

不同酿酒酵母对李子玫瑰果酒风味特征的影响

孙萌彤,戚加伟,郭邵磊,李杰*

山东农业大学食品科学与工程学院,山东泰安271018

摘要:为研究不同酿酒酵母对李子玫瑰果酒风味特征的影响,选用5种常见的商用酿酒酵母来酿制果酒,跟踪测定发酵过程中还原糖、总酸、pH等基本理化指标;采用顶空固相微萃取(headspace solid-phase microextraction, HS-SPME)、气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)联用技术分析发酵成品酒中挥发性风味物质,结合感官评价,确定李子玫瑰果酒的最佳发酵菌株。结果显示,不同酿酒酵母对李子玫瑰果酒的理化指标影响显著:酵母GHM对糖类利用能力最强,发酵后果酒总糖含量最低(2.78±0.16 g/L);酵母71B发酵产生的酒精度为(8.30±0.01%vol),酵母71B总酸含量最低(3.65±0.12 g/L),pH值最高(3.92±0.01)。不同酿酒酵母酿造的李子玫瑰果酒的挥发性物质组成相似,但含量存在差异。酵母71B在醇类挥发性化合物的合成能力上表现突出,醇类挥发性化合物总浓度最高(17 144.03 μg/L),尤其是异戊醇(14 168.75 μg/L)和苯乙醇(1 963.21 μg/L),能够赋予酒体玫瑰花的香气。OPLS-DA分析表明异戊醇等醇类和辛酸乙酯等酯类对于酒体香气有显著性贡献。感官品评显示,酵母71B酿造的李子玫瑰果酒酒样整体品质最优。本研究旨在探索不同酿酒酵母在李子玫瑰果酒发酵中的潜力,为筛选能增强李子玫瑰果酒香气、改善品质的酵母提供理论基础。

关键词:果酒;酿酒酵母;风味特征;感官评价

中图分类号:TS262.7

文献标识码:A

文章编号:1000-2324(2026)02-0377-12

Effects of Different *Saccharomyces cerevisiae* on Flavor Characteristics of Plum Rosehip Wine

SUN Meng-tong, QI Jia-wei, GUO Shao-lei, LI Jie*

College of Food Science and Engineering/Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China

Abstract: To investigate the effects of different *Saccharomyces cerevisiae* strains on the flavor characteristics of plum rosehip wine, this study selects five common commercial wine yeasts for fruit wine fermentation, monitoring and measuring the basic physicochemical indicators, including reducing sugar, total acid, and pH. It analyzes volatile flavor compounds in fermented wine through headspace solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS). Combined with sensory evaluation, this study determines the optimal fermentation strain for plum rosehip wine. The experimental results show that different wine yeasts have significant effects on the physicochemical indicators of plum rosehip wine. Yeast GHM exhibits the strongest sugar utilization capacity, resulting in the lowest total sugar content in the fermented wine (2.78±0.16 g/L). Fermentation with yeast 71B produces an alcohol content (8.30±0.01%vol), the lowest total acid content (3.65±0.12 g/L), and the highest pH value (3.92±0.01). The composition of volatile substances in plum rosehip wine produced by different wine yeasts is similar, but their contents vary. Yeast 71B demonstrates outstanding performance in the synthesis of volatile alcoholic compounds, with the highest total concentration of volatile alcoholic compounds (17 144.03 μg/L), particularly isopentanol (14 168.75 μg/L) and phenylethanol (1 963.21 μg/L), which contribute to a rose-like aroma to the wine. Orthogonal partial least squares-discriminant analysis (OPLS-DA) indicates that alcohols such as isopentanol and esters such as ethyl octanoate make significant contributions to the wine's aroma. Sensory evaluation further reveal that the plum rosehip wine sample produced by yeast 71B exhibits the highest overall quality. This study aims to explore the application potential of different wine yeasts in the fermentation of plum rosehip wine, providing a theoretical foundation for screening yeasts that can enhance the aroma and improve the quality of plum rosehip wine.

Keywords: Fruit wine; *Saccharomyces cerevisiae*; flavor characteristics; sensory evaluation

脆红李(*Prunus salicina* 'Cuihong')属蔷薇科李属,口感爽脆,富含蛋白营养物质、抗坏血

酸、酚类化合物等^[1]。脆红李采后代谢活跃^[2,3],常温货架期仅10 d左右^[4],易裂果落果,因此常

收稿日期:2025-06-11

修回日期:2026-03-07

第1作者简介:孙萌彤(2004-),女,本科生,研究方向:食品发酵与酿造。E-mail:2488561844@qq.com

*通讯作者: Author for correspondence. E-mail:lijie1989@sdau.edu.cn

被加工成李干、果酒等产品。墨红玫瑰(*Rosa* ‘Crimson Glory’)属蔷薇科,香气浓郁、营养丰富且兼具多种保健功效^[5],目前李子和玫瑰的开发多以单一果品加工为主,二者复合应用的研究较少^[6]。本研究创新性地将李子与玫瑰结合,研究不同酿酒酵母对李子玫瑰果酒风味品质的影响,为李子玫瑰果酒品质分析提供新思路,其成果将为该果酒风味优化与品质提升提供理论支撑,助力产业发展。

酿酒酵母菌株的筛选是决定果酒品质的核心技术环节。果酒发酵过程中产生的挥发性化合物与酵母代谢密切相关,这些代谢产物直接影响着成酒的风味特征^[7]。目前,关于酿酒酵母在果酒发酵中的研究聚焦于挖掘不同酿酒酵母菌株的特性,通过优化发酵条件,来提升果酒品质。邹栋良等人通过富集培养技术,从样本中分离出具有潜在发酵能力的酵母菌株并在此基础上利用基因工程手段改良菌株性能,增强酯类合成酶活性,致使酵母在发酵过程中产生更多的果香、花香的酯类化合物^[8];曾硕等人为探讨不同酵母菌株对猕猴桃果酒挥发性风味的影响,选取 ADT、CECA、VIC 和 BV818 四种酿酒酵母,分别对五种猕猴桃进行发酵,采用固相微萃取-气相色谱-质谱联用(SPME-GC-MS)分析其挥发性成分,最终在酵母 CECA 发酵的海沃德猕猴桃果酒中,醇类和酯类挥发性化合物的强度较高,总挥发性化合物含量达 874.36 μg/L,为各组最高,该果酒呈现出典型的酯香型风味特征^[9]。目前,针

对李子玫瑰果酒这类混合果蔬原料的协同发酵工艺,其酿酒酵母菌株对成品风味特征的影响研究仍较为匮乏。因此,通过筛选具有优良发酵特性的酿酒酵母菌株来优化果酒的风味以及品质,仍是该领域急需解决的重要问题。

因此,本研究以李子与玫瑰为发酵原料,选用 5 种起发速度快、相对营养需求较低的酵母菌株(酵母 GHM、酵母 CY3079、酵母 EC1118、酵母 71B、酵母 3#)为发酵菌种制备果酒,测定发酵过程中发酵液及发酵结束成品酒中的理化指标,进行感官评价,并采用 HS-SPME-GC-MS 分析挥发性风味物质^[10],旨在探索不同酿酒酵母在李子玫瑰果酒发酵中的潜力,筛选出能够增强李子玫瑰果酒风味特征、改善李子玫瑰果酒品质的酿酒酵母。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

