

焉耆产区不同树龄马瑟兰葡萄果实及其酿造干红葡萄酒品质分析

蒲富娟¹, 薛洁², 樊哲嘉¹, 于佳俊², 石俊², 许娜¹, 朱嘉伟¹, 王美琪¹, 武运^{1*}

(1.新疆农业大学 食品科学与药学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2.中国食品发酵工业研究有限公司, 北京 100015)

摘要:为明确树龄对新疆焉耆产区‘马瑟兰’葡萄果实及其干红葡萄酒品质的影响,该研究采用常规检测方法、高效液相色谱-三重四极杆质谱(HPLC-QqQ-MS)、气相色谱-质谱联用(GC-MS)技术及感官评价,分析树龄为2、8、9、11、15年的葡萄及其对应干红葡萄酒样的理化指标、花色苷组成、挥发性风味物质及感官品质。结果表明,不同树龄的葡萄果实的理化指标无显著差异($P>0.05$),但所酿造的干红葡萄酒理化指标有明显差异;9年树龄葡萄果实中花翠素类、甲基花翠素类和甲基花青素类单体花色苷含量最高(分别为10.63 mg/kg、16.32 mg/kg和35.77 mg/kg),其酿造干红葡萄酒中的单体花色苷、挥发性风味物质总含量最高(分别为451.2 mg/L、327 mg/L);9年树龄酒样中共检出45种挥发性风味物质,特有、关键挥发性风味物质(OAV ≥ 1)分别为11种、17种。9年树龄酒样感官评分最高(82.0分),酒体呈紫红色,酒体澄清、醇厚协调,具有葡萄酒典型香气。综上,9年树龄葡萄果实酿造干红葡萄酒品质更佳。

关键词:‘马瑟兰’;干红葡萄酒;树龄;花色苷;挥发性风味物质;品质

中图分类号:TS262.6 文章编号:0254-5071(2026)01-0186-10 doi:10.11882/j.issn.0254-5071.2026.01.025

引文格式:蒲富娟,薛洁,樊哲嘉,等.焉耆产区不同树龄马瑟兰葡萄果实及其酿造干红葡萄酒品质分析[J].中国酿造,2026,45(1): 186-195.

Quality analysis of Marselan grape fruit with different tree ages and dry red wine in Yanqi production area

PU Fujuan¹, XUE Jie², FAN Zhejia¹, YU Jiajun², SHI Jun², XU Na¹, ZHU Jiawei¹, WANG Meiqi¹, WU Yun^{1*}

(1.College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2.China National Research Institute of Food and Fermentation Co., Ltd., Beijing 100015, China)

Abstract:To clarify the effect of vine age on the quality of 'Marselan' grapes and their corresponding dry red wines from the Yanqi region of Xinjiang, using conventional detection methods, high-performance liquid chromatography-triple quadrupole mass spectrometry (HPLC-QqQ-MS), gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), and sensory evaluation, the physicochemical indicators, anthocyanin composition, volatile flavor compounds, and sensory quality of grapes from vines aged 2, 8, 9, 11, and 15 years and their corresponding dry red wine samples were analyzed. The results indicated that no significant differences in physicochemical parameters among grape fruits of different vine ages ($P>0.05$), but there were obvious differences in the physicochemical indicators of the dry red wine produced. The contents of monomer anthocyanins including delphinidins, methyl-delphinidins and methylanthocyanins were the highest in the grape fruits from 9-year-old vine (10.63 mg/kg, 16.32 mg/kg and 35.77 mg/kg respectively). The total content of monomer anthocyanins and volatile flavor substances in its dry red wine samples was the highest (451.2 mg/L and 327 mg/L respectively). A total of 45 volatile flavor substances were detected in the wine samples with grapes from 9-year-old vine, among which 11 were unique and 17 were key volatile flavor substances (OAV ≥ 1). The wine samples produced from 9-year-old vine grapes had the highest sensory score (82.0 points), and exhibiting a deep purple-red color with brilliant luster, transparent body, and a rich, elegant bouquet displaying typical wine aromas. In summary, dry red wine produced from 9-year-old vine grapes demonstrated superior quality.

Key words:Marselan; dry red wine; vine age; anthocyanins; volatile flavor compound; quality

焉耆盆地作为新疆乃至中国重要的新兴葡萄酒产区,凭借其得天独厚的光热资源、显著的昼夜温差及适宜的土壤条件,被誉为“黄金产区”^[1]。近年来,该产区在优化葡萄品种、提升葡萄酒品质方面不断探索。其中,马瑟兰(Marselan)作为一款极具潜力的酿酒葡萄品种,因其优异的品质表现而备受焉耆盆地种植者与酿造者的青睐。马瑟兰(赤霞珠与歌海娜杂交选育)完美地融合了赤霞珠的结构感与歌海娜的丰沛果香,表现出良好的抗病性、气候适应性与稳定

的产量,尤其在焉耆盆地这样的干旱半干旱区域,能够发展出深邃的色泽、浓郁复杂的香气(如红色浆果、香料及草本气息)和圆润饱满的口感,被誉为中国葡萄酒“明日之星”,成为提升产区知名度和竞争力的关键品种之一^[2-3]。

在葡萄栽培与葡萄酒酿造学中,树龄被公认为是影响果实及葡萄酒品质的关键因素之一^[4]。不同树龄的酿酒葡萄果实成熟度表现存在差别,并对酿造的葡萄酒造成影响^[5]。酵母菌群影响酒精发酵^[6],进而影响葡萄酒品质。马丽娟

收稿日期:2025-05-06 修回日期:2025-08-30
基金项目:新疆维吾尔自治区科技攻关计划(2023B02027-2);新疆维吾尔自治区重点研发计划项目子课题(2023B02027-1-3)
作者简介:蒲富娟(2000-),女,硕士研究生,研究方向为食品加工与安全。
*通讯作者:武运(1965-),女,教授,硕士,研究方向为农产品加工与资源利用。

等^[7-8]研究表明,在其他栽培管理方式相同的情况下,树龄与果实的指标品质、光合作用有一定关联,3年树龄的葡萄果实单宁与总酚含量较高;10年树龄的葡萄果实可溶性固形物、糖酸比最高。刘宗昭等^[9]研究表明,8年生VSP架型葡萄果实的成熟度明显高于4年生,且最终酿成的葡萄酒品质更好。金宇宁^[10]研究表明,6年生与2年生树龄‘北冰红’的干酒与冰酒中总花色苷含量显著高于其余树龄。综上,研究酿酒葡萄树龄对果实及葡萄酒品质的影响具有重要意义。

本研究以焉耆盆地核心产区不同树龄(2年、8年、9年、11年、15年)的马瑟兰葡萄果实及其酿造的干红葡萄酒为研究对象,通过常规检测方法、高效液相色谱串联三重四级杆质谱(high-performance liquid chromatography-triple quadrupole mass spectrometry, HPLC-QqQ-MS)、气相色谱-质谱联用(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)技术及感官评价,分析不同树龄的葡萄果实及干红葡萄酒样的理化指标、花色苷组成、挥发性风味物质及感官品质。旨在明确树龄对马瑟兰葡萄及其葡萄酒品质的影响机制,为焉耆盆地马瑟兰葡萄的标准化种植、优质原料区的划分提供关键的数据支持和理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 材料

