

## 菠萝皮渣果酒中产香酵母的分离、筛选和特性分析

谭绮晴, 黄芳, 梁玮庭, 黄能兴, 曾新安, 黄燕燕\*

(佛山大学食品科学与工程学院 广东省食品智能制造重点实验室 广东佛山 528225)

**摘要** 目的:提升菠萝皮渣果酒品质及实现副产物高值化利用。方法:通过平板分离结合形态学鉴定技术对菌株进行分离纯化,采用感官评价与电子鼻检测联用初筛,采用耐受性试验的递进式方法复筛菌株。结果:筛选出 1 株兼具优良环境耐受性与产香特性的 50 号菌株。该菌株在极端环境条件(葡萄糖 350 g/L,SO<sub>2</sub> 300 mg/L,pH 2.0,乙醇 9%)下,仍能保持良好的生长活性。经 ITS 序列分子鉴定确认其为酿酒酵母,命名为酿酒酵母 FOSU-QQT。对比显示,接种 FOSU-QQT 菌株的菠萝皮渣果酒,酯类物质总量较自然发酵组显著提升 27.07%,其中特征性香气组分辛酸乙酯、癸酸乙酯、正己酸乙酯、乙酸异戊酯及月桂酸乙酯含量增幅尤为显著( $P<0.05$ )。结论:研究证实该菌株能有效强化果酒香气轮廓,其研究成果为开发新型产香型果酒发酵剂提供了试验参考,对农产品加工副产物的资源化利用具有指导作用。

**关键词** 菠萝皮渣; 果酒; 产香酵母; 分离和筛选; 香气成分

**文章编号** 1009-7848(2026)01-0338-11 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2026.01.030

菠萝(*Ananas comosus* (L.) Merr.)属凤梨科凤梨属多年生草本植物,全球年产量逾 2 800 万 t<sup>[1]</sup>。菠萝果肉富含果糖、葡萄糖、维生素 B、维生素 C 及有机酸等营养素,其特有的菠萝蛋白酶具有潜在的生物活性,能改善血液循环<sup>[2]</sup>。菠萝成熟果实兼具高糖酸比与独特酯类香气特征,出汁率可在 60%以上,而加工副产物利用率不足 20%,每年约 30%的皮渣(以湿基计)作为废弃物处理<sup>[3]</sup>,造成大量的资源浪费与生态环境压力。

值得注意的是,皮渣组分与果肉具有相近的营养基质(蛋白质 0.8%~1.2%、可溶性糖 12%~15%)<sup>[4]</sup>,其中纤维素(15%~18%)、半纤维素(8%~10%)及残留果胶(5%~7%)为微生物发酵提供了理想碳源<sup>[5]</sup>。现有研究表明,通过酵母代谢可将皮渣中的还原糖(14~16 g/100 g)有效转化为乙醇(理论得率为 8%~9%)<sup>[6]</sup>,同时其高果胶酯酶活性(120~150 U/g)有利于风味前体物质释放<sup>[7]</sup>。目前工业化果酒生产多采用单一商业酵母(如 EC1118、DV10),导致代谢产物谱系趋同(酯类占比大于 65%),难以体现菠萝特有的萜烯类(如芳

樟醇)和呋喃酮类特征香气组分<sup>[8]</sup>。

本研究创新性地构建“皮渣自源菌群-定向筛选”技术路线,对菠萝皮渣发酵液中的菌株进行分离、纯化、筛选、ITS 测序及鉴定,筛选出产香特性明显的酵母菌株,并通过气相色谱-质谱联用(Gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)分析菌株的特征香气物质。为开发具有地理标志特征的专用发酵剂提供理论参考。

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料与试剂

广东省湛江市徐闻县当季菠萝,永旺商业有限公司;黄冰糖,楚雄津之源食品有限公司;无水乙醇,成都金山化学试剂有限公司;3%过氧化氢酶溶液,温州康泰生物科技有限公司;孟加拉红琼脂培养基,北京陆桥技术股份有限公司;酵母浸出粉胨葡萄糖(Yeast extract peptone dextrose, YPD)液体培养基,广东环凯微生物科技有限公司;对照菌株酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)2.137,广东省微生物保藏中心(保藏编号为 GDMCC NO. 2.137)。

#### 1.2 仪器与设备

SW-CJ-2DF-II 洁净工作台,苏州安泰空气技术有限公司;PHM-53L 全自动高压蒸汽灭菌锅,浙江新丰医疗器械有限公司;HFsafe-1500LC(A2)生物安全柜,上海力申科学仪器有限公司;SB25-

收稿日期:2025-02-21

基金项目:广东省重点领域研发计划重点专项项目(2023B0202040002);广东省科技创新战略专项(2022B1212010015)

第一作者:谭绮晴,女,硕士

通信作者:黄燕燕 E-mail: 1085249857@qq.com

12DT 超声波清洗机,宁波新芝生物科技股份有限公司;PTX02L 电子天平,华志(福建)电子科技有限公司;HWS-12 型电热恒温水浴锅,上海一恒科学仪器有限公司;ZDJ-3A 自动电位滴定仪,上海仪电科学仪器股份有限公司;SPX-80B 生化培养箱,上海坤天实验仪器有限公司;Heracles Neo 超快速气相电子鼻,法国 Alpha MOS 公司;Agilent 8890B 气相色谱质谱联用仪,Agilent Technologies Inc。

### 1.3 试验方法

1.3.1 菠萝皮渣预处理 取成熟度一致的菠萝果实,去除冠芽后,使用切片机将果皮切分成 5 mm×5 mm×2 mm 的薄片,采用高压蒸汽灭菌锅对果皮进行杀菌处理(121 ℃,15 min)。先配制质量浓度为 500 g/L 的黄冰糖水,再将 1 000 mL 的黄冰糖水与 1 000 g 皮渣混合,装入灭菌发酵罐于 28 ℃ 静置发酵 7~14 d,每日定时放气平衡罐压。发酵终止后,收集发酵液于-80 ℃超低温冰箱保存备用。

1.3.2 菌株富集分离与形态学鉴定 采用梯度稀释法,取 1 mL 发酵液依次梯度稀释至  $10^{-1}$ ~ $10^{-3}$ ,各取 100  $\mu$ L 均匀涂布于孟加拉红琼脂培养基,28 ℃倒置培养 48 h。挑取典型酵母菌落(直径 2~5 mm,乳白色至淡粉色,边缘整齐)进行三区划线纯化。通过光学显微镜直接观察细胞形态(卵圆形)。

#### 1.3.3 产香酵母的初筛

1.3.3.1 感官评定 将纯化菌株接种于 YPD 液体培养基(体积分数为 10%),28 ℃,180 r/min 振荡培养 48 h。感官评价参照《感官分析 建立感官分析实验室的一般导则》(GB/T 13868—2008),由 10 名经 ISO 8586:2012 培训的评价员采用嗅闻杯法盲测;香气强度:0~5 分(无→强烈);愉悦度(色泽和状态):0~5 分(厌恶→愉悦)。每种样品测试间隔以活性炭净化空气 5 min,清水漱口复位嗅觉。

