

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240906006

美极梅奇酵母在发酵果酒中的应用研究进展

魏 昭^{1*}, 吴 蕊², 王 权¹, 靳雅楠¹, 孙 琛¹, 王 哲¹, 张爱学¹, 白 敬³

(1. 衡水市综合检验检测中心, 衡水 053000; 2. 衡水市质量和标准化研究院, 衡水 053000;
3. 河北科技大学食品与生物学院, 石家庄 050018)

摘 要: 美极梅奇酵母用于果酒发酵具有降醇, 改善感官品质, 提高香气丰富度, 强化品种特色, 提升抗氧化能力等优势, 逐渐受到重视。大量研究发现美极梅奇酵母只在果酒发酵前期发挥作用, 易受到发酵条件和酿酒酵母的影响, 且具有较大菌株特异性, 导致应用范围较窄、发酵效果没有鲜明特色。为扩大美极梅奇酵母在发酵果酒中的应用范围、提高其发酵效果, 本文分析了美极梅奇酵母的生长特性、碳氮营养源利用情况、耐糖性、耐酒精度、耐 SO₂ 含量、耐药性、与酿酒酵母的联动反应、产酶特性和发酵特性, 综述了美极梅奇酵母在发酵果酒上的应用现状、改良方向, 提出可行的解决方法, 并对其在发酵果酒上的应用前景进行展望, 旨在为拓展发酵果酒的品类和提高发酵果酒的质量提供理论参考。

关键词: 美极梅奇酵母; 发酵; 果酒质量; 生理特性; 发酵特性

Research progress on the application of *Metschnikowia pulcherrima* in fermented fruit wine

WEI Zhao^{1*}, WU Rui², WANG Quan¹, JIN Ya-Nan¹, SUN Chen¹, WANG Zhe¹,
ZHANG Ai-Xue¹, BAI Jing³

(1. Hengshui Comprehensive Inspection and Testing Center, Hengshui 053000, China; 2. Hengshui Quality and Standardization Research Institute, Hengshui 053000, China; 3. School of Food and Biology, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, China)

ABSTRACT: The use of *Metschnikowia pulcherrima* in fermentation of fruit wine has gradually attracted attention because of its advantages of reducing alcohol, improving sensory quality, increasing aroma richness, strengthening variety characteristics, enhancing antioxidant capacity and other advantages. However, numerous studies have found that *Metschnikowia pulcherrima* only plays a role in the early stages of fermentation. *Metschnikowia pulcherrima* is susceptible to fermentation conditions and *Saccharomyces cerevisiae*, and has a large strain specificity. As a result, the application range is narrow and the fermentation effect has no distinctive characteristics. In order to expand the application range of *Metschnikowia pulcherrima* in fermented fruit wine and improve its fermentation effects, this paper analyzed the growth characteristics, carbon and nitrogen nutrient utilization, sugar resistance, alcohol resistance, SO₂ resistance, chemical resistance, linkage reaction with *Saccharomyces cerevisiae*, tolerance, enzyme

基金项目: 中央引导地方科技发展资金项目(区域科技创新体系项目)、新型库尔勒香梨复合果酒发酵酿制技术的开发项目(246Z2802G)

Fund: Supported by the Central Government Guided Local Science and Technology Development Fund Project (Regional Science and Technology Innovation System Project), and the Development of New Korla Fragrant Pear Compound Fruit Wine Fermentation Technology (246Z2802G)

***通信作者:** 魏昭, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品检测与微生物发酵。E-mail: w2024080808@163.com

***Corresponding author:** WEI Zhao, Master, Senior Engineer, Hengshui Comprehensive Inspection and Testing Center, 2488 Yongxing West Road, Hengshui 053000, China. E-mail: w2024080808@163.com

production characteristics, and fermentation characteristics of *Metschnikowia pulcherrima*. This paper summarized the application status, improvement direction, and solution methods of *Metschnikowia pulcherrima* in fermented fruit wine, and discussed the application prospects of it in fermented fruit wine. The purpose is to provide theoretical reference for expanding the categories of fermented fruit wine and improving the quality of fermented fruit wine.

KEY WORDS: *Metschnikowia pulcherrima*; fermentation; quality of fruit wine; physiological characteristics; fermentation characteristics

0 引 言

美极梅奇酵母(*Metschnikowia pulcherrima*)属于非酿酒酵母,常见于果园和果实表面,在果酒发酵的初期也普遍存在^[1]。美极梅奇酵母发酵果酒具有提香^[2]、降醇^[3]、丰富口感^[4]、强化品种特色^[5]、提升抗氧化能力^[6]、改善感官品质^[7]等优势,但只在果酒发酵前期发挥作用^[8-9],且转化可发酵糖生成乙醇的能力较差,一般与酿酒酵母共用^[10-11]。美极梅奇酵母具有菌株特异性^[12],在生长代谢和环境耐受上呈现出不同的生理特性,在果酒发酵时表现出不同的发酵效果。在现有可查的研究报道中,将美极梅奇酵母应用于果酒发酵由后藤昭二等^[13]于 1987 年首次提出,此后的应用研究较少。

