DOI:10.12441/spyswjs.20250320001 [文章编号] 1673-1689(2025)08-0079-08

自然发酵刺梨果渣中酵母菌的筛选及其特性研究

李 勇 袁 芳 付 余 彭 罗

(贵阳学院食品科学与工程学院,贵州 贵阳 550005)

摘要:【目的】为开发优质刺梨(*Rosa roxburghii*,*R. roxburghii*)发酵产品,筛选适于刺梨发酵的酵母菌株。**【方法】**以自然发酵刺梨果渣为材料,通过TTC显色初筛和发酵能力复筛,SO_2、乙醇、低pH和葡萄糖耐受性试验,以及形态学和分子生物学方法对菌株进行鉴定。**【结果】**最终获得3株性能突出的菌株(B17、B19、B29),3株菌可耐受250 mg/L的SO_2、质量分数60%的葡萄糖、体积分数8%的乙醇及pH 3.5的环境。经鉴定,B17、B29为库德里亚毕赤酵母(*Pichia kudriavzevii*),B19为马克斯克鲁维酵母(*Kluyveromyces marxianus*),产酯量分别为4.11 、4.31、3.93 g/L。**【结论】**筛选出的菌株具备工业化生产刺梨发酵制品的潜力,尤其适用于开发低乙醇、高风味的果酒产品。

关键词:刺梨果渣;酵母菌;耐受性;产酯能力

Screening and Characterization of Yeast Strains from Naturally Fermented *Rosa roxburghii* Pomace

LI Yong YUAN Fang FU Yu PENG Luo

(School of Food Science and Engineering, Guiyang University, Guiyang 550005, China)

Abstract: [**Objective**] This study aimed to develop high-quality fermented *Rosa roxburghii* (*R. roxburghii*) products by screening yeast strains suitable for *R. roxburghii* fermentation. [**Method**] The naturally fermented *R. roxburghi* pomace was used as the material for preliminary screening through the TTC colorimetric method and secondary screening based on fermentation capacity. The tolerance of strains to SO_2, ethanol, low pH, and glucose was examined. The strains were identified *via* morphological characterization and molecular biological techniques. [**Result**] Three high-performing strains (B17, B19, and B29) were obtained. These strains exhibited tolerance to 250 mg/L SO_2, mass fraction 60% glucose, volume fraction 8% ethanol, and pH 3.5 environment. B17 and B29 were identified as *Pichia kudriavzevii*, while B19 was characterized as *Kluyveromyces marxianus*, showing ester production of 4.11, 4.31, and 3.93 g/L, respectively. [**Conclusion**] The screened strains exhibit the potential for industrial production of fermented *R. roxburghii* products, particularly suitable for crafting low-alcohol, high-flavor fruit wine.

Keywords: *Rosa roxburghii* pomace; yeast strain; stress tolerance; ester production capacity

刺梨隶属蔷薇科蔷薇属,果实呈扁球或圆锥形,黄褐色或带褐色斑点,密被针刺,是一种食药两用、有滋补功效的水果[1]。主要分布于我国贵州、云南、四川等西南地区,其中贵州省

基金项目:贵州省教育厅青年科技人才成长项目(黔教合KY字[2022]002号);2023年贵阳学院硕士研究生科研基金项目(2023-YJS02)。

通信作者:李勇(1986—),男,博士,副教授,硕士研究生导师,主要从事传统发酵食品微生物资源发掘和利用研究。E-mail:yongL33@126.com

收稿日期:2025-03-20 **修回日期:**2025-04-18

种植面积和产量最大[2]，约占全国的90%，是贵州省12个农业特色优势产业之一。刺梨鲜果采摘期短、贮藏困难且口感酸涩，因此目前市售产品以果汁、果干及果脯为主，刺梨发酵酒类产品较少。发酵果酒以其乙醇含量低、营养价值高、风味佳等特点深受消费者喜爱[3]。将新鲜刺梨加工为果酒将极大提高产品附加值。目前市场上销售的刺梨果酒主要为泡制酒，针对刺梨发酵酒也有一些研究，通常以商业酵母菌株作为发酵剂，以感官评价作为产品评价指标[4-6]，但市场上还没有大规模商业化生产的刺梨发酵酒。