1.3.3.2 电子鼻分析 采用 Heracles Neo 超快速气相电子鼻测定样品,吸取 15 mL 菌液于 20 mL 顶空进样瓶,50 ℃平衡 10 min;色谱条件具体如下:进样口温度 200 ℃;进样口流量 10.0 mL/min;捕集阱温度 40.0 ℃;初始炉温 50 ℃,以 3 ℃/s 速率升温至 250 ℃,升温时间 21 s,数据采集时间 110 s;数据采集周期 0.01 s<sup>[9-11]</sup>。色谱柱为 MXT-5

(10 m×180  $\mu$ m×0.4  $\mu$ m)和 MXT-1701(10 m×180  $\mu$ m×0.4  $\mu$ m)双极性色谱柱。通过 AroChembase 数据库匹配特征峰(相似度>85%),筛选醇、酯、酸类物质占比高的菌株。

1.3.4 胁迫耐受性复筛 参考张大为等<sup>[12]</sup>的梯度胁迫法进行菌株 pH 值、SO<sub>2</sub>、高糖、乙醇耐受性复筛试验。pH 值耐受试验:不同 YPD 培养基的 pH 值为 2.0,4.0,6.0;SO<sub>2</sub> 耐受试验:不同 YPD 培养基中的 SO<sub>2</sub> 质量浓度为 60,180,300 mg/L;高糖胁迫试验:不同 YPD 培养基中的葡萄糖质量浓度为 150,250,350 g/L;乙醇胁迫试验:不同 YPD 培养基中的乙醇体积分数为 3%,6%,9%。按 10%(体积分数)接种后,于 28 ℃,180 r/min 培养 24 h,测定 OD<sub>600nm</sub> 值,以相应条件下不接种菌液的 YPD 培养基作为空白对照。

1.3.5 分子生物学鉴定 将复筛后的菌株接种于 YPD 液体培养基(体积分数为 10%),28 ℃,180 r/min 培养 2 d,将菌液送到广州艾基生物技术有限公司进行 ITS 测序,使用引物 ITS1 (5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3') 和 ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3') 扩增 ITS 区域。PCR 程序:94 ℃ 5 min;35 次循环(94 ℃ 30 s,55 ℃ 30 s,72 ℃ 1 min);72 ℃ 10 min。测序结果经 BLAST 比对,采用 MEGA 1 构建邻接法(Neighbor-Joining)系统发育树。

1.3.6 菌株生长动力学分析 将复筛菌株接种到 YPD 液体培养基(体积分数为 10%),于 28 ℃,180 r/min 条件下振荡培养,每隔 3 h 测定 OD<sub>600nm</sub> 值,并绘制生长曲线。

1.3.7 挥发性香气成分分析 将菠萝皮渣果酒平均分为 3 组,其中 1 组不接种任何菌种(CK),1 组接种酿酒酵母 2.137,1 组接种筛选出的最优菌株,于 28 ℃下发酵 7~10 d,期间每隔 24 h 放气。用无菌纱布过滤后得到菠萝皮渣果酒。用顶空固相微萃取结合气相色谱串联质谱法,测定发酵液的挥发性成分,准确量取 5 mL 样品到 20 mL 顶空进样瓶中,80 ℃顶空萃取 40 min,将 50/30  $\mu$ m DVB/CAR/PDMS(Supelco)纤维头插入进样口中,进样口温度为 250 ℃,解析 5 min。色谱条件,以 5 ℃/min 升温至 220 ℃(保持 15 min);柱温为 50 ℃,进样方式:不分流;电离方式:EI;离子源温度:220

℃;接口温度:240℃,载气 He。利用 NIST 20 和 Wiley 11 数据库匹配(相似度>80%),再利用峰面积归一化计算其相对含量<sup>[13-15]</sup>。

1.3.8 数据处理及统计分析 所有试验均生物重复 3 次,使用 SPSS IBM 25 软件分析数据, $P<0.05$  表示差异显著,使用 Origin 2021 软件绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 菌株富集分离与形态特征

通过梯度稀释( $10^{-1}$ ~ $10^{-3}$ )结合形态特征筛选(图 1),从发酵菠萝皮渣中,共分离、纯化 71 株纯菌株(保藏编号 1~71),显微镜观察显示菌体呈卵圆形( $3.5\sim 5.2\ \mu\text{m} \times 4.8\sim 7.5\ \mu\text{m}$ );菌落特征为乳白色、光滑湿润、边缘整齐,直径 3 mm,符合酵母菌典型特征。

### 2.2 产香菌株初筛结果

参考李翔等<sup>[16]</sup>的感官品质评价方法对 71 株菌株的菌液进行评价,结果显示 71 株菌株的香气综合评分呈正态分布(图 2),筛选阈值为综合评分大于 6.5 分,最终 12 株达标(分别为 5,6,7,20,26,32,36,39,47,50,60,61 号菌株),其中 50 号菌株的总分最高(图 3),为 7.3 分。果酒香气主要是由酯类、醇类、萜烯类、醛酮类与酸类物质协同作用形成<sup>[17-20]</sup>,可发酵产生浓郁的水果香、花香和酒香<sup>[21-23]</sup>。如图 4 所示,50 号菌株的酯类、醇类、酸类等呈味物质占比达 70%,显著高于其它菌株( $P<0.05$ ),结合香气综合评分结果,选取 5,7,32,36,47,50 号菌株进行复筛。

### 2.3 产香菌株复筛结果

2.3.1 pH 值耐受性 菠萝果酒发酵环境 pH 值范围为 3.6~4.5,极端 pH 值环境会抑制酵母活性<sup>[24]</sup>。如图 5 所示,pH 值为 6 时,5 号菌株的生长情况( $\text{OD}_{600\text{nm}} = 1.783$ )优于其余 5 株菌株,且 6 株菌株的生长情况总体良好。当 pH 4 时,50 号菌株( $\text{OD}_{600\text{nm}} = 1.861$ )显著( $P<0.05$ )高于其它菌株( $\text{OD}_{600\text{nm}}$  值在 1.555~1.755 范围内)。当 pH 2 时,50 号菌株仍保持较高活性( $\text{OD}_{600\text{nm}} = 1.635$ )。总的来说,5 和 50 号菌株耐酸能力突出。

2.3.2  $\text{SO}_2$  耐受性 在果酒的生产中,往往会添加一定  $\text{SO}_2$  从而起到护色以及抑制杂菌生长的作用,而同时  $\text{SO}_2$  在抑制杂菌生长的过程中,也会对

