

河西走廊产区赤霞珠干红葡萄酒陈酿过程香气特征分析

刘霞¹, 朱涛涛¹, 贾玉莹², 邢佳雨¹, 刘志芳¹, 曹礼¹, 杨彬^{1*}

(1.河西学院 生命科学与工程学院, 甘肃 张掖 734000; 2.甘肃红桥庄园葡萄酒有限公司, 甘肃 张掖 734000)

摘要: 为了揭示河西走廊赤霞珠干红葡萄酒经惰性容器陈酿过程(3个月(3M)、6个月(6M)、9个月(9M)、12个月(12M)、15个月(15M))的香气演变规律, 采用顶空固相微萃取与气相色谱-质谱联用(HS-SPME-GC-MS)技术, 结合感官定量描述法, 分析葡萄酒陈酿期间的香气物质及感官特征。结果表明, 葡萄酒陈酿期间共检出80种挥发性化合物, 其中种类最多依次为酯类和高级醇类、含量最高依次为高级醇类和酯类; 筛选出6种香气活力值(OAV)>1的关键风味物质, 其中乙酸异戊酯、辛酸乙酯和己酸乙酯在3M酒样中含量最高(OAV=56.39、71.86和25.47), 丁酸乙酯在9M酒样含量最高(OAV=5.36), 3-甲基丁酸乙酯在12M酒样含量最高(OAV=2.08), 而 β -大马士酮在6M酒样含量最高(OAV=491.80)且在6~15M酒样无显著差异($P>0.05$)。经惰性容器陈酿12个月时, 河西走廊赤霞珠干红葡萄酒的总香气特征量化强度值(MF)最高(513.80)、异味MF值最低(5.87), 在甜美花果香中带有烘烤、香料以及其他风味, 展现出良好的香气层次感和复杂度。

关键词: 赤霞珠; 干红葡萄酒; 陈酿; 香气; 感官分析; 河西走廊

中图分类号: TS262.6

文章编号: 0254-5071(2024)08-0106-09

doi:10.11882/j.issn.0254-5071.2024.08.016

引文格式: 刘霞, 朱涛涛, 贾玉莹, 等. 河西走廊产区赤霞珠干红葡萄酒陈酿过程香气特征分析[J]. 中国酿造, 2024, 43(8): 106-114.

Analysis on aroma characteristics of Cabernet Sauvignon dry red wine in Hexi Corridor during ageing

LIU Xia¹, ZHU Taotao¹, JIA Yuying², XING Jiayu¹, LIU Zhifang¹, CAO Li¹, YANG Bin^{1*}

(1.College of Life Science and Technology, Hexi University, Zhangye 734000, China;

2.Gansu Hongqiao Wine Industry Co., Ltd., Zhangye 734000, China)

Abstract: In order to reveal the aroma evolution of Cabernet Sauvignon dry red wine aged in inert container (for 3 months (3M), 6 months (6M), 9 months (9M), 12 months (12M), and 15 months (15M)) of Hexi Corridor, the aroma compounds and sensory characteristics of the wine during wine aging were analyzed using HS-SPME-GC-MS, along with the quantitative descriptive analysis methods. Results showed that a total of 80 volatile compounds were detected during wine aging, among which the types of esters and higher alcohols were the most abundant, and higher alcohols had the highest concentration, followed by esters. Six key flavor compounds with aroma activity value (OAV)>1 were selected, among which isoamyl acetate, ethyl caprylate and ethyl hexanoate had the highest contents in 3M wine (OAV=56.39, 71.86 and 25.47, respectively), the content of ethyl butanoate was the richest in 9M wine (OAV=5.36), while ethyl isovalerate was the richest in 12M wine (OAV=2.08), β -damascenone had the highest content in 6M wine (OAV=491.80), and there was no significant difference between 6-15M wine ($P>0.05$). Meanwhile, the total aroma characteristics modified frequency (MF) value was the highest (513.80) and off-flavor MF value was the lowest (5.87) of Cabernet Sauvignon dry red wine from the Hexi Corridor aged in an inert container for 12 months, it showed a sweet floral and fruity aroma with baking, spices, and other flavors, displaying a good aroma hierarchy and complexity.

Key words: Cabernet Sauvignon; dry red wine; ageing; aroma; sensory analysis; Hexi Corridor

香气是构成葡萄酒风格和典型性的关键因素,也是衡量葡萄酒品质的主要指标之一,直接影响消费者的评价和选购喜好^[1]。葡萄酒的香气十分复杂,现已在葡萄酒中鉴定出1 300多种呈香物质,按官能团不同可分为高级醇类、酯类、脂肪酸类、萜烯类、降异戊二烯类、苯衍生物、羰基类化合物、甲氧基吡嗪和挥发性硫醇类化合物^[2-3];按来源不同又可分为品种香、发酵香和陈酿香三种类型^[4]。品种香来自于葡萄原料,而原料品质与其品种属性、产区气候、土壤、降雨、海拔、栽培措施等因素密切相关;发酵香来源于酒

精发酵(alcohol fermentation, AF)和/或苹果酸-乳酸发酵(malolactic fermentation, MLF)过程中微生物的代谢活动,是葡萄酒香气的重要构成;陈酿香主要是以品种香为基础,经陈酿过程的缩合聚合、水解、氧化还原、醇化和酯化等生物化学反应而形成,对于陈酿型葡萄酒而言具有重要意义。因此,陈酿型葡萄酒的香气成分会随着贮藏时间而发生演变,而各种香气成分的变化会直接导致葡萄酒的香气特征发生变化^[5],进而影响到葡萄酒的综合品质。

赤霞珠(Cabernet Sauvignon)原产于法国波尔多(Bor-

收稿日期: 2024-02-22

修回日期: 2024-06-11

基金项目: 高等学校创新基金项目(2022B-177)

作者简介: 刘霞(1987-),女,讲师,硕士,研究方向为葡萄酒工艺及风味化学。

*通讯作者: 杨彬(1977-),男,教授,硕士,研究方向为农产品加工。

deaux)地区,因易种植、产量稳且品质佳而成为了我国主要的欧亚种酿酒葡萄品种之一,主要用来酿造陈酿型干红葡萄酒。甘肃省河西走廊地处北纬36~40°,光热资源充足、昼夜温差大、土壤矿物质丰富,具有酿酒葡萄种植的优势条件^[9],赤霞珠是该产区种植面积最广的酿酒品种。目前,我国学者研究了河西走廊产区赤霞珠葡萄原料的种植地、植株整形方式^[7]、原料处理工艺^[8]以及酒球菌类型^[10]对其干红葡萄酒中挥发性风味物质的影响,但有关陈酿与其风味变化的关联性研究报道较少;由于赤霞珠干红为该产区主要的陈酿型葡萄酒,探究陈酿方式对其风味品质的影响具有重要意义。

该研究以河西走廊赤霞珠干红葡萄酒为研究对象,拟采用顶空固相微萃取(headspace solid-phase micro-extraction, HS-SPME)与气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)联用技术,再结合感官定量描述分析法,揭示其陈酿过程的香气成分和感官特征变化规律,以期为河西走廊产区赤霞珠干红葡萄酒进行合理的惰性容器陈酿提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 材料与菌株

