李彩霞, 宋晓卫, 刘成, 等. 河西走廊赤霞珠干红葡萄酒颜色和风味特征分析 [J]. 食品工业科技, 2026, 47(15): 36−46. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025100123

LI Caixia, SONG Xiaowei, LIU Cheng, et al. Analysis of Color and Flavor Characteristics of Cabernet Sauvignon Dry Red Wine in Hexi Corridor[J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(15): 36−46. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025100123

·特邀主编专栏—标准化赋能食品及相关产品高质量发展（客座主编: 云振宇、史波林、兰韬、刘鹏、赵琳）·

河西走廊赤霞珠干红葡萄酒颜色和风味特征分析

李彩霞[1,2], 宋晓卫[1], 刘　成[1], 葛雯婧[1], 张慧玲[1], 张竹林[3], 张国安[3], 史　越[3], 杨　彬[1], 张东芝[1], 焦　扬[1,2,*]

（1.河西学院生命科学与工程学院, 甘肃张掖 734000;
2.甘肃省河西走廊特色资源利用重点实验室, 甘肃张掖 734000;
3.甘肃国风庄园葡萄酒业有限责任公司, 甘肃张掖 734000）

摘　要: 本研究通过对比河西走廊产区与宁夏、智利、美国、阿根廷四个产区赤霞珠干红葡萄酒的基本理化指标、颜色参数、酚类物质、有机酸、矿质元素及挥发性风味物质，采用相关性和聚类方法进行了系统分析。结果表明，河西走廊赤霞珠干红葡萄酒酒体颜色较浅（a^*<23.8）、色调偏黄（H^*_{ab}<1.8）、明亮度高（L^*>69）。两款酒检测到 51 和 46 种挥发性风味物质，包含了赤霞珠干红葡萄酒的代表性组分，且大马士酮风味突出（OAV>106），赋予酒体典型花果香气，但整体香气释放强度较弱（电子鼻响应值低）。酒体化学组成表现为低花色苷（13.40~30.11 mg/L）、高苹果酸（538.0~643.7 mg/L）、低乳酸（1277.7~1335.3 mg/L）、高钾（1850.18~1944.23 mg/L）、高钙（302.41~320.28 mg/L）和高 pH（4.09~4.18）的特点。过高的钾、钙及 pH 不仅削弱了花色苷的显色稳定性，也可能通过影响酸酯平衡进而削弱了香气挥发，致使酒体颜色表现不佳且风味强度不足。由此，河西走廊赤霞珠干红葡萄酒需通过种植管理或发酵工艺优化，调控钾、钙含量及 pH，增强花色苷稳定性并提高酚类物质含量，以提升酒体的颜色和风味品质。

关键词: 河西走廊, 赤霞珠, 干红葡萄酒, 颜色, 风味

中图分类号: TS262.6　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1002−0306(2026)15−0036−11

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2025100123　　本文网刊:

Analysis of Color and Flavor Characteristics of Cabernet Sauvignon Dry Red Wine in Hexi Corridor

LI Caixia[1,2], SONG Xiaowei[1], LIU Cheng[1], GE Wenjing[1], ZHANG Huiling[1], ZHANG Zhulin[3], ZHANG Guo'an[3], SHI Yue[3], YANG Bin[1], ZHANG Dongzhi[1], JIAO Yang[1,2,*]

（1.College of Life Science and Engineering, Hexi University, Zhangye 734000, China;
2.Key Laboratory of Characteristic Resources Utilization of Hexi Corridor, Gansu Province, Zhangye 734000, China;
3.Gansu Guofeng Manor Grape Wine Industry Co., Ltd., Zhangye 734000, China）

Abstract: This study systematically investigated the color and flavor characteristics of Cabernet Sauvignon dry red wines from the Hexi Corridor by analyzing their physicochemical properties, colorimetric parameters, phenolic composition, organic acids, mineral elements, and volatile aroma compounds. Comparative analyses were conducted against wines from four representative regions—Ningxia (China), Chile, the United States, and Argentina—using correlation and cluster analysis approaches. The results showed that Cabernet Sauvignon wines from the Hexi Corridor exhibited relatively light color

收稿日期: 2025−10−16

基金项目: 国家自然科学基金（32460082）; 河西学院校长基金创新团队项目（CXTD2022001）; 新农科项目（2020103）。

作者简介: 李彩霞（1984−）, 女, 硕士, 副教授, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: banxia07@163.com。

*** 通信作者:** 焦扬（1973−）, 女, 硕士, 教授, 研究方向: 天然产物与食品生物技术, E-mail: yangjiao2808@163.com。

intensity (a^*<23.8), a yellow-shifted hue (H^*_{ab}<1.8), and high lightness (L^*>69). A total of 51 and 46 volatile compounds were identified in the two representative samples, encompassing the typical aroma constituents of Cabernet Sauvignon wines. Among these, β-damascenone displayed exceptionally high odor activity values (OAV>106), contributing pronounced floral and fruity notes. Nevertheless, the overall aroma intensity was relatively weak, as evidenced by lower electronic nose response values. From a compositional perspective, Hexi Corridor wines were characterized by low anthocyanin concentrations (13.40~30.11 mg/L), high malic acid levels (538.0~643.7 mg/L), comparatively low lactic acid contents (1277.7~1335.3 mg/L), elevated potassium (1850.18~1944.23 mg/L) and calcium (302.41~320.28 mg/L) concentrations, and high pH values (4.09~4.18). Excessive potassium and calcium accumulation, together with elevated pH, likely undermined anthocyanin stability and color expression. Moreover, the altered ionic composition and acid–ester balance suppressed aroma release, thereby contributing to insufficient color depth and reduced flavor intensity. In conclusion, improving the color and flavor quality of Cabernet Sauvignon wines from the Hexi Corridor required targeted process optimization. Regulatory strategies focusing on potassium and calcium management, pH adjustment, enhancement of anthocyanin stability, and enrichment of phenolic compounds are essential for achieving improved sensory performance.

Key words: Hexi Corridor; Cabernet Sauvignon; dry red wine; color; flavor

葡萄酒的颜色与风味是构成酒体感官品质的核心要素, 直接决定了消费者的偏好与市场价值[1]。葡萄酒颜色组分的呈色机制是一个复杂的过程, 源于花色苷、单宁等主体色素与有机酸、矿物质等辅色物质间的协同作用。研究表明, 葡萄酒发酵前添加黄烷醇不仅能增强色泽的红色调, 还能提升陈酿期的颜色稳定性[2]。同时, 有机酸与钾、钙、镁等矿物质离子通过调节化学微环境, 共同影响葡萄酒颜色的演变[3]。发酵前添加酒石酸等有机酸, 有利于提升西拉干红葡萄酒的总花色苷含量, 延缓其颜色向黄色调转变[4]。在模拟酒中添加镁离子可使酒体红度值和视觉饱和度更高, 且酚酸可增强钾离子的辅色效果[3]。葡萄酒的风味特征则受产区“风土”条件(气候、土壤、光照)与酿造工艺的综合作用[5]。风土条件对葡萄酒酿造基础工艺参数有显著性影响[6]。此外, 葡萄栽培环境、发酵工艺及陈酿过程等均会影响葡萄酒的风味[7]。

赤霞珠(Cabernet Sauvignon)作为全球种植最广泛的酿酒葡萄品种, 以其卓越的环境适应性及所酿葡萄酒的深邃色泽、丰富结构与独特风味而闻名[8]。河西走廊产区地处北纬 36°~40°, 得天独厚的温带大陆性气候与适宜的土壤条件使其成为农业部规划的八大酿酒葡萄产地之一。然而, 该产区干红葡萄酒存在颜色稳定性不足、风味层次感不突出等问题。这些品质问题极有可能源于呈色物质与风味物质组成的复杂特性。为深入探究并改善这些问题, 本研究选取该产区具有代表性的国风庄园赤霞珠干红葡萄酒作为研究对象。同时, 考虑到不同产区风土条件对葡萄酒品质的影响, 选取美国加利福尼亚、宁夏贺兰山东麓、阿根廷门多萨和智利卡恰波阿尔谷四个典型产区的同品种葡萄酒作为参照。

本研究采用理化、色谱、光谱与质谱分析技术, 比较了各产区葡萄酒呈色物质(花色苷、单宁、有机酸、矿物质等)及挥发性香气成分的差异。进一步, 结合相关性和聚类分析等统计方法, 剖析了影响河西走廊赤霞珠干红葡萄酒颜色与风味的核心组分, 以期为提升该产区葡萄酒的品质提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　材料与仪器

实验材料包括 2 个目标样品与 4 个参照样品。为确保数据结果的可靠性与代表性, 针对每个样品, 均选取三款同一年份、同一品种的赤霞珠干红葡萄酒为代表, 视作平行样本, 且样品各项指标的测定值均取三款平行样本数据的平均值。具体酒样信息如表 1 所示。