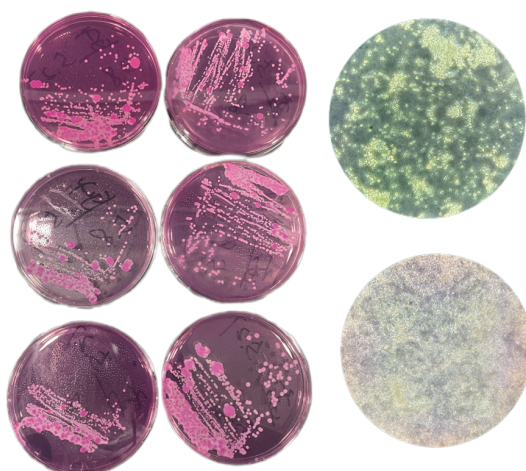


图 1 孟加拉红平板划线分离纯化与显微镜形态特征图

Fig.1 Bengal red flat plate line separation purification and microscopic morphological feature diagram

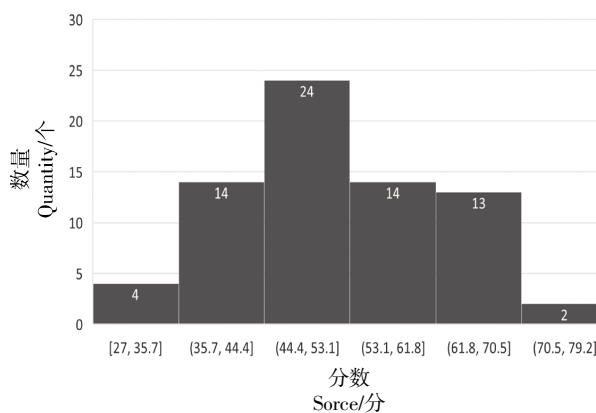
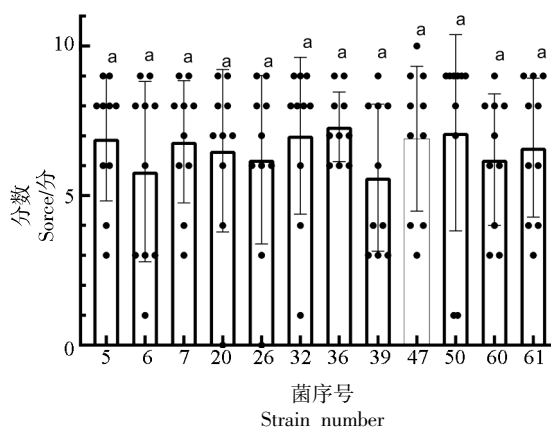


图 2 71 株菌株的香气综合评分正态分布图

Fig.2 Normal distribution chart of overall aroma scores for 71 strains



注:相同小写字母代表组间无显著性差异( $P>0.05$ )。

图 3 12 株菌株感官评分箱线图

Fig.3 Boxplot of sensory scores for 12 bacterial strains

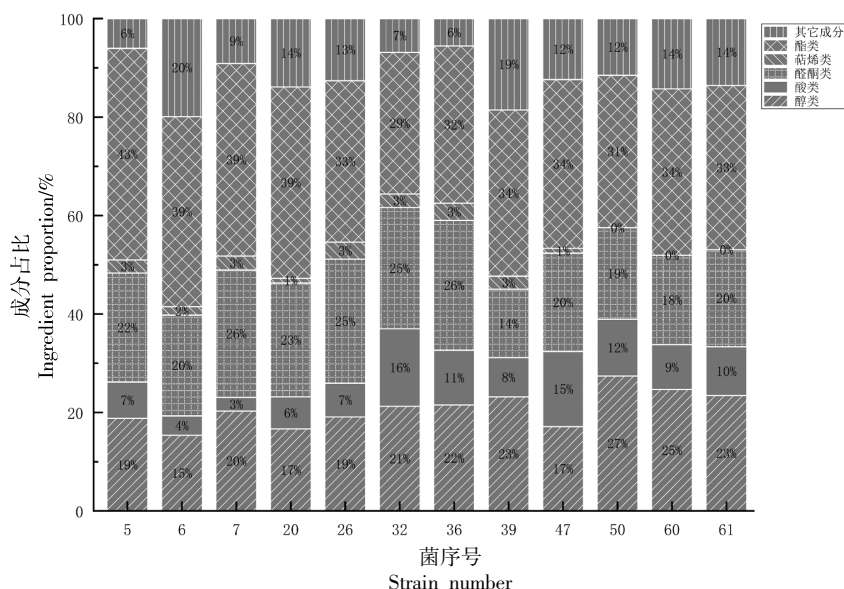


图 4 12 株菌株超快速电子鼻产香成份占比堆叠图

Fig.4 Stack chart of the proportion of ultra-fast electronic nose fragrance producing ingredients of 12 strains

酵母的生长造成一定的负面影响<sup>[25-26]</sup>。6 株菌株的 SO<sub>2</sub> 耐受性如图 6 所示，在质量浓度为 60 mg/L 时,50 号菌株(OD<sub>600nm</sub> = 1.688)最高。在质量浓度为 180 mg/L 时,菌株 5,7,32,50 号的生长状况优于 36,47 号菌株。而在质量浓度为 300 mg/L 时,

50 号菌株仍维持最高(OD<sub>600nm</sub> = 1.547),显著( $P < 0.05$ )优于其它菌株(OD<sub>600nm</sub> 值在 1.312~1.518 范围内)。综合分析,50 号菌株对高浓度 SO<sub>2</sub> 耐受性强。

