

不同商业酿酒酵母发酵的秋月梨酒品质分析

白晓璇^{1,2}, 于海燕^{1,3}, 贾艳丽^{1,2}, 刘贞贞^{1,2}, 辛凤姣^{1,3}, 李冰麟⁴, 刘淑君^{1,3*}(1.中国农业科学院 农产品加工与营养健康研究院(沧州), 河北 沧州 061000; 2.沧州市农林科学院, 河北 沧州 061000;
3.中国农业科学院 农产品加工研究所, 北京 100193; 4.西北大学 食品科学与工程学院, 陕西 西安 710069)

摘要:为筛选适合秋月梨(*Pyrus pyrifolia*)酒酿造的酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*), 选用5种商业酿酒酵母(SY、RW、RV100、VIC、Zymaflore X16)发酵秋月梨酒, 采用常规检测方法结合固相微萃取-气相色谱-质谱联用(SPME-GC-MS)分别测定秋月梨酒的理化指标、活性成分含量、抗氧化能力及挥发性风味物质, 并进行感官评价。结果表明, 酵母VIC和X16发酵秋月梨酒的总酸(1.99 g/L、1.84 g/L)及挥发酸(0.24 g/L、0.30 g/L)含量较低, 酒精度(8.51%vol和7.50%vol)和总酚含量(190.45 μ g GAE/mL、199.13 μ g GAE/mL)较高。酵母X16发酵秋月梨酒的总抗氧化能力(183.40 μ mol/mL)、1,1-二苯基-2-三硝基苯基(DPPH)(20.27%)及2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)(ABTS)自由基清除率(90.77%)均最高。不同酵母发酵秋月梨酒中的挥发性风味物质存在差异, 酵母VIC发酵秋月梨酒的酯类(16 117.40 μ g/L)及醛酮类(605.92 μ g/L)等物质含量最高, 酵母X16发酵秋月梨酒的萜烯类物质(184.62 μ g/L)含量最高。进一步基于变量重要性投影(VIP)值>1及气味活性值(OAV)>1筛选得到6种关键差异挥发性风味物质。酵母VIC和X16发酵秋月梨酒的整体感官评分相对较高, 分别为61.00分和57.43分。综上, 酵母VIC和X16发酵的秋月梨酒品质更佳。

关键词:秋月梨酒; 酿酒酵母; 理化指标; 活性成分; 抗氧化能力; 挥发性风味物质; 感官评价

中图分类号: TS262.7

文章编号: 0254-5071(2026)02-0243-09

doi:10.11882/j.issn.0254-5071.2026.02.034

引文格式: 白晓璇, 于海燕, 贾艳丽, 等. 不同商业酿酒酵母发酵的秋月梨酒品质分析[J]. 中国酿造, 2026, 45(2): 243-251.

Quality analysis of 'Akizuki' pear (*Pyrus pyrifolia*) wine fermented by different commercial *Saccharomyces cerevisiae*BAI Xiaoxuan^{1,2}, YU Haiyan^{1,3}, JIA Yanli^{1,2}, LIU Zhenzhen^{1,2}, XIN Fengjiao^{1,3}, LI Binglin⁴, LIU Shujun^{1,3*}(1. Institute of Food Science Technology Nutrition and Health (Cangzhou), Chinese Academy of Agricultural Sciences, Cangzhou 061000, China; 2. Cangzhou Academy of Agriculture and Forestry Science, Cangzhou 061000, China;
3. Institute of Agro-Products Processing, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China;
4. College of Food Science and Engineering, Northwest University, Xi'an 710069, China)

Abstract: To screen the *Saccharomyces cerevisiae* suitable for brewing 'Akizuki' pear (*Pyrus pyrifolia*) wine, five commercial *S. cerevisiae* (SY, RW, RV100, VIC, Zymaflore X16) were screened for the fermentation of 'Akizuki' pear wine. The physicochemical indicators, contents of active ingredients, antioxidant capacity and volatile flavor substances of 'Akizuki' pear wine were determined by conventional detection methods combined with solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS), respectively, sensory evaluation was conducted. The results indicated that the total acid (1.99 g/L, 1.84 g/L) and volatile acid (0.24 g/L, 0.30 g/L) contents of 'Akizuki' pear wine fermented by yeast VIC and X16 were relatively low, while the alcohol content (8.51%vol and 7.50%vol) and total phenol content (190.45 μ g GAE/ml, 199.13 μ g GAE/ml) were relatively high. The total antioxidant capacity (183.40 μ mol/ml), 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) (20.27%) and 2,2'-azino-bis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) free radical scavenging rate (90.77%) of 'Akizuki' pear wine fermented by yeast X16 were the highest. There were differences in volatile flavor substances in 'Akizuki' pear wine fermented by different yeasts. The content of esters (16 117.40 μ g/L) and aldehydes and ketones (605.92 μ g/L) in 'Akizuki' pear wine fermented by yeast VIC was the highest, while the content of terpenes (184.62 μ g/L) in 'Akizuki' pear wine fermented by yeast X16 was the highest. Based on variable importance in the projection (VIP) value >1 and odor activity value (OAV) >1, 6 key differential volatile flavor substances were screened. The overall sensory scores of 'Akizuki' pear wine fermented by yeast VIC and X16 were relatively high, which were 61.00 and 57.43 points, respectively. In conclusion, the quality of 'Akizuki' pear wine fermented with yeast VIC and X16 was better.

Key words: 'Akizuki' pear wine; *Saccharomyces cerevisiae*; physicochemical index; active ingredient; antioxidant ability; volatile flavor compound; sensory evaluation

秋月梨(*Pyrus pyrifolia*)是河北省沧州市盐碱地种植的主要梨品种之一, 是重要的盐碱地物种资源。2002年秋

月梨从日本引入中国, 因其品质优良, 抗寒抗旱, 同时果形美观, 爽脆多汁, 酸甜适口, 深受消费者喜爱^[1]。但是, 秋月

收稿日期: 2025-05-09

修回日期: 2025-08-12

基金项目: 沧州市重点研发计划自筹项目(20251205005); 中央引导地方科技发展资金项目(246Z2811G); 中央引导地方科技发展资金项目(236Z2802G); 北京市自然科学基金面上项目(6232035)

作者简介: 白晓璇(1997-), 女, 研究实习员, 硕士, 研究方向为食品风味化学。

*通讯作者: 刘淑君(1993-), 女, 副研究员, 博士, 研究方向为生物制造与食品工程。

梨常温贮藏条件下易发生软化,货架期较短,长期低温贮藏会出现腐烂、果面裂皮和果肉褐变等问题^[2]。因此,提高秋月梨深加工能力、开发秋月梨深加工产品对于提高秋月梨产业价值具有重要意义。

