

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.05.004

# 甘蔗酒酿造酵母的筛选

## Screening of sugarcane brewing yeast

应 静<sup>1</sup> 游 玲<sup>2</sup> 冯学愚<sup>3</sup> 王 涛<sup>2</sup> 邱树毅<sup>1</sup>

YING Jing<sup>1</sup> YOU Ling<sup>2</sup> FENG Xue-yu<sup>3</sup> WANG Tao<sup>2</sup> QIU Shu-yi<sup>1</sup>

(1. 贵州大学酿酒与食品工程学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 宜宾学院发酵资源与应用四川省高校重点实验室, 四川 宜宾 644000; 3. 成都师范学院化学与生命科学学院, 四川 成都 611130)

(1. School of Liquor and Food Engineering, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China;  
2. College of Life Science and Food engineering, Key Laboratory of Fermentation Resources and Application at Universities of Sichuan Province, Yibin University, Yibin, Sichuan 644000, China;  
3. College of Chemistry and Life Science, Chengdu Normal University, Chengdu, Sichuan 611130, China)

**摘要:** 选择常用商业果酒酵母菌株 KD、DV10、Q23、EC1118、安琪和 H7Y7 作为供试酵母菌株, 以川蔗 17 为原料发酵生产甘蔗酒, 通过分析发酵液中糖含量变化情况及酒精度、澄清度, 比较不同菌株发酵特性, 结果发现 EC1118 菌株发酵彻底, 产酒能力最强, 发酵后甘蔗酒的高级醇含量最低; H7Y7 菌株发酵的甘蔗酒中酯类物质最高, 为其他菌株的 3~6 倍; 安琪酵母发酵液最易澄清, 但其发酵后的甘蔗酒中甲醇含量为其他菌株的 5 倍以上。感官评分结果显示, 不同酵母菌株发酵的甘蔗酒感官评分依次为 H7Y7 > EC1118 > DV10 > 安琪酵母 > Q23 > KD。研究表明, 供试酵母菌株中 EC1118 和 H7Y7 更适宜用于甘蔗酒酿造。

**关键词:** 甘蔗酒; 酵母菌; 筛选; 风味物质

**Abstract:** In order to screen yeast strains suitable for brewing sugarcane wine, the commonly used commercial fruit wine yeast strains KD, DV10, Q23, EC1118, Angel yeast and H7Y7 were selected as the tested yeast strains. Sugarcane wine was fermented by using sugarcane Chuanzhe 17 as raw material, and the sugar consumption, alcohol content and clarity of the fermentation liquid were analyzed. By comparing the fermentation characteristics of different yeasts found that EC1118 had the strongest sugar consumption and wine production capacity, and it also had the lowest alcohol production. The H7Y7 strain fermented sugarcane wine with the highest ester content, which is 3 to 6 folds

than that of other strains. Using Angel yeast for sugarcane wine fermentation was easiest to clarify, but the methanol content of Angel yeast was 5 folds than that of other yeasts. Sensory scores showed that the sensory evaluation scores of different yeast fermented sugarcane wine were H7Y7 > EC1118 > DV10 > Angel yeast > Q23 > KD. Research indicates that The EC1118 and H7Y7 yeast strains were more suitable for sugar cane brewing.

**Keywords:** sugarcane wine; yeast strains; screening; volatile flavor substances

酵母作为果酒发酵的关键因素之一, 在发酵过程中产生不同代谢物质, 直接决定酒体香气和口感, 影响果酒品质<sup>[1-2]</sup>。目前常用于果酒发酵的商业酵母包括 EC1118、FX10、DV10、EC1110、RC212、Q23 等菌株, 研究发现这些菌株对果酒品质的影响各异, Q23 酵母发酵的菠萝酒风味最佳<sup>[3]</sup>, EC1118 菌株具有较低的高级醇生成量, 广泛用于葡萄酒<sup>[4]</sup>、苹果酒<sup>[5]</sup>、猕猴桃酒<sup>[6]</sup>等果酒生产, 所酿葡萄酒花香浓郁, 刺激性较小<sup>[7]</sup>, 其发酵后的红枣酒酒精度高且发酵液易过滤, 成品酒中甲醇含量与安琪、FX10、DV10、EC1110、RC212 菌株发酵后的红枣酒相当<sup>[8]</sup>。上述常用果酒酿造酵母中, 仅安琪酵母广泛用于甘蔗酒酿造, 在最佳发酵工艺条件下乙醇浓度为 7.6%<sup>[9]</sup>。部分研究人员<sup>[10-11]</sup>也从自然环境中分离、筛选甘蔗酒酿造酵母用于甘蔗酒生产, 使酿造的甘蔗酒保留了特有的甘蔗香, 但由于这些原料来源酵母在发酵过程中存在成熟糖含量高、容易发生酸败现象、发酵水平不高等问题<sup>[12-13]</sup>, 相关菌株尚未进行商业化推广应用。