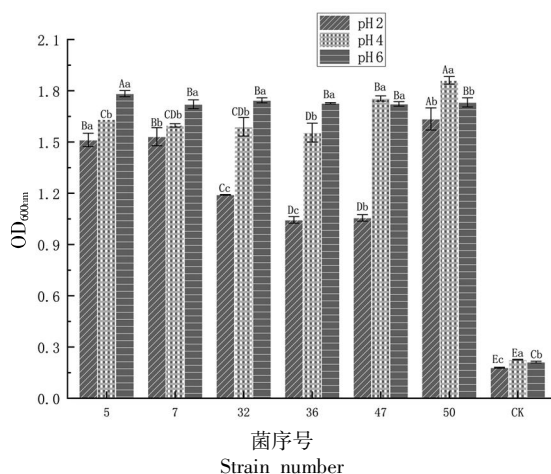


图 5 6 株菌株的 pH 值耐受性

Fig.5 The pH value tolerance of six strains

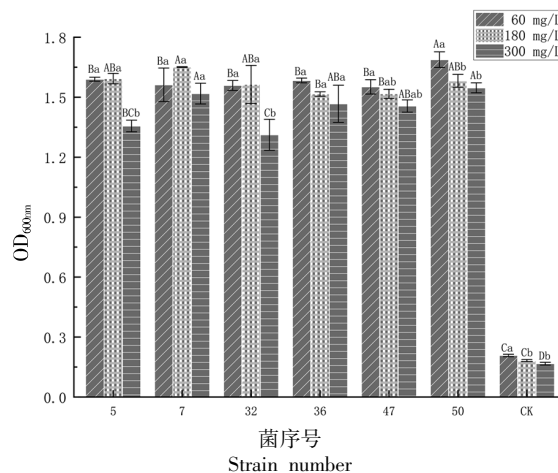


图 6 6 株菌株的 SO<sub>2</sub> 耐受性

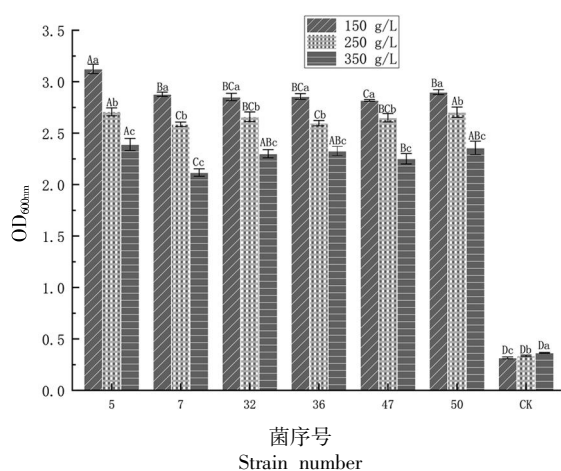
Fig.6 The SO<sub>2</sub> tolerance of six strains

2.3.3 高糖耐受性 酵母菌发酵的过程中，需要源源不断地从发酵底物中消耗糖分，经过糖酵解 (EMP) 途径,将 1 分子的葡萄糖转化为 2 分子的

乙醇,适当的糖分浓度有利于酵母的生长繁殖,增大糖酵解的速率，而过高的糖分浓度将会明显抑制酵母的生长繁殖，同时有研究指出酵母菌的高

糖耐受性与乙醇耐受性具有一定的联系<sup>[27-28]</sup>。6株菌株的高糖耐受性见图7,6株菌株的生长状况均随着葡萄糖的浓度上升而受到抑制,其中50号菌株在250 mg/L和350 mg/L的条件下均展现出较好的生长状况( $OD_{600nm}$ 为2.703和2.357),其次,5号菌株( $OD_{600nm}$ 为2.707和2.390)受到高糖的抑制作用略大于50号菌株,其表现显著( $P<0.05$ )优于其它4株菌株。综合来看,5和50号菌株高糖耐受性强。

2.3.4 乙醇耐受性 酵母菌在发酵过程中,会不



注:不同大写字母代表不同组之间具有显著性差异( $P<0.05$ ),不同小写字母代表组内不同处理具有显著性差异( $P<0.05$ )。

图7 6株菌株的高糖耐受性

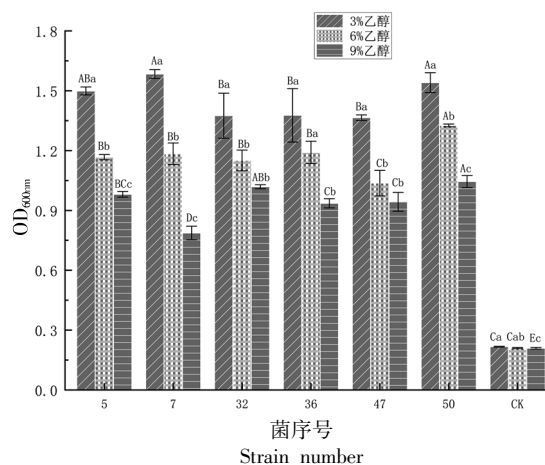
Fig.7 High sugar tolerance of six strains

综合 pH 值、 $SO_2$ 、高糖以及乙醇耐受性的结果,50号菌株在 pH 2, $SO_2$  质量浓度为 300 mg/L,糖质量浓度为 350 mg/L,乙醇浓度为 9%的条件下,生长状况与剩余 5 株菌株相比,表现出较好的耐受性,因此确定 50 号菌株为最优菌株参与后续的试验。

## 2.4 分子生物学鉴定结果

根据广州艾基生物技术有限公司对 50 号菌株的 ITS 测序结果,经过 BLAST 对比,利用 MEGA11 软件进行邻接法系统发育树绘制,如图 9 所示。结果表明,50 号菌株与酿酒酵母 NRRL Y-12362 (*Saccharomyces cerevisiae* NRRL Y-12362)聚为一支,相似度高达 99%,揭示其为酿酒酵母,并将其命名为酿酒酵母 FOSU-QQT(*Sac-*

断将环境体系中的碳源通过糖酵解的方式转化为乙醇。因此,随着发酵时间的延长,体系中的乙醇浓度会不断上升,而同时乙醇也是酵母细胞生长的抑制因子<sup>[29]</sup>,过高的乙醇浓度会抑制酵母的生长<sup>[30]</sup>。6株菌株对乙醇的耐受性见图8,可以明显看出乙醇浓度的上升对酵母菌生长的抑制效果显著( $P<0.05$ ),菌株 5,7,50 对较高浓度的乙醇具有较好的耐受性,而 7 号菌株对乙醇浓度的变化较 5 和 50 号两株菌株敏感,因此,认为 5 和 50 号两株菌株的乙醇耐受性优于其余 4 株菌株。



注:不同大写字母代表不同组之间具有显著性差异( $P<0.05$ ),不同小写字母代表组内不同处理具有显著性差异( $P<0.05$ )。

图8 6株菌株的乙醇耐受性

Fig.8 Ethanol tolerance of six strains

*charomyces cerevisiae* FOSU-QQT)。

## 2.5 菌株生长曲线

酿酒酵母 FOSU-QQT 菌株的生长曲线如图 10 所示,0~3 h 为延滞期,在 3 h 达到对数生长期,在 21 h 后进入稳定期,48 h 内无显著衰亡期,表明酿酒酵母 FOSU-QQT 环境适应力强、发酵性能稳定。

## 2.6 菌株发酵菠萝果酒香气成分

当前我国的菠萝果酒制品主要以调配为主,真正利用菠萝充分发酵制得的产品较少,果酒中的菠萝香气往往来自于添加剂<sup>[32]</sup>。发酵菠萝果酒的最重要内驱力便是产香酵母菌,产香酵母菌的特性将直接影响到菠萝果酒的品质<sup>[33]</sup>。由表 1 可知,自然发酵 CK 组、酿酒酵母 2.137 组和酿酒酵

