

空心李酿酒酵母的酿造学性能分析

李银凤,黎华,唐小玉,朱文丽,刘晓柱*

(贵州理工学院,贵州 贵阳 550003)

摘要: 为分析2株空心李酿酒酵母(H9、H18)的酿造学性能,以商业化酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)X16作为对照菌株,测定菌株的生长曲线与酿造环境耐受性、产 β -葡萄糖苷酶能力、产硫化氢性能。此外,将菌株用于空心李果酒的发酵,从果酒的基本理化指标和香气特性方面,评价菌株的发酵性能。结果表明,2株空心李酿酒酵母H9和H18的生长性能整体优于X16,菌株的糖代谢性能、酿造环境耐受性、产 β -葡萄糖苷酶和产硫化氢的能力与X16一致。H18菌株可增加发酵果酒中酯类和醛酮类化合物的种类,提高醇类化合物的含量;而菌株H9则增加其它类化合物的种类,提高酯类和其它类化合物的含量。因而,分离的2株空心李酿酒酵母(H9、H18)具有酿造空心李果酒的潜能。

关键词: 酿酒酵母;空心李;生理特性;生长性能;香气成分

Oenological Properties of *Saccharomyces cerevisiae* Isolated from *Prunus salicina* Lindl. cv 'Kongxinli'

LI Yinfeng, LI Hua, TANG Xiaoyu, ZHU Wenli, LIU Xiaozhu*

(Guizhou Institute of Technology, Guiyang 550003, Guizhou, China)

Abstract: To analyze the oenological properties of two strains of *Saccharomyces cerevisiae* (*S. cerevisiae* H9 and *S. cerevisiae* H18) isolated from *Prunus salicina* Lindl. cv 'Kongxinli', growth curves and tolerances of the strains to brewing environment were determined with commercial *S. cerevisiae* X16 as control, and the β -glucosidase and hydrogen sulfide production ability were also determined. Moreover, the fruit wines were produced using these two *S. cerevisiae* strains, and the basic physiochemical parameters and volatile aroma profile were detected to further evaluate their fermentation properties. The results showed that the growth performance of *S. cerevisiae* H9 and *S. cerevisiae* H18 were better than that of X16, and the sugar metabolic performance, tolerance to brewing environment, and β -glucosidase production, and hydrogen sulfide production were similar to those of X16. *S. cerevisiae* H18 was able to increase the types of esters and aldoketones, increasing the content of alcohol compounds in the fermented fruit wine. However, *S. cerevisiae* H9 enriched the kinds of other compounds and increased the content of esters and other compounds. Therefore, *S. cerevisiae* H9 and *S. cerevisiae* H18 had the potential to ferment *P. salicina* Lindl. cv 'Kongxinli' fruit wine.

Key words: *Saccharomyces cerevisiae*; *Prunus salicina* Lindl. cv 'Kongxinli'; physiological characteristics; growth performance; aroma components

引文格式:

李银凤,黎华,唐小玉,等. 空心李酿酒酵母的酿造学性能分析[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(18): 193-197.

LI Yinfeng, LI Hua, TANG Xiaoyu, et al. Oenological Properties of *Saccharomyces cerevisiae* Isolated from *Prunus salicina* Lindl. cv 'Kongxinli' [J]. Food Research and Development, 2023, 44(18): 193-197.

空心李(*Prunus salicina* Lindl. cv 'Kongxinli'), 蔷薇科李属植物, 因其果实成熟后果核和果肉分离而得名, 主要分布在贵州省东北部、湖北省西南部以及重庆市的东部^[1]。空心李果实营养丰富, 酸甜可口, 风味

独特, 深受人们的喜爱^[2]。特别是贵州沿河的空心李, 品质更为独特, 已成为国家地理标志产品。但空心李的采收期为炎热的夏季, 其保鲜贮藏手段还不成熟, 导致鲜果保质期和货架期较短, 易褐化, 品相、口感和

基金项目: 贵州理工学院高层次人才科研启动经费项目(XJGC20190625)

作者简介: 李银凤(1984—), 女(汉), 讲师, 硕士, 研究方向: 微生物资源的挖掘与应用。

* 通信作者: 刘晓柱(1984—), 男, 教授, 博士, 研究方向: 微生物资源的挖掘与应用。

风味均易受到影响^[3]。因此,对采摘后的鲜果进行精深加工,如加工成饮品^[4-5](如发酵果酒、饮料)、果脯^[6]等,是一种有效延长鲜果保存期的手段。但目前空心李果酒酿造所用菌种均为葡萄来源的商业化酿酒酵母,缺乏优质的空心李野生酵母菌株。

酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)为果酒发酵的主要菌种,其乙醇耐受性高,发酵性能强,可将果汁原料中的糖类代谢成乙醇、二氧化碳以及各种风味物质^[7-9]。利用酿酒酵母进行果酒的生产,操作简单、品质易于控制^[10-11]。但目前商业化的酿酒酵母,大多分离于葡萄果实,为葡萄酒生产专用菌种,缺乏其它类果酒生产菌株,更未见有针对空心李果酒生产酿酒酵母的相关报道。

本课题组前期采用纯培养法对贵州沿河空心李酵母多样性进行了鉴定,从空心李果皮上分离鉴定出包括酿酒酵母在内的5大类酵母^[12]。在此基础上,本研究对分离出的2株酿酒酵母的酿造学特性进行深入分析,以期对空心李果酒的生产提供优质菌株。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

酿酒酵母 H9、H18:分离于沿河空心李,保存于贵州理工学院非酿酒酵母生理生化研究实验室;商业化酿酒酵母 ZYMAFLORE X16(X16)、果胶酶:法国 LAF-FORT 公司;空心李:市售;葡萄糖、蛋白胨、酵母浸粉、琼脂粉、亚硫酸铈培养基:贵州博奥瑞杰生物科技有限公司;蔗糖、麦芽糖、乳糖、半乳糖、对硝基苯基- β -D 吡喃葡萄糖苷(p-nitrophenyl- β -D glucopyranoside, p-NPG):上海源叶生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

紫外分光光度计(UH5300):日本日立公司;pH 计(PHSJ-3F):上海仪电科学仪器股份有限公司;体视显微镜(SZM):宁波舜禹仪器有限公司;聚合酶链式反应(polymerase chain reaction, PCR)仪(Biorad T100TM):美国伯乐公司;离心机(H3-18KR):湖南可成仪器设备有限公司;手持式糖度计(PAL-1):日本爱拓公司;超低温冰箱(DW-86L388J):青岛海尔特种电器有限公司;恒温摇床(ZD-85A):常州朗越仪器制造有限公司;恒温培养箱(DHP-420):天津泰仪仪器有限公司;电子舌味觉分析系统(SA402B):日本 INSENT 公司;气相色谱-质谱联用仪(TQ8040NX):日本岛津公司;顶空固相微萃取系统(TQ8040):美国安捷伦公司。

1.3 方法

1.3.1 菌株活化

将超低温冰箱保存的酿酒酵母 H9、H18 以及 X16(对照菌株)划线至酵母提取物蛋白胨葡萄糖培养基(yeast extract peptone dextrose medium, YEPD)(酵母浸

粉 10 g/L、蛋白胨 20 g/L、葡萄糖 20 g/L、琼脂 20 g/L)固体平板上,28℃倒置培养 48 h,4℃保存备用。

1.3.2 菌株生长曲线测定

采用刘晓柱等^[13]的光密度法测定菌株的生长曲线。将菌株 H9、H18 以及 X16 接种至 YEPD 液体培养基中,28℃、180 r/min 振荡培养 40 h,每 4 h 进行取样,于 600 nm 波长处测定其光密度值(OD_{600nm})。测定结束后,以各时间点为横坐标,以对应的 OD_{600nm} 为纵坐标,绘制菌株的生长曲线。

1.3.3 菌株糖代谢性能测定

将菌株 H9、H18 以及 X16 分别接种至 0.6%的酵母浸粉溶液中,并添加 2%的不同糖类(葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖、半乳糖)。然后在发酵液中倒置一支杜氏小管。28℃发酵 48 h,观察杜氏小管顶部是否有气泡产生。有气泡产生,则表明可代谢该糖,标记为“+”,反之,则标记为“-”。

1.3.4 菌株酿造环境耐受性分析

将菌株 H9、H18 以及 X16 分别接种至 YEPD 培养基中。YEPD 含有不同浓度的葡萄糖、乙醇、二氧化硫或柠檬酸。各处理组置于摇床上,28℃、180 r/min 培养 34 h。培养结束后,测定各处理组的 OD_{600nm} 。