没食子酸　江苏金河源生物工程有限公司; 福

表 1　赤霞珠干红葡萄酒酒品信息

Table 1　Wine sample information of Cabernet Sauvignon dry red wines

样品编号	样品信息	产区	经纬度	气候特点	葡萄原酒发酵年份
样品1	国风特选赤霞珠	甘肃河西走廊	39.73°N, 98.49°E	温带大陆性气候, 年降雨量<200 mm, 年日照2600~3600 h, 年有效积温3000~3500 ℃, 昼夜温差15~25 ℃。	2020
样品2	国风赤霞珠				
参照1	缘定山赤霞珠	美国加利福尼亚	38.25°N, 122.41°W	地中海气候, 年降雨量约300~800 mm, 年有效积温达3500~4000 ℃。	2020
参照2	宁夏赤霞珠	宁夏贺兰山东麓	38.47°N, 106.27°E	温带大陆性气候, 年降雨量150~200 mm, 年有效积温3200~3400 ℃, 日照超3000 h/年, 昼夜温差10~15 ℃。	2020
参照3	本玛科赤霞珠	阿根廷门多萨	32.89°S, 68.85°W	大陆性干旱半干旱气候, 年降水量<200 mm, 年有效积温3500~3800 ℃。	2020
参照4	卡萨布兰卡赤霞珠	智利卡恰波阿尔谷	34.63°S, 71.37°W	地中海气候, 年降雨量500~700 mm, 年有效积温3200~3500 ℃。	2020

林酚试剂　上海科拉玛尔生物科技有限公司；单宁酸　天津市鼎盛鑫化工有限公司；儿茶素　上海源叶生物科技有限公司；2-辛醇　天津市科密欧化学试剂有限公司；酒石酸　苏州速达化工科技有限公司；草酸、苹果酸、柠檬酸、抗坏血酸、琥珀酸、乳酸、乙酸　广州佳途科技股份有限公司，以上试剂均为分析纯；磷酸二氢钾（色谱纯）　成都万象宏润生物科技有限公司。

PB-10 pH 计　赛多利斯科学仪器有限公司；UV2450 型紫外可见分光光度计　日本岛津有限公司；HPLC1260 高效液相色谱仪　安捷伦科技有限公司；PEN3 电子鼻　德国 AIRSENSE 公司；7890B 气相色谱仪-5977B 质谱检测器联用系统　美国 Agilent 公司；ICP-5000 电感耦合等离子体发射光谱仪　聚光科技（杭州）股份有限公司；HC-2518R 高速离心机　安徽中科中佳科学仪器有限公司；KQ-350D 超声波清洗器　东莞科桥超声波设备有限公司。

1.2　实验方法

1.2.1　葡萄酒开瓶氧化实验　为探究氧化过程对葡萄酒颜色与风味稳定性的影响，设置了开瓶氧化实验。具体方法如下：葡萄酒开瓶后，保持瓶口敞开状态，于 20 ℃ 环境中静置。分别在开瓶后的 0 h（即开瓶瞬间）、3 和 5 h 摇晃混合后依次取样，所有样品均用于后续相关指标的测定。

1.2.2　理化指标检测方法　酒精度、干浸出物、pH、总糖、总酸（酒石酸计）、挥发酸（乙酸计）和游离 SO_2 指标的测定参照 GB/T 15038-2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》。

1.2.3　颜色参数测定方法　参考 SN/T 4675.25《出口葡萄酒颜色的测定》CIE 1976（L^* a^* b^*）色空间法。将样品在 8000 r/min 离心 10 min，吸取上清液 1 mL，用蒸馏水稀释 5 倍，经 0.45 μm 有机膜过滤。以纯水为参照，使用 1 cm 光径玻璃比色皿，依次测定滤液在 450、520、570 及 630 nm 波长下的吸光值。根据测得吸光值计算三色值（X、Y、Z），进而获得样品的 CIELab 参数（L^*、a^*、b^*）。色度（C_{ab}）、色调（H^*_{ab}）、色价及总色差（ΔE^*_{ab}）分别按以下公式计算。

$$C_{ab} = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$$H^*_{ab} = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$$

色价 $=A_{520}\times$ 稀释倍数

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

式中，总色差是以 2019 年产的国风特选赤霞珠为参照计算的差值。

1.2.4　酚类物质的测定方法

1.2.4.1　总酚的测定　采用福林酚比色法，参考冯磊[9] 的方法。将酒样稀释 10 倍后取 0.2 mL，用蒸馏水补充至 1 mL，摇匀后加入 5 mL 的福林酚试剂，反应 3~8 min 后再加入 4 mL 7.5% 碳酸钠溶液，摇匀，避光反应 60 min 后，于 765 nm 波长测定吸光度，以没食子酸标准溶液绘制标准曲线，得回归方程为 y=1.0128x+0.013，R^2=0.9985，以此计算总酚含量。

1.2.4.2　单宁的测定　采用福林-丹尼斯法，参考冯磊[9] 的方法。取酒样 0.5 mL，分别加入蒸馏水 30 mL、福林-丹尼斯试剂 2.5 mL 及饱和无水碳酸钠溶液 5 mL，之后用蒸馏水定容至 50 mL，室温反应 30 min 后测定 760 nm 处的吸光值，以单宁酸标准溶液绘制标准曲线，得回归方程为 y=1.0104x+0.0155，R^2=0.9973，以此计算单宁含量。

1.2.4.3　总花色苷的测定　采用 pH 示差法，参考王美琪等[10] 的方法。酒样分别用 pH1.0 的盐酸-氯化钠缓冲液及 pH4.5 的醋酸-醋酸钠缓冲液稀释 10 倍。然后分别在 510 nm 和 700 nm 下测定这两种稀释液的吸光度。公式计算如下：

$$C = \frac{\Delta A \times MW \times DF}{\varepsilon \times L} \times 1000$$

$$\Delta A = (A_{510} - A_{700})_{pH_{1.0}} - (A_{510} - A_{700})_{pH_{4.5}}$$

式中：C 为花色苷的浓度（mg/L）；ΔA 是吸光度差值；A_{510} 为 510 nm 波长下测得的吸光度；A_{700} 是在 700 nm 波长下测得的吸光度；MW 为花青素-3-葡萄糖苷相对分子质量，其值为 449；DF 为稀释倍数；ε 为花青素-3-葡萄糖苷的消光系数，取 29600；L 为比色皿的光路长（cm），1 cm。

1.2.4.4　总黄烷醇的测定　采用 p-DMACA 盐酸法[10]。将酒样稀释 10 倍后取 0.3 mL，加入 9 mL 的 0.1% DMACA 的 1 mol/L 的盐酸甲醇溶液，室温反应 10 min，在 640 nm 处测定吸光值，以儿茶素标准溶液绘制标准曲线，得回归方程为 y=5.1386x+0.0102，R^2=0.9984，以此计算黄烷醇含量。

1.2.5　有机酸含量的测定方法　采用 HPLC 法[11]。样品预处理：分别用 5 mL 甲醇、5 mL 水活化石墨化碳黑固相萃取小柱，取葡萄酒样品 5 mL 过柱除杂，流速控制在 1.0~1.5 mL/min，之后用流动相稀释 2 倍，过 0.22 μm 滤膜，待测。

标准溶液的配制：取草酸、酒石酸、琥珀酸、柠檬酸、苹果酸、抗坏血酸、乙酸和乳酸各约 10 mg（精确至 0.01 mg），用流动相定容至 10 mL，得到约 1 g/L 有机酸标准储备液（浓度以实际称量计算）。准确吸取 5 mL、1 g/L 的标准储备液于 10 mL 容量瓶中并用流动相定容，得到 0.5 g/L 有机酸溶液；用相同方法依次配制 0.25、0.125、0.0625 g/L 的系列标准溶液。所有标准溶液均经 0.22 μm 滤膜过滤，于 4 ℃ 下保存备用。

色谱条件：色谱柱 Hypersil C_{18}（250 mm×4.6 mm，4 μm）。以 0.1 mol/L 磷酸二氢钾水溶液（用磷酸调节 pH 至 2.8）为流动相 A，甲醇为流动相 B，进行等

度洗脱，A 与 B 的体积比为 97:3。流速 0.5 mL/min，检测波长 210 nm，柱温 32 ℃，进样量 10 μL。

定性定量方法：通过保留时间来判定有机酸种类，以有机酸浓度为横坐标、峰面积为纵坐标绘制标准曲线，用标准曲线对样品中的有机酸进行定量分析。

1.2.6　矿物质的测定方法　电感耦合等离子体发射光谱法[12]。准确取 10 mL 葡萄酒样品于 250 mL 烧杯中，加入 10 mL 双氧水-硝酸（1∶4）混合溶液，摇匀。采用分阶段加热消解，即：先在 50~60 ℃ 下预热 15 min 至溶液变为无色澄清；接着，升温至 100~130 ℃ 加热 15 min，此时溶液冒出大量棕色浓烟，至浓烟消失，停止加热。待烟雾完全散尽后，冷却至室温，用 0.5 mol/L 硝酸溶液定容至 100 mL，摇匀后于 2~4 ℃ 条件下保存待测。同时制备空白对照。

电感耦合等离子体发射光谱仪工作条件：射频功率 1.45 kW，等离子体气流量 15 L/min，辅助流量 1.80 L/min，雾化器流量 0.9 L/min，观测距离 15 mm（轴向观测），溶液提升量 1.2 mL/min，积分时间 3 s，重复次数为 3 次。

