

粟酒裂殖酵母和戴尔有孢圆酵母混合发酵 对赤霞珠桃红葡萄酒品质的影响

董超¹, 黄蓉¹, 姜娇¹, 秦义¹, 刘延琳¹, 宋育阳^{1,2*}

(¹西北农林科技大学葡萄酒学院 陕西杨凌 712100

²西北农林科技大学宁夏贺兰山东麓葡萄酒试验示范站 宁夏永宁 750104)

摘要 研究粟酒裂殖酵母 S17 与戴尔有孢圆酵母 R68 不同的混合发酵方式对赤霞珠桃红葡萄酒理化指标、色泽、香气质量的影响,为利用非酿酒酵母提升葡萄酒品质奠定理论基础。以宁夏西鸽酒庄赤霞珠葡萄为试材,设计两种菌株单独接种、同时接种与顺序接种的模式酿造桃红葡萄酒,以商业酿酒酵母 CECA 单独发酵为对照。酿造完成后对酒样的基本理化指标、色泽和香气成分进行分析,香气特征通过感官品鉴量化表征。结果表明: S17 与 R68 共同发酵的酒样中挥发酸含量(0.29 g/L)低于 S17 单独发酵(0.81 g/L)和先接种 S17 后接种 R68(0.78 g/L)的处理组;共同发酵苹果酸含量(0.62 g/L)低于 R68 单独发酵(0.85 g/L)和先接种 R68 后接种 S17 发酵(0.71 g/L)。3 种混酿方式花色苷和丙酮酸含量较高,酒体色泽饱满。S17 与 R68 共同发酵的酒样的酯类物质含量高(21 525.60 $\mu\text{g/L}$),并增加了金合欢醇、柠檬烯、正辛醛、苯乙醛等挥发性化合物的含量。结论: 粟酒裂殖酵母与戴尔有孢圆酵母的共同接种方式发酵具有降低挥发酸,提升葡萄酒的果香和香气复杂性的潜力,并且有利于改善葡萄酒的色泽质量。

关键词 混菌发酵; 同时接种; 挥发酸; 颜色; 香气; 赤霞珠

文章编号 1009-7848(2023)03-0206-11 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.03.022

酿酒酵母在葡萄酒市场的广泛利用,使葡萄酒同质化的现象日趋严重^[1]。利用非酿酒酵母提升葡萄酒品质成为行业的研究热点。非酿酒酵母在葡萄酒发酵进程中普遍表现出较弱的乙醇和 SO_2 耐受性^[2],与高挥发酸和乙酸乙酯密切相关^[3-4],不适合酒精发酵。然而,某些非酿酒酵母的糖苷酶与酯酶的活性显著高于酿酒酵母^[5],能水解更多的香气糖苷^[6-7],有利于酯类香气的形成与释放^[8]。研究葡萄酒酿造中不同的非酿酒酵母,是改善葡萄酒质量,突出葡萄酒典型性的重要手段。

粟酒裂殖酵母是裂殖属的非酿酒酵母,具有较高的酒精发酵和苹果酸代谢能力^[9],代谢产生较高浓度的丙酮酸,增加吡喃型花色苷含量^[10]。然而,利用粟酒裂殖酵母发酵的葡萄酒存在挥发酸含量较高和不良气味等问题,带给葡萄酒负面影

响^[9]。赵美等^[11]研究发现,粟酒裂殖酵母与酿酒酵母以不同比例混酿,能完全降解葡萄醪中的苹果酸,并可提升葡萄酒的颜色和果香,然而会积累较多挥发酸。戴尔有孢圆酵母是葡萄表面的天然且典型的非酿酒酵母菌株^[12],其在葡萄酒发酵过程中可产生较少的乙酸、乙酸乙酯、乙醛等,产生较多甘油^[13-14],且具有良好的高糖耐受力^[14]。研究发现,利用戴尔有孢圆酵母与酿酒酵母发酵后的葡萄酒香气更馥郁,增加了葡萄酒中的果香和玫瑰香^[15],且能减少葡萄酒中的挥发酸^[12]。近年来很多研究集中于非酿酒酵母与酿酒酵母混合发酵,而有关于非酿酒酵母间的混酿发酵在葡萄酒酿造中的应用研究较少。

本研究针对粟酒裂殖酵母产生的挥发酸高和不良风味的问题,拟利用戴尔有孢圆酵母的酿造学特征进行发酵工艺优化。以宁夏西鸽酒庄的赤霞珠葡萄为原料,商业酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)CECA 单独发酵为对照,采用粟酒裂殖酵母菌株(*Schizosaccharomycet pombe*)S17 和戴尔有孢圆酵母菌株(*Torulaspora delbrueckii*)R68 的单独接种、同时接种、顺序接种发酵的方式酿造赤霞珠桃红葡萄酒。通过揭示非酿酒酵母的混菌发

收稿日期: 2022-03-19

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFD1002500);宁夏回族自治区重大研发计划项目(2020BCF01003);国家现代农业(葡萄)产业技术体系建设专项(CARS-29-jg-03)

第一作者: 董超,男,本科

通信作者: 宋育阳 E-mail: yuyangsong@nwsuaf.edu.cn.

酵引起的葡萄酒色泽、香气轮廓和感官质量的改变,探讨本土酵母降低葡萄酒中苹果酸和挥发酸水平的潜力,寻找非酿酒酵母混合发酵葡萄酒的最佳模式,为利用非酿酒酵母改善葡萄酒品质提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

葡萄原料,2020年9月采摘的宁夏西鸽酒庄赤霞珠葡萄,卫生状况良好,还原糖含量240.5 g/L,总酸含量5.96 g/L(以酒石酸计)。本土戴尔有孢圆酵母菌株R68、粟酒裂殖酵母菌株S17和商业酿酒酵母CECA,西北农林科技大学葡萄酒学院。

葡萄糖、蛋白胨、酵母浸粉、琼脂、亚硫酸溶液(含6% SO_2)、硫酸铜、酒石酸钾钠等(均为分析纯),天津化学试剂公司;果胶酶,德国AB Enzymes;乙酸乙酯、乙酸异戊酯、丁酸乙酯、己酸乙酯、辛酸乙酯、癸酸乙酯、异丁醇、异戊醇、1-辛醇、里哪醇、苯甲醇、苯乙醇等(均为色谱纯,纯度 $\geq 97\%$),美国Sigma-Aldrich公司。

1.2 仪器与设备

气相色谱-质谱联用仪(GC-MS),美国Thermo Fisher Scientific公司;Y15全自动葡萄酒分析仪,西班牙Biosystems、Barcelona公司;UV1800紫外分光光度计,日本岛津公司;Agilent 1260 LC高效液相色谱仪,安捷伦科技有限公司;ZHWY-2102C恒温培养振荡器,上海智城分析仪器制造有限公司。

1.3 方法

1.3.1 酿造试验 酵母接种方案:1)单独接种:将在液体YPD中培养48 h的CECA、R68和S17分别接种发酵,接种量为 1×10^6 cells/mL,以“CECA”“TD”和“SP”表示。2)混合接种(R68与S17):同时接种的总接种量为 1×10^6 cells/mL,接种比例为1:1,以“GT”表示;顺序接种先接种 1×10^6 cell/mL的R68,间隔4 d后接种 1×10^6 cells/mL的S17,以“TD-SP”表示;顺序接种先接种 1×10^6 cell/mL的S17,间隔4 d后接种 1×10^6 cell/mL的R68,以“SP-TD”表示。共6组,每组3个平行。