酵母菌是多种发酵产品的核心功能微生物，其代谢产物（如乙醇与酯类）可显著提升产品风味与口感[7]。不同水果因营养成分（如糖类、有机酸等）差异，会影响酵母菌的生长及代谢功能。因此，筛选适配特定水果的专属酵母菌株，对提升发酵产品品质有重要意义[8]。朱其顺等[9]从不同产地红茶菌中分离筛选优良酵母菌来开发优质果茶饮料。目前针对刺梨发酵产品酵母菌种筛选的研究有：于志海等[10-11]从自然发酵刺梨中分离出性能与商业菌株接近的酿酒酵母（*Saccharomyces cerevisiae*）；赵湖冰等[12]采用嗅闻法从刺梨鲜果上筛选到一株产香浓郁的非酿酒酵母，经鉴定为汉逊酵母（*Hanseniaspora* sp.）；张小勤等[13]对比了商用酿酒酵母菌株，筛选出兼具高产乙醇和总酯的刺梨果酒发酵菌株。

酵母菌在果酒发酵体系中常面临低pH、高乙醇、高SO_2和高糖等胁迫环境，其生长代谢易受抑制甚至使细胞失活，最终导致发酵终止。目前，针对刺梨发酵专用酵母的研究依然欠缺，亟待挖掘兼具高环境适应性与代谢活性的菌株。作者以自然发酵刺梨渣中的酵母菌为研究对象，通过TTC显色法初筛、发酵能力（杜氏管）复筛和耐受性试验，定向分离性能优良的酵母菌株。进一步测定其产酯能力，探究其应用潜能，以期将其应用于刺梨发酵产品的生产，酿造风味和品质俱佳的产品。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

刺梨渣：贵州龙里县种植的刺梨榨汁后所得；乙醇：分析纯，南昌华鑫医药化工有限公司；盐酸：分析纯，上海沪试实验室器材股份有限公司；氢氧化钠、酚酞、偏重亚硫酸钾：分析纯，北京沃凯生物科技有限公司；酵母浸粉、蛋白胨：北京奥博星生物技术有限责任公司；无水葡萄糖、琼脂粉：常德比克曼生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

高压蒸汽灭菌锅：RE5RAA型，上海申安医疗器械厂；干燥箱：BGG-9140A型，上海一恒科学仪器有限公司；超净工作台：DL-CJ-2NDI型，北京东联哈尔仪器制造有限公司；生化培养箱：SHP-250型，上海博讯实业有限公司医疗设备厂；卧式恒温摇床：HZQ-C型，常州洛基仪器有限公司；电热恒温水浴锅：DKB24型，上海森信实验仪器有限公司；电子天平：FA2004W型，上海菁海仪器有限公司；分光光度计：CV5200PC型，上海元析仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 培养基与溶液的配制

TTC下层培养基：蛋白胨1.00 g、葡萄糖5.00 g、酵母粉0.75 g、酸性磷酸钾0.50 g、硫酸镁0.20 g、柠檬酸0.148 g、琼脂2.00 g、水100 mL；自然pH，121 ℃灭菌20 min。

TTC上层培养基：TTC 0.05 g、葡萄糖0.50 g、琼脂1.50 g、水100 mL；自然pH，121 ℃灭菌20 min。

YPD液体培养基：酵母浸粉1.00 g、蛋白胨2.00 g、葡萄糖2.00 g、水100 mL；自然pH，121 ℃灭菌20 min。

PDA固体培养基：马铃薯20.00 g、葡萄糖2.00 g、琼脂2.00 g、蛋白胨0.50 g、磷酸二氢钾0.30 g、硫酸镁0.15 g、水100 mL；自然pH，121 ℃灭菌20 min。

1.3.2 样品发酵与酵母菌初筛

取50 g新鲜刺梨果渣置于无菌烧杯中，以保鲜膜密封，28 ℃静置发酵至产生明显酒味（约7 d）。取1 g发酵后的刺梨渣加到装有10 mL无菌生理盐水的试管，以10倍梯度依次稀释制得

1×10^{-7}、1×10^{-6}、1×10^{-5}、1×10^{-4}、1×10^{-3}、1×10^{-2}的稀释液，吸取不同梯度样品稀释液各100 μL涂布于TTC下层平板，28 ℃恒温培养24 h。选取菌落数在10~30的平板，倾覆TTC上层培养基到菌落表面，28 ℃避光培养2~3 h。观察菌落呈色深浅并记录，挑取深红色菌落进行多次划线纯化并保存菌种。