1.2.7　电子鼻测定方法　采用静态顶空吸收法[13] 测定。取 5 mL 待测酒样于 20 mL 电子鼻专用瓶中，于 25 ℃ 下密封静置 25 min 后测定。检测参数：载气（洁净空气）流速 400 mL/min，传感器自清洗时间 300 s，归零时间 10 s，样品准备时间 5 s，样品数据采集时间 60 s，数据采集时，取传感器响应曲线进入平稳阶段后的响应值作为该样品的特征值，每个样品平行测定 3 次。PEN3 电子鼻 10 个传感器的描述，如表 2 所示。

表 2　PEN3 电子鼻 10 个传感器的描述

Table 2　Description of the 10 sensors in the PEN3 electronic nose

传感器序号	传感器名称	敏感物质	参考物质
1	W1C	芳烃化合物（苯类）	甲苯10 mg/kg
2	W5S	氮氧化合物	NO_2 1 mg/kg
3	W3C	氨类、芳香类物质	苯10 mg/kg
4	W6S	氢化物	H_2 100 mg/kg
5	W5C	短链烷烃芳香成分	丙烷1 mg/kg
6	W1S	烷烃类（甲基类）	CH_3 100 mg/kg
7	W1W	硫化物、萜烯类物质	H_2S 1 mg/kg
8	W2S	醇和醛酮类	CO 100 mg/kg
9	W2W	芳香类物质和含硫有机物为主	H_2S 1 mg/kg
10	W3S	对长链烷烃类	CH_3 10 mg/kg

1.2.8　葡萄酒风味物质的测定方法　香气成分采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用仪（SPME-GC-MS）进行分析，方法参考文献 [14]。

SPME 操作参考文献 [15] 并进行适当修改：取 2 mL 酒样于 20 mL 顶空进样瓶中，加入 2 g 氯化钠、2 mL 超纯水和 10 μL 2-辛醇内标物（质量浓度 0.822 mg/mL），将样品瓶置于 45 ℃ 恒温磁力搅拌器上平衡 10 min。将萃取头插入顶空瓶，45 ℃ 下顶空吸附 40 min，萃取完成后，将萃取头收回，迅速插入 GC 进样口，在 230 ℃ 解析 3 min。

GC 条件：采用 HP-IKNOVAX 毛细管色谱柱（60 m×0.25 mm×0.25 μm）；采用程序升温：起始柱温 40 ℃，保持 5 min，以 4 ℃/min 升温至 100 ℃，保持 1 min，再以 6 ℃/min 升温至 230 ℃，保持 10 min；载气（He，纯度≥99.999%），流速 1 mL/min，分流比 10∶1；进样口温度 230 ℃。

MS 条件：电子电离（EI）源，电离能量 70 eV；离子源温度和接口温度均为 230 ℃；质量扫描范围 m/z 20~550。

定性分析：首先，将各组分质谱图与 NIST14 标准谱库进行比对，要求匹配度大于 800（反向匹配度）；继而，根据正构烷烃（C7~C30）混合标准品的保留时间计算各组分的保留指数，并与 NIST Chemistry WebBook 数据库中在同类固定相上的报道值进行比对。最终，以质谱匹配和保留指数一致共同作为定性判定依据。

定量分析：利用已有标样制备的标准曲线对葡萄酒中的相应香气物质进行定量分析。采用内标法定量，按公式计算。

$$C_x = \frac{A_x}{A_s} \times C_s$$

式中：C_x 表示待测物质量浓度，μg/L；A_x 表示待测物峰面积；A_s 表示内标物峰面积；C_s 表示内标物浓度，μg/L。

1.2.9　香气活性值（OAV）的计算方法　香气活性值（Odor Activity Value，OAV）的计算公式如下：

$$OAV = \frac{C}{T}$$

式中：C 表示香气化合物的质量浓度，μg/L；T 表示香气化合物的嗅觉阈值[16]，μg/L。

一般认为，当 OAV≥1 时，该香气可被人感知到，属于主要成分；当 OAV<1 时，该香气物质对整体香气起到重要的修饰和协调作用[17]。

1.3　数据处理

数据为 3 次测定的平均值，结果用平均值±标准偏差表示。采用 Excel 2021 进行数据计算；以 SPSS 26 软件进行单因素方差分析，并通过 Duncan's 多重检验表示组间显著性差异（P<0.05）；采用 Origin2021 绘图。

2　结果与分析

2.1　不同产区赤霞珠干红葡萄酒的基本理化指标分析

葡萄酒的理化指标能反映葡萄的生长环境、葡萄酒的酿造及陈酿工艺等诸多因素，由此考察了不同产区赤霞珠干红葡萄酒的常规理化指标，结果如表 3 所示。

由表 3 可见，各产区赤霞珠葡萄酒的基本理化指标符合 GB/T 15037-2006《葡萄酒》国家标准。样

表 3 不同产区 6 种赤霞珠干红葡萄酒的理化指标

Table 3 Physicochemical parameters of six commercial Cabernet Sauvignon dry red wines across regions

样品编号	酒精度(%vol)	干浸出物(g/L)	pH	总糖(g/L)	总酸(g/L)	挥发酸(g/L)	游离SO_2(mg/L)
样品1	12.42±0.66^{c}	37.93±0.37^{b}	4.09±0.13^{a}	1.94±0.01^{bc}	5.35±0.12^{b}	0.33±0.03^{cd}	11.52±0.56^{c}
样品2	12.82±0.06^{bc}	33.72±0.23^{c}	4.18±0.15^{a}	2.47±0.02^{ab}	5.61±0.40^{ab}	0.30±0.01^{de}	7.68±0.29^{e}
参照1	12.49±0.40^{c}	33.18±0.52^{c}	3.96±0.10^{a}	2.44±0.37^{abc}	5.44±0.03^{b}	0.42±0.03^{ab}	7.68±0.29^{e}
参照2	13.84±0.20^{ab}	41.30±0.32^{a}	4.08±0.15^{a}	2.62±0.21^{a}	4.67±0.09^{c}	0.24±0.01^{e}	8.96±0.19^{d}
参照3	14.52±0.12^{a}	33.64±0.01^{c}	3.90±0.01^{a}	1.87±0.10^{c}	5.94±0.20^{a}	0.48±0.04^{a}	12.80±0.34^{b}
参照4	13.30±0.67^{bc}	28.40±0.60^{d}	3.81±0.07^{a}	2.81±0.34^{a}	5.23±0.05^{b}	0.39±0.05^{bc}	14.08±0.07^{a}

注: 表中同一列间的不同字母表示存在显著差异(P<0.05), 表4同。

品 1(12.42%vol)和样品 2(12.82%vol)酒精度处于中等偏低水平, 显著低于参照 3(P<0.05)。干浸出物方面, 样品 1(37.93 g/L)和样品 2(33.72 g/L)均显著低于参照 2(P<0.05)。样品 2 的 pH 最高(4.18), 样品 1 次之(4.09), 与参照组无显著差异。在总糖含量上, 样品 2(2.47 g/L)高于样品 1(1.94 g/L), 且显著高于参照 3(P<0.05), 与其余参照无显著差异。样品 1 和样品 2 总酸含量高于参照 2 和参照 4, 但低于参照 3, 组间差异显著(P<0.05)。样品 1(0.33 g/L)和样品 2(0.30 g/L)挥发酸含量处于中等水平, 低于参照 1、参照 3 和参照 4, 略高于参照 2。游离 SO_2 方面, 样品 1 游离 SO_2(11.52 mg/L)含量高于样品 2、参照 1 与参照 2, 低于参照 3 和参照 4, 且差异显著(P<0.05); 样品 2 游离 SO_2 含量(7.68 mg/L)与参照 1 持平, 为所有酒样中最低。

2.2 不同产区赤霞珠干红葡萄酒颜色相关指标分析

2.2.1 葡萄酒的色度、色调、色价分析 为探究河西走廊赤霞珠干红葡萄酒颜色的稳定性, 将 6 款赤霞珠干红葡萄酒模拟开瓶后的氧化过程, 考察了酒体色度、色调、色价的变化, 结果如图 1 所示。

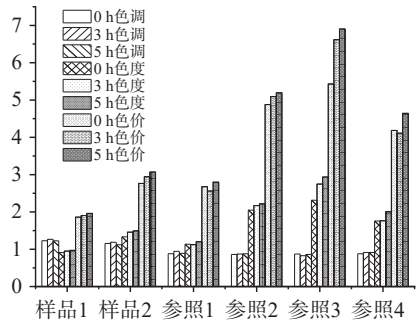


图 1 6 种赤霞珠干红葡萄酒开瓶 0、3 和 5 h 后的色度、色价和色调变化

Fig.1 Changes in chromaticity, color value, and hue of six Cabernet Sauvignon dry red wines at 0, 3, and 5 h after opening the bottle

由图 1 可见, 就色调而言, 6 款酒样在 5 h 开瓶氧化的过程中, 均变化较小。就色度和色价而言, 开瓶氧化 0 h, 样品 1 为所有酒样中最低, 样品 2 高于样品 1, 但低于除参照 1 以外的所有参照组; 在 5 h 开瓶氧化的过程中, 样品 1 的变化幅度极小, 样品 2 的变化幅度高于样品 1 和参照 1。由此可见, 样品 1 和样品 2 开瓶氧化颜色变化幅度不明显。