选用不同树龄的‘马瑟兰’葡萄为原料,所有树龄葡萄均采用统一的种植管理方式,于2024年9月份成熟期采摘,包括2022年种植的马瑟兰葡萄(2年树龄)、2016年种植的马瑟兰葡萄(8年树龄)、2015种植的马瑟兰葡萄(9年树龄)、2013种植的马瑟兰葡萄(11年树龄)和2009年种植的马瑟兰葡萄(15年树龄);均来自于新疆焉耆产区乡都酒业有限公司葡萄园。

果穗取样:每个树龄组的地块内,采用“Z”字形法随机选取30株长势均一的葡萄树作为本树,待葡萄果实可溶性固形物浓度达到23 °Brix以上时,从曝光面与背光面随机采摘果穗,每个树龄设置3组生物学平行,采集样品立即放入装有冰袋的保温箱中运回实验室待检。所有样品于2024年9月采摘。

果实取样:采用分层随机取样法获取果实样本。按果穗曝光面上、中、下部各取1粒,背光面中部取2粒的标准,单穗采集5粒浆果。每个生物学重复采集500粒浆果,其中100粒用于理化指标的检测检测,其余400粒经液氮速冻后转移至-80 °C超低温冰箱保存。

1.1.2 试剂

无水乙醇(色谱纯)、2-辛醇、氯化钠(均为分析纯);天津大茂化学试剂厂;甲醇、甲酸、乙腈(均为色谱纯)、二甲花翠素-3-O-葡萄糖苷标准品(纯度>98%):美国Sigma-Aldrich公司;葡萄酒活性干酵母CECA:安琪酵母有限公司。

1.2 仪器与设备

RN-36旋转蒸发器:上海安亭生化仪器厂;SHD-III循环水式多用真空泵:美国Milipore公司;Sigma1-16高速冷冻离心机:奥斯特罗德分公司;FTIR Lyza 5000 Wine葡萄酒自动分析仪:奥地利Anton Paar公司;Agilent 7890B-5977B气相色谱-质谱联用仪、30 μm DVB 萃取头、Agilent1200高效液相色谱串联三重四级杆质谱仪(HPLC-QqQ-MS)、Kromasil 100-5C₁₈色谱柱(250 mm×4.6 mm, 2.7 μm):安捷伦科技(中国)有限公司。

1.3 方法

1.3.1 干红葡萄酒的酿造

以不同树龄马瑟兰葡萄为原料,采用传统酿造方法酿造干红葡萄酒^[11]。分选采摘的可溶性固形物浓度达23 °Bx以上的葡萄果实,除去病果、烂果、生青果和其他杂物;对分选完成的葡萄进行除梗破碎,除梗破碎后添加偏重亚硫酸钾,使SO₂质量浓度为50 mg/L;活化后酵母添加量为400 mg/L(采用酵母干质量40倍的2%的蔗糖水溶液在35~40 °C的温度条件下活化20~30 min),酒精发酵温度25 °C,发酵期间实时监测发酵醪液的温度和比重,当比重下降到0.996左右、残糖量<4 g/L时酒精发酵结束,使用虹吸法分离上清汁室温密封贮存,即得干红葡萄酒成品。

1.3.2 葡萄果实及干红葡萄酒基本理化指标

可滴定酸、可溶性固形物、总糖、pH、残糖、总多酚、丙三醇、挥发酸含量、酒精度:均采用葡萄酒自动分析仪测定。

1.3.3 葡萄果实及干红葡萄酒花色苷含量测定

采用HPLC-QqQ-MS测定葡萄果实及干红葡萄酒样花色苷^[12]。

葡萄果实预处理:从-80 °C冰箱取出经冷冻的果实,称取600 g葡萄浆果,去除果梗、果蒂后记录浆果数量并称其质量,手工分离果皮和种子,称果皮和种子的鲜质量。将果皮和种子在液氮保护状态下研磨成粉末,冷冻干燥至恒质量。花色苷的提取参考胡雨等^[13]的方法。称取0.1 g果皮冻干粉,加入1 mL的50%的甲醇水溶液(V/V),低温避光超声(5 °C、100 W;40 kHz)20 min,4 °C条件下8 000 r/min离心10 min,取上清液;残渣重复上述步骤,将两次提取液合并,保存于-40 °C冰箱,样品在检测前使用0.22 μm尼龙滤膜过滤。

干红葡萄酒样预处理:葡萄酒样品过0.45 μm滤膜后直接测定。

HPLC-QqQ条件:流动相A为水:甲酸:乙腈=92:2:6(V/V);流动相B为水:甲酸:乙腈=44:2:54(V/V);洗脱条件为:0~1 min,1%~10% B,1~18 min,10%~25% B,18~20 min,25%~25% B,20~30 min,25%~40% B,30~35 min,40%~70% B,35~40 min,70%~100% B。流速1.0 mL/min;进样量30 μL;柱温50 °C;检测波长525 nm。

MS条件:采用电喷雾离子(electrospray ionization, ESI)源,正离子模式,离子源温度为150 °C,干燥气温度为350 °C,

流量为12 L/h。

定性定量分析:使用根据标准品优化的自建质谱库离子信息进行定性;利用外标法定量,其含量以二甲花翠素-3-O-葡萄糖苷当量表示。

1.3.4 葡萄果实及干红葡萄酒挥发性风味物质分析

采用顶空固相微萃取(HS-SPME)联合气质联用(GC-MS)技术测定葡萄果实中的挥发性风味物质。采用液液萃取(liquid-liquid extraction,LLE)-气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)分析干红葡萄酒的挥发性风味物质,以2-辛醇(120 mg/L)作为内标。

葡萄果实预处理:称取20 g葡萄果实进行除梗破碎后取自流汁过滤,进行检测。HS-SPME条件:在10 mL顶空进样瓶中加入5 mL葡萄汁、2 g NaCl,将样品瓶在恒温条件下振荡15 min,使用30 μm DVB萃取头萃取,萃取前将萃取头老化2 h,样品萃取40 min,每个样品重复3次取平均值。

干红葡萄酒LLE条件:取200 mL干红葡萄酒样品分别用100 mL、80 mL、60 mL重蒸二氯甲烷萃取3次合并有机相,浓缩至5 mL后用无水硫酸钠脱水,待测^[14]。GC、MS检测条件相同。

GC条件:DB-WAX 色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm);载气为高纯氦气(He)(纯度≥99.99%);流速1 mL/min;0.5 min前不分流,1 min后分流比为10:1;程序升温条件为初始温度45 ℃保持2 min,以4 ℃/min升温至230 ℃,保持7 min;进样口温度230 ℃。

MS条件:电子电离(electronic ionization,EI)源,离子源温度230 ℃;离子源电压450 V;传输线温度230 ℃;电子能量70 eV;质量扫描范围为29~300 amu。

葡萄果实、干红葡萄酒的挥发性风味物质GC-MS检测条件相同。

定性定量分析:采用美国国家标准技术研究院(national institute of standards and technology,NIST)70质谱数据库检索,并结合标准物质的保留指数及保留时间,选取匹配度>80%对挥发性风味物质进行定性分析。采用内标法进行定量分析。