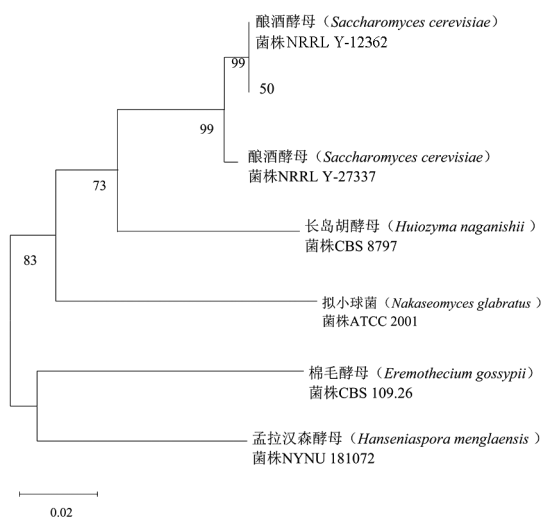


图 9 基于 ITS 测序构建的酿酒酵母 FOSU-QQT 菌株系统发育树

Fig.9 Phylogenetic tree of *Saccharomyces cerevisiae* FOSU-QQT strains constructed based on ITS sequencing

母 FOSU-QQT 组发酵果酒中共检测出 35 种挥发性成分,其中,酯类 16 种,醇类 6 种,酸类 4 种,其它成分 9 种;果酒的主要产香成分是酯类,如乙酸乙酯、辛酸乙酯、己酸乙酯、癸酸乙酯等<sup>[34-35]</sup>,果酒中大部分酯类、醇类、酸类和醛酮类等香气成分

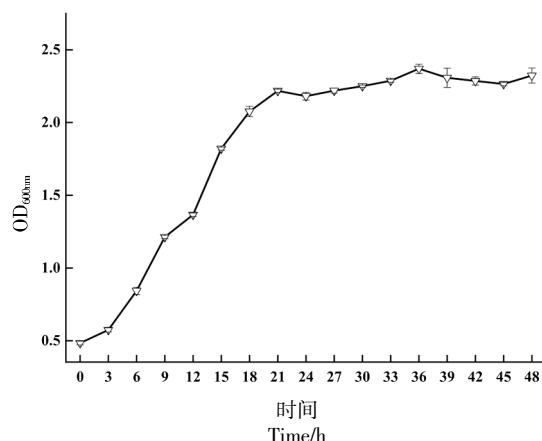


图 10 最优菌株生长曲线

Fig.10 Growth curve of the optimal strain

通过酵母发酵产生的,这些香气成分不断在发酵过程中富集,互相协调作用,从而提高果酒的独特风味<sup>[36-39]</sup>。酿酒酵母 FOSU-QQT 和酿酒酵母 2.137 分别发酵的果酒中含量最高的香气成分为酯类(图 11),分别占比为 68.07%和 75.7%,显著高于自然发酵果酒 CK 组(41%)( $P < 0.05$ ),经比较发现酿酒酵母 FOSU-QQT 和商业菌株酿酒酵母 2.137 差异不显著,证实酿酒酵母 FOSU-QQT 对酿造菠萝皮渣果酒有产香、增香潜力。

表 1 菠萝皮渣果酒香气成分的 GC-MS 分析结果

Table 1 GC-MS analysis results of aroma components in pineapple peel residue wine

编号	保留时间 /min	化合物名称	分子式	香气成分	CK 香气成分占比/%	酿酒酵母 2.137 香气成分占比/%	酿酒酵母 FOSU-QQT 香气成分占比/%
酯类							
1	3.1246	乙酸乙酯	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	清灵且微带果香	—	1.50 <sup>a</sup>	—
2	3.1546	乙酸丙酯	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	苹果或梨的香气	3.37 <sup>a</sup>	—	—
3	3.1555	丙酮酸丙酯	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	果香和甜味	3.08 <sup>a</sup>	—	—
4	4.7823	硫酸二丁酯、硫酸正丁酯、二丁基硫酸酯	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O <sub>4</sub> S	辛辣味	—	—	1.00 <sup>a</sup>
5	8.9197	乙酸异戊酯	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	香蕉气味	—	1.37 <sup>b</sup>	2.09 <sup>a</sup>
6	13.1407	正己酸乙酯	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	强烈的果香和酒香,并带有苹果、菠萝、香蕉样的香气	—	—	1.37 <sup>a</sup>
7	13.1432	己酸乙酯	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	青苹果气味	—	1.29 <sup>a</sup>	—
8	19.4678	辛酸乙酯	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	白兰地酒香味	1.29 <sup>c</sup>	16.07 <sup>b</sup>	20.67 <sup>a</sup>
9	21.1845	乙酸苯乙酯	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	玫瑰花香、蜂蜜样香气、可 可和威士忌样的香韵	30.65 <sup>a</sup>	0.17 <sup>b</sup>	0.21 <sup>b</sup>

(续表 1)