1.3.3　杜氏小管产气试验复筛

将得到的菌株接种到YPD液体培养基（内置杜氏小管），于28 ℃、150 r/min摇床培养48 h，分别于24、36、48 h观察并记录产气情况，平行试验3次。

1.3.4　发酵性能筛选

将活化后的菌株接种到YPD液体培养基，于28 ℃、150 r/min摇床培养168 h，每24 h观察并记录CO_2的质量，平行试验3次。

1.3.5　耐受性试验

将活化后的菌株分别接种到含不同SO_2质量浓度（100、150、200、250 mg/L）、乙醇体积分数（6%、8%、10%、12%）、pH（2.0、2.5、3.0、3.5）以及葡萄糖质量分数（30%、40%、50%、60%）的YPD液体培养基中，于28 ℃恒温摇床培养96 h，每24 h观察并记录产气情况，以安琪生香酵母作为对照，每个试验重复3次。

1.3.6　形态学鉴定

将菌株在PDA固体培养基划线，30 ℃静置培养24 h，观察并描述各菌株菌落形态，制片后用光学显微镜观察菌体形态。

1.3.7　分子生物学鉴定

提取菌株总DNA并对其26S rDNA的D1/D2区进行PCR扩增，扩增结果送至生工生物工程（上海）股份有限公司进行测序，所得信息提交到美国国家生物技术信息中心（https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/）的GenBank数据库进行Blast比对，并用MEGA 7.0软件构建系统发育树。

1.3.8　产酯量测定

将活化后的菌株接种到100 mL YPD液体培养基中，于28 ℃培养48 h。取10 mL发酵液和10 mL去离子水至250 mL三角瓶，摇匀，加入1 g/dL的酚酞指示剂，用0.1 mol/L的NaOH标准溶液滴定至微红色，随后将溶液移至250 mL圆底烧瓶，加入10 mL NaOH标准溶液开始回流皂化，反应30 min后立即用0.1 mol/L的HCl标准溶液滴定，至微红色刚好消失，记录HCl溶液用量，按式（1）计算发酵液的总酯质量浓度。

$$X=(V_1C_2-V_2C_1)\times 88/10 \quad (1)$$

式中：

X——发酵液的总酯质量浓度，g/L；

C_2——NaOH标准溶液浓度，mol/L；

V_1——皂化时加入NaOH标准溶液的体积，mL；

C_1——HCl标准溶液浓度，mol/L；

V_2——HCl标准溶液的体积，mL。

1.4　数据处理及分析

采用Excel 2013及SPSS 20.0处理和分析试验数据。

2　结果与讨论

2.1　菌株显色初筛结果

根据TTC显色结果对自然发酵刺梨果渣中的酵母菌进行初筛，见表1。TTC可与酵母菌代谢产物结合并发生显色反应，通过菌落红色的深浅可判断酵母菌呼吸酶活力高低[14]，并可推断产酯能力强弱。根据结果可判定这24株酵母菌均有一定的产酯能力，因此选取这些菌株进行后续研究。

表1　初筛菌株编号及显色结果

Table 1　Strain numbers from primary screening and chromogenic results

菌株编号	颜色深浅	菌株编号	颜色深浅
B11	++	B23	++
B12	++	B24	+
B13	++	B25	++
B14	++	B26	+
B15	+++	B27	++
B16	+	B28	++
B17	++	B29	++
B18	+	B30	++
B19	++	B31	+
B20	+	B32	++
B21	++	B33	+++
B22	+	B34	++

注：“+”代表浅红色；“++”代表红色；“+++”代表深红色。

2.2 产气试验复筛结果

将初筛得到的24株菌株进行杜氏小管产气试验，结果见表2。B12、B15、B16、B17、B19、B26、B27、B28、B29、B30、B33均在24 h内起酵并产气充满杜氏小管，B32在36 h内产满气，B13和B23在48 h内产满气。产气越早说明菌株的起酵能力越强，产气越多说明菌株的发酵性能越强。刺梨果汁及其他果汁富含糖类与蛋白质等成分，发酵前避免高温灭菌以保留风味物质，若长时间无法开始发酵，杂菌将快速繁殖，导致果汁变质，影响产品品质，甚至发酵失败。因此选起酵能力强、发酵性能较好的B12、B15、B16、B17、B19、B26、B27、B28、B29、B30、B32、B33这12株菌株进行后续试验。

表2 杜氏小管产气试验结果

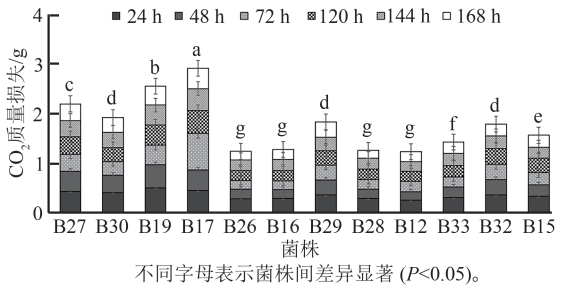
Table 2 Gas production test results in Durham tubes