甘蔗酒是以新鲜甘蔗汁、甘蔗渣或甘蔗糖蜜为原料, 经酵母发酵后蒸馏或直接过滤得到的带有甘蔗香味的

**基金项目:** 宜宾学院博士启动项目(编号: 2016QD09); 酿酒生物技术及应用四川省重点实验室重点项目(编号: NJ2018-06)

**作者简介:** 应静, 女, 贵州大学在读硕士研究生。

**通信作者:** 游玲(1981—), 女, 宜宾学院副研究员, 博士。

E-mail: youling810521@163.com

**收稿日期:** 2019-01-16

酒<sup>[14]</sup>,其营养丰富<sup>[15]</sup>,口感香甜<sup>[16]</sup>。甘蔗酒的酿造关键在于酵母菌株的筛选,所选用的酵母发酵性能直接影响甘蔗酒风味和品质<sup>[17-18]</sup>。目前,甘蔗酒酿造普遍采用安琪酵母,或原料来源的野生型酵母,存在风味较为单一,香气不足,耐酒精能力低,发酵水平不高等问题,因此,亟待筛选出甘蔗酒酿造的专用酵母,以改善甘蔗酒风味,提高甘蔗酒质量。

本研究拟以新鲜甘蔗为原料,选用 5 种常用于果酒酿造的商业酵母菌株及 1 株分离自浓香型白酒糟醅的产香酵母菌株酿造甘蔗酒,通过比较不同酵母甘蔗发酵液的理化指标,分析成品甘蔗酒中甲醇含量及主要挥发性风味物质,对甘蔗酒进行感官评价,旨在为优质甘蔗酒酿造筛选合适的酵母,为甘蔗酒的研发和甘蔗产业化发展提供数据支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

#### 1.1.1 材料与试剂

甘蔗:川蔗 17,购自宜宾当地农户所栽种甘蔗;

酵母菌株:KD、DV10、EC1118、Q23,法国莱蒙特葡萄酒酵母公司;

安琪活性干酵母:安琪酵母股份有限公司;

H7Y7 产香酵母菌株:分离自白酒糟醅,现保存于宜宾学院生命科学与食品工程学院四川省固态发酵资源利用省重点实验室;

叔戊醇:色谱纯,成都市科隆化学品有限公司;

正丙醇、异丁醇、正丁醇、异戊醇、 $\beta$ -苯乙醇、乙酸乙酯、丁酸乙酯、乳酸乙酯、乙酸异戊酯、己酸乙酯、乙醛、乙缩醛 12 组分混合标样:色谱纯,郑州谱析科技有限公司;

YPD 固体培养基:1% 酵母膏,2% 蛋白胨,2% 葡萄糖,2% 琼脂粉,pH 自然,121 °C 灭菌 30 min。

#### 1.1.2 主要仪器设备

气相色谱仪:Agilent 7890A 型,安捷伦科技有限公司;

榨汁机:WJ-80A 型,广州万将家电有限公司;

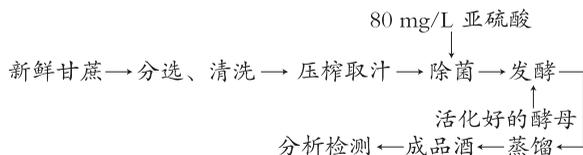
紫外可见分光光度计:T6 型,北京普析通用仪器有限责任公司;

数显糖度计:PAL-1 型,维欣仪奥科技公司;

恒温水浴锅:HH.WH.600S 型,上海跃进医疗器械有限公司。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 工艺流程



1.2.2 菌种活化及扩大培养 直接挑取平板培养 24 h 的 H7Y7 菌株单菌落,并称取 EC1118、DV10、Q23、KD、安琪酵母干粉各 1 g 分别加入到 200 mL 4% 葡萄糖及甘蔗汁的等体积混合溶液中,25 °C 震荡培养 24 h,加入无菌水调整酵母数为  $10^8$  CFU/mL,备用。