因此,本文针对美极梅奇酵母的生长周期、营养要素、菌株特异性、产酶特性以及对果酒香气物质、抗氧化能力、理化指标、安全性的影响展开综述,旨在为挖掘美极梅奇酵母的发酵潜力,提高发酵果酒质量,完善美极梅奇酵母在发酵果酒上的应用提供理论参考。

1 生理特性

1.1 生长周期

美极梅奇酵母以 2%接种量在酵母浸出粉胨葡萄糖(yeast extract peptone dextrose, YPD)培养基(4 °C, 140 r/min)中培养时^[14],表现为: 0~2 d 为适应期, 3~7 d 为指数期, 8~13 d 为恒定期, 之后为衰亡期。美极梅奇酵母在 YPD 固体培养基上的菌落形态见图 1。美极梅奇酵母在模拟梨汁培养基的生长与其在 YPD 液体培养基中的生长趋势一致: 0~6 h 为延滞期, 6~20 h 为对数生长期, 分别在 46 h 和 30 h 左右达到稳定期^[8]。美极梅奇酵母在模拟葡萄汁培养基中生长时, 20 d 左右完成发酵, 最大 CO₂ 质量损失为 0.8 g/100 mL, 乙醇产率为 32.95%^[5]。综上,说明美极梅奇酵母适用于发酵果汁酿造果酒。

1.2 营养要素

在冷胁迫条件下,对比 5 种碳源对美极梅奇酵母生长的影响,发现由高到低提高菌体生长量的顺序为: 蔗糖、麦芽糖、葡萄糖、乳糖、可溶性淀粉。虽然美极梅奇酵母在蔗糖与葡萄糖条件下的生长曲线趋势一致,但存在对蔗

糖吸收缓慢且消耗不彻底的弊端^[15]。此外, L-阿拉伯糖和 D-阿拉伯糖、 β -葡萄糖苷、甘露醇、葡萄糖醇、N-乙酰氨基葡萄糖也可以被大多数美极梅奇酵母同化。

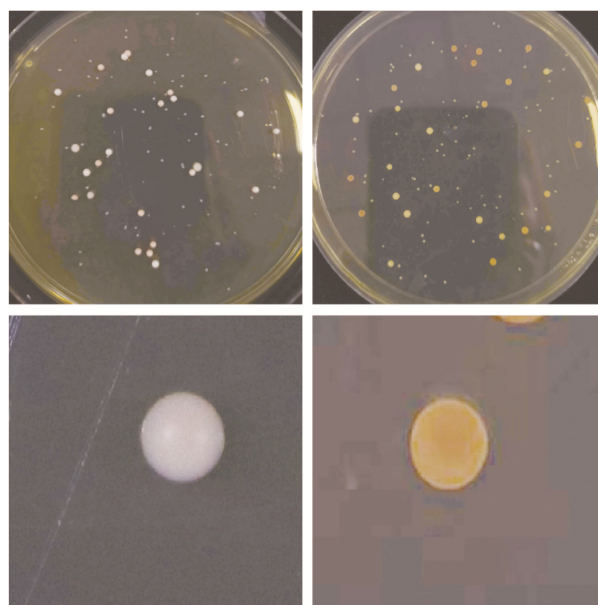


图1 美极梅奇酵母在YPD固体培养基上的菌落形态

Fig.1 Colony morphology of *Metschnikowia pulcherrima* on YPD solid medium

当生长温度为 4 °C 时, 4 种氮源对美极梅奇酵母生长的有利影响顺序为: 酵母膏>牛肉膏>蛋白胨>硫酸铵, 这与 SCHNIERDA 等^[16]的研究结果一致。谷氨酸和硫酸铵有利于美极梅奇酵母的生长, 半胱氨酸、组氨酸和苏氨酸会延缓其生长^[17]。在生长恒定期, 可以通过适量添加谷氨酸和硫酸铵帮助其突破生长瓶颈。丙氨酸、天冬酰胺和氨基酸-硫酸铵混合氮源具有提醇作用; 半胱氨酸、组氨酸和赖氨酸具有降醇作用, 可用于女士果酒或低度数果酒的研发。

因此, 在调整料液时, 碳源优先考虑选用葡萄糖, 氮源优先考虑酵母膏。

1.3 菌株特异性

菌株特异性通常表现为耐糖性、耐酸性、耐酒精度等。此外, 美极梅奇酵母与酿酒酵母的联动反应也是菌株特异性的重要表现。

在果酒酿造时,果汁的初始糖度为 200~220 g/L,大多数美极梅奇酵母的耐糖性符合果酒发酵要求。一般地,当葡萄糖质量浓度超过 450 g/L 时,美极梅奇酵母的生长受到显著抑制^[18]。其中,菌株 NCYC2321、NCYC747、D1 和 D2 在葡萄糖浓度为 50%时仍然可以良好生长,显示出强渗透胁迫能力,适用于发酵高糖果汁或高浓缩果汁^[19-20]。在 pH 为 4~8 时,大部分美极梅奇酵母能良好生长^[21]。菌株 NCYC747、CCY 29-2-145、CCY 29-2-147、CCY 29-2-149、D1 和 D2 在 pH 为 2~3 的条件下仍然能良好生长^[18,22]。美极梅奇酵母的生长发育受酒精的影响较大,多数耐酒精体积分数为 3%~6%^[21],少数菌株能够耐受 9%~10%^[22-23]。