2.2.2 葡萄酒的 CIELab 颜色参数分析 为进一步考察赤霞珠干红葡萄酒的颜色特征, 进行了 CIELab 参数分析, 参数 L^*值反映了酒样的明亮度, 范围在 0(黑色)~100(白色)[18]; 参数 a^*值反映红/绿程度; 参数 b^*值反映黄/蓝程度, H^*_{ab}(色相角)表示色调; 色差 ΔE^*_{ab} 表示色彩差异程度, 人能观察出色差差别的范围为 ΔE^*_{ab}>0.5, 如果 ΔE^*_{ab}<0.5 时, 人眼将不能识别出酒样之间的颜色差异, 当 ΔE^*_{ab} 超过 6 时, 样本色彩之间具有强烈的色彩差异, 结果如表 4 所示。

由表 4 可见, 样品 1 和样品 2 的 L^*值较高(分别为 79.38 和 69.72), 其酒体明亮度显著高于(P<0.05)参照 2、参照 3 和参照 4, 与参照 1 接近; a^*值则显著低于所有参照组(P<0.05), 说明红色饱和度较低; b^*值显著低于(P<0.05)除参照 1 外的其他参照, 结合 H^*_{ab} 值排序(参照 1>参照 4>参照 3>参照 2>样品 1>样品 2), 反映样品色调偏黄。此外, 样品 2 的 ΔE^*_{ab} 值最小(1.44), 样品 1 为 4.23, 略低于参照 3 和参照 4, 表明两款样品间色彩差异较明显。综上, 样品 1 和样品 2 具有高明亮度、低饱和度、偏黄色调的特征, 且两者颜色差异显著。

表 4 6 种赤霞珠干红葡萄酒 CIELab 颜色参数值

Table 4 CIELab color parameter values of six Cabernet Sauvignon dry red wines

样品编号	L^*	a^*	b^*	H^*_{ab}	C_{ab}	ΔE^*_{ab}
样品1	79.38±3.57^{a}	17.04±0.15^{f}	15.82±0.05^{e}	1.76±0.05^{d}	17.32±0.54^{f}	4.23±0.13^{b}
样品2	69.72±0.53^{b}	23.78±1.03^{e}	25.38±0.20^{d}	1.52±0.11^{e}	23.44±0.58^{e}	1.44±0.04^{e}
参照1	71.77±0.01^{b}	26.06±0.30^{d}	11.24±0.06^{f}	3.02±0.09^{a}	26.05±0.35^{d}	1.65±0.07^{d}
参照2	52.61±0.30^{d}	41.06±0.60^{b}	38.63±0.61^{b}	2.39±0.10^{c}	40.89±0.27^{b}	2.43±0.02^{c}
参照3	44.89±0.00^{e}	46.62±0.68^{a}	45.54±0.14^{a}	2.84±0.13^{b}	45.06±0.67^{a}	5.55±0.25^{a}
参照4	59.00±1.00^{c}	37.69±0.28^{c}	33.37±0.06^{c}	2.89±0.10^{b}	36.05±0.64^{c}	4.34±0.06^{b}

2.2.3　葡萄酒的酚类物质分析　因葡萄酒的颜色受花色苷、单宁、总酚、黄烷醇等多种呈色物质共同影响，让酒体颜色更复杂丰富。由此，考察了 6 款赤霞珠干红葡萄酒的花色苷、单宁、总酚和黄烷醇的含量，结果如表 5 所示。

由表 5 可见，样品 1 和样品 2 的酚类物质与参照组差异显著（P<0.05）。其花色苷含量（13.40 和 30.11 mg/L）显著低于参照组，而参照 1 花色苷含量最高（116.79 mg/L）。样品 1 和样品 2 的总酚、单宁与黄烷醇含量显著低于参照 2 和参照 3，但高于参照 1。这表明两款样品酚类物质整体偏低，尤其花色苷含量显著不足。研究表明，在瓶储过程中，花色苷会与单宁、其它酚类物质及乙醛等发生聚合、缩合反应，同时自身也会发生降解，导致其含量随陈年时间显著下降[19]，4 年的瓶储期可能是导致其含量较低的原因之一。

2.2.4　葡萄酒的有机酸分析　葡萄酒中的有机酸种类和浓度可影响葡萄酒的风味和色泽，且对酒体颜色的演化有影响[3]，由此，考察了 6 款赤霞珠干红葡萄酒 8 种有机酸的含量，结果如表 6 所示。

由表 6 可见，样品 1 和 2 的有机酸组成与参照组差异显著（P<0.05）。两款样品呈现“高苹果酸、低乳酸”的特征：苹果酸含量（分别为 538.0 和 643.7 mg/L）显著高于所有参照组；乳酸含量（分别为 1335.3 和 1277.7 mg/L）显著低于参照 3 和参照 4，与参照 1 和参照 2 处于相近较低水平；同时，其酒石酸含量低于参照 1 但高于参照 3 和参照 4，琥珀酸含量高于参照 2 和参照 3。该结果提示样品可能因苹果酸-乳酸发酵（MLF）不充分，导致苹果酸未充分转化为乳酸。

2.2.5　葡萄酒的矿质元素分析　矿物质元素对葡萄酒的颜色有一定的影响[12]，由此，考察了 6 款赤霞珠干红葡萄酒的 9 种矿物质元素，结果如表 7 所示。

由表 7 可见，样品 1 和样品 2 的钾（1856.18 mg/L 和 1944.23 mg/L）和钙（302.41 mg/L 和 320.28 mg/L）含量显著高于参照组（P<0.05），表现出了“高钾钙”的特征。样品 1 和样品 2 的钠、镁、锌、铁和锰含量均处于中低水平。整体而言，样品 1 和样品 2 独特

表 5　6 款赤霞珠干红葡萄酒的酚类物质

Table 5　Phenolic substances in six Cabernet Sauvignon dry red wines

指标	样品1	样品2	参照1	参照2	参照3	参照4
总酚（g/L）	1.87±0.09^{d}	2.32±0.03^{c}	1.48±0.06^{e}	2.82±0.12^{b}	3.03±0.06^{a}	2.42±0.08^{c}
单宁（g/L）	1.61±0.13^{c}	1.87±0.09^{b}	1.36±0.08^{d}	2.13±0.05^{a}	2.28±0.07^{a}	1.85±0.13^{b}
花色苷（mg/L）	13.40±1.05^{e}	30.11±0.92^{d}	116.79±1.63^{a}	98.83±1.65^{b}	57.72±2.08^{c}	65.40±1.50^{c}
黄烷醇（mg/L）	44.72±0.15^{d}	33.11±0.03^{e}	19.22±0.02^{f}	52.85±0.28^{a}	50.10±0.09^{b}	45.46±0.06^{c}

注：表中同一行间的不同字母表示存在显著差异（P<0.05），表6~表8同。

表 6　不同产区 6 种赤霞珠干红葡萄酒的有机酸（mg/L）

Table 6　Organic acids of Cabernet Sauvignon dry red wine from 6 wine regions (mg/L)

有机酸	样品1	样品2	参照1	参照2	参照3	参照4
草酸	27.30±0.38^{c}	25.59±0.46^{e}	25.90±1.015^{de}	26.47±0.06^{cd}	37.46±0.113^{a}	29.43±0.28^{b}
酒石酸	2147.3±15.6^{c}	2247.7±11.0^{b}	2646.0±35.1^{a}	2259.0±22.4^{b}	2073.7±32.1^{d}	1981.3±18.1^{e}
苹果酸	538.0±4.0^{b}	643.7±10.1^{a}	432.7±2.1^{d}	383.7±3.5^{e}	525.0±3.6^{c}	424.0±3.5^{d}
乳酸	1335.3±4.0^{c}	1277.7±17.6^{d}	1378.0±11.0^{c}	1237.0±6.6^{d}	1851.0±15.5^{a}	1462.7±5.5^{b}
乙酸	44.67±2.52^{a}	29.33±1.53^{c}	34.67±2.52^{b}	27.00±1.73^{c}	44.33±3.06^{a}	36.33±2.52^{b}
柠檬酸	47.67±1.53^{d}	54.33±2.52^{c}	36.33±5.51^{e}	86.33±6.03^{a}	75.00±3.61^{b}	53.33±3.06^{c}
琥珀酸	103.67±5.13^{ab}	115.00±4.36^{a}	114.00±6.24^{a}	56.00±3.00^{c}	54.00±2.65^{c}	90.33±3.21^{b}
抗坏血酸	51.87±0.59^{d}	65.50±1.11^{a}	65.93±0.55^{a}	57.50±0.46^{c}	61.87±0.59^{b}	41.73±0.47^{e}

表 7　不同产区 6 款赤霞珠干红葡萄酒的矿物质元素（mg/L）

Table 7　Mineral elements in Cabernet Sauvignon dry red wines of six brands from different production areas (mg/L)