酿造工艺:筛选成熟且卫生良好的赤霞珠葡萄,除梗、破碎后分装入18个2.5 L玻璃罐中,添

加30 mg/L SO_2 (以亚硫酸计)和11 mg/L果胶酶,20℃浸渍2 h后4℃冷浸渍2 d。将葡萄醪20℃榨汁分离后用0.22 μm 滤膜过滤除菌,获得葡萄清汁,按上述酵母接种方案启动发酵。控制发酵温度20~22℃,每天监测比重和温度,比重达到0.9960以下时,测还原糖含量,低于4 g/L,添加60 mg/L SO_2 终止发酵,将酒样转入洁净的2.5 L玻璃罐中,在4℃下密封贮存。

1.3.2 理化指标测定 参考GB/T 15038-2006《葡萄酒果酒分析方法》测定总糖、残糖、总酸、挥发酸和乙醇等理化指标;甘油采用Y15全自动葡萄酒分析仪测定。

1.3.3 有机酸测定 采用高效液相离子排阻色谱法测定发酵过程中及发酵结束后的有机酸含量。色谱柱:HPX-87H 氢离子柱(300 mm \times 7.8 mm);色谱条件:流动相:0.01 mol/L H_2SO_4 (HPLC等级水溶液);流速:0.6 mL/min;柱温:55℃室温;检测波长:210 nm;进样量:5 μL 。称取有机酸标准品配制标准品母液,将母液依次按梯度稀释,0.22 μm 滤膜过滤,进样5 μL 。以标准品浓度为横坐标,峰面积为纵坐标绘制标准曲线。将样品稀释,使样品中待测酸的浓度介于检测范围,用0.22 μm 滤膜过滤,进样5 μL 。将样品中有机酸的峰面积代入标准曲线,计算有机酸的浓度。

1.3.4 颜色、总酚和花色苷测定 颜色、总酚和花色苷指标的分析方法参考文献[16],[17]。颜色指标用 $\text{CIEL}^*a^*b^*$ 颜色空间参数表示,总酚含量用福林-肖卡法测定(以没食子酸计),花色苷含量用亚硫酸盐脱色法测定。

1.3.5 香气成分测定 顶空固相微萃取:量取5.0 mL待测酒样置于15 mL样品瓶中,加入1.0 g NaCl、10 μL 内标(2000 mg/L 4-甲基-2-戊醇)和磁力搅拌转子,置于磁力搅拌台上,40℃下搅拌30 min,随后插入萃取头,40℃下搅拌加热,顶空萃取30 min,然后,将萃取头插入GC进样口,在250℃下热解析8 min。

GC-MS分析:气相色谱为Agilent 7890B GC,质谱为Agilent 5975B MS(美国Agilent公司),配备HP-INNOWAX(60 m \times 0.25 mm \times 0.25 μm)色谱柱,不分流自动进样,载气为高纯氦气,流速1 mL/min。进样口温度250℃,质谱接口温度

280 °C,离子源温度 230 °C。升温程序为初始温度 50 °C 保持 1 min,然后以 3 °C/min 升至 220 °C 保持 5 min。质谱电离方式 EI,离子能量 70 eV,全扫描质谱范围 25~350 amu。

定性、定量分析:采用 NIST14 谱库查询,与 NIST Chemical webbook 保留指数 (retention index, RI)对比定性化合物。用标准曲线定量法对化合物进行定量, R^2 在 0.99 以上。内标物为 4-甲基-2-戊醇。

1.3.6 感官分析 感官分析方法参考文献[16]。品评小组由培训良好的葡萄酒专业学生(5 名女性,5 名男性)组成。在品评中,每个酒样重复分析 3 次。品尝员从葡萄酒标准香气中选择 5~6 个特征词汇描述样品香气特征,并量化。最终量化强度值 MF(%)由品评小组对某一香气特征词汇的使用频率 $F(\%)$ 和强度平均值 $I(\%)$ 表示。计算公式:

$$MF(\%) = \sqrt{F \times I} \times 100$$

1.3.7 数据处理 不同发酵处理间的数据差异采用单因素方差分析 ANOVA(Duncan, $P < 0.05$),采用主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA) 研究香气成分的分布规律。数据处理运用 SPSS 20.0(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)和 Origin2018 软件实现。

2 结果与分析

2.1 葡萄酒的主要理化指标

所有处理组均完全发酵,残糖低于 4 g/L。由表 1 可知,CECA 组的酒精浓度最高为 13.8%vol,而非酿酒酵母处理组的酒精度相对较低,其中 GT,SP-TD,TD-SP 组的酒精浓度均为 12.9%vol,SP 组的为 12.7%vol。在单独发酵的情况下,相比于粟酒裂殖酵母,戴尔有孢圆酵母有较强的乙醇耐受能力及发酵能力,生产的葡萄酒的乙醇含量更高^[9,12]。GT,SP-TD,TD-SP 3 组比 TD 组的酒度低,主要是由于戴尔有孢圆酵母和粟酒裂殖酵母的葡萄糖和有机酸等营养物质的竞争影响酒精的发酵^[18-19]。CECA 和 SP 组酒样的甘油水平是所有处理中最低的,为 0.35 g/L。所有包含有戴尔有孢圆酵母的处理组充分体现了其高产甘油的特性,具有增加葡萄酒的柔顺感的潜力^[13]。此外,一些研究检测到粟酒裂殖酵母高合成甘油的能力,然而其

高产甘油的特性在本次试验中并不明显^[20-21],这可能与不同葡萄品种以及发酵环境条件相关,需进一步的研究与验证。

粟酒裂殖酵母利用苹果酸进行苹果酸-乙醇发酵,具有发酵速率慢和高产乙酸等特性^[9]。如表 1 所示,在粟酒裂殖酵母和戴尔有孢圆酵母混酿后显示,葡萄酒中的苹果酸被充分降解,且乙酸含量减少。葡萄酒中的丙酮酸可与葡萄花青素缩合形成吡喃型花青素,对稳定葡萄酒色泽具有积极影响^[22]。CECA,SP 和 SP-TD 处理发酵后的酒样具有较高含量的丙酮酸,将稳定酒体色泽,赋予酒样优越的陈酿潜力。SP 和 SP-TD 组酒样中的挥发酸含量最高,分别为 0.81 g/L 和 0.78 g/L,主要是由粟酒裂殖酵母高效降苹果酸,高产乙酸的特性造成的^[9]。TD 组挥发酸含量最低(0.25 g/L),比 CECA (0.58 g/L)低 56.5%,体现了戴尔有孢圆酵母的低产乙酸的特性^[13]。GT,TD-SP,SP-TD 均比 SP 组的挥发酸含量低,分别减少了 64.73%,63.86%和 3.47%。因此,在葡萄酒酿造工艺中可接种戴尔有孢圆酵母菌株来调控粟酒裂殖酵母挥发酸水平过高的缺陷。此外,本试验发现 SP,SP-TD 组的总酸较低,这与粟酒裂殖酵母高效降苹果酸有关。

2.2 葡萄酒的色泽及总酚和花色苷

CECA 组酒样的花色苷和总酚水平显著高于其它处理组。TD,SP,SP-TD 3 个处理组的酒样的总花色苷水平相似(表 1)。根据图 1 所示,CECA,GT 和 TD-SP 组酒样的 L 值较大,颜色较明亮,而 SP,SP-TD 两组酒样的 L 值较低,整体亮度偏暗。 a 值代表颜色的红绿程度,SP-TD 组酒样的 a 值最大,颜色偏红,而 TD 处理组 a 值最低,偏绿色,其它处理组颜色较为相似。 b 值代表颜色的黄蓝程度,GT,TD-SP,SP-TD 3 组酒样的 b 值较大,颜色偏黄;CECA 和 SP 组酒样的 b 值较小,颜色偏蓝。 ΔE 体现色差值大小,色差值越大,颜色越深。SP-TD 和 SP 组酒样的色差值显著高于其它处理组,颜色较深;而 CECA 的 ΔE 最小,酒体颜色偏浅。GT,TD-SP,SP-TD 的发酵组,粟酒裂殖酵母具有较高的羟基肉桂酸脱羧酶活性,可代谢产生大量吡喃花青素,有助于葡萄酒在陈酿期间保持颜色稳定^[24-26]。戴尔有孢圆酵母菌株较高的 β -葡萄糖苷酶活性,将催化葡萄糖与花青素之间的部分键