梨果实汁多味甜,营养物质丰富,是常见的果酒原料之一。但是梨酒存在口味清淡,风味欠佳,产品类型单一等问题,市场占有率不高^[3]。目前,关于梨酒的研究主要集中在不同品种梨酿造梨酒的风味特征分析及酿造工艺优化。蒋成等^[4]开发出3种不同类型黄果梨酒,发现不同类型黄果梨酒挥发性香气物质风格差异区分明显,黄果梨干酒整体评分较高,平衡性好;尹子迎等^[5]以不同品种梨制备梨酒,测定陈酿3年梨酒的各项指标,发现小香水、东广、苹香是制备陈酿梨酒的最适品种。

酵母在果酒的发酵过程中起着重要作用,酵母的特性会影响梨酒的品质和多样性^[6]。YANG X等^[7]研究发现,采用非酿酒酵母美极梅奇酵母(*Metschnikowia pulcherrima*) 346与酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*) ES488混合接种发酵制备的早酥梨酒中的芳香酯和醇类物质含量更高;ZHU C等^[8]通过比较不同商业酿酒酵母发酵得到的广安蜜梨酒的风味特征和代谢组学变化,发现由于不同酵母会改变发酵过程中的氨基酸代谢途径,发酵后梨酒的风味特征有明显差异。

目前,国内关于秋月梨酒的酿造研究鲜见报道,因此,本研究选用5种商业酿酒酵母(SY、RW、RV100、VIC、Zymaflore X16)分别发酵秋月梨汁制备梨酒,并对其基础理化指标、活性成分(总酚、总黄酮)含量、抗氧化能力、挥发性风味物质及感官品质进行检测分析,旨在探究不同商业酿酒酵母对秋月梨酒品质的影响,以期为秋月梨酒的产品开发和品质提升提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 材料与菌株

秋月梨:河北省沧州市九合市场;果酒专用酿酒酵母SY、RW、RV100(RV)、Vivance(VIC):安琪酵母股份有限公司;Zymaflore X16果酒专用酿酒酵母(X16):法国LAF-FORT公司。根据产品信息,5种酿酒酵母的特点见表1。

表1 5种商业酿酒酵母特点
Table 1 Characteristics of five commercial *Saccharomyces cerevisiae*

酵母种类	特点
SY	适合酿造白葡萄酒或其他白色水果酒,发酵彻底。
RW	适合酿造红葡萄酒及其他红色浆果,口感柔和。
RV	适合酿造多种果酒,启酵迅速。
VIC	适合酿造白葡萄酒,带来梨、苹果等风味。
X16	适合酿造白葡萄酒、桃红葡萄酒或其他白色水果酒,发酵香气浓郁。

1.1.2 试剂

氢氧化钠(分析纯):天津市津东天正精细化学试剂厂;无水乙醇(分析纯):天津市富宇精细化工有限公司;焦亚硫酸钾(食品级):淄博长城化工厂;四水合酒石酸钾钠、亚甲基蓝(均为分析纯):天津市登峰化学试剂厂;酚酞(分析纯):上海源叶生物科技有限公司;亚硝酸、氯化铝、五水合硫酸铜、葡萄糖(均为分析纯)、没食子酸标准品、芦丁标准品(均为色谱纯):上海麦克林生化科技有限公司。

1.2 仪器与设备

Z5-LZ550榨汁机:九阳股份有限公司;JYH-412恒温恒湿箱:上海跃进医疗器械有限公司;HZQ-Q全温振荡器:常州朗越仪器制造有限公司;HJ-40磁力搅拌水浴锅:常州金坛良友仪器有限公司;CHT210R大容量高速台式冷冻离心机:长沙高新技术产业开发区湘仪离心机仪器有限公司;INNO-M酶标仪:北京瑞德迈普技术开发有限公司;RTC-B恒温磁力搅拌器:郑州邦博仕仪器设备有限公司;SHIMADZU岛津GCMS-QP2020 NX气相色谱-质谱联用(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)仪:株式会社岛津制作所。

1.3 方法

1.3.1 秋月梨酒的发酵工艺流程及操作要点

秋月梨清洗、切块→榨汁→过滤→调配→巴氏杀菌→接菌→发酵→离心过滤→成品

操作要点:挑选新鲜、无病虫害、无腐烂且无机械损伤的秋月梨,经过清洗、切块、榨汁后,使用四层干净的纱布对梨汁进行过滤,去除絮状果肉,添加白砂糖调整初始糖度至16 °Brix,添加焦亚硫酸钾,使SO₂含量为60 mg/L,防止氧化。将调配好的梨汁在60 °C条件下巴氏杀菌10 min。加入2%活化好的酿酒酵母种子液(活菌数>4×10⁸ CFU/mL),于22 °C条件下静置发酵,待酒体不再产生气泡,酒精度不再变化时,酒精发酵结束,然后在10 000 r/min、4 °C条件下离心10 min,过滤去除沉淀物,得到秋月梨酒。

1.3.2 基础理化指标的测定

还原糖、总酸及挥发酸含量:参照GB/T 15038—2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》中的方法进行测定^[9];酒精度:参照GB 5009.225—2023《食品安全国家标准 酒和食用酒精中乙醇浓度的测定》中的方法测定^[10];可溶性固形物含量:采用手持式糖度计测定^[11];pH值:采用pH计测定。

1.3.3 活性成分的测定

总酚含量测定:采用福林-酚法^[12]。以没食子酸质量浓度(x)为横坐标,吸光度值(y)为纵坐标得到标准曲线回归方程: $y=2.767\ 1x+0.005\ 5$ ($R^2=0.999\ 9$),总酚含量结果以没食子酸当量(gallic acid equivalent, GAE)(μg GAE/mL)表示。

总黄酮含量测定:采用亚硝酸钠-氯化铝比色法^[12]。以芦丁质量浓度(x)为横坐标,吸光度值(y)为纵坐标得到标

准曲线回归方程: $y=0.000\ 6x+0.01$ ($R^2=0.989\ 8$),总黄酮含量结果以芦丁当量(rutin equivalent,RE)($\mu\text{g RE/mL}$)表示。

1.3.4 抗氧化能力的测定

抗氧化能力的测定:采用铁离子还原/抗氧化能力法(ferric ion reducing antioxidant power,FRAP)^[12];1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl,DPPH)自由基清除能力测定:参考MAVRIC-SCHOLZE E等^[13]的方法;2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)(2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid),ABTS)自由基清除能力的测定:参考曹建昌等^[14]的方法。

1.3.5 挥发性风味物质的测定

采用固相微萃取(solid phase microextraction,SPME)结合气相色谱-质谱联用法对梨酒中的挥发性风味物质进行测定^[15]。按照挥发性风味物质质量浓度与阈值的比值计算气味活性值(odor activity value,OAV)^[16]。

1.3.6 感官评价

在标准品尝室中,由10名经过专业培训的小组成员(5名女性、5名男性,20~35岁)组成感官分析品尝小组,参照GB/T 15038—2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》^[9]对秋月梨酒的色泽、澄清度、香气、口感4项指标分别进行感官评价,评价标准见表2。