1.3.5 菌株产 β -葡萄糖苷酶性能测定

菌株 H9、H18 产 β -葡萄糖苷酶性能采用刘晓柱等^[14]的 p-NPG 法进行测定。酶活力单位(U)定义为 pH5.0、50℃条件下,1 min 水解 p-NPG 产生 1 μ mol 对硝基苯酚所需酶量。

1.3.6 菌株产硫化氢性能测定

参考 Loira 等^[15]的方法对菌株 H9、H18 产硫化氢性能进行测定。比较菌株 H9、H18 在亚硫酸铈培养基上的颜色深浅从而确定其产硫化氢性能强弱。

1.3.7 菌株发酵性能测定

1.3.7.1 发酵空心李果酒的制备

选取成熟、新鲜、无霉烂的空心李,破碎榨汁,加入 100 mg/L 偏重亚硫酸钾和 20 mg/L 果胶酶处理 12 h,调整糖度至 24°Brix,并分成 2 组。一组为 H9 组,接种终浓度为 10^7 cfu/mL 的 H9 菌株;另一组为 H18 组,接种终浓度为 10^7 cfu/mL 的 H18 菌株。每组平行重复 3 次,25℃静置发酵。发酵结束后,将空心李发酵液以 3 000 r/min 离心 20 min,作为空心李果酒的基酒,用于果酒基本理化指标与香气成分分析。

1.3.7.2 空心李果酒基本理化参数测定

空心李果酒的乙醇体积分数、总糖与总酸含量的测定参照刘晓柱等^[13]的方法进行测定。空心李果酒的 pH 值采用 pH 计进行测定。

1.3.7.3 空心李果酒香气成分测定

采用顶空固相微萃取系统于 40℃条件下对空心

李果酒香气成分进行萃取,萃取时间为 30 min。以环己酮为内标,采用气相质谱联用(gas chromatography-mass spectrometer,GC-MS)系统测定空心李果酒香气成分^[16]。

1.4 统计分析

数据结果以平均值±标准差表示,采用 SPSS 21.0 进行数据单因素方差分析检验差异显著性, $P<0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 空心李酿酒酵母的生长特性

菌株 H9、H18 的生长曲线如图 1 所示。

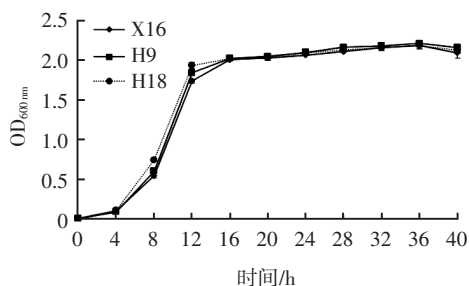


图 1 菌株 H9、H18 的生长曲线

Fig.1 Growth curves of strains H9 and H18

由图 1 可知,在培养期 40 h 内,包含了适应期、对数生长期、减速期和稳定期 4 个阶段。前 4 h 为适应期,4~12 h 为对数生长期,16~20 h 为减速期,20 h 以后为稳定期。在对数生长期菌株 H18 的生长速率高于商业化酿酒酵母 X16;在减速期,菌株 H9、H18 的生长速率较为一致,高于 X16;在稳定期,菌株 H9 和 H18 的生长特性与 X16 一致。因此,菌株 H9 和 H18 在对数生长期的生长特性优于 X16,在稳定期,菌株 H9 和 H18 生长特性与 X16 一致。综上,菌株 H9、H18 生长特性优于 X16。