赤霞珠葡萄:2022年9月26日采于河西走廊张掖市临泽县板桥葡萄基地,表皮呈紫黑色,可溶性固形物含量为(25.3±0.13)%、总酸含量为(5.60±0.43) g/L(以酒石酸计)、粒径为(1.27±0.07) cm、百粒质量为(96.26±0.67) g、比重为1.118.5±2.6,卫生良好。

酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)CECA:安琪酵母股份有限公司;果胶酶RCO:上海鼎唐国际贸易有限公司。

1.1.2 试剂

亚硫酸水溶液(食品级):邹平县江泉工贸有限公司;4-辛醇(色谱纯):美国Sigma-Aldrich公司;氯化钠(分析纯):上海麦克林生化科技有限公司。

1.2 仪器与设备

SHIMADZU GC-MS-QP2020 NX气质联用仪、SH-Rxi-5Sil MS色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm):日本岛津公司;固相微萃取装置配有57330-U联用手柄、65 μm/24Ga聚二甲基硅氧烷/二乙烯基苯(polydimethylsiloxane/divinylbenzene, PDMS/DVB)复合萃取头(蓝色):美国Supelco公司。

1.3 方法

1.3.1 干红葡萄酒的酿造工艺流程与操作要点

葡萄原料→拣选→除梗→破碎→入罐→疏处理→果胶酶处理→添加酵母→酒精发酵→发酵结束→转罐出汁→满罐贮存→去酒泥→调硫→陈酿→澄清→过滤→装瓶

操作要点:赤霞珠葡萄经拣选后进行100%除梗、50%破碎处理,置于500 L不锈钢发酵罐中(入罐量<80%),同时添加50 mg/L SO₂、20 mg/L果胶酶,2 h后添加200 mg/L

酿酒酵母启动发酵,在23~27℃条件下发酵7 d左右,当发酵液比重低于0.996时,分离自流汁到100 L不锈钢罐中静置2周,然后分离转罐去掉酒泥,对葡萄酒调硫至30 mg/L,继续于不锈钢罐中静置陈酿15个月,期间转罐2次;自然澄清,过滤后装瓶。

1.3.2 酒样采集

采集酒精发酵结束(F3)、陈酿3个月(3M)、6个月(6M)、9个月(9M)、12个月(12M)和15个月(15M)共六个阶段的葡萄酒样,每个阶段均采集3个平行样品,所有酒样密封低温(-20℃)贮存待测。

1.3.3 HS-SPME/GC-MS测定

HS-SPME方法:将冻存的葡萄酒样置于4℃冷藏解冻。准确量取3 mL待测酒样置于15 mL顶空瓶中,加入0.6 g NaCl、10 μL内标4-辛醇(0.093 g/L)和磁力转子后,即刻旋紧顶空瓶瓶盖;将顶空瓶置于磁力加热搅拌工作台上,于45℃恒温条件下平衡15 min,然后将已活化好的PDMS/DVB固相微萃取纤维头插入顶空瓶内,萃取头距离液面1 cm,恒温吸附45 min后取出萃取头立即插入GC-MS进样口解吸5 min,同时启动仪器进行数据采集。

气相色谱条件:检测器及进样口温度分别为230℃和250℃;升温程序为40℃保持3 min,以2℃/min升至140℃,然后以7.5℃/min升至270℃,保持6 min;载气为高纯氦气(He)(纯度为99.999%);选用DB-WAX色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm),流速为1.78 mL/min,不分流。质谱条件:电子电离(electronic ionization, EI)源,电子能量70 eV、离子源温度230℃、传输线温度270℃;全扫描模式(30~450 m/z)。

定性定量方法^[10]:通过检索美国国家标准技术研究所(National Institute of Standards and Technology, NIST)质谱库,并结合图谱和文献信息对酒样中挥发性化合物定性;再以4-辛醇(0.093 g/L)为内标进行定量。

1.3.4 关键香气物质筛选

香气活性值(odor activity value, OAV)是指某种香气物质与其阈值的比值,常用来进行食品及葡萄酒中关键香气物质的筛选^[11],某物质的OAV数值越大则其香气贡献度就越高。通常OAV>0.1为有效香气物质,其中OAV>1.0为关键香气物质、OAV介于0.1~1则可协同贡献香气物质;OAV<0.1对香气无贡献作用^[12]。OAV的计算公式如下:

$$OAV = \frac{X_i}{OT_i}$$

式中: X_i 为香气物质的质量浓度, μg/L; OT_i 为香气物质的气味阈值, μg/L。

1.3.5 感官定量描述分析

参照TAO Y S等^[13]的方法并略有改动。基于感官阈值测定结果筛选出10名学生组成品评小组,包括7名女性和3名男性,年龄在20~25岁之间,无不良嗜好。首先采用Le Nez du Vin葡萄酒标准香气体系,对品评小组进行闻香训

练,直至品尝员对每一种香气的辨识精确度 $\geq 95\%$ 时进行正式感官分析。试验中每个样品设置2个平行,随机区组设计。品尝员依次进行静止闻香和摇杯闻香各5~10 s,要求用标准香气体系中5~8个香气词汇记录样品香气特征,并用10点标度尺做强度量化:0~2(很弱)、2~4(弱)、4~6(中等)、6~8(强)、8~10(很强)。香气特征量化强度值(modified frequency, MF)以该特征在品尝小组中使用频率和强度得分率的几何平均数表示,计算公式如下:

$$MF=\sqrt{F\times I}$$

式中:MF为某一香气特征的最终量化强度值,%;F为某一香气词汇的使用频率,%;I为某一香气强度值平均数占最大值(10分)的百分数,%。

1.3.6 葡萄酒的理化指标测定

参考GB/T 15038—2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》进行测定,其中酒精度和干浸出物采用密度瓶法、总酸(以酒石酸计)用指示剂法、总糖用斐林滴定法、挥发酸(以乙酸计)用蒸馏法、总二氧化硫用碘量法;pH值用pH计测定。

1.3.7 数据分析

通过Microsoft Office Excel 2019进行数据整理;采用SPSS 21.0软件对数据进行分析;采用OriginPro软件绘图。

2 结果与分析

2.1 赤霞珠干红葡萄酒的理化指标分析

葡萄酒的基础理化指标是评判其品质的基本依据,主要包括酒精度、干浸出物、残糖、挥发酸以及金属元素等,指标大小取决于葡萄原料、发酵及陈酿过程。发酵结束及陈酿期间酒样的主要理化指标见表1。

表1 赤霞珠干红葡萄酒的基础理化指标
Table 1 Basic physiochemical indicators of Cabernet Sauvignon dry red wine