表 1 不同接种方式发酵的成品酒样的主要理化指标

处理	酒精度/ % vol	甘油/ g·L ⁻¹	总酸/ g·L ⁻¹	挥发酸/ g·L ⁻¹	总酚/ mg·L ⁻¹	花色苷/ mg·L ⁻¹	苹果酸/ g·L ⁻¹	丙酮酸/ g·L ⁻¹
CECA	13.8 ± 0.0 ^a	0.35 ± 0.02 ^b	6.48 ± 0.13 ^d	0.58 ± 0.01 ^c	171.3 ± 8.2 ^a	84.2 ± 1.1 ^a	1.12 ± 0.11 ^a	2.98 ± 0.12 ^b
TD	13.2 ± 0.1 ^b	0.38 ± 0.02 ^a	7.41 ± 0.03 ^a	0.25 ± 0.01 ^c	143.7 ± 5.4 ^c	55.1 ± 2.3 ^c	0.75 ± 0.16 ^b	1.59 ± 0.09 ^c
SP	12.7 ± 0.0 ^d	0.35 ± 0.01 ^b	5.54 ± 0.04 ^c	0.81 ± 0.03 ^a	130.8 ± 3.3 ^d	54.2 ± 3.6 ^c	0.53 ± 0.11 ^{bc}	3.41 ± 0.05 ^a
GT	12.9 ± 0.0 ^c	0.37 ± 0.01 ^{ab}	6.81 ± 0.05 ^c	0.29 ± 0.01 ^d	120.6 ± 4.1 ^d	69.6 ± 1.8 ^b	0.62 ± 0.11 ^{bc}	1.75 ± 0.15 ^c
TD-SP	12.9 ± 0.0 ^c	0.38 ± 0.01 ^a	7.07 ± 0.07 ^b	0.29 ± 0.01 ^d	160.2 ± 2.2 ^b	71.2 ± 0.5 ^b	0.71 ± 0.13 ^b	1.66 ± 0.09 ^c
SP-TD	12.9 ± 0.0 ^c	0.36 ± 0.00 ^{ab}	5.08 ± 0.10 ^f	0.78 ± 0.01 ^b	153.8 ± 6.1 ^{bc}	54.5 ± 4.4 ^c	0.42 ± 0.12 ^c	3.12 ± 0.15 ^b

注:CECA. 单独发酵;TD. 单独发酵;SP. 单独发酵;GT. 戴尔有孢圆酵母和粟酒裂殖酵母同时接种共同发酵;TD-SP. 先接种戴尔有孢圆酵母发酵 4 d 后接种粟酒裂殖酵母发酵;SP-TD. 先接种粟酒裂殖酵母发酵 4 d 后接种戴尔有孢圆酵母发酵。表中同一列中不同字母表示处理间具有显著性差异($P<0.05$)。

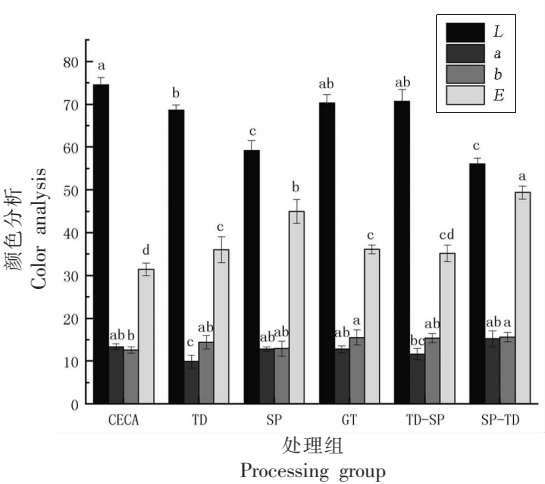
断裂,在增强葡萄酒的香气的同时,导致颜色的部分损失^[14]。综上所述,利用戴尔有孢圆酵母与粟酒裂殖酵母混菌发酵桃红葡萄酒,将改善酒样的色泽。

2.3 葡萄酒的香气与感官轮廓

所有酒样中共鉴定出 56 种挥发物(表 2),包括 20 种酯类,17 种醇类,5 种萜烯类,5 种醛类,6 种有机酸(除乙酸外),3 种酚类。

在葡萄酒中,酯类物质是仅次于高级醇的第二大类挥发性物质,对葡萄酒的果香有重要的贡献^[28]。由表 2 可知,CECA 组酒样的中乙酸异戊酯、乳酸乙酯、乙酸苯乙酯和辛酸乙酯,占比分别为 6.67%,3.76%,2.93%和 2.44%,这些物质赋予葡萄酒花香和水果香。TD 组中乳酸乙酯和乙酸异戊酯表现为果香与奶油味,在酯类中的占比分别为 8.63%和 2.14%。SP,GT,TD-SP,SP-TD 4 个处理组中,乳酸乙酯的含量仅次于乙酸乙酯,其中 GT 和 TD-SP 处理组发酵中产生的乳酸乙酯含量较高,分别占总酯类香气的 10.51%,8.32%。此外,CECA 组花果香明显,戴尔有孢圆酵母则偏果香奶油香味;相较于 CECA 和戴尔有孢圆酵母,粟酒裂殖酵母处理组香气多偏果香。TD-SP 和 GT 处理组的总酯含量较高,是因为戴尔有孢圆酵母的 β -葡萄糖苷酶可水解内酯的前体来增加酯类的水平^[14]。

醇是由酵母通过氨基酸代谢或糖代谢生成的香气物质,大部分醇类物质在一定程度上可增强葡萄酒香气的复杂性。然而,葡萄酒中醇的浓度过



注:横轴代表不同的接种发酵模式,其中 CECA 为单独发酵;TD. 单独发酵;SP. 单独发酵;GT. 戴尔有孢圆酵母和粟酒裂殖酵母同时接种共同发酵;TD-SP. 先接种戴尔有孢圆酵母发酵 4 d 后接种粟酒裂殖酵母发酵;SP-TD. 先接种粟酒裂殖酵母发酵 4 d 后接种戴尔有孢圆酵母发酵。纵轴. 单位 1。表中处理间具有显著性差异($P<0.05$)。

图 1 不同接种方式的葡萄酒样品颜色分析图

Fig.1 Color analysis diagram of different treatment groups

高,将掩盖或者叠加其它香气化合物的表达,产生令人不愉快的风味,如过量的异丁醇带来生青味^[29,37]。研究证明,葡萄酒中的高级醇水平超过 400 mg/L,会随着含量的增加给葡萄酒的感官品质带来诸如苦味等负面的影响^[30]。由表 2 可得,CECA 和 TD-SP 处理组的高级醇含量超过 400 mg/L,而 TD 和 GT 处理组的高级醇含量接近 400 mg/L,SP 和 SP-TD 处理组的高级醇含量等于或低于 200 mg/L,因此 GT 和 TD 处理组更有利于香气表

现。TD、GT、TD-SP 3 个处理组具有最高的正丙醇含量(61.4 mg/L),可带来更多的果香味,提升酒体的醇厚感^[30]。SP 处理组中异丁醇占比较多,达 20.18%,正丙醇为 14.57%,带给葡萄酒轻微果香。对比 3 种混酿方式,SP-TD 处理组的高级醇含量最低,其次是 GT 处理组,反映了 SP-TD 和 GT 混菌接种模式在葡萄酒发酵控制高级醇含量方面的潜力^[10]。

