07 <sup>d</sup>	0.36±0.02 <sup>e</sup>	3.58±0.11 <sup>a</sup>	1.98±0.18 <sup>c</sup>	3.38±0.03 <sup>b</sup>	0.00	
总量	4.32±0.21 <sup>d</sup>	2.24±0.11 <sup>c</sup>	8.32±0.24 <sup>b</sup>	4.97±0.22 <sup>c</sup>	8.74±0.40 <sup>a</sup>	0.00	
酚酸总量	29.98±1.01 <sup>d</sup>	43.26±1.13 <sup>a</sup>	37.21±0.99 <sup>b</sup>	36.86±1.15 <sup>b</sup>	35.02±1.40 <sup>c</sup>	0.00	

注: 表中数据为平均值±标准偏差, -表示未检出; 不同小写字母表示不同品种间差异显著性, P<0.05, 下同。

表 2 不同品种葡萄酒中黄烷醇含量(mg/L)  
Table 2 Flavanol content in different varietal wines (mg/L)

种类	紫大夫	美乐	马尔贝克	赤霞珠	马瑟兰	P
表儿茶酸	14.70±0.32 <sup>c</sup>	19.17±0.88 <sup>a</sup>	12.90±0.11 <sup>d</sup>	18.01±0.44 <sup>b</sup>	10.37±0.10 <sup>c</sup>	0.00
表没食子儿茶素	0.89±0.08 <sup>a</sup>	0.70±0.00 <sup>b</sup>	0.64±0.03 <sup>b</sup>	0.70±0.04 <sup>b</sup>	0.45±0.04 <sup>c</sup>	0.00
异鼠李素	0.14±0.02 <sup>d</sup>	0.43±0.04 <sup>b</sup>	0.06±0.00 <sup>c</sup>	0.59±0.02 <sup>a</sup>	0.24±0.01 <sup>c</sup>	0.00
杨梅素	0.47±0.05 <sup>c</sup>	1.28±0.12 <sup>b</sup>	0.39±0.29 <sup>c</sup>	2.12±0.07 <sup>a</sup>	1.06±0.06 <sup>b</sup>	0.00
表没食子儿茶素没食子酸酯	0.01±0.00 <sup>b</sup>	0.02±0.00 <sup>a</sup>	-	0.01±0.00 <sup>b</sup>	-	0.00
儿茶酸	28.92±0.52 <sup>b</sup>	34.17±0.53 <sup>a</sup>	25.77±1.11 <sup>c</sup>	28.53±1.49 <sup>b</sup>	19.42±0.54 <sup>d</sup>	0.00
总量	45.81±1.26 <sup>c</sup>	54.89±2.82 <sup>a</sup>	39.72±1.46 <sup>d</sup>	50.40±2.11 <sup>b</sup>	31.29±1.90 <sup>c</sup>	0.00

对不同品种单品葡萄酒中黄烷醇进行方差分析, 结果显示: 表儿茶酸、异鼠李素在不同品种单品葡萄酒中具有显著差异(P<0.05); 表没食子儿茶素在美乐、马尔贝克和赤霞珠品种间不具有显著差异(P>0.05), 但与其他品种具有显著差异(P<0.05); 杨梅素在美乐和马瑟兰、紫大夫和马尔贝克单品葡萄酒间不存在显著差异, 但与赤霞珠单品葡萄酒具有显著差异(P<0.05); 表没食子儿茶素没食子酸酯在检出的 3 个品种间具有显著差异(P<0.05); 紫大夫和赤霞珠单品葡萄酒中的儿茶酸不存在显著差异, 与其他品种具有显著差异(P<0.05)。

2.1.3 黄酮醇

黄酮醇和酚酸作为辅色物质, 对葡萄和葡萄酒的颜色具有重要作用<sup>[24]</sup>。在测定的 10 种黄酮醇中, 芹菜素和木犀草苷未检出, 其他 8 种黄酮醇类物质均有检出(表 3)。检出的 8 种黄酮醇类物质含量差异较大, 异槲皮苷、槲皮素和芦丁为黄酮醇类物质的主要组成成分, 含量分别为 1.02~12.62、1.57~7.73、1.71~3.40 mg/L; 白藜芦醇、根皮苷含量介于 0.09~0.45 mg/L; 槲皮苷、山奈酚和木樨草素含量低于 0.1 mg/L。紫大夫单品葡萄酒中白藜芦醇、山奈酚和木樨草素含量高于其他品种; 芦丁、异槲皮苷和槲皮

素分别在马尔贝克、美乐和赤霞珠单品葡萄酒中含量较高; 马瑟兰单品葡萄酒中槲皮苷和根皮苷含量较高, 而黄酮醇总量分别在美乐和马尔贝克单品葡萄酒中达到最高和最低, 平均值分别为 20.80 mg/L 和 6.46 mg/L。