在果酒发酵过程中,美极梅奇酵母的生长还会受到酿酒酵母的抑制^[12,23]。有的学者认为酿酒酵母具有更强的糖代谢能力和对高浓度乙醇的耐受性^[24-26]是产生抑制的主要原因;李柔等^[27]认为一定浓度的酿酒酵母与非酿酒酵母的细胞-细胞接触是产生抑制的关键,酿酒酵母发酵代谢物以及酒精和营养物质含量对非酿酒酵母的生长影响不大。部分研究发现非酿酒酵母和酿酒酵母的生长均会受到一定程度的抑制^[28-29],非酿酒酵母受到的抑制更为明显而已。因此,筛选合适的菌株是解除美极梅奇酵母生长代谢受抑制的关键;顺序接种可以在一定程度上减轻抑制。

1.4 产酶特性

在发酵过程中,美极梅奇酵母可以分泌大量的胞外酶,如 β -葡萄糖苷酶、果胶酶、纤维素酶、几丁质酶等,与酯类化合物、抗氧化物质的生成息息相关^[5,30]。 β -葡萄糖苷酶、果胶酶、纤维素酶等不仅对果酒的感官特性具有积极作用^[28],还可提高发酵酒香气的丰富度。几丁质酶等可以提高原料的安全性。

1.4.1 β -葡萄糖苷酶

在非酿酒酵母菌株中,美极梅奇酵母具有 β -葡萄糖苷酶活性的菌株占比最高(63%)^[31]。 β -葡萄糖苷酶通过水解糖苷结合态物质中的糖苷键,促进糖苷结合态香气物质的释放,增强果酒的植物和水果香气。 β -葡萄糖苷酶对色素糖苷的水解作用,促进了酚类化合物的释放^[32-33],提高了超氧化物歧化酶、过氧化物酶和过氧化氢酶等酶活性^[34],进而提高了果酒的色泽和抗氧化能力。如毛桃果酒易由于果实颜色不一导致变色和浑浊,在发酵过程中加入 β -葡萄糖苷酶后,花色素苷发生水解,酒颜色稳定性提高^[35]。因此,筛选和驯化适用于果酒的高产 β -葡萄糖苷酶美极梅奇酵母具有较大研究潜力。

美极梅奇酵母的 β -葡萄糖苷酶活力高于酿酒酵母^[36-37],可在酿酒酵母酶活力不足时进行补充。在美极梅奇酵母和酿酒酵母混合发酵葡萄酒时,RODRÍGUEZ 等^[38]和徐建

坤^[39]均发现无论是混合接种还是顺序接种, β -葡萄糖苷酶水解产生的橙花醇和香叶醇的含量都会显著低于美极梅奇酵母单菌发酵组。虽然混合发酵组酶活力均高于纯酿酒酵母发酵组,但远低于美极梅奇酵母在最适条件下的酶活力,说明酿酒酵母与美极梅奇酵母的联动作用会影响 β -葡萄糖苷酶的活力。此外,果酒发酵温度远低于 β -葡萄糖苷酶的最适温度,但 β -葡萄糖苷酶良好的低温耐受力仍使其带来了较好的发酵效果^[7]。 β -葡萄糖苷酶在 pH<4.0、高乙醇、高葡萄糖和高 SO_2 含量等条件下会受抑制甚至失活,是高产 β -葡萄糖苷酶美极梅奇酵母在果酒生产上应用的障碍。

1.4.2 其他酶

美极梅奇酵母 MC 1、MC 2、MC 3、MC 4 菌株表现出较强的果胶酶活性,MC 2、MC 4、MC 5 表现出较强的纤维素酶活性,MC 6 表现出较强的葡聚糖酶活性。因此,菌株 MC 4 适用于改良果酒颜色和提高果酒澄清度。有的美极梅奇酵母菌株还具有较高的几丁质酶活性,通过破坏真菌的细胞壁结构,进而减慢真菌的生长速度,抑制真菌孢子萌发,在保障酿酒原料健康的研究方向具有较大潜力。部分美极梅奇酵母菌株具有芳基酰胺酶和氨基肽酶活性,可用于提高果酒中氨基酸的含量和促进香气成分的形成,也有助于维持果酒的蛋白质稳定性^[40-41],但易受果酒中的乙醇和糖抑制。

2 美极梅奇酵母的发酵特性

美极梅奇酵母在丰富果酒香气、改善感官品质、强化特色、提高抗氧化能力等方向具有研究潜力^[42-43]。美极梅奇酵母适用于降低发酵果酒的挥发性酸含量和乙醇含量等方向。此外,美极梅奇酵母还具备生物防治作用。