TD 处理组的正辛醛含量很高,为葡萄酒带来甜味和橘子味。TD(1 037.09 $\mu\text{g/L}$)、GT(1 028.68 $\mu\text{g/L}$)和 TD-SP(1 244.16 $\mu\text{g/L}$)3 个处理组的醛类含量远大于其它处理组($\leq 31.33 \mu\text{g/L}$),赋予酒样饱满的热带水果香气。酸类物质主要来源于发酵过程中醛类的氧化,在葡萄酒中表现为奶酪以及脂肪味^[31]。表 2 表明 TD 处理组的异丁酸(88.45%)以及 SP 处理组的异丁酸(48.97%)和己酸(32.83%)水平较高,将使酒样奶酪味明显。GT、SP-TD 和 TD-SP 3 个非酿酒酵母的混合发酵组的酒样中异丁酸浓度较高,使酒样表现出更多的奶酪味和脂肪味^[3]。

为了进一步表征主要的挥发性香气在不同处理组的差异,对于 OAV>0.1 的香气成分进行 PCA 分析,前 2 个 PC 上的发酵香气成分载荷及酒样分布见图 2。脂肪酸、乙酯和高级醇(异戊醇、异丁醇、正丙醇)距离 GT 和 TD-SP 处理组较近,SP-TD 处理组距离 1-戊醇、1-辛烯-3-醇、庚醇较近,说明戴尔有孢圆酵母和粟酒裂殖酵母混菌发酵有利于提高酒中脂肪酸、乙酯和高级醇含量。正辛醛距离戴尔有孢圆酵母的 3 个处理组最近,赋予酒更多的柑橘味。6 个处理组香气可分为 3 个类型,CECA 组的酒样主要香气特征是浓郁的果香,清爽的花香,烘烤香和玫瑰香,伴随着轻微的脂肪和奶酪味,这与之前的研究利用 CECA 单独发酵的香气表现一致^[27]。SP 与 SP-TD 处理组酒样的铃兰、香草和葡萄等花果香突出,具有较丰富的脂肪和奶酪香。TD、GT 与 TD-SP 处理组的酒样香气主要表现为馥郁的水果香、奶油香,伴随着奶酪香。

酒样香气特征的感官量化分析结果见图 3。酒样中 6 种香气特征的 MF 值较高,且各处理间存在极显著差异($P<0.01$)。相比于 CECA 单独发酵,非酿酒酵母参与发酵的酒样在果香(柑橘+核

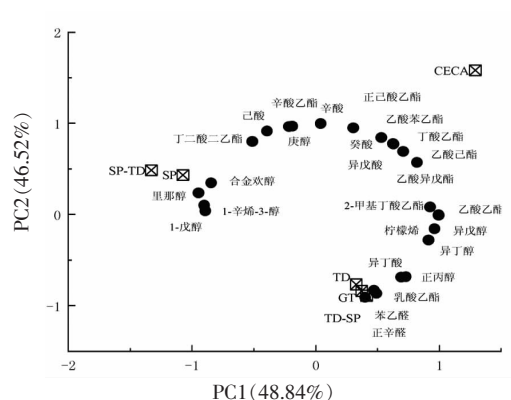


图 2 香气成分(OAV>0.1)载荷及供试酒样分布
Fig.2 Loadings of aroma compounds (OAV>0.1) and the distribution of wines

果+热带水果)和浆果(红果+黑果)香气中表现突出。TD、GT、TD-SP 处理组拥有更多的柑橘、红果类香气,而 SP、SP-TD 组的酒样更多地表现为热带水果类香气。CECA 单独发酵的酒样呈现优越的烘烤类香气,这与胡苑等^[27]的研究一致。所有处理组中,果香表现突出。所有菌株单独接种发酵的酒样的花香比混合发酵的好。分析可得,混合发酵处理偏重于增强果香,并能降低不良气味,如氧化杂味。

3 结论

在戴尔有孢圆酵母参与的葡萄酒混菌发酵具有明显的增香以及调节挥发酸含量的基础上,探究戴尔有孢圆酵母与粟酒裂殖酵母混合发酵对赤霞珠桃红葡萄酒主要理化指标、色泽以及香气特征的影响。戴尔有孢圆酵母与粟酒裂殖酵母混合接种的方式降低了粟酒裂殖酵母高产乙酸的问题,同时混合发酵的酒样苹果酸含量较低,降低了酒体的尖锐感。3 种混酿方式花色苷和丙酮酸含量较高,酒体颜色偏深红,增加了颜色的稳定性。含戴尔有孢圆酵母的处理组的甘油产量较高,提高了酒体柔顺度。共同发酵的酯类、高级醇和酸类化合物含量与戴尔有孢圆酵母后接种粟酒裂殖酵母基本相同,且高于其它处理组,并增加了金合欢醇、柠檬烯、正辛醛、苯乙醛等挥发性化合物的含量。总体而言,戴尔有孢圆酵母与粟酒裂殖酵母共同接种发酵方式增加了葡萄酒的花色苷含量,降低了挥发酸和苹果酸含量,同时减少异味物质,增

表 2 不同接种方式的葡萄酒样品的香气成分的 GC-MS 分析 (μg/L)
Table 2 GC-MS quantification of aroma compounds in wines using different inoculation strategies (μg/L)