1.3.5 香气活度值的计算

香气活度值(odor activity value,OAV)是单一香气物质质量浓度与该化合物气味阈值的比值,用于评价香气物质对葡萄酒整体香气贡献程度的指标^[15],OAV越大则说明该物质对总体香气贡献越大^[16]。一般OAV≥1的物质对葡萄酒香气具有直接贡献,为关键挥发性风味物质,OAV>10的物质对葡萄酒香气贡献极大,为特征挥发性风味物质^[17-18]。

1.3.6 感官评价

品评小组由10位国家级葡萄酒品酒师组成,分别从色泽、澄清度、香气、滋味和典型性5个方面对干红葡萄酒进行感官评价^[19],干红葡萄酒感官评价标准见表1。

表1 干红葡萄酒感官评价标准
Table 1 Sensory evaluation criteria of dry red wine

项目	感官特征	评分/分
色泽 (10分)	呈紫红色,富有光泽,酒体透亮	7~10
	呈宝石红色,具有光泽,整体较为协调,较为透亮	4~6
	呈暗红色,不具备色泽,不透亮	0~3
澄清度 (10分)	澄清透明,无悬浮物	7~10
	略微暗淡,无明显悬浮物	4~6
	暗淡无光,有悬浮物	0~3
香气 (30分)	香气丰满优雅,具有葡萄酒典型香气	20~30
	具有葡萄酒香气,味道淡,无异香	10~19
	不具有葡萄酒香气,有异香	0~9
滋味 (30分)	酒体醇厚协调、回味绵长	26~30
	酒体酸涩适中,柔和爽口	19~25
	酒体略显单薄,口味较纯正	9~18
	酒体寡淡、口感差、柔和度低	0~8
典型性 (20分)	具有明显典型性、优雅无缺、风味独特	16~20
	典型性较好、有独特风味	10~15
	典型性一般、不够优雅	6~9
	不具有明显典型性	0~5

1.3.7 数据处理

采用Origin 2021软件作图,SPSS 27.0软件处理数据,采用单因素方差分析(analysis of variance,ANOVA) Duncan's法进行多重比较及检验, $P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同树龄‘马瑟兰’葡萄果实及干红葡萄酒基础理化指标分析

不同树龄葡萄果实及干红葡萄酒酒样基础理化指标检测结果见表2。由表2可知,不同树龄葡萄果实的可滴定酸含量、可溶性固形物含量、总糖和pH值范围分别为4.13~4.99 g/L、270.65~319.65 g/L、24.29~28.67 °Brix和4.03~4.16,均无显著差异($P>0.05$)。其中2年树龄葡萄果实可滴定酸含量最高,总糖含量最低。5种干红葡萄酒酒样的酒精度、pH、挥发酸等常规理化指标均符合GB/T 15037—2006《葡萄酒》(酒精度≥7%vol,残糖≤4.0 g/L、挥发酸≤1.20 g/L),可溶性固形物和丙三醇含量无显著差异(35.67~43.10 g/L,8.43~9.40 g/L)($P>0.05$),15年树龄酒样可滴定酸含量最高(6.05 g/L),可溶性固形物含量(35.67 g/L)和残糖含量最低(1.17 g/L);8年树龄的酒样pH值(3.77)、酒精度(14.24%vol)最高;2年树龄的酒样酒精度最低(11.56%vol),可溶性固形物(43.10 g/L)含量最高;9年、11年树龄干红葡萄酒样总多酚含量较高。因此,不同树龄的葡萄果实的理化指标在统计学上没有显著差异($P>0.05$),但所酿造的干红葡萄酒理化指标有所区别。

表2 不同树龄葡萄果实及干红葡萄酒样基础理化指标检测结果
Table 2 Detection results of basic physicochemical indicators of grape fruits and dry red wine samples of different tree ages

时期	指标	树龄/年				
		2	8	9	11	15
果实	可滴定酸/(g·L ⁻¹)	4.99±0.16a	4.13±0.11a	4.14±0.08a	4.38±0.22a	4.19±0.33a
	可溶性固形物含量/(g·L ⁻¹)	270.65±5.85a	305.70±15a	314.50±13.5a	319.65±5.25a	305.10±16.00a
	pH值	4.03±0.01a	4.16±0.06a	4.06±0.08a	4.04±0.05a	4.06±0.03a
	总糖/°Brix	24.29±0.52a	27.40±1.32a	28.17±1.22a	28.67±0.47a	27.36±1.42a
干红葡萄酒	可滴定酸/(g·L ⁻¹)	5.69±0.12b	5.35±0.01c	5.62±0.05b	5.65±0.00b	6.05±0.02a
	可溶性固形物含量/(g·L ⁻¹)	43.10±5.67a	37.87±0.09a	40.00±1.35a	40.90±0.06a	35.67±0.03a
	pH值	3.67±0.01c	3.77±0.00a	3.69±0.01bc	3.72±0.00b	3.69±0.01bc
	残糖/(g·L ⁻¹)	2.50±0.00b	3.43±0.03a	3.20±0.35a	3.50±0.00a	1.17±0.03c
	总多酚/(g·L ⁻¹)	2.60±0.05bc	2.50±0.01c	2.78±0.10ab	2.93±0.02a	2.77±0.02ab
	酒精度/%vol	11.56±0.20b	14.24±0.02a	13.28±0.84a	14.01±0.02a	13.85±0.02a
	丙三醇/(g·L ⁻¹)	9.07±0.42a	8.43±0.07a	9.20±0.25a	9.40±0.06a	9.37±0.09a
	挥发酸/(g·L ⁻¹)	0.48±0.07c	0.75±0.01a	0.59±0.04b	0.59±0.01b	0.64±0.00ab

注:同列不同小写字母表示差异显著(P<0.05),下同。

2.2 不同树龄‘马瑟兰’葡萄果实及干红葡萄酒花色苷组分及含量分析

不同树龄葡萄果实的花色苷组分成分及含量分析见表3。由表3可知,不同树龄葡萄果实共检出15种花色苷单体,包括二甲花翠素类3种、花青素类3种、花翠素类3种、甲基花翠素类3种和甲基花青素类3种花色苷。不同树龄葡萄果实总花色苷含量范围为167.59~382.44 mg/kg,其中8年树龄葡萄果实的总花色苷含量最高,为382.44 mg/kg;15年

树龄葡萄果实中的总花色苷含量最低,为167.59 mg/kg。随着葡萄树龄的增长,植株的生长逐渐趋于稳定。在幼龄阶段,葡萄树的生长主要集中在根系和茎叶的发育上,花色苷的合成可能受到限制。而在中龄阶段,葡萄树的生长趋于平衡,光合作用和营养物质的积累达到高峰,为花色苷的合成提供了充足的原料,在老龄阶段,葡萄树的各种生命活动降低,这可能导致在一定树龄范围内,葡萄果实中的花色苷含量呈先上升后下降的趋势^[20-23]。

