

不同酵母多糖添加条件下早酥梨-美乐低醇复合果酒品质研究

袁倩¹ 李嘉欣¹ 柳秉红¹ 杨学山^{1,2} 祝霞^{1,2}

(1. 甘肃农业大学食品科学与工程学院, 兰州 730070; 2. 甘肃省葡萄与葡萄酒工程学重点实验室, 兰州 730070)

摘要: 为提高早酥梨-美乐低醇复合果酒的品质,以体积比 50:50 复配的早酥梨和美乐葡萄汁为试材,在酒精发酵前分别添加 0.25 g/L 的酵母细胞壁、水溶性 β -葡聚糖和甘露糖蛋白,接种酿酒酵母和非酿酒酵母进行混菌发酵,采用顶空固相微萃取结合气相色谱质谱联用技术(HS-SPME-GC-MS)测定发酵酒样的挥发性香气化合物,结合模糊数学感官评价法分析探讨其对酒体品质的影响。结果表明,3种酵母多糖均对早酥梨-美乐低醇复合果酒酒精发酵动力学和理化指标有一定影响,尤其是添加酵母甘露糖蛋白的复合果酒与空白对照组酒样的 CIELab 颜色参数差异显著。此外,添加酵母甘露糖蛋白可以提高酒样中萜烯类、酯类、高级醇类物质,尤其是 2-甲基丁酸乙酯、丁酸乙酯、乙酸苯乙酯、癸酸乙酯、香茅醇和香叶醇等化合物含量,呈现较为突出的花香、果香属性;模糊数学综合感官评价达到 7.400 分。综上,外源添加酵母甘露糖蛋白能够有效稳定早酥梨-美乐低醇果酒颜色,改善香气品质。

关键词: 酵母多糖; 早酥梨-美乐葡萄汁; 复合果酒; 挥发性香气化合物; 模糊数学感官评价

中图分类号: TS262.7 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2024)05-0419-12

OSID:



Quality of Low-alcohol Zaosu Pear - Merlot Wine under Different Yeast Polysaccharide Addition Conditions

YUAN Qian¹ LI Jiaxin¹ LIU Binghong¹ YANG Xueshan^{1,2} ZHU Xia^{1,2}

(1. College of Food Science and Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

2. Gansu Key Lab of Viticulture and Enology, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In order to improve the quality of low-alcohol Zaosu pear - Merlot wine, Zaosu pear and Merlot grape juice were blended in a volume ratio of 50:50 as test materials. Yeast cell wall, water-soluble β -glucan and mannoprotein were added to the blended juice at a dose of 0.25 g/L respectively before alcohol fermentation, and *Saccharomyces cerevisiae* as well as non-*Saccharomyces* yeast were inoculated for mixed fermentation. The volatile aroma compounds in fermented fruit wine were determined by HS-SPME-GC-MS, and their effects on the aroma quality of wine were analyzed by using fuzzy mathematics sensory evaluation method. The results showed that all three kinds of yeast polysaccharides had positive effect on the alcohol fermentation kinetics and physicochemical index of low-alcohol Zaosu pear - Merlot wine, especially the significant difference in the color parameter CIELab between the fruit wine added with yeast mannoprotein and the control. In addition, the addition of yeast mannoprotein could increase the content of terpenes, esters and higher alcohols in fruit wine, especially ethyl 2-methylbutyrate, ethyl butyrate, phenethyl acetate, ethyl decanoate, citronellol and geraniol with floral and fruity flavor. Based on fuzzy mathematics evaluation, the sensory score of fruit wine added with yeast mannoprotein reached 7.400 points. In summary, exogenous addition of yeast mannoprotein could effectively stabilize the color of low-alcohol Zaosu pear - Merlot wine and improve its aroma quality.

Key words: yeast polysaccharides; Zaosu pear - Merlot grape juice; composite fruit wine; volatile aroma compounds; fuzzy mathematics sensory evaluation

收稿日期: 2023-10-19 修回日期: 2023-11-15

基金项目: 国家自然科学基金地区基金项目(32060581、32260637)、甘肃省自然科学基金项目(20JR10RA527)和甘肃省葡萄酒产业发展基金项目(20180820-08、20180820-07、G.CJ-2019-125-1)

作者简介: 袁倩(1999—),女,硕士生,主要从事葡萄酒/果酒风味品质调控研究,E-mail: 2902356397@qq.com

通信作者: 祝霞(1977—),女,教授,主要从事葡萄与葡萄酒风味品质调控研究,E-mail: zhux@gsau.edu.cn

0 引言

随着消费者健康意识的不断提高,低醇(酒精度小于7% vol)果酒以其特有的色泽、香气及营养价值,不仅满足了人们多元化的饮酒需求,同时还可避免摄入过量酒精造成的潜在危害,备受年轻消费者的青睐。早酥梨栽培适应性较强,广泛种植于我国华东、西南、西北及华北大多数地区^[1]。果实富含多种维生素、矿物质和酚类化合物,但由于采时机械损伤和采后的生理变化,其在贮藏过程中容易出现品质劣变,不能充分体现经济和社会效益^[2]。果酒酿造是延伸果品产业链和提高附加值的重要途径之一。然而,目前国内利用早酥梨生产果酒的研究相对较少,且纯梨酒香气寡淡、色泽轻弱、口感质量较差,影响了消费者的接受程度和选择意愿。

香气是评价果酒品质优劣的重要依据,也是体现不同产品之间风格特征差异的主要呈现方式^[3]。近年来的研究显示,将不同水果原料复配对提高果酒风味、色泽和营养价值具有积极作用^[4-5]。此外,采用非酿酒酵母(*non-Saccharomyces cerevisiae*)菌株与酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*, *S. cerevisiae*)进行混菌发酵对果酒的香气也有显著影响。文献[6]发现美极梅奇酵母(*Metschnikowia pulcherrima*, *M. pulcherrima*) Mp346 与 *S. cerevisiae* ES488 混菌发酵显著增加了早酥梨酒中酯类和高级醇类化合物含量。文献[7]的研究结果显示, *M. pulcherrima* 与 *S. cerevisiae* 顺序接种混菌发酵增加了李子酒中酯类和萜烯类物质含量,产生了令人愉快的果香。文献[8]对麦芽汁、火龙果、葡萄、菠萝组合的复合果汁,通过果酒酵母(*S. cerevisiae*)和异常维克汉姆酵母混菌发酵,显著提高了酒体中乙酸乙酯及高级醇类化合物的含量,赋予复合果酒独特风味。文献[9]发现 *S. cerevisiae* RW 与汉逊德巴利酵母混菌发酵显著增加了枸杞黄精复合果酒中酯类物质含量,为复合果酒带来热带水果和花香。

此外,越来越多的研究表明,源自酵母的细胞壁提取物、甘露糖蛋白和改性后的水溶性 β -葡萄糖等多糖成分,可以作为发酵促进剂或品质改良剂,对解决果酒酿造中可能出现的低品质、易变质、耗时长等问题具有积极贡献^[10-13]。文献[14]发现,发酵前适量添加酵母多糖可使荔枝酒色泽淡黄,澄清透明,果香酒香协调,口感醇厚,圆润丰满,典型性明显。文献[15]研究表明添加甘露糖蛋白可以抑制花色苷含量下降,降低蓝莓酒酸度,改善口感。整体而言,采用 *S. cerevisiae* 和非酿酒酵母混菌发酵复合果酒,以及在酿造过程中添加适宜的酵母多糖已成为

提高酒体品质的研究热点^[16]。然而,目前国内外对酵母多糖的相关应用研究主要集中于葡萄酒生产中,其对发酵型果酒的色泽稳定性、香气品质和感官特征等相关研究还十分欠缺。

本文以课题组前期建立的早酥梨-美乐桃红低醇果酒的相关研究成果为基础^[17],在酒精发酵前添加不同酵母多糖,采用顶空固相微萃取结合气相色谱质谱联用技术(HS-SPME-GC-MS)和模糊数学评价法,综合分析探讨不同酵母多糖对早酥梨-美乐低醇复合果酒色泽稳定性、香气和感官品质的影响,旨在为提高早酥梨-美乐低醇复合果酒的品质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