对不同品种葡萄酒中黄酮醇类物质进行方差分析, 结果显示: 马尔贝克和马瑟兰单品葡萄酒中白藜芦醇不具有显著差异( $P>0.05$ ), 但与其他品种具有显著差异( $P<0.05$ ); 芦丁、异槲皮苷和槲皮素在 5 个品种葡萄酒间具有显著差异( $P<0.05$ ); 美乐、马尔贝克和赤霞珠单品葡萄酒中的槲皮苷不具有显著差异( $P>0.05$ ), 与其他 2 个品种单品葡萄酒具有显著差异( $P<0.05$ ); 山奈酚、木樨草素在马尔贝克、赤霞珠和马瑟兰单品葡萄酒间不具有显著差异( $P>0.05$ ); 根皮苷在紫大夫和美乐、马尔贝克和马瑟兰单品葡萄酒中不具有显著差异( $P>0.05$ )。

#### 2.1.4 花色苷

颜色作为消费者判定葡萄酒品质的第一指标, 花色苷为主要贡献者, 对葡萄酒的色泽、风味具有重要影响<sup>[25]</sup>, 葡萄酒中的花色苷主要有锦葵色素、飞燕草色素、矮牵牛色素、矢车菊色素和芍药色素<sup>[26]</sup>, 通常以糖苷形式存在, 也可以通过与不同的酸进行酯化而以酰化形式存在<sup>[27-28]</sup>。

在测定的 18 种花色苷中, 矮牵牛素-3,5-O 双葡萄糖苷、飞燕草素-3,5-O-双葡萄糖苷、芍药素-3,5-O 双葡萄糖苷、矢车菊素-3,5-O 双葡萄糖苷、天竺葵色素及其以糖苷形式的花色苷均未检出, 锦葵色素-3-O-葡萄糖苷为花色苷的主要组成成分, 矮牵牛素-3-O-葡萄糖苷、飞燕草素-3-O-葡萄糖苷、芍药素-3-O-葡萄糖苷、锦葵色素含量均大于 1 mg/L, 其他花色苷含量较低, 具体结果见表 4。由表 4 可知, 11 种花色苷在不同品种间均具有显著差异( $P<0.05$ ), 矮牵牛色素

表 3 不同品种葡萄酒中黄酮醇含量(mg/L)  
Table 3 Flavonol content in different varietal wines (mg/L)

种类	紫大夫	美乐	马尔贝克	赤霞珠	马瑟兰	<i>P</i>
白藜芦醇	0.45±0.11 <sup>a</sup>	0.09±0.01 <sup>d</sup>	0.24±0.01 <sup>c</sup>	0.35±0.01 <sup>b</sup>	0.27±0.00 <sup>c</sup>	0.00
芦丁	3.21±0.08 <sup>b</sup>	1.71±0.13 <sup>c</sup>	3.40±0.08 <sup>a</sup>	1.91±0.06 <sup>d</sup>	2.55±0.06 <sup>c</sup>	0.00
槲皮苷	0.07±0.05 <sup>b</sup>	0.04±0.01 <sup>c</sup>	0.05±0.00 <sup>c</sup>	0.04±0.01 <sup>c</sup>	0.08±0.01 <sup>a</sup>	0.00
山奈酚	0.04±0.01 <sup>a</sup>	0.03±0.01 <sup>b</sup>	0.02±0.00 <sup>c</sup>	0.02±0.00 <sup>bc</sup>	0.02±0.00 <sup>c</sup>	0.00
根皮苷	0.22±0.02 <sup>b</sup>	0.23±0.03 <sup>b</sup>	0.27±0.01 <sup>a</sup>	0.20±0.02 <sup>c</sup>	0.28±0.00 <sup>a</sup>	0.00
异槲皮苷	8.81±0.47 <sup>b</sup>	12.62±0.40 <sup>a</sup>	1.02±0.05 <sup>c</sup>	6.03±0.04 <sup>c</sup>	3.18±0.08 <sup>d</sup>	0.00
木樨草素	0.06±0.01 <sup>a</sup>	0.03±0.01 <sup>b</sup>	0.02±0.00 <sup>c</sup>	0.02±0.00 <sup>c</sup>	0.02±0.00 <sup>c</sup>	0.00
槲皮素	3.69±0.25 <sup>d</sup>	6.07±0.09 <sup>b</sup>	1.57±0.08 <sup>c</sup>	7.73±0.28 <sup>a</sup>	4.33±0.20 <sup>c</sup>	0.00
总量	16.54±0.50 <sup>b</sup>	20.80±1.07 <sup>a</sup>	6.46±0.14 <sup>d</sup>	16.13±0.85 <sup>b</sup>	10.67±0.57 <sup>c</sup>	0.00

表 4 不同品种葡萄酒中花色苷含量(mg/L)  
Table 4 Anthocyanin content in different varietal wines (mg/L)