表2 秋月梨酒的感官评价标准

Table 2 Sensory evaluation standards of 'Akizuki' pear wine

项目	标准	得分/分
色泽	呈金黄色,色泽均匀	11~20
	呈黄色,有光泽	5~10
	呈淡黄色,无光泽	1~4
澄清度	无沉淀,无悬浮物,澄清透明	7~10
	无沉淀,少量悬浮物,较透明	3~6
	少量沉淀及悬浮物,较浑浊	1~2
香气	果香怡人,酒香典雅,二者协调统一,无异味	31~40
	果香有典型性,酒香较淡,二者较为协调,无异味	21~30
	果香淡,酒香不足	1~20
口感	口感细腻,酸甜适中	21~30
	口感略微单薄,酸甜比例失衡,入口回味不足	11~20
	口感较突兀,无酸味和甜味,苦味令人不悦	1~10

表3 不同酵母发酵秋月梨酒的基础理化指标

Table 3 Basic physicochemical indexes of 'Akizuki' pear wine fermented by different yeasts

酵母种类	酒精度/%vol	还原糖含量/($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	总酸含量/($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	挥发酸含量/($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	pH	可溶性固形物含量/°Brix
SY	8.59±0.03a	0.32±0.00b	3.03±0.13a	0.26±0.02b	4.20±0.00c	5.95±0.21a
RW	7.78±0.30b	0.46±0.05a	2.65±0.13b	0.36±0.05a	4.25±0.00c	6.00±0.00a
RV	6.82±0.11c	0.21±0.05c	3.12±0.00a	0.35±0.02a	4.25±0.06c	5.90±0.00a
VIC	8.51±0.08a	0.45±0.03a	1.99±0.00c	0.24±0.00b	4.68±0.01b	5.63±0.04b
X16	7.50±0.02b	0.29±0.05bc	1.84±0.05c	0.30±0.04ab	4.81±0.05a	5.80±0.00ab

注:同列右肩不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.2 不同酵母发酵对秋月梨酒活性成分的影响

酚类物质在果实中主要以结合态和游离态两种方式

1.3.7 数据处理与统计分析

每个试验重复3次,通过Microsoft Excel 2019处理数据,结果用“平均值±标准差”表示;通过软件SIMCA 14.1进行偏最小二乘判别分析(partial least squares-discriminate analysis,PLS-DA);使用IBM SPSS Statistics 20对数据进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同酵母发酵对秋月梨酒基础理化指标的影响

不同酵母发酵秋月梨酒的基础理化指标见表3。由表3可知,酵母SY和VIC发酵秋月梨酒的酒精度较高,分别达到8.59%vol和8.51%vol,其次是酵母RW和X16,酵母RV发酵秋月梨酒中酒精度最低(6.82%vol),分析原因可能是,不同酵母的生长代谢能力差异会造成产酒精能力和次级代谢产物的不同^[8]。曾硕等^[17]研究发现,酵母VIC发酵猕猴桃酒的酒精度较高;苏生元等^[18]研究发现,酵母SY发酵枸杞酒的酒精度较高,与本研究结果基本一致,说明菌株SY和VIC的产酒精能力较强。酵母RW和VIC发酵秋月梨酒的还原糖含量较高,分别为0.46 g/L和0.45 g/L,酵母SY、X16和RV发酵秋月梨酒的还原糖含量较低。酸度过高会影响果酒的整体口感,酵母RV和SY发酵秋月梨酒的总酸含量较高,分别达到3.12 g/L和3.03 g/L,其次是酵母RW,酵母VIC和X16发酵秋月梨酒的总酸含量较低,分别为1.99 g/L和1.84 g/L,说明酵母VIC及X16在秋月梨酒发酵过程中能起到降酸的作用。周颖等^[19]使用不同商业酿酒酵母酿造草莓酒,发现酵母X16降酸效果最好,本研究结果与其一致。果酒中的挥发酸主要由醋酸及其衍生物构成,含量过高会为果酒带来醋味^[20]。酵母RW和RV发酵秋月梨酒的挥发酸含量较高,其次是酵母X16,酵母SY和VIC发酵秋月梨酒的挥发酸含量较低,分别为0.26 g/L和0.24 g/L。酵母X16和VIC发酵秋月梨酒的pH较高,酵母SY、RW和RV发酵秋月梨酒的pH较低。酵母SY、RW和RV发酵秋月梨酒的可溶性固形物含量较高,而酵母VIC发酵秋月梨酒的可溶性固形物含量最低。综合基础理化指标结果,酵母VIC和X16发酵能在相对较彻底的同时使发酵后的梨酒酸度较低,具有更优的发酵特性。

存在,发酵可有效促进结合态酚类物质的有效释放,如阿魏酸、羟基肉桂酸衍生物等,不同类型的酚类物质受到酵

母影响的程度不同,不同酵母由于吸附作用不同和酶解催化能力差异,对酚类物质影响也存在差异^[6,8]。酚酸类和黄酮类物质是梨和梨酒中的重要组成部分,具有抗氧化、清除自由基等作用^[2]。因此,测定酵母发酵秋月梨酒中的总酚及总黄酮含量,结果见图1。由图1A可知,酵母X16发酵秋月梨酒的总酚含量最高(199.13 $\mu\text{g GAE/mL}$),显著高于RW发酵秋月梨酒,其次是酵母RV(194.61 $\mu\text{g GAE/mL}$)和酵母VIC(190.45 $\mu\text{g GAE/mL}$),酵母RW发酵秋月梨酒的总酚含量最低,为132.09 $\mu\text{g GAE/mL}$ 。由图1B可知,不同酵母发酵秋月梨酒中的总黄酮含量无显著差异($P>0.05$),酵母RW和X16发酵秋月梨酒中的总黄酮含量最高,均为110.84 $\mu\text{g RE/mL}$,酵母SY发酵秋月梨酒的总黄酮含量最低,为106.65 $\mu\text{g RE/mL}$ 。综上,酵母X16、RV及VIC发酵后,梨酒的活性成分含量较高。