早酥梨,购于甘肃景泰条山生态农场,还原糖质量浓度 68.60 g/L, pH 值为 4.05,总酸质量浓度为 2.25 g/L。

美乐酿酒葡萄,2022年9月采自甘肃莫高葡萄种植基地,还原糖质量浓度 201.45 g/L, pH 值为 3.58,总酸质量浓度为 6.58 g/L。

酿酒酵母菌株 ES488,购于意大利 Enartis 公司。

美极梅奇酵母(*M. pulcherrima* 346)菌株 Mp346,购于法国 Lallemand 公司。

酵母多糖:MP 60(酵母甘露糖蛋白质量分数 40%)、CW 101(酵母细胞壁,甘露聚糖约占 30%, β -葡聚糖约占 30%)和 SG 90(水溶性 β -葡聚糖质量分数 85%),均购于安琪酵母股份有限公司。

正辛醇、苯乙醇、异戊醇、乙酸乙酯、乙酸己酯、乙酸苯乙酯、乙酸异戊酯、丁酸乙酯、己酸乙酯、辛酸乙酯、癸酸乙酯等香气物质标准品和 2-辛醇均为色谱纯,购于美国 Sigma 公司。

硫酸铜、氢氧化钠、酒石酸钾钠、无水葡萄糖、磷酸氢二钠均为分析纯,购于天津市光复精细化工研究所;柠檬酸、碳酸钙均为食品级(一级),购于河南万邦实业有限公司;果胶酶为分析纯,购于上海源叶生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

DF-101S 型恒温加热磁力搅拌器,郑州市亚荣仪器有限公司;TRACE 1310-ISQ 型气相色谱-质谱联用仪,Genesis 10s 型紫外可见分光光度计,美国 Thermo Scientific 公司;SHH·W21·600S 型恒温水浴锅,SPX-150-II 型生化培养箱,上海跃进医疗器械有限公司;pHS-3C 型精密 pH 计,上海雷磁仪器厂;固相微萃取装置、50/30 μ m 型萃取头,美国 Surpelco 公司;H2050R 型台式冷冻离心机,长沙湘

仪离心机有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 酿造工艺

参照文献[17]方法,具体工艺为:

美乐葡萄汁制备工艺:分选、除梗→破碎(加入 60 mg/L SO₂、20 mg/L 果胶酶)→浸渍 24 h(8℃)→皮渣分离→美乐葡萄汁。

早酥梨汁制备工艺:挑选、清洗→切块、去核→护色(1 000 mg/L 柠檬酸溶液中浸泡)→榨汁(加 60 mg/L SO₂)→酶解(加入 60 mg/L 果胶酶,40℃ 条件下酶解 3 h)→过滤→早酥梨汁。

早酥梨-美乐低醇复合果酒发酵工艺:早酥梨汁、美乐葡萄汁以体积比 50:50 复配→成分测定及调整(初始 pH 值采用柠檬酸或者碳酸钙调节)→加入酵母多糖→接种酵母(接种前需对酵母进行活化,先接种 0.2 g/L 的非酿酒酵母 Mp346,48 h 后再接种 0.2 g/L 的酿酒酵母 ES488)→20℃ 下进行酒精发酵直至发酵结束(残糖质量浓度小于 4 g/L)→放置于 4℃ 恒温培养箱使酵母及果渣完全沉淀→倒罐→离心过滤,于 4℃ 冰箱储藏。

1.3.2 菌株活化

按产品说明书推荐方法进行酵母菌株活化。

S. cerevisiae 菌株:称取适量 ES488 活性干粉溶于 10 倍体积的蒸馏水中,37℃ 恒温水浴 15 min,再添加等体积的复合果汁,25℃ 恒温水浴 15 min。

M. pulcherrima 346 菌株:称取适量 Mp346 活性干粉溶于 10 倍体积的蒸馏水中,28℃ 恒温水浴 20 min,再添加等体积的复合果汁,25℃ 恒温水浴 15 min。

1.3.3 发酵动力学监测

参照文献[14]的方法,并稍做修改。在 2 L 的早酥梨、美乐葡萄混合果汁(2.5 L 棕色罐)中,分别添加 0.25 g/L 的 MP 60、SG 90 和 CW 101,摇匀,以不添加酵母多糖的处理组为对照(CK),每隔 24 h 取样测定还原糖含量和酒精度,绘制发酵动力学曲线。每组试验重复 3 次,下同。

1.3.4 理化指标检测

酒精发酵结束后取样,参照 GB/T 15038—2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》测定果酒的理化指标(pH 值以及挥发酸含量、残糖量、总酸含量、总酚含量),按照 GB 5009.225—2016《食品安全国家标准酒中乙醇浓度的测定》中推荐的方法测定果酒酒精度。

1.3.5 颜色指标测定

1.3.5.1 CIELab 颜色参数测定

参照文献[18]的方法,并稍作修改。酒样经 0.45 μm 滤膜过滤后,分别测定其在 420、520、

620 nm 处的吸光度。以蒸馏水作为空白对照,建立 CIE 颜色坐标系,计算各供试酒样的 CIELab 颜色参数。每个酒样重复测定 3 次。

计算公式为

$$L^* = 116(Y/Y_0)^{1/3} - 16 \quad (1)$$

$$a^* = 500[(X/X_0)^{1/3} - (Y/Y_0)^{1/3}] \quad (2)$$

$$b^* = 200[(Y/Y_0)^{1/3} - (Z/Z_0)^{1/3}] \quad (3)$$

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (4)$$

$$H^* = \arctan(b^*/a^*) \quad (5)$$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (6)$$

式中 L^* ——酒样明暗程度

a^* ——酒样红绿色程度

b^* ——酒样黄蓝色程度

C^* ——酒样色彩饱和度

H^* ——色调角,(°)

ΔE^* ——色差

$X、Y、Z$ ——样品三刺激值

$X_0、Y_0、Z_0$ ——D65 标准白光三刺激值,分别取 97.29、100.00、116.14

1.3.5.2 色度-色调测定

参考文献[19]的方法,并稍作修改。吸取 1 mL 酒样,用磷酸氢二钠-柠檬酸缓冲液稀释 10 倍,之后在 420、520、620 nm 下测定吸光度,三者之和为酒样的色度,前二者吸光度之比即为色调值。

1.3.5.3 总花色苷含量测定

参考文献[20]的方法,采用 pH 示差法测定。

1.3.6 挥发性香气物质检测

挥发性成分分析参照文献[6]的方法,并略作修改。

1.3.6.1 香气成分富集

在 15 mL 顶空瓶添加 2.4 g NaCl、8 mL 待测酒样和 10 μL 81.06 mg/L 2-辛醇,加磁力搅拌转子,于 40℃ 恒温加热磁力搅拌器水浴平衡 30 min,再插入萃取针萃取 30 min 富集香气成分。

1.3.6.2 GC-MS 条件

GC-MS 条件:毛细管色谱柱 DB-WAX (60 m × 2.5 mm × 0.25 μm),载气为氦气,流速为 1.0 mL/min;气相色谱进样口(240℃)进样 5 min;采用以下升温程序:40℃ 保持 5 min,以 3.5℃/min 升至 180℃ 并保持 15 min;传输线温度保持在 230℃,离子源温度 250℃,不分流进样。电子轰击离子源(EI)温度 250℃;电子能量 70 eV;连接杆温度 180℃;扫描范围 30~350(质荷比)。

定性定量分析:通过 NIST-11、Wiley 及香精香料谱库对未知挥发性香气化合物物质谱图进行检索比对,结合人工图谱解析确认各挥发性香气物质化学

成分,进行定性分析。对已有标准品的香气化合物,通过标准曲线($R^2 > 0.995$)进行定量,其他无标准品的化合物采用化学结构和官能团相似、碳原子数相近的标准物质进行半定量。

1.3.7 模糊数学感官评价

1.3.7.1 模糊数学方法建立

参考文献[21]的方法,并略作修改。对于早酥梨-美乐低醇复合果酒,有4项指标(外观、香气、滋味、典型性)决定其感官品质,即因素集 $U = \{U_1, U_2, U_3, U_4\}$ 。对每个因素的评价按优、良、差3个等级评价,则评语集 $V = \{V_1, V_2, V_3\}$ 。

1.3.7.2 权重集确定

通过调查20名食品相关专业的学生(10男,10女,均无任何身体缺陷),将各指标分别与其他3项

指标进行比较,认为该指标相较于其他3项指标更重要者记为1,否则为0。通过计算即得到各个指标权重,权重集合为 $Q, Q = \{Q_1, Q_2, Q_3, Q_4\}$ 。

1.3.7.3 模糊评价

由感官评定小组(5男,5女),参照文献[22]方法对每个样品进行感官评价(表1),统计各等级票数,将其除以总票数得到评价矩阵 A ,则第 i 个样品的感官因素模糊数学综合评价结果 $Y_i = QA_i$ 。