表3 不同树龄葡萄果实的花色苷组分及含量分析
Table 3 Analysis of anthocyanin components and contents in grape fruits with different vine ages

花色苷组分	树龄/年				
	2	8	9	11	15
二甲花翠素-3-O-葡萄糖苷	138.91±1.38b	203.73±0.62a	204.13±0.09a	199.00±3.41a	85.03±7.06c
二甲花翠素-3-O-香豆酰化葡萄糖苷	17.03±0.02d	51.18±0.04a	17.90±0.01c	34.95±0.37b	5.74±0.20e
二甲花翠素-3-O-乙酰化葡萄糖苷	54.44±0.23d	102.10±0.37a	70.16±0.80c	82.70±1.49b	52.91±2.28d
二甲花翠素类	210.38±5.17d	357.01±9.05a	292.19±7.13c	316.65±8.71b	143.68±3.64e
花翠素-3-O-葡萄糖苷	2.34±0.01d	2.71±0.00d	8.73±0.03a	5.15±0.11b	4.17±0.45c
花翠素-3-O-香豆酰化葡萄糖苷	0.43±0.01d	0.70±0.00b	0.63±0.00c	0.73±0.01a	0.15±0.01e
花翠素-3-O-乙酰化葡萄糖苷	0.40±0.00c	0.44±0.00c	1.27±0.00a	0.81±0.01b	0.84±0.05b
花翠素类	3.17±0.02e	3.85±0.02d	10.63±0.07a	6.69±0.05b	5.16±0.05c
花青素-3-O-葡萄糖苷	0.52±0.00c	0.38±0.00d	1.98±0.00a	0.75±0.01b	0.67±0.07b
花青素-3-O-香豆酰化葡萄糖苷	0.12±0.00d	0.14±0.00c	0.25±0.00a	0.19±0.00b	0.05±0.00e
花青素-3-O-乙酰化葡萄糖苷	0.10±0.00d	0.06±0.00e	0.33±0.00a	0.15±0.00c	0.17±0.01b
花青素类	0.74±0.01d	0.58±0.01e	2.56±0.01a	1.09±0.01b	0.89±0.01c
甲基花翠素-3-O-葡萄糖苷	3.97±0.02d	4.83±0.00c	11.11±0.00a	7.29±0.10b	3.65±0.35d
甲基花翠素-3-O-香豆酰化葡萄糖苷	0.95±0.01d	1.71±0.01b	1.53±0.01c	1.80±0.02a	0.27±0.01e
甲基花翠素-3-O-乙酰化葡萄糖苷	1.32±0.01e	1.55±0.01d	3.68±0.03a	2.53±0.03b	1.78±0.07c
甲基花翠素类	6.24±0.03d	8.09±0.06c	16.32±0.17a	11.62±0.15b	5.70±0.01e
甲基花青素-3-O-葡萄糖苷	7.83±0.01c	7.34±0.03c	26.44±0.09a	10.80±0.14b	8.45±0.95c

续表

花色苷组分	树龄/年				
	2	8	9	11	15
甲基花青素-3-O-香豆酰化葡萄糖苷	1.56±0.00c	2.52±0.02b	2.98±0.01a	3.00±0.04a	0.70±0.03d
甲基花青素-3-O-乙酰化葡萄糖苷	2.79±0.02c	3.05±0.01c	6.35±0.05a	3.72±0.07b	3.71±0.26b
甲基花青素类	12.18±0.05d	12.91±0.03c	35.77±0.21a	17.52±0.12b	12.86±0.07c
合计	232.71±1.72c	382.44±1.11a	357.47±1.12b	353.57±5.54b	167.59±11.8d

花翠素类、甲基花翠素类和甲基花青素类单体花色苷含量在9年树龄葡萄果实中最高,分别为10.63 mg/kg、16.32 mg/kg和35.77 mg/kg,其中花翠素-3-O-葡萄糖苷、花翠素-3-O-乙酰化葡萄糖苷、甲基花翠素-3-O-葡萄糖苷、甲基花翠素-3-O-乙酰化葡萄糖苷、甲基花青素-3-O-葡萄糖苷、甲基花青素-3-O-乙酰化葡萄糖苷在9年树龄葡萄果实中的含量均显著高于其余4个树龄($P<0.05$),这表明树龄为9年左右时,葡萄的生理代谢处于一个高峰阶段,能够有效地合成和积累这些特定类型的花色苷物质,而15年树龄葡萄果实中二甲花翠素类花色苷含量最低,2年树龄葡萄果实中花翠素类花色苷的含量最低,8年树龄葡萄果实中花青素类花色苷含量最低。综上,9年树龄葡萄果实中花色苷的积累量最高。不同树龄干红葡萄酒花色苷组分及含量见表4。由表4

可知,在干红葡萄酒中检出单体花色苷与果实中一致。9年树龄干红葡萄酒中的总单体花色苷含量最高,为451.2 mg/L,8年树龄干红葡萄酒中的含量最低,为358.33 mg/L。9年树龄果实中单体花色苷总含量为357.47 mg/L,但其葡萄酒中单体花色苷保留率高达79.22%,优于其余4个树龄,这可能是因为9年树龄果实果皮细胞壁结构疏松,使花色苷在浸渍过程中得以高效溶出^[24]。聚合花色苷组分可反映树龄间陈酿潜力的差异,11年树龄干红葡萄酒中的总聚合花色苷含量为285.92 mg/L,显著高于其他4个树龄,这表明11年树龄干红葡萄酒可能有更强的色泽稳定性^[25];15年树龄干红葡萄酒的总聚合花色苷含量最低,为144.44 mg/L。综上,9年树龄干红葡萄酒单体花色苷积累量最高,颜色最深,11年树龄酒样陈酿性能最佳,增强色泽稳定性。

表4 不同树龄葡萄果实酿造干红葡萄酒花色苷组分及含量分析
Table 4 Analysis of anthocyanin components and contents in dry red wines brewed with grape fruits with different vine ages