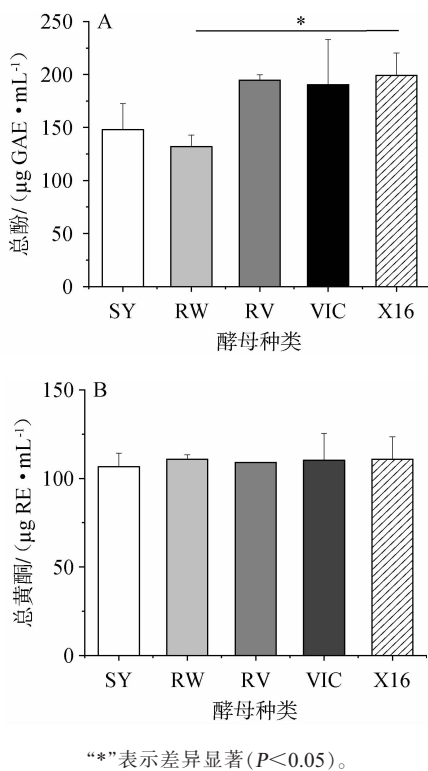
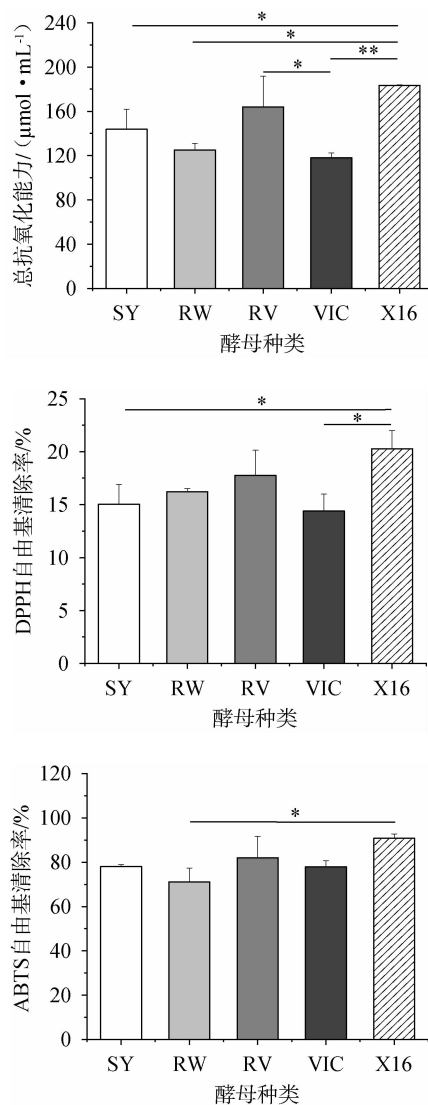


图1 不同酵母发酵秋月梨酒中总酚(A)及总黄酮(B)含量的测定结果
Fig. 1 Determination results of total phenol (A) and total flavonoid (B) contents in 'Akizuki' pear wine fermented by different yeasts

2.3 不同酵母发酵对秋月梨酒抗氧化能力的影响

抗氧化活性是评价果酒营养功能的重要指标,测定不同酵母发酵秋月梨酒的抗氧化能力,结果见图2。由图2可知,酵母X16发酵秋月梨酒的总抗氧化能力、DPPH自由基清除率及ABTS自由基清除率均最高,分别为183.40 $\mu\text{mol/mL}$ 、20.27%、90.77%。其次为酵母RV发酵秋月梨酒,分别为163.92 $\mu\text{mol/mL}$ 、17.75%、82.01%。酚类物质和黄酮类物质含量差异易造成果酒抗氧化能力的差异^[2],酵母X16发酵秋月梨酒的总抗氧化能力最强,显著高于酵母SY、RW发酵

梨酒($P<0.05$),极显著高于酵母VIC发酵梨酒($P<0.01$)。酵母X16发酵秋月梨酒的DPPH自由基清除率显著高于酵母SY和VIC,其ABTS自由基清除率显著高于RW($P<0.05$)。可能与该酒中总酚及总黄酮含量最高有关。然而,抗氧化性结果和总酚及总黄酮含量结果不完全一致,可能是酚类物质和黄酮类物质的组成差异造成,也可能是它们之间的协同作用导致^[5]。综上,酵母X16发酵秋月梨酒的抗氧化能力最强。



“*”表示差异显著($P<0.05$),“**”表示差异极显著($P<0.01$)。

图2 不同酵母发酵秋月梨酒的抗氧化性测定结果
Fig. 2 Determination results of antioxidant properties of 'Akizuki' pear wines fermented by different yeasts

2.4 不同酵母发酵对秋月梨酒挥发性风味物质的影响

2.4.1 挥发性风味物质分析

通过SPME-GC-MS对秋月梨酒中的挥发性风味物质进行检测,结果见表4。

表4 不同酵母发酵秋月梨酒中挥发性风味物质GC-MS分析结果
Table 4 Results of volatile flavor substances in ‘Akizuki’ pear wine fermented by different yeasts analyzed by GC-MS