2.1 美极梅奇酵母对果酒香气物质的影响

以美极梅奇酵母为发酵菌株酿造葡萄酒^[8],产生了 9 种醇类(含量 4.22 mg/L)、9 种酯类(含量 4.51 mg/L)、6 种酸类(含量 0.86 mg/L)和 2 种醛酮类化合物(含量 3.38 mg/L),其种类低于纯酿酒酵母酒样,但总含量高于纯酿酒酵母酒样。以美极梅奇酵母为发酵菌株酿造蓝莓果酒^[11],与纯酿酒酵母发酵相比,总酯含量提高了 134.63%,且增添了水果香和香蕉香味。美极梅奇酵母 MP14 菌株发酵的葡萄酒主要香气物质为正己酸乙酯、庚酸乙酯、辛酸甲酯、2-己稀酸乙酯等,带入了更多的甜杏、柑橘等水果香。美极梅奇酵母和酿酒酵母混合发酵蓝莓果酒提高了总酯含量,尤其产生了更多的十六烷酸乙酯(28.50 mg/L),增添了果香和奶油香;混合发酵李子酒^[18],提高了辛酸乙酯和癸酸乙酯等酯类含量,增强了果香和花香等香气;混合发酵葡萄酒^[44],可明显提升浆果味。综上,无论是以美极梅奇酵母为发酵菌株酿造果酒,还是美极梅奇酵母和酿酒酵母混合发酵果酒,都可以突出果香,在提高酯类物质含量上具有

研究潜力。

基于挥发性风味物质对不同酵母菌株酿造葡萄酒进行层次聚类分析及主成分分析^[2], 发现商业酿酒酵母发酵的葡萄酒汇聚在一组, 主要香气物质为丙醇, 酒香气突出; 美极梅奇酵母 HY21 菌株和自然发酵的葡萄酒汇聚在一组, 主要香气物质包含仲辛醇、乙酸异戊酯、9-癸酸乙酯、溴乙酸癸酯, 葡萄、香蕉等水果香味更明显。通过对美极梅奇酵母发酵酒样的香气成分进行主成分分析, 发现其与酿酒酵母酒样、非酿酒酵母包括己酸乙酯、异丁酸乙酯、异戊酸乙酯、2-甲基丁酸乙酯、庚酸乙酯、乙酸己酯、 γ -壬内酯、 δ -辛内酯、己醇、丁醇、3-甲基丁醇、2-戊酮、2,3-丁二酮、芳樟醇。因此, 美极梅奇酵母发酵的果酒和纯酿酒酵母发酵的酒类具有显著区别, 可以基于挥发性风味物质进行品类鉴定。

不同菌株存在一定种内差异, 可以产生特有的香气物质。如美极梅奇酵母 YC-A13 发酵酒样中检测出具有扁仁、脂香气的 1-戊醇, 具有脂香、黄油香气的 2,3-丁二酮^[45]; 美极梅奇酵母 Mp08 发酵果酒增加了香叶醇、橙花醇、松油醇和玫瑰醚等香气物质^[5]。在进行不同风格果酒酿造时, 可以根据香气需求选择适宜的菌株参与发酵过程, 来进行特色强化。

2.2 美极梅奇酵母对果酒抗氧化能力的影响

在发酵过程中, 美极梅奇酵母较酿酒酵母能产生更多的 β -葡萄糖苷酶, 该酶能促进酚类化合物的释放, 提高总酚含量, 提升抗氧化能力^[6]。以美极梅奇酵母为发酵菌株酿造树莓果酒^[46], 总酚含量(0.505 g/L)提高了 0.84 倍, 且显著提高了 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl radical, DPPH)自由基清除率; 美极梅奇酵母发酵蓝莓果酒将总酚含量提高了 2.21%^[11]。

汤楚琦等^[11]筛选的一株美极梅奇酵母与商用酿酒酵母同时接种混合发酵蓝莓果酒, 显著提高了酒样的 DPPH 自由基和羟自由基清除能力; 但是美极梅奇酵母单独发酵蓝莓酒时, 在 2,2'-联氮-双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), ABTS]阳离子自由基、DPPH 自由基及羟自由基清除能力方面均不如酿酒酵母 K1 单独发酵。综上, 不同美极梅奇酵母菌株在提高抗氧化能力方面存在一定种内差异, 后续基于美极梅奇酵母对果酒抗氧化能力的影响, 可以关注筛选适宜的菌株、对比同时接种发酵和顺序接种发酵等研究方向。

2.3 美极梅奇酵母对果酒理化指标的影响

美极梅奇酵母与酿酒酵母混合发酵果酒有助于其降酸^[3,47]、降低乙醇含量和改善色泽。刘晓柱等^[9]研究发现美极梅奇酵母与酿酒酵母混合发酵火龙果酒, 可降低其挥发性酸含量、酸味电子感官滋味特性和挥发性酸类物质的含