种类	紫大夫	美乐	马尔贝克	赤霞珠	马瑟兰	<i>P</i>
矮牵牛色素	0.20±0.02 <sup>a</sup>	0.15±0.01 <sup>b</sup>	0.20±0.01 <sup>a</sup>	0.12±0.01 <sup>c</sup>	0.10±0.01 <sup>c</sup>	0.00
矮牵牛素-3-O-葡萄糖苷	14.11±1.02 <sup>a</sup>	8.18±0.64 <sup>c</sup>	10.10±0.18 <sup>b</sup>	6.50±0.20 <sup>d</sup>	7.44±0.52 <sup>cd</sup>	0.00
飞燕草色素	0.26±0.01 <sup>d</sup>	0.42±0.04 <sup>b</sup>	0.67±0.03 <sup>a</sup>	0.35±0.01 <sup>c</sup>	0.20±0.01 <sup>c</sup>	0.00
飞燕草素-3-O-葡萄糖苷	6.28±0.17 <sup>a</sup>	5.34±0.19 <sup>b</sup>	3.28±0.37 <sup>d</sup>	4.36±0.16 <sup>c</sup>	5.19±0.24 <sup>b</sup>	0.00
锦葵色素	2.00±0.19 <sup>b</sup>	1.12±0.07 <sup>d</sup>	2.18±0.15 <sup>ab</sup>	1.57±0.04 <sup>c</sup>	2.39±0.18 <sup>a</sup>	0.00
锦葵色素-3,5-O 双葡萄糖苷	0.38±0.02 <sup>a</sup>	0.22±0.01 <sup>d</sup>	0.14±0.01 <sup>c</sup>	0.36±0.01 <sup>b</sup>	0.30±0.01 <sup>c</sup>	0.00
锦葵色素-3-O-葡萄糖苷	168.84±19.47 <sup>a</sup>	63.82±3.55 <sup>d</sup>	126.21±13.65 <sup>b</sup>	86.56±0.87 <sup>c</sup>	137.78±13.98 <sup>b</sup>	0.00
芍药色素	0.12±0.01 <sup>a</sup>	0.10±0.01 <sup>a</sup>	0.08±0.00 <sup>b</sup>	0.06±0.00 <sup>b</sup>	0.06±0.01 <sup>b</sup>	0.00
芍药素-3-O-葡萄糖苷	5.11±0.06 <sup>b</sup>	5.90±0.37 <sup>a</sup>	2.47±0.10 <sup>c</sup>	2.56±0.10 <sup>c</sup>	3.01±0.27 <sup>c</sup>	0.00
矢车菊色素	0.19±0.01 <sup>c</sup>	1.30±0.12 <sup>b</sup>	2.04±0.20 <sup>a</sup>	0.89±0.04 <sup>c</sup>	0.49±0.00 <sup>d</sup>	0.00
矢车菊素-3-O-葡萄糖苷	0.64±0.02 <sup>b</sup>	1.56±0.12 <sup>a</sup>	0.26±0.02 <sup>c</sup>	0.36±0.02 <sup>c</sup>	0.33±0.02 <sup>c</sup>	0.00
花色苷总量	193.76±18.81 <sup>a</sup>	88.46±4.39 <sup>d</sup>	149.28±15.31 <sup>b</sup>	105.13±4.49 <sup>c</sup>	156.03±12.60 <sup>b</sup>	0.00

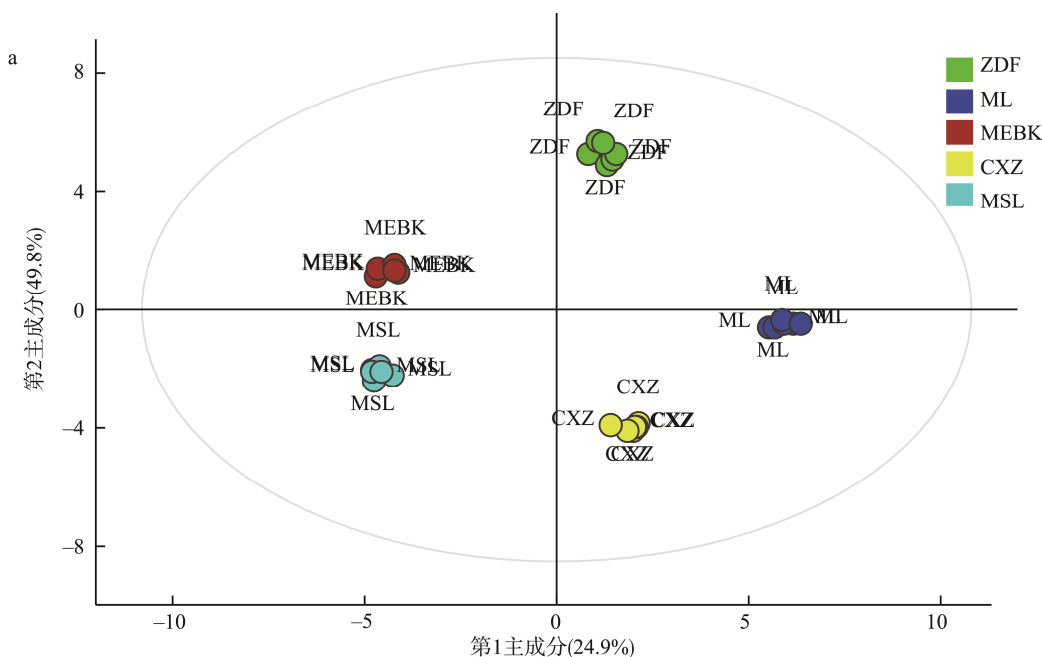
分别在紫大夫和马尔贝克、赤霞珠和马瑟兰单品葡萄酒中差异不显著( $P>0.05$ ); 马瑟兰单品葡萄酒中矮牵牛素-3-O-葡萄糖苷与美乐和赤霞珠单品葡萄酒差异不显著( $P>0.05$ ); 飞燕草素-3-O-葡萄糖苷在美乐和马瑟兰单品葡萄酒中不存在显著差异( $P>0.05$ ); 马尔贝克单品葡萄酒中的锦葵色素分别与紫大夫和马瑟兰单品葡萄酒不存在显著差异( $P>0.05$ ); 锦葵色素-3-O-葡萄糖苷在马尔贝克和马瑟兰单品葡萄酒中不存在显著差异( $P>0.05$ ); 紫大夫、美乐单品葡萄酒中的芍药色素与其他 3 个品种葡萄酒存在显著差异( $P>0.05$ ); 芍药素-3-O-葡萄糖苷、矢车菊素-3-O-葡萄糖苷在马尔贝克、赤霞珠和马瑟兰单品葡萄酒中不存在显著差异( $P>0.05$ )。花色苷总量分别在紫大夫和美乐单品葡萄酒中达到最高值和最低值, 平均含量分别为 193.76 mg/L 和 88.46 mg/L。紫大夫、马瑟兰和马尔贝克单品葡萄酒中花色苷总量显著高于赤霞珠和美乐单品葡萄酒, 着色好。