物质	CECA	TD	SP	CT	TD-SP	SP-TD	阈值 ^[32-35]	OAV	气味描述
酯类									
乙酸乙酯	20 354.77 ± 1 111.42 ^a	17 583.14 ± 1 393.78 ^{ab}	14 067.68 ± 1 370.89 ^{bc}	18 587.86 ± 828.04 ^a	19 478.77 ± 4 131.03 ^a	11 244.63 ± 913.42 ^c	7 500	>1	果香, 菠萝, 香脂 ^[38]
异丁酸乙酯	0.12 ± 0.01 ^b	0.22 ± 0.04 ^a	0.06 ± 0.01 ^{cd}	0.04 ± 0.01 ^{de}	0.03 ± 0.01 ^e	0.08 ± 0.01 ^{bc}	15	<0.1	果香, 香草 ^[38]
丁酸乙酯	21.50 ± 1.35 ^a	9.32 ± 0.59 ^{ac}	10.24 ± 1.22 ^b	10.75 ± 0.89 ^b	10.51 ± 0.33 ^b	8.22 ± 0.26 ^c	35	>0.1	草莓, 苹果, 香蕉 ^[38]
2-甲基丁酸乙酯	2.50 ± 0.19 ^a	2.14 ± 0.19 ^b	0.66 ± 0.11 ^e	1.66 ± 0.03 ^c	1.53 ± 0.04 ^c	0.92 ± 0.06 ^d	18	>0.1	甜果 ^[38]
异戊酸乙酯	4.84 ± 0.22 ^a	0.56 ± 0.07 ^e	0.61 ± 0.06 ^{bc}	0.58 ± 0.03 ^{bc}	0.78 ± 0.01 ^b	0.47 ± 0.07 ^c	33	<0.1	酸腐味 ^[39]
乙酸异戊酯	1 662.22 ± 78.39 ^a	426.79 ± 50.75 ^b	165.77 ± 55.40 ^c	442.68 ± 42.10 ^b	476.26 ± 63.93 ^b	101.27 ± 10.28 ^e	30	>1	香蕉 ^[38]
己酸乙酯	343.63 ± 23.48 ^a	58.85 ± 9.02 ^d	226.85 ± 21.65 ^c	72.59 ± 5.33 ^d	61.10 ± 5.67 ^d	295.48 ± 25.52 ^b	14	>1	青苹果 ^[38]
乙酸己酯	13.03 ± 1.70 ^a	1.15 ± 0.12 ^b	1.33 ± 0.14 ^b	1.05 ± 0.07 ^b	1.14 ± 0.07 ^b	1.06 ± 0.03 ^b	2	>0.1	果香, 梨, 樱桃 ^[38]
乳酸乙酯	935.96 ± 46.19 ^c	1 720.75 ± 262.83 ^b	725.53 ± 29.69 ^c	2 263.39 ± 117.82 ^a	1 829.51 ± 43.03 ^b	811.09 ± 36.07 ^c	14 000	>0.1	乳香, 覆盆子 ^[38]
辛酸甲酯	0.27 ± 0.01 ^a	0.04 ± 0.01 ^c	0.15 ± 0.03 ^b	0.04 ± 0.01 ^c	0.04 ± 0.01 ^c	0.15 ± 0.04 ^b	200	<0.1	甜橙, 水果 ^[38]
辛酸乙酯	609.03 ± 48.07 ^a	49.79 ± 13.42 ^c	319.46 ± 64.46 ^b	52.89 ± 15.45 ^c	44.40 ± 9.47 ^c	338.33 ± 70.60 ^b	600	>0.1	玫瑰, 水果 ^[38]
己酸异戊酯	0.65 ± 0.15 ^a	0.07 ± 0.01 ^b	0.16 ± 0.03 ^b	0.11 ± 0.01 ^b	0.12 ± 0.01 ^b	0.17 ± 0.02 ^b	900	<0.1	香蕉, 梨 ^[38]
壬酸乙酯	0.32 ± 0.042 ^b	0.20 ± 0.07 ^b	0.58 ± 0.05 ^a	0.24 ± 0.08 ^b	0.25 ± 0.12 ^b	0.75 ± 0.18 ^a	1 300	<0.1	蜡, 果香 ^[38]
琥珀酸乙酯	37.24 ± 1.29 ^b	7.26 ± 1.24 ^c	32.50 ± 1.38 ^b	8.46 ± 0.99 ^c	8.32 ± 0.77 ^c	54.72 ± 9.70 ^a	15	>0.1	葡萄 ^[38]
乙酸香叶酯	5.29 ± 0.44 ^a	1.18 ± 0.42 ^{cd}	1.97 ± 0.21 ^b	0.75 ± 0.06 ^d	1.66 ± 0.04 ^{bc}	1.08 ± 0.03 ^d	NF		
水杨酸甲酯	0.11 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.01 ^b	0.06 ± 0.01 ^b	0.06 ± 0.01 ^b	0.05 ± 0.01 ^b	0.04 ± 0.02 ^b	500	<0.1	冬青叶 ^[40]
水杨酸乙酯	0.12 ± 0.01 ^a	0.02 ± 0.00 ^b	0.03 ± 0.00 ^b	0.02 ± 0.00 ^b	0.02 ± 0.00 ^b	0.02 ± 0.00 ^b	NF		青冬, 薄荷味 ^[39]
乙酸苯乙酯	731.55 ± 31.13 ^a	58.17 ± 2.77 ^c	170.39 ± 23.20 ^b	54.10 ± 3.10 ^c	60.05 ± 6.34 ^c	86.06 ± 14.95 ^c	250	>0.1	果香, 玫瑰, 花香 ^[39]
月桂酸乙酯	42.66 ± 9.62 ^a	2.51 ± 0.66 ^c	25.23 ± 2.77 ^b	3.67 ± 0.95 ^c	2.81 ± 0.80 ^c	20.48 ± 3.14 ^b	1 500	<0.1	糖果, 花香, 果香 ^[37]
棕榈酸乙酯	159.57 ± 0.34 ^a	22.59 ± 3.31 ^d	102.50 ± 6.75 ^b	24.66 ± 5.14 ^d	12.48 ± 2.41 ^e	65.56 ± 6.87 ^c	1 500	<0.1	蜡, 黄油 ^[38]
总量	24 925.39	19 944.77	15 851.76	21 525.60	21 989.80	13 030.59			
醇类									
正丙醇	4 4974.92 ± 3 591.46 ^b	61 270.14 ± 2 983.92 ^a	29 683.97 ± 4461.05 ^c	61 297.74 ± 1 713.83 ^a	61 893.89 ± 2 843.39 ^a	24 644.44 ± 1 484.77 ^c	11 000	>1	果香, 酒精 ^[41]
异丁醇	59 299.64 ± 3 967.41 ^{ab}	52 522.54 ± 5 853.46 ^b	41 109.80 ± 5 590.03 ^c	56 409.36 ± 2 764.92 ^{ab}	63 107.90 ± 5 641.58 ^a	36 198.99 ± 3 089.03 ^c	4 000	>1	溶剂味 ^[37] , 生青味 ^[37]
正丁醇	1 753.22 ± 82.24 ^b	3 236.70 ± 638.07 ^a	1 054.67 ± 135.99 ^c	3 457.19 ± 256.83 ^a	3 039.86 ± 320.92 ^a	1 079.60 ± 115.20 ^c	150 000	<0.1	药味, 酚味
异戊醇	365 360.47 ± 18 767.01 ^a	260 025.08 ± 21 123.97 ^c	131 315.38 ± 14 588.72 ^d	274 532.21 ± 11 042.80 ^{bc}	295 278.16 ± 26 452.56 ^b	113 339.89 ± 3 427.48 ^a	30 000	>1	指甲油味 ^[42]
1-戊醇	66.69 ± 7.17 ^d	68.37 ± 7.33 ^d	110.37 ± 10.39 ^{ab}	79.91 ± 3.45 ^{cd}	97.36 ± 7.54 ^{ac}	118.74 ± 13.40 ^a	1 000	>0.1	杂醇味, 面包香 ^[39]
4-甲基-1-戊醇	58.59 ± 2.48 ^a	17.93 ± 1.28 ^{cd}	17.22 ± 2.26 ^{cd}	19.62 ± 0.49 ^{bc}	20.73 ± 1.74 ^b	14.96 ± 0.15 ^d	820	<0.1	
3-甲基-1-戊醇	178.50 ± 10.20 ^a	29.37 ± 0.72 ^c	46.29 ± 10.52 ^b	34.86 ± 1.11 ^{bc}	35.20 ± 3.87 ^{bc}	33.27 ± 3.29 ^c	1 000	<0.1	
(E)-3-己烯-1-醇	23.39 ± 0.81 ^{ab}	23.48 ± 0.83 ^{ab}	21.07 ± 1.69 ^{bc}	24.23 ± 1.96 ^{ab}	25.12 ± 3.51 ^a	18.55 ± 0.39 ^c	400	<0.1	青草香 ^[39]

(续表 2)