2.2 空心李酿酒酵母的糖代谢特性

菌株 H9、H18 的糖代谢特性结果见表 1。

表 1 菌株 H9、H18 糖代谢特性

Table 1 Characteristics of sugar metabolism of strains H9 and H18

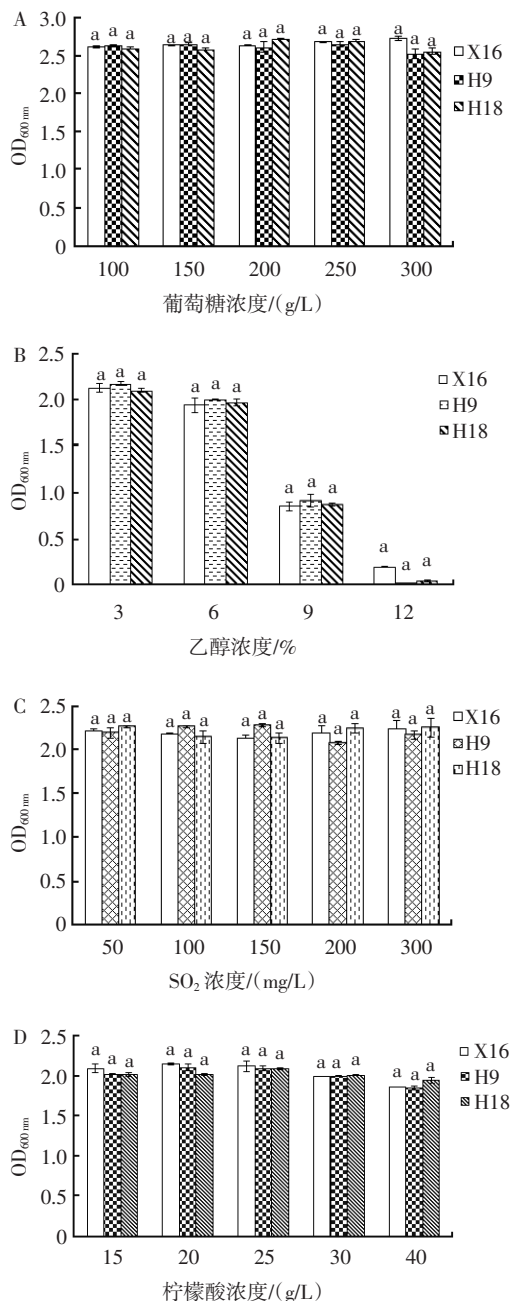
菌株编号	葡萄糖	蔗糖	麦芽糖	乳糖	半乳糖
X16	+	+	+	+	+
H9	+	+	+	+	+
H18	+	+	+	+	+

注: +表示可代谢该糖。

由表 1 可知,2 株空心李酿酒酵母均可代谢所测试的葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖和半乳糖,与商业化的酿酒酵母 X16 的特性一致。因而,菌株 H9、H18 具有较好的糖代谢特性。

2.3 空心李酿酒酵母的酿造环境耐受性

菌株 H9、H18 酿造环境耐受性结果见图 2。



A.葡萄糖耐受性;B.乙醇耐受性;C.SO₂ 耐受性;D.柠檬酸耐受性。相同小写字母表示差异不显著, $P>0.05$ 。

图 2 菌株 H9、H18 酿造环境耐受性

Fig.2 The brewing environment tolerances of strains H9 and H18

由图 2 可知,菌株 H9、H18 在葡萄糖浓度为 100~300 g/L、SO₂ 浓度 50~300 mg/L 以及柠檬酸浓度 15~40 g/L 处理下均可生长,菌体的 OD_{600nm} 与 X16 之间无显著差别($P>0.05$)。因此,2 株空心李酿酒酵母对葡萄糖、SO₂ 以及柠檬酸具有较好的耐受性。菌株 H9、H18 在 3%~6%乙醇处理下生长较好;在 9%乙醇处理下可以生长,但菌体的 OD_{600nm} 低于 3%和 6%乙醇处理组;

在12%乙醇处理下,菌株几乎不能生长。因此,H9和H18可耐受9%乙醇胁迫环境。各处理组,H9、H18和X16菌体的OD_{600nm}没有显著差异($P>0.05$),因此,菌株H9、H18对酿造环境的耐受性与商业化酿酒酵母X16性能一致。

2.4 空心李酿酒酵母的产 β -葡萄糖苷酶特性

β -葡萄糖苷酶是一类可水解含 β -葡萄糖苷键化合物的酶,有助于游离态香气化合物的释放,可用于食品、化妆品等领域的增香^[17-18]。采用p-NPG法测定的菌株H9、H18的 β -葡萄糖苷酶产生能力结果如表2所示。

表2 菌株H9、H18产 β -葡萄糖苷酶能力
Table 2 β -glucosidase activities of strains H9 and H18

菌株编号	产酶量/(U/L)
X16	25.41 $\pm$ 0.01 ^a
H9	25.52 $\pm$ 0.00 ^a
H18	25.18 $\pm$ 0.02 ^a