脆红李(总糖为 61.3 g/kg,总酸为 3.9 g/kg):采购于四川汶川;墨红玫瑰花茶:亳州市市茶遇友生物科技有限公司;白砂糖(食品级):昆明馋小雅食品有限公司;酵母 GHM、酵母 CY3079、酵母 EC1118、酵母 71B(酵母详细信息见表 1):购于上海杰兔工贸有限公司;酵母 3#:购于山东潍坊凯泽酿酒材料有限公司;焦亚硫酸钾:江苏博立生物制品有限公司;葡萄糖、氢氧化钠、硫酸铜:天津市恒兴试剂有限公司。所用试剂均为分析纯。

表 1 酵母信息
Table 1 Yeast information

酵母型号 Yeast type	发酵速度 Fermentation rate	相对营养需求 Relative nutritional requirement	酵母特性* Yeast characteristics*
GHM	中速	中	低温状态下,可促进花香,避免酯类过度生成
CY3079	快速	高	泡沫少,酒泥沉淀良好,发酵结束较缓,挥发酸和硫化氢聚积少
EC1118	快速	低	絮凝性能好,酒泥密实
71B	中速	低	不产生泡沫,H ₂ S 产出低,起发速度迅速,发酵结束沉淀良好
3#	快速	低	起发速度快,适应温度范围广,在低温环境中,具有良好的发酵性能

注: * :酵母信息参考《法国拉曼集团发酵与酿造专业手册》。

Note: * Yeast information referenced from "Laffort Group Fermentation & Brewing Technical Manual" (France).

pH 计:梅特勒-托利多,FiveEasyPlus FE28,瑞士;便携式手持式折光仪:PAL-1 型,ATAGO 株式会社,日本东京;气相色谱-质谱(GC-MS)

仪:GCMS-TQ8040,日本京都岛津公司;色谱柱:VF-WAX ms 毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.55 μm),美国安捷伦公司。

1.2 实验方法

1.2.1 李子玫瑰果酒工艺流程

根据图1所示流程,挑选成熟度一致且无病虫害的优质脆红李果实,将脆红李破碎去核,进行打浆。取适量的干玫瑰花用80℃热水浸泡(玫瑰花料水比:1:125),直至降温至40℃,不经分离直接倒入发酵罐,按比例添加焦亚硫酸钾

(100 mg/L),白砂糖(100 g/L)以及酵母(0.2~0.3 g/L)(酵母GHM、酵母CY3079、酵母EC1118、酵母71B、酵母3#),15℃恒温静置培养8~10 d(主发酵)^[11],密切监测糖度变化,糖度不变时终止发酵,用纱布对发酵液进行过滤,将初滤液于5℃的低温环境下密闭放置30 d左右进行后储。再经过无菌过滤得到澄清明亮的玫红色酒体,即为李子玫瑰果酒成品。

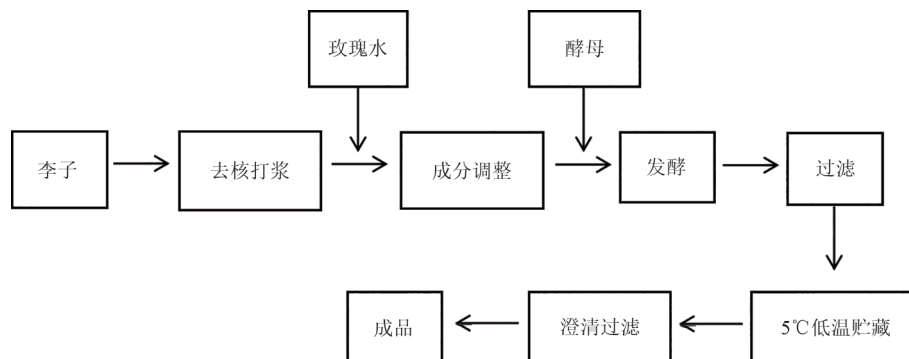


图1 李子玫瑰果酒工艺流程

Fig. 1 Plum rosehip wine process flow

1.2.2 理化指标测定 根据GB/T 15038-2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》对主发酵结束经30 d后贮的李子玫瑰果酒中的总糖、还原糖、pH、总酸、干浸出物和酒精度进行测定。

1.2.3 HS-SPME-GC-MS 分析 对主发酵结束经30 d后贮的李子玫瑰果酒进行挥发性成分分析。参考韦璐等^[12]的测定方法,略作改动。移取20 mL经过后储的李子玫瑰果酒于50 mL顶空瓶,加入4 g氯化钠和80 μL 0.411 g/L 2-辛醇,插入SPME纤维头,50℃吸附45 min。采用岛津GCMS-TQ8040型GC-MS仪,以VF-WAX毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.55 μm)分离。进样口温度260℃,氦气流速1.2 mL/min,不分流进样。程序升温:45℃保持1 min,以4℃/min升至80℃,保持2 min,再以5℃/min升至230℃,保持10 min。离子源温度230℃,EI电离(70 eV),扫描范围30~450 m/z,通过NIST 20.0质谱库鉴定挥发性成分。

$$C_{\text{样}} = A_{\text{样}} \times C_{\text{内标}} / A_{\text{内标}}$$

A样为样品峰面积,A内标为内标峰面积,C样为样品浓度,C内标为内标浓度。

1.2.4 感官品评 李子玫瑰果酒的感官评价参考GB/T 15038—2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》并略作调整,从颜色、澄清度、香气、滋味、典型性

5个维度开展。挑选10名接受过专业培训且具备相关知识的人员实施感官测评,满分为100分。李子玫瑰果酒的感官评分标准详见表2。

1.3 数据处理

通过软件IBM SPSS 26.0进行单因素方差分析($P < 0.05$)。采用Simca软件进行OPLS-DA分析,采用Origin 2024软件绘制感官评价雷达图。

2 结果与分析

2.1 不同酿酒酵母对李子玫瑰果酒发酵过程的影响

2.1.1 李子玫瑰果酒发酵过程中糖含量的变化 李子玫瑰果酒发酵期间糖含量变化可反映酵母生长及发酵速度^[13],其发酵过程中糖度变化如图2所示。

由图2可知,糖度含量整体呈现下降趋势。这主要是因为发酵过程中,酵母会消耗糖分,将其转化为酒精和二氧化碳,进而导致糖度降低^[14,15]。而部分酵母(CY3079和3#)在发酵过程中出现糖度先上升后下降的情况,这可能归因于在发酵初期,酵母对不同糖类的利用先后顺序不同。发酵开始时,酵母可能优先消耗易于利用额