种类	序号	化合物	含量/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)				
			SY	RW	RV	VIC	X16
醇类	A1	正丙醇	4 479.49±527.63b	3 900.26±357.33b	4 402.22±184.39b	11 609.79±2 580.47a	10 949.27±2 482.40a
	A2	异丁醇	7 603.99±2 058.33a	6 493.11±751.46a	4 362.44±1 369.01a	4 933.92±233.95a	4 355.82±913.02a
	A3	异戊醇	44 096.51±182.67a	29 334.66±1 695.57b	28 468.34±4 186.31b	22 123.75±857.12c	27 235.84±2 008.35bc
	A4	2,3-丁二醇	83.98±7.90c	12.92±0.10e	43.89±8.53d	154.37±2.15b	294.61±3.72a
	A5	3-乙氧基-1-丙醇	51.86±16.38b	4.38±0.26c	18.11±4.84c	96.06±18.26a	15.24±5.35c
	A6	顺式-3-己烯醇	117.65±0.36a	97.77±2.12a	104.16±8.32a	126.95±19.95a	112.79±15.55a
	A7	正己醇	3 077.67±438.60a	2 171.80±54.82b	2 286.15±371.87b	2 561.17±13.00ab	2 032.51±72.63b
	A8	正庚醇	63.25±14.32a	45.08±3.84ab	31.59±4.78b	40.79±3.63b	64.66±4.89a
	A9	异辛醇	13.22±0.86a	12.26±3.94a	9.88±1.79a	11.81±6.94a	8.86±0.45a
	A10	苯甲醇	5.79±2.35a	4.67±0.69a	4.80±1.85a	4.24±1.48a	8.48±1.51a
	A11	正辛醇	75.03±10.82a	53.10±3.18b	24.26±12.38c	61.26±5.61ab	82.94±5.43a
	A12	2-壬醇	6.09±3.71b	4.68±0.65b	4.24±2.67b	2.29±0.78b	14.13±0.22a
	A13	苯乙醇	3 800.89±424.94b	5 852.98±905.91a	4 985.89±936.84ab	3 994.01±501.44b	5 448.44±249.43ab
	A14	正癸醇	12.46±0.40b	16.65±3.37b	8.11±2.54b	17.63±4.28b	36.70±7.14a
酯类		小计	63 487.88±1 337.91a	48 004.33±3 059.52b	44 754.08±7 071.37b	45 738.03±2 630.64b	50 660.29±5 758.29b
	B1	乙酸乙酯	4 725.77±596.51bc	3 762.28±549.20c	6 712.92±256.94b	10 246.43±1 247.76a	6 198.18±800.62b
	B2	丙酸乙酯	448.60±80.51a	35.09±6.16b	111.15±48.24b	501.95±226.92a	132.66±14.90b
	B3	乙酸异丁酯	103.75±9.10a	77.37±2.43b	81.12±5.36b	82.46±11.90b	41.88±3.32c
	B4	丁酸乙酯	131.60±2.90a	65.53±3.38b	61.11±0.76b	114.84±11.96a	81.55±13.63b
	B5	乙酸异戊酯	1 005.54±133.74ab	1 168.75±91.68a	828.43±74.49bc	700.94±82.10c	606.29±49.46c
	B6	己酸乙酯	1 513.46±235.88a	655.09±47.39b	720.65±61.39b	1 374.87±85.01a	903.91±55.83b
	B7	乙酸己酯	124.69±26.74b	189.82±4.26a	136.62±8.31b	147.15±13.02b	53.69±6.41c
	B8	庚酸甲酯	7.71±1.29ab	8.51±2.02a	5.68±0.16ab	7.21±0.57ab	4.56±1.50b
	B9	异戊酸乙酯	13.75±1.25a	8.73±2.09a	4.18±2.34a	14.64±7.63a	11.11±3.62a
	B10	辛酸乙酯	1 617.82±112.01b	1 327.18±14.89bc	1 091.48±254.09c	2 210.00±143.42a	1 024.49±28.85c
	B11	苯乙酸乙酯	8.30±2.09c	4.97±1.30d	8.49±0.81c	12.00±0.92b	16.19±0.74a
	B12	乙酸苯乙酯	302.02±103.55b	523.70±27.34a	265.43±22.35b	329.85±47.60b	406.88±45.97ab
	B13	3-羟基-己酸乙酯	15.80±8.01a	15.12±4.80a	20.12±5.09a	18.82±7.46a	15.67±1.32a
	B14	辛酸苯乙酯	1.28±0.41b	0.76±0.03b	1.01±0.74b	1.96±0.54ab	3.10±0.34a
	B15	乙基-9-癸烯酸酯	124.12±29.98a	98.45±5.55ab	97.55±56.81ab	22.34±1.45b	24.20±4.62b
	B16	癸酸乙酯	540.72±191.30a	235.12±20.36b	100.85±35.85b	290.45±48.76b	189.05±45.60b
	B17	辛基己酸酯	13.21±5.87ab	7.89±2.15b	7.39±0.32b	18.58±5.61a	10.02±0.62ab
	B18	月桂酸乙酯	25.61±3.02a	6.33±0.44b	4.72±2.49b	8.64±8.70b	22.71±5.03a
	B19	棕榈酸乙酯	18.63±2.02a	14.23±1.93a	16.75±8.38a	14.26±2.15a	12.38±0.84a
醛酮类		小计	10 742.37±1 148.71b	8 204.92±690.87b	10 275.66±180.43b	16 117.40±1 406.86a	9 758.53±1 017.79b
	C1	异戊醛	65.94±7.41a	37.25±3.26b	67.85±3.18a	48.44±8.68b	46.55±2.99b
	C2	乙缩醛	261.04±31.63a	167.28±5.13b	105.49±29.40b	343.23±60.37a	90.84±7.65b
	C3	苯甲醛	16.73±3.31b	5.66±3.68c	3.86±2.83c	37.36±4.20a	3.54±0.54c
	C4	苯乙醛	33.12±4.49bc	44.80±11.04ab	52.27±1.03a	39.11±7.38ab	18.89±4.08c
	C5	2-壬酮	28.41±2.86ab	12.34±6.09b	41.11±12.60a	33.42±2.36ab	21.29±17.06ab
	C6	3,5-二甲基苯甲醛	117.56±58.88a	111.62±24.84a	37.24±9.56a	104.37±90.44a	65.86±10.69a
脂肪酸类		小计	522.81±78.16ab	378.95±43.78abc	307.83±31.35bc	605.92±168.71a	246.96±13.46c
	D1	己酸	180.30±30.59abc	104.91±1.22bc	227.49±15.91a	76.57±18.90c	190.49±81.55ab
	D2	辛酸	1 731.36±409.98a	860.42±48.09a	1 003.23±352.84a	1 265.32±521.30a	1 427.24±202.09a

续表

种类	序号	化合物	含量/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)				
			SY	RW	RV	VIC	X16
萜烯类	D3	壬酸	ns	ns	ns	1.98±0.56b	6.89±1.31a
	D4	正癸酸	374.54±216.57a	163.32±0.96a	106.60±57.68a	451.15±342.03a	527.87±58.77a
		小计	2 385.22±627.18a	1 172.28±50.38a	1 364.77±435.77a	1 804.34±845.63a	2 154.77±343.00a
	E1	柠檬烯	3.58±1.49ab	0.89±0.34b	1.30±0.15b	2.75±1.31ab	7.17±3.80a
	E2	香茅醇	84.00±8.61b	84.27±18.36b	132.48±2.07ab	92.03±49.18b	168.87±0.50a
	E3	β -金合欢烯	4.34±0.77b	2.70±0.27bc	2.18±0.17c	9.90±1.26a	8.58±0.96a
酚类		小计	91.93±7.88b	87.87±18.42b	135.95±2.39ab	104.68±49.23b	184.62±2.34a
	F1	4-乙基愈创木酚	86.18±33.79a	79.61±21.00a	ns	101.44±39.55a	ns
	F2	2,4-二叔丁基苯酚	65.74±17.75b	58.00±0.46b	121.86±82.39ab	223.77±46.75a	133.91±7.88ab
芳香烃类		小计	151.92±51.54b	137.60±20.55b	121.86±82.39b	325.22±86.30a	133.91±7.88b
	G1	对二甲苯	99.02±29.96a	43.64±2.02b	27.45±9.34bc	9.31±1.76bc	2.29±0.73c
		小计	77 481.16±545.59a	58 029.60±3 780.74b	56 987.60±7 648.26b	64 704.90±2 885.87ab	63 141.36±7 121.59b

注:同行肩不同小写字母表示差异显著($P<0.05$);“ns”表示物质未检出。

由表4可知,从秋月梨酒中共检测出49种挥发性风味物质,包括醇类物质14种、酯类物质19种、醛酮类物质6种、脂肪酸类物质4种、萜烯类物质3种、酚类物质2种以及芳香烃类物质1种。不同酵母发酵后秋月梨酒的挥发性物质种类基本相似,但质量浓度有所差异。

不同酵母由于氨基酸代谢途径的差异,会对梨酒的风味产生不同影响^[8]。醇类物质主要由酵母在 α -酮酸发酵过程中形成^[2],是秋月梨酒中含量最高的挥发性风味物质。酵母SY发酵秋月梨酒中的醇类物质含量显著最高($P<0.05$),达到63 487.88 $\mu\text{g/L}$ 。异戊醇含量在醇类物质中占比最高,其在果酒中会带来溶剂味或指甲油味^[23],正己醇会带来青草味^[24]。酵母SY发酵秋月梨酒中异戊醇和正己醇的含量显著最高($P<0.05$),分别为44 096.51 $\mu\text{g/L}$ 和3 077.67 $\mu\text{g/L}$ 。正丙醇主要带来醇香和成熟水果香,是梨酒中重要的醇类物质^[25],酵母VIC和X16发酵秋月梨酒中的正丙醇含量分别达到11 609.79 $\mu\text{g/L}$ 和10 949.27 $\mu\text{g/L}$,显著高于其他酵母($P<0.05$)。