供试酒样	项目						
	酒精度/vol%	干浸出物/(g·L ⁻¹)	残糖/(g·L ⁻¹)	总SO ₂ /(mg·L ⁻¹)	挥发酸/(g·L ⁻¹)	pH值	总酸/(g·L ⁻¹)
发酵结束F3	13.2±0.72a	20.7±1.19a	2.8±0.38a	95.4±6.30a	0.24±0.04a	4.08±0.01a	4.25±0.14a
陈酿6M	13.3±0.67a	21.8±0.93a	2.5±0.26b	120.7±5.70b	0.26±0.02a	3.62±0.00b	5.05±0.17b
陈酿15M	13.3±0.95a	21.2±0.64a	2.4±0.30b	122.0±9.11b	0.54±0.13b	3.48±0.01b	5.31±0.32b
GB/T15037—2006	>8.0	>18	<4.0	<250	<1.2	/	/

注:同列标注不同小写字母表示差异显著(P<0.05,n=3);“/”表示此项目无限量要求。

由表1可知,发酵结束时酒样残糖为2.8 g/L,说明葡萄原料中的可发酵糖被完全转化成了酒精,该葡萄酒为干型;另外,发酵结束后的酒精度、干浸出物、总SO₂和挥发酸含量均符合国标GB/T 15037—2006《葡萄酒》相关规定,说明AF工艺及监控措施合理。陈酿6M和15M酒样的各项理化指标也符合国标要求,说明陈酿过程的监管措施良好,该葡萄酒装瓶质量合格。在GB/T 15037—2006《葡萄酒》

中没有对总酸和pH的限定,但酸度指标对葡萄酒的口感平衡、颜色稳定性和耐储性均有重要影响^[4],较高总酸有助于提升其综合品质。

2.2 赤霞珠干红葡萄酒的挥发性风味物质GC-MS测定结果分析

采用GC-MS测定陈酿期间赤霞珠干红葡萄酒中挥发性风味物质,并计算其OAV,结果见表2。

表2 赤霞珠干红葡萄酒中挥发性化合物含量及香气活性值测定结果
Table 2 Determination results of volatile compounds contents and OAV in Cabernet Sauvignon dry red wine

化合物名称	CAS号	阈值/ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	质量浓度/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)					OAV					气味描述
			3M	6M	9M	12M	15M	3M	6M	9M	12M	15M	
酯类													
乙酸异戊酯	123-92-2	30	1 691.65a	1 657.52a	1 440.59b	953.79c	841.51c	56.39	55.25	48.02	31.79	28.05	香蕉、热带水果
辛酸乙酯	106-32-1	5	359.31a	334.45a	189.32c	253.07b	209.22c	71.86	66.89	37.86	50.61	41.84	花香、菠萝、梨
己酸乙酯	123-66-0	14	356.53a	327.89ab	300.23b	312.85b	297.8b	25.47	23.42	21.45	22.35	21.27	青苹果、茴香
乙酸苯乙酯	103-45-7	250	199.40a	199.38a	186.31ab	158.84bc	135.57c	0.80	0.80	0.75	0.64	0.54	花香、桃子、蜂蜜
癸酸乙酯	110-38-3	200	90.12a	84.82a	39.83b	47.40b	40.16b	0.45	0.42	0.20	0.24	0.20	苹果、花香、蜡质味
丁酸乙酯	105-54-4	20	85.31b	73.42b	107.10a	52.44c	73.84b	4.27	3.67	5.36	2.62	3.69	果香、草莓、苹果
丁二酸二乙酯	123-25-1	500 000	44.18e	88.79d	165.94c	274.9b	311.88a	0	0	0	0	0	葡萄香、瓜果香
乳酸乙酯	97-64-3	100 000	11.45c	16.86b	29.80a	31.77a	31.25a	0	0	0	0	0	奶油、果香、脂肪味
乙酸己酯	142-92-7	670	17.35a	14.61a	8.86b	9.97b	4.63c	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	苹果、樱桃、梨、花香
水杨酸乙酯	118-61-6	/	2.84a	2.52b	2.72a	2.79a	2.50b	-	-	-	-	-	/
肉豆蔻酸乙酯	124-06-1	2 000	2.36a	2.10b	-	-	-	0	0	-	-	-	甜味、奶酪