编号	保留时间 /min	化合物名称	分子式	香气成分	CK 香 气成分 占比/%	酿酒酵母 2.137 香 气成分占 比/%	酿酒酵母 FOSU-QQT 香气成分 占比/%
10	24.9462	癸酸乙酯	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub>	椰子型香味	0.90 <sup>b</sup>	24.19 <sup>a</sup>	27.37 <sup>a</sup>
11	29.7452	4-溴苯甲酸、2,3-二氯苯酯	C <sub>15</sub> H <sub>7</sub> BrCl <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	—	—	—	1.03 <sup>a</sup>
12	29.7806	月桂酸乙酯	C <sub>23</sub> H <sub>50</sub> O <sub>2</sub>	甜香、花果香、老姆香和奶 油香	1.85 <sup>c</sup>	19.17 <sup>a</sup>	9.00 <sup>b</sup>
13	34.0770	十四酸乙酯、肉豆蔻酸乙酯	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	甜蜡状、鸢尾或香草的气 味	—	—	1.55 <sup>a</sup>
14	34.0940	十四酸乙酯	C <sub>15</sub> H <sub>20</sub> N <sub>4</sub>	甜蜡状、鸢尾或香草香味	0.05 <sup>b</sup>	4.44 <sup>a</sup>	—
15	38.0429	8-甲基非酸乙酯	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub>	蜡香,有鸢尾的回味香	—	—	1.72 <sup>a</sup>
16	38.0760	棕榈酸乙酯	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	微弱蜡香、果爵和奶油香 气	0.06 <sup>c</sup>	7.48 <sup>a</sup>	2.07 <sup>b</sup>
	总计				41 <sup>c</sup>	75.7 <sup>a</sup>	68.07 <sup>b</sup>
	醇类						
17	4.7137	异戊醇	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	—	8.52 <sup>a</sup>	3.52 <sup>b</sup>	3.41 <sup>b</sup>
18	16.4735	4-甲基己-2-醇	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> O	水果或花香的香调	0.58 <sup>a</sup>	—	—
19	16.4758	2-壬醇	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub> O	花香或果香	0.96 <sup>a</sup>	—	—
20	16.8853	β-苯乙醇	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O	玫瑰香气	6.83 <sup>a</sup>	0.74 <sup>b</sup>	—
21	16.8888	苏合香醇	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O	香水和香氛味	2.45 <sup>a</sup>	—	—
22	27.7889	2,2-二甲基丙醇	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	甜腻的气味,类似于某些 酒精	0.50 <sup>a</sup>	—	—
	总计				19.6 <sup>a</sup>	4.26 <sup>b</sup>	3.41 <sup>b</sup>
	酸类						
23	18.8217	正戊酸	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	浓烈的、酸臭的,并且有点 像腐烂的水果或奶酪的味 道	0.97 <sup>a</sup>	—	—
24	19.0588	辛酸	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	—	1.11 <sup>a</sup>	0.56 <sup>b</sup>	0.82 <sup>b</sup>
25	24.3780	癸酸	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	难闻	1.58 <sup>a</sup>	0.60 <sup>b</sup>	—
26	29.0124	月桂酸	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> N <sub>2</sub>	月桂油的气味	1.90 <sup>a</sup>	0.09 <sup>b</sup>	0.03 <sup>b</sup>
	总计				7.01 <sup>a</sup>	1.24 <sup>b</sup>	0.85 <sup>b</sup>
	其它类						
27	4.2971	3-羟基-2-丁酮	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	奶油或黄油的香味	1.46 <sup>a</sup>	—	—
28	21.8186	十一醛	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub> O	香草或肉桂的香气	0.61 <sup>a</sup>	—	—
29	2.5141	甲醚	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	轻微的醚香味	—	18.80 <sup>b</sup>	27.67 <sup>a</sup>
30	2.5359	二甲醚	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	具有轻微的醚类气味	26.76 <sup>a</sup>	—	—
31	4.8045	2-丙基氮丙啶	C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> N	氮或有机溶剂的味道	2.13 <sup>a</sup>	—	—
32	21.8150	1-甲氧基壬烷	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> O	醇或香料的气味	0.71 <sup>a</sup>	—	—
33	24.1939	甲基-L-吡喃阿拉伯糖苷	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub>	甜	1.10 <sup>a</sup>	—	—
34	24.6800	正戊基环己烷	C <sub>11</sub> H <sub>18</sub> O <sub>4</sub>	石油或溶剂的气味,具有 一定的芳香性	0.41 <sup>a</sup>	—	—
35	24.6809	2,3-二甲基吡咯	C <sub>6</sub> H <sub>9</sub> N	坚果香味和轻微的烤香味	0.18 <sup>a</sup>	—	—
	总计				32.39 <sup>a</sup>	18.8 <sup>b</sup>	27.67 <sup>a</sup>

注:不同小写字母代表组内不同处理间具有显著性差异( $P < 0.05$ );—表示未检出。

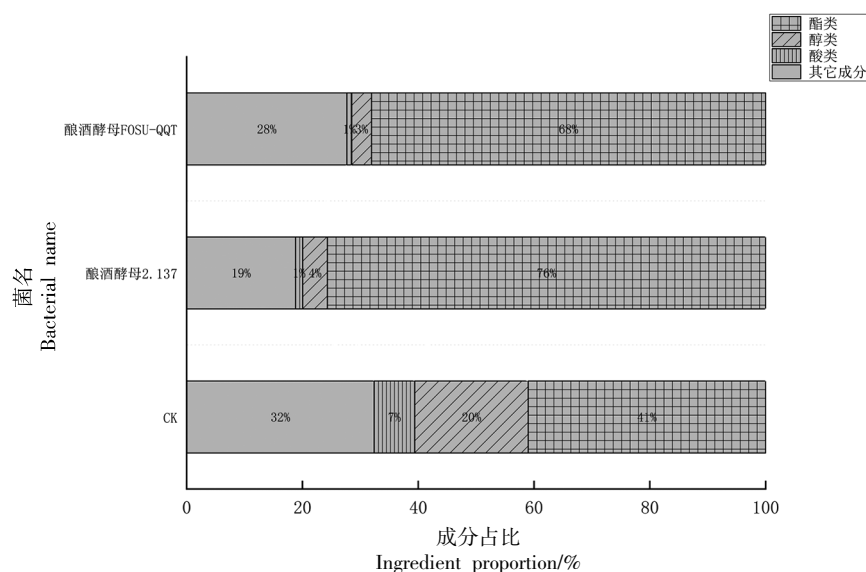


图 11 菠萝皮渣果酒香气成分占比堆叠图

Fig.11 Stacked chart of aroma component proportions in pineapple peel residue wine

### 3 结论

本研究从发酵菠萝皮渣中分离得到 1 株产香酿酒酵母 FOSU-QQT, 其对极端环境 (pH 2, SO<sub>2</sub> 300 mg/L, 葡萄糖 350 mg/L, 乙醇 9%) 耐受性强, 且发酵周期短 (21 h 进入稳定期)。酿酒酵母 FOSU-QQT 发酵菠萝皮渣果酒酯类物质占比达 68.07%, 关键香气成分 (乙酸乙酯、辛酸乙酯等) 与商业菌株 2.137 相当, 显著 ( $P < 0.05$ ) 优于自然发酵组。该菌株为菠萝皮渣果酒工业化生产提供了优良菌种资源, 同时为果酒风味调控及发酵食品开发提供参考。

### 参 考 文 献

- [1] 方伟. 广东省菠萝产业现状及发展建议[J]. 中国果树, 2023(6): 123-126.  
FANG W. Present situation and development suggestion of pineapple industry in Guangdong province[J]. China Fruits, 2023(6): 123-126.
- [2] 桂雪梅, 张乐, 焦士蓉. 混菌发酵低醇菠萝果酒的研究[J]. 食品科技, 2023, 48(8): 65-73.  
GUI X M, ZHANG L, JIAO S R, et al. Study of mixed bacteria fermentation of low-alcohol pineapple wine[J]. Food Science and Technology, 2023, 48(8): 65-73.
- [3] 郑小善, 伍强, 曹洋, 等. 橘子菠萝复合果酒发酵工艺研究[J]. 山东化工, 2020, 49(17): 17-20.  
ZHENG X S, WU Q, CAO Y, et al. Study on fermentation technology of orange and pineapple compound fruit wine[J]. Shandong Chemical Industry, 2020, 49(17): 17-20.
- [4] 朱霞建, 谈安群, 范佳莹, 等. 甜橙果肉渣发酵酒工艺条件优化及其品质分析[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(21): 207-214.  
ZHU X J, TAN A Q, FAN J Y, et al. Optimization of process conditions and quality analysis of fermented wine with sweet orange pulp residue[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(21): 207-214.
- [5] 张陈云, 刘金福, 王娜, 等. 冬枣果酒酿造酵母的分离筛选研究[J]. 中国酿造, 2010(8): 43-47.  
ZHANG C Y, LIU J F, WANG N, et al. Isolation and screening of *Saccharomyces cerevisiae* from jujube wine[J]. China Brewing, 2010(8): 43-47.
- [6] WANG F, ZHAO P T, DU G R, et al. Advancements and challenges for brewing aroma-enhancement fruit wines: Microbial metabolizing and brewing techniques [J]. Food Chemistry, 2024, 456: 139981.
- [7] 匡钰. 优良菠萝果酒酵母的选育及其在菠萝果醋发酵中的应用研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2012.  
KUANG Y. Study on breeding of superior yeast and which applies in pineapple vinegar fermentation[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2012.