矿物质	样品1	样品2	参照1	参照2	参照3	参照4
钠	15.92±0.65^{c}	14.33±1.44^{c}	27.32±0.71^{a}	18.51±0.59^{b}	13.01±0.66^{d}	11.34±0.78^{e}
钾	1856.18±32.25^{a}	1944.23±47.73^{a}	1292.03±50.78^{b}	1315.82±42.70^{b}	1230.11±74.63^{c}	1153.07±17.19^{d}
钙	302.41±7.27^{a}	320.28±17.57^{a}	255.65±4.95^{b}	238.80±16.56^{b}	245.36±18.83^{b}	233.30±14.39^{b}
镁	51.30±6.90^{b}	33.75±0.48^{c}	45.60±11.01^{b}	53.82±3.43^{b}	54.65±3.83^{b}	96.73±6.71^{a}
锌	0.70±0.01^{c}	0.66±0.08^{c}	1.23±0.11^{a}	0.69±0.04^{c}	0.97±0.06^{b}	1.27±0.02^{a}
铁	2.45±0.44^{c}	1.25±0.03^{d}	3.19±0.21^{b}	2.86±0.09^{bc}	2.59±0.15^{c}	5.56±0.68^{a}
铜	0.45±0.03^{b}	0.49±0.0^{ab}	0.24±0.01^{d}	0.55±0.02^{a}	0.53±0.02^{a}	0.36±0.02^{c}
锰	1.01±0.06^{c}	1.08±0.02^{bc}	1.63±0.15^{a}	0.58±0.01^{d}	0.56±0.03^{d}	1.13±0.05^{b}
铬	0.25±0.08^{b}	0.22±0.10^{c}	0.29±0.01^{ab}	0.30±0.04^{a}	0.26±0.02^{b}	0.31±0.08^{a}

的矿质元素组成与各参照组形成明显差异。

2.2.6　葡萄酒颜色相关指标的相关性分析　6 款赤霞珠干红葡萄酒的颜色相关指标(酚类物质、有机酸和矿物质)有差异也有联系。为探究影响赤霞珠干红葡萄酒颜色的核心组分,进一步分析了 6 款赤霞珠干红葡萄酒 27 个品质指标之间的相关性,结果如图 2 所示。

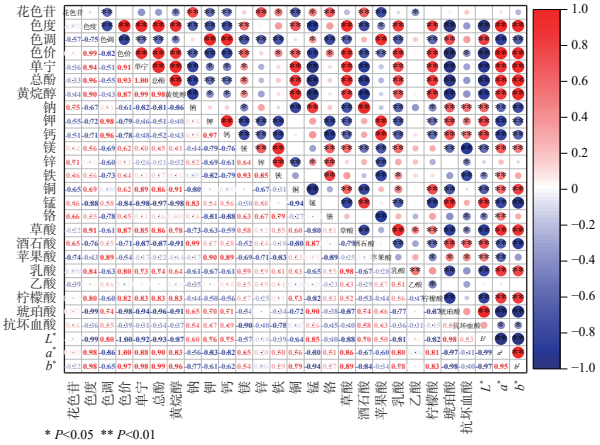


图 2　不同产区 6 款赤霞珠干红葡萄酒品质指标的相关性分析

Fig.2　Correlation analysis of quality indexes of Cabernet Sauvignon dry red wine in 6 wine regions

*注:红色表示 2 个指标之间呈现出正相关关系,蓝色表示 2 个指标之间呈现出负相关关系,颜色越深表示相关程度越高,其 R^2 越接近 1。

由图 2 可知,葡萄酒的颜色参数与主要化学成分之间存在显著的关联性。葡萄酒的色调与花色苷含量呈显著负相关(P<0.05),而与钾、钙及苹果酸含量呈极显著正相关(P<0.01)。表征颜色强度的色度与 a^*值,与单宁、总酚、黄烷醇及乳酸含量呈极显著正相关(P<0.01),与钾、钙及琥珀酸含量呈极显著负相关(P<0.01)。

综上所述,葡萄酒的颜色特征受到酚类物质、矿质元素及有机酸组成的综合调控。因此,样品 1 与样品 2 酒体颜色浅淡、色调偏黄(高 L^*值,低 a^*与 H^*_{ab} 值)的特征,是由其较低的酚类物质含量、较高的钾、钙离子水平以及特定的有机酸组成共同作用的结果。

2.3　葡萄酒的风味分析

2.3.1　葡萄酒的电子鼻分析　为探究葡萄酒的风味稳定性,选取 6 款赤霞珠干红葡萄酒模拟开瓶氧化过程,并基于电子鼻传感器响应值分析其挥发性风味物质的变化规律,结果如图 3 所示。

由图 3 可见,在开瓶氧化过程中,W2S(醇和醛酮类)、W1W(萜烯类)、W1S(烷烃类)和 W5C(短链烷烃芳香成分)传感器的响应信号变化最为显著。初始状态(氧化 0 h)酒样的雷达图轮廓各异,反映了其初始挥发性成分构成的差异;氧化 3 h,多数酒样的雷达图轮廓线明显向中心收缩,表明开瓶初期部分化学性质活泼的挥发性物质(如醇酯类、萜烯等)被消

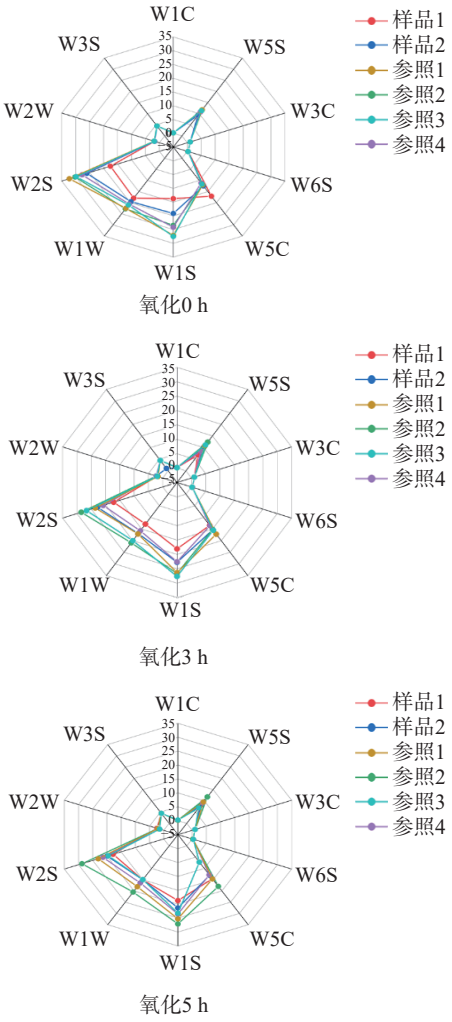


图 3　6 款赤霞珠干红葡萄酒开瓶氧化 0、3、5 h 电子鼻雷达图

Fig.3　Electronic nose radar charts of six Cabernet Sauvignon dry red wines upon opening and after 0, 3 and 5 h of oxidation

耗或转化而减少;氧化 5 h 后,大部分酒样的雷达图轮廓形状变化趋于平缓。样品 1 在大部分传感器上的响应值低于参照,氧化 5 h 后,样品与参照组的响应值有接近的趋势。可能的原因是参照酒在氧化初期具有丰富、复杂的香气,随时间推移,部分活泼的香气会氧化消散,而样品 1 本身香气强度弱,氧化带来的负面损失不明显,最终都趋向于香气强度较弱的平衡状态。由此可得,开瓶氧化作用主要影响了赤霞珠干红葡萄酒中醇酯类、萜烯类及部分芳香成分。

2.3.2　葡萄酒挥发性风味物质分析　为进一步探究河西走廊产区赤霞珠干红葡萄酒挥发性风味物质的特征,对 6 种赤霞珠干红葡萄酒挥发性风味物质组分及其香气活性值(OAV)进行了分析,结果如表 8、表 9 和图 4 所示。

由表 8 可见,6 种赤霞珠干红葡萄酒样中共检测到挥发性组分 54 种,包括 19 种醇类,19 种酯类,5 种烃类,7 种醛酮类以及 4 种其他类,且共有物质为 25 种。样品 1、样品 2 及参照组 1、2、3 和 4 分别检测出 51、46、39、43、37 和 36 种挥发性组分。

由图 4 可见,样品 1 和样品 2 检出的挥发性物

表 8　不同产区 6 种赤霞珠干红葡萄酒挥发性成分 GC-MS 分析结果

Table 8　GC-MS analysis results of volatile components in 6 kinds of Cabernet Sauvignon dry red wines from different producing areas