1.3.7.4 感官评分

参考文献[17]方法,将优、良、差3个等级分别赋予各等级分数的中间值,即有评价等级 $B = \{B_1, B_2, B_3\} = \{8, 5, 2\}$ 。将模糊评价的综合评价结果分别乘以其对应的分值,并进行加和得出每个样品的感官评分,即综合评分 $W_i = Y_i B$ 。

表1 感官品质评价标准

Tab.1 Criteria of sensory evaluation

等级	分值	外观	香气	滋味	典型性
优	9	澄清透明、无杂质、颜色呈玫瑰红或宝石红,色泽鲜艳	具有纯正、优雅、愉悦和谐的果香与酒香	酒体丰满,醇厚协调,舒服爽口	典型性突出,风格独特、优雅,富有梨和葡萄的独特风味
	8				
	7				
良	6	透明,有少许沉淀,颜色偏红色,有光泽	果香与酒香较少或不怡人	酒体协调,纯正无杂	有典型性,不够怡雅
	5				
	4				
差	3	酒体浑浊,有明显杂质,颜色异常,光泽暗淡	无果香与酒香,有不良气味	酒体单薄,苦涩,有杂味	缺少典型性,风格一般
	2				
	1				

1.4 数据分析

试验数据用 Microsoft Excel 2010 统计, SPSS Statistics 26.0 进行显著性分析 (Duncan 法, $P < 0.05$), Origin 2021 绘制点线图, Graphpad Prism 9.0 绘制其他图, 利用 TBtools 进行热图聚类分析, SIMCA 14.1 进行正交偏最小二乘-判别分析 (OPLS-DA), 测定均重复3次, 结果用平均值 \pm 标准差表示。

2 结果与分析

2.1 酵母多糖对发酵动力学的影响

图1中, CK表示未添加酵母多糖的发酵酒样; CW、SG、MP表示分别添加0.25 g/L CW 101、SG 90和MP 60的发酵酒样。整体分析, CW、SG、MP均对酒精发酵具有一定的促进作用。在酒精发酵前期, CW的促进作用最好, 其次为SG和MP。从发酵第4天开始, MP处理组还原糖下降最快, 发酵第7天时, 还原糖质量浓度为3.02 g/L, 低于CK组的3.34 g/L。在发酵前5 d酒精含量快速增加, 5~7 d时酒精含量增速变缓; 发酵结束时(第7天), 各组

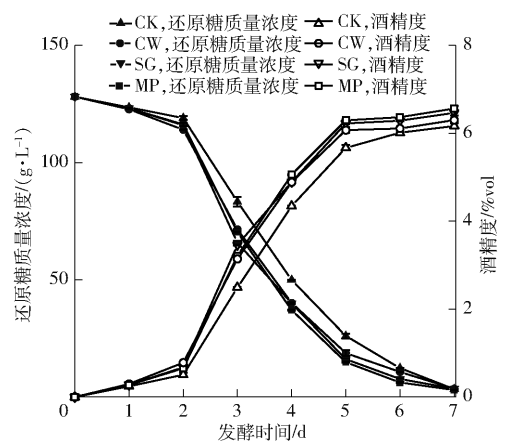


图1 不同酵母多糖处理的发酵动力学

Fig.1 Fermentation kinetics of fruit wine treated with different yeast polysaccharide

酒样酒精含量从大到小依次为MP(6.57% vol)、SG(6.47% vol)、CW(6.30% vol)、CK(6.17% vol)。其中MP处理组酒样残糖最低, 酒精度最高, 可能是因为酵母甘露糖蛋白提高了酵母细胞生理活性^[23]。

2.2 复合果酒基本理化指标

3种酵母多糖对早酥梨-美乐低醇复合果酒理化指标的影响结果见表2。虽然外源性酵母多糖不

同程度地提高了果酒的酒精度,但均符合低醇果酒的标准($<7\%$ vol)。MP处理组果酒中残糖含量显著低于CK($P < 0.05$)。供试酒样pH值升高,可滴定酸降低,其中MP处理组降酸效果最为显著($P <$

0.05),但挥发酸含量无显著差异($P > 0.05$)。3个处理组中,总酚质量浓度分别较对照显著提升 17.11% 、 13.12% 、 18.83% ,且MP处理效果最佳($P < 0.05$)。

表2 复合果酒基本理化指标

Tab.2 Basic physicochemical indexes of composite fruit wine

参数	酒样			
	CK	CW	SG	MP
还原糖质量浓度/($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	(3.34 ± 0.01) ^b	3.50 ^c	(3.51 ± 0.01) ^c	(3.02 ± 0.01) ^a
pH值	(3.62 ± 0.01) ^b	(3.64 ± 0.01) ^{ab}	(3.63 ± 0.01) ^b	3.65 ^a
酒精度/% vol	(6.17 ± 0.05) ^a	6.30 ^b	(6.47 ± 0.06) ^c	(6.57 ± 0.06) ^d
总酸质量浓度/($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	(5.68 ± 0.02) ^a	(5.43 ± 0.01) ^{ab}	(5.48 ± 0.01) ^{ab}	(5.35 ± 0.02) ^b
总酚质量浓度/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	(584.33 ± 0.01) ^a	684.33 ^b	(661.00 ± 0.01) ^b	(694.34 ± 0.02) ^b
挥发酸质量浓度/($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	0.42 ^a	(0.41 ± 0.01) ^a	(0.42 ± 0.01) ^a	(0.42 ± 0.01) ^a

注:同一指标不同字母表示差异显著,样本量 $n = 3$ ($P < 0.05$),下同。

2.3 复合果酒颜色分析





供试酒样颜色指标的测定结果见表3。CIELab参数中, L^* 与果酒的颜色深浅成反比, L^* 越低,酒样颜色越深。 $a^* > 0$ 与红色相关, $a^* < 0$ 与绿色相关, a^* 越高说明酒体颜色中红色分量越大。 $b^* > 0$ 与黄色相关, $b^* < 0$ 与蓝色相关, b^* 越高说明酒体颜色中黄色分量越大。酒精发酵结束后,MP处理组酒样 L^* 值(68.41 ± 0.04)显著低于其他处理组和CK($P < 0.05$),说明MP处理组酒样颜色更深。此外,MP处理组酒样 a^* 、 b^* 均高于CK,且 a^* 值相较于对照显著提升 12.51% ,由此也相应地使MP处理组酒样的 C^* 显著增高,颜色更纯正。 H^* 表示色调角,红色为 0° (360°);黄色为 90° ;绿色为 180° ;蓝色为 270° 。MP处理酒样 H^* 值较对照呈下降趋势,且趋于0,表明其红色程度更深。色差 ΔE^* 与 L^* 、 a^* 和

b^* 贡献程度有关,表征酒样间总体差异程度。以CK为参比酒样,CW和SG均表现为 ΔE^* 大于1,而MP表现为 ΔE^* 大于4,说明添加MP对色差影响显著($P < 0.05$)。

果酒中酚类物质(花色苷、单宁等)含量越高,酒体颜色越深,色度也越高。MP处理酒样总花色苷质量浓度($(142.21 \pm 0.54) \text{ mg/L}$)显著高于CK和其他处理酒样($P < 0.05$),这是由于酵母多糖结合了单体花色素,相互作用形成色素聚合物,阻止了部分色素的聚集沉淀^[24]。MP处理酒样的色调值(0.64 ± 0.01)显著低于CK($P < 0.05$),酒体颜色更红。然而,在CW和SG处理酒样中没有观察到类似结果,尽管CW处理酒样 C^* 和色度高于CK酒样,但差异不显著($P > 0.05$)。上述结果更直观的颜色表征见表3。