- [8] 何彩梅, 郭继毅. 柑橘果酒香气物质研究[J]. 安徽农业科学, 2024, 52(15): 18-21.  
HE C M, GUO J Y. Research of the aroma substances in citrus wine[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2024, 52(15): 18-21.
- [9] 李响哲, 陈瑞, 蒋成, 等. 基于HS-SPME-GC-MS和快速气相电子鼻技术对不同产地石榴酒挥发性成分的研究[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(16): 159-169.  
LI Y Z, CHEN R, JIANG C, et al. Study on volatile components of pomegranate wines from different regions based on HS-SPME-GC-MS and rapid gas-phase electronic nose[J]. Food Research and Development, 2024, 45(16): 159-169.
- [10] 王文航, 崔梦君, 蔡文超, 等. 基于电子鼻和电子舌技术的红枣酒发酵过程中品质变化分析[J]. 中国酿造, 2024, 43(11): 125-130.  
WANG W H, CUI M J, CAI W C, et al. Quality changes of jujube wine during fermentation process based on electronic nose and electronic tongue technology[J]. China Brewing, 2024, 43(11): 125-130.
- [11] 邱梦宇, 李昊聪, 聂小宝, 等. 基于电子鼻和电子舌的洞庭(山)碧螺春茶冲泡条件优化[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(21): 174-182.  
QIU M Y, LI H C, NIE X B, et al. Optimization of brewing conditions for Dongting (mountain) Biluochun tea based on electronic nose and electronic tongue[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(21): 174-182.
- [12] 张大为, 张洁, 洪磊东, 等. 发酵梨酒中产香酵母的分离、鉴定及生物学特性的研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(2): 179-181, 185.  
ZHANG D W, ZHANG J, HONG L D, et al. Study on isolation and identification of a producing aroma yeast and its biology characteristics[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(2): 179-181, 185.
- [13] 王子燕, 王博诗, 王一帆, 等. 基于电子鼻技术和GC-MS对不同产地乌药的鉴别和挥发油成分分析[J]. 中南药学, 2024, 22(12): 3181-3186.  
WANG Z Y, WANG B S, WANG Y F, et al. Identification of volatile oil composition of Wuyao from different origins based on electronic nose technology and GC-MS[J]. Central South Pharmacy, 2024, 22(12): 3181-3186.
- [14] 史亚兴, 董会, 徐丽, 等. 基于电子鼻和GC-IMS技术分析不同类型鲜食玉米的风味差异[J]. 中国农业科技导报, 2024, 26(11): 143-156.  
SHI Y X, DONG H, XU L, et al. Flavor differences of different types of fresh corn based on electronic nose and GC-IMS technology[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2024, 26(11): 143-156.
- [15] 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.  
ZHOU Y, HAO F J, CHEN R, et al. Effect of different commercial yeasts on aroma components of strawberry wine based on headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Research and Development, 2024, 45(17): 168-177.
- [16] 李翔, 鲁素君, 唐纪华, 等. 基于主成分分析和感官鉴定对不同樱桃番茄品种的综合评价[J]. 中国瓜菜, 2025, 38(1): 72-80.  
LI X, LU S J, TANG J H, et al. Comprehensive evaluation of different cherry tomato cultivars based on principal component analysis and sensory evaluation[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2025, 38(1): 72-80.
- [17] 赵燕, 邱鹏程, 吴凌波, 等. 不同番茄品种感官品质评价[J]. 北方农业学报, 2022, 50(5): 87-95.  
ZHAO Y, QIU P C, WU L B, et al. Evaluation of sensory qualities of different tomato varieties[J]. Journal of Northern Agriculture, 2022, 50(5): 87-95.
- [18] 许艳艳, 彭云, 李顺宇, 等. 宜宾不同茶树品种红茶香气成分HS-SPME-GC-MS分析研究[J]. 中国茶叶, 2024, 46(6): 46-53.  
XU Y Y, PENG Y, LI S Y, et al. HS-SPME-GC-MS analysis of aroma components of black tea from different tea varieties in Yibin[J]. China Tea, 2024, 46(6): 46-53.
- [19] 吴潜华, 庞月兰, 郭春雨, 等. 灵山县桂青群体种红茶理化及香气成分分析[J]. 食品安全导刊, 2022(22): 81-86.  
WU Q H, PANG Y L, GUO C Y, et al. Physicochemical and aroma components analysis of Guiqing black tea in Lingshan[J]. China Food Safety Magazine, 2022(22): 81-86.
- [20] 王喻, 姚昕, 徐嘉俊, 等. 玫瑰茄石榴复合果酒发