菌株编号	24 h产气情况	36 h产气情况	48 h产气情况
B12	++++	++++	++++
B13	++	+++	++++
B15	++++	++++	++++
B16	++++	++++	++++
B17	++++	++++	++++
B19	++++	++++	++++
B23	++	+++	++++
B26	++++	++++	++++
B27	++++	++++	++++
B28	++++	++++	++++
B29	++++	++++	++++
B30	++++	++++	++++
B32	+++	++++	++++
B33	++++	++++	++++

注：“+”代表杜氏小管充满1/4气体；“++”代表杜氏小管充满1/2气体；“+++”代表杜氏小管充满3/4气体；“++++”代表杜氏小管充满气体。

2.3 发酵性能筛选结果

由图1可知，B19、B17、B27、B30在24 h内快速启动发酵，CO_2质量损失高于其他菌株，与杜氏小管产气试验结果一致。发酵7 d后，B17的CO_2质量损失最高，其次为B19、B27、B29、B30和B32。酵母菌会利用发酵液中的营养物质进行生长和代谢，产生CO_2，使得发酵液质量减轻，用CO_2质量损失作为指标可更准确比较各菌株的发酵能力，质量损失越大代表菌株发酵能力越强。结合产气试验数据，B32的起酵能力较弱，因此筛选出B17、B19、B27、B29和B30进行后续耐受能力指标的测定。



不同字母表示菌株间差异显著（$P<0.05$）。

图1 不同菌株发酵过程中CO_2质量损失

Fig. 1 CO_2 mass loss during fermentation by different strains

2.4 耐受性结果

以安琪生香酵母为对照，各菌株的SO_2、乙醇、pH和葡萄糖耐受性测试结果见表3。在果酒酿造中为了防止杂菌污染以及保护果汁中的活性成分[15]，一般不使用热灭菌，而是在发酵液中加入一定量的SO_2。此外，SO_2还有促进果汁澄清和增强抗氧化的作用[16]。当SO_2质量浓度达250 mg/L时，5株菌均表现优秀，有着较强的耐SO_2能力。乙醇是酵母菌的代谢产物，随着发酵的进行，发酵液中乙醇体积分数也逐渐增加，达到一定程度会抑制酵母菌的生长代谢[17]，因此菌株对乙醇的耐受性也决定了发酵程度。菌株B17的乙醇耐受性表现为优，可耐受体积分数12%的乙醇；菌株B29的乙醇耐受性为良，菌株B19、B27和B30的乙醇耐受性为中等，5株菌均可耐受体积分数6%的乙醇。酵母菌在自然pH或弱酸性条件下活性最强，也有研究者筛选出的耐酸性酵母菌在pH 3.0时表现出较强的生长活性[18]。刺梨果汁的pH通常为3.0~4.0[19]，因此发酵刺梨果汁的酵母菌需要有耐受低pH的能力，菌株B19的耐低pH能力较好，在pH为2.0时仍可产气。菌株B17的低pH耐受性表现为良，在pH为2.5时可产气。菌株B27、B29和B30的低pH耐受性低，在pH为3.5时可产气。酵母菌可利用葡萄糖作为能量来源，若浓度太高会抑制酵母菌生长[20]，因此优质的酵母菌株应具有较高的葡萄糖耐受性。5株菌的高糖耐受性均表现为优，最高可耐受质量分数60%的葡萄糖。

表3　耐受能力对比分析

Table 3　Comparative analysis of stress tolerance

菌株	SO_2	乙醇	pH	葡萄糖
B17	+++	+++	++	+++
B19	+++	+	+++	+++
B27	+++	+	−	+++
B29	+++	++	−	+++
B30	+++	+	−	+++
对照	+++	+++	+++	+++

注：“−”代表耐受性低；“+”代表耐受性中等；“++”代表耐受性良；“+++”代表耐受性优。

综合来看，筛选的5个菌株在SO_2和葡萄糖耐受性方面与安琪生香酵母接近，在乙醇耐受性和低pH耐受性上，部分菌株弱于对照，且B27和B30总体表现均较差，故舍弃。筛选菌株是为了应用于刺梨产品的发酵，考虑到发酵果酒的乙醇体积分数均较低，且随着发酵的进行，发酵液的pH会逐渐增大[21]，因此其余3个菌株在刺梨发酵工业上均具有一定的应用潜力。