表3 酒样颜色指标

Tab.3 Color indexes of composite fruit wine

参数	酒样			
	CK	CW	SG	MP
L^*	(70.54 ± 0.13) ^b	(70.70 ± 0.77) ^b	(71.49 ± 0.10) ^a	(68.41 ± 0.04) ^c
a^*	(31.58 ± 0.18) ^b	(31.96 ± 0.83) ^b	(30.67 ± 0.13) ^c	(35.53 ± 0.02) ^a
b^*	(6.69 ± 0.11) ^b	(6.41 ± 0.13) ^c	(7.18 ± 0.03) ^a	(6.78 ± 0.01) ^b
C^*	(32.28 ± 0.18) ^{bc}	(32.59 ± 0.83) ^b	(31.50 ± 0.13) ^c	(36.17 ± 0.02) ^a
$H^*/(^\circ)$	0.21 ^b	0.20 ^c	0.23 ^a	0.19 ^d
ΔE^*	0 ^c	(1.20 ± 0.27) ^b	(1.42 ± 0.34) ^b	(4.49 ± 0.22) ^a
色度	(3.16 ± 0.13) ^b	(3.25 ± 0.01) ^b	(3.13 ± 0.05) ^b	(3.43 ± 0.02) ^a
色调值	(0.73 ± 0.01) ^{ab}	0.72 ^b	0.74 ^a	(0.64 ± 0.01) ^c
总花色苷质量浓度/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	(120.01 ± 1.33) ^c	(133.75 ± 0.41) ^b	(120.83 ± 0.61) ^c	(142.21 ± 0.54) ^a
颜色表征				

2.4 不同酵母多糖对复合果酒中挥发性香气化合物的影响

果酒的香气特征是由不同挥发性化合物共同作用

的结果。外源添加酵母多糖早酥梨-美乐低醇复合果酒中主要香气物质的GC-MS检测结果如图2(图中***表示 $P \leq 0.001$,**表示 $0.001 < P \leq$

0.01, *表示 $0.01 < P \leq 0.05$, ns 表示 $P > 0.05$) 所示。试验共检测出 74 种香气化合物,其中酯类 30 种、高级醇类 14 种、脂肪酸类 8 种、苯衍生物 4 种、

羰基化合物 4 种、挥发性酚类 5 种、萜烯及其他类 9 种,总质量浓度达到 7 999.06 ~ 11 287.90 $\mu\text{g/L}$ 。但各组酒样中挥发性化合物的种类及含量均有差异。

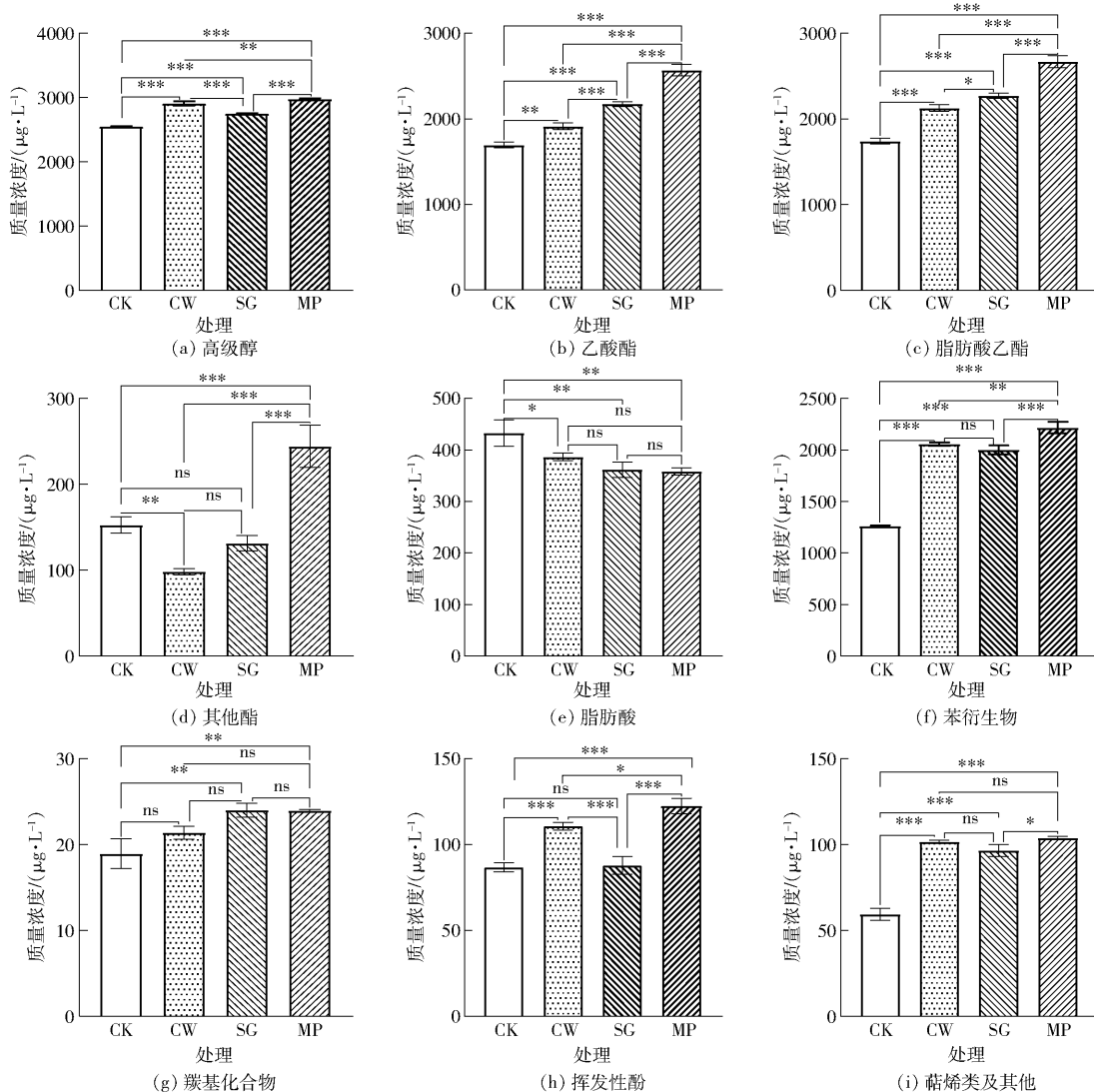


图2 不同处理组酒样的挥发性香气物质

Fig. 2 Volatile aroma substances of fruit wine treated with different yeast polysaccharide

高级醇是酒精发酵过程中形成的主要次级代谢产物之一,其质量浓度低于 300 000 $\mu\text{g/L}$ 时可以增加香气复杂性,赋予果酒怡人的花香和水果香;当质量浓度高于 400 000 $\mu\text{g/L}$ 时会给果酒带来刺鼻的气味^[25]。供试酒样中共检测到 14 种高级醇类物质,质量浓度由高到低依次为 MP(2 979.11 $\mu\text{g/L}$)、CW(2 908.40 $\mu\text{g/L}$)、SG(2 751.13 $\mu\text{g/L}$)、CK(2 548.47 $\mu\text{g/L}$);MP、CW、SG 酒样中高级醇质量浓度分别是对照的 1.17、1.14、1.08 倍(图 2a),其中异丁醇、正己醇、正辛醇、异戊醇等的质量浓度均明显增加($P < 0.05$),可为果酒带来独特的醇香味。

乙酸酯、脂肪酸乙酯等酯类物质具有愉悦的花香和果香味,是果酒香气中的重要组成部分^[26]。试验共检测出 30 种酯类物质(7 种乙酸酯,14 种脂肪

酸乙酯,9 种其他酯),质量浓度总量为 3 590.67 (CK) ~ 5 482.54 $\mu\text{g/L}$ (MP)。乙酸酯质量浓度从高到低依次为 MP(2 569.62 $\mu\text{g/L}$)、SG(2 175.38 $\mu\text{g/L}$)、CW(1 913.76 $\mu\text{g/L}$)、CK(1 696.09 $\mu\text{g/L}$),其中 MP 处理组酒样中质量浓度是 CK 的 1.52 倍(图 2b),主要是由乙酸乙酯、乙酸异戊酯、乙酸苯乙酯和乙酸己酯的质量浓度显著增加所致。CW、SG、MP 处理组中脂肪酸乙酯质量浓度较 CK 分别显著增加 22.17%、30.38%、53.20% ($P < 0.05$)(图 2c),其中各处理组中辛酸乙酯、己酸乙酯和癸酸乙酯的质量浓度最高,尤其是辛酸乙酯质量浓度比 CK 分别提升 21.35%、35.15%、53.00%。其他酯类物质质量浓度占酯类化合物总量的 2.37% ~ 4.46%,且与 CK 相比,只有 MP 处理组质量浓度显著增加

(图 2d)。

脂肪酸类化合物含量接近阈值时,果酒会产生果味、奶酪味、黄油味。但浓度过高会产生汗味、脂肪味^[27]。CK、CW、SG、MP 试验组共检出 8 种脂肪酸类物质,质量浓度依次为 432.67、386.64、361.67、358.49 $\mu\text{g/L}$,其中辛酸的质量浓度比对照组降低 3.71% ~ 14.00%,有利于减轻果酒中不良气味。与 CK 相比,CW、SG、MP 处理组的脂肪酸质量浓度分别显著降低 10.64%、16.41%、17.14%,但各处理组之间不存在显著差异 ($P > 0.05$) (图 2e)。