续表

化合物名称	CAS号	阈值/ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	质量浓度/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)					OAV					气味描述
			3M	6M	9M	12M	15M	3M	6M	9M	12M	15M	
3-甲基丁酸乙酯	108-64-5	3	5.15b	2.07e	3.90d	6.24a	4.53c	1.72	0.69	1.30	2.08	1.51	浆果、黑莓
2-甲基丁酸乙酯	7452-79-1	18	-	-	2.89c	5.63b	8.33a	-	-	0.16	0.31	0.46	水果、青苹果香
乳酸异戊酯	19329-89-6	200	-	4.28b	3.51c	9.80a	4.69b	-	0.02	0.02	0.05	0.02	/
9-癸烯酸乙酯	67233-91-4	100	6.61a	5.51b	4.27c	6.32a	3.71d	0.07	0.06	0.04	0.06	0.04	生青味、果香、脂肪味
白氨酸乙酯	10348-47-7	/	3.34e	5.94d	9.28c	11.29b	13.08a	-	-	-	-	-	/
苯乙酸乙酯	101-97-3	650	3.74c	3.16d	3.94c	6.66a	5.89b	0.01	0	0.01	0.01	0.01	蜂蜜
棕榈酸乙酯	628-97-7	1 000	7.76b	3.77c	9.51a	2.50d	3.36c	0.01	0	0.01	0	0	脂肪味、腐败味、甜味
棕榈酸甲酯	112-39-0	/	4.67a	3.99b	3.74b	-	3.21c	-	-	-	-	-	/
月桂酸乙酯	106-33-2	1500	3.13a	2.16bc	2.39b	2.75a	1.89c	0	0	0	0	0	果香、花香、奶酪
2-羟基己酸乙酯	6946-90-3	/	-	-	-	13.34a	13.50a	-	-	-	-	-	/
辛酸甲酯	111-11-5	200	1.81a	1.73a	1.66a	1.70a	1.26b	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	浓郁的柑橘味
辛酸异戊酯	2035-99-6	125	2.32a	2.03b	-	-	0.95c	0.02	0.02	-	-	0.01	水果香、奶酪
γ -丁内酯	96-48-0	100 000	-	1.98b	-	3.52a	1.94b	-	0	-	0	0	果香、焦糖
3-苯丙酸乙酯	2021-28-5	/	1.39b	1.56a	1.24c	1.63a	1.50ab	-	-	-	-	-	草莓、奶油
己酸异戊酯	2198-61-0	/	1.40a	1.28a	-	-	-	-	-	-	-	-	菠萝蜜
壬酸乙酯	123-29-5	1 300	1.16b	1.52a	-	-	1.05b	0	0	-	-	0	果香、玫瑰花、腊味
高级醇类													
异戊醇	123-51-3	30 000	6302.31a	6733.42a	6861.59a	4601.59c	5972.11b	0.21	0.22	0.23	0.15	0.2	奶酪、苦杏仁
苯乙醇	1960/12/8	10 000	1163.93b	1307.58a	1364.41a	1332.03a	1276.42ab	0.12	0.13	0.14	0.13	0.13	蜂蜜、玫瑰、丁香花
2-甲基丁醇	137-32-6	/	646.92d	756.16c	860.22b	880.12b	920.39a	-	-	-	-	-	香蕉味、酒香味
正己醇	111-27-3	8 000	126.18a	126.29a	127.59a	106.51c	119.27ab	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	辛辣、青草
异丁醇	78-83-1	40 000	123.45a	127.80a	127.43a	91.08b	97.48b	0	0	0	0	0	杂醇、酒精、溶剂味
正辛醇	111-87-5	120	32.47a	34.09a	34.05a	36.24a	34.54a	0.27	0.28	0.28	0.3	0.29	茉莉花、柑橘、玫瑰花
月桂醇	112-53-8	/	22.18c	36.16ab	6.91d	40.73a	33.89b	-	-	-	-	-	/
2,3-丁二醇	513-85-9	120 000	19.66b	13.94c	32.62a	11.55c	0.70d	0	0	0	0	0	黄油、奶油
3-甲基-1-戊醇	589-35-5	500	15.93b	17.91a	15.39b	14.13bc	13.60c	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	辛辣、青草香
壬醇	143-08-8	600	15.09b	16.14ab	15.40b	18.52a	15.82b	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	青草香
苯甲醇	100-51-6	200 000	10.36d	32.91b	22.23c	53.29a	-	0	0	0	0	0	花香味
正丁醇	71-36-3	150 000	9.90ab	10.99a	4.24d	8.47b	6.51c	0	0	0	0	0	酒精味、草药
正庚醇	111-70-6	200	9.65b	7.14c	12.00a	6.73c	6.82c	0.05	0.04	0.06	0.03	0.03	葡萄、甜味
正癸醇	112-30-1	400	9.40b	9.93b	8.77bc	11.24a	8.12c	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	蜡香、甜香、花香、果香
2-乙基己醇	104-76-7	8 000	7.81c	9.35b	10.45a	9.30b	7.98c	0	0	0	0	0	/
4-甲基-1-戊醇	626-89-1	50 000	7.34b	8.56a	7.87ab	6.13c	6.84bc	0	0	0	0	0	/
3-甲硫基丙醇	505-10-2	500	-	4.60	-	-	-	-	0.01	-	-	-	生土豆、蒜味、脂肪味
(+)-异薄荷醇	23283-97-8	/	-	3.93a	3.04b	3.05b	3.17b	-	-	-	-	-	/
雪松醇	77-53-2	/	2.88b	3.27ab	-	3.35a	3.69a	-	-	-	-	-	/
2-庚醇	543-49-7	250	1.93b	2.74a	-	1.70b	-	0.01	0.01	-	0.01	-	青香、柑桔香气
2-壬醇	628-99-9	58	1.42a	1.52a	1.54a	1.59a	1.58a	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	不愉悦的花香
十三醇	112-70-9	/	-	-	40.77a	1.46b	1.21b	-	-	-	-	-	/
十四醇	112-72-1	/	-	-	-	3.59a	3.89a	-	-	-	-	-	/
脂肪酸类													
辛酸	124-07-2	500	237.25c	286.44b	354.59a	348.77a	356.30a	0.47	0.57	0.71	0.7	0.71	脂肪味、腐臭
癸酸	334-48-5	1 000	76.94d	90.18cd	129.13b	160.56a	118.07b	0.08	0.09	0.13	0.16	0.12	不愉快的脂肪味
己酸	142-62-1	420	54.73b	66.84ab	72.10a	67.90ab	79.40a	0.13	0.16	0.17	0.16	0.19	奶酪、腐臭脂肪味
乙酸	64-19-7	200	20.47b	19.31b	28.51a	26.83a	20.60b	0.10	0.10	0.14	0.13	0.10	醋味

续表

化合物名称	CAS号	阈值/ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	质量浓度/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)					OAV					气味描述
			3M	6M	9M	12M	15M	3M	6M	9M	12M	15M	
异戊酸	503-74-2	3 000	-	15.01a	15.69a	13.58b	16.82a	0	0.01	0.01	0	0.01	泡菜味、腐败味
月桂酸	143-07-7	/	23.07a	15.23c	14.82c	14.55c	18.19b	-	-	-	-	-	/
异丁酸	79-31-2	2 300	10.37c	12.39b	12.21b	16.55a	18.01a	0	0.01	0.01	0.01	0.01	脂肪味
3-甲基戊酸	105-43-1	/	13.00a	-	9.81b	-	-	-	-	-	-	-	/
壬酸	112-05-0	500	10.26b	8.19c	6.48d	7.51cd	12.89a	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	椰子、脂
丁酸	107-92-6	1 000	1.39c	1.43c	-	1.68b	2.15a	0	0	-	0	0	奶油
醛酮类													
2,4-二甲基苯甲醛	15764-16-6	/	-	15.18b	23.50a	-	16.10b	-	-	-	-	-	/
癸醛	112-31-2	10	9.80a	-	-	7.69b	1.87c	0.98	-	-	0.77	0.19	青草、柑橘
壬醛	124-19-6	15	-	4.81b	4.21b	10.38a	4.57b	-	0.32	0.28	0.69	0.30	生青味
辛醛	124-13-0	/	-	-	-	2.51	-	-	-	-	-	-	/
苯甲醛	100-52-7	2 000	-	-	1.21	-	-	-	-	0	-	-	杏仁
2-甲基-4-庚酮	626-33-5	/	18.43ab	18.95a	19.77a	17.09b	19.08a	-	-	-	-	-	/
4-辛酮	589-63-9	/	13.05a	12.81a	13.41a	11.86a	12.27a	-	-	-	-	-	/
乙偶姻	513-86-0	150 000	-	-	3.02a	1.80c	2.12b	-	-	0	0	0	脂肪、奶油
萜烯类													
香茅醇	106-22-9	100	2.62a	2.32ab	2.07b	1.77c	1.53d	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	玫瑰、青草、丁香花
香叶醇	928-96-1	300	4.92a	5.26a	4.93a	4.35b	4.95a	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	柠檬、玫瑰、天竺葵
芳樟醇	78-70-6	25	-	-	-	15.62a	15.20a	-	-	-	0.62	0.61	柑橘、熏衣草
β -大马士酮	23726-93-4	0.05	19.59b	24.59a	22.25ab	23.25a	22.74ab	391.8	491.8	445	465	454.8	桃、李、苹果、花香
香叶基丙酮	689-67-8	60	6.43b	9.91a	2.81e	3.45d	4.88c	0.11	0.17	0.05	0.06	0.08	花香
α -松油醇	10482-56-1	250	-	-	-	0.61b	2.99a	0	0	0	0	0.01	花香、水蜜桃香
α -松油烯	99-86-5	/	-	-	-	2.89a	1.53b	-	-	-	-	-	/
2-甲基萘	91-57-6	/	3.18a	2.28b	-	1.73c	2.53b	-	-	-	-	-	/
反式-橙花叔醇	40716-66-3	700	-	-	-	3.87a	1.94b	-	-	-	0.01	0	玫瑰、苹果、甜花香
其它类													
2-甲基辛基苯	49826-80-4	/	220.41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	/
2,3-二甲基戊烷	565-59-3	/	-	-	-	-	9.98	-	-	-	-	-	/
2,4,6-三甲基辛烷	62016-37-9	/	-	140.35c	225.21a	233.33a	186.24b	-	-	-	-	-	/