注:相同小写字母表示差异不显著, $P>0.05$ 。

由表2可知,菌株H9、H18的 β -葡萄糖苷酶的产量分别为(25.52 $\pm$ 0.00) U/L和(25.18 $\pm$ 0.02) U/L,与商业化酿酒酵母X16产酶量无显著差异($P>0.05$)。

2.5 空心李酿酒酵母的产硫化氢特性

硫化氢是一种具有臭鸡蛋味道的气体,会对酒体的风味产生不良影响^[19-20]。不同菌株产硫化氢特性的比较如图3所示。

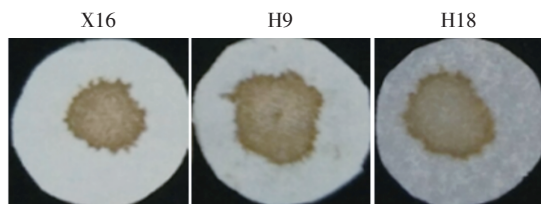


图3 不同菌株产硫化氢特性的比较

Fig.3 Analysis of hydrogen sulfide production ability of strains H9 and H18

由图3可知,菌株H9、H18滤纸片颜色为棕黄色,与商业化酿酒酵母X16的颜色基本一致。因此,菌株H9、H18的产硫化氢性能与X16一致。

2.6 空心李酿酒发酵性能分析

2.6.1 空心李果酒基酵母本理化参数

采用H9和H18酿造的空心李果酒的基本理化参数如表3所示。

由表3可知,2组发酵空心李果酒的酒精度之间没有显著差异($P>0.05$),2组空心李果酒的总糖含量、总酸含量和pH值具有显著差异($P<0.05$)。其中,菌株H18发酵空心李果酒的总糖含量和pH值显著高于H9组($P<0.05$),而总酸含量显著低于H9组($P<0.05$)。

表3 空心李果酒的理化指标

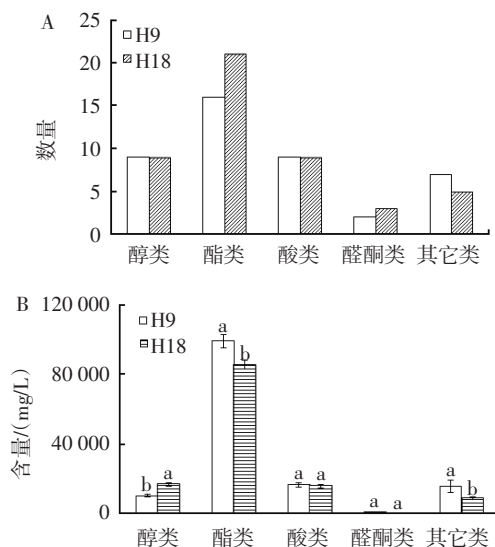
Table 3 Basic physical and chemical indicators of *Prunus salicina* Lindl. cv 'Kongxinli' fruit wine

菌株	酒精度/% vol	总糖含量/(g/L)	总酸含量/(g/L)	pH值
H9	11.00 $\pm$ 0.00 ^a	4.55 $\pm$ 0.13 ^b	14.04 $\pm$ 0.05 ^a	3.88 $\pm$ 0.03 ^b
H18	11.52 $\pm$ 0.71 ^a	4.96 $\pm$ 0.09 ^a	11.97 $\pm$ 0.08 ^b	4.03 $\pm$ 0.05 ^a

注:同列不同小写字母表示差异显著, $P<0.05$ 。

2.6.2 空心李果酒挥发性香气特性

空心李果酒香气化合物检测结果如图4所示。



A.空心李果酒挥发性香气化合物各种类数量;B.空心李果酒挥发性香气化合物含量。不同小写字母表示差异显著, $P<0.05$ 。

图4 空心李果酒挥发性香气化合物种类与含量

Fig.4 Types and amounts of volatile aroma compounds in *Prunus salicina* Lindl. cv 'Kongxinli' fruit wine

由图4A可知,2组空心李果酒中共检测出52种挥发性香气化合物,其中醇类物质10种、酯类物质22种、酸类物质9种、醛酮类物质4种、其它类物质7种。H9和H18发酵的空心李果酒中检测出相同数量的醇类和酸类化合物;H18发酵的空心李果酒含有更多数量的酯类和醛酮类化合物,但其它类化合物的数量低于H9组。