2.5　酵母菌株的鉴定

在光学显微镜下观察各菌株细胞均呈椭圆形，并有出芽现象，见图2。基于26S rDNA序列和MEGA 7.0软件的邻接法（neighbor-joining）构建菌株的系统发育树，见图3。B17、B29均为库德里亚毕赤酵母（*Pichia kudriavzevii*），B19为马克斯克鲁维酵母（*Kluyveromyces marxianus*）。

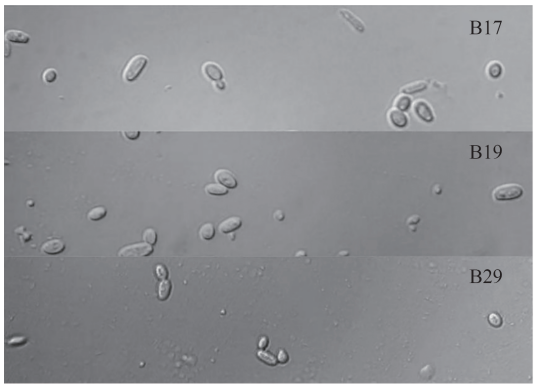


图2　菌体形态观察

Fig. 2　Morphology of microbial cells

库德里亚毕赤酵母曾被称为东方伊萨酵母（*Issatchenkia orientalis*）[22]，具有优秀的耐酸和耐高温性能，在多种类型白酒的发酵过程中起重要作用[23]。其可降解有机酸，能够分泌多种具有益生功能的酶类和风味物质，并且其分泌的纤维素酶可将富含纤维素的农业废弃物转化为生物乙醇[24-25]。有研究者利用库德里亚毕赤酵母与酿酒酵母混合发酵生产果酒，可显著增加风味，提高果酒品质[26]，且该酵母菌的益生功能在发酵食品和饲料等产业也有广阔的应用前景[27]。马克斯克鲁维酵母生长速度快，同样也具有多种益生活性[28]和利用纤维素发酵生产生物乙醇的功能[29]。

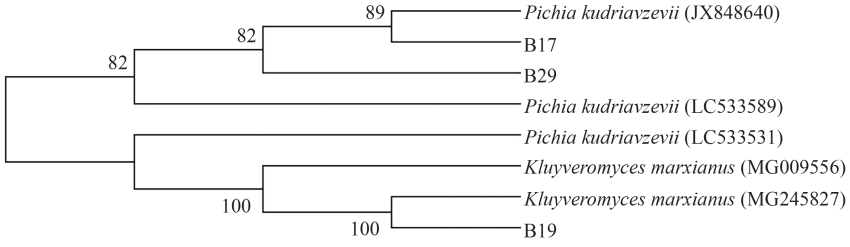


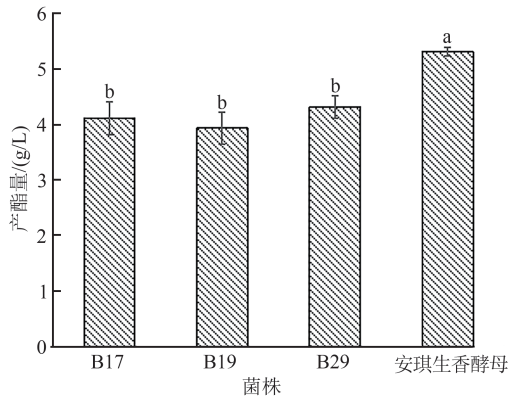
图3　系统发育树

Fig. 3　Phylogenetic tree

2.6　酵母菌应用潜力研究

酵母菌在发酵过程中会产生醇、酯、高级酚等风味成分[30-31]，对果酒等发酵制品风味和品质有重要影响，为研究所筛选酵母菌在刺梨发酵果酒中的应用潜力，进行产酯能力测定，结果见图4。B17和B29的产酯量分别为4.11 g/L和4.31 g/L，B19的产酯量为3.93 g/L，均低于对照酵母菌。有研究者从白酒酒醅中筛选到库德里亚毕赤酵母，测定其产酯量为3.45 g/L[32]。有研究者从自然腐烂的菠萝筛选得到马克斯克鲁维酵母，产酯量为3.26 g/L[33]。

研究者对其他产酯酵母菌种也进行了筛选。如李欢欢等[34]从自然发酵板栗中筛选得到一株汉逊德巴利酵母（*Debaryomyces hansenii*），经产酯条件优化后产酯量达1.17 g/L。梁景龙等[35]将一株葡萄牙棒孢酵母（*Clavispora lusitaniae*）进行航天