## 2.2 不同品种葡萄酒判别模型构建

为了解酚酸、黄酮醇、黄烷醇、花色苷等指标在葡萄酒品种鉴别中的可行性, 采用 OPLS-DA 分析, 基于以上指标构建紫大夫(ZDF)、美乐(ML)、马尔贝克(MEBK)、赤霞珠(CXZ)和马瑟兰(MSL)葡萄酒的品种鉴别模型, 结果见图 1, 判别分析结果见表 5。该模型的解释变量( $R^2X$ )和预测

能力( $R^2Y$ )分别为 0.937 和 0.994, 说明模型分类良好, 预测残差平方和( $Q^2$ )为 0.992, 对 5 个品种葡萄酒具有良好的预测能力。根据 OPLS-DA 的判别结果, 各品种葡萄酒能明显地区分开来, 紫大夫单品葡萄酒样品聚在第一象限; 马尔贝克单品葡萄酒样品聚在第二象限; 马瑟兰单品葡萄酒聚在第三象限; 赤霞珠单品葡萄酒聚在第四象限; 美乐单品葡萄酒样品聚在第一、第四象限中间的坐标轴上。矮牵牛素-3-O-葡萄糖苷、矮牵牛素色素对紫大夫单品葡萄酒的区分起主要作用, 原儿茶酸、表儿茶酸对美乐单品葡萄酒的区分起主要作用, 马尔贝克单品葡萄酒中的槲皮苷、原儿茶醛、锦葵色素-3-O-葡萄糖苷、反式单阿魏酰酒石酸酯、芦丁对其区分作用较为明显, 丁香酸、龙胆酸、杨梅素对赤霞珠单品葡萄酒的区分度较高, 马瑟兰单品葡萄酒中原儿茶醛、根皮苷对其区分作用较为明显。整体正确判别率为 100%, 说明葡萄酒中酚类物质对葡萄酒品种的判别效果比较好。