试验中还检测到 4 种苯衍生物、4 种羰基化合物、5 种挥发性酚类化合物。苯衍生物可赋予果酒花香和果香^[17],CW、SG、MP 各处理组酒样中质量浓度均显著高于 CK(图 2f),尤其是苯乙醇质量浓度最高,较 CK 显著提升 64.03%、59.84%、77.04%。羰基化合物、挥发性酚类物质虽然质量浓度较低,但与其他氧化物结合时,可以增强果酒的发酵香气^[28]。

赋予果酒花香、果香特性的萜烯类化合物感官阈值较低,是果酒中重要的香气物质^[29]。供试酒样中共检测出芳樟醇、香茅醇、橙花醇、香叶醇、香叶基丙酮 5 种萜烯类物质,CW、SG、MP 处理组萜烯类物质质量浓度较 CK 显著增加 85.41%、79.80%、88.76% (图 2i),尤其是香茅醇、香叶醇质量浓度显著增加 ($P < 0.05$)。此外,还检测到大马士酮、叔十六硫醇、3-甲基-1-丙醇和水杨酸甲酯,尽管这些物质质量浓度较低,但对酒体香气复杂性有一定贡献。

为了可视化不同酵母多糖处理对早酥梨-美乐低醇复合果酒酒样中挥发性香气化合物的总体影响,对不同酒样中所检测香气化合物进行聚类分析,结果如图 3 所示。从整体分析,不同处理组酒样被

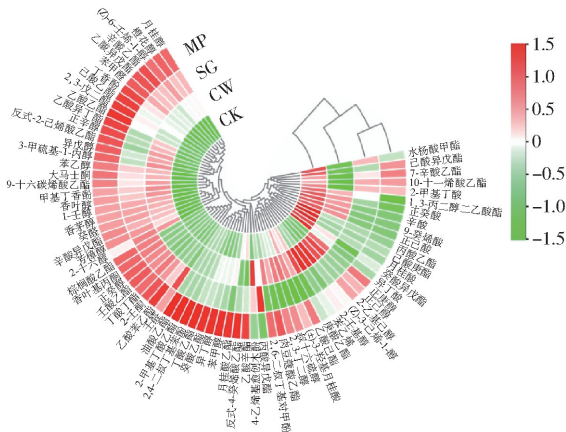


图 3 不同处理酒样中挥发性香气化合物热图聚类分析
Fig. 3 Heatmap cluster of aroma compounds in fruit wine treated with different yeast polysaccharide

聚为两大类,CK 单独聚为一类,即不同酵母多糖处理组与 CK 组之间均存在显著差异 ($P < 0.05$)。MP 处理组与 SG 处理组虽聚为一类,但 MP 酒样红色区域占比约为 2/3,SG 酒样约为 1/2,MP 处理组酒样中不同种类挥发性香气化合物总量显著高于 SG 处理组酒样。

2.5 差异香气化合物分析

2.5.1 差异香气物质筛选

以各酒样中共检测出 74 种挥发性香气化合物作为因变量,不同处理作为自变量,通过 OPLS-DA,可以实现 4 个处理的早酥梨-美乐低醇复合果酒样品有效区分(图 4a)。本次分析中的自变量拟合指数 R_x^2 为 0.896,因变量拟合指数 R_y^2 为 0.990,模型预测指数 Q^2 为 0.964,均大于 0.5,表示模型拟合结果可接受^[30]。经过 200 次置换检验,如图 4b 所示, Q^2 回归线与纵轴的相交点小于 0,说明模型不存在过拟合,模型验证有效,认为该结果可用于不同处理之间挥发性香气化合物差异分析。

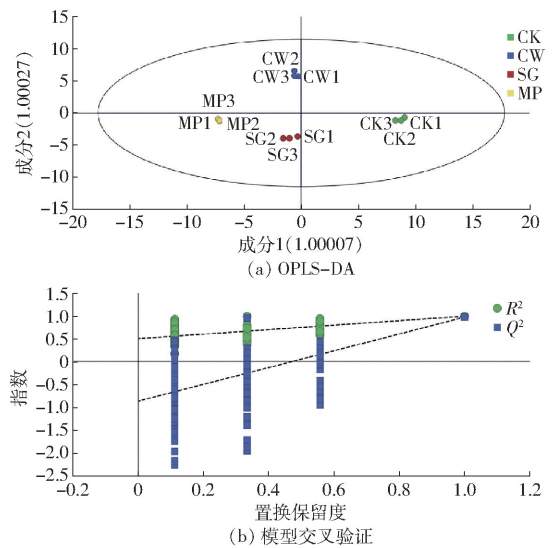


图 4 不同处理酒样中挥发性香气化合物 OPLS-DA 分析和模型交叉验证结果

Fig. 4 OPLS-DA analysis of volatile aroma compounds in different yeast polysaccharide treated wine samples and model cross validation results

变量重要性投影值(VIP 值)是 OPLS-DA 模型变量的权重,VIP 值越大,代表该物质对区分不同处理组之间的差异作用越关键^[31]。对 OPLS-DA 模型分析 VIP 值大于 1(图 5)的 34 种差异挥发性化合物进行热图分析,结果如图 6 所示。与 CK 相比较,SG 处理组对香茅醇、香叶醇、1-壬醇、2-十六醇、乙酸苯乙酯、壬酸乙酯和丁酸丁酯等差异香气物质有促进作用;CW 处理组明显改变了香茅醇、香叶醇、正己醇、(Z)-3-己烯-1-醇、2-乙基己醇、2-壬基醇、

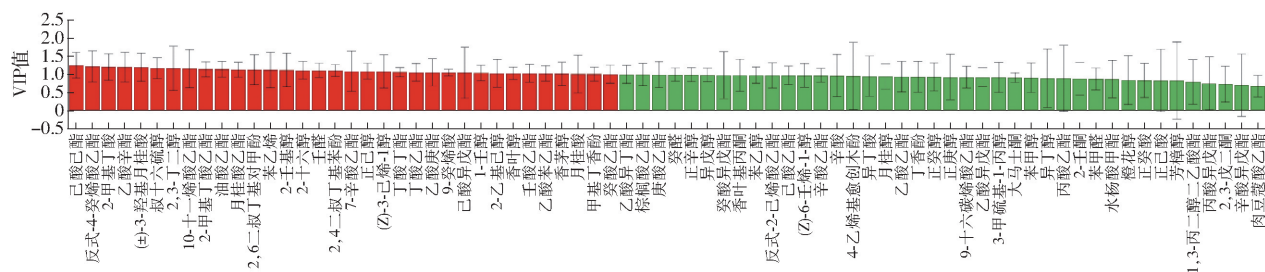


图5 酵母多糖处理酒样中挥发性香气化合物VIP值

Fig. 5 VIP value of aroma compounds in fruit wine treated with different yeast polysaccharide

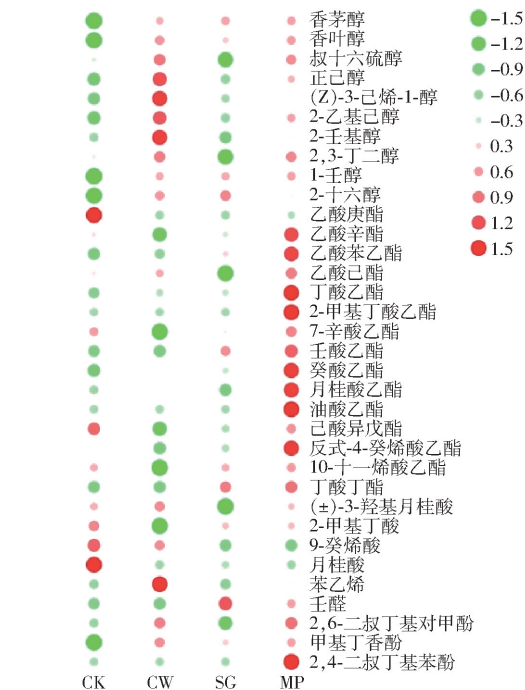


图6 不同处理酒样中差异挥发性香气化合物热图分析

Fig. 6 Heat map of differential aroma compounds in fruit wine treated with different yeast polysaccharide