1.2.3 发酵 选取新鲜、无病虫害的成熟甘蔗,洗净、榨汁,在甘蔗汁中加入适量亚硫酸(最终浓度为 80 mg/L)<sup>[19]</sup>以抑制杂菌生长,将处理好的甘蔗汁装入 2 000 mL 广口瓶,装液量 90%<sup>[8]</sup>,分别接入 20 mL 菌液,瓶口用 4 层无菌纱布封口,于 22 °C 恒温培养箱发酵,当发酵液开始出现大量气泡时,补加 120 g 蔗糖继续发酵<sup>[20]</sup>,直至发酵液不再有大量气泡冒出,糖度不再减少,瓶底有沉淀时结束发酵。

1.2.4 蒸馏 将发酵结束的 2 000 mL 发酵液在 80 °C, -65 kPa 条件下进行减压蒸馏,蒸馏瓶上端设置 10 cm 冷却回流装置,并去掉首段 10 mL 馏出液,收集中间段得到甘蔗酒。

1.2.5 糖度测定 根据文献[3]。

1.2.6 酒精含量测定 按 GB/T 15038—2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》的酒精计法执行。

1.2.7 透光率测定 根据文献[21]。

1.2.8 甲醇含量测定 按 GB 5009.266—2016《食品安全国家标准 食品中甲醇的测定》的气相色谱毛细管柱内标法执行。

1.2.9 香气成分测定 根据文献[22]修改如下:采用 Lzp930 毛细管柱(50 m×0.25 mm×0.25  $\mu$ m);进样体积 1  $\mu$ L;载气流速氮气(N<sub>2</sub>)1.5 mL/min;分流比 40:1;进样口温度 220 °C;氢火焰离子化检测器 220 °C;柱温升温程序:柱温 55 °C,保持 3 min,以 3.5 °C/min 升温至 150 °C,保持 1 min;最后以 10 °C/min 升温至 200 °C,保持 30 min。相同条件下测定 3 个平行样,数据取平均值。

1.2.10 感官评价 参照 Q/GYY0001S—2016、DBS45 004—2013 及 GB/T 15038—2006,制定了适合于甘蔗酒的感官评分标准。选取 20 位(10 男 10 女)经过感官评定训练的食品专业学生组成评价小组,严格按照品评相关要求,对不同酵母发酵的甘蔗酒从色泽、香气、口感和风格 4 个方面进行感官评定,并填写感官评定表,取平均值作为产品的综合评分。评分标准如表 1 所示。

### 1.3 数据处理

采用 Excel 2003 软件对数据进行处理,Origin 8.0 软件进行结果分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同酵母菌株对甘蔗发酵液理化性质的影响

2.1.1 对耗糖情况的影响 由图 1 可知,6 种酵母在甘蔗酒发酵过程中总耗糖量逐渐增加,最终耗糖量依次为菌

表 1 甘蔗酒感官评分

Table 1 Standard of sensory scores of sugarcane wine

项目	评分标准	分数
色泽 (10分)	无色,清澈透明,有光泽,无悬浮	8~10
	无色,澄清透明,无杂质	6~8
	无色,较透明,光泽暗淡	4~6
香气 (30分)	稍显浑浊,不透明,色泽差	0~4
	具有浓郁、协调的甘蔗甜香和酒香	25~30
	具有浓郁的甜香和酒香,香味较协调	20~25
口感 (40分)	甘蔗甜香和酒香平淡,无异臭异味	15~20
	无正常果香和酒香,有异味	0~15
	口感甜润、酒体协调	35~40
风格 (20分)	酸甜爽口,酒体较丰满	25~35
	口感一般,较寡淡,稍有酸涩味	15~25
	酸味重,味杂	0~15
	具有甘蔗酒特有的典型性,风格独特	15~20
	具有甘蔗酒典型性,风格良好	10~15
	甘蔗果酒风格不明显	5~10
	无甘蔗酒风格	0~5

株 EC1118>KD>DV10>Q23>安琪酵母>H7Y7,其中,KD,DV10、Q23 和 EC1118 菌株在发酵 1 d 左右起酵,开始大量耗糖。安琪酵母在发酵 2 d 左右起酵,且可观察到发酵液中有大量气泡冒出,说明发酵旺盛。发酵 6 d 后,Q23 和安琪酵母菌株的耗糖量不再明显增加,KD、DV10 2 种酵母在发酵的 1~7 d 耗糖速率和耗糖量基本一致,H7Y7 起酵较晚,到 3 d 左右才开始大量耗糖,且耗糖速度慢,最终耗糖量低于其他供试酵母,仅 142 g/L,比耗糖量最高的 EC1118 少 47 g/L,说明其发酵能力相对较差。

2.1.2 对澄清度的影响 发酵液透光率直接反映澄清度,不同酵母菌株发酵的甘蔗汁透光率都呈先减少再增加的趋势,与王洋等<sup>[23]</sup>研究结果一致。不同酵母菌株因