- 酵工艺优化及挥发性香气成分分析[J]. 中国酿造, 2024, 43(10): 170-177.
- WANG Y, YAO X, XU J J, et al. Optimization of fermentation process and analysis of volatile aroma components of roselle-pomegranate compound fruit wine[J]. China Brewing, 2024, 43(10): 170-177.
- [21] 黄如挺. 复合发酵杨梅果酒的工艺优化及香气成分分析[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2024.
- HUANG R T. Process optimization and aroma analysis of compound fermentation *Myrica rubra* fruit wine [D]. Hangzhou: Zhejiang A & F University, 2024.
- [22] 赵海霞, 孟庆月. 不同发酵时间李子果酒的糖度与pH及其酒糟发酵后的营养变化[J]. 贵州农业科学, 2020, 48(1): 131-133.
- ZHAO H X, MENG Q Y, et al. Sugar degree and pH of *Prunus salicina* fruit wine under different fermentation time and nutritional change of its distillers' grains[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2020, 48(1): 131-133.
- [23] 潘嫣丽, 黄夏, 杨凤敏, 等. 香蕉菠萝复合果酒双酵母发酵工艺的研究[J]. 中国酿造, 2012, 31(8): 178-183.
- PAN Y L, HUANG X, YANG F M, et al. Study of fermentation process in bi-yeast banana-pineapple mixed wine[J]. China Brewing, 2012, 31(8): 178-183.
- [24] 李彩霞, 屈雅宁, 张静, 等. 沙枣红提复合果酒发酵工艺优化[J]. 河西学院学报, 2022, 38(2): 69-76.
- LI C X, QU Y N, ZHANG J, et al. Optimization of fermentation process of *Elaeagnus angustifolia* and red grape compound fruit wine[J]. Journal of Hexi University, 2022, 38(2): 69-76.
- [25] 杜妹玲, 张秀玲, 范丽莉, 等. 蓝靛果酒带渣发酵工艺的优化及其香气分析[J]. 食品工业科技, 2020, 41(5): 136-144, 150.
- DU M L, ZHANG X L, FAN L L, et al. Optimization of the fermentation process of *Lonicera caerulea* wine with lees and its aroma analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(5): 136-144, 150.
- [26] 谭雯文, 张齐军, 钟梅清, 等. 杨桃番木瓜复合果酒的工艺研究[J]. 现代食品, 2018(21): 187-191.
- TAN W W, ZHANG Q J, ZHONG M Q, et al. Study on the technology of carambola-papaya compound fruit wine[J]. Modern Food, 2018(21): 187-191.
- [27] 王树庆, 李保国, 范维江, 等. 菠菜提取物去除葡萄酒中亚硫酸盐的研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(3): 87-91.
- WANG S Q, LI B G, FAN W J, et al. Study on removal of sulfite from wine by spinach extract[J]. Food Research and Development, 2021, 42(3): 87-91.
- [28] 薄慧杰, 张爱华, 潘勇, 等. 果酒中二氧化硫、非酚类和酚类物质抗氧化能力的研究[J]. 食品工程, 2019(2): 20-26.
- BO H J, ZHANG A H, PAN Y, et al. Contributions of sulfur dioxide, non-phenolics and phenolicsto the antioxidant capacity of fruit wines[J]. Food Science and Engineering, 2019(2): 20-26.
- [29] 周文亚, 杨金仙, 梁树英, 等. 酒精发酵温度对不同酿酒酵母菌株甘油产量的影响研究[J]. 食品与发酵科技, 2022, 58(1): 15-22.
- ZHOU W Y, YANG J X, LIANG S Y, et al. Study on the effect of alcohol fermentation temperature on glycerol yield of different *Saccharomyces cerevisiae* strains[J]. Food and Fermentation Sciences & Technology, 2022, 58(1): 15-22.
- [30] GRÜNING N M, RALSER M. Glycolysis: How a 300yr long research journey that started with the desire to improve alcoholic beverages kept revolutionizing biochemistry[J]. Current Opinion in Systems Biology, 2021, 28: 100380.
- [31] ALEXANDRE H, ANSANAY-GALEOTE V, DE-QUIN S, et al. Global gene expression during short-term ethanol stress in *Saccharomyces cerevisiae* [J]. FEBS Letters, 2001, 498(1): 98-103.
- [32] 林治宇. 虾塘酵母菌优势菌株的分离筛选及应用研究[D]. 海南: 海南大学, 2015.
- LIN Z Y. Study in screening and application of yeast in shrimp pond [D]. Hainan: Hainan University, 2015.
- [33] 赵书田, 丁波, 熊灵, 等. 产香酵母的筛选及桑葚酒发酵特性分析[J]. 食品科技, 2023, 48(12): 9-15.
- ZHAO S T, DING B, XIONG L, et al. Screening of fragrant yeast and analysis of fermentation characteristics of mulberry wine[J]. Food Science and Technology, 2023, 48(12): 9-15.
- [34] PARAPOULI M, FRAGKOS-LIVANIOS L, SAMIOTAKI M, et al. Comparative proteomic analysis of

- alcoholic fermentation employing a new environmental strain of *Saccharomyces cerevisiae*[J]. *Process Biochemistry*, 2010, 45(7): 1094–1102.
- [35] ROJO M C, TALIA P M, LERENA M C, et al. Evaluation of different nitrogen sources on growth and fermentation performance for enhancing ethanol production by wine yeasts [J]. *Heliyon*, 2023, 9(12): e22608.
- [36] 曹恺欣. 产香酵母的分离筛选及其对发酵啤酒香气特性影响的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2022.
- CAO K X. Isolation and screening of aroma - producing yeast and study on aroma characteristics of fermented beer[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2022.
- [37] 姜永超, 李柳基, 袁源, 等. 不同酿酒酵母对菠萝果汁发酵特性的比较[J]. *食品科技*, 2018, 43(11): 90–97.
- JANG Y C, LI L J, YUAN Y, et al. Fermentation characteristics of different *Saccharomyces cerevisiae* in pineapple juice[J]. *Food Science and Technology*, 2018, 43(11): 90–97.
- [38] 刘宜睿, 魏雯丽, 苏瑶, 等. 桑葚酒用产香酵母的选育及特性分析[J]. *食品科技*, 2022, 47(12): 1–7.
- LIU Y R, WEI W L, SU Y, et al. Breeding and characteristic analysis of aroma-producing yeast for mulberry wine [J]. *Food Science and Technology*, 2022, 47(12): 1–7.
- [39] 汪娣, 曾雪莹, 胡玉清, 等. 野樱莓果酒酿造工艺优化及抗氧化活性分析[J]. *食品工业*, 2023, 44(6): 26–30.
- WANG D, ZENG X Y, HU Y Q, et al. Optimization of brewing technology and antioxidant activity of wild cherry berry wine[J]. *The Food Industry*, 2023, 44(6): 26–30.

### Isolation, Screening and Characterization Analysis of Aromatic Yeast from Pineapple Peel Residue Wine

TAN Qiqing, HUANG Fang, LIANG Weiting, HUANG Nengxing, ZENG Xinan, HUANG Yanyan\*  
(School of Food Science and Engineering, Foshan University, Guangdong Key Laboratory of Intelligent Food Manufacturing, Foshan 528225, Guangdong)

**Abstract** This study aimed to enhance the quality of pineapple pomace wine and achieve high-value utilization of agricultural byproducts. Through plate separation combined with morphological identification for strain isolation and purification, a stepwise screening strategy integrating sensory evaluation with electronic nose analysis for preliminary screening and tolerance assays for secondary screening was implemented. A superior strain (No.50) with both exceptional environmental tolerance and aroma-producing properties was successfully isolated. This strain exhibited robust growth under extreme conditions (glucose 350 g/L, SO<sub>2</sub> 300 mg/L, pH 2.0, ethanol 9%). Molecular identification via ITS sequencing confirmed it as *Saccharomyces cerevisiae*, designated as *Saccharomyces cerevisiae* FOSU-QQT. Comparative fermentation experiments demonstrated that pineapple pomace wine inoculated with FOSU-QQT showed a 27.07% increase in total ester content compared to natural fermentation, with significant enrichment in characteristic aroma compounds including ethyl octanoate, ethyl decanoate, ethyl hexanoate, isoamyl acetate, and ethyl laurate ( $P<0.05$ ). The study verifies that this strain effectively enhances the aromatic profile of fruit wines, providing a theoretical foundation for developing novel aroma-enhancing fermentation agents. These findings offer practical implications for the resource utilization of agricultural processing byproducts.

**Keywords** pineapple peel residue; fruit wine; fragrant yeast; isolation and screening; aroma components