不同字母代表菌株间差异显著(P<0.05)。

图 4　筛选菌株产酯量对比

Fig. 4　Comparison of ester production among screened strains

诱变选育，突变菌株产酯量显著提高，最高达 1.47 g/L。作者筛选得到的 3 株酵母菌初步发酵结果显示，其产酯量均高于同类型研究。

3　结论

贵州省的刺梨种植面积和产量均居全国首位，但刺梨产业目前面临产品类型少、附加值低及资源利用率低等问题，因此作者从自然发酵刺梨果渣中筛选酵母菌，为刺梨发酵产品的酿造提供优质菌种。经过 TTC 显色培养基初筛、产气试验复筛及发酵性能筛选，已从数量众多的菌株中筛选出性能优异的 5 个菌株，编号分别为 B17、B19、B27、B29 和 B30，进一步通过耐受性能测定发现，5 株菌均可耐受 250 mg/L 的 SO_2、体积分数 6% 的乙醇、质量分数 60% 的葡萄糖、pH 3.5 的环境。与对照菌株安琪生香酵母相比，所筛选的菌株在 SO_2 和葡萄糖耐受性上表现一致，乙醇耐受性和低 pH 耐受性上稍弱，最终选择 3 株耐受性能较好的菌株进行形态学和分子生物学鉴定。经鉴定 B17 和 B29 均为库德里亚毕赤酵母（*Pichia kudriavzevii*），B19 为马克斯克鲁维酵母（*Kluyveromyces marxianus*）。为进一步研究筛选所得菌株在刺梨果酒中的应用潜力，考察其产酯能力，发现 3 株酵母菌均有较强的产酯能力。作者筛选的 3 株酵母菌（B17、B19、B29）兼具高耐受性与产酯能力，为刺梨果酒风味优化提供了优质菌种资源。后续研究需要通过刺梨汁发酵试验验证其实际应用效果，并探索与酿酒酵母的协同发酵能力。

参考文献

[1] XU J W，VIDYARTHI S K，BAI W B，et al. Nutritional constituents，health benefits and processing of *Rosa roxburghii*：a review[J]. Journal of Functional Foods，2019，60：103456.

[2] 李东，张小勤，蒋思峡，等. 刺梨功能成分及其功能性食品研究进展[J]. 食品安全质量检测学报，2022，13(17)：5730-5738.
LI D，ZHANG X Q，JIANG S X，et al. Research progress on functional components and functional foods of *Rosa roxburghii* Tratt[J]. Journal of Food Safety & Quality，2022，13(17)：5730-5738.(in Chinese)

[3] 刘超琦，王晓丹，周润锋，等. 果酒及果酒酿造工艺的研究进展[J]. 中国酿造，2023，42(12)：22-27.
LIU C Q，WANG X D，ZHOU R F，et al. Research progress of fruit wine and its brewing technology[J]. China Brewing，2023，42(12)：22-27.(in Chinese)

[4] 宋永民，刘代成. 刺梨果酒制作工艺的优化研究[J]. 山东农业科学，2008，40(3)：109-112.
SONG Y M，LIU D C. Optimization of processing technology for *Rosa roxburghii* wine[J]. Shandong Agricultural Sciences，2008，40(3)：109-112.(in Chinese)

[5] 王宏，李登，黄星源，等. 响应面法优化刺梨果酒发酵工艺研究[J]. 中国酿造，2021，40(6)：124-128.
WANG H，LI D，HUANG X Y，et al. Optimization fermentation technique of *Rosa roxburghii* fruit wine by response surface methodology[J]. China Brewing，2021，40(6)：124-128.(in Chinese)

[6] 韦唯，江帆，袁振辉，等. 不同发酵方式对刺梨果酒品质的影响[J]. 食品科技，2020，45(3)：105-113.
WEI W，JIANG F，YUAN Z H，et al. Effects of different fermentation methods on the quality of *Rosa roxburghii* wine[J]. Food Science and Technology，2020，45(3)：105-113.(in Chinese)

[7] MAICAS S. The role of yeasts in fermentation processes[J]. Microorganisms，2020，8(8)：1142.