花色苷组分	树龄/年					mg/L
	2	8	9	11	15	
二甲花翠素-3-O-葡萄糖苷	249.13±0.42d	246.47±0.02e	271.71±0.09b	252.74±0.16c	275.99±0.84a	
二甲花翠素-3-O-香豆酰化葡萄糖苷	17.56±0.02d	14.93±0.01e	26.49±0.09a	19.76±0.01c	20.40±0.16b	
二甲花翠素-3-O-乙酰化葡萄糖苷	107.19±0.44b	81.26±0.16e	111.59±0.23a	98.96±0.18d	102.78±0.76c	
二甲花翠素类	373.88±1.27c	261.40±0.74e	409.79±2.06a	371.46±1.32d	399.17±1.53b	
花翠素-3-O-葡萄糖苷	2.48±0.00d	1.54±0.01e	6.15±0.02a	5.37±0.01c	5.98±0.01b	
花翠素-3-O-香豆酰化葡萄糖苷	0.43±0.01b	0.26±0.01d	0.52±0.01a	0.41±0.00c	0.45±0.01b	
花翠素-3-O-乙酰化葡萄糖苷	0.98±0.01d	0.43±0.00e	1.50±0.02b	1.31±0.01c	1.64±0.01a	
花翠素类	3.89±0.01d	2.23±0.01e	8.17±0.02a	7.09±0.01c	8.07±0.02b	
花青素-3-O-葡萄糖苷	0.08±0.01c	0.07±0.00c	0.28±0.00b	0.28±0.01b	0.57±0.01a	
花青素-3-O-香豆酰化葡萄糖苷	0.10±0.00d	0.07±0.00e	0.19±0.01b	0.15±0.00c	0.24±0.00a	
花青素-3-O-乙酰化葡萄糖苷	0.14±0.00d	0.08±0.00e	0.30±0.00b	0.27±0.01c	0.56±0.01a	
花青素类	0.32±0.01c	0.22±0.01d	0.77±0.01b	0.70±0.01b	1.37±0.02a	
甲基花翠素-3-O-葡萄糖苷	6.61±0.06d	4.88±0.00e	12.23±0.01b	10.76±0.01c	12.97±0.11a	
甲基花翠素-3-O-香豆酰化葡萄糖苷	0.93±0.02d	0.57±0.00e	1.41±0.01a	1.14±0.01c	1.20±0.00b	
甲基花翠素-3-O-乙酰化葡萄糖苷	2.31±0.02d	1.23±0.02e	3.50±0.01b	2.96±0.02c	4.19±0.03a	
甲基花翠素类	9.85±0.01d	6.68±0.01e	17.14±0.02b	14.86±0.02c	18.36±0.02a	
甲基花青素-3-O-葡萄糖苷	2.68±0.01e	2.86±0.00d	6.71±0.00b	6.34±0.01c	9.58±0.08a	
甲基花青素-3-O-香豆酰化葡萄糖苷	1.50±0.01d	1.10±0.01e	2.54±0.01b	2.04±0.02c	2.82±0.02a	
甲基花青素-3-O-乙酰化葡萄糖苷	3.89±0.01d	2.64±0.00e	6.12±0.02b	5.43±0.01c	8.03±0.06a	
甲基花青素类	8.07±0.01d	6.60±0.01e	15.37±0.02b	13.81±0.02c	20.43±0.03a	
单体花色苷总含量	395.98±1.04d	358.33±0.24e	451.20±0.53a	407.90±0.47c	447.37±2.11b	
聚合花色苷总含量	260.82±0.58c	271.03±0.08b	170.76±0.21d	285.92±0.17a	144.44±1.32e	

2.3 不同树龄‘马瑟兰’干红葡萄酒挥发性风味物质分析

不同树龄干红葡萄酒中挥发性风味物质组成及含量见表5。由表5可知,5个树龄干红葡萄酒共检出挥发性风味物质89种,包括醇类31种、酸类8种、酯类31种、醛酮类10种和其他类9种,其中2年、8年、9年、11年及15年树龄葡萄酒样中检测到的挥发性风味物质种类分别为48种、43种、45种、36种、38种。醇类和酯类在葡萄酒挥发性风味物质中的占比最高。5种酒样共有的挥发性风味物质有20种,包括酯类7种、醇类8种、酸类1种、醛酮类2种和其他类2种。9年树龄干红葡萄酒中挥发性风味物质总含量最高,为327 019.67 μg/L,特有挥发性风味物质有11种,其中甲酸庚酯和γ-丁内酯含量较高,可为葡萄酒带来清新的水果香气及丰富醇厚的奶油香;其次为2年树龄干红葡萄酒,含量为313 980.39 μg/L,

特有挥发性风味物质15种,其中醋酸含量较高,为酒体带来酸味;8年树龄干红葡萄酒挥发性风味物质总含量为281 428.10 μg/L,特有挥发性风味物质10种,其中乳酸异戊酯和对羟基肉桂酸乙酯含量较高,乙酯类物质为酒体带来较强的果香风味;11年树龄干红葡萄酒挥发性风味物质总含量为264 303.93 μg/L,特有挥发性风味物质5种,其中苯甲酸甲酯和乙二醇二甲基丙烯酸酯含量较高,会为酒体带来甜味和果香味;15年树龄干红葡萄酒中的风味物质总含量最低,为245 710.4 μg/L,特有挥发性风味物质有6种,其中乳酸乙酯含量较高,会为葡萄酒带来热带水果香^[26-30]。且在不同种类的风味物质上,其含量与种类受到葡萄树龄的显著影响。综上,9年树龄干红葡萄酒中挥发性风味物质含量最高且物质种类较丰富,香气复杂浓郁。

表5 不同树龄葡萄果实酿造干红葡萄酒中挥发性风味物质含量气相色谱-质谱分析
Table 5 Contents of volatile flavor components in dry red wines brewed with grape fruits with different vine ages analysis by GC-MS

序号	化合物	树龄/年				
		2	8	9	11	15
1	异戊醇	154 695.92±1007.82b	120 669.29±1040.59d	155 264.74±1009.06a	135 363.76±1032.65c	111 656.34±1062.13e
2	(S)-(+)-3-甲基-戊醇	255.24±8.42a	-	-	-	92.76±2.78b
3	2-庚醇	485.93±16.23a	104.35±2.55e	332.06±10.67c	422.53±5.33b	130.24±3.14d
4	己醇	3 109.24±27.64c	3 404.68±24.28b	2 530.84±22.31a	2 530.84±29.93d	1 834.73±22.55e
5	正庚醇	2 972.05±22.05a	1 276.33±24.31c	-	1 299.35±22.47b	904.32±14.28d
6	2-丙基-1-戊醇	-	-	-	-	133.15±3.51a
7	2-壬基醇	677.23±22.69a	364.76±2.69c	580.83±9.12b	221.02±1.03d	173.05±2.19e
8	3-甲硫基丙醇	2 156.98±27.46b	573.82±9.34d	3 265.56±32.33a	1 328.94±10.20c	419.61±2.60e
9	2-癸醇	690.63±3.93b	162.27±2.74d	753.32±5.86a	332.62±3.42c	125.12±1.69e
10	苯甲醇	785.03±2.18b	-	1 085.26±9.34a	-	614.25±5.50c
11	苯乙醇	89 641.32±166.51c	70 661.29±138.54e	115 161.50±2131.05a	90 67.13±150.85b	86 415.79±170.02d
12	对羟基苯乙醇	4 287.25±6.97a	373.46±2.73d	877.79±4.60c	990.21±7.71b	196.48±4.21e
13	色醇	9 138.67±119.52b	31 827.89±121.55a	2 781.73±119.53d	-	6 255.94±110.25c
14	4-甲基-1-戊醇	88.22±1.52	-	-	88.06±1.29a	-
15	3,4,5-三甲氧基苄醇	-	-	141.71±1.55a	69.38±0.58b	-
16	4-甲基-2-戊醇	-	-	245.06±1.05a	-	-
17	异戊烯醇	-	-	102.62±0.70a	-	-
18	叶醇	117.38±2.75b	-	818.74±26.98a	-	-
19	环辛醇	117.80±0.75a	-	101.98±0.78b	-	-
20	3-戊烯-2-醇	-	49.06±0.16a	-	-	-
21	2-甲基癸醇	-	171.66±1.98a	-	-	-
22	2-甲基十一烷-2-硫醇	-	34.43±0.23a	-	-	-
23	3-苯基丁-2-醇	-	181.66±1.88a	-	-	-
24	戊醇	95.48±0.41a	-	-	-	-
25	环丙基甲基甲醇	334.75±8.83a	-	-	-	-
26	叔戊醇	79.36±0.58a	-	-	-	-
27	2-己醇	505.26±2.02a	-	-	-	-
28	3-甲基-3-丁烯-1-醇	170.75±0.82a	-	-	-	-
29	反式-3-己烯-1-醇	90.43±0.41a	-	-	-	-