2,3-丁二醇、1-壬醇、2-十六醇和乙酸己酯等差异香气物质含量;MP处理组明显提高了香茅醇、香叶醇、正己醇、2-乙基己醇、2,3-丁二醇、1-壬醇、乙酸辛酯、乙酸苯乙酯、乙酸己酯、丁酸乙酯、2-甲基丁酸乙酯、7-辛酸乙酯、壬酸乙酯、癸酸乙酯、月桂酸乙酯、油酸乙酯、己酸异戊酯、反式4-癸烯酸乙酯、10-十一烯酸乙酯和丁酸丁酯等差异香气物质含量。2-甲基丁酸、9-癸烯酸、月桂酸、乙酸庚酯、己酸异戊酯含量在各处理中均低于CK。整体分析,除脂肪酸含量有所降低外,各处理组均不同程度促进了萜烯类、高级醇类、酯类差异化合物的生成;CW处理组主要影响高级醇类,MP处理组主要作用于酯类,但MP处理组酒样中主要差异化合物含量和种类均显著高于其他处理组酒样。

2.5.2 关键差异物质香气属性

气味活性值(Odor activity value, OAV)大于1的化合物被认为是样品风味的主要贡献者,OAV处于0.1~1.0的成分通过加成作用对酒体风味也有

重要作用^[32]。

为了确定供试酒样的香气属性差异,根据 $P < 0.05$ 、VIP值大于1且OAV大于0.1的标准,筛选出8种关键差异香气物质,包括萜烯类2种、羰基化合物1种、酯类4种、脂肪酸1种,对其进行热图分析。由图7可知,CK酒样中2-甲基丁酸等香气物质质量浓度较高,为果酒带来辛辣、乳酪等香气;CW酒样中香叶醇、香茅醇和癸酸乙酯等质量浓度较高,赋予果酒浓郁的玫瑰、柠檬、柑橘等花果香气;SG酒样中壬醛、香茅醇、香叶醇和乙酸苯乙酯等香气物质质量浓度较高,赋予果酒复杂浓郁的玫瑰、柑橘、柠檬、热带水果等花果香;MP酒样中2-甲基丁酸乙酯、丁酸乙酯、乙酸苯乙酯、癸酸乙酯、香茅醇和香叶醇等香气物质质量浓度较高,能够为果酒带来复杂浓郁的蔷薇、玫瑰、柑橘、柠檬、菠萝、草莓、香蕉、苹果、甜果和热带水果等气味。由此表明,添加MP能够明显提升早酥梨-美乐低醇复合果酒中的花香、果香属性,提高香气复杂性。

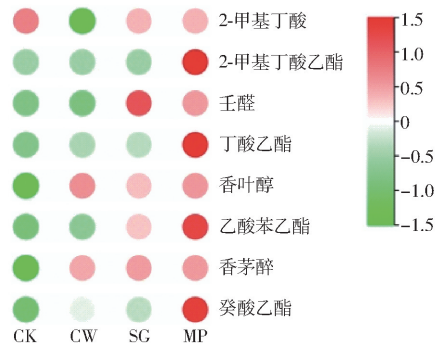


图7 不同处理酒样中关键差异香气化合物的热图分析

Fig. 7 Heat map of key differential aroma compounds in wine treated with different yeast polysaccharide

2.6 感官评价

2.6.1 果酒模糊数学感官综合评价结果

以CK酒样为例,该酒样外观7人评优,2人评良,1人评差(表4),分别占总人数比例为0.7、0.2、0.1,即有:外观 $U_1 = \{0.7, 0.2, 0.1\}$;同理可得香气 $U_2 = \{0.5, 0.3, 0.2\}$;滋味 $U_3 = \{0.6, 0.3, 0.1\}$;典型性 $U_4 = \{0.6, 0.2, 0.2\}$ 。 $A_i = [U_1 \ U_2 \ U_3 \ U_4]^T$,其中*i*是样品编号, $i = 1, 2, 3, 4$,即有模糊矩阵

表4 酒样感官评价指数票数统计结果

Tab.4 Statistical results of sensory evaluation

index of wine samples

样品	外观			香气			滋味			典型性		
	优	良	差	优	良	差	优	良	差	优	良	差
CK	7	2	1	5	3	2	6	3	1	6	2	2
CW	8	2	0	6	2	2	7	2	1	8	2	0
SG	6	3	1	7	2	1	8	1	1	9	1	0
MP	9	1	0	8	2	0	8	2	0	8	1	1
权重	0.20			0.25			0.35			0.20		

$$A_1 = \begin{bmatrix} 0.7 & 0.2 & 0.1 \\ 0.5 & 0.3 & 0.2 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 \\ 0.6 & 0.2 & 0.2 \end{bmatrix} \quad A_2 = \begin{bmatrix} 0.8 & 0.2 & 0.0 \\ 0.6 & 0.2 & 0.2 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 \\ 0.8 & 0.2 & 0.0 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.3 & 0.1 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 \\ 0.9 & 0.1 & 0.0 \end{bmatrix} \quad A_4 = \begin{bmatrix} 0.9 & 0.1 & 0.0 \\ 0.8 & 0.2 & 0.0 \\ 0.8 & 0.2 & 0.0 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix}$$

根据权重集 $Q = \{0.20, 0.25, 0.35, 0.20\}$, 评价结果为 $Y, Y_i = QA_i$ 计算各样品评价结果。 $Y_1 =$

$$\begin{bmatrix} 0.20 & 0.25 & 0.35 & 0.20 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.7 & 0.2 & 0.1 \\ 0.5 & 0.3 & 0.2 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 \\ 0.6 & 0.2 & 0.2 \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} 0.475 & 0.260 & 0.145 \end{bmatrix}。 同理 $Y_2 = \begin{bmatrix} 0.715 \\ 0.200 & 0.085 \end{bmatrix}; Y_3 = \begin{bmatrix} 0.755 & 0.165 & 0.080 \end{bmatrix}; Y_4 = \begin{bmatrix} 0.820 & 0.160 & 0.020 \end{bmatrix}。$$$

2.6.2 果酒模糊数学感官综合评分

根据综合评分公式: $W_i = Y_i \cdot B$, 其中评价等级集 $B = \{8, 5, 2\}$ 。 $W_1 = \begin{bmatrix} 0.475 & 0.260 & 0.145 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 8 & 5 & 2 \end{bmatrix}^T = 5.390$; 同理 $W_2 = 6.890$; $W_3 = 7.025$; $W_4 = 7.400$ 。

由计算结果可知, MP 酒样感官评分最高(7.400), CK 对照组酒样最低(5.390)。整体而言, 酵母多糖处理组酒样更受感官评价员喜爱(表4), 且 MP 酒样色泽饱满, 呈现迷人的宝石红、酒体丰满, 醇厚协调、具有浓郁的花果香, 与关键差异物质香气属性分析结果一致(图7)。

3 讨论

本试验结果表明, 外源 CW、SG、MP 均对酒精发酵有明显的促进作用。文献[23]发现添加甘露聚糖可缩短酵母生长的迟滞期, 显著提高细胞活力, 促进酵母菌株快速生长和繁殖, 与本文结果相似。CW、SG、MP 处理组总酚含量分别较 CK 显著提升 17.11%、13.12%、18.83%, 表明酵母多糖的

添加有利于果酒中酚类物质含量的增加, 这可能是由于酵母多糖对果酒中酚类物质的包裹, 某种程度上能提高其稳定性和抗氧化性^[33]。颜色分析结果表明, 在酒精发酵前添加酵母甘露糖蛋白, 可以改善早酥梨-美乐低醇复合果酒色泽, 在 CW 和 SG 处理酒样中没有观察到类似结果。而在葡萄酒类似的研究中, 酵母多糖对颜色的影响存在一定的不确定性。有研究表明, 多糖和酚类化合物之间相互作用形成了稳定的聚合色素, 可以防止或减少葡萄酒的氧化, 有助于稳定葡萄酒的颜色^[34]; 相反, 也有研究显示, 相互作用会造成葡萄酒颜色损失^[35]。