序号	物质	质量浓度(μg/L)					
		参照1	参照2	参照3	参照4	样品1	样品2
醇类							
1	异丁醇	192.75±15.00^{a}	147.42±1.36^{bc}	132.77±10.25^{c}	188.74±4.53^{a}	180.88±26.47^{ab}	164.09±12.44^{abc}
2	3-甲基-1-戊醇	16.54±1.04^{a}	14.29±0.83^{ab}	12.91±0.78^{b}	11.80±0.37^{b}	7.12±0.77^{c}	7.10±1.97^{c}
3	正己醇	310.09±25.53^{ab}	107.23±5.84^{d}	129.30±1.47^{d}	203.24±7.78^{c}	339.27±21.58^{a}	285.90±12.68^{b}
4	庚醇	30.30±3.25^{a}	19.08±2.29^{b}	20.01±2.08^{b}	24.56±0.71^{ab}	19.94±3.11^{b}	23.34±2.31^{b}
5	2-乙基己醇	7.02±0.84^{e}	6.33±0.08^{e}	16.13±0.60^{c}	9.09±1.10^{d}	42.49±0.32^{a}	27.34±0.26^{b}
6	1-辛醇	38.41±2.39^{a}	26.41±1.59^{c}	29.61±1.90^{bc}	36.21±2.71^{ab}	29.26±3.10^{bc}	35.55±3.94^{ab}
7	1-癸醇	—	6.96±0.33^{a}	7.17±0.82^{a}	7.50±1.35^{a}	5.47±1.37^{a}	5.99±1.57^{a}
8	异戊醇	4913.33±128.59^{a}	4146.00±68.41^{b}	3720.89±262.26^{c}	4178.10±71.90^{b}	3183.28±210.53^{d}	3461.10±190.50^{cd}
9	叶醇	4.87±1.51^{a}	—	2.49±0.13^{b}	4.65±1.13^{ab}	6.28±0.23^{a}	4.77±0.36^{a}
10	1-辛烯-3-醇	3.63±1.16^{a}	2.68±0.06^{a}	2.68±0.18^{a}	4.21±0.03^{a}	3.09±1.04^{a}	4.06±0.01^{a}
11	2-壬醇	24.73±1.53^{a}	17.83±0.71^{b}	23.03±0.88^{a}	22.23±2.52^{a}	22.30±1.37^{a}	22.97±1.33^{a}
12	正丁醇	6.58±1.15^{ab}	4.59±0.18^{bc}	6.44±0.80^{ab}	7.06±1.08^{a}	3.82±1.05^{c}	—
13	环辛醇	—	—	—	—	2.45±0.38	—
14	(2R,3R)-(-)-2,3-丁二醇	57.81±4.42^{b}	40.10±2.06^{c}	75.58±2.70^{a}	29.70±2.12^{d}	15.82±3.03^{e}	38.02±5.10^{c}
15	3-乙基-4-甲基-1-戊醇	5.50±1.31^{cd}	4.04±0.49^{d}	5.39±0.57^{cd}	7.56±0.19^{c}	17.27±0.48^{b}	32.97±3.24^{a}
16	4-甲基-1-戊醇	7.34±0.74^{a}	6.99±0.69^{ab}	7.34±0.06^{a}	8.59±0.40^{a}	5.08±1.10^{bc}	4.56±1.47^{c}
17	香叶醇	4.25±0.62^{a}	4.77±0.27^{a}	—	—	—	5.02±0.04^{a}
18	7-十三醇	—	5.66±0.40^{a}	—	—	2.31±0.14^{b}	2.02±0.39^{b}
19	芳樟醇	22.49±1.80^{a}	18.87±2.60^{ab}	14.15±0.04^{b}	—	5.82±0.05^{c}	14.36±3.29^{b}
酯类							
20	乙酸异戊酯	36.29±1.98^{c}	102.44±12.27^{a}	67.88±9.22^{b}	—	40.50±0.94^{c}	59.03±1.49^{b}
21	正己酸乙酯	88.74±4.83^{ab}	75.73±1.22^{ab}	73.20±2.93^{b}	74.93±4.25^{ab}	94.10±12.9^{a}	89.10±11.45^{ab}
22	丁二酸异戊酯乙酯	208.07±17.33^{b}	200.89±2.49^{b}	336.42±25.04^{a}	309.76±38.50^{a}	146.87±12.59^{c}	191.86±16.59^{bc}
23	丁二酸二乙酯	1324.89±137.62^{e}	1286.82±51.86^{e}	2615.50±56.02^{a}	2281.25±150.11^{b}	1606.70±33.90^{d}	1923.78±39.21^{c}
24	辛酸乙酯	59.13±5.93^{b}	57.05±3.46^{b}	31.63±2.04^{a}	32.27±3.08^{a}	61.59±9.67^{b}	111.01±4.64^{a}
25	乳酸异戊酯	65.76±8.00^{b}	37.78±3.18^{d}	49.73±1.94^{c}	32.27±0.38^{d}	64.36±2.50^{b}	76.25±1.21^{a}
26	戊二酸二乙酯	7.96±0.32^{c}	4.67±0.23^{d}	12.65±1.17^{ab}	15.33±1.47^{a}	9.99±2.23^{bc}	8.71±0.73^{c}
27	乙酸乙酯	249.91±8.14^{b}	25.44±1.95^{c}	496.29±11.27^{a}	497.52±33.87^{a}	41.93±2.59^{c}	246.97±35.43^{b}
28	丁酸乙酯	12.15±1.95^{c}	20.45±1.43^{b}	—	15.51±0.44^{c}	24.99±2.00^{a}	24.16±2.23^{ab}
29	棕榈酸乙酯	8.85±0.39^{b}	8.52±1.57^{b}	3.18±0.49^{c}	5.42±0.50^{c}	13.08±1.62^{a}	8.53±0.42^{b}
30	反油酸乙酯	—	—	—	—	10.01±0.72^{a}	3.89±0.22^{b}
31	乳酸異丁酯	2.93±0.56^{b}	—	—	2.30±0.66^{b}	5.17±0.12^{a}	5.03±0.52^{a}
32	乙酸苯乙酯	135.68±11.45^{a}	28.56±2.57^{c}	49.59±4.28^{b}	47.86±2.55^{b}	11.58±1.48^{d}	16.20±1.19^{d}
33	苯乙酸乙酯	17.12±2.56^{a}	7.44±1.57^{b}	19.85±1.69^{a}	—	5.66±0.84^{b}	6.68±0.23^{b}
34	酞酸二乙酯	—	2.09±0.12^{a}	—	—	1.90±0.03^{a}	—
35	甲基丁二酸二乙酯	—	—	5.44±0.75^{a}	5.65±1.16^{a}	4.00±0.09^{ab}	2.10±0.07^{b}
36	癸酸乙酯	24.89±3.13^{b}	21.40±1.13^{bc}	—	—	16.17±0.34^{c}	34.36±3.71^{a}
37	2-糠酸乙酯	—	—	2.27±0.51^{a}	—	2.49±0.76^{a}	—
38	邻苯二甲酸二异丁酯	10.60±1.65^{a}	4.78±0.44^{cd}	5.80±0.63^{bc}	7.08±0.67^{b}	3.62±0.33^{d}	4.43±0.73^{cd}
烃类							
39	十七烷	19.38±1.36^{bc}	19.98±0.66^{b}	15.71±0.89^{c}	9.63±1.93^{d}	26.61±2.96^{a}	21.79±0.73^{b}
40	正十三烷	2.14±0.42^{b}	—	3.48±0.84^{ab}	—	4.59±0.35^{a}	—
41	十八烷	—	—	—	—	7.00±0.28	—
42	十四烷	—	4.48±0.43^{a}	—	5.77±0.57^{a}	4.38±1.79^{a}	4.55±0.36^{a}
43	二十一烷	—	—	—	—	—	11.11±2.14
醛酮类							
44	3,4-二甲基苯甲醛	229.55±20.82^{a}	63.67±2.13^{c}	48.00±1.75^{c}	147.91±15.56^{b}	46.53±4.01^{c}	39.83±0.91^{c}
45	壬醛	8.46±1.13^{a}	4.42±0.63^{b}	7.63±0.16^{a}	6.88±0.96^{a}	4.82±0.56^{b}	4.89±0.07^{b}
46	苯乙醛	4.71±0.66^{a}	2.65±0.53^{a}	4.01±0.71^{a}	5.10±0.41^{a}	3.65±1.76^{a}	—
47	糠醛	—	—	—	—	2.25±0.15	—

续表 8

序号	物质	质量浓度(μg/L)					
		参照1	参照2	参照3	参照4	样品1	样品2
48	仲辛酮	8.44±1.00^{c}	10.45±1.47^{bc}	17.82±0.99^{a}	12.71±0.84^{b}	12.04±1.11^{b}	8.32±0.82^{c}
49	7-十三酮	4.54±0.08^{ab}	6.11±0.48^{a}	4.20±0.08^{ab}	3.98±0.74^{b}	5.31±0.57^{ab}	5.66±1.16^{ab}
50	大马士酮	—	7.66±0.54^{a}	—	—	5.34±3.16^{a}	7.64±1.42^{a}
其他类							
51	1,6-己内酰胺	6.04±1.27^{a}	4.92±0.23^{a}	—	5.30±1.59^{a}	4.37±0.24^{a}	3.89±1.75^{a}
52	N-异戊基乙酰胺	—	13.52±0.91^{a}	—	—	9.91±2.30^{a}	13.24±0.22^{a}
53	三氮杂苯	—	—	—	—	—	10.74±0.21
54	癸苯	—	3.44±0.61^{a}	—	—	4.10±0.14^{a}	3.69±.019^{a}

注: “—”表示未检测出该物质; 表中同一行间的不同字母表示存在显著差异(P<0.05)。

表 9 不同产区 6 款赤霞珠干红葡萄酒特征挥发性物质 OAV 分析

Table 9 OAV analysis of characteristic volatile compounds in six Cabernet Sauvignon dry red wines from different regions