续表						
序号	化合物	树龄/年				
		2	8	9	11	15
30	(E)-4-己烯-1-醇	110.59±0.66a	-	-	-	-
31	α-松油醇	76.30±1.06a	-	-	-	-
	醇类小计	270 681.81±1 098.38b	229 854.95±1 753.98d	284 043.74±1 476.18a	233 320.84±1 109.37c	208 951.78±1 832.03e
32	乙酸异丁酯	98.48±0.70a	-	-	-	50.83±0.26b
33	丁酸乙酯	357.64±3.88a	-	-	-	232.03±1.96b
34	乙酸异戊酯	3 457.41±12.13a	889.61±1.16e	2 561.05±10.94b	1 230.41±12.28c	978.85±9.36d
35	正己酸乙酯	966.22±4.39a	330.78±1.80c	949.21±6.09b	286.61±2.01d	210.53±2.17e
36	梨醇酯	-	-	-	-	121.37±0.95a
37	L(-)-乳酸乙酯	3 249.65±9.04d	8 020.99±9.93a	4 384.41±7.42b	3 853.68±6.46c	1 896.97±9.54e
38	(Z)-2-戊烯醇乙酸酯	-	-	-	-	137.59±0.67a
39	甲酸己酯	-	-	-	-	87.28±0.52a
40	乳酸乙酯	-	-	-	-	1 903.38±4.06a
41	辛酸乙酯	1 941.57±4.94a	383.77±2.67c	803.39±3.45b	362.46±2.04d	273.26±3.02e
42	3-羟基丁酸乙酯	342.14±2.20d	441.99±3.93c	803.23±7.53a	454.43±6.33b	230.18±1.47e
43	4-羟基丁酸乙酯	5 234.46±71.06b	-	-	5 648.45±81.71a	3 317.99±67.19c
44	丁二酸二乙酯	742.94±8.49a	664.54±5.56b	566.91±3.54d	633.18±8.29c	465.86±4.31e
45	1,3-丙二醇二乙酸酯	2 663.39±14.36a	1 844.36±4.2b	1 841.94±8.74b	1 346.14±6.38c	769.17±2.71d
46	甲基4-羟基丁酸酯	-	-	240.11±2.89a	-	172.88±1.8b
47	9-十六碳烯酸乙酯	-	-	-	90.65±0.81a	11.27±0.13b
48	香草酸乙酯	-	220.43±1.92c	562.15±2.19a	243.71±1.53b	58.90±0.36d
49	苯甲酸甲酯	-	-	-	5 082.20±15.92a	-
50	苯乙酸甲酯	-	-	-	735.12±4.16a	-
51	4-乙酰氧基丁酸乙酯	-	-	241.70±2.36a	109.10±2.05b	-
52	乙二醇二甲基丙烯酸酯	-	-	-	3 948.71±23.91a	-
53	丙酮酸乙酯	-	-	357.22±2.89a	-	-
54	甲酸庚酯	-	805.40±5.17b	2 334.51±16.94a	-	-
55	γ-丁内酯	21 354.46±137.45a	9 129.59±88.82c	17 168.15±30.77b	-	-
56	癸酸乙酯	-	103.44±1.13b	538.20±3.38a	-	-
57	丙酸(反-2-己烯基)酯	-	-	281.87±1.38a	-	-
58	十四酸乙酯	-	-	90.45±0.67a	-	-
59	N-丁酸(反-2-己烯基)酯	-	-	155.78±1.46a	-	-
60	乳酸异戊酯	-	1 975.41±10.48a	-	-	-
61	对羟基肉桂酸乙酯	-	1 585.03±5.49a	-	-	-
62	异戊酸乙酯	14.07±0.05a	-	-	-	-
	酯类小计	30 422.43±263.98b	26 395.34±308.74c	33 880.28±753.94a	24 024.85±326.38d	10 918.34±293.84e
63	异丁酸	2 653.16±1.37a	388.45±3.39d	768.03±7.42b	555.37±8.63c	232.66±3.02e
64	2-甲基己酸	3 465.60±16.55a	840.86±7.335d	2 668.21±13.38b	1 729.04±8.17c	-
65	己酸	-	304.90±1.47b	-	414.95±2.36a	-
66	辛酸	-	440.90±6.24b	871.14±7.05a	282.75±2.43c	-
67	醋酸	2 888.34±12.28a	-	-	-	-
68	丁酸	569.16±4.11a	-	-	-	-
69	3-甲基十二酸	694.02±7.84a	-	-	-	-
70	3-羟基月桂酸	-	-	-	-	51.55±0.31a
	酸类小计	10 261.28±574.26a	1 975.11±32.74d	4 307.38±128.35b	2 982.11±59.86c	384.21±72.34e
71	3-羟基-2-丁酮	935.53±7.86c	2 022.42±11.48a	720.99±5.65d	2 041.34±13.11a	1 228.80±9.95b

续表						
序号	化合物	树龄/年				
		2	8	9	11	15
72	仲辛酮	768.76±7.39b	457.06±3.61d	932.98±9.67a	682.64±4.44c	386.70±3.05e
73	2-羟基-3-戊酮	-	375.19±3.84a	361.06±1.47b	-	120.61±0.89c
74	苯乙醛	-	72.42±1.57c	1 260.55±9.93a	479.13±2.65b	-
75	正己醛	-	-	63.62±1.26a	-	-
76	对羟基苯甲醛	-	-	84.38±0.81a	-	-
77	壬醛	-	90.92±0.80a	-	-	-
78	4-羟基-2'-甲基苯乙酮	-	108.55±1.47a	-	-	-
79	二氢-2-甲基-3(2H)-噻吩酮	115.04±1.16a	-	-	-	-
80	2,3-戊二酮	54.29±0.32a	-	-	-	-
	醛酮类小计	1 873.62±27.43d	3 125.84±29.74c	3 423.58±35.28a	3 203.11±32.26b	1 736.11±29.38e
81	2-甲基四氢噻吩	-	18 903.35±109.3a	-	-	23 426.20±155.59a
82	2,4-二叔丁基苯酚	710.88±0.96d	782.67±1.80c	1 232.26±2.46b	1 671.49±3.58a	207.29±1.30e
83	2,5-二氢噻吩	688.82±3.18a	604.11±1.75b	501.11±1.21d	589.81±1.25c	293.76±2.06e
84	3,4,5-三甲氧基苯酚	-	-	-	71.46±1.08a	-
85	丙烯酸二十二烷酯	-	-	647.84±3.30a	111.75±1.18b	-
86	1-乙酸二十六烷基酯	-	-	215.74±1.21a	-	-
87	2-甲基十一烷-2-硫醇	-	34.50±0.29a	-	-	-
88	NA,NΩ-二苯氧羰基-L-精氨酸	-	534.90±6.21a	-	-	-
89	对羟基苯乙烯	53.27±0.53a	-	-	-	-
	其他类小计	741.21±23.48d	20 076.86±189.37b	1 364.69±26.26c	773.02±7.34c	23 719.96±206.29a
	合计	313 980.39±1 482.87b	281 428.10±1 209.37c	327 019.67±1 582.83a	264 303.93±1 234.87d	245 710.40±1 137.34e