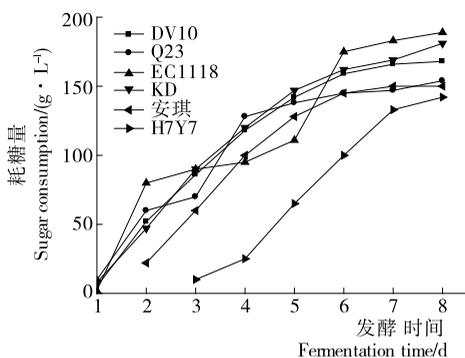


图 1 不同酵母菌株对甘蔗发酵液中耗糖的影响  
Figure 1 Sugar consumption by different yeast strains in sugarcane fermentation

自身絮凝沉降能力差异而对发酵液澄清度产生不同程度的影响(图 2)。由图 2 可知,EC1118、H7Y7、KD、DV10 菌株在发酵第 4 天透光率达最低,Q23 和安琪酵母菌株在发酵第 5 天达最低,最终发酵液透光率安琪酵母最大为 85%,其次是 EC1118(80%)和 Q23(73%),透光率最低为 DV10(54%)。由上可知,安琪酵母的絮凝能力最强,其发酵后的甘蔗汁澄清度最好,其次是 EC1118 菌株,DV10 菌株最差。因此,若生产甘蔗酿造酒,可选择絮凝能力较好的酵母菌株,如 EC1118 菌株发酵甘蔗汁,若生产甘蔗白兰地或朗姆酒等,则可不考虑酵母对发酵液澄清度的影响。

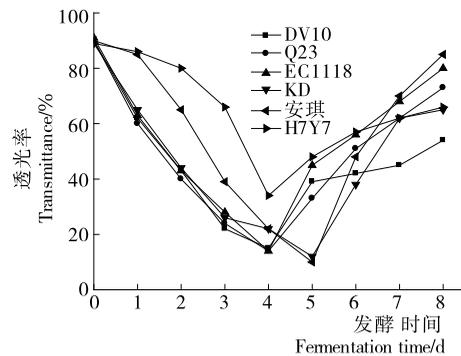
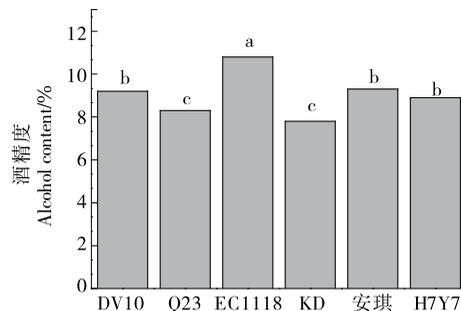


图 2 不同酵母菌株对甘蔗发酵液澄清度的影响  
Figure 2 Influence of clarity by different yeast strains in sugarcane fermentation

2.1.3 对乙醇生成量的影响 由图 3 可知,菌株 EC1118 发酵甘蔗酒乙醇含量最大为 10.8%,与安琪酵母(9.3%)、DV10(9.2%)、H7Y7(8.9%)差异显著,Q23 与 KD 菌株在产乙醇方面无明显差异,KD 菌株发酵甘蔗酒产乙醇量最低,为 7.8%。结合耗糖情况,EC1118 菌株发酵产乙醇含量最高,发酵性能最好。

2.2 不同酵母菌株对甘蔗酒中甲醇含量的影响

甲醇是一种神经毒物,含量过高,会对饮酒者健康带来不利影响<sup>[24]</sup>。甘蔗酒中甲醇主要来源于果胶、纤维素



字母不同代表有显著性差异(P<0.05)  
图 3 不同酵母菌株对甘蔗发酵液酒精度的影响  
Figure 3 Influence of alcohol by different yeast strains in sugarcane fermentation

降解等,这些都与发酵菌种本身代谢和发酵有关<sup>[25]</sup>。由图 4 可知,安琪酵母发酵的甘蔗酒中甲醇含量最高,达到了 588.901 mg/L,其次是 KD 菌株(130.911 mg/L),其他 4 种酵母甲醇含量差别不大且偏低,均在 GB 2757—2012 规定的  $\leq 2.0$  g/L(以 100%酒精度计)内。由此,使用 EC1118、H7Y7、Q23 和 DV10 菌株发酵生产甘蔗酒可更加有效减少酒中甲醇含量。