量。此外, 微氧环境可以延长非酿酒酵母在混合发酵中的存活时间, 进而提高非酿酒酵母的降酸能力^[48-50]。美极梅奇酵母与酿酒酵母混合发酵果酒可以实现低残糖和低乙醇的酿造目标^[51]。张曼^[18]研究发现美极梅奇酵母与酿酒酵母混合发酵李子酒, 可减少其色素的损失, 这与汤楚琦等^[11]的研究结果一致。果酒的颜色取决于其含有的花青素及其衍生物含量和它们在果酒中的稳定性, 美极梅奇酵母通过促进花青素和黄烷醇低聚物的形成、促进或调解单宁与花色素之间的聚合等方式提升果酒色泽。

2.4 美极梅奇酵母对果酒安全性的影响

美极梅奇酵母具备生物防治作用^[52-53]。在酿造过程中, 美极梅奇酵母的参与可减少可能生成的赭曲霉毒素 A、氨基甲酸乙酯和生物胺等有毒化合物, 合成褪黑素、血清素和羟酪醇等生物活性物质, 且有助于减少二氧化硫的使用, 因此可用于提升果酒安全质量与健康属性等研究方向。

3 结束语

美极梅奇酵母的发酵特性与对碳氮营养源的利用、耐受性、酿酒酵母的联动反应、产酶特性等息息相关。适宜的美极梅奇酵母菌株和酿酒酵母混合发酵果酒, 具有改良果酒的理化指标, 提高抗氧化能力, 丰富香气成分, 改善感官品质, 降低有毒化合物的产量, 减少二氧化硫的使用等作用。筛选优良菌株应该针对原料品种设计培养基, 不应一律使用模拟葡萄汁培养基。由于其在耐受性和产酶特性上具有较大菌株差异性, 应优化发酵条件, 确定酿酒酵母的最适接种时间, 保证美极梅奇酵母发挥最大发酵优势。此外, 微氧环境对于美极梅奇酵母的影响及其在发酵果酒上的应用也具有较大研究潜力。

在未来的研究中, 可关注: (1)野生美极梅奇酵母的筛选鉴定; (2)纯种发酵和混合发酵的代谢研究; (3)果酒安全性与美极梅奇酵母代谢特点之间的关联; (4)美极梅奇酵母商业菌剂的加工方式对酵母活性的影响。

参考文献

- [1] PRAKITCHAIWATTANA CJ, FLEET GH, HEARD GM. Application and evaluation of denaturing gradient gel electrophoresis to analyse the yeast ecology of wine grapes [J]. *Fems Yeast Res*, 2004(8): 865-877.
- [2] 杨萌萌, 李德美, 庞晓娜, 等. 河北怀来葡萄园微生物多样性分析与本土优良酵母的筛选[J]. *中国酿造*, 2024, 43(8): 153-161.
YANG MM, LI DM, PANG XN, *et al.* Analysis of microbial diversity and screening of native excellent yeasts in Huailai vineyard of Hebei Province [J]. *China Brew*, 2024, 43(8): 153-161.
- [3] 王兴凯. 美极梅奇酵母的筛选及其在葡萄酒酿造中的应用研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2019.
WANG XK. Screening of *Metschnikowia pulcherrima* and its application in winemaking [D]. Ji'nan: Qilu University of Technology, 2019.