注：“/”表示未查到；“-”表示未检出；同一行不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$, $n=3$)；参考文献[13, 15-20]确定香气化合物的阈值和气味描述词。

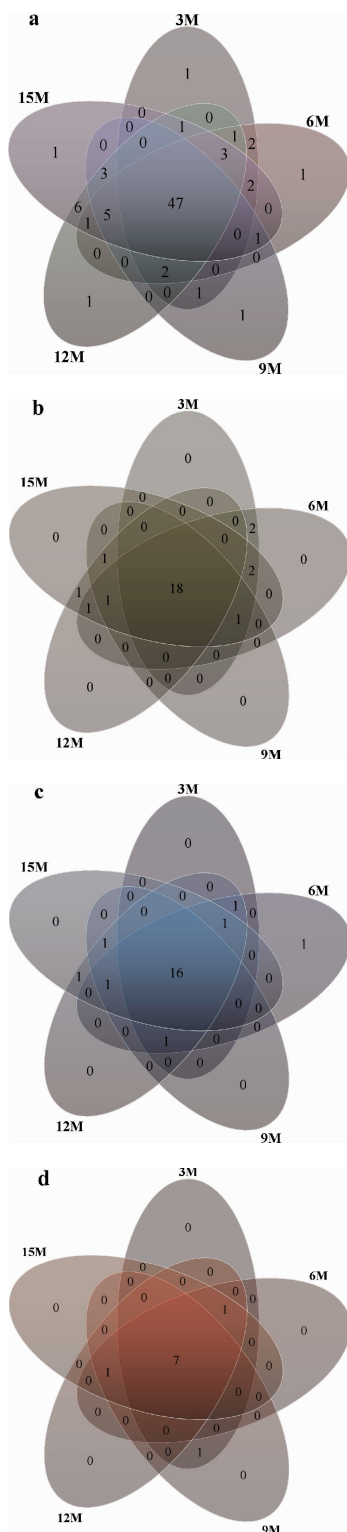
2.2.1 挥发性风味物质的种类及总量变化分析

由表2可知,赤霞珠干红葡萄酒中共检出80种挥发性化合物,包括27种酯类、23种高级醇类、10种脂肪酸类、8种醛酮类、9种萜烯类以及3种其他类型物质。挥发性化合物的总含量在陈酿9M时达最大值(13 039.28 $\mu\text{g/L}$),且陈酿后期(12~15M)低于前期(3~6M)。赤霞珠干红葡萄酒中挥发性物质种类汇总结果见图1,赤霞珠干红葡萄酒陈酿过程各类挥发性风味物质总量及占比结果见图2。

由表2结合图1可知,在陈酿6M和15M时酯类种类最多(25种),高级醇在12M时种类最多(22种),脂肪酸在陈酿期间种类不变(9种),醛酮类在9~15M期间种类相同(6种),萜烯类在陈酿后期(12~15M)种类最为丰富(9种);赤霞珠干红葡萄酒在陈酿期间的共有化合物为47种,包括18种酯、16种高级醇、7种脂肪酸、2种酮和4种萜烯类物质,这些成分可能与赤霞珠品种香及发酵香有关^[15]。

由表2结合图2可知,高级醇类是各时期酒样中含量最多的挥发性风味物质,其次为酯类和脂肪酸类,而含量最低的是醛酮类和萜烯类。随着陈酿时间的延长,酯类物质含量呈持续降低趋势,这可能与陈酿期间发生的酸性水解和氧化作用有关^[21],且陈酿前期酯类在挥发性化合物总量中占比最大,推测酯类应该是葡萄酒陈酿前期风味的主要贡献成分;高级醇类在陈酿12M时含量(7 242.4 $\mu\text{g/L}$)显著低于其他时期酒样 ($P<0.05$),且此时含量占比也最低(69.56%),其次为3M酒样(70.04%),推测该物质能用来解释3M和12M酒样与其他时期酒样的风味差异性;脂肪酸类含量呈上升趋势,这应该与陈酿过程酯类物质的水解有关^[22],其中在陈酿12M时含量(657.93 $\mu\text{g/L}$)和占比(6.32%)均最高,其次为15M酒样,表明脂肪酸类可影响陈酿后期葡萄酒风味的形成。此外,醛酮类在陈酿9M时其含量(65.12 $\mu\text{g/L}$)及占比(5.0%)均最大,且在6~15M期间无显

著差异 ($P>0.05$); 萜烯类含量在陈酿后期显著高于其它时期 ($P<0.05$), 尤以12M时占比 (0.55%) 最大, 其次为15M (0.51%), 该类物质可能与陈酿后期的风味形成有关。



a为全部挥发性风味化合物;b为酯类;c为高级醇类;d为脂肪酸类。

图1 赤霞珠干红葡萄酒中挥发性风味物质种类

Fig. 1 Types of volatile flavor compounds in Cabernet Sauvignon dry red wine

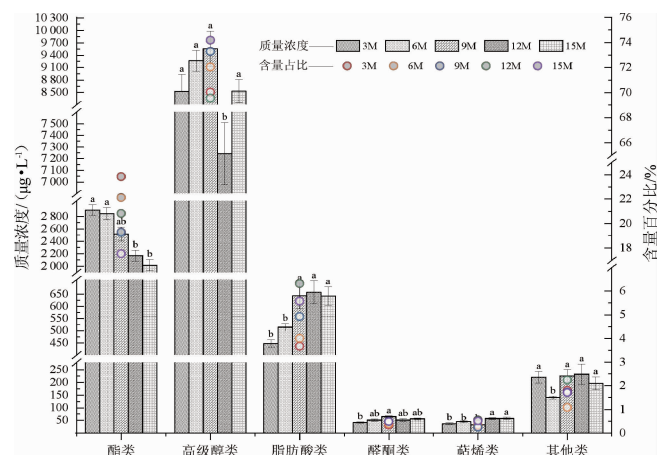


图2 赤霞珠干红葡萄酒陈酿过程各类挥发性风味物质总量及占比
Fig. 2 Total contents and proportion of various categories volatile flavor substance during aging process of Cabernet Sauvignon dry red wine

由此可知,经惰性容器陈酿期间,赤霞珠干红葡萄酒中挥发性物质的总种类和总含量均呈先上升后下降再上升的趋势,在15M时总种类最多、9M时总含量最高;其中,陈酿期间酯类及高级醇类的总含量基本呈下降趋势,而脂肪酸、醛酮和萜烯类物质的总含量则有所增加,其他化合物的总含量较为平稳。