酯类物质在果酒中主要具有水果香气^[3],是秋月梨酒中种类最丰富的挥发性风味物质。酵母VIC发酵秋月梨酒中的酯类物质含量显著最高($P<0.05$),达到16 117.40 $\mu\text{g/L}$ 。其中乙酸乙酯、丙酸乙酯、丁酸乙酯、己酸乙酯、辛酸乙酯和辛基己酸酯含量较高(10 246.43 $\mu\text{g/L}$ 、501.95 $\mu\text{g/L}$ 、114.84 $\mu\text{g/L}$ 、1 374.87 $\mu\text{g/L}$ 、2 210 $\mu\text{g/L}$ 、18.58 $\mu\text{g/L}$)。脂肪酸乙酯类物质在酒精发酵过程中的产生会受到酵母中乙酯合成酶和乙醇乙酰转移酶的调控^[26]。乙酸乙酯、丁酸乙酯、己酸乙酯在果酒中主要带来香蕉、菠萝、青苹果等水果类香气^[26],辛酸乙酯是梨中常见的酯类物质,具备梨的典型香气,也会带来花香^[27],是秋月梨酒中含量第二高的酯类物质。

醛酮类化合物可以为果酒带来果香或花香等香气特征^[28],酵母VIC发酵后的秋月梨酒中醛酮类物质含量最高,为605.92 $\mu\text{g/L}$,且其中乙缩醛和苯甲醛含量最高,乙缩醛主要带来花果香气,苯甲醛带来杏仁气味^[29]。不同酵母发酵秋月梨酒中的脂肪酸类物质总含量无显著差异($P>0.05$),但是只有酵母VIC和X16发酵后的秋月梨酒中检测到了壬酸。酵母RV发酵秋月梨酒中的己酸含量显著最高(227.49 $\mu\text{g/L}$),是酵母VIC发酵秋月梨酒中己酸含量的2.97倍,但己酸主要带来不利于果酒香气的奶酪味和脂肪味^[30]。

萜烯类物质是梨果实中重要的次生代谢产物,一般在果酒中贡献花香或果香^[31]。酵母X16发酵后的秋月梨酒中,萜烯类物质总含量显著最高,为184.62 $\mu\text{g/L}$,且检测到的柠檬烯、香茅醇及 β -金合欢烯的含量均最高。在果酒中,柠檬烯带来柠檬气味^[32],香茅醇带来玫瑰气味^[33], β -金合欢烯带来花香、青香和香脂香气^[34]。在秋月梨酒中,酵母X16发酵后香茅醇的质量浓度超过阈值^[24],对梨酒香气有贡献作用。

在秋月梨酒中检测到2种酚类物质,酵母VIC发酵秋月梨酒中酚类物质总含量显著最高($P<0.05$),达到325.22 $\mu\text{g/L}$ 。其中2,4-二叔丁基苯酚带来轻微苯酚臭味,4-乙基愈创木酚一般带来烘烤味^[35],在酵母RV和X16发酵秋月梨酒中未检测到4-乙基愈创木酚。酵母SY发酵秋月梨酒中的芳香烃类物质对二甲苯含量显著最高($P<0.05$),其主要带来苦杏仁味^[36]。

综上,使用酵母SY发酵秋月梨酒中醇类物质含量过高,使用酵母VIC发酵秋月梨酒会带来更多果香特征明显的酯类物质,使用酵母X16发酵秋月梨酒可以增强花香。使用酵母RW和RV发酵秋月梨酒中仅有少部分香气物质含量显著更高。

2.4.2 不同酵母发酵秋月梨酒中挥发性风味物质差异分析

为进一步明确不同酵母发酵秋月梨酒的关键差异挥发性风味物质,基于检测到的49种挥发性风味物质对不同酵母发酵秋月梨酒进行PLS-DA,结果见图3。

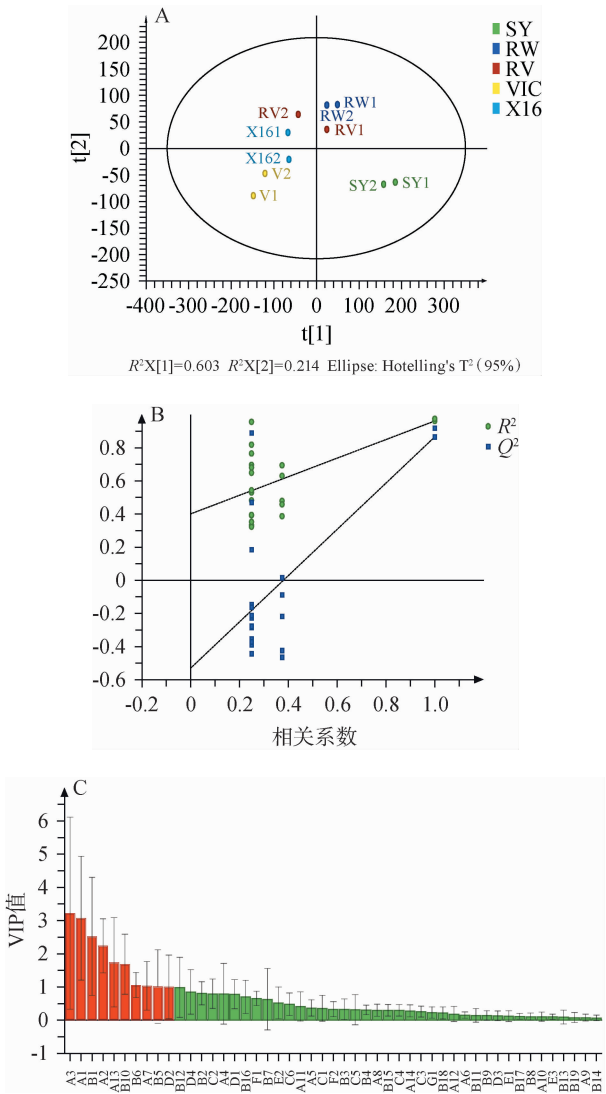


图3 不同酵母发酵秋月梨酒挥发性风味物质的偏最小二乘-判别分析得分散点图(A)、200次置换检验结果(B)及变量投影重要性值(C)

Fig. 3 Score scatter plot of partial least squares discriminant analysis (A), results of 200 permutation test (B) and variable importance in projection value (C) of volatile flavor compounds in 'Akizuki' pear wine fermented by different yeasts

由图3A可知,自变量拟合指数(R^2X)为0.941,因变量拟合指数(R^2Y)为0.918,模型预测指数(Q^2)为0.737, R^2 和 Q^2 均 >0.5 ,说明模型具有良好的可解释度和拟合度。通过Hotelling T^2 检验,所有秋月梨酒样品的相似度都在95%置信区间内,且未发现离群样本点。该模型可对不同酵母发酵秋月梨酒的挥发性风味物质进行良好区分。由图3B可