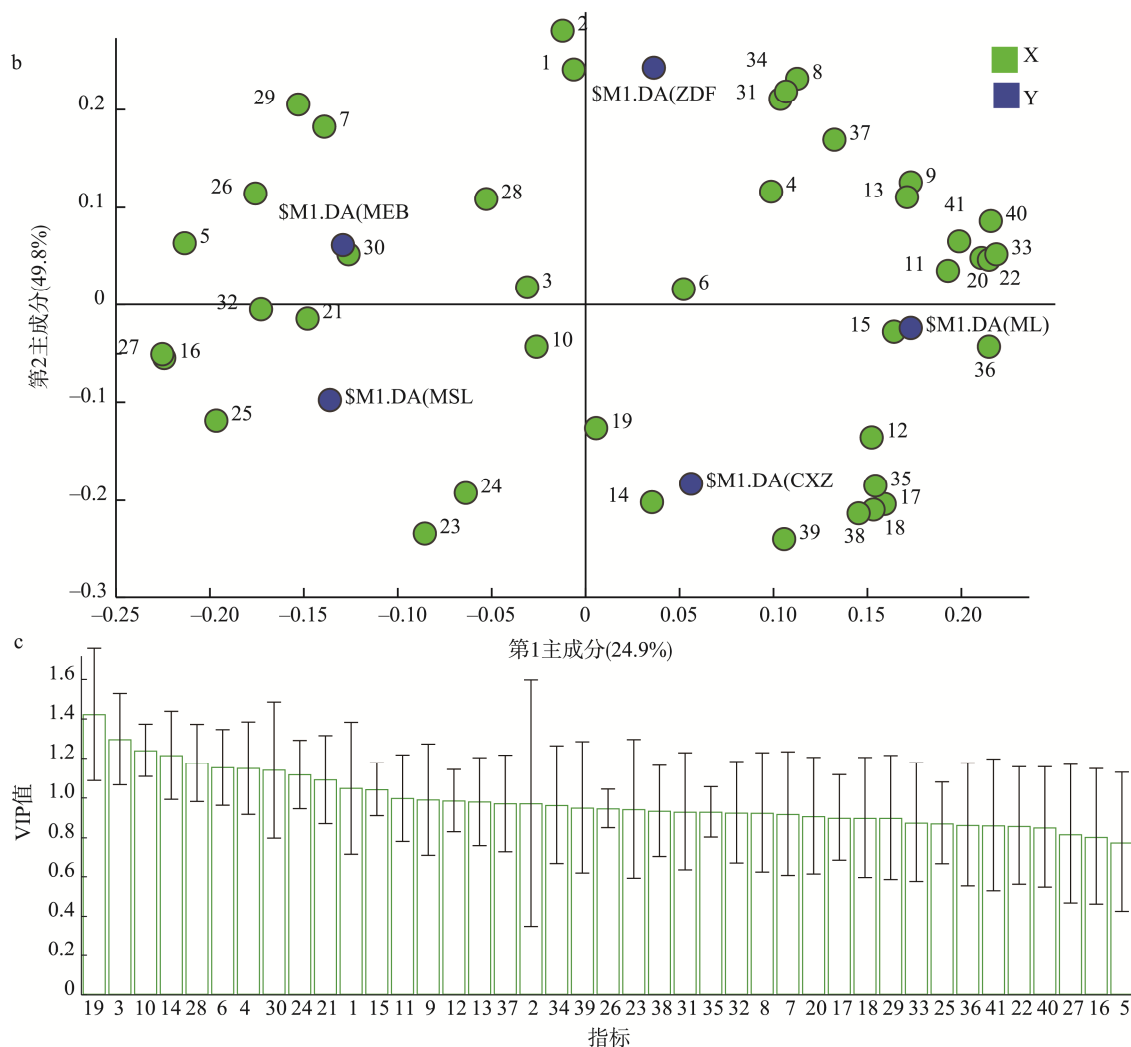
为进一步找出对结果分型其贡献作用的变量, 得到 OPLS-DA 模型的投影变量重要程度(variable importance in the projection, VIP)图(图 1c)。选择 VIP 值大于 1 作为判定标准, VIP 值越大, 变量在不同品种间差异越显著。从图 1c 可以看出, 龙胆酸(1.425)、飞燕草色素(1.298)、矢车菊色



注: a. 得分图; b. 载荷图; c. VIP 值图。1~41 分别为矮牵牛色素、矮牵牛素-3-O-葡萄糖苷、飞燕草色素、飞燕草素-3-O-葡萄糖苷、锦葵色素、锦葵色素-3,5-O 双葡萄糖苷、锦葵色素-3-O-葡萄糖苷、芍药色素、芍药素-3-O-葡萄糖苷、矢车菊色素、矢车菊素-3-O-葡萄糖苷、没食子酸、原儿茶酸甲酯、丁香酸、原儿茶酸、3-羟基肉桂酸、对羟基苯甲酸、间羟基苯甲酸、龙胆酸、没食子酸儿茶素酯、原儿茶醛、香草酸乙酯、对羟基苯甲酸乙酯、阿魏酸、对香豆酸、反式单阿魏酰酒石酸酯、咖啡酸、白藜芦醇、芦丁、槲皮苷、山奈酚、根皮苷、异槲皮苷、木樨草素、槲皮素、表儿茶酸、表没食子儿茶酸、异鼠李素、杨梅素、表没食子儿茶素没食子酸酯、儿茶酸。

图 1 基于 OPLS-DA 的不同品种葡萄酒的判别分析

Fig.1 Discriminant analysis of different wines based on OPLS-DA



注: a. 得分图; b. 载荷图; c. VIP 值图。1~41 分别为矮牵牛色素、矮牵牛素-3-O-葡萄糖苷、飞燕草色素、飞燕草素-3-O-葡萄糖苷、锦葵色素、锦葵色素-3,5-O 双葡萄糖苷、锦葵色素-3-O-葡萄糖苷、芍药色素、芍药素-3-O-葡萄糖苷、矢车菊色素、矢车菊素-3-O-葡萄糖苷、没食子酸、原儿茶酸甲酯、丁香酸、原儿茶酸、3-羟基肉桂酸、对羟基苯甲酸、间羟基苯甲酸、龙胆酸、没食子酸儿茶素酯、原儿茶醛、香草酸乙酯、对羟基苯甲酸乙酯、阿魏酸、对香豆酸、反式单阿魏酰酒石酸酯、咖啡酸、白藜芦醇、芦丁、槲皮苷、山奈酚、根皮苷、异槲皮苷、木犀草素、槲皮素、表儿茶酸、表没食子儿茶酸、异鼠李素、杨梅素、表没食子儿茶素没食子酸酯、儿茶酸。