表 2 李子玫瑰果酒感官评分标准
Table 2 Sensory evaluation criteria for plum rosehip wine

项目 Item	评分标准 Scoring standard	分值/分 Score
颜色 (10分)	外观呈玫红色,颜色分布均匀	7~10
	外观呈玫红色或浅红色,颜色分布均匀	4~6
	外观呈玫红色或浅红色,颜色分布不均匀	0~3
澄清度 (10分)	澄清透明、有光泽,无浑浊物出现	7~10
	澄清透明、有光泽,无明显浑浊物出现	4~6
	澄清度和光泽度欠缺,有明显浑浊物出现	0~3
香气 (30分)	有李子清新的果香和玫瑰花茶特有的茶香,味感协调的果酒酒香	24~30
	有李子清新的果香和玫瑰花茶特有的茶香,果香与酒香和谐度良好	14~23
	有李子清新的果香和玫瑰花茶特有的茶香,果香与酒香平衡度较差	0~13
滋味 (30分)	入口酸甜适中,酒体平衡,尾味优雅且持久	24~30
	入口酸甜失衡,酒体相对平衡,尾味优雅且持久	14~23
	入口酸甜失衡,酒体不平衡,酸味较高,欠缺清爽度	0~13
典型性 (20分)	具有李子玫瑰果酒的风格,李子的清甜果香与玫瑰的芬芳花香,融合协调,果香与花香比例均衡,典型性好	16~20
	具有李子玫瑰果酒的部分特征,李子果香较淡,玫瑰花香不足,两者融合不足,典型性一般	9~15
	无明显的李子果香和玫瑰花香,无显著特征	0~8

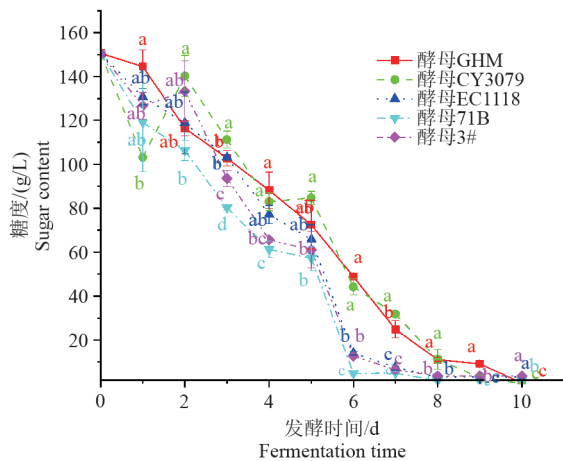


图 2 李子玫瑰果酒发酵过程中糖度的变化
Fig. 2 Changes in sugar content during the fermentation of plum rosehip wine

单糖,而在发酵第 2 d,酵母细胞生长旺盛,分泌蔗糖水解酶对额外添加的白砂糖进行水解,从而导致发酵醪液中的糖含量增加。1~6 d 糖度整体快速下降,6 d 后变化趋缓^[16]。这是由于酒精积累抑制酵母活性,导致糖分消耗速度减慢。发酵初期降糖快、后期减缓,表明酵母对果酒发酵液适应能力强、发酵迅速^[17]。实际生产中,可依据对发酵速度和残糖量的需求选择合适酵母。

2.1.2 李子玫瑰果酒发酵过程中总酸、pH 的变化 酸度是影响李子果酒风味的关键因素。适宜的酸度可保留果香、调节甜度并保障口感,总酸含量以 4~9 g/L 为佳;若酸度过低,酒体易平淡

无味,过高则会导致酸涩,影响饮用体验^[18]。图 3 和图 4 呈现出李子玫瑰果酒在发酵期间总酸含量以及 pH 值的动态变化情况。

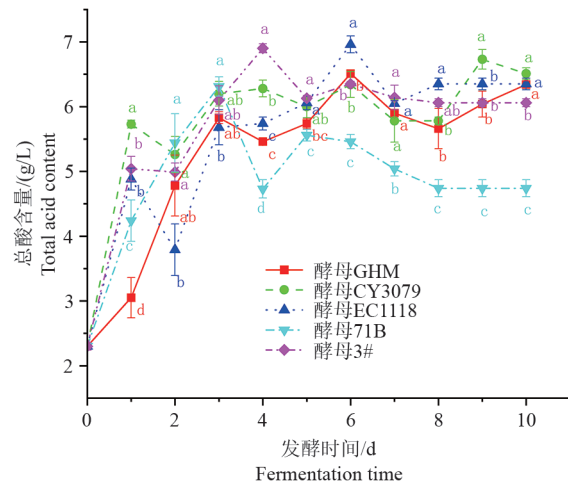


图 3 李子玫瑰果酒发酵过程中总酸的变化
Fig. 3 Changes in total acid during the fermentation of plum rosehip wine

pH 和总酸含量是表征果酒发酵过程中有机酸变化的重要指标,影响其感官品质和微生物代谢^[19]。由图 3-4 可知,在李子玫瑰果酒的发酵进程中,总酸含量呈现出先逐步升高后趋于稳定的态势。发酵 1~3 d 时,总酸含量从 2.30 g/L 上升至约 6.00 g/L;发酵 7~8 d 时,总酸含量趋于稳定,主发酵阶段结束。5 种酵母发酵液的总酸变化趋势一致,但整个发酵过程中总酸的波动幅度存

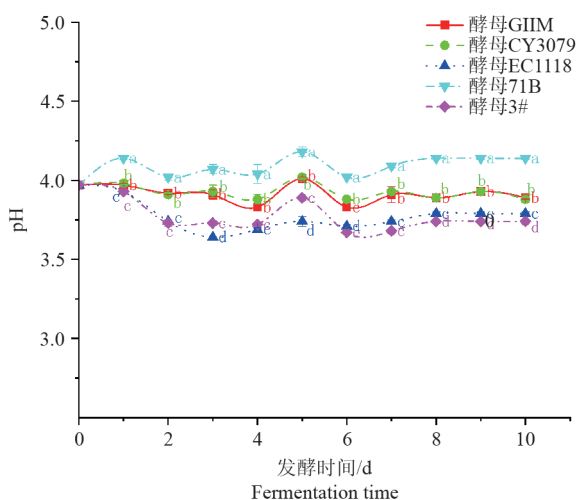


图4 李子玫瑰果酒发酵过程中pH的变化

Fig. 4 Changes in pH during the fermentation of plum rosehip wine

在明显差异。酵母CY3079、酵母EC1118和酵母3#发酵1 d产生大量有机酸,该现象或与酵母代谢特性有关,这三款酵母均是发酵速度为快速的酵母,其糖代谢途径更倾向于合成有机酸,在酒精发酵阶段,酵母菌消耗糖分产生乙醇的同时,伴随着有机酸的代谢生成,进而使得总酸含量显

著增加。pH值整体保持相对平稳,当发酵结束时,酵母71B发酵液的pH值最高,达 3.92 ± 0.01 ;酵母3#发酵液的pH值最低,为 3.52 ± 0.01 。综合分析发现,酵母71B发酵液pH值最高,与其最低的总酸含量形成对应关系。上述总酸与pH值的变化规律在发酵过程中展现出良好的稳定性,这些变化不仅影响果酒风味物质的形成,更在维持果酒品质稳定性方面发挥关键作用,为果酒酿造工艺优化与品质调控提供重要参考依据。

2.2 不同酿酒酵母发酵李子玫瑰果酒的基本理化指标分析

表3为果酒发酵完成后经30 d后贮的酒样检测数据,与发酵结束时相比,总糖、总酸、pH等指标均发生变化,其主要源于后储阶段微生物的持续代谢活动以及各类化学反应的综合作用^[20]。由图3与表3结合观察可知,发酵结束的李子玫瑰果酒的总酸含量相较于发酵初期显著升高。这主要归因于发酵过程中有机酸的生成^[21],李子玫瑰果酒最终总酸含量稳定在 $3.65\sim 4.85$ g/L。发酵后的李子玫瑰果酒pH值在 $3.52\sim 3.92$ 之间,整体变化幅度较小。