2.2.2 挥发性风味物质的含量变化分析

(1) 酯类化合物

酯类主要在葡萄酒发酵和陈酿过程形成,赋予葡萄酒丰富的花果类香气^[23];其中乙酯类化合物具有浓郁的甜美花果气味^[24],对葡萄酒香气质量有重要贡献。由表2可知,能够对葡萄酒产生风味影响的酯类化合物有8种 ($OAV \geq 0.1$),其中5种(乙酸异戊酯、辛酸乙酯、己酸乙酯、丁酸乙酯和3-甲基丁酸乙酯)有直接风味贡献作用 ($OAV > 1$),是关键香气物质,而乙酸异戊酯和辛酸乙酯的OAV最大,表明二者对赤霞珠干红葡萄酒的风味形成具有关键作用,这与谭伟等^[25]的研究结论一致。具体而言,乙酸异戊酯的含量在陈酿过程持续下降,其含量在3M时最高 ($OAV=56.39$) 且与6M无显著差异 ($P>0.05$),可赋予葡萄酒浓郁的香蕉和水果风味;辛酸乙酯含量在3M时最高 ($OAV=71.86$) 且与6M无显著差异 ($P>0.05$)、但在9M时降至最低 ($OAV=37.86$),能带来强烈的花香、菠萝和梨的气味;己酸乙酯的含量在3M最高 ($OAV=25.47$) 且与6M无显著差异 ($P>0.05$),可带来清晰的青苹果和茴香味;丁酸乙酯含量在9M时最高 ($OAV=5.36$)、12M时最低 ($OAV=2.62$),赋予葡萄酒甜美的草莓、苹果等果香;3-甲基丁酸乙酯在6M时含量最低,此时不对酒样风味产生直接影响,但在其他时期 $OAV > 1$,尤其对12M酒样 ($OAV=2.08$) 和3M酒样 ($OAV=1.72$) 有重要贡献,赋予葡萄酒丰富的浆果和黑莓味。另外,乙酸苯乙

酯、癸酸乙酯和2-甲基丁酸乙酯等也为有效香气物质,可协同强化葡萄酒中水果、花香和蜂蜜味。

(2) 高级醇和脂肪酸类化合物

高级醇是葡萄酒香气物质的重要组成,主要通过AF阶段的糖代谢、脂肪酸代谢、氨基酸脱羧脱氢等生成^[26],当总量<300 mg/L时会带来令人愉悦的复杂香气^[21],反之则会对葡萄酒香气品质和饮用安全带来不良影响。由表2可知,所有酒样中高级醇总量都远低于300 mg/L,异戊醇、苯乙醇和正辛醇具有协同贡献风味的作用(OAV>0.1),为有效香气物质。异戊醇是含量最大的高级醇,其含量在陈酿9M时最高(OAV=0.23),而在12M时(OAV=0.15)则显著低于其他各组($P<0.05$),可带来奶酪和苦杏仁等负面风味;苯乙醇是重要的酚类高级醇,其含量在9M最高(OAV=0.14)且在陈酿6~15M期间无显著差异($P>0.05$),可提供蜂蜜、玫瑰和丁香花味。此外,陈酿期间2-甲基丁醇含量较高且呈明显上升趋势,但因阈值未知而无法判断其风味贡献作用,有待后续进一步探究。

脂肪酸主要产生于AF和MLF过程,其含量较低时会给葡萄酒带来奶酪风味,但含量过高可引起“酸败”、“脂肪”和“腐臭”等不良风味^[27]。由表2可知,辛酸、癸酸、己酸和乙酸是有效香气物质,具有协同贡献风味的作用(OAV>0.1),其中前三者为主要的C6~C10脂肪酸,具有阈值低、挥发性强的特点,对葡萄酒的风味平衡有重要影响^[28];辛酸是各陈酿阶段含量最大的脂肪酸,其在9M和15M时含量最高(OAV=0.71),其次为12M(OAV=0.70),具有脂肪味和腐臭味;癸酸在12M时含量最大(OAV=0.16),具有不愉快的脂肪味;己酸在15M时含量最高(OAV=0.19)、3M时最低(OAV=0.1),可带来奶酪和腐臭气味;乙酸呈醋酸味,其含量在9M(OAV=0.14)和12M(OAV=0.13)时相对较高。

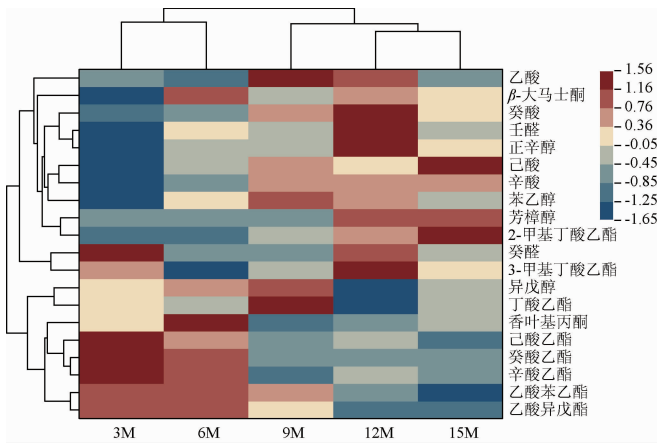
(3) 醛酮类和萜烯类化合物

醛和酮类主要产生于发酵和陈酿过程,可赋予葡萄酒优雅独特的香气^[29]。萜烯类由葡萄糖经类异戊二烯途径在葡萄浆果中合成,是葡萄酒品种香的重要来源,影响着葡萄酒的风格和典型性^[30]。由表2可知,癸醛和壬醛是有效香气物质,具有协同贡献风味的作用(OAV>0.1),其中癸醛在3M时的含量最大(OAV=0.9)、其次为12M酒样(OAV=0.77),具有青草、柑橘味;壬醛在12M时的含量(OAV=0.69)显著高于其它时期($P<0.05$),呈现出一定的生青味。此外,影响赤霞珠干红葡萄酒风味的萜烯类物质为 β -大马士酮、香叶基丙酮和芳樟醇,其中, β -大马士酮的含量呈波浪式变动,其OAV(391.80~491.80)显著高于各时期其他香气物质($P<0.05$),是赤霞珠干红葡萄酒风味的关键贡献者,这与李媛媛等^[31]基于“贺兰山东麓赤霞珠”的研究结论一致,推测该物质可能是赤霞珠品种的标志成分,可在整个陈酿过程中赋予葡萄酒强烈的桃、李、苹果等水果味和花香

而芳樟醇只在陈酿12M(OAV=0.62)和15M(OAV=0.61)时为有效风味物质,可赋予葡萄酒一定的柑橘和熏衣草香气。

2.3 挥发性风味物质的聚类分析热图

为了确定河西走廊产区赤霞珠干红葡萄酒陈酿期间的整体香气差异性和演变规律,对表2中OAV>0.1的20种有效香气物质作聚类分析热图,结果见图3。



香气物质含量从蓝到红依次升高,仅在同一行进行组间对比;
左侧树状图按照各香气物质含量在不同酒样的分布情况进行聚类,
上侧树状图按照香气物质类型在不同酒样的分布情况进行聚类,
相同分支代表分布情况较为相似。