知,该模型经200次置换检验后, Q^2 回归线与纵轴的相交点 <0 ,说明模型不存在过拟合,模型可靠。由图3C可知,基于VIP值 >1 ^[37],从不同酵母发酵的秋月梨酒中共鉴定到10种主要差异挥发性风味物质,包括异戊醇、正丙醇、乙酸乙酯、异丁醇、苯乙醇、辛酸乙酯、己酸乙酯、正己醇、乙酸异戊酯及辛酸。

计算10种主要差异挥发性风味物质的气味活性值(OAV),结果见表5。研究表明,挥发性风味物质的OAV >1 表明该物质对样品的气味特征起关键贡献作用^[38]。由表5可知,共有6种关键差异挥发性风味物质(OAV >1),酵母SY发酵秋月梨酒中异戊醇的OAV >1 ,杂醇及溶剂味会更加明显^[23]。酵母VIC发酵秋月梨酒中乙酸乙酯的OAV >1 ,果香味会更加明显^[29]。所有秋月梨酒样品中辛酸乙酯、己酸乙酯、乙酸异戊酯和辛酸的OAV均 >1 ,酯类物质主要贡献类似菠萝、梨和香蕉的果香,辛酸会带来奶酪味^[16]。因此,不同酿酒酵母发酵秋月梨酒中挥发性物质的差异性主要源于醇类物质和酯类物质含量的差异。

表5 不同酵母发酵秋月梨酒中主要差异挥发性风味物质气味活性值

Table 5 Odor activity values of the main differential volatile flavor compounds in 'Akizuki' pear wine fermented by different yeasts

序号	化合物	VIP值	阈值/ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) ^[16,34]	OAV				
				SY	RW	RV	VIC	X16
A3	异戊醇	3.22	30 000	1.47	0.98	0.95	0.74	0.91
A1	正丙醇	3.07	306 000	0.01	0.01	0.01	0.04	0.04
B1	乙酸乙酯	2.53	7 500	0.63	0.50	0.90	1.37	0.83
A2	异丁醇	2.24	40 000	0.19	0.16	0.11	0.12	0.11
A13	苯乙醇	1.74	14 000	0.27	0.42	0.36	0.29	0.39
B10	辛酸乙酯	1.69	5	323.56	265.44	218.30	442.00	204.90
B6	己酸乙酯	1.06	14	108.10	46.79	51.48	98.21	64.57
A7	正己醇	1.03	8 000	0.38	0.27	0.29	0.32	0.25
B5	乙酸异戊酯	1.01	3	335.18	389.58	276.14	233.65	202.10
D2	辛酸	1.01	500	3.46	1.72	2.01	2.53	2.85

2.5 不同酵母发酵秋月梨酒的感官评价

不同酵母发酵秋月梨酒的感官评价结果见图4。由图4可知,在色泽上,酵母VIC(11.43分)和酵母RW(11.29分)发酵秋月梨酒的得分较高。在澄清度上,酵母RW发酵秋月梨酒的得分最高(7.00分)。在香气上,酵母VIC(26.00分)和酵母X16(25.57分)发酵秋月梨酒的得分较高,其次是酵母SY(24.57分)和酵母RW(23.86分),酵母RV发酵秋月梨酒的得分最低(23.14分)。在口感上,酵母RV(17.14分)和VIC(17.00分)发酵秋月梨酒的得分最高,其次是酵母RW(16.29分)和X16(15.86分),酵母SY发酵秋月梨酒的得分最低(13.57分)。综上,酵母VIC发酵秋月梨酒的总分最高(61.00分),其次是酵母RW(58.43分)和酵母X16(57.43分)。

酵母VIC发酵秋月梨酒色泽更加透亮,果香更加浓郁,口感更加协调,曾硕等^[17]研究发现,在不同酿酒酵母发酵的猕猴桃酒中,酵母VIC发酵的果酒香气最浓郁,总体评价最高,这可能与VIC发酵后的酒中酯类物质含量最高有关。

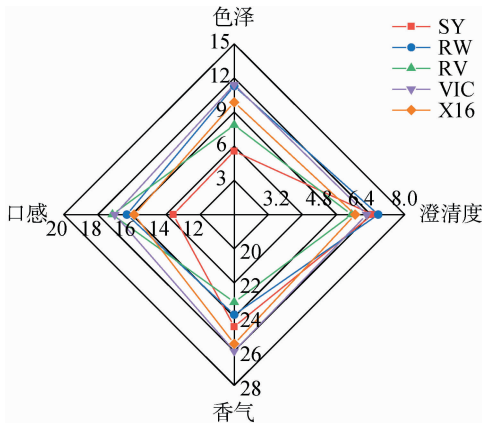


图4 不同酵母发酵秋月梨酒的感官评分雷达图
Fig. 4 Radar map of sensory scores of ‘Akizuki’ pear wine fermented by different yeasts

3 结论

选用5种商业酿酒酵母酿造秋月梨酒,结果发现,酵母VIC和X16发酵秋月梨酒的总酸(1.99 g/L、1.84 g/L)及挥发酸(0.24 g/L、0.30 g/L)含量较低,酒精度较高(8.51%vol和7.50%vol),总酚含量(190.45 μg GAE/mL、199.13 μg GAE/mL)较高。酵母X16发酵秋月梨酒的总抗氧化能力(18340 μmol/mL)、DPPH(20.27%)及ABTS自由基清除率(90.77%)均最高。不同酵母发酵秋月梨酒中的挥发性风味物质存在差异,酵母VIC发酵秋月梨酒的酯类(16 117.40 μg/L)及醛酮类(605.92 μg/L)等物质含量最高,酵母X16发酵秋月梨酒的萜烯类物质(184.62 μg/L)含量最高。进一步基于VIP值>1及OAV>1,筛选得到6种关键差异挥发性风味物质。酵母VIC和X16发酵秋月梨酒的整体感官评分相对较高,分别为61.00分和57.43分。综上,酵母VIC和X16发酵的秋月梨酒品质更佳,更适宜秋月梨酒发酵。本研究可为秋月梨的精深加工及秋月梨酒的发酵工艺优化提供参考。

参考文献:

[1] CUI Z, WANG N, LI D, et al. Nitrendipine-treatment increases cork spot disorder incidence in pear ‘Akituki’ (*Pyrus pyrifolia* Nakai.) by altering calcium distribution inside the fruit[J]. **Plants**, 2021, 10(5): 994.
[2] 冯云霄,何近刚,程玉豆,等. ‘秋月梨’采后生理特性与薄膜包装保鲜技术研究[J]. **保鲜与加工**, 2024, 24(6): 1-8.
[3] LIU J, LIU M, YE P, et al. Ethyl esters enhancement of Jinchuan pear wine studied by coculturing *Saccharomyces bayanus* with *Torulaspora delbrueckii* and their community and interaction characteristics[J]. **Food Biosci**, 2022, 46: 101605.
[4] 蒋成,周颖,冯翰杰,等.不同类型黄果梨酒品质及香气成分分析[J]. 食