### 2.3 不同酵母菌株对甘蔗酒中风味物质的影响

使用气相色谱结合外标法对不同酵母发酵甘蔗酒中 12 种主要挥发性物质的检测,结果见表 2。

高级醇是构成甘蔗酒香味的重要成分,也是多种酸、

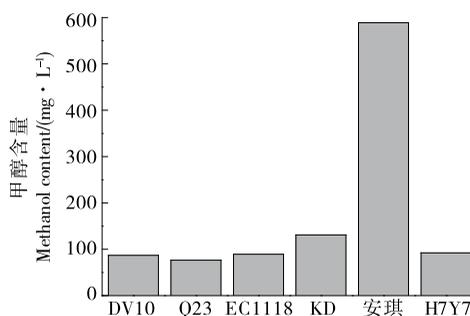


图 4 不同酵母菌株对甘蔗酒甲醇含量的影响

Figure 4 Influence of methanol by different yeast strains in sugarcane wine

表 2 甘蔗酒主要挥发性风味物质及含量<sup>†</sup>

Table 2 The volatile aroma compounds and content in sugarcane wine

化合物	含量/(mg · L <sup>-1</sup> )						香味描述
	EC1118	H7Y7	Q23	KD	安琪	DV10	
正丙醇	33.178	28.178	31.874	12.156	10.005	39.265	花香、水果香
异丁醇	12.617	38.615	11.980	23.001	37.394	14.988	酒精味
正丁醇	0.886	0.816	0.098	0.262	0.390	0.277	水果香
异戊醇	61.457	109.317	100.054	114.818	146.532	73.659	苹果白兰地香
$\beta$ -苯乙醇	0.275	1.351	1.124	1.685	2.802	1.221	玫瑰花香
乙酸乙酯	5.219	27.237	7.043	3.546	7.801	7.792	水果香
丁酸乙酯	0.266	0.220	0.195	0.082	0.099	0.086	菠萝香、苹果香
乳酸乙酯	0.149	0.680	ND	ND	0.116	ND	酒香
乙酸异戊酯	ND	0.322	0.405	0.346	1.037	0.187	香蕉香
己酸乙酯	0.907	0.798	0.738	0.703	0.740	0.647	苹果香、水果香
乙醛	12.887	15.037	11.392	4.078	4.378	12.804	果香味、清香
乙缩醛	7.800	9.601	4.252	1.243	3.124	6.416	芳香

<sup>†</sup> “ND”表示未检测到该物质。

酯的前体物质,适量高级醇可使甘蔗酒口感丰满醇厚,反之,则导致酒苦、辣、糙、涩,同时引起头昏头痛,对身体造成伤害<sup>[26]</sup>。由图 5 可知,甘蔗酒中高级醇较多为异戊醇、正丙醇和异丁醇等。异戊醇具有浓郁的苹果白兰地香<sup>[27]</sup>,含量过多会影响酒的品质,EC1118 菌株发酵甘蔗酒中异戊醇为 61.457 mg/L,明显低于 KD(114.818 mg/L)、DV10(73.659 mg/L)、Q23(100.054 mg/L)、H7Y7(109.317 mg/L)和安琪(146.532 mg/L)5 种酵母;从高级醇总量来看,EC1118 菌株发酵甘蔗酒高级醇总量最低为 108.413 mg/L,说明 EC1118 菌株能有效降低甘蔗酒中高级醇含量,使酒液更纯净透明,香味丰富,口感柔和。此外,在甘蔗酒中还检测了具有玫瑰香的  $\beta$ -苯乙醇和具有水果香<sup>[28]</sup>的正丁醇等,这些物质是赋予甘蔗酒丰富香味不可忽视的挥发性成分。

酯类物质具有令人愉悦的酯香和水果香气,对甘蔗酒的芳香呈现重要作用<sup>[29]</sup>。由图 6 可知,甘蔗酒中酯类较多为乙酸乙酯,乙酸乙酯赋予甘蔗酒浓郁的水果香,对

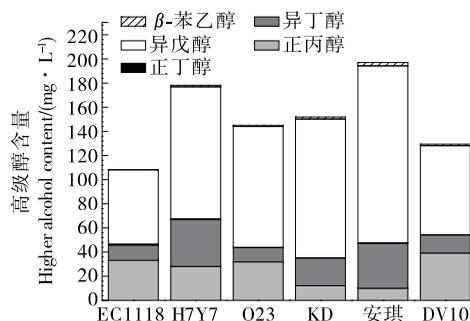


图 5 不同酵母对甘蔗酒高级醇含量的影响

Figure 5 Influence of higher alcohol by different yeast strains in sugarcane wine