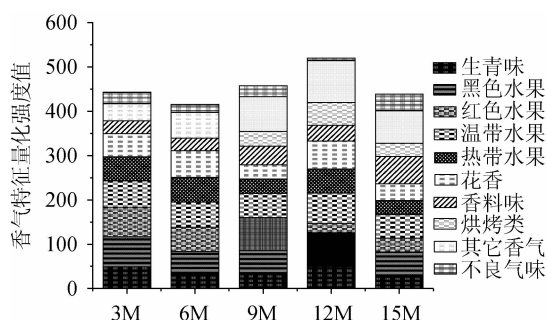
图3 赤霞珠干红葡萄酒主要香气成分聚类分析热图
Fig. 3 Heatmap of cluster analysis of the major aroma compounds of Cabernet Sauvignon dry red wine

由图3可知,陈酿3个月(3M)和6个月(6M)的酒样可聚为一类,陈酿15个月(15M)和12个月(12M)的酒样可聚为一类,陈酿9个月(9M)与陈酿后期酒样具有一定相似性。在陈酿3M酒样中,己酸乙酯、辛酸乙酯、乙酸异戊酯、癸酸乙酯、癸醛和乙酸苯乙酯共6种物质的含量相对最高,酒样突显浓郁的青苹果、香蕉、菠萝、梨、柑橘等果味和花朵香气,即此阶段以甜美型果香为主。陈酿6M时酒样中酯类含量分布与3M相似,但是香叶基丙酮和 β -大马士酮达最高含量,葡萄酒呈现出更浓郁的桃、李、苹果等水果和花香。继续陈酿至9M时,大部分酯类含量下降,而有机酸和高级醇含量升高,此时含量较高的5种香气物质为丁酸乙酯、异戊醇、苯乙醇、乙酸和辛酸,葡萄酒展现出草莓、苹果、花香和蜂蜜香气,可能还会出现苦杏仁、脂肪和醋等气味,表明陈酿9M时葡萄酒开始展现出一定的香气多样性。陈酿至12M时,大部分酯类含量低于均值,而萜烯类、醛类、高级醇类的含量均有明显增加,此时癸酸、壬醛、芳樟醇、正辛醇、3-甲基丁酸乙酯、癸醛、乙酸和辛酸共8种物质的含量较高,使葡萄酒呈现出更明显的青草、花朵、柑橘及黑莓等浆果香气;另外,此时由较高含量的 β -大马士酮带来的甜美花果香气也较为重要,即陈酿12M葡萄酒具有良好的香气饱满度及层次感。在陈酿15M时,只有己酸、辛酸、

芳樟醇和2-甲基丁酸乙酯的含量相对较高,其香气层次弱于12M酒样。因此,经惰性容器陈酿期间,赤霞珠干红葡萄酒的香气类型、浓郁度和复杂度会发生变化,其中以陈酿12个月时的整体香气质量最佳。

2.4 感官评定结果分析

葡萄酒是一种感官嗜好性酒精饮料,感官评定是其风味研究的重要途径。对品评小组给出的所有单一香气特征量化强度值(MF)进行计算,然后将其归纳为10大类并计算各时期的大类香气总MF值,结果见图4。



生青味包括青草、雪松、青椒、黑醋栗芽孢;黑色水果包括黑醋栗、黑莓、蓝莓、李子;红色水果包括红醋栗、樱桃、草莓、覆盆子;温带水果包括桃、苹果、梨、西瓜;热带水果包括柑橘、柚子、香蕉、菠萝;花香包括玫瑰、洋槐花、山楂花、紫罗兰、丁香花;香料包括桂皮、香草、胡椒;其它香气包括奶酪、蜂蜜、咖啡、焦糖、黑巧克力;不良气味包括杏仁、蒜、蘑菇、皮革。

图4 赤霞珠干红葡萄酒陈酿期间的香气特征量化强度值

Fig. 4 MF value of aroma characteristics of Cabernet Sauvignon dry red wine during aging

由图4可知,葡萄酒陈酿期间除异味外的总MF值排序为12M(513.80)>9M(432.85)>3M(417.04)>15M(401.11)>6M(397.39),即陈酿12M时香气强度最高。就各类香气而言,生青味MF值在陈酿12M时最高(49.92)、其次为3M(49.53);黑色水果MF值在12M时最高(76.07)、其次为3M(66.89);红色水果MF值在9M时最高(74.33)、其次为3M(66.72),但在陈酿后期(12M、15M)却明显减弱;温带水果MF值在12M时最高(68.27),其次为3M(59.84),在其他各时期基本一致;热带水果MF值在陈酿3M、6M和12M时均相对较高;花香MF值在12M时最高(63.59),其次为3M和6M;香料MF值在15M最高(61.37),烘烤味在9M时出现且在12M时达最大MF值(51.72);其它风味在陈酿期间逐渐强化且至12M时MF值达到最大(93.94)。此外,不良气味在12M时最弱(5.87)、15M时最强(37.81)。因此,经惰性容器陈酿3M时,葡萄酒呈现出浓郁的水果、花香和生青味;陈酿6M时花果香减弱,但其它香气带来了一些复杂度;陈酿9M时更为突显清爽红果和其他风味,同时伴有香料和烘烤味,此时香气具备层次感却缺乏协调性;继续陈酿至12M时,呈现出浓郁的甜美花果香、兼具烘烤、其它风味和适当的香料味,且无明显异味,展现出良好的香气协调性和

复杂度;在15M时花果味再次减弱,而香料味、异味和其他风味相对突显,致使葡萄酒的香气协调性下降。从香气感官量化结果的分析来看,河西走廊赤霞珠干红葡萄酒经惰性容器陈酿12个月时具备较佳香气品质,这与GC-MS分析结果基本一致。

3 结论

赤霞珠干红葡萄酒经惰性容器陈酿期间共检出80种挥发性化合物,包括27种酯类、23种高级醇类、10种脂肪酸类、8种醛酮类、9种萜烯类以及3种其他类型物质。不同陈酿阶段各类挥发性化合物按种类多少排序为酯类>高级醇类>脂肪酸类,按含量高低排序为高级醇类>酯类>脂肪酸类,而种类和含量最少均为萜烯类和醛酮类。

赤霞珠干红葡萄酒陈酿期间OAV>0.1的有效香气物质共20种,其中有6种(OAV>1)为直接贡献香气的关键成分(乙酸异戊酯、辛酸乙酯、己酸乙酯、丁酸乙酯、3-甲基丁酸乙酯、 β -大马士酮)、其余14种物质(乙酸苯乙酯、癸酸乙酯、2-甲基丁酸乙酯、异戊醇、苯乙醇、正辛醇、辛酸、癸酸、己酸、乙酸、癸醛、壬醛、芳樟醇和香叶基丙酮)具有协同香气贡献作用。由热图可知,葡萄酒中有效香气物质含量在陈酿期间有较大差异,陈酿前期(3~6M)以酯类为主,中期(9M)酯类降低且有机酸、高级醇含量增加,陈酿12M时萜烯类、醛类、高级醇等多种香气含量普遍上升,而随后(15M)又明显下降,由此造成陈酿期间葡萄酒香气特征的差异性;进一步由感官分析表明,经惰性容器陈酿期间,河西走廊赤霞珠干红葡萄酒陈酿12个月时,呈现出浓郁的甜美花果香、烘烤、香料味以及奶酪、咖啡、焦糖等其它风味,具有良好的综合香气品质。