物质	CECA	TD	SP	GT	TD-SP	SP-TD	阈值 ^[33-35]	OAV	气味描述
(E)-2-己烯-1-醇	1.04 ± 0.12 ^a	0.13 ± 0.03 ^d	0.28 ± 0.02 ^c	0.37 ± 0.09 ^c	0.12 ± 0.02 ^d	0.85 ± 0.03 ^b	400	<0.1	
顺-2-己烯-1-醇	13.81 ± 1.03 ^a	7.93 ± 0.54 ^b	12.20 ± 0.74 ^a	8.45 ± 0.99 ^b	8.53 ± 1.32 ^b	14.72 ± 3.97 ^a	400	<0.1	
1-辛烯-3-醇	3.48 ± 0.62 ^c	6.15 ± 1.03 ^b	8.63 ± 2.09 ^a	3.17 ± 0.96 ^c	5.33 ± 0.34 ^{bc}	8.42 ± 0.89 ^a	20	>0.1	蘑菇香 ^[39]
庚醇	299.24 ± 15.37 ^a	109.93 ± 18.52 ^c	256.88 ± 21.31 ^b	72.83 ± 8.46 ^d	91.20 ± 5.28 ^{cd}	238.85 ± 30.50 ^b	250	>0.1	脂肪香 ^[41]
异辛醇	4.50 ± 0.22 ^a	3.95 ± 0.42 ^{ab}	3.94 ± 0.21 ^{ab}	3.24 ± 0.65 ^b	3.76 ± 0.81 ^{ab}	1.33 ± 0.07 ^c	NF		
辛醇	6.14 ± 0.47 ^b	5.14 ± 0.59 ^{bcd}	5.51 ± 1.21 ^{bc}	3.77 ± 0.83 ^d	4.11 ± 0.97 ^{cd}	8.59 ± 0.53 ^a	900	<0.1	茉莉香, 柠檬味 ^[38]
癸醇	0.35 ± 0.04 ^c	0.48 ± 0.04 ^c	1.04 ± 0.18 ^a	0.76 ± 0.04 ^b	0.71 ± 0.05 ^b	0.93 ± 0.06 ^a	400	<0.1	橙花香 ^[38]
苯甲醇	16.41 ± 0.96 ^c	17.05 ± 0.74 ^c	18.91 ± 1.48 ^{bc}	19.59 ± 0.98 ^{abc}	20.96 ± 0.83 ^{ab}	22.24 ± 3.30 ^a	200 000	<0.1	杏仁味, 胡桃味 ^[38]
总量	472 060.39	377 344.38	203 666.16	395 967.29	423 632.91	175 744.36			
萜烯类									
松油醇	1.01 ± 0.16 ^c	0.72 ± 0.06 ^{bc}	0.87 ± 0.06 ^{ab}	0.57 ± 0.05 ^c	0.71 ± 0.07 ^{bc}	0.70 ± 0.07 ^{bc}	330	<0.1	樟脑, 辛辣味
香茅醇	1.62 ± 0.30 ^d	1.96 ± 0.09 ^{cd}	3.46 ± 0.15 ^a	2.59 ± 0.24 ^{bc}	2.32 ± 0.49 ^{bcd}	3.00 ± 0.71 ^{ab}	40	<0.1	青草, 丁香, 蔷薇 ^[42]
橙花醇	1.13 ± 0.05 ^b	0.65 ± 0.08 ^c	1.76 ± 0.26 ^a	0.79 ± 0.13 ^{bc}	0.59 ± 0.07 ^c	2.10 ± 0.31 ^a	300	<0.1	花香, 甜木香 ^[38]
金合欢醇	5.20 ± 0.17 ^c	2.49 ± 0.30 ^c	17.31 ± 3.42 ^a	8.49 ± 0.93 ^b	3.42 ± 0.71 ^c	14.65 ± 0.84 ^a	20	>0.1	铃兰香, 草香 ^[38]
柠檬烯	4.85 ± 0.23 ^a	3.40 ± 0.27 ^c	1.58 ± 0.10 ^d	3.64 ± 0.16 ^{bc}	3.85 ± 0.27 ^b	1.51 ± 0.04 ^d	10	>0.1	柑桔香, 柠檬香 ^[40]
里那醇	1.60 ± 0.07 ^c	1.76 ± 0.06 ^c	3.27 ± 0.61 ^b	1.86 ± 0.13 ^c	2.03 ± 0.08 ^c	4.10 ± 0.31 ^a	25	>0.1	花香 ^[42]
总量	15.41	10.98	28.25	17.94	12.93	26.05			
醛类									
正辛醛	20.01 ± 2.08 ^c	1 037.09 ± 134.91 ^b	28.28 ± 1.35 ^c	1 028.68 ± 108.66 ^b	1 244.16 ± 172.46 ^a	31.33 ± 1.88 ^c	2.5	>1	甜味, 橘子味 ^[43]
壬醛	1.72 ± 0.15 ^a	0.71 ± 0.02 ^c	1.41 ± 0.10 ^b	0.75 ± 0.15 ^c	0.57 ± 0.04 ^c	0.70 ± 0.06 ^c	15	<0.1	柑橘 ^[38]
糠醛	8.84 ± 0.30 ^b	7.70 ± 0.44 ^b	5.79 ± 0.08 ^d	6.69 ± 0.33 ^c	7.52 ± 0.58 ^b	6.38 ± 0.17 ^{cd}	15 000	<0.1	烘烤, 焦糖味 ^[40]
癸醛	0.60 ± 0.07 ^a	0.18 ± 0.01 ^c	0.63 ± 0.06 ^c	0.12 ± 0.01 ^c	0.35 ± 0.01 ^b	0.33 ± 0.02 ^b	10	<0.1	橘皮香 ^[38]
苯乙醛	37.04 ± 4.40 ^b	71.97 ± 8.60 ^a	30.84 ± 7.73 ^b	75.37 ± 1.44 ^a	81.03 ± 8.61 ^a	30.69 ± 1.31 ^b	1	>1	花香, 蜜香 ^[38]
总量	68.21	1 117.65	66.95	1 111.61	1 333.64	69.43			
酸类									
异丁酸	3 251.05 ± 253.67 ^c	4 520.49 ± 33.32 ^b	1 655.18 ± 119.37 ^d	4 637.44 ± 378.34 ^b	5 754.15 ± 435.15 ^a	1 564.19 ± 95.83 ^d	8 100	>0.1	酸败味, 奶酪味 ^[38]
异戊酸	2 317.00 ± 63.64 ^a	218.21 ± 24.47 ^{bc}	243.66 ± 10.34 ^b	163.38 ± 21.08 ^c	251.46 ± 36.53 ^b	207.11 ± 12.33 ^{bc}	1 500	>0.1	酸腐味, 奶酪味 ^[38]
己酸	1 120.81 ± 65.08 ^a	243.47 ± 21.75 ^b	1 109.72 ± 145.46 ^a	289.79 ± 18.89 ^b	260.52 ± 52.85 ^b	1 098.99 ± 34.29 ^a	420	>1	脂肪味, 奶酪味 ^[38]
辛酸	892.33 ± 20.36 ^c	68.83 ± 16.52 ^c	314.11 ± 34.91 ^b	62.75 ± 6.74 ^c	50.31 ± 4.67 ^c	292.52 ± 45.94 ^b	500	>0.1	腐败味, 奶酪味 ^[38]
癸酸	196.20 ± 31.48 ^a	28.33 ± 5.51 ^b	28.09 ± 4.70 ^b	17.31 ± 3.37 ^b	21.51 ± 6.13 ^b	17.83 ± 1.03 ^b	1 000	>0.1	脂肪味 ^[38]
苯甲酸	74.58 ± 0.99 ^a	31.41 ± 5.58 ^c	29.51 ± 4.03 ^{cd}	57.75 ± 4.59 ^b	58.61 ± 0.89 ^b	23.82 ± 2.69 ^d	NF		
总量	7 851.97	5 110.75	3 380.28	5 228.42	6 396.57	3 204.45			
酚类									
苯酚	9.14 ± 0.82 ^{ab}	8.03 ± 0.58 ^{bc}	8.64 ± 0.59 ^{abc}	9.27 ± 0.22 ^a	8.88 ± 0.67 ^{abc}	7.84 ± 0.24 ^c	25 000	<0.1	
4-乙基愈创木酚	0.14 ± 0.07 ^{bc}	0.09 ± 0.07 ^c	0.24 ± 0.03 ^{ab}	0.29 ± 0.06 ^a	0.18 ± 0.04 ^{bc}	0.12 ± 0.01 ^c	110	<0.1	烤面包, 丁香 ^[40]
4-乙基苯酚	0.15 ± 0.03 ^a	0.12 ± 0.03 ^a	0.19 ± 0.06 ^a	0.22 ± 0.06 ^a	0.22 ± 0.05 ^a	0.20 ± 0.07 ^a	400	<0.1	动物味, 马廐味 ^[40]
总量	9.42	8.24	9.06	9.78	9.27	8.16			

注: 数值为平均值±标准差; 表同行不同字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$); NF, 未找到。