香气决定了果酒质量和消费者的喜好程度。本试验中, 甘露糖蛋白处理复合果酒酒样中的高级醇、乙酸酯和脂肪酸乙酯质量浓度显著增加 ($P < 0.05$)。高级醇在发酵过程主要通过 Ehrlich 和 Harris 途径生成^[36]。其中, Ehrlich 途径是氨基酸通过转氨酶作用生成的酮酸, 在脱羧酶作用下脱羧成醛, 最终在醇脱氢酶作用下还原为高级醇。而 Harris 途径是通过丙酮酸脱羧酶、脱氢酶将葡萄糖代谢产生的酮酸经脱羧、脱氢还原成高级醇。酵母甘露糖蛋白处理组中高级醇质量浓度显著高于对照组 ($P < 0.05$), 可能是因为酵母细胞中 ATP 酶的活性增强, 水解释放了更多的 ATP, 有利于为 Ehrlich 途径提供能量^[37-39]。乙酸酯是由酵母细胞内酰基转移酶或酯合成酶催化高级醇与乙酰辅酶 A 缩合而成。酵母甘露糖蛋白作为发酵促进剂, 提高了高级醇的质量浓度, 由此增加了乙酸乙酯、乙酸异戊酯、乙酸苯乙酯和乙酸己酯的合成底物, 进而促进了乙酸酯的积累^[40]。脂肪酸乙酯主要通过酯化反应生成^[40], 甘露糖蛋白能够增加酵母细胞 GSH 的含量和 ATP 酶活性, 提高果酒的抗氧化能力, 促进酯化反应的进行, 进而提高酒样中辛酸乙酯、己酸乙酯和癸酸乙酯的质量浓度^[23]。

文献[41]研究发现, 添加酵母多糖能显著改变葡萄酒中萜烯类香气化合物的质量浓度, 并且不同类型酵母多糖的作用效果有较大差异。本试验中酵母多糖对果酒萜烯类化合物的质量浓度影响较大, CW、SG、MP 处理组分别较 CK 显著增加 85.41%、79.80%、88.76%。添加酵母甘露糖蛋白可增加细胞中还原型 GSH 的合成与释放, 迅速结合并清除细胞中氧自由基, 从而减少萜烯类等香气物质的降解^[23]。此外, 酵母甘露糖蛋白还能提高酵母细胞活性及 β -糖苷酶活性, 分解并释放糖苷态的香气前体物质^[42]。文献[43]研究表明, 葡萄酒中富含甘露糖蛋白胶体时可以优先吸附保留葡萄酒中的萜烯类和

降异戊二烯类香气化合物,使其含量显著增加,与本文结果相似。此外,添加甘露糖蛋白后脂肪酸类化合物质量浓度显著降低,可能是由于多糖物质与挥发性酸类化合物相互作用降低了酸类物质的挥发性^[44]。

关键差异香气化合物热图分析结果进一步表明,外源酵母甘露糖蛋白明显促进了关键差异香气化合物 2-甲基丁酸乙酯、丁酸乙酯、乙酸苯乙酯、癸酸乙酯、香叶醇和香茅醇的生成,为果酒带来复杂浓郁的果香、花香等相关香味属性。相较于普通感官评价,模糊数学对感官评定人员要求相对较低,最大程度避免由评价小组是否经过系统培训、个人喜好以及背景知识差异等因素造成的误差,减少感官评价过程中主观性的干扰。本试验模糊数学感官评价结果显示,酵母甘露糖蛋白处理酒样模糊数学感官综合评分最高,表现出较为浓郁的花果香,与关键差

异化合物香气属性分析结果相一致。综合分析,外源添加酵母甘露糖蛋白可改善早酥梨-美乐低醇复合果酒色泽,增加果酒香气浓郁度和复杂性,具有良好的果酒生产增香应用潜力。

4 结束语

3种酵母多糖对早酥梨-美乐低醇复合果酒混菌发酵动力学和品质影响结果表明,外源性甘露糖蛋白可以促进酒精发酵,降低果酒酸度,改善果酒颜色;显著提高酒体中萜烯类、高级醇、乙酸酯、脂肪酸乙酯类香气化合物的含量,增加果酒香气的复杂性,稳定香气成分,提高香气的持久性;模糊数学感官综合评分为 7.400,表现出较为浓郁的花果香。综合分析,酒精发酵前添加 0.25 g/L 酵母甘露糖蛋白,可以改善复合果酒色泽,提高果酒香气品质。

参 考 文 献

- [1] GOLIAŠ J, LÉTAL J, BALÍK J, et al. Effect of controlled atmosphere storage on production of volatiles and ethylene from cv. Zaosuli pears[J]. Horticultural Science, 2016, 43(3): 117-125.
- [2] ZHANG H, WANG R, WANG T, et al. Methyl salicylate delays peel yellowing of 'Zaosu' pear (*Pyrus bretschneideri*) during storage by regulating chlorophyll metabolism and maintaining chloroplast ultrastructure[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(10): 4816-4824.
- [3] GOBBI M, COMITINI F, DOMIZIO P, et al. *Lachancea thermotolerans* and *Saccharomyces cerevisiae* in simultaneous and sequential co-fermentation: a strategy to enhance acidity and improve the overall quality of wine[J]. Food Microbiology, 2013, 33(2): 271-281.
- [4] WANG Y, MU J, WANG J. Optimization of fermentation technology of hawthorn-pear wine by uniform design and response surface design[J]. Frontiers of Agriculture in China, 2011, 5(3): 407-412.
- [5] PATEL S, SHIBAMOTO T. Flavor compounds in wines produced from chardonnay grapes fermented with fruit juices[J]. Food Science & Technology Research, 2003, 9(1): 84-86.
- [6] YANG X S, ZHAO F Q, YANG L, et al. Enhancement of the aroma in low-alcohol apple-blended pear wine mixed fermented with *Saccharomyces cerevisiae* and non-*Saccharomyces* yeasts[J]. LWT, 2022, 155: 112994.
- [7] ZHANG M, ZHONG T, HEYGI F, et al. Effects of inoculation protocols on aroma profiles and quality of plum wine in mixed culture fermentation of *Metschnikowia pulcherrima* with *Saccharomyces cerevisiae*[J]. LWT, 2022, 161: 113338.
- [8] 刘丛竹, 郭波, 布安琪, 等. 果酒酵母和异常维克汉姆酵母混菌发酵复合水果的风味物质特征[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(4): 162-164, 169.
LIU Congzhu, GUO Bo, BU Anqi, et al. Flavor characteristics of fruit wine yeast and *Wickerhamomyces anomalus* yeast mixed fermentation[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2019, 47(4): 162-164, 169. (in Chinese)
- [9] WANG J J, ZHANG W W, GUAN Z J, et al. Effect of fermentation methods on the quality and in vitro antioxidant properties of *Lycium barbarum* and *Polygonatum cyrtoneuma* compound wine[J]. Food Chemistry, 2023, 409: 135277.
- [10] 周祥, 张双双, 李莉, 等. 酵母多糖的生理功能及其在动物饲养中的应用研究进展[J]. 粮食与饲料工业, 2013, 12(10): 46-48.
- [11] COMUZZO P, TAT L, TONIZZO A, et al. Yeast derivatives (extracts and autolysates) in winemaking: release of volatile compounds and effects on wine aroma volatility[J]. Food Chemistry, 2006, 99(2): 217-230.
- [12] 门颖, 聂聪, 许秀丽, 等. 酵母多糖在干白葡萄酒陈酿过程中的效果研究[J]. 食品工业, 2015(11): 132-135.
MEN Ying, NIE Cong, XU Xiuli, et al. Study on the effect of yeast polysaccharide in the process of dry white wine aging[J]. Food Industry, 2015(11): 132-135. (in Chinese)
- [13] VOILLEY A. Influence of yeast walls on the behavior of aroma compounds in a model wine[J]. American Journal of Enology and Viticulture, 1994, 45(1): 29-36.
- [14] 曾悦, 邓慧萍, 蹇华丽. 不同酵母多糖及酵母种类对荔枝酒品质的影响[J]. 中国酿造, 2019, 38(11): 67-70.