序号	物质	阈值[16](μg/L)	OAV						香气描述[20]
			样品1	样品2	参照1	参照2	参照3	参照4	
1	庚醇	200	0.10	0.12	0.15	0.10	0.12	0.12	脂肪味、刺激味、
2	正己醇	8000	0.04	0.04	0.04	0.01	0.02	0.03	生青味、青草味、香料味、木质味
3	芳樟醇	25.2	0.23	0.57	0.89	0.75	0.56	0	柑橘味、果香、甜香
4	丁酸乙酯	20	1.25	1.21	0.61	1.02	0	0.77	酸果味、果香味
5	乙酸乙酯	7500	0.01	0.03	0.03	0.01	0.07	0.07	果香味、甜味
6	乙酸苯乙酯	250	0.05	0.06	0.54	0.12	0.2	0.19	果味、柠檬味、茴香味
7	乙酸异戊酯	30	1.34	1.97	1.21	3.41	2.26	0	果香味、茴香味
8	正己酸乙酯	5	18.82	17.82	17.75	15.15	14.64	14.99	草莓味、绿苹果味
9	辛酸乙酯	2	30.79	55.50	29.57	28.53	15.82	16.14	菠萝味、梨味、花香味、果香味
10	癸酸乙酯	39	0.41	0.88	0.64	0.55	0	0	果香味、脂肪味、
11	大马士酮	0.05	106.72	152.73	0	153.17	0	0	花香、果味、紫丁香

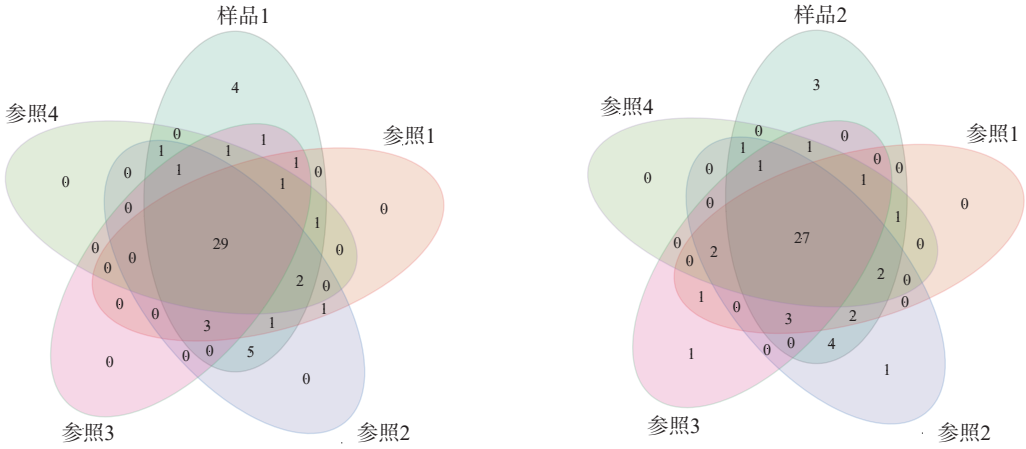


图 4 样品 1、样品 2 与其他参照组挥发性组分的 Venn 图

Fig.4 Venn diagram of volatile components in sample 1, sample 2, and other reference groups

质种类总数多于部分参照样, 自有组分分别有 4 种和 3 种, 共有组分分别有 29 种和 27 种。

香气活性值(OAV)分析揭示了决定酒样香气特征的关键活性物质。由表 9 可见, OAV>1 的酯类组分有 4 种, OAV<1 的组分有 6 种, 3 种为醇类, 3 种为酯类, 且所有酒样共同的核心香气物质是正己酸乙酯(OAV14.64~18.82, 草莓、绿苹果味)和辛酸乙酯(OAV15.82~55.50, 菠萝、梨香、花香、果香味), 它们构成了赤霞珠葡萄酒基础的果香基调。酒样间香气差异的关键成分是大马士酮, 样品 1 和样品 2 中的 OAV 分别达 106.72 和 152.73, 为样品 1、样品 2 和参照 2 三款酒带来了紫丁香、玫瑰和果脯般的花香。由此, 样品 1 和 2 的挥发性组分物质种类丰富, 但在特征上依赖大马士酮所贡献的浓郁花香, 这是其区别于部分参照酒样的最显著特征。

2.4 赤霞珠干红葡萄酒颜色与挥发性风味物质的聚类分析

赤霞珠干红葡萄酒的颜色和挥发性风味组分指

标之间既存在差异，又有一定的相关性，由此，将 6 种赤霞珠干红葡萄酒的基本理化指标、酚类物质、有机酸、矿物质和挥发性物质的 OAV 数据进行标准化处理，采用聚类分析，结果如图 5 所示。

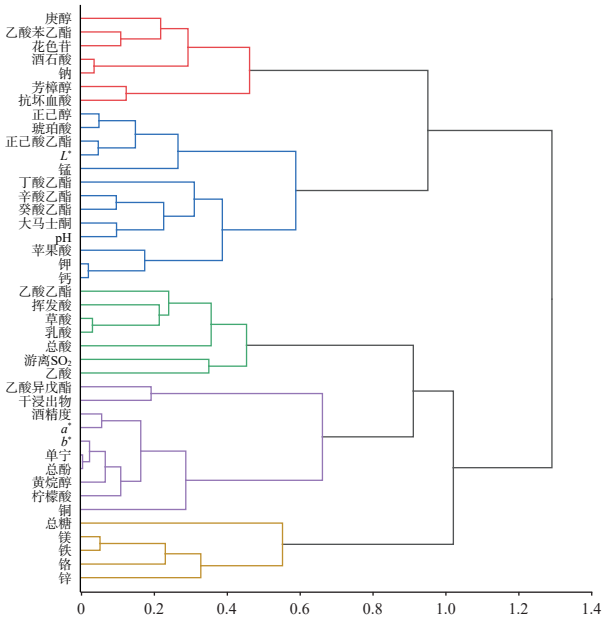


图 5　赤霞珠干红葡萄酒颜色与挥发性风味物质的聚类分析

Fig.5　Cluster analysis of color and volatile flavor compounds in Cabernet Sauvignon dry red wines

由图 5 可见，在欧氏距离 0.7 左右，各指标值可分为 5 类，可关联归纳如下：

第一类包含了酒石酸、花色苷、抗坏血酸和钠等理化指标，以及芳樟醇和乙酸苯乙酯等风味物质。其中，花色苷与芳樟醇、乙酸苯乙酯同聚一类的现象表明，颜色浅淡与香气薄弱可能共同源于葡萄原料成熟度不足或萃取效率低导致的前体物质匮乏。

第二类包含了琥珀酸、苹果酸、钾、钙、pH、酒体亮度（L^*）等理化指标，以及正己酸乙酯、丁酸乙酯、辛酸乙酯、癸酸乙酯和大马士酮等风味物质。钾、钙、pH 与大马士酮同聚一类，进一步印证了矿质元素含量和酸度环境对风味形成与颜色稳定存在系统性调控作用。

第三类包含了总酸、游离 SO_2、乳酸、草酸、挥发酸和乙酸乙酯。关联了游离 SO_2、有机酸代谢进程及微生物腐败指示指标（挥发酸及乙酸乙酯），是评估酿造卫生状况和酒体早期稳定性的指标组合。

第四类中，颜色参数（a^*，b^*）与干浸出物、酒精度、单宁、总酚、黄烷醇和铜等指标聚为一类，说明这些物质共同构成了葡萄酒的颜色强度和酒体结构基础。样品 1 和 2 中此类指标普遍偏低，这直接导致了两款酒口感单薄、结构感差。

第五类，包含了总糖、铁、镁、铬和锌等指标。这类指标关联了残糖与金属离子，与葡萄酒的发酵完整度和耐久性有关。

3　讨论与结论

本研究系统分析了两款河西走廊产区的赤霞珠干红葡萄酒与四款其他产区参照酒的基本理化指标、颜色特征值、酚类物质、有机酸、矿物质和挥发性风味成分。

在呈色方面，酚类物质基础薄弱是河西走廊赤霞珠干红葡萄酒颜色表现的主要制约因素。其极低的花色苷含量（13.40~30.11 mg/L），连同普遍偏低的总酚与单宁含量，使酒体颜色浅淡、色调偏黄。并且由于花色苷类色素类物质缺乏，两款酒开瓶氧化 5 h 内颜色指标变化不大，这并非颜色稳定的表现，反而暗示了其在颜色稳定性和陈年潜力方面的不足，印证了酚类物质对干红葡萄酒呈色强度与稳定性的决定性作用[21−22]。此外，较高的钾（>1856 mg/L）、钙（>302 mg/L）含量与特定的有机酸组成，通过影响化学微环境，间接削弱了本就薄弱的颜色表现。

在香气特征方面，河西走廊产区的赤霞珠干红葡萄酒呈现出“整体强度弱、但特征香突出”的特点。酒样较低的挥发性香气物质总释放强度，表明整体香气较弱，然而其中大马士酮的高 OAV（>106.72）贡献了浓郁花香，成为区别于参照酒样的显著特征。这不仅为理解干旱气候区葡萄酒的香气构成提供了新视角，也暗示了特定品种香气物质在形成产区独特风格中的潜在作用，与干旱气候促进次生代谢产物积累的理论相符[23]。

综上，本研究阐明了影响河西走廊产区的赤霞珠干红葡萄酒颜色和风味的重要因素为较低的酚类物质、过高的钾、钙水平及 pH。这些因素不仅削弱了花色苷的显色稳定性，也可能通过影响酸酯平衡而抑制香气挥发，最终导致酒体呈色不佳且风味强度不足。这一发现也强调了在评价葡萄酒颜色时，必须综合考量矿质元素的间接调控作用。

基于以上论述，为全面提升河西走廊赤霞珠干红葡萄酒的颜色和风味，形成独特风格，建议采取以下针对性措施：在酿酒环节，应加强浸渍和冷稳定性处理，析出酒石酸盐以有效降低钾、钙含量和 pH；同时确保苹果酸-乳酸发酵的顺利完成；在果园管理环节，提升果实花色苷、单宁及香气前体物质的原始积累，同时也要解决土壤或叶面肥的高钾、高钙问题。

© The Author(s) 2026. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

参考文献

[1] 李敏，王文武，盛文军，等. 植物叶绿体提取物对红葡萄酒颜色及感官品质的影响[J]. 美食研究，2022，39(4)：86−93. [LI Min，WANG Wenwu，SHENG Wenjun，et al. Effect of plant chloroplast extracts on color and sensory quality of red wines[J]. Journal of Researches on Dietetic Science and Culture，2022，39(4)：86−93.]