表3 李子玫瑰果酒基本理化指标

Table 3 Basic physicochemical indicators of plum rosehip wine

酵母型号	还原糖/(g/L)	总糖/(g/L)	干浸出物/(g/L)	总酸/(g/L)	pH值	酒精度/(%vol)
Yeast type	Reducing sugar	Total sugar	Solids-extract	Total acid	pH value	Alcohol content
酵母GHM	2.41 ± 0.01^c	2.78 ± 0.16^c	18.62 ± 0.17^a	4.38 ± 0.04^b	3.77 ± 0.01^{ab}	9.15 ± 0.00^a
酵母CY3079	1.63 ± 0.03^c	3.28 ± 0.61^c	15.72 ± 0.17^b	4.75 ± 0.02^a	3.92 ± 0.00^a	8.39 ± 0.01^b
酵母EC1118	2.57 ± 0.01^b	4.83 ± 0.34^a	15.97 ± 0.12^b	4.81 ± 0.01^a	3.71 ± 0.18^b	8.13 ± 0.02^d
酵母71B	2.22 ± 0.02^d	4.03 ± 0.46^b	14.97 ± 0.00^c	3.65 ± 0.12^c	3.92 ± 0.01^a	8.30 ± 0.01^c
酵母3#	2.93 ± 0.04^a	5.01 ± 0.13^a	14.69 ± 0.00^d	4.85 ± 0.09^a	3.52 ± 0.01^c	7.92 ± 0.01^c

注:不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

Note: Different letters indicate significant differences ($P<0.05$).

在李子玫瑰果酒酿造过程中,不同酵母对糖类的发酵能力不同,导致最终李子玫瑰果酒中总糖含量存在差异。其中,酵母3#发酵后的李子玫瑰果酒总糖含量最高,为 5.01 ± 0.13 g/L;酵母CY3079发酵的李子玫瑰果酒的总糖含量为 3.28 ± 0.61 g/L;酵母EC1118发酵的李子玫瑰果酒的总糖含量为 4.83 ± 0.34 g/L;酵母71B发酵的李子玫瑰果酒的总糖含量为 4.03 ± 0.46 g/L;而酵母GHM发酵的果酒总糖含量最低,仅 2.78 ± 0.16 g/L,这一结果充分表明酵母GHM对糖类的利用能力最强。整个发酵过程中,总糖含量呈显

著下降趋势,该变化得益于五种酵母对原料糖类的高效利用及酒精转化能力。

酒精度是衡量果酒酒精含量的关键指标,直接反映酵母对糖类的转化效率。实验结果显示,酵母GHM发酵产生的酒精度最高,表明其在发酵过程中能更高效地将糖类转化为酒精;而酵母3#发酵产生的酒精度较低,可能是由于发酵效率较低,或者在发酵过程中受到了某些因素的抑制。可能由以下因素导致:一方面,两种酵母的代谢途径存在显著分化,在发酵过程中,其代谢通路更多地非酒精类物质合成方向,导致部分

糖分被转化为其他副产物,从而限制了酒精的生成量;相比之下,酵母GHM的代谢途径更偏向乙醇合成,能够将糖类物质高效转化为酒精,实现更高的乙醇积累。另一方面,酵母GHM可能具备更适配酒精发酵的生长特性,其细胞增殖、酶活性表达与酒精代谢过程高度协同,从而在发酵过程中持续维持高效的酒精生成能力^[22]。

2.3 不同酿酒酵母发酵李子玫瑰果酒的挥发性风味物质分析

果酒的挥发性风味物质主要来源于果实本身、果酒发酵以及陈酿等过程。这些挥发性物质

共同作用赋予酒体独特的风味^[23]。表4为主发酵结束经30 d后贮的李子玫瑰果酒挥发性成分测定,从表中数据可以发现:检测出的挥发性化合物总浓度最高为酵母71B(25 540.07 μg/L),其次挥发物质含量由高到低依次为酵母CY3079(19 682.63 μg/L)、酵母GHM(17 685.49 μg/L)、酵母EC1118(14 198.46 μg/L)和酵母3#(12 772.36 μg/L)。从挥发物质占比来看,醇类占比最大在64.14%~68.63%之间,其次是酯类,占比在25.67%~31.88%之间。酵母EC1118发酵的果酒中含有挥发性化合物种类最多,为33种。

表 4 不同酵母酿造的李子玫瑰果酒挥发性风味成分分析
Table 4 Analysis of volatile flavor components in plum rosehip wine fermented with different yeasts

序号 Number	化合物 Compound	含量/(μg/L) Content					原汁 Original juice
		酵母GHM Yeast GHM	酵母CY3079 Yeast CY3079	酵母EC1118 Yeast EC1118	酵母71B Yeast 71B	酵母3# Yeast 3#	
酯类							
1	乙酸乙酯	451.77±19.55 ^c	754.94±17.75 ^a	587.58±19.38 ^b	471.78±11.59 ^c	-	8.36±0.42 ^d
2	乙酸异戊酯	1 181.40±29.07 ^b	569.70±18.48 ^c	548.41±12.41 ^c	1 614.63±11.73 ^a	434.26±8.71 ^d	228.3±10.41 ^c
3	己酸乙酯	367.84±18.39 ^b	280.18±14.01 ^c	349.62±17.48 ^b	458.91±22.95 ^a	43.45±2.17 ^d	39.71±1.99 ^d
4	乙酸己酯	29.66±0.48 ^d	50.88±0.54 ^b	53.16±1.66 ^a	50.26±0.51 ^b	52.43±1.62 ^a	-
5	辛酸乙酯	1 847.50±22.37 ^b	1 360.06±28.00 ^d	1 157.23±27.86 ^c	2 046.40±32.32 ^a	1 744.34±27.22 ^c	35.04±1.75 ^f
6	壬酸乙酯	22.76±1.14 ^b	-	12.67±0.63 ^c	38.31±1.91 ^a	18.14±0.91 ^b	-
7	癸酸乙酯	762.47±18.12 ^c	937.37±16.87 ^b	677.64±13.88 ^d	1 550.84±17.55 ^a	808.45±10.52 ^c	-
乙酸3,7-二甲							
8	基-6-辛烯-1-酯	17.83±0.89 ^b	13.68±0.68 ^c	22.66±1.13 ^a	16.19±0.81 ^b	21.76±1.09 ^a	-
9	苯甲酸乙酯	137.31±6.87 ^b	153.08±7.65 ^a	99.64±4.98 ^c	199.08±9.95 ^a	141.32±7.07 ^b	-
10	9-十六碳烯酸乙酯	526.31±6.32 ^a	464.43±3.22 ^b	256.62±2.83 ^d	362.56±8.13 ^c	331.14±6.56 ^c	-
11	乙酸苯乙酯	202.21±9.11 ^b	140.12±7.01 ^c	144.78±7.24 ^c	466.85±8.34 ^a	188.63±9.43 ^b	-
12	月桂酸乙酯	80.07±4.00 ^c	154.91±7.75 ^a	87.89±4.39 ^c	-	136.96±6.85 ^b	-
13	4-己烯-1-乙醇酸酯	-	-	17.34±0.87 ^a	-	-	-
14	(E)-3-己烯-1-醇,乙酸酯	-	17.28±0.86 ^a	-	-	19.32±0.97 ^a	-
15	辛酸,3-甲基丁酯	-	52.97±2.65 ^b	-	87.58±4.38 ^a	56.64±2.83 ^b	-
16	甲酸丙酯	-	82.25±4.11 ^a	-	-	-	-
17	辛酸甲酯	-	-	-	-	9.25±0.46 ^a	-
18	甲酸庚酯	-	-	-	-	17.36±0.87 ^a	-
19	五甲酸,3-甲基丁酯	11.52±0.58 ^c	21.16±0.06 ^b	11.17±0.56 ^c	30.47±0.52 ^a	24.95±0.25 ^b	-
酯类总含量		5 638.65	5 053.01	4 026.41	7 393.86	4 048.4	311.41