- [4] ALBERGARIA H, FRANCISCO D, GORI K, *et al.* *Saccharomyces cerevisiae* CCMI 885 secretes peptides that inhibit the growth of some non-*Saccharomyces* wine-related strains [J]. *Appl Microbiol Biotechnol*, 2010, 86: 965–972.
- [5] 张鸣宇, 罗莉莎, 高特, 等. 本土美极梅奇酵母对玫瑰香葡萄酒降醇及香气的影响[J]. *中国酿造*, 2023, 42(1): 133–141.
- ZHANG MY, LUO LL, GAO T, *et al.* Effects of indigenous *Metschnikowia pulcherrima* on alcohol reduction and aroma of Muscat wine [J]. *China Brew*, 2023, 42(1): 133–141.
- [6] TANG C, GU Q, LI X, *et al.* Hydroxycinnamate decarboxylase in *Metschnikowia pulcherrima* promotes the formation of Vinylphenolic pyranoanthocyanins to enhance the color stability of blueberry wine [J]. *LWT*, 2024, 207: 116633.
- [7] 姚红红, 任学梅, 严幻汝, 等. 甘肃河西走廊葡萄酒产区高产糖苷酶非酿酒酵母菌株筛选及其酿酒适应性分析[J]. *食品与发酵工业*, 2023, 49(16): 49–58.
- YAO HH, REN XM, YAN HR, *et al.* Screening of non-*Saccharomyces* yeasts endowed with high glucosidase activity and their adaptability to wine biotope in Hexi corridor of Gansu Province [J]. *Food Ferment Ind*, 2023, 49(16): 49–58.
- [8] 原苗苗, 赵新节, 姜凯凯, 等. 3 株非酿酒酵母在模拟葡萄汁中的生长特性与发酵香气[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(9): 111–118, 123.
- YUAN MM, ZHAO XJ, JIANG KK. Growth characteristics and fermentation aroma compounds of three non-*Saccharomyces* in model synthetic medium [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2018, 39(9): 111–118, 123.
- [9] 刘晓柱, 赵湖冰, 黎华, 等. 美极梅奇酵母与酿酒酵母混合发酵对火龙果酒品质特性的影响[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(1): 94–100.
- LIU XZ, ZHAO HB, LI H, *et al.* Effects of Co-inoculation with *Metschnikowia pulcherrima* and *Saccharomyces cerevisiae* on the attributes of pitaya wine [J]. *Food Res Dev*, 2021, 42(1): 94–100.
- [10] 杨桦. 黄桃酒酿造工艺优化及非酿酒酵母的应用[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2022.
- YANG H. Optimization of yellow peach wine brewing process and application of non-*Saccharomyces cerevisiae* [D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2022.
- [11] 汤楚琦, 顾秋亚, 周剑丽, 等. 美极梅奇酵母与酿酒酵母混合发酵对蓝莓酒品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2024, 50(2): 138–144.
- TANG CQ, GU QY, ZHOU JL, *et al.* Effects of mixed fermentation of *Metschnikowia pulcherrima* and *Saccharomyces cerevisiae* on the quality of blueberry wine [J]. *Food Ferment Ind*, 2024, 50(2): 138–144.
- [12] 周洪江, 姜文广, 阮仕立, 等. 三种非酿酒酵母对贵人香白葡萄酒发酵进程及挥发性组分的影响[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(20): 163–172.
- ZHOU HJ, JIANG WG, RUAN SL, *et al.* Influence of three non-saccharomyces yeasts on fermentation and volatile components of Italian Riesling white wines [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2022, 43(20): 163–172.
- [13] 后藤昭二, 陆念桥, 金其荣. 葡萄酒酿造微生物学的进步[J]. *酿酒*, 1987(1): 29–34.
- HOUTENG ZER, LU NQ, JIN QR. Progress in microbiology of wine brewing [J]. *Liquor Mak*, 1987(1): 29–34.
- [14] 郭东起, 蒋楠, 刘亚军, 等. 低温环境下提高美极梅奇酵母菌生防效果的研究[J]. *食品研究与开发*, 2016, 37(8): 170–173.
- GUO DQ, JIANG N, LIU YJ, *et al.* The study on improving the biocontrol effect of *Metschnikowia pulcherrima* under low environmental temperature [J]. *Food Res Dev*, 2016, 37(8): 170–173.
- [15] 孙玉霞, 赵新节. 美极梅奇酵母的代谢特性及其在葡萄酒生产中的应用前景[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(4): 305–311.
- SUN YX, ZHAO XJ. Metabolic characteristics of *Metschnikowia pulcherrima* and its application in wine production [J]. *Food Ferment Ind*, 2021, 47(4): 305–311.
- [16] SCHNIERDA T, BAUER F, DIVOL B, *et al.* Optimization of carbon and nitrogen medium components for biomass production using non-*Saccharomyces* wine yeasts [J]. *Lett Appl Microbiol*, 2014, 58(5): 478–485.
- [17] KEMSAWASD V, VIANA T, ARDO Y, *et al.* Influence of nitrogen sources on growth and fermentation performance of different wine yeast species during alcoholic fermentation [J]. *Appl Microbiol Biotechnol*, 2015, 99(23): 10191–10207.
- [18] 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.
- ZHANG M. The study of quality improvement of mixed culture fermentation of *Metschnikowia pulcherrima* with *Saccharomyces cerevisiae* on plum wine [D]. Chongqing: Southwest University, 2022.
- [19] GUO X, ZHU X, QIAN Y, *et al.* Enhancing variety aromatic characteristics of Muscat wine through cold maceration with indigenous cryotolerant *Metschnikowia pulcherrima* Mp0520 [J]. *Food Chem*, 2025, 463(P1): 141097.
- [20] PAWLIKOWSKA E, JAMES SA, BREIEROVA E, *et al.* Biocontrol capability of local *Metschnikowia* sp. isolates [J]. *Anton Leeuwen*, 2019, 112: 1425–1445.
- [21] APONTE M, BLAIOTTA G. Potential role of yeast strains isolated from grapes in the production of taurasi DOCG [J]. *Front Microbiol*, 2016, 7: 809.
- [22] BARBOSA C, LAGE P, ESTEVES M, *et al.* Molecular and phenotypic characterization of *Metschnikowia pulcherrima* strains from Douro wine region [J]. *Fermentation*, 2018, 4(1): 8.
- [23] SADUDI M, TOURDOT-MARECHAL R, ROUSSEAU S, *et al.* Yeast-yeast interactions revealed by aromatic profile analysis of sauvignon blanc wine fermented by single or co-culture of non-*Saccharomyces* and *Saccharomyces* yeasts [J]. *Food Microbiol*, 2012, 32(2): 243–253.
- [24] ALBERGARIA H, FRANCISCO D, GORI K, *et al.* *Saccharomyces cerevisiae* CCMI 885 secretes peptides that inhibit the growth of some non-*Saccharomyces* wine-related strains [J]. *Appl Microbiol Biotechnol*, 2010, 86: 965–972.
- [25] TAILLANDIER P, LAI QP, JULIEN-ORTIZ A, *et al.* Interactions between *Torulaspora delbrueckii* and *Saccharomyces cerevisiae* in wine