[8] 祖瑗，钟小祥，李进强，等. 我国几种特色果酒专用酵母的研究进展[J]. 中国酿造，2019，38(4)：11-16.
ZU Y，ZHONG X X，LI J Q，et al. Research progress of several special yeasts for characteristic fruit wine production in China[J]. China Brewing，2019，38(4)：11-16.(in Chinese)

[9] 朱其顺，李其琴，汪乐飞，等. 草莓味黄大茶发酵饮料的开发及工艺优化[J]. 食品与生物技术学报，2023，42(6)：67-77.
ZHU Q S，LI Q Q，WANG L F，et al. Development and process optimization of strawberry-flavored yellow tea

fermented beverage[J]. Journal of Food Science and Biotechnology,2023,42(6):67-77.(in Chinese)

[10] 于志海,岳利容,王青,等. 一株刺梨酿酒酵母的鉴定及酿酒潜力分析[J]. 食品与发酵工业,2022,48(1):70-75.
YU Z H,YUE L R,WANG Q,et al. Identification and brewing potential of a *Saccharomyces cerevisiae* strain from *Rosa roxbunghii*[J]. Food and Fermentation Industries,2022,48(1):70-75.(in Chinese)

[11] YU Z H, HUANG G D, HUANG X Y, et al. A comparative study of yeasts for *Rosa roxburghii* wine fermentation[J]. Fermentation,2022,8(7):311.

[12] 赵湖冰,黎华,田野,等. 一株刺梨非酿酒酵母的分离鉴定、生理特性及混菌发酵研究[J]. 食品工业科技,2020,41(16):114-120.
ZHAO H B, LI H, TIAN Y, et al. Isolation, identification, physiological characteristics and mixed fermentation of a non-*Saccharomyces cerevisiae* from *Rosa roxburghii*[J]. Science and Technology of Food Industry,2020,41(16):114-120.(in Chinese)

[13] 张小勤,苏豪,李东,等. 不同商用酿酒酵母发酵刺梨果酒品质的对比分析[J]. 中国酿造,2024,43(6):200-205.
ZHANG X Q,SU H,LI D,et al. Comparative analysis of quality of *Rosa roxburghii* wine fermented by different commercial *Saccharomyces cerevisiae*[J]. China Brewing,2024,43(6):200-205.(in Chinese)

[14] TANAKA J, KIYOSHI K, KADOKURA T, et al. Elucidation of the enzyme involved in 2, 3, 5-triphenyl tetrazolium chloride (TTC) staining activity and the relationship between TTC staining activity and fermentation profiles in *Saccharomyces cerevisiae*[J]. Journal of Bioscience and Bioengineering,2021,131(4):396-404.

[15] DOLAS R,SARAVANAN C,KAUR B P. Emergence and era of ultrasonic's in fruit juice preservation:a review[J]. Ultrasonics Sonochemistry,2019,58:104609.

[16] 张晶,左勇,谢光杰,等. 发酵条件对猕猴桃果酒中多酚含量的影响[J]. 食品工业科技,2017,38(9):160-163,167.
ZHANG J, ZUO Y, XIE G J, et al. Influence of fermentation conditions on the yield of polyphenols in kiwi fruit wine[J]. Science and Technology of Food Industry,2017,38(9):160-163,167.(in Chinese)

[17] MULERO-CEREZO J, TUÑÓN-MOLINA A, CANO-VICENT A, et al. Alcoholic and non-alcoholic rosé winesmade with *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* probiotic yeast[J]. Archives of Microbiology,2023,205(5):201.

[18] 向丽萍,范斌强,杨志龙,等. 一株耐酸性酿酒酵母的筛选鉴定及特性[J]. 食品与机械,2021,37(6):51-55.
XIANG L P,FAN B Q,YANG Z L,et al. Screening and identification of a strain of *Saccharomyces cerevisiae* and its characteristics[J]. Food & Machinery,2021,37(6):51-55.(in Chinese)

[19] 李靖,王嘉祥,陈欢,等. 超高压与热杀菌对刺梨汁贮藏期品质影响的比较[J]. 食品科学,2022,43(15):101-108.
LI J, WANG J X, CHEN H, et al. Comparison of the effects of ultra-high pressure and thermal processing on quality changes of *Rosa roxburghii* juice during storage[J]. Food Science,2022,43(15):101-108.(in Chinese)

[20] GOMAR-ALBA M, MORCILLO-PARRA M Á, DEL OLMO M L. Response of yeast cells to high glucose involves molecular and physiological differences when compared to other osmostress conditions[J]. FEMS Yeast Research, 2015,15(5):fov039.