序号 Number	化合物 Compound	含量/($\mu\text{g/L}$) Content					
		酵母 GHM Yeast GHM	酵母 CY3079 Yeast CY3079	酵母 EC1118 Yeast EC1118	酵母 71B Yeast 71B	酵母 3# Yeast 3#	原汁 Original juice
醇类							
20	甲醇	218.2 \pm 6.20 ^b	-	332.88 \pm 7.6 ^a	164.3 \pm 1.3 ^c	-	-
21	2-甲基-1-丙醇	247.95 \pm 12.40 ^d	23.90 \pm 1.19 ^c	275.50 \pm 13.77 ^c	297.62 \pm 14.88 ^b	337.68 \pm 16.68 ^a	-
22	1-丙醇	-	364.67 \pm 18.23 ^a	134.46 \pm 6.73 ^b	-	-	-
23	异戊醇	9 597.66 \pm 39.88 ^c	11 955.85 \pm 41.79 ^b	7 461.03 \pm 37.05 ^d	14 168.75 \pm 48.44 ^a	7 095.38 \pm 34.77 ^c	141.22 \pm 7.06 ^f
24	正己醇	77.33 \pm 3.87 ^d	167.78 \pm 8.39 ^a	109.68 \pm 5.49 ^c	157.47 \pm 7.87 ^b	77.26 \pm 3.86 ^d	11.41 \pm 0.57 ^c
25	(E)-3-己烯-1-醇	36.60 \pm 1.83 ^d	113.15 \pm 5.56 ^a	66.76 \pm 3.34 ^c	84.26 \pm 4.21 ^b	69.53 \pm 2.48 ^c	-
26	1-庚醇	64.60 \pm 3.23 ^b	24.15 \pm 1.21 ^c	25.33 \pm 1.27 ^c	139.99 \pm 7.00 ^a	-	-
27	芳樟醇	22.4 \pm 1.122 ^a	-	21.58 \pm 1.08 ^a	-	12.83 \pm 0.64 ^b	4.45 \pm 0.22 ^c
28	1-辛醇	22.8 \pm 0.17 ^b	-	24.21 \pm 0.21 ^a	17.50 \pm 0.87 ^c	21.07 \pm 0.05 ^c	-
29	(S)-(+)-6-甲基-1-辛醇	52.38 \pm 2.62 ^a	-	-	-	-	-
30	3-甲基-1-戊醇	-	-	-	39.58 \pm 1.98 ^a	-	-
31	1-癸醇	-	-	-	-	10.06 \pm 0.50 ^a	-
32	2-(2-乙氧基)乙醇	-	-	-	-	13.41 \pm 0.67 ^a	-
33	苯乙醇	888.86 \pm 12.44 ^b	755.28 \pm 11.76 ^c	509.62 \pm 8.48 ^d	1 963.21 \pm 21.16 ^a	522.39 \pm 6.12 ^d	12.78 \pm 0.64 ^c
34	1-壬醇	-	-	37.36 \pm 1.78 ^a	-	-	-
35	3-(甲硫基)-1-丙醇	-	-	-	12.49 \pm 0.57 ^a	-	-
36	香叶醇	-	-	-	-	-	26.94 \pm 1.34 ^a
37	香茅醇	112.73 \pm 5.54 ^a	103.85 \pm 5.19 ^b	112.42 \pm 5.62 ^a	98.86 \pm 4.94 ^c	73.03 \pm 3.65 ^d	22.10 \pm 0.51 ^c
	醇类总含量	11341.53	13508.63	9110.83	17144.03	8232.64	218.9
酸类							
38	辛酸	258.65 \pm 12.93 ^c	475.11 \pm 13.76 ^a	436.88 \pm 11.85 ^a	475.81 \pm 9.79 ^a	215.84 \pm 5.79 ^d	12.55 \pm 0.63 ^c
39	正癸酸	30.74 \pm 1.54 ^d	71.54 \pm 3.59 ^b	84.88 \pm 4.25 ^a	89.56 \pm 4.48 ^a	53.68 \pm 2.68 ^c	2.68 \pm 0.13 ^c
40	2-甲基丙酸	12.36 \pm 0.62 ^c	20.89 \pm 1.04 ^a	7.11 \pm 0.36 ^a	21.73 \pm 1.09 ^a	21.40 \pm 1.07 ^a	-
41	己酸	97.02 \pm 4.85 ^c	163.66 \pm 8.18 ^a	123.59 \pm 4.18 ^d	164.64 \pm 3.23 ^a	71.31 \pm 3.56 ^d	-
42	9-癸烯酸	-	-	8.31 \pm 0.41 ^a	-	-	-
43	壬酸	-	-	-	-	-	6.94 \pm 0.35 ^a
44	乙酸	202.40 \pm 8.12 ^a	176.58 \pm 8.83 ^b	100.62 \pm 5.03 ^d	163.58 \pm 8.18 ^b	129.09 \pm 6.45 ^c	9.32 \pm 0.47 ^c
	酸类总含量	601.17	907.78	761.39	915.32	491.32	31.49
醛类							
45	乙醛	104.14 \pm 5.21 ^b	213.21 \pm 5.66 ^a	299.83 \pm 6.99 ^a	86.86 \pm 4.34 ^c	-	-
46	苯甲醛	-	-	-	-	-	14.5 \pm 0.72 ^a
	醛类总含量	104.14	213.21	299.83	86.86	0	14.5

注:“-”代表该化合物未在此样品中检出;原汁:指加入酵母前一步的浆液。不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

Note: “-” indicates that the compound is not detected in this sample; “raw juice” refers to the pulp before yeast addition. Different letters indicate significant differences ($P<0.05$).

2.3.1 酯类 酯类是构成果酒香气的核心成分,能赋予果酒浓郁的水果香气^[24]。在 5 种不同酵母发酵的果酒中,共检测出 19 种酯类物质。其中,酵母 3# 发酵的果酒检出的酯类物质其酯类相对含量达 31.70%。酵母 3# 发酵果酒中,相对含量最高的酯类化合物为辛酸乙酯(13.66%),可散发甜果香气^[25];其次是癸酸乙酯(相对含量 6.33%),主要呈现果香和花香^[26]。此外,该果酒还含有两种特有酯类物质——辛酸甲酯和甲酸庚酯,二者能产生特殊香气,进一步增强果酒风味的丰富性^[27]。