图 1(续) 基于 OPLS-DA 的不同品种葡萄酒的判别分析  
 Fig.1 Discriminant analysis of different wines based on OPLS-DA

表 5 基于 OPLS-DA 的不同品种葡萄酒分类结果(n=6)  
 Table 5 Classification results of different varieties of wines based on OPLS-DA (n=6)

品种	紫大夫	美乐	马尔贝 克	赤霞珠	马瑟兰	正确判别 率/%
紫大夫	6	0	0	0	0	100
美乐	0	6	0	0	0	100
马尔贝 克	0	0	6	0	0	100
赤霞珠	0	0	0	6	0	100
马瑟兰	0	0	0	0	6	100

素(1.241)、丁香酸(1.216)、白藜芦醇(1.177)、锦葵色素-3,5-O 双葡萄糖苷(1.155)、飞燕草色素-3-O 葡萄糖苷(1.151)、槲

皮苷(1.142)、阿魏酸(1.119)、原儿茶醛(1.093)、矮牵牛色素(1.051)、原儿茶酸(1.044) 12 个指标的 VIP 值大于 1, 因此这些指标可以作为区分葡萄酒品种的重要指标。

### 3 结论与讨论

本研究通过采集贺兰山东麓青铜峡产区一酒庄紫大夫、美乐、马尔贝、赤霞珠、马瑟兰酿酒葡萄酒样品, 采用同一酿造工艺酿制成葡萄酒, 对不同品种葡萄酒中多酚类物质组分特性及差异性进行研究。结果表明, 不同品种葡萄酒间酚酸、黄酮醇、黄烷醇、花色苷组分含量均存在显著差异, 这与前人研究结果一致<sup>[29-31]</sup>, 因葡萄的遗传特性, 在相同产地、气象环境下不同品种的酿酒葡萄品质也

存在着显著差异, 本研究中的 5 个品种酿酒葡萄实验材料采自同一葡萄园, 可规避掉栽培管理、地理环境因素差异的影响, 所以, 5 个品种葡萄酒种多酚物质的差异主要源于品种差异, 美乐单品葡萄酒中多酚类物质, 包括酚酸总量、酚酸中的羟基安息酸、黄烷醇、黄酮醇含量均在 5 个品种中达到最高, 但美乐单品葡萄酒中的羟基肉桂酸含量最低; 花色苷总量分别在紫大夫和美乐单品葡萄酒中达到最高值和最低值, 5 个品种葡萄酒间多酚含量差异显著 ( $P>0.05$ )。

花色苷是葡萄果实和葡萄酒的主要呈色物质, 在很大程度上决定了葡萄果实和葡萄酒的品质, 有研究表明, 植物中的花色苷受环境条件<sup>[32]</sup>、栽培措施<sup>[33]</sup>等外部因素的影响外, 还受到内部遗传基因的调控<sup>[34]</sup>, 使不同品种葡萄及葡萄酒中花色苷含量和组分存在较大差异, 这与本研究结果一致, 本研究中 11 种花色苷及花色苷总量在不同品种葡萄酒间均具有显著差异 ( $P>0.05$ )。

通过 OPLS-DA 判别分析方法建立了葡萄酒品种鉴别模型, 整体正确判别率为 100%, 确定了龙胆酸、飞燕草色素、矢车菊色素、丁香酸、白藜芦醇、锦葵色素-3,5-O 双葡萄糖苷、飞燕草色素-3-O 葡萄糖苷、槲皮苷、阿魏酸、原儿茶醛、矮牵牛色素和原儿茶酸 12 种物质对 5 个品种葡萄酒的区分具有显著贡献, 说明这 12 种物质为区分紫大夫、美乐、马尔贝克、赤霞珠和马瑟兰 5 个品种葡萄酒的关键特征物质。

选择具有优良品质和稳定产量的葡萄品种是提高葡萄酒品质的关键。本研究结果有助于建立基于不同葡萄品种的品质数据库, 为企业葡萄品种选育、新产品开发提供数据支撑; 同时, 为葡萄酒品种鉴别提供了研究思路, 但本研究中样本量较小, 后期可针对同一产区大量采集不同品种酿酒葡萄酿制葡萄酒或者采集不同品种的单品葡萄酒, 根据葡萄酒中多酚含量构建葡萄酒品种鉴别模型。