[21] 彭欢,黄子健,吴涛,等. 刺梨自然发酵制酒过程中化学成分、抗氧化活性及优势菌的变化[J]. 现代食品科技,2023,39(2):205-213.
PENG H, HUANG Z J, WU T, et al. Changes in chemical composition, antioxidant activity and dominant microbes during the wine production with *Rosa roxburghii* tratt *via* natural fermentation[J]. Modern Food Science and Technology,2023,39(2):205-213.(in Chinese)

[22] RAHMAN K H A, ISMAIL K S K, NAJIMUDIN N. Growth of thermotolerant *Pichia kudriavzevii* UniMAP 3-1 strain for ethanol production using xylose and glucose at different fermentation temperatures[J]. Earth and Environmental Science,2021,765(1):012107.

[23] 林良才,白茹,高滢,等. 高耐性库德里阿兹威氏毕赤酵母的筛选及应用[J]. 食品与发酵工业,2023,49(3):60-67.
LIN L C, BAI R, GAO Y, et al. Screening of a robust high-tolerance *Pichia kudriavzevii* strain and its application in Baijiu fermentation[J]. Food and Fermentation Industries,2023,49(3):60-67.(in Chinese)

[24] POOMANI M S, MARIAPPAN I, MUTHAN K, et al. Insights of *Pichia kudriavzevii* SVMS2019 for cellulase production and fermentation into ethanol[J]. Renewable Energy,2024,225:120296.

[25] AKITA H, GOSHIMA T, SUZUKI T, et al. Application of *Pichia kudriavzevii* NBRC1279 and NBRC1664 to simultaneous saccharification and fermentation for bioethanol production[J]. Fermentation,2021,7(2):83.

[26] WANG Y W, HUANG Y F, GUO Y Q, et al. Dissecting interactions of *Saccharomyces cerevisiae* and *Pichia kudriavzevii* to shape kiwifruit wine flavor[J]. Foods, 2024, 13(24): 4077.

[27] CHU Y F, LI M M, JIN J H, et al. Advances in the application of the non-conventional yeast *Pichia kudriavzevii* in food and biotechnology industries[J]. Journal of Fungi, 2023, 9(2): 170.

[28] KARIM A, GERLIANI N, AÏDER M. *Kluyveromyces marxianus*: an emerging yeast cell factory for applications in food and biotechnology[J]. International Journal of Food Microbiology, 2020, 333: 108818.

[29] BAPTISTA M, DOMINGUES L. *Kluyveromyces marxianus* as a microbial cell factory for lignocellulosic biomass valorisation[J]. Biotechnology Advances, 2022, 60: 108027.

[30] 朱佳琪, 郑飞云, 杨悦, 等. 佛手果醋乙醇发酵优良酵母菌的选育及鉴定[J]. 食品与生物技术学报, 2020, 39(5): 23-30.
ZHU J Q, ZHENG F Y, YANG Y, et al. Isolation, screening and identification of yeasts for alcoholic fermentation of bergamot vinegar[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2020, 39(5): 23-30. (in Chinese)

[31] ROMANO P, BRASCHI G, SIESTO G, et al. Role of yeasts on the sensory component of wines[J]. Foods, 2022, 11(13): 1921.

[32] 李棒, 邓梦菲, 陈延儒, 等. 高酸度水果果酒酿造产酯酵母的鉴定及发酵特性研究[J]. 中国酿造, 2020, 39(4): 103-108.
LI B, DENG M F, CHEN Y R, et al. Identification and fermentation characteristics of ester-producing yeast from high acidity fruit wine[J]. China Brewing, 2020, 39(4): 103-108. (in Chinese)

[33] 陈维新, 李静, 王瑶, 等. 1株乙酸乙酯高产酵母的筛选及其特性研究[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(9): 87-90.
CHEN W X, LI J, WANG Y, et al. Screening and characterization of a high ethyl acetate-producing yeast [J]. Food and Fermentation Industries, 2015, 41(9): 87-90. (in Chinese)

[34] 李欢欢, 曾雪莹, 谢娟, 等. 产香酵母的筛选鉴定及产酯条件优化[J]. 中国酿造, 2022, 41(6): 87-92.
LI H H, ZENG X Y, XIE J, et al. Screening and identification of aroma-producing yeasts and optimization of ester production conditions[J]. China Brewing, 2022, 41(6): 87-92. (in Chinese)

[35] 梁景龙, 孙佳鑫, 袁海珊, 等. 一株酱油生香用耐盐产酯酵母的航天选育[J]. 食品与发酵工业, 2025, 51(8): 226-231.
LIANG J L, SUN J X, YUAN H S, et al. Breeding of a salt-tolerant and ester-producing yeast for aroma-production in soy sauce by space mutation[J]. Food and Fermentation Industries, 2025, 51(8): 226-231. (in Chinese)

（责任编辑：李春丽）