- fermentation: Influence of inoculation and nitrogen content [J]. World J Microbiol Biotechnol, 2014, 30: 1959–1967.
- [26] MENCHER A, MORALES P, CURIEL JA, *et al.* *Metschnikowia pulcherrima* represses aerobic respiration in *Saccharomyces cerevisiae* suggesting a direct response to co-cultivation [J]. Food Microbiol, 2021, 94: 103670.
- [27] 李柔, 刘源, 宋开阔, 等. 非酿酒酵母与酿酒酵母在米酒混菌发酵中的相互作用机制分析[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(2): 41–47.
- LI R, LIU Y, SONG KK, *et al.* Interaction mechanism of non-*Saccharomyces* yeast and *Saccharomyces cerevisiae* in mixed fermentation of Mijiu [J]. Food Ferment Ind, 2024, 50(2): 41–47.
- [28] LIU C, LI M, REN T, *et al.* Effect of *Saccharomyces cerevisiae* and non-*Saccharomyces* strains on alcoholic fermentation behavior and aroma profile of yellow-fleshed peach wine [J]. LWT, 2022, 155: 112993.
- [29] 李甜, 雷雨, 李东, 等. 不同非酿酒酵母与酿酒酵母顺序发酵对茵红李果酒风味的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(24): 179–187.
- LI T, LEI Y, LI D, *et al.* Impact of sequential fermentation with different non-*Saccharomyces* and *Saccharomyces cerevisiae* on the aroma of Yin hong plum wine [J]. Food Sci, 2023, 44(24): 179–187.
- [30] VAN RP, PRETORIUS IS. Enzymes in winemaking: Harnessing natural catalysis for efficient biotransformations-A review [J]. South Africa J Enol Vitic, 2000, 21: 52–73.
- [31] ESCRIBANO R, LEZ-ARENZANA L, GARIJO GP, *et al.* Screening of enzymatic activities within different enological non-*Saccharomyces* yeasts [J]. J Food Sci Technol, 2017, 54(6): 1555–1564.
- [32] ZHANG PZ, MA W, MENG YQ, *et al.* Wine phenolic profile altered by yeast: Mechanisms and influences [J]. Comp Rev Food Sci Food Saf, 2021, 20(4): 3579–3619.
- [33] 荆丰雪, 钟斌, 万娅琼, 等. 微生物源 β -葡萄糖苷酶在发酵食品中的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(24): 8041–8049.
- JING FX, ZHONG B, WAN YQ, *et al.* Application of microbial β -glucosidase in fermented food [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(24): 8041–8049.
- [34] 黎晓娟, 何雪梅, 李静, 等. 复配保鲜剂与美极梅奇酵母处理对火龙果品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(21): 183–189.
- LI XM, HE XM, LI J, *et al.* Effect of compound preservatives and *Metschnikowia pulcherrima* treatment on the quality of dragon fruit [J]. Food Ferment Ind, 2023, 49(21): 183–189.
- [35] 王兴吉, 王克芬, 闫宜江, 等. 水解毛桃果酒中花色苷的 β -葡萄糖苷酶酶学特性[J]. 食品科技, 2019, 44(2): 270–273.
- WANG XJ, WANG KF, YAN YJ, *et al.* Enzymatic characteristics of β -glucosidase in hydrolysis of anthocyanin in wild peach fruit wine [J]. Food Sci Technol, 2019, 44(2): 270–273.
- [36] BARBAGALLO RN, PALMERI R, FABIANO S, *et al.* Characteristic of beta-glucosidase from sicilian blood oranges in relation to anthocyanin degradation [J]. Enzym Microbial Technol, 2007, 41(5): 570–575.
- [37] 任学梅, 姚红红, 严幻汝, 等. 高产糖苷酶非酿酒酵母菌株筛选、鉴定及其发酵过程中酶活性变化[J]. 食品科学, 2022, 43(20): 198–206.
- REN XM, YAO HH, YAN HR, *et al.* Screening and identification of non-*Saccharomyces* yeast strains with high glycosidase production and changes in enzyme activities during their fermentation [J]. Food Sci, 2022, 43(20): 198–206.
- [38] RODRÍGUEZ ME, LOPES CA, VALLES S, *et al.* Characterization of α -rhamnosidase activity from a *Patagonian pichia guilliermondii* wine strain [J]. J Appl Microbiol, 2010, 109(6): 2206–2213.
- [39] 徐建坤. 产 β -葡萄糖苷酶酵母菌的分离鉴定及特性研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2019.
- XU JK. Isolation, identification and characterization of β -glucosidase producing yeast [D]. Shihezi: Shihezi University, 2019.
- [40] SARAVANAKUMAR D, SPADARO D, GARIBALDI A, *et al.* Detection of enzymatic activity and partial sequence of a chitinase gene in *Metschnikowia pulcherrima* strain MACH1 used as post-harvest biocontrol agent [J]. Europ J Plant Pathol, 2009, 123(2): 183–193.
- [41] DIZY M, BISSON L. Proteolytic activity of yeast strains during grape juice fermentation [J]. Am J Enol Vitic, 2000, 5(2): 155–167.
- [42] 易子程, 常腾文, 司慧宁, 等. 本土非酿酒酵母对混合发酵威代尔冰酒风味及品质影响的比较分析[J/OL]. 食品与发酵工业, 1-16. [2024-11-08]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.039966>
- YI ZC, CHANG TW, SI HN, *et al.* Comparative analysis of impact of local non-*Saccharomyces* yeasts on flavor and quality of mixed-fermented vidal ice wine [J/OL]. Food Ferment Ind, 1-16. [2024-11-08]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.039966>
- [43] 王哲, 史佳茹, 王文慧, 等. 适于酿造红肉苹果酒的非酿酒酵母的研究及筛选[J]. 酿酒科技, 2024(8): 30–37.
- WANG Z, SHI JR, WANG WH, *et al.* Screening of non-saccharomyces yeasts suitable for brewing red-fleshed apple cider [J]. Liquor-Mak Sci Technol, 2024(8): 30–37.
- [44] 林雪青, 张翔, 张将, 等. 美极梅奇酵母对迟采赤霞珠葡萄酒品质的影响[J]. 中国酿造, 2021, 40(8): 86–91.
- LIN XQ, ZHANG X, ZHANG J, *et al.* Effect of *Metschnikowia pulcherrima* on the quality of late-harvested cabernet sauvignon wine [J]. China Brew, 2021, 40(8): 86–91.
- [45] 周迪, 卢玲, 王岚. 贺兰山东麓产区非酿酒酵母筛选及发酵特性研究[J/OL]. 食品与发酵工业, 1-11. [2024-11-08]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.038563>
- ZHOU D, LU L, WANG L. Screening and fermentation characteristics of non-*Saccharomyces* yeasts from eastern foot of Helan mountain [J/OL]. Food Ferment Ind, 1-11. [2024-11-08]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.038563>
- [46] 王冰倩, 魏雪团. 降酸酵母的筛选及其在红树莓功能饮料中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(21): 133–138.
- WANG BQ, WEI XT. Screening of acid-reducing yeast and its application in red raspberry functional beverage [J]. Food Ferment Ind, 2020, 46(21): 133–138.
- [47] YAN G, ZHANG B, JOSEPH L, *et al.* Effects of initial oxygenation on chemical and aromatic composition of wine in mixed starters of