## 参考文献

- [1] 王婧雅. 宁夏葡萄酒产业发展逆势上扬[N]. 宁夏日报, 2023-01-15(001).  
WANG JY. The development of Ningxia wine industry bucked the trend [N]. Ningxia Daily, 2023-01-15(001).
- [2] TINDAL RA, JEFFERY DW, MUHLACK RA. Mathematical modelling to enhance winemaking efficiency: A review of red wine colour and polyphenol extraction and evolution [J]. Aust J Grape Wine R, 2021, 27: 219-233.
- [3] COVAS MI, GAMBERT P, FITÓ M, et al. Wine and oxidative stress: Up-to-date evidence of the effects of moderate wine consumption on oxidative damage in humans [J]. Atherosclerosis, 2010, 208(2): 297-304.
- [4] 王张钰, 黄勇策, 杨伟明, 等. 贺兰山东麓不同风土条件下红葡萄酒酚类及感官特征分析[J]. 中国酿造, 2024, 43(6): 32-42.  
WANG ZY, HUANG YC, YANG WM, et al. Analysis of phenolic and sensory characteristics of red wines under different terroir conditions in the eastern foothills of Helan mountains [J]. China Brew, 2024, 43(6): 32-42.
- [5] 陈鑫龙, 张媛媛, 徐令斌, 等. 用多酚类指标表征干红葡萄酒味感质量的模型构建[J]. 农业工程学报, 2024, 40(8): 281-289.  
CHEN XL, ZHANG YY, XU LB, et al. Model construction for characterizing the flavor quality of dry red wine based on polyphenolic indexes [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2024, 40(8): 281-289.
- [6] LI Z, PAN Q, JIN Z, et al. Comparison on phenolic compounds in *Vitis vinifera* cv. Cabernet Sauvignon wines from five wine-growing regions in China [J]. Food Chem, 2011, 125(1): 77-83.
- [7] LIZAMA AV, PEREZ ÁE, INTRIGLIOLO DS, et al. Effects of the irrigation regimes on grapevine cv. Bobal in a Mediterranean climate: II. wine, skins, seeds, and grape aromatic composition [J]. Agric Water Manag, 2021, 256: 1-15.
- [8] 朱娟娟, 马海军, 李敏, 等. 硒对赤霞珠酿酒葡萄果实品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(12): 127-133.  
ZHU JJ, MA HJ, LI M, et al. Influence of selenium on the quality of cabernet sauvignon wine grape fruits [J]. Food Ferment Ind, 2020, 46(12): 127-133.
- [9] JU YL, YANG BH, HE S, et al. Anthocyanin accumulation and biosynthesis are modulated by regulated deficit irrigation in Cabernet Sauvignon (*Vitis Vinifera* L.) grapes and wines [J]. Plant Physiol Bioch, 2019, 135: 469-479.
- [10] SIVILOTTI P, HERRERA JC, LISJAK K, et al. Impact of leaf removal, applied before and after flowering, on anthocyanin, tannin, and methoxypyrazine concentrations in 'Merlot' (*Vitis vinifera* L.) grapes and wines [J]. J Agric Food Chem, 2016, 64(22): 4487-4496.
- [11] DASILVA-PADILHA CV, CAMARÃO-TELLES BIASOTO A, CORRÊA LC, et al. Phenolic compounds profile and antioxidant activity of commercial tropical red wines (*Vitis vinifera*) from São Francisco Valley, Brazil [J]. J Food Biochem, 2017, 41(3): e12346.
- [12] LI Z, PAN QH, JIN ZM, et al. Comparison on phenolic compounds in *Vitis vinifera* cv. cabernet sauvignon wines from five wine-growing regions in China [J]. Food Chem, 2011, 125(1): 77-83.
- [13] FERRER-GALLEGO R, HERNÁNDEZ-HIERRO JM, RIVASGONZALO JC, et al. Sensory evaluation of bitterness and astringency sub-qualities of wine phenolic compounds: Synergistic effect and modulation by aromas [J]. Food Res Int, 2014, 62: 1100-1107.
- [14] BASHIR S, KAUR N, ARORA NK. Dynamics of partitioning of major sugars, total phenols and flavonoids in the juice of seven wine grape (*Vitis* spp.) cultivars during different stages of berry development [J]. Plant Physiol Rep, 2019, 24(1): 112-118.
- [15] TANAKA T, IUCHI A, HARADA H, et al. Potential beneficial effects of wine flavonoids on allergic diseases [J]. Diseases, 2019, 7(1): 8.
- [16] 陈娟, 马忠明, 罗双龙. 河西灌区酿酒葡萄水肥一体化的水肥适宜用量[J]. 经济林研究, 2019, 37(4): 81-87.  
CHEN J, MA ZM, LUO SL. Suitable irrigation and fertilization amount for wine grape under integration of water and fertilizer in Hexi irrigation region [J]. Non-wood Forest Res, 2019, 37(4): 81-87.
- [17] 孙树霖, 刘政海, 张丽. 三种红色酿酒葡萄品种果实酚类物质比较[J]. 中国酿造, 2020, 39(4): 137-141.  
SUN SS, LIU ZH, ZHANG L. Comparison of phenols in the fruit of three red wine grape varieties [J]. China Brew, 2020, 39(4): 137-141.