- ZENG Yue, DENG Huiping, JIAN Huali. Effect of different yeast polysaccharide and yeast species on quality of litchi wine[J]. China Brewing, 2019, 38(11): 67–70. (in Chinese)
- [15] SUN X, YAN Z, ZHU J, et al. Effects on the color, taste, and anthocyanins stability of blueberry wine by different contents of mannoprotein[J]. Food Chemistry, 2019, 279: 63–69.
- [16] 陈晓姣, 刁体伟, 赖晓琴, 等. 酵母衍生物在果酒中的应用进展[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(4): 287–293.
CHEN Xiaojiao, DIAO Tiwei, LAI Xiaoqin, et al. Advances on the application of yeast derivatives during winemaking[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(4): 287–293. (in Chinese)
- [17] 赵婕, 袁倩, 张序, 等. 混合发酵对早酥梨-美乐低醇桃红果酒品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(22): 119–127.
ZHAO Jie, YUAN Qian, ZHANG Xu, et al. Effect of mixed fermentation on the quality of Zaosu pear–Merlot low-alcohol rose fruit wine[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(22): 119–127. (in Chinese)
- [18] YANG H, CHEN X, LI X, et al. Effects of 5 antibrowning agents on the color parameters of Dangshan pear wine during storage [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2022, 46(5): e16582.
- [19] 马腾臻, 梁钰华, SAM F E, 等. 发酵前不同冷浸渍时间对‘黑比诺’桃红起泡葡萄酒风味特征的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(23): 325–333.
MA Tengzhen, LIANG Yuhua, SAM F E, et al. Effect of pre-fermentation cold maceration time on flavor attributes of ‘Pinot Noir’ sparkling rose wine[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(23): 325–333. (in Chinese)
- [20] ARAMWIT P, BANG N, SRICHANA T. The properties and stability of anthocyanins in mulberry fruits[J]. Food Research International, 2010, 43(4): 1093–1097.
- [21] 张勋, 张丽霞, 芦鑫, 等. 混料试验与模糊评价结合优化挤压膨化芝麻制品工艺[J]. 食品科学, 2018, 39(4): 248–253.
ZHANG Xun, ZHANG Lixia, LU Xin, et al. Formulation optimization of extruded sesame-based food products using mixture design and fuzzy evaluation[J]. Food Science, 2018, 39(4): 248–253. (in Chinese)
- [22] YANG H, SUN J, TIAN T, et al. Physicochemical characterization and quality of Dangshan pear wines fermented with different *Saccharomyces cerevisiae*[J]. Journal of Food Biochemistry, 2019, 43(8): 1–12.
- [23] 祝霞, 宋茹茹, 宋欣芜, 等. 甘露聚糖对酿酒酵母菌株生长及抗氧化活性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(22): 49–54.
ZHU Xia, SONG Ruru, SONG Xinyuan, et al. Effects of mannan on growth and antioxidant activity of *Saccharomyces cerevisiae* [J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(22): 49–54. (in Chinese)
- [24] HAN F L, LI Y, LI J M, et al. Relation between anthocyanin structures and color in red wine: a review[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2011, 30(3): 328–335.
- [25] 夏鸿川, 张众, 孙丽君, 等. 混菌发酵对贺兰山东麓‘赤霞珠’干红葡萄酒香气的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(14): 165–175.
XIA Hongchuan, ZHANG Zhong, SUN Lijun, et al. Effect of mixed culture fermentations on the aroma compounds of ‘Cabernet Sauvignon’ dry red wine produced in the eastern foothill of Helan Mountain[J]. Food Science, 2022, 43(14): 165–175. (in Chinese)
- [26] 赵芳琴, 王诗, 赵丹丹, 等. 混菌发酵接种比例对美乐低醇葡萄酒香气品质的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2020, 55(1): 186–195.
ZHAO Fangqin, WANG Shi, ZHAO Dandan, et al. Effect of inoculation ratio of mixed fermentation on aroma quality of Merlot low alcohol wine[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2020, 55(1): 186–195. (in Chinese)
- [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]. Critical Reviews in Food Science Nutrition, 2020, 61(10): 1589–1604.
- [28] JUTAPORN S, SUKANDA V, CHRISTIAN E, et al. Characterization of β -glucosidases from *Hanseniaspora* sp. and *Pichia anomala* with potentially aroma-enhancing capabilities in juice and wine[J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2011, 27(2): 423–430.
- [29] 赵宾宾, 祝霞, 杨学山, 等. 酿酒与非酿酒酵母共酵对‘蛇龙珠’干红葡萄酒香气物质的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2017, 52(5): 142–151.
ZHAO Binbin, ZHU Xia, YANG Xueshan, et al. Effect of co-fermentation with *Saccharomyces cerevisiae* and *Cryptococcus flavescens* on aromatic matter of ‘Cabernet Gernischt’ dry red wine[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2017, 52(5): 142–151. (in Chinese)
- [30] YUN J, CUI C J, ZHANG S H, et al. Use of headspace GC/MS combined with chemometric analysis to identify the geographic origins of black tea[J]. Food Chemistry, 2021, 360: 130033.
- [31] 李国卫, 索彩仙, 吴文平, 等. 基于多元统计分析的不同诃子属药材多指标成分研究[J]. 天然产物研究与开发, 2021, 33(1): 23–33.
LI Guowei, SUO Caixian, WU Wenping, et al. Multi-indicative component analysis of different species of *Terminalia* L. based

- on multivariate statistical analysis[J]. *Natural Product Research and Development*,2021,33(1): 23–33. (in Chinese)
- [32] 陶永胜,朱晓琳,马得草,等. 葡萄汁有孢汉逊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 Yongsheng, ZHU Xiaolin, MA Decao, 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. (in Chinese)
- [33] RIOU V, VERNHET A, DOCO T, et al. Aggregation of grape seed tannins in model wine-effect of wine polysaccharides[J]. *Food Hydrocolloids*,2002,16(1): 17–23.
- [34] ESCOT S, FEUILLAT M, DULAU L, et al. Release of polysaccharides by yeasts and the influence of released polysaccharides on colour stability and wine astringency[J]. *Australian Journal of Grape and Wine Research*,2001,7(3): 153–159.
- [35] GUADALUPE Z, MARTÍNEZ L, AYESTARÁN B. Yeast mannoproteins in red winemaking: effect on polysaccharide, polyphenolic, and color composition[J]. *American Journal of Enology and Viticulture*,2010,61(2): 191–200.
- [36] JIANG X H, LU Y Y, LIU S Q. Effects of pectinase treatment on the physicochemical and oenological properties of red dragon fruit wine fermented with *Torulopsis delbrueckii*[J]. *LWT—Food Science and Technology*,2020,132: 109929.
- [37] MASSERA A, ASSOF M, SARI S, et al. Effect of low temperature fermentation on the yeast-derived volatile aroma composition and sensory profile in Merlot wines[J]. *LWT—Food Science and Technology*,2021,142: 111069.
- [38] CARPENA M, FRAGA-CORRAL M, OTERO P, et al. Secondary aroma: influence of wine microorganisms in their aroma profile[J]. *Foods*,2020,10(1): 51–59.
- [39] 杨学山,李洁春,杨柳,等. 酿酒酵母抗氧化活性与发酵香气化合物研究[J]. *农业机械学报*,2023,54(9): 423–430.
YANG Xueshan, LI Jiechun, YANG Liu, et al. Research on antioxidant activity and fermentation aroma compounds of *Saccharomyces cerevisiae* in simulated wine[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*,2023,54(9): 423–430. (in Chinese)
- [40] 陶永胜,李娜. 葡萄酒中香气物质研究进展[J]. *食品科学技术学报*,2023,41(3): 28–40.
TAO Yongsheng, LI Na. Research progress on aroma compounds in wine[J]. *Journal of Food Science and Technology*,2023,41(3): 28–40. (in Chinese)
- [41] 李惠琳,王婧,许引虎,等. 不同酵母多糖对霞多丽干白葡萄酒品质的影响[J]. *食品与发酵工业*,2018,44(4): 142–153.
LI Huilin, WANG Jing, XU Yinhu, et al. Effects of different yeast polysaccharides on quality of chardonnay dry white wine[J]. *Food and Fermentation Industries*,2018,44(4): 142–153. (in Chinese)
- [42] MICHLMAYR H, NAUER S, BRANDES W, et al. Release of wine monoterpenes from natural precursors by glycosidases from *Oenococcus oeni*[J]. *Food Chemistry*,2012,135(1): 80–87.
- [43] RODRÍGUEZ-BENCOMO J J, ANDÚJAR-ORTIZ I, MORENO-ARRIBAS M V, et al. Impact of glutathione-enriched inactive dry yeast preparations on the stability of terpenes during model wine aging[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*,2014,62(6): 1373–1383.
- [44] 尹宁宁,许引虎,李敏,等. 不同酵母多糖对蛇龙珠干红葡萄酒品质的影响[J]. *食品与生物技术学报*,2018,37(6): 646–654.
YIN Ningning, XU Yinhu, LI Min, et al. Effect of yeast polysaccharide on the quality of wine Cabernet Gernischt dry red[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*,2018,37(6): 646–654. (in Chinese)