2.3.2 醇类 在 5 种不同酵母发酵的果酒中共检测出 17 种醇类挥发性物质,醇类化合物是所有鉴定出的挥发性物质中总含量最多的一类,5 个酒样中醇类化合物总含量为 8 232.64~17 144.03 μg/L。由表 4 可知,在经后贮处理的酒样中,酵母 GHM、EC1118 和 71B 检测出甲醇。相关文献显示,果酒中的甲醇主要由果胶 GaIA 上的甲氧基分解生成^[28,29]。不同酵母产生果胶酶的能力不同,有些酵母在发酵过程中能代谢生成果胶酶,这些果胶酶可以分解原料中的果胶,从而产生甲醇。醇类挥发性化合物主要具有酒精味、花香和果香等气味,可赋予李子玫瑰果酒风味的复杂感^[29]。其中,相对含量较高的物质有异戊醇、苯乙醇。酵母 71B 发酵果酒中的异戊醇和苯乙醇相对含量较高,具有杏仁、清香、刺激味和玫瑰花香^[30]。

2.3.3 酸类和醛类 酸是李子玫瑰果酒中的第三大类挥发性风味化合物,含量在 491.32~915.32 μg/L 之间,其中酵母 71B 发酵的酒样含酸类挥发物质量最多,占总含量的 3.58%。醛类物质总含量较少,最多占 2.11%。

2.3.4 与原汁比较 原汁中含有 15 种挥发性风味物质,总含量为 576.3 μg/L,相较于发酵后成品酒,其含量明显较少。原汁中的酯类化合物含量极低,致使香气相对单一,其含量仅为 311.41 μg/L,远低于 5 种酒样中酯类含量最低的酵母 EC1118 酒样(4 026.41 μg/L)。由此可见,发酵过程中酵母的代谢活动促使酯类物质大量生成,显著提升并丰富了香气的复杂性与多样性。在醇类物质方面,原汁中含有少量香叶醇(26.94 μg/L),为原汁特有。就酸类挥发性香气物质而言,原汁中的含量较少,主要成分为辛酸,占酸类总

量的 39.85%。此外,原汁中含有少量苯甲醛,虽可增强果香,但其含量不高。

2.3.5 主成分分析(PCA) 为清晰展现不同酵母酿造的李子玫瑰果酒差异,本研究采用无监督多维统计分析方法中的主成分分析(PCA)对样本进行区分。如图 5 所示,主成分 PC1 和 PC2 的方差贡献率分别为 34.9% 和 27.0%,累计贡献率达 61.9%。五组数据在二维得分图上呈现显著分离趋势,其中酵母 EC1118 与酵母 3# 在 PC1 和 PC2 维度上的距离较远,表明两者在分析变量上存在明显差异。图 6 结果显示,不同酵母酿造的李子玫瑰果酒具有较明显的特征区分。

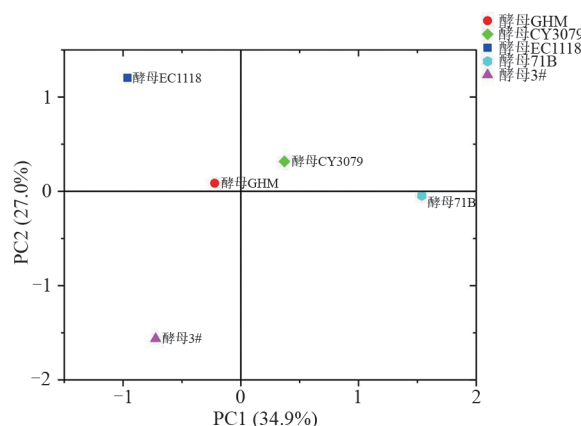


图 5 李子玫瑰果酒挥发性香气物质 PCA 分析
Fig. 5 PCA analysis of volatile aroma substances in plum rosehip wine

2.3.6 关键风味化合物分析

2.3.6.1 VIP 值分析 对香气贡献进行 VIP 量化分析,以 VIP 值>1 为筛选条件,五个酒样中贡献度最大的化学物质包括:异戊醇(3.705)、乙酸异戊酯(2.150)、苯乙醇(1.701)、辛酸乙酯(1.629)、乙酸乙酯(1.439)等。这些物质的风味特征如下:异戊醇主要有麦芽、威士忌的味道;乙酸乙酯为苹果味、果味;苯乙醇为花香、玫瑰香气;辛酸乙酯为花香;乙酸异戊酯为香蕉味、果香。以上风味化合物,因其突出的 VIP 值(>1)及在所有酒样中的高浓度分布,共同塑造了李子玫瑰果酒复杂的香气特征^[31]。

2.3.6.2 OAV 分析 表 5 呈现了不同化合物各自特定的气味阈值(单位:μg/L),同时展示了在不同酵母发酵条件下,各挥发性物质对应的 OAV 值。通过对比各酵母发酵下各挥发性物质的

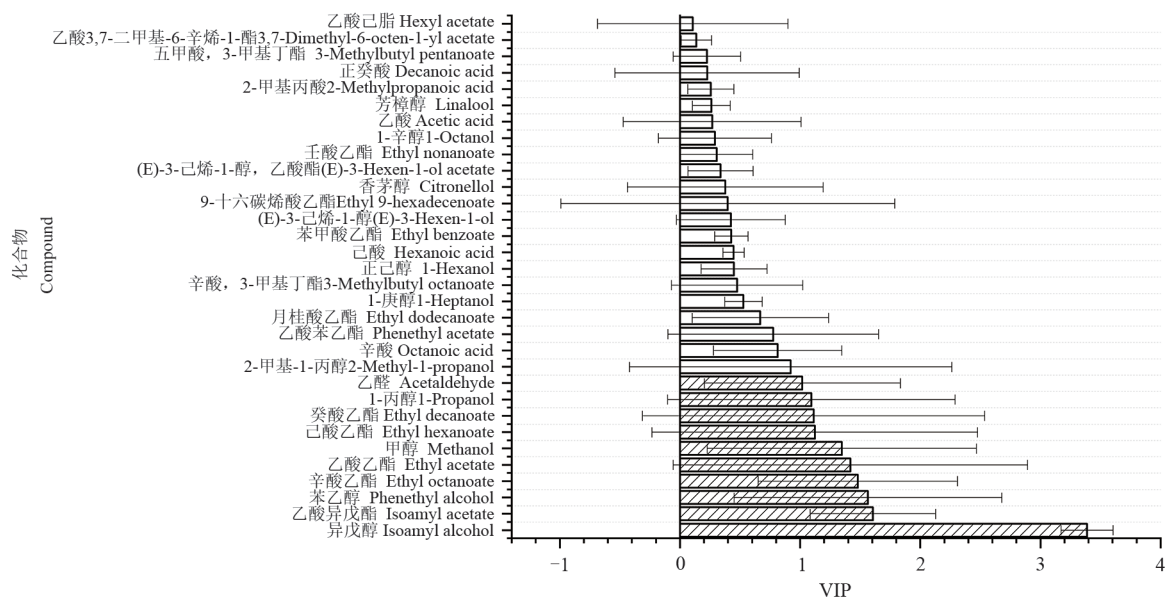


图 6 李子玫瑰果酒中挥发性香气物质 VIP 值分析

Fig. 6 VIP analysis of volatile aroma substances in plum rosehip wine

注:VIP>1 的化合物为带线条的柱。

Note: Compounds with VIP > 1 are represented by columns with lines.