注:“-”表示未检出,下同。

不同树龄干红葡萄酒中关键挥发性风味物质见表6。由表6可知,关键挥发性风味物质(OAV≥1)共检出29种。关键挥发性香气物质(OAV≥1)在2年、8年、9年、11年、15年树龄干红葡萄酒中分别为18种、13种、17种、14种、10种。共有关键挥发性香气物质(OAV≥1)4种,分别为异戊醇、己醇、苯乙醇、3-羟基-2-丁酮。苯乙醇具有玫瑰花和丁香花味,使酒体呈现出浓郁的花香^[17]。特征挥发性风味物质(OAV>10)为丁酸乙酯、乙酸异戊酯、2-甲基己酸、苯乙醛、壬醛。正庚醇在不同树龄干红葡萄酒中表现差异较大,其在2年树龄葡萄酒中为特征挥发性风味物质,在8年、11年、15年树龄葡萄酒中为关键挥发性风味物质,而在9年树龄葡萄酒中未检出,在葡萄酒中的香气表现主要体现为强烈而愉悦的甜香特征,具体如草莓、覆盆子菠萝等水果香气。丁酸乙酯为2年和15年树龄干红葡萄酒共有特征挥发性香气物质,在酒体中主要表现为草莓、苹果、香蕉味;乙酸异戊酯为8年、9年、11年、15年树龄干红葡萄酒共有关键挥发性香气物质,在酒体中主要表现为热带果香和香蕉味;2-甲基己酸为2年、8年、9年、11年树龄干红葡萄酒共有关键挥发性香气物质;苯乙醛为8年、9年、11年树龄葡萄酒共有关键性挥发性香气物质,在酒体中主要表现为杏仁、水果味;壬醛为8年树龄葡萄酒特有特征挥发性香气物质,在

酒体中主要表现为青草、水果、花香味;叶醇为2年、9年树龄干红葡萄酒共有关键挥发性香气物质,其在9年树龄酒样中OAV>10,为酒体带来青草、绿茶和花香味^[28-31]。综上,9年树龄葡萄酒中关键挥发性香气物质表现较好。

表6 不同树龄葡萄果实酿造干红葡萄酒中关键挥发性风味物质
Table 6 Key volatile flavor compounds in dry red wines brewed with grape fruits with different vine ages

序号	化合物	树龄/年					阈值 ^[28-31] / (μg·L ⁻¹)
		2	8	9	11	15	
1	异戊醇	5.16	4.02	5.18	4.51	3.72	30 000
2	2-庚醇	2.43	0.52	1.66	2.11	0.65	200
3	己醇	2.83	3.10	2.30	2.30	1.67	1 100
4	正庚醇	14.86	6.38	-	6.50	4.52	200
5	3-甲硫基丙醇	4.31	1.15	6.53	2.66	0.84	500
6	2-癸醇	2.55	0.60	2.78	1.23	0.46	271
7	苯乙醇	6.40	5.05	8.23	6.48	6.17	14 000
8	4-甲基-2-戊醇	-	-	1.78	-	-	138
9	叶醇	2.35	-	16.37	-	-	50
10	2-己醇	5.68	-	-	-	-	89
11	(E)-4-己烯-1-醇	5.53	-	-	-	-	20
12	α-松油醇	7.63	-	-	-	-	10
13	丁酸乙酯	17.88	-	-	-	11.60	20

序号	化合物	树龄/年					阈值 ^[28-31)] ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)
		2	8	9	11	15	
14	乙酸异戊酯	-	22.24	64.03	30.76	24.47	40
15	辛酸乙酯	3.35	0.66	1.39	0.62	0.47	580
16	3-羟基丁酸乙酯	1.12	1.44	2.62	1.49	0.75	306
17	9-十六碳烯酸乙酯	-	-	-	9.07	1.13	10
18	香草酸乙酯	-	0.45	1.14	0.49	0.12	494
19	苯甲酸甲酯	-	-	-	9.63	-	528
20	γ -丁内酯	1.07	0.46	0.86	-	-	20 000
21	癸酸乙酯	-	0.52	2.69	-	-	200
22	乳酸异戊酯	-	9.88	-	-	-	200
23	2-甲基己酸	173.28	42.04	133.41	86.45	-	20
24	醋酸	28.88	-	-	-	-	100
25	3-羟基月桂酸	-	-	-	-	1.03	50
26	3-羟基-2-丁酮	3.61	7.81	2.78	7.88	4.74	25
27	2-羟基-3-戊酮	-	3.75	3.61	-	1.21	100
28	苯乙醛	-	72.42	1 260.55	479.13	-	1
29	壬醛	-	90.92	-	-	-	1

2.4 不同树龄‘马瑟兰’干红葡萄酒感官分析

不同树龄的干红葡萄酒感官评分雷达图见图1。由图1可知,9年树龄酒样感官评分最高(82.0分),其次是15年(81.4分)、11年(81.0分)、8年(78.2分)、2年(74分)。其中,9年树龄酒样呈紫红色、富有光泽,酒体透亮,香气丰满优雅,具有葡萄酒典型香气。15年树龄酒样在滋味方面表现良好,酒体醇厚协调、回味绵长。2年树龄酒样整体感官评分最低,典型性一般,略微暗淡。综上,9年树龄葡萄酒感官品质最佳。

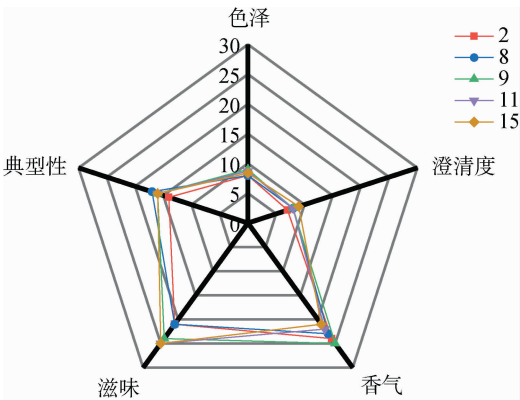


图1 不同树龄葡萄果实酿干红葡萄酒感官评分雷达图
Fig. 1 Sensory score radar chart for dry red wines brewed with grape fruits with different vine ages