[2] 王晓月, 张珊珊, 张欣珂, 等. 发酵前添加黄酮醇类辅色素对‘赤霞珠’干红葡萄酒颜色品质及多酚组成的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(18): 188−195. [WANG Xiaoyue, ZHANG Shanshan, ZHANG Xinke, et al. Effect of pre-fermentative addition of flavanols on the color attributes and phenolic profiles of 'cabernet sauvignon' dry red wine[J]. Food Science, 2020, 41(18): 188−195.]
[3] 吴娟弟, 张波, 韩丽婷, 等. 金属离子及酚酸添加对模拟葡萄酒溶液辅色作用的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(6): 15−24. [WU Juandi, ZHANG Bo, HAN Liting, et al. Effects of metal ion and phenolic acid additions on the copigmentation of simulated wine solution[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(6): 15−24.]
[4] 张扬, 彭晶晶, 李坤一, 等. 发酵前添加有机酸对西拉红葡萄酒颜色和感官质量的影响[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(7): 90−98. [ZHANG Yang, PENG Jingjing, LI Kunyi, et al. Effects of organic acid added before fermentation on color and sensory quality of Syrah red wine[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(7): 90−98.]
[5] CZERWINSKI M, POSTELNIK A, JABLONSKI P, et al. Influence of terroir and viticultural practices on the aroma profile of wines-A review[J]. Beverages, 2020, 6(3): 74.
[6] FUENTES-ESPINOSA J M, MUÑOZ-CASTELLS R, MORENO-GARCÍA J, et al. Volatilome analysis for differentiating terroir expression: A case study of three wineries in a limestone-rich, warm-climate region[J]. Molecules, 2025, 30(14): 2982.
[7] 曹炜玉, 路文鹏, 舒楠, 等. 葡萄酒风味物质及其影响因素研究进展[J]. 中国酿造, 2022, 41(5): 1−7. [CAO Weiyu, LU Wenpeng, SHU Nan, et al. Research progress on wine flavor substances and their influencing factors[J]. China Brewing, 2022, 41(5): 1−7.]
[8] ROBINSON J, HARDING J. The oxford companion to wine[M]. Oxford: Oxford University Press, 2006.
[9] 冯磊. 新疆产区赤霞珠红葡萄酒色泽稳定性研究[D]. 烟台: 烟台大学, 2022. [FENG Lei. Study on color stability of cabernet sauvignon red wine in Xinjiang region[D]. Yantai: Yantai University, 2022.]
[10] 王美琪, 高梅, 武运, 等. 渗透汽化膜分离技术制备脱醇葡萄酒的颜色特征及花色苷组成研究[J]. 食品工业科技, 2025, 46(23): 144−153. [WANG Meiqi, GAO Mei, WU Yun, et al. Analysis of color characteristics and anthocyanins in dealcoholized wine prepared by pervaporation membrane separation technology [J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(23): 144−153.]
[11] 程祎琳, 刘馨阳, 韩富亮. 酵母种类对加强型甜红葡萄酒品质的影响[J]. 中国酿造, 2025, 44(6): 76−85. [CHENG Yilin, LIU Xinyang, HAN Fuliang. Effect of yeast types on the quality of fortified sweet red wines[J]. China Brewing, 2025, 44(6): 76−85.]
[12] 董荣, 王舒伟, 石森, 等. 新疆天山北麓产区 4 种葡萄酒矿质元素含量与其颜色品质相关性分析[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(9): 82−88. [DONG Rong, WANG Shuwei, SHI Miao, et al. Correlation between mineral elements and color quality in wine brewed by four different grape varieties from northern Tianshan region, Xinjiang[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(9): 82−88.]
[13] 张继元, 王波, 丁嘉丽, 等. 不同电子鼻传感器对葡萄酒香气的响应差异分析及其应用[J]. 核农学报, 2024, 38(4): 693−702. [ZHANG Jiyuan, WANG Bo, DING Jiali, et al. Analysis and application of different dry red wines based on electronic nose gas recognition technology[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2024, 38(4): 693−702.]
[14] 周昀菲, 孙志强, 杜庆鑫, 等. 基于电子鼻和 HS-SPME-GC-MS 分析蒸汽爆破对杜仲嫩叶和成熟叶茶香气特征的影响[J]. 食品科学, 2024, 45(1): 91−100. [ZHOU Yunfei, SUN Zhiqiang, DU Qingxin, et al. Effect of steam explosion on the aroma characteristics of tea produced from tender and mature leaves of *Eucommia ulmoides* analyzed using electronic nose and headspace solid-phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Science, 2024, 45(1): 91−100.]
[15] 伍巨, 王晓丹, 阳刚, 等. 基于 GC-MS 结合化学计量学分析 4 种酱香型缺陷白酒挥发性成分差异[J]. 食品与发酵科技, 2022, 58(1): 49−57,66. [WU Ju, WANG Xiaodan, YANG Gang, et al. Analysis of volatile component differences among four defective Baijiu of Maotai-flavor based on GC-MS combined with chemometrics[J]. Food and Fermentation Science & Technology, 2022, 58(1): 49−57,66.]
[16] 王征, 杨慧, 张众, 等. 自然发酵对“赤霞珠”葡萄酒香气物质及理化性质的影响[J]. 中国食品学报, 2024, 24(12): 372−386. [WANG Zheng, YANG Hui, ZHANG Zhong, et al. Effects of natural fermentation of cabernet sauvignon wine on aroma component and physicochemical properties[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2024, 24(12): 372−386.]
[17] 王红霞, 武志勇, 李素轩, 等. 基于 GC-MS/O 和 OAV 技术分析雪茄烟叶关键香气物质[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2024, 46(5): 952−962. [WANG Hongxia, WU Zhiyong, LI Suxuan, et al. Analysis of key aroma components of cigar tobacco leaves by GC-MS/O and OAV method[J]. Journal of Yunnan University (Natural Sciences Edition), 2024, 46(5): 952−962.]
[18] 王俊鹤, 杨涵钰, 庄家莹, 等. 乳酸添加对赤霞珠红葡萄酒品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2026, 52(7): 123-131. [WANG Junhe, YANG Hanyu, ZHUANG Jiaying, et al. Influence of lactic acid addition on the quality of Cabernet Sauvignon wine[J]. Food and Fermentation Industries, 2026, 52(7): 123-131.]
[19] ALEIXANDRE-TUDO J L, du TOIT W J. Evolution of phenolic composition during barrel and bottle aging[J]. South African Journal of Enology and Viticulture, 2020, 41(2): 233−237.
[20] 范瑾, 郑兰香, 操敏, 等. 宁夏贺兰山东麓不同产区赤霞珠干红葡萄酒品质分析[J]. 食品与发酵工业, 2026, 52(2): 353−363. [FAN Jin, ZHENG Lanxiang, CAO Min, et al. Quality evaluation of Cabernet Sauvignon dry red wine from various regions in the eastern foothill of Helan Mountain in Ningxia[J]. Food and Fermentation Industries, 2026, 52(2): 353−363.]
[21] CASTILLO-MUNOZ N, CANTARELLI S, GIL-MUNOZ R, et al. Influence of grape variety and vintage on the phenolic profile and antioxidant capacity of monovarietal red wines[J]. Food Research International, 2015, 76: 57−65.
[22] 张欣珂, 赵旭, 刘沛通, 等. 红葡萄酒的花色苷: 来源、呈色与反应[J]. 食品科学, 2023, 44(23): 342−352. [ZHANG Xinke, ZHAO Xu, LIU Peitong, et al. Anthocyanins in red wine: Origin, coloration and reactions[J]. Food Science, 2023, 44(23): 342−352.]
[23] PODDA A, POLLASTRI S, BARTOLINI P, et al. Drought stress modulates secondary metabolites in *Brassica oleracea* L. convar. *Acephala* (DC) Alef, var. sabellica L[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(12): 5533−5540.