其风味具有不可替代的作用。此外,检测到具有苹果香的己酸乙酯、酒香的乳酸乙酯、菠萝香的丁酸乙酯及具有香蕉香的乙酸异戊酯等<sup>[30]</sup>。从产酯总量来看,H7Y7 菌株发酵甘蔗酒中酯类物质含量为 29.258 mg/L,明显高于 KD(4.676 mg/L)、DV10(8.712 mg/L)、Q23(8.381 mg/L)、

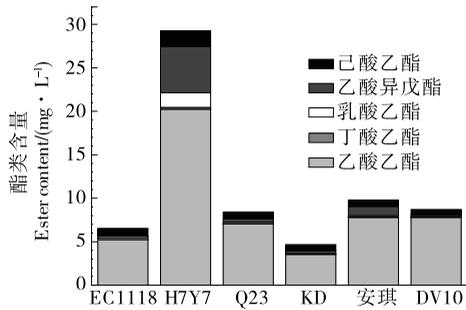


图6 不同酵母菌株对甘蔗酒酯类物质含量的影响

Figure 6 Influence of ester substance by different yeast strains in sugarcane wine

EC1118(6.542 mg/L)和安琪(9.793 mg/L)5种酵母,以上结果说明,酵母H7Y7发酵生产的甘蔗酒酯香更为浓郁。

另外,甘蔗酒中还检测了具有果香味的乙醛和具有花香味的乙缩醛,这2种醛类物质在薛家岭等<sup>[31]</sup>分析的以糖浆、废糖蜜为原料生产的甘蔗酒中均未检测出,可能是发酵原料和酵母种类差异所致,其中,KD和安琪酵母菌株发酵的甘蔗酒中乙醛和乙缩醛含量明显低于其他4种酵母,醛类物质在酒中含量虽少,却是酒体风味形成必不可少的。甘蔗酒的风味不是由单一香味物质组成,而是源于构成香气的酯类、酸类、醇类、醛酮类等物质相互协调作用而形成,正是这些物质,构成了甘蔗酒特有的风味。

#### 2.4 不同酵母菌株对甘蔗酒风味的影响

由表3可知,H7Y7菌株发酵的甘蔗酒评分最高为86分,澄清透亮,具有协调的甜香和酒香,酯香突出,风格独特。EC1118菌株的次之,酒液无色透明,酒香明显,风格典型。DV10菌株的具有正常的果香和酒香,香较协调,味较淡。安琪酵母和Q23菌株的感官评分结果较为接近,分别为70分和68分,酒香较好,果香不突出,口感一般,稍有酸味。KD菌株发酵的甘蔗酒评分最低为61分,味较杂,口感较差。H7Y7菌株发酵的甘蔗酒酯香突出,与其气相色谱检测结果中酯类物质含量最高相符,KD菌株发酵的甘蔗酒评分最低与高级醇含量高而酯类物质

表3 不同酵母菌株对甘蔗酒感官风味的影响

Table 3 Sensory characteristics of sugarcane wine by different yeast strains

酵母菌	色泽	香气	口感	风格	总分
EC1118	10	21	34	17	82
H7Y7	10	26	35	15	86
Q23	10	20	26	12	68
KD	8	17	25	11	61
安琪	10	21	25	14	70
DV10	9	22	30	15	76

含量低有关。由上表明,不同酵母菌株对甘蔗酒的感官品质有明显影响,H7Y7和EC1118菌株发酵的甘蔗酒风味优于其他4株供试酵母菌株。

### 3 结论

选用5种常用果酒酵母菌株KD、DV10、Q23、EC1118、安琪及1株分离自白酒糟醅的产香酵母H7Y7发酵甘蔗酒,筛选出了适合甘蔗酒酿造的酵母菌株EC1118和H7Y7。EC1118菌株产酒能力最大,甘蔗甜香、酒香明显,H7Y7菌株发酵的甘蔗酒感官评分最高,酯香明显,产酯能力强。EC1118菌株因其发酵性能好,用于多种果酒生产,本研究证实该酵母也适用于甘蔗酒发酵;H7Y7菌株作为分离自白酒糟醅的产香酵母,用于甘蔗酒发酵时也体现了很强的产酯生香能力,且目前该酵母菌株正在商业化过程中,也可作为甘蔗酒生产的备选酵母。后续将针对这2株酵母在甘蔗酒发酵中的应用,优化其发酵工艺,并进一步探讨双菌混合发酵等工艺,为优质甘蔗酒的生产提供更多备选方案。