3 结论

本研究系统分析了新疆焉耆产区5个树龄(2年、8年、9年、11年、15年)‘马瑟兰’葡萄果实及其所酿干红葡萄酒在理化指标、花色苷组成、挥发性风味物质及感官品质方

面的差异。结果表明,不同树龄的葡萄果实的理化指标无显著差异($P>0.05$),但所酿造的干红葡萄酒理化指标有明显差异;9年树龄果实及其酿造酒样中单体花色苷均检出15中,果实中花翠素类、甲基花翠素类和甲基花青素类单体花色苷含量最高(分别为10.63 mg/kg、16.32 mg/kg和35.77 mg/kg),酒样中单体花色苷总含量最高(451.20 mg/L),且花色苷浸出率显著优于其他树龄,说明其果皮结构更利于色素提取;9年树龄干红葡萄酒样品中检出45种挥发性风味物质,其总含量最高(327 mg/L),检出特有、关键挥发性风味物质分别为11种、17种;9年树龄干红葡萄酒感官评分最高(82.0分),酒样呈紫红色、富有光泽,酒体透亮,香气丰满优雅,具有葡萄酒典型香气。综上,树龄对‘马瑟兰’葡萄及葡萄酒品质具有显著影响,其中,9年树龄葡萄果实酿造干红葡萄酒品质更佳,本研究为焉耆产区优质马瑟兰葡萄酒的原料选择与工艺优化提供了重要依据。

参考文献:

[1] 彭昕,李桂林,李泽涵,等.新疆葡萄酒现状与发展[J].绿洲农业科学与
工程,2019,5(4):3-8.

[2] TOFFALI K, ZAMBONI A, ANESI A, et al. Novel aspects of grape berry
ripening and post-harvest withering revealed by untargeted LC-ESI-MS
metabolomics analysis[J]. *Metabolomics*, 2011, 7(3): 424-436.

[3] 吴晓琳.焉耆盆地葡萄酒产业价值链提升对策[J].合作经济与科技,
2024(18):47-49.

[4] GRIGG D, METHVEN D, BEID R, et al. Effect of vine age on vine perfor-
mance of Shiraz in the Barossa Valley, Australia[J]. *Aust J Grape Wine
Res*, 2018, 24(1): 75-87.

[5] 王凯,宋文彩,罗宇晨,等.玛纳斯地区不同树龄赤霞珠葡萄根系分布的
研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,43(10):138-144.

[6] 栾丽英,房玉林,宋士任,等.不同树龄酿酒葡萄不同土壤深度根际和
根区微生物数量的研究[J].西北林学院学报,2009,24(2):37-41.

[7] 马丽娟.树龄对蛇龙珠葡萄果实品质及光合作用的影响[D].银川:宁夏
大学,2015.

[8] 马丽娟,代红军.树龄对蛇龙珠葡萄光合作用及果实品质的影响[J].农
业科学研究,2015,36(2):17-21.

[9] 刘宗昭,卢丕超,王晓军,等.玛纳斯地区不同树龄葡萄对葡萄酒质量
的影响[J].现代食品,2020(13):211-213.

[10] 金宇宁.东北葡萄产区不同产地及树龄对‘北冰红’酒质影响的研究
[D].北京:中国农业科学院,2021.

[11] 李华.现代葡萄酒工艺学[M].西安:陕西人民出版社,2000:95-106.

[12] YANG P, YUAN C, WANG H, et al. Stability of anthocyanins and their
degradation products from Cabernet Sauvignon red wine under gastroin-
testinal pH and temperature conditions[J]. *Molecules*, 2018, 23(2): 354.

[13] 胡丽,彭文婷,卢浩成,等.不同酿酒葡萄果实类黄酮及香气物质差异
分析[J].食品科学,2020,41(14):225-233.

[14] 柴瑞雪,安朝严,刘涛,等.基于SAFE-GC-O-MS的‘双红’干红葡萄酒
关键香气物质分析[J].食品科学,2022,43(4):175-182.

[15] 赵美,田秀,李敏,等.粟酒裂殖酵母与酿酒酵母共同接种发酵对‘黑
比诺’干红葡萄酒品质的影响[J].食品科学,2021,42(24):108-116.

[16] 易封萍,马宁,朱建才.基于GC-O、OAV及Feller法和模型对酱香型习

- 酒特征香气成分的分析[J]. 食品科学, 2022, 43(2): 242-256.
- [17] LIN M W, YANG B Y, DAI M Q, et al. East meets west in alcoholic beverages: Flavor comparison, microbial metabolism and health effects[J]. **Food Biosci**, 2023, 56: 103385.
- [18] 周如隼, 赵雯琪, 张越, 等. 基于 GC-MS 与 GC-O 法分析两种桔子油中特征性香气成分[J]. 香料香精化妆品, 2021(3): 1-5.
- [19] 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.
- [20] NIU Z Z, ZHANG Z, ZHAO Y, et al. Transcription factor VvbHLH137 positively regulates anthocyanin accumulation in grape (*Vitis vinifera*)[J]. **Plants**, 2025, 14(6): 871.
- [21] BAI S J, TAO X, HU J, et al. Flavonoids profile and antioxidant capacity of four wine grape cultivars and their wines grown in the Turpan Basin of China, the hottest wine region in the world[J]. **Food Chem: X**, 2025, 26: 102301.
- [22] CHEN H W, WANG M, ZHANG L, et al. Anthocyanin profiles and color parameters of fourteen grapes and wines from the eastern foot of Helan Mountain in Ningxia[J]. **Food Chem: X**, 2024, 24: 102034.
- [23] WANG L Z, ZHOU W Q, LIU C Y, et al. Study on the accumulation pattern of anthocyanins, sugars and organic acids in medicinal *Vitis vinifera* 'SuoSuo' during ripening[J]. **Food Chem**, 2023, 433: 137294.
- [24] CERPA-CALDERON F K, KENNEDY J A. Berry integrity and extraction of skin and seed proanthocyanidins during red wine fermentation [J]. **J Agr Food Chem**, 2008, 56(19): 9006-9014.
- [25] RISTIC R, DOWNEY M O, ILAND P G, et al. Exclusion of sunlight from shiraz grapes alters wine colour, tannin and sensory properties[J]. **Aust J Grape Wine Res**, 2007, 13(2): 53-65.
- [26] 王学庆, 张波, 杨培玉, 等. 响应面法优化超高压处理赤霞珠葡萄及其对挥发性物质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(8): 121-129.
- [27] VEGAS R, NATHANIEL P, FEDERICO L C, et al. The effect of grapevine age (*Vitis vinifera* L. cv. Zinfandel) on phenology and gas exchange parameters over consecutive growing seasons[J]. **Plants**, 2021, 10(2): 311.
- [28] 孙丽君, 廖祖宋, 陈文, 等. 卷叶病对蛇龙珠葡萄酒香气特征的影响[J]. 食品科学技术学报, 2022, 40(2): 119-130.
- [29] 王程成, 陈双, 王栋, 等. 黄酒中“焦糖香”特征香气物质葫芦巴内酯的检测及风味贡献研究[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(8): 246-251.
- [30] 丁凯, 陈彦雄, 李雯, 等. 白葡萄利口酒工艺优化及酯类香气物质分析[J]. 食品与发酵科技, 2021, 57(5): 49-56.
- [31] 张文昊, 陈新军, 孙雪楠, 等. 天山北麓玛纳斯小产区四种干红葡萄酒香气物质特征分析[J]. 食品与发酵工业, 2025, 51(8): 299-306.