由图4B可知,尽管H9和H18两组发酵空心李果酒中醇类化合物的种类相同,但H18酵母发酵的空心李果酒中醇类化合物的含量显著高于H9酵母发酵的空心李果酒($P<0.05$)。此外,H18组中酯类化合物和其它类化合物的含量显著低于H9组($P<0.05$)。

综上,2株空心李酿酒酵母对空心李果酒香气特性的影响不同,H18菌株可增加发酵果酒中酯类和醛酮类化合物的种类,提高醇类化合物的含量;而菌株H9则增加其它类化合物的种类,提高酯类和其它化合物的含量。因而,菌株H9和H18可调节空心李果酒的香气特性,发酵的空心李果酒香气特性各具特色。

3 结论与展望

本研究分析了2株空心李来源的酿酒酵母的酿造学特性。结果表明,菌株H9和H18生长性能整体优于商业化的酿酒酵母X16,对来自于酿造环境的胁迫因素均具有较好的耐受性,与X16基本一致。此外,产 β -葡萄糖糖苷酶和硫化氢的性能也与X16之间无明显差别。因此,2株空心李酿酒酵母具有较优的生理性能。

H9、H18可较好地发酵空心李果酒,发酵酒的酒精度高、总糖含量低。2株酵母发酵的空心李果酒香气特性迥异,H9菌株具有调节挥发性酯类和其它类化合物的能力,而菌株H18则具有调节挥发性酯类和醛酮类化合物的特性。因此,2株空心李酿酒酵母具有酿造空心李果酒的潜能。但本研究仅局限于实验室规模的测试,其是否具有较好的工业应用潜能,还需要进行中试以及工业化性能的深入分析。

参考文献:

- [1] 张举印,董晓庆. 1-MCP结合MAP处理对空心李的保鲜效应[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(17): 197-201.
ZHANG Juyin, DONG Xiaoqing. Preservation effects of 1-MCP treatment combined with MAP on hollow plum[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2020, 48(17): 197-201.
- [2] 张绍阳,吴妹,李刚凤,等. 沙子空心李果干营养成分分析[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(15): 168-172.
ZHANG Shaoyang, WU Shu, LI Gangfeng, et al. Nutrition analysis of Shazikongxinli dried fruits[J]. Food Research and Development, 2020, 41(15): 168-172.
- [3] 董晓庆,刘洪滩,朱守亮,等. 1-MCP结合自发气调包装对‘空心李’果实软化和细胞壁代谢的影响[J]. 中国农学通报, 2020, 36(22): 129-135.
DONG Xiaoqing, LIU Hongtan, ZHU Shouliang, et al. Effects of 1-MCP combined with MAP on softening and cell wall metabolism of ‘Kongxinli’ plum[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2020, 36(22): 129-135.
- [4] 刘晓柱,黎华,李银凤,等. 接种异常威克汉姆酵母对空心李果酒理化特性及香气组分的影响[J]. 食品科技, 2020, 45(11): 21-27.
LIU Xiaozhu, LI Hua, LI Yinfeng, et al. Effects of inoculation *Wickerhamomyces anomalus* on the physicochemical property and aroma profile of *Prunus salicina* lindl. cv ‘Kongxinli’ fruit wine[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(11): 21-27.
- [5] 张绍阳,张银,黎江,等. 沙子空心李饮料配方工艺的优化[J]. 安徽农学通报, 2019, 25(11): 128-131.
ZHANG Shaoyang, ZHANG Yin, LI Jiang, et al. Optimizing process technology of ‘Shazikongxinli’ deverage[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2019, 25(11): 128-131.
- [6] 张绍阳,吴仕敏,李刚凤,等. 低糖沙子空心李果脯的研制[J]. 食品工业, 2020, 41(1): 8-11.
ZHANG Shaoyang, WU Shimin, LI Gangfeng, et al. Development of low-sugar *Prunus salicina* lindl. cv ‘Shazi Kongxinli’ preserved fruit [J]. The Food Industry, 2020, 41(1): 8-11.
- [7] MINEBOIS R, LAIRÓN-PERIS M, BARRIO E, et al. Metabolic differences between a wild and a wine strain of *Saccharomyces cerevisiae* during fermentation unveiled by multi-omic analysis[J]. Environmental Microbiology, 2021, 23(6): 3059-3076.
- [8] DI GIANVITO P, PERPETUINI G, TITTARELLI F, et al. Impact of *Saccharomyces cerevisiae* strains on traditional sparkling wines production[J]. Food Research International, 2018, 109: 552-560.
- [9] MINNAAR P P, DU PLESSIS H W, JOLLY N P, et al. Non-*Saccharomyces* yeast and lactic acid bacteria in Co-inoculated fermentations with two *Saccharomyces cerevisiae* yeast strains: A strategy to improve the phenolic content of Syrah wine[J]. Food Chemistry: X, 2019, 4: 100070.
- [10] 刘晓柱,李银凤,张远林,等. 鲜食葡萄来源酵母菌的鉴定及其酿造学特性分析[J]. 中国酿造, 2021, 40(3): 48-53.
LIU Xiaozhu, LI Yinfeng, ZHANG Yuanlin, et al. Identification and enology characteristics of yeast strain from table grape[J]. China Brewing, 2021, 40(3): 48-53.
- [11] DENAT M, PÉREZ D, HERAS J M, et al. The effects of *Saccharomyces cerevisiae* strains carrying alcoholic fermentation on the fermentative and varietal aroma profiles of young and aged Tempranillo wines[J]. Food Chemistry: X, 2021, 9: 100116.
- [12] 刘晓柱,黎华,曾爽,等. 空心李酵母菌多样性及酿酒特性分析[J]. 食品科技, 2020, 45(6): 11-17.
LIU Xiaozhu, LI Hua, ZENG Shuang, et al. Analysis on biodiversity and oenological property of yeasts from *Prunus salicina* lindl. cv ‘Kongxinli’ [J]. Food Science and Technology, 2020, 45(6): 11-17.
- [13] 刘晓柱,赵湖冰,李银凤,等. 一株刺梨葡萄汁有抱汉逊酵母的鉴定及酿酒特性分析[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(8): 97-104.
LIU Xiaozhu, ZHAO Hubing, LI Yinfeng, et al. Identification and oenological properties analysis of a strain of *Hanseniaspora uvarum* from *Rosa roxburghii* [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(8): 97-104.
- [14] 刘晓柱,张远林,李银凤,等. 高产 β -葡萄糖糖苷酶酵母菌的诱变选育及对刺梨果酒香气特性的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(19): 118-125.
LIU Xiaozhu, ZHANG Yuanlin, LI Yinfeng, et al. Breeding of high yield β -glucosidase yeast by mutagenesis and its effect on the aroma characteristics of *Rosa roxburghii* tratt wine[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(19): 118-125.
- [15] LOIRA I, MORATA A, COMUZZO P, et al. Use of *Schizosaccharomyces pombe* and *Torulaspora delbrueckii* strains in mixed and sequential fermentations to improve red wine sensory quality[J]. Food Research International, 2015, 76: 325-333.
- [16] LIU X Z, LI Y F, ZHAO H B, et al. Oenological property analysis of selected *Hanseniaspora uvarum* isolated from *Rosa roxburghii* Tratt [J]. International Journal of Food Engineering, 2021, 17(6): 445-454.
- [17] 张晨,贾蒙,马亚琴. β -葡萄糖糖苷酶活性稳定化技术在柑橘产品增香中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(11): 303-309.
ZHANG Chen, JIA Meng, MA Yaqin. Application of β -glucosidase activity stabilization technology in citrus flavor enhancement [J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(11): 303-309.
- [18] 汤晓宏,胡文效,蒋锡龙,等. 葡萄酒酿造过程中产 β -葡萄糖糖苷酶酵母菌研究进展[J]. 中国酿造, 2020, 39(4): 7-12.
TANG Xiaohong, HU Wenxiao, JIANG Xilong, et al. Research progress on β -glucosidase-producing yeast in the brewing process of wine[J]. China Brewing, 2020, 39(4): 7-12.
- [19] IRENE D G, VINCENT F, JEANLUC L, et al. Development of a new assay for measuring H_2S production during alcoholic fermentation: Application to the evaluation of the main factors impacting H_2S production by three *Saccharomyces cerevisiae* wine strains[J]. Fermentation, 2021, 7(4): 213.
- [20] ALLISON R B, SACKS G L. Brine-releasable hydrogen sulfide in wine: Mechanism of release from copper complexes and effects of glutathione[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2021, 69(44): 13164-13172.

加工编辑:张昱

收稿日期:2022-06-08