#### 参考文献

- [1] 周静芳,肖冬光,许引虎,等. 苹果酒发酵中酵母菌株的筛选[J]. 酿酒科技, 2006(8): 31-34.
- [2] 蒋成,魏妙宏,刘路,等. 猕猴桃果酒专用酵母的筛选与鉴定[J]. 食品与机械, 2018, 34(6): 202-207.
- [3] 马丽娜,袁源,林丽静,等. 不同酿酒酵母在菠萝果酒中的发酵特性[J]. 食品工业科技, 2018(3): 12-16.
- [4] 任玉巧,徐鹏哲,张正文,等. 小芒森葡萄酿造甜白葡萄酒发酵工艺研究[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2012(4): 49-50.
- [5] 牛浩. 苹果品种及酵母菌株对苹果酒香气及理化性质影响的研究[D]. 烟台: 烟台大学, 2015: 10-12.
- [6] TOWANTAKAVANIT K, PARK Y K, PARK Y S. Quality changes in 'Hayward' kiwifruit wine fermented by different yeast strains[J]. Korean Journal of Food Preservation, 2010, 17(2): 174-181.
- [7] 秦伟帅. 葡萄酒酵母遗传操作构建高级醇低产菌株的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2013: 17-19.
- [8] 黄孟阳. 红枣酒发酵过程中甲醇变化规律及控制研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2017: 32-33.
- [9] 李敏杰,熊亚. 甘蔗酒发酵工艺条件的研究[J]. 宝鸡文理学院学报: 自然科学版, 2009, 29(2): 43-46.
- [10] 邓毛程,王瑶,李静,等. 甘蔗汁酿酒酵母的筛选及特性[J]. 中国酿造, 2013, 32(9): 54-56.
- [11] 张远平,李静,蚁细菌,等. 甘蔗白酒发酵工艺对产酒和产酯影响的研究[J]. 广西糖业, 2013(3): 28-31.
- [12] 鲁龙. 甘蔗果酒发酵特性及工艺研究[D]. 重庆: 西南大学, 2014: 16-19.
- [13] 李秀萍. 新鲜甘蔗蔗汁发酵生产营养型果酒的研究[D]. 南宁: 广西大学, 2015: 20-24.

(下转第31页)