OAV 值,可评估不同酵母对李子玫瑰果酒中挥发性物质香气贡献的差异^[33]。由表 5 可得,酯类物质对酒体的贡献极大,OAV 值较高。其中,辛酸乙酯因其感官阈值低且浓度高具有最高的 OAV 值,具有花香等特征。酵母 71B 发酵产生的多数具花香特征的挥发性香味物质 OAV 值最高,如辛酸乙酯(OAV=409.28)、己酸乙酯(OAV=91.78)等,这可能提升了该酒样感官轮廓的复杂性。在部分酵母发酵条件下,己酸乙酯、辛酸乙酯、癸酸乙酯、乙酸苯乙酯等物质的 OAV 值大于 1,这些物质对李子玫瑰果酒的整体香气有贡献。具体情况如下:己酸乙酯兼具果香与酒香,通常能为果酒带来清新、甜润的香气特点;辛酸乙酯带有强烈的水果香气,类似于葡萄的甜香,可让果酒拥有浓郁的果香氛围;癸酸乙酯具有油脂香和淡淡的花香,在果酒中能够增加香气的层次感;乙酸苯乙酯散发着玫瑰般的花香,能为果酒带来优雅的花香气息。不同酵母发酵产生的各挥发性物质 OAV 值存在差异,这表明酵母种类对果酒香气成分的形成起着关键作用。

2.4 感官品评结果

如图 7 所示,五种李子玫瑰果酒的各项指标均严格符合既定的质量标准要求。其酒体澄澈

透明,光泽度良好,无浑浊杂质,呈现玫红色。酒液既有李子清新馥郁的果香,又融入了玫瑰花茶独有的茶香,风味协调,展现出李子与玫瑰花的典型特质。就外观(颜色和澄清度)而言,5 个酒样无明显差异。香气评分方面,酵母 71B 发酵的酒样表现突出,其香气浓郁程度高于其他酵母发酵的酒样。该酒样散发着明显的玫瑰花茶特有的茶香与李子里果香味,在整体香气评分中显著优于其他参评样品。这与酵母 71B 酒样中检测到的挥发性香气物质总量较高有关,能赋予酒样更明显的果香和花香。在滋味评分方面,酵母 71B 发酵的酒,入口酸甜比平衡,酒体平衡和谐,尾味悠长且优雅。综合各项评价指标,经酵母 71B 酿造的李子玫瑰果酒酒样,在整体感官品质上展现出最为卓越的品质表现。

3 结论

本研究运用 HS-SPME-GC-MS 技术并结合感官评价,对不同酵母作用下李子玫瑰果酒挥发性香气物质的影响展开探究。结果显示,醇类和酯类是果酒的主要挥发性成分。其中,酵母 71B 发酵的果酒挥发性物质总量最高,其异戊醇和苯乙醇含量显著突出,为酒体赋予了典型的玫瑰花香特征。无监督多维统计分析(PCA)显示不同酵母酿造的果酒风味差异显

表 5 李子玫瑰果酒部分挥发性物质的 OAV 值
Table 5 OAV values of some volatile substances in plum rosehip wine

序号 Number	化合物 Compound	气味阈值/ ($\mu\text{g/L}$) Odor threshold	OAV 值 OAV values					
			酵母 GHM	酵母 CY3079	酵母 EC1118	酵母 71B	酵母 3#	原汁
			Yeast GHM	Yeast CY3079	Yeast EC1118	Yeast 71B	Yeast 3#	Original juice
酯类								
1	乙酸乙酯	7 500	0.06	0.10	0.08	0.06	-	0.00
2	乙酸异戊酯	25	47.26	22.79	21.94	64.59	17.37	9.13
3	己酸乙酯	5	73.57	56.04	69.92	91.78	8.69	7.94
4	辛酸乙酯	5	369.5	272.01	231.45	409.28	348.87	7.01
5	癸酸乙酯	200	3.81	4.69	3.39	7.75	4.04	-
6	苯甲酸乙酯	553	0.25	0.28	0.18	0.36	0.26	-
7	乙酸苯乙酯	250	0.81	0.56	0.58	1.87	0.75	-
8	月桂酸乙酯	3 500	0.02	0.04	0.03	-	0.04	-
醇类								
1	2-甲基-1-丙醇	40 000	0.01	-	0.01	0.01	0.01	-
2	异戊醇	30 000	0.32	0.40	0.25	0.47	0.24	0.00
3	正己醇	800	0.10	0.21	0.14	0.20	0.10	0.01
4	1-庚醇	50	1.29	0.48	0.51	2.80	-	-
5	芳樟醇	25.2	0.89	-	0.86	-	0.51	0.18
6	1-辛醇	450	0.05	-	0.05	0.04	0.05	-
7	1-癸醇	5	-	-	-	-	2.01	-
8	苯乙醇	14 000	0.06	0.05	0.04	0.14	0.04	-
9	1-壬醇	600	-	-	0.06	-	-	-
10	香茅醇	100	1.13	1.04	1.12	0.99	0.73	0.22
酸类								
1	辛酸	500	0.52	0.95	0.87	0.95	0.43	0.03
2	正癸酸	1 000	0.03	0.07	0.08	0.09	0.05	-
3	2-甲基丙酸	1 000	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	-
4	己酸	420	0.23	0.39	0.29	0.39	0.17	-
5	乙酸	1 000	0.20	0.18	0.10	0.16	0.13	0.01
醛类								
1	乙醛	10	10.41	21.32	29.98	8.69	-	-
2	苯甲醛	2 000	-	-	-	-	-	0.01

注: OAV 为检测得到的挥发性化合物的浓度与其气味阈值的比值^[32], 该表只显示 OAV 值大于 0.00 的物质。

Note: OAV is the ratio of the concentration of a detected volatile compound to its odor threshold^[32]. This table only displays substances with OAV values greater than 0.00.

著。基于 OAV 与 VIP 联合分析表明: 酯类物质对果酒香气的贡献度最高, 其中酵母 71B 发酵酒样中具有花香特征的多数香气成分(如苯乙醇、乙酸乙酯等) OAV 值均居首, 增加了酒样感官轮廓的复杂性。己酸乙酯(OAV>1, VIP 值高)主导果香特征, 辛酸乙酯(OAV>1)与癸酸乙酯(OAV>1)则协同贡献浓郁果香与玫瑰花

香, 其高 VIP 值特性在 GHM、CY3079、EC1118、71B、3# 酵母发酵酒样中具有一致性。本研究通过系统探究不同酿酒酵母对李子玫瑰果酒品质的影响, 明确了酵母 71B 在风味塑造方面的独特作用, 为李子玫瑰果酒的酿造工艺优化提供了重要理论依据, 对推动该特色果酒产业的技术升级与市场发展具有积极意义。