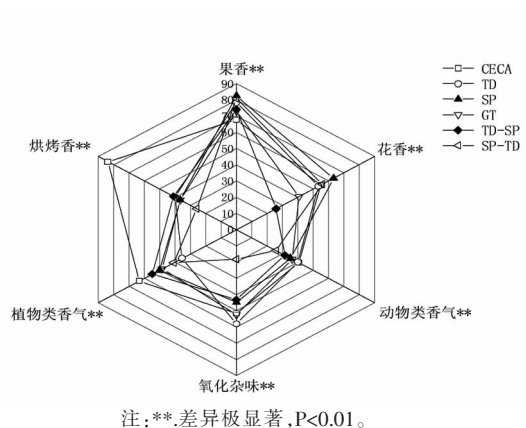


图3 供试酒样的香气特征雷达图

Fig.3 Radar map of aroma characteristics of rose wines

加了果香,有利于提高香气的复杂性。

参 考 文 献

- [1] 关雅静,程永芳,张岩,等. 葡萄酒共发酵体系中不同酵母菌种的相互影响[J]. 北方园艺, 2016, 2: 193-197.
GUAN Y J, CHENG Y F, ZHANG Y, et al. Research progress of effect of LED light on plant physiological characteristic and quality[J]. Northern Horticulture, 2016, 2: 193-197.
- [2] 战吉宸,曹梦竹,游义琳,等. 非酿酒酵母在葡萄酒酿造中的应用[J]. 中国农业科学, 2020, 53(19): 4057-4069.
ZHAN J C, CAO M Z, YOU Y L, et al. Research advance on the application of non-*Saccharomyces* in winemaking[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2020, 53(19): 4057-4069.
- [3] SWIEGERS J H, PRETORIUS I S. Yeast modulation of wine flavor[J]. Advances in Applied Microbiology, 2005, 57: 131-175.
- [4] MOREIRA N, PINA C, MENDES F, et al. Volatile compounds contribution of *Hanseniaspora guilliermondii* and *Hanseniaspora uvarum* during red wine vinifications[J]. Food Control, 2011, 22(5): 662-667.
- [5] VILLAMOR R R, ROSS C F. Wine matrix compounds affect perception of wine aromas[J]. Annual Review of Food Science and Technology, 2013, 4: 1-20.
- [6] 崔艳,刘金福. 非酿酒酵母在葡萄酒酿造中应用的研究现状[J]. 中国酿造, 2010, 29(11): 13-16.
CUI Y, LIU J F. Research progress of non-*Saccharomyces* yeasts in winemaking[J]. China Brewing, 2010, 29(11): 13-16.
- [7] SUN S Y, GONG H S, JIANG X M, et al. Selected non-*Saccharomyces* wine yeasts in controlled multistarter fermentations with *Saccharomyces cerevisiae* on alcoholic fermentation behaviour and wine aroma of cherry wines[J]. Food Microbiology, 2014, 44: 15-23.
- [8] HUANG R, ZHANG F, YAN X, et al. Characterization of the β -glucosidase activity in indigenous yeast isolated from wine regions in China[J]. Journal of Food Science, 2021, 86(6): 2327-2345.
- [9] LOIRA I, MORATA A, PALOMERO F, et al. *Schizosaccharomyces pombe*: A promising biotechnology for modulating wine composition[J]. Fermentation, 2018, 4(3): 31-42.
- [10] LOIRA I, MORATA A, COMUZZO P, et al. Use of *Schizosaccharomyces pombe* and *Torulaspora delbrueckii* strains in mixed and sequential fermentations to improve red wine sensory quality[J]. Food Research International, 2015, 76(3): 325-333.
- [11] 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.
ZHAO M, TIAN X, LI M, et al. Effect of mixed culture fermentation with *Schizosaccharomyces pombe* and *Saccharomyces cerevisiae* on the quality of ‘Pinot Noir’ dry red wine[J]. Food Science, 2021, 42(24): 108-116.
- [12] 杨诗妮,叶冬青,贾红帅,等. 本土戴尔有孢圆酵母在葡萄酒酿造中的应用潜力[J]. 食品科学, 2019, 40(18): 108-115.
YANG S N, YE D Q, JIA H S, et al. Oenological potential of indigenous *Torulaspora delbrueckii* for winemaking[J]. Food Science, 2019, 40(18): 108-115.
- [13] MARINA B, PHILIPPE S, ISABELLE M P, et al. Impact of mixed *Torulaspora delbrueckii*-*Saccharomyces cerevisiae* culture on high-sugar fermentation[J]. International Journal of Food Microbiology, 2008, 122(3): 312-320.
- [14] RENAULT P, COULON J, REVEL G D, et al. In-

- crease of fruity aroma during mixed *T. delbrueckii*/*S. cerevisiae* wine fermentation is linked to specific esters enhancement[J]. International Journal of Food Microbiology, 2015, 207: 40–48.
- [15] 原苗苗, 姜凯凯, 孙玉霞, 等. 戴尔有孢圆酵母对葡萄酒香气的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(4): 99–105.
- YUAN M M, JIANG K K, SUN Y X, et al. Effects of *Torulaspora debrueckii* on wine aroma[J]. Food Science, 2018, 39(4): 99–105.
- [16] 马娜, 王星晨, 孔彩琳, 等. 胶红酵母与酿酒酵母共发酵对于红葡萄酒香气与色泽的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(2): 97–104.
- MA N, WANG X C, SUN C L, et al. Effect of mixed culture fermentation with *Rhodotorula mucilaginosa* and *Saccharomyces cerevisiae* on the aroma and color of red wine[J]. Food Science, 2021, 42(2): 97–104.
- [17] KONG C L, LI A H, JIN G J, et al. Evolution of volatile compounds treated with selected non-*Saccharomyces* extracellular extract during Pinot noir winemaking in monsoon climate[J]. Food Research International, 2019, 119: 177–186.
- [18] MORATA A, BENITO S, LOIRA I, et al. Formation of pyranoanthocyanins by *Schizosaccharomyces pombe* during the fermentation of red must[J]. International Journal of Food Microbiology, 2012, 159(1): 47–53.
- [19] KING E S, SWIEGERS J H, et al. Coinoculated fermentations using *Saccharomyces* yeasts affect the volatile composition and sensory properties of *Vitis vinifera* L. cv. sauvignon blanc wines[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(22): 10829–10837.
- [20] ÁNGEL B, DANIEL J, FELIPE P, et al. Selected *Schizosaccharomyces pombe* strains have characteristics that are beneficial for winemaking [J]. PloS one, 2016, 11(3): e0151102.
- [21] SUÁREZ-LEPE J A, PALOMERO F, BENITO S, et al. Oenological versatility of *Schizosaccharomyces* spp.[J]. European Food Research and Technology, 2012, 235(3): 375–383.
- [22] MORATA A, BENITO S, LOIRA I, et al. Formation of pyranoanthocyanins by *Schizosaccharomyces pombe* during the fermentation of red must[J]. International Journal of Food Microbiology, 2012, 159(1): 47–53.
- [23] 吴志明, 陈亮, 李双石. 赤霞珠葡萄酒发酵过程中总酚和花色苷的含量变化[J]. 酿酒科技, 2013(11): 18–20.
- WU Z M, CHEN L, LI S S, et al. Changes of polyphenols content and anthocyanins content during the fermentation of cabernet sauvignon grape wine[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2013(11): 18–20.
- [24] MANZANARES P, ROJAS V, GENOVÉS S, et al. A preliminary search for anthocyanin- β -D-glucosidase activity in non-*Saccharomyces* wine yeasts[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2000, 35(1): 95–103.
- [25] MORATA A, GÓMEZ-COROVÉS M C, CALDERÓN F, et al. Effects of pH, temperature and SO₂ on the formation of pyranoanthocyanins during red wine fermentation with two species of *Saccharomyces* [J]. International Journal of Food Microbiology, 2006, 106(2): 123–129.
- [26] ANTONIO M, CARMEN G, ANTONIO S L J. Formation of vinylphenolic pyranoanthocyanins by selected yeasts fermenting red grape musts supplemented with hydroxycinnamic acids[J]. International Journal of Food Microbiology, 2007, 116(1): 144–152.
- [27] 胡苑, 王雅静, 张敏, 等. 4种酿酒酵母对马瑟兰干红葡萄酒香气成分的影响[J]. 酿酒科技, 2021(7): 41–48.
- HU Y, WANG Y J, ZHANG M, et al. Effects of four different yeasts on the aroma components of marselan dry red wine[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2021(7): 41–48.
- [28] 李艳, 康俊杰, 成晓玲, 等. 3种酿酒酵母酿造赤霞珠干红葡萄酒的香气成分分析[J]. 食品科学, 2010, 31(22): 378–382.
- LI Y, KANG J J, CHENG X L, et al. Aroma components in cabernet sauvignon dry red wine fermented with three species of yeast strains[J]. Food Science, 2010, 31(22): 378–382.
- [29] RAPP A, MANDERY H. Wine aroma[J]. Experientia, 1986, 42(8): 873–884.
- [30] 黄平. 葡萄酒中的高级醇苦味[J]. 酿酒科技, 1995(3): 55–57.
- HUANG P. Higher alcohol and bitter taste in wine [J]. Liquor-Making Science & Technology, 1995(3):