- 定和酿造性能评价[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(11): 14-20.
- [4] 王染霖. 天山北麓酿酒葡萄产区葡萄与葡萄酒品质研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2015: 2-5.
- [5] 马莉涛. 玛纳斯河流域酿酒葡萄赤霞珠和梅鹿辄的适应性研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2008: 6-9.
- [6] NIELSEN J, PRONK J T. Metabolic engineering, synthetic biology and systems biology [J]. *Fems Yeast Research*, 2012, 12(2): 103-103.
- [7] 杨明琰, 郭爱莲, 沈俭, 等. 高产 SOD 酵母菌的诱变选育及发酵条件研究[J]. 食品科学, 2005, 26(10): 147-150.
- [8] KIM J W, CHIN Y W, PARK Y C, et al. Effects of deletion of glycerol-3-phosphate dehydrogenase and glutamate dehydrogenase genes on glycerol and ethanol metabolism in recombinant *Saccharomyces cerevisiae*[J]. *Bioprocess & Biosystems Engineering*, 2012, 35(1/2): 49-54.
- [9] YUAN Jun, ZHAO Ben, SUN Meng-yu, et al. A new mutation breeding method for *Streptomyces albulus* by an atmospheric and room temperature plasma[J]. *African Journal of Microbiology Research*, 2012, 6(13): 3 154-3 158.
- [10] LU Yuan, WANG Li-yan, MA Kun, et al. Characteristics of hydrogen production of an *Enterobacter aerogenes* mutant generated by a new atmospheric and room temperature plasma (ARTP)[J]. *Biochemical Engineering Journal*, 2011, 55(1): 17-22.
- [11] 陈瑞龙, 庄莹, 贺彬彬, 等. 植物乳杆菌细菌素高产菌株的诱变选育及其对肉丸的防腐保鲜作用[J]. 食品工业科技, 2018, 39(22): 121-127.
- [12] 赵宇, 刘珊珊, 陈叶福, 等. ARTP 诱变以及基因组重排筛选具有耐高温性能的酿酒酵母[J]. 现代食品科技, 2017, 33(11): 37-41.
- [13] 曲文娟, 张天, 马海乐, 等. 高产蛋白酶菌株等离子体诱变及其在提高豆粕发酵效果中的应用[J]. 现代食品科技, 2018, 34(10): 133-140.
- [14] 秦艳飞, 余飞, 朱振坤, 等. 常压室温等离子体(ARTP)诱变选育恩拉霉素高产菌株[J]. 食品与发酵科技, 2018, 54(3): 32-36.
- [15] 郑莉焯. 耐高渗啤酒酵母的选育及其发酵特性的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013: 16-19.
- [16] 熊建春. 甘蔗威士忌酯香酵母菌的选育及发酵工艺研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010: 25-30.
- [17] 司晓光, 郭刚, 王小霞, 等. 常压室温等离子体快速诱变选育丙酮酸高产菌株[J]. 食品工业科技, 2014, 35(20): 241-243.
- [18] 薛刚, 陈利娟, 吴斌, 等. ARTP 诱变选育高温蛋白酶高产菌株及其酶学性质研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(1): 177-180, 206.
- [19] 李小坤, 王旺, 林影, 等. 常压室温等离子体(ARTP)诱变选育高核酸酿酒酵母[J/OL]. 现代食品科技: 1-9[2018-12-04].
- [20] 朱瑞敏, 邱晨曦, 韩悦, 等. 微生物育种物理诱变技术 ARTP 的应用进展[J]. 生物技术世界, 2016(4): 20-23.
- [21] 赵天惠. 枯草芽孢杆菌脉冲强光诱变及其发酵性能研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2017: 21-26.
- [22] 江汉湖, 董明盛. 食品微生物学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010: 189-210.
- (上接第 25 页)
- [14] 邹毅, 李楠. 甘蔗酒、卡沙萨酒和朗姆酒比较研究[J]. 轻工科技, 2013(11): 1-3.
- [15] 王正学. 一种利用甘蔗酿酒的方法: 中国, 103642660 B[P]. 2015-02-11.
- [16] DUARTEALMEIDA J M, SALATINO A, GENOVESE M I, et al. Phenolic composition and antioxidant activity of culms and sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) products[J]. *Food Chemistry*, 2011, 125(2): 660-664.
- [17] 黄美娥, 高忠松, 张羽, 等. 白茅根—甘蔗饮料的研制[J]. 食品与发酵工业, 2006, 32(2): 141-143.
- [18] 张宇, 邱林权, 陈绍军, 等. 紫甘薯—甘蔗酒发酵工艺条件的优化[J]. 中国酿造, 2014, 33(10): 151-155.
- [19] 李文辉, 李宛妍, 李俊毅, 等. 杨梅酒发酵酸度变化影响因素的研究[J]. 酿酒科技, 2017(8): 55-60.
- [20] 杨芳, 刘铁, 刘燕, 等. 发酵型桑葚果酒主要成分动态变化规律及香气成分分析[J]. 食品与机械, 2018, 34(6): 15-20.
- [21] 吴谋成. 食品分析与感官评定[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 15-20.
- [22] YOU Ling, WANG Tao, YANG Zhi-rong, et al. Performance of indigenous yeasts in the processing of Chinese strong-flavoured liquor during spontaneous mixed solid-state or submerged fermentation[J]. *Journal of the Institute of Brewing*, 2015, 121(121): 295-303.
- [23] 王洋, 叶阳, 叶翠, 等. 不同澄清方式对红枣米酒澄清效果的研究[J]. 食品工业, 2016(1): 1-5.
- [24] 武晓娜, 康富帅, 阎锐鸣, 等. 低甲醇甘蔗酒的酿造工艺研究[J]. 现代食品科技, 2012, 28(6): 670-671.
- [25] 武晓娜. 降低甘蔗蒸馏酒中甲醇生产量的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012: 34-36.
- [26] 齐晓茹, 师旭, 王颖, 等. 赤霞珠干红葡萄酒中甲醇、乙酸乙酯、高级醇含量的测定[J]. 酿酒科技, 2018(3): 27-33.
- [27] 汪家铭. 异戊醇发展前景乐观[J]. 应用科技, 1999(4): 16-18.
- [28] 宋慧丽. 河西走廊原产赤霞珠干红葡萄酒酿制中挥发性风味物质变化的分析[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2009: 19-21.
- [29] 范丽. 苹果酒酵母中合成酯类化合物关键酶的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2005: 18-19.
- [30] WANG Pei-xuan, MAO Jian, MENG Xiang-yong, et al. Changes in flavour characteristics and bacterial diversity during the traditional fermentation of Chinese rice wines from Shaoxing region[J]. *Food Control*, 2014, 44(44): 58-63.
- [31] 薛家玲, 苏伟明, 胡雪琼, 等. 蔗汁、糖浆和废糖蜜酿制甘蔗酒的风味比较[J]. 食品工业科技, 2014, 35(8): 192-196.