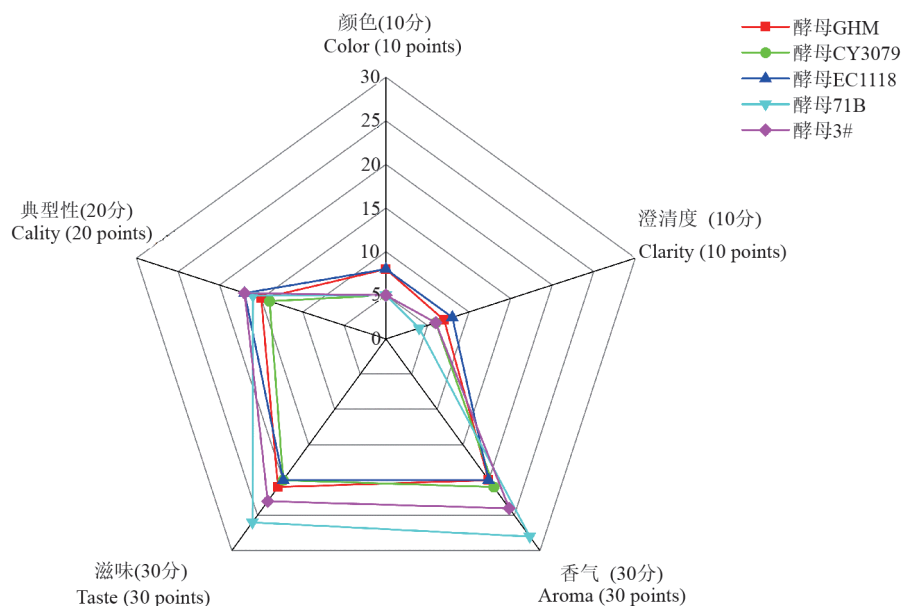


图7 李子玫瑰果酒感官评价

Fig. 7 Sensory evaluation of plum rosehip wine

参考文献

- [1] 周艳,陈雅,廖茂雯,等.不同品种李子品质特性及其酿酒适宜性评价[J].食品工业科技,2024,45(24):272-282.
- [2] 张炜,吴正云,罗力,等.复合处理方式延长脆红李常温货架期的研究[J].食品研究与开发,2019,40(07):110-114.
- [3] 谭丹,罗冬兰,巴良杰.乙醇熏蒸处理对李子采后果实品质的影响[J].中国果菜,2021,41(06):56-60.
- [4] 廖丽.脆红李果酒发酵工艺的优化及陈酿容器对其品质的影响[D].雅安:四川农业大学,2021.
- [5] Qiu L Q, Zhang M, Mujumdar A S, et al. Convenient use of near-infrared spectroscopy to indirectly predict the antioxidant activity of edible rose (*Rose chinensis* Jacq "Crimsin Glory" HT) petals during infrared drying[J]. Food Chemistry, 2022, 369: 130951.
- [6] 宁忻,方伟,董海燕,等.云南墨红玫瑰主要营养成分分析[J].现代食品,2021(18):225-228.
- [7] 张曼.美极梅奇酵母与酿酒酵母混合发酵对李子酒品质提升研究[D].重庆:西南大学,2022.
- [8] 邹栋良.影响柿子果酒风味的因素及优化措施研究[J].食品安全导刊,2025(09):155-157.
- [9] 曾硕,郭新宇,牛东升,等.四种酵母发酵不同品种猕猴桃果酒的挥发性风味成分分析[J].食品工业科技,2026,47(01):357-370.
- [10] 朱静,陈顺心,张一鸣,等.不同酵母对圣女果果酒品质及挥发性风味物质的影响[J].中国酿造,2024,43(09):177-184.
- [11] 金海炎,王丰园,鲁云凤,等.混菌发酵猕猴桃果酒工艺条件优化及抗氧化性研究[J].食品与发酵工业,2022,48(03):177-185.
- [12] 韦璐,杨昌鹏,孙钦菊,等.香蕉果酒低温发酵过程中挥发性香气成分的变化[J].食品工业科技,2020,41(18):231-238.
- [13] Sun S Y, Che C Y, Sun T F, et al. Evaluation of sequential inoculation of *Saccharomyces cerevisiae* and *Oenococcus oeni* strains on the chemical and aromatic profiles of cherry wines[J]. Food Chemistry, 2013, 138(4), 2233-2241.
- [14] Englezos V, Jolly N, DI Gianvito P, et al. Microbial interactions in winemaking: Ecological aspects and effect on wine quality[J]. Trends Food Science & Technology, 2022, 127:99-113.
- [15] Dzialo M C, Park R, Steensels J, et al. Physiology, ecology and industrial applications of aroma formation in yeast[J]. FEMS Microbiol Rev, 2017, 41: S95-S128.
- [16] 陈涛涛,郝向帅,张一凡,等.石榴葡萄枸杞复合果酒发酵工艺优化及抗氧化活性分析[J].中国酿造,2024,43(10):205-210.
- [17] 刘丛竹.混菌酿造复合果酒的工艺优化及其主要成分变化规律的研究[D].广州:华南理工大学,2019.
- [18] 韩保林,张淑凡,邹玉锋,等.低醇桑葚酵母的筛选及果酒发酵工艺优化[J].中国酿造,2024,43(09):170-176.
- [19] Lachowicz S, Oszmian' S K I J, Uz' Dzicka M, et al.

- The influence of yeast strain, β -cyclodextrin, and storage time on concentrations of phytochemical components, sensory attributes, and antioxidative activity of novel red apple ciders[J]. *Molecules*, 2019, 24(13):2477.
- [20] 卢玥,杨易坤,郑若欣,等.红心火龙果酒发酵工艺研究及其风味物质分析[J]. *酿酒科技*, 2025(03):17-24+30.
- [21] 郑丽静,聂继云,闫震.糖酸组分及其对水果风味的影响研究进展[J]. *果树学报*, 2015, 32(02):304-312.
- [22] 于春凯,崔宇欣,郑尹林,等.沙棘葡萄复合果酒发酵工艺优化[J]. *中国酿造*, 2024, 43(12):189-195.
- [23] 肖付才,靳雯雯,黄斐,等.不同发酵时期有机氮添加对蓝莓果酒品质的影响[J]. *食品科技*, 2024, 49(07):113-121.
- [24] Wen J L, Wang Y, Cao W Y, et al. Comprehensive evaluation of ten *Actinidia arguta* wines based on color, organic acids, volatile compounds, and quantitative descriptive analysis[J]. *Foods*(Basel, Switzerland), 2023, 12(18):3345.
- [25] 孔燕,秦凡平,覃俊,等.不同酵母对桑葚酒品质的影响及菌株筛选[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(22):64-70.
- [26] 付勋,聂青玉,张文玲,等.不同前处理工艺红桔果汁与红桔果酒挥发性风味物质分析[J]. *中国酿造*, 2024, 43(05):81-90.
- [27] 柳秉红,魏玲玲,方艳,等.皮渣浸渍和混菌发酵对石榴酒香气品质及抗氧化能力的影响[J]. *食品科学*, 2025, 46(05):216-225.
- [28] 郭静.猕猴桃果实及果酒香气成分研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2007.
- [29] 韩迎迎.苹果酒甲醇的形成及调控机制研究[D]. 泰安:山东农业大学, 2023.
- [30] 谢欣雨,胡新,石潇瀑,等.果酒香气形成影响因素研究进展[J]. *阜阳师范大学学报(自然科学版)*, 2022, 39(02):39-47.
- [31] Bylesjo M, Rantalainen M, Cloarec O, et al. OPLS discriminant analysis: combining the strengths of PLS-DA and SIMCA classification[J]. *Journal of Chemometrics*, 2006, 20(8-10): 341-356.
- [32] 靳国杰,王馨茹,瞿嘉宁,等. ORP 阶段性控制提高葡萄酒中链脂肪酸乙酯和高级醇含量研究[J]. *农业机械学报*, 2024, 55(02):353-362.
- [33] 徐晓裕,陈秋雯,成池芳,等.不同葡萄品种渗透蒸发膜烈酒香气特征及膜分离富集规律分析[J]. *食品工业科技*, 2025, 46(11):252-262.