参考文献:

- [1] SÁENZ-NAVAJAS M P, AVIZCURI J M, ECHAVARRI J F, et al. Understanding quality judgements of red wines by experts: Effect of evaluation condition[J]. *Food Qual Prefer*, 2016, 48: 216-227.
- [2] VARELA C, BARKER A, TRAN T, et al. Sensory profile and volatile aroma composition of reduced alcohol Merlot wines fermented with *Metschnikowia pulcherrima* and *Saccharomyces uvarum* [J]. *Int J Food Microbiol*, 2017, 252: 1-9.
- [3] JIANG B, ZHANG Z W. A Preliminary study of aroma composition and impact odorants of Cabernet Franc wines under different terrain conditions of the Loess Plateau Region (China)[J]. *Molecules*, 2018, 23(5): 1096.
- [4] WEI R T, CHEN N, DING Y T, et al. Correlations between microbiota with physicochemical properties and volatile compounds during the spontaneous fermentation of Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) wine[J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2022, 163: 113529.
- [5] PIANO F, PETROZZIELLO M, VAUDANO E, et al. Aroma components and sensory characteristics of Arneis Terre Alferi DOC wines: the concentration of polyfunctional thiols and their evolution in relation to different ageing conditions[J]. *Eur Food Res Technol*, 2014, 239(2): 267-277.

- [6] 马宗恒,李玉梅,李彦彪,等.‘赤霞珠’葡萄在河西走廊产区不同产地的品质分析[J].干旱地区农业研究,2023,41(3):80-87.
- [7] 吕转转,张波,王学庆,等.河西走廊产区“厂”字形整形方式对‘赤霞珠’葡萄与葡萄酒品质的影响[J].食品与发酵工业,2023,49(9):73-81.
- [8] 王学庆.超高压处理对赤霞珠葡萄与葡萄酒挥发性物质的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2023.
- [9] 王诗,王璐璐,赵丹丹,等.甘肃河西走廊产区本土酒球菌对赤霞珠干红葡萄酒香气品质的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(15):245-251.
- [10] 陈学莲,臧伟,刘宇,等.生物动力种植模式对‘赤霞珠’葡萄酒酵母菌群和香气成分的影响[J].食品科学,2023,44(20):136-145.
- [11] LILI Z, SHILI R, XIANGKE Y, et al. Characterization of volatile aroma compounds in litchi (Heiye) wine and distilled spirit[J]. **Food Sci Nutr**, 2021, 9: 5914-5927.
- [12] 易封萍,马宁,朱建才.基于GC-O、OAV及Feller加和模型对酱香型习酒特征香气成分的分析[J].食品科学,2022,43(2):242-256.
- [13] TAO Y S, ZHANG L. Intensity prediction of typical aroma characters of Cabernet Sauvignon wine in Changli County (China)[J]. **LWT-Food Sci Technol**, 2010, 43(10): 1550-1556.
- [14] FORINO M, PICARIELLO L, RINALDI A, et al. How must pH affects the level of red wine phenols[J]. **LWT-Food Sci Technol**, 2020, 129: 109546.
- [15] 赵婷,王珍,侍朋宝,等.机械修剪方式下不同叶幕厚度对晋中地区赤霞珠葡萄酒香气的影响[J].食品科学,2018,39(20):190-196.
- [16] GUTH H. Identification of character impact odorants of different white wine varieties[J]. **J Agr Food Chem**, 1997, 45(8): 3022-3026.
- [17] FERREIRA V, LOPEZ R, CACHO J F. Quantitative determination of the odorants of young red wines from different grape varieties[J]. **J Sci Food Agr**, 2000, 80(11): 1659-1667.
- [18] BENKWITZ F, TOMINAGA T, KILMARTIN P A, et al. Identifying the chemical composition related to the distinct aroma characteristics of New Zealand Sauvignon Blanc wines[J]. **Am J Enol Viticult**, 2012, 63(1): 62-72.
- [19] LAN Y B, XIANG X F, QIAN X, et al. Characterization and differentiation of key odor-active compounds of 'Beibinghong' icewine and dry wine by gas chromatography-olfactometry and aroma reconstitution[J]. **Food Chem**, 2019, 287: 186-196.
- [20] ZHU L X, ZHANG M M, SHI Y, et al. Evolution of the aromatic profile of traditional Msalais wine during industrial production[J]. **Int J Food Prop**, 2019, 22(1): 911-924.
- [21] BELDA I, RUIZ J, ESTEBAN-FERNÁNDEZ A, et al. Microbial contribution to wine aroma and its intended use for wine quality improvement[J]. **Molecules**, 2017, 22(2): 189-217.
- [22] ILC T, WERCK-REICHHART D, NAVROT N. Meta-analysis of the core aroma components of grape and wine aroma[J]. **Front Plant Sci**, 2016, 7(9): 1472-1486.
- [23] RENAULT P, COULON J, DE REVEL G, et al. Increase of fruity aroma during mixed *T. delbrueckii*/*S. cerevisiae* wine fermentation is linked to specific esters enhancement[J]. **Int J Food Microbiol**, 2015, 207: 40-48.
- [24] LI H, TAO Y S, WANG H, et al. Impact odorants of Chardonnay dry white wine from Changli county (China)[J]. **Eur Food Res Technol**, 2008, 227(1): 287-292.
- [25] 谭伟,许明秀,谢思琦,等.‘赤霞珠’‘梅鹿辄’和‘品丽珠’不同营养系果实与葡萄酒挥发性香气成分分析[J].果树学报,2021,38(1):107-120.
- [26] 牛见明,张波,史肖,等.三种澄清方式对‘美乐’甜型桃红葡萄酒品质的影响[J].食品与发酵工业,2019,45(16):128-135.
- [27] LONGO R, CAREW A, SAWYER S, et al. A review on the aroma composition of *Vitis vinifera* L. Pinot noir wines: origins and influencing factors[J]. **Crit Rev Food Sci**, 2020, 61(10): 1589-1604.
- [28] MAYR C M, GEUE J P, HOLT H E, et al. Characterization of the key aroma compounds in Shiraz wine by quantitation, aroma reconstitution, and omission studies[J]. **J Agr Food Chem**, 2014, 62(20): 4528-4536.
- [29] NYANGA L K, NOUT M J, SMID E J, et al. Fermentation characteristics of yeasts isolated from traditionally fermented masau (*Ziziphus mauritiana*) fruits[J]. **Int J Food Microbiol**, 2013, 166: 426-432.
- [30] VENKATACHALAM K, TECHAKANON C, THITITHANAKUL S. Impact of the ripening stage of wax apples on chemical profiles of juice and cider[J]. **ACS Omega**, 2018, 3: 6710-6718.
- [31] 李媛媛,李德美,张亚东,等.赤霞珠干红葡萄酒在不同子产区香气特征的差异[J].食品与发酵工业,2020,46(6):256-262.