品研究与开发,2025,46(3):155-164.
[5] 尹子迎,赵江丽,刘金龙,等. 不同品种梨制备的陈酿梨酒品质分析及抗氧化活性[J]. **中国酿造**, 2023, 42(5): 113-118.
[6] 邓乔允,夏爽,韩小雨,等. 梨酒中酵母的研究进展[J]. **食品与发酵工业**, 2024, 50(21): 349-356.
[7] YANG X, ZHAO F, 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-Food Sci Technol**, 2022, 155: 112994.
[8] ZHU C, YANG Z, LU X, et al. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* strains on the metabolomic profiles of Guangan honey pear cider[J]. **LWT-Food Sci Technol**, 2023, 182: 114816.
[9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 15038—2006 葡萄酒、果酒通用分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
[10] 中华人民共和国国家卫生健康委员会,国家市场监督管理总局. GB 5009.225—2023 食品安全国家标准 酒和食用酒精中乙醇浓度的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
[11] 牛英,范七君,刘冰浩,等. 柑桔果汁可溶性固形物含量测定的影响因素及优化[J]. **果树学报**, 2021, 44(7): 3-6.
[12] WANG Z, CHEN M, HAO S, et al. Quality of jujube wines fermented by different jujube varieties: Physicochemical parameters, antioxidant activity, non-volatile and volatile substances[J]. **LWT-Food Sci Technol**, 2024, 208: 116698.
[13] MAVRIC-SCHOLZE E, SIMIJONOVIC D, AVDOVIC E, et al. Comparative analysis of antioxidant activity and content of (poly) phenolic compounds in Cabernet Sauvignon and merlot wines of Slovenian and Serbian vineyards[J]. **Food Chem: X**, 2025, 25: 102108.
[14] 曹建昌,李若彤,曾芬,等. 藜蒿秆多糖提取工艺优化及抗氧化、α-葡萄糖苷酶抑制活性分析[J]. **食品工业科技**, 2025, 46(17): 282-291.
[15] TANIGUCHI M, FURUNO M, YAMADA T, et al. Profiling of volatile compounds in Japanese sake stored in sherry casks using solid phase microextraction/gas chromatography/mass spectrometry analysis[J]. **J Biosci Bioeng**, 2021, 132(1): 108-112.
[16] YANG Y, AI L, MU Z, et al. Flavor compounds with high odor activity values (OAV>1) dominate the aroma of aged Chinese rice wine (*Huangjiu*) by molecular association[J]. **Food Chem**, 2022, 383: 132370.
[17] 曾硕,郭新宇,牛东升,等. 四种酵母对不同品种猕猴桃果酒品质的影响[J]. **食品工业科技**, 2026, 47(1): 357-370.
[18] 苏生元,张晓燕,孟芳,等. 不同商业酿酒酵母发酵的枸杞酒品质分析[J]. **中国酿造**, 2024, 43(12): 196-204.
[19] 周颖,郝凤娇,陈瑞,等. 基于顶空固相微萃取-气相色谱-质谱研究不同商业酵母对草莓酒香气成分的影响[J]. **食品研究与开发**, 2024, 45(17): 168-177.
[20] GUO C, DENG H, LI E. Removal of acetic acid in mulberry wine by co-inoculating *Saccharomyces cerevisiae* with indigenous non-*Saccharomyces* yeast [J]. **Food Biosci**, 2024, 58: 103658.
[21] PILUZZA G, CAMPESI G, D’HALLEWIN G, et al. Antioxidants in fruit fractions of mediterranean ancient pear cultivars[J]. **Molecules**, 2023, 28(8): 3559.
[22] LIAN W, LEI J, HAN C, et al. Effect of different yeasts on the higher alcohol content of mulberry wine[J]. **Foods**, 2024, 13(12): 14.

- [23] 刘雅冉,李俊龙,谷佩珊,等. 发酵型枸杞酒关键香气物质分析[J]. 食品科学,2024,45(5):126-136.
- [24] 张明霞. 葡萄酒香气变化规律研究—着重于关键酿造工艺对葡萄酒香气的影响[D]. 北京:中国农业大学,2007.
- [25] DE-LA-FUENTE-BLANCO A, SAENZ-NAVAJAS M P, FERREIRA V. On the effects of higher alcohols on red wine aroma[J]. **Food Chem**, 2016, 210: 107-114.
- [26] ANTALICK G, PERELLO M C, DE REVEL G. Esters in wines: New insight through the establishment of a database of French wines[J]. **Am J Enol Viticult**, 2014, 65(3): 293-304.
- [27] HE W, LAAKSONEN O, TIAN Y, et al. Chemical composition of juices made from cultivars and breeding selections of European pear (*Pyrus communis* L.)[J]. **J Agr Food Chem**, 2022, 70(16): 5137-5150.
- [28] 王磊,王春光,刘雅冉,等. HS-SPME-GC-Orbitrap-MS法测定果酒中的醛酮类和呋喃类化合物[J]. 食品科学,2023,44(16):353-361.
- [29] ARIAS PEREZ I, SAENZ NAVAJAS M P, DE-LA-FUENTE-BLANCO A, et al. Insights on the role of acetaldehyde and other aldehydes in the odour and tactile nasal perception of red wine[J]. **Food Chem**, 2021, 361: 130081.
- [30] 郭志君,杨红丽,闵卓,等. 蓝莓酒香气成分及其影响因素研究进展[J]. 食品科学,2024,46(6):337-343.
- [31] WANG Y, ZHANG Q, CUI M Y, et al. Aroma enhancement of blueberry wine by postharvest partial dehydration of blueberries[J]. **Food Chem**, 2023, 426: 136593.
- [32] CHIGO-HERNANDEZ M M, TOMASINO E. Aroma perception of limonene, linalool and alpha-terpineol combinations in Pinot Gris wine [J]. **Foods**, 2023, 12(12): 2389.
- [33] ARAGON-GARCIA F, RUIZ-RODRIGUEZ A, PALMA M. Changes in the aromatic compounds content in the Muscat wines as a result of the application of ultrasound during pre-fermentative maceration[J]. **Foods**, 2021, 10(7): 1462.
- [34] YIN P, WANG J J, KONG Y S, et al. Dynamic changes of volatile compounds during the Xinyang Maojian green tea manufacturing at an industrial scale[J]. **Foods**, 2022, 11(17): 2682.
- [35] LU H C, CHENG B H, LAN Y B, et al. Modifications in aroma characteristics of 'Merlot' dry red wines aged in American, French and Slovakian oak barrels with different toasting degrees[J]. **Food Science Human Well**, 2024, 13(1): 381-391.
- [36] 林进龙,何春梅,杨书理,等. 不同香型南路水仙茶香气分析[J]. 南方农业学报,2023,54(5):1488-1498.
- [37] WOLD S, SJÖSTRÖM M, ERIKSSON L. PLS-regression: A basic tool of chemometrics[J]. **Chemometr Intell Lab**, 2001, 58(2): 109-130.
- [38] TIAN H, XIONG J, SUN J, et al. Dynamic transformation in flavor during hawthorn wine fermentation: Sensory properties and profiles of nonvolatile and volatile aroma compounds coupled with multivariate analysis [J]. **Food Chem**, 2024, 456: 139982.