- Hanseniaspora vineae* and *Saccharomyces cerevisiae* [J]. Food Microbiol, 2020, 90: 103460.
- [48] APLIN JJ, EDWARDS CG. Impacts of non-*Saccharomyces* species and aeration on sequential inoculation with *Saccharomyces cerevisiae* to produce lower alcohol Merlot wines from Washington state [J]. J Sci Food Agric, 2021, 101(4): 1715–1719.
- [49] 刘俊丽, 孙广玲, 黄蓉, 等. 微通氧条件下东方伊萨酵母对猕猴桃酒的降酸效果[J]. 中国食品学报, 2023, 23(4): 283–294.
- LIU JL, SUN GL, HUANG R, *et al.* The acid-reducing effect of micro-oxygenation on *Pichia kudriavzevii* in kiwi wine [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2023, 23(4): 283–294.
- [50] TOFALO R, PATRIGNANI F, LANCIOTTI R, *et al.* Aroma profile of montepulciano D’abruzzo wine fermented by single and co-culture starters of autochthonous *Saccharomyces* and non-*Saccharomyces* yeasts [J]. Front Microbiol, 2016, 7: 610.
- [51] VARELA C, BARKER A, TRAN T, *et al.* Sensory profile and volatile aroma composition of reduced alcohol Merlot wines fermented with *Metschnikowia pulcherrima* and *Saccharomyces uvarum* [J]. Int J Food Microbiol, 2017, 252: 1–9.
- [52] 王春晓, 俞俊竹, 周文亚, 等. 非酿酒酵母属酵母的葡萄酒发酵应用研究进展[J]. 中国农业科学, 2023, 56(3): 529–548.
- WANG CX, YU JZ, ZHOU WY, *et al.* Research progress on the application of non-saccharomyces during wine fermentation [J]. Sci Agric Sin, 2023, 56(3): 529–548.
- [53] LI Z, LIU Q, WU C, *et al.* *Metschnikowia pulcherrima* yeast T-2 VOCs enhances postharvest blueberry fruit resistance to *Botrytis cinerea* by activating flavonoid metabolic pathways [J]. LWT, 2024, 1: 201116112.

(责任编辑: 于梦娇 安香玉)

作者简介

魏 昭, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品检测与微生物发酵。
E-mail: w2024080808@163.com