- 55-57.
- [31] MOLINA A M, GUADALUPE V, VARELA C, et al. Differential synthesis of fermentative aroma compounds of two related commercial wine yeast strains [J]. Food Chemistry, 2009, 117(2): 189-195.
- [32] ROCHA S M, COUTINHO P, BARROS A, et al. Establishment of the varietal volatile profile of musts from white *Vitis vinifera* L. varieties [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2007, 87(9): 1667-1676.
- [33] 何英霞, 蒋玉梅, 李霁昕, 等. 不同酶和酵母对干红葡萄酒香气影响的差异分析[J]. 农业工程学报, 2016, 32(S1): 325-332.
- HE Y X, JIANG Y M, LI J X, et al. Effect of different yeasts and maceration enzymes on aromatic components of cabernet gerscht red wine [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(S1): 325-332.
- [34] 陶永胜, 朱晓琳, 马得草, 等. 葡萄汁有孢圆酵母糖苷酶增香酿造葡萄酒的潜力分析[J]. 农业机械学报, 2016, 47(10): 280-286.
- TAO Y S, ZHU X L, MA D C, et al. Application of glycosidase from *Hanseniaspora uvarum* on wine aroma enhancement [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(10): 280-286.
- [35] 李伟, 张众, 王礼, 等. 贺兰山东麓‘美乐’自然发酵干红葡萄酒品质特性[J]. 食品科学, 2022, 43(8): 204-212.
- LI W, ZHANG Z, YU L, et al. Quality characteristics of ‘Merlot’ natural dry red wine from eastern foothill of helan mountain [J]. Food Science, 2022, 43(8): 204-212.
- [36] 王媛, 祝霞, 杨学山, 等. 混菌发酵对美乐低醇桃红葡萄酒香气的影响[J]. 核农学报, 2018, 32(11): 2195-2207.
- WANG Y, ZHU X, YANG X S, et al. Effects of co-fermentation on volatile compounds of Merlot low alcohol rose wine [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2018, 32(11): 2195-2207.
- [37] 申静云, 刘沛通, 段长青, 等. 不同有孢圆酵母与酿酒酵母混合发酵对威代尔冰葡萄酒香气的影响[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(10): 16-23.
- SHEN J Y, LIU P T, DUAN C Q, et al. Effects of mixed fermentation by different *Hanseniaspora* genus yeasts and *Saccharomyces cerevisiae* on the aroma compounds in Vidal ice wine [J]. Food And Fermentation Industries, 2017, 43(10): 16-23.
- [38] 蔡建, 朱保庆, 兰义宾, 等. 蛇龙珠与卡曼娜葡萄酒主要呈香物质鉴定[J]. 中国酿造, 2014, 33(5): 90-96.
- CAI J, ZHU B Q, LAN Y B, et al. Identification of impact odorants on Carménère red wines from China and Chile [J]. China Brewing, 2014, 33(5): 90-96.
- [39] 李坚. 葡萄酒的氧化程度对酒质的影响及其判别模型的构建[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2017.
- LI J. The influence of the oxidation degree of wine on its quality and the construction of its discriminant model [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2017.
- [40] 崔艳, 吕文, 尹吉泰, 等. 低温浸渍对“玫瑰香”低醇桃红葡萄酒品质的影响[J]. 北方园艺, 2017(15): 103-108.
- CUI Y, LYU W, YIN J T, et al. Effect of low temperature maceration technique on quality of low alcohol rose ‘Muscat hamburg’ wine [J]. Northern Horticulture, 2017(15): 103-108.
- [41] 孙国昊, 刘玉兰, 李锦, 等. 脱壳炒籽压榨对浓香葵花籽油风味的影响[J]. 中国油脂, 2020, 45(4): 32-40.
- SUN G H, LIU Y L, LI J, et al. Effects of dehulling - roasting on the flavor of strong fragrant sunflower seed oil [J]. China Oils And Fats, 2020, 45(4): 32-40.

Influence of Mixed Fermentation with *Schizosaccharomycet pombe* and *Torulaspora delbrueckii* on the Quality of Cabernet Sauvignon Rosé Wine

Dong Chao¹, Huang Rong¹, Jiang Jiao¹, Qin Yi¹, Liu Yanlin¹, Song Yuyang^{1,2*}

(¹College of Enology, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi)

²Ningxia Helan Mountain's East Foothill Wine Experiment and Demonstration Station of Northwest A & F University, Yongning 750104, Ningxia)

Abstract To investigate the effects of different fermentation strategies of *Schizosaccharomyce spomb* S17 and *Torulaspora delbrueckii* R86 on the physicochemical indexes, color and aroma quality of Cabernet Sauvignon rosé wine, and to lay the theoretical foundation for the enhancement of wine quality by adopting non-*Saccharomyces enological* yeasts. In this study, Cabernet Sauvignon from XiGe winery in Ningxia were used as the test material, and a strategy of simultaneous and sequential inoculation of two strains was designed to make rosé wine, with commercial *Saccharomyces cerevisiae* CE-CA fermented alone as the control. After vinification, the basic physicochemical indexes, color and aroma components of the wine samples were analyzed, and the aroma characteristics were quantitatively characterized by sensory tasting. Results indicated that the volatile acid content of the wine samples co-fermented with S17 and R68 (0.29 g/L) was much lower than that of the treatment groups fermented with S17 alone (0.81 g/L) and fermented with S17 followed by R68 (0.78 g/L); the malic acid content (0.62 g/L) was lower than that of R68 alone (0.85 g/L) and fermented with R68 followed by S17 (0.71 g/L). The three mixed fermentation strategies displayed higher levels of anthocyanin and pyruvic acid and a body rich in color, which enhanced the stability of the wine color. The wine samples co-fermented with S17 and R68 showed outstanding ester content (21 525.60 µg/L) and increased the content of volatile compounds such as allosol, limonene, n-octanal and phenylethylaldehyde. In conclusion, co-inoculation of *S. pombe* and *T. delbrueckii* has the potential to reduce volatile acids, enhance the fruitiness and aromatic complexity of the wine, and contribute to improving the color quality of the wine.

Keywords mixed culture fermentation; simultaneous inoculation; volatile acid; color; aroma; Cabernet Sauvignon