- [18] XIA LL, XU CM, HUANG KL, *et al.* Evaluation of phenolic compounds, antioxidant and antiproliferative activities of 31 grape cultivars with different genotypes [J]. *J Food Biochem*, 2019, 43(6): e12626.
- [19] JU YL, YANG BH, HE S, *et al.* Anthocyanin accumulation and biosynthesis are modulated by regulated deficit irrigation in *Cabernet sauvignon* (L.) grapes and wines[J]. *Plant Physiol Biochem*, 2019, 135: 469–479.
- [20] DÍAZ FERNÁNDEZÁ, DÍAZ-LOSADA E, VÁZQUEZ-ARIAS A, *et al.* Nonanthocyanin compounds in minority red grapevine varieties traditionally cultivated in Galicia (Northwest Iberian Peninsula), analysis of flavanols, flavonols, and phenolic acids [J]. *Plants*, 2022, 12(1): 4.
- [21] VO GT, LIU Z, CHOU O, *et al.* Screening of phenolic compounds in australian grown grapes and their potential antioxidant activities [J]. *Food Biosci*, 2022, 47: 101644.
- [22] 肖婧泓, 辛嘉英, 路雪纯, 等. 天然结合酚类化合物的研究进展[J]. *中国调味品*, 2022, 47(8): 210–215.  
XIAO JH, XIN JY, LU XC, *et al.* Research progress on naturally bound phenolic compounds [J]. *China Cond*, 2022, 47(8): 210–215.
- [23] 温鹏飞, 牛兴艳, 邢延富, 等. 土壤干旱对葡萄果实中黄酮醇类多酚时空积累及隐色花色素还原酶活性、组织定位的影响[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(14): 2 979–2 989.  
WEN PF, NIU XY, XING YF, *et al.* Effects of soil drought on spatio-temporal accumulation of flavanols polyphenols, activity of leucoanthocyanidin reductase and tissue localization in grape fruits [J]. *Sci Agric Sin*, 2013, 46(14): 2979–2989.
- [24] 卢浩成, 魏巍, 成池芳, 等. 5 个调色葡萄品种酚类物质轮廓分析[J]. *食品科学*, 2021, 42(16): 145–154.  
LU HC, WEI W, CHENG CF, *et al.* Analysis of the phenolic profiles of five blending grape varieties [J]. *Food Sci*, 2021, 42(16): 145–154.
- [25] 黄露露, 杨志伟, 齐鹏宇, 等. 葡萄酒中花色素类物质鉴别及组成研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(19): 6271–6280.  
HUANG LL, YANG ZW, QI PY, *et al.* Research progress on identification and composition of anthocyanins in wine [J]. *J Food Saf Qual*, 2022, 13(19): 6271–6280.
- [26] CHEYNIER V, DUENAS-PATON M, SALAS E, *et al.* Structure and properties of wine pigments and tannins [J]. *Am J Enol Vitic*, 2006, 57(3): 298–305.
- [27] GARRIDO-BAUELOS G, BUICAA, TOIT WD. Relationship between anthocyanins, proanthocyanidins, and cell wall polysaccharides in grapes and red wines. A current state-of-art review [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2022, 62(28): 7743–7759.
- [28] GUZMÁN F, ISIDRO HG, PICCARDO D, *et al.* Selectivity of pigments extraction from grapes and their partial retention in the pomace during red-winemaking [J]. *Food Chem*, 2019, 277: 391–397.
- [29] 牟德生, 郭艳兰, 毛娟, 等. 25 个酿酒葡萄营养系的果实性状及品质综合评价[J]. *经济林研究*, 2023, 41(1): 165–175.  
MU DS, GUO YL, MAO J, *et al.* Comprehensive evaluation of fruit characters and quality of 25 wine grape clones [J]. *Non-wood Forest Res*, 2023, 41(1): 165–175.
- [30] 陈娟, 马忠明, 牛小霞, 等. 河西走廊不同产区主栽酿酒葡萄品种品质特性[J]. *经济林研究*, 2024(2): 196–205.  
CHEN J, MA ZM, NIU XX, *et al.* Quality characteristics of main wine grape varieties in different production areas of the Hexi Corridor [J]. *Non-wood Forest Res*, 2024(2): 196–205.
- [31] MERVE K, OKUMUS YG, SEVGI ZK. Comparison of phenolic profile and antioxidant properties of pulp and seeds of two different grapes types (*Vitis vinifera* L. and *Vitis labrusca* L.) grown in Anatolia [J]. *Chem Afr*, 2023, 6(5): 2463–2469.
- [32] YANG B, HE S, LIU Y, *et al.* Transcriptomics Integrated with metabolomics reveals the effect of regulated deficit irrigation on anthocyanin biosynthesis in Cabernet Sauvignon grape berries [J]. *Food Chem*, 2020, 314: 126170.
- [33] 杨湘, 苏学德, 张锦强, 等. 套袋对葡萄果实品质的影响及机理分析[J]. *中外葡萄与葡萄酒*, 2023(1): 72–77.  
YANG X, SU XD, ZHANG JQ, *et al.* Effects and mechanism analysis of bagging on grape fruit quality [J]. *Sino-Overseas Grapev Wine*, 2023(1): 72–77.
- [34] LAFOUNTAIN AM, YUAN YW. Repressors of anthocyanin biosynthesis [J]. *New Phytol*, 2021, 231(3): 933–949.

(责任编辑: 韩晓红 于梦娇)

## 作者简介



开建荣, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为农产品及产地环境质量安全。  
E-mail: kaijianrong6688@163.com



葛 谦, 博士, 副研究员, 主要研究方向为葡萄酒风味化学与代谢调控。  
E-mail: geqian\_1116@163.com