

扣囊复膜酵母在红枣酒中的应用

雷炎¹, 刘梦琦¹, 易秦振¹, 单春会², 侯强川¹, 郭壮^{1*}

(1. 湖北文理学院 食品科学技术学院 鄂西北传统发酵食品研究所, 湖北 襄阳 441053;

2. 石河子大学食品学院, 新疆 石河子 832000)

摘要: 采用纯培养技术对 10 个采集自大竹县东柳乡的米酒曲样品蕴含的酵母菌进行分离鉴定, 结果表明, 24 株酵母菌中 16 株被鉴定为 *Saccharomycopsis fibuligera* (扣囊复膜酵母), *S. fibuligera* 为米酒曲中的优势酵母菌。选取 *S. fibuligera* 分离株制备红枣酒并对其品质进行评价, 结果发现红枣酒酒精度在 8.1%vol~11.9%vol, 可溶性固形物含量在 7.59%~17.21%。色度仪结果表明, 红枣酒颜色整体偏红偏黄。电子鼻结果表明, 乙醇为红枣酒挥发性化合物的主要成分。电子舌结果表明, 红枣酒在酸味指标上差异最大, 相对强度的极差值为 4.48。主成分分析结果表明, *S. fibuligera* HBUAS61136 酿造的红枣酒具有较好的风味品质和较高的酒精度。

关键词: 扣囊复膜酵母; 红枣酒; 电子鼻; 电子舌; 品质

Application of *Saccharomycopsis fibuligera* in Jujube Wine

LEI Yan¹, LIU Meng-qi¹, YI Qin-zhen¹, SHAN Chun-hui², HOU Qiang-chuan¹, GUO Zhuang^{1*}

(1. Northwest Hubei Research Institute of Traditional Fermented Food, School of Food Science and Technology,

Hubei University of Arts and Science, Xiangyang 441053, Hubei, China; 2. Food College of Shihezi

University, Shihezi 832000, Xinjiang, China)

Abstract: Ten rice wine koji samples were collected from Dongliu Township, Dazhu County, and yeast strains were isolated and classified by pure culture techniques. The result indicated that 16 isolates out of the whole 24 isolates were identified as *Saccharomycopsis fibuligera*, and *S. fibuligera* was the domain yeast strains in rice wine koji. The qualities of jujube wine samples which were fermented by *S. fibuligera* isolates were evaluated, and the results showed that the alcohol content of jujube wine ranged from 8.1%vol to 11.9%vol, and soluble solids content ranged from 7.59% to 17.21%. The result of colorimeter indicated that color of jujube wine tended to red and yellow. The results of electronic nose and electronic tongue indicated that ethanol was the domain component of volatile compounds, and there was greatest difference in sourness index with range value of relative abundance of 4.48. Principal component analysis showed that the jujube wine fermented by *S. fibuligera* HBUAS61136 with better flavor quality and higher content of alcohol.

Key words: *Saccharomycopsis fibuligera*; jujube wine; electronic nose; electronic tongue; quality

引文格式:

雷炎, 刘梦琦, 易秦振, 等. 扣囊复膜酵母在红枣酒中的应用[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(5): 131-136.

LEI Yan, LIU Mengqi, YI Qinzheng, et al. Application of *Saccharomycopsis fibuligera* in Jujube Wine [J]. Food Research and Development, 2021, 42(5): 131-136.

扣囊复膜酵母 (*Saccharomycopsis fibuligera*) 又称

基金项目: 新疆重点产业支撑计划项目 (2018DB002)

作者简介: 雷炎 (1999—), 女 (汉), 本科, 研究方向: 食品生物技术。

* 通信作者: 郭壮 (1984—), 男, 副教授, 博士, 研究方向: 食品生物技术。

扣囊复膜孢酵母, 隶属于子囊菌门 (Ascomycota) 中的酵母科 (Saccharomycopsidaceae), 通过多极出芽和形成菌丝体进行增殖, 是一类产子囊孢子的二形态酵母^[1]。由于具有高产淀粉酶^[2]、酸性蛋白酶^[3]和 β -葡萄糖苷酶^[4]的特性, *S. fibuligera* 可利用蔗糖、纤维二糖和可溶性淀

粉等碳水化合物产酒精,加之具有一定的产酯能力^[6],因而被认为在酿酒工业中具有较大的应用潜力。研究表明,米酒曲^[6-7]、绍兴黄酒酒药^[8]及浓香型、酱香型和清香型白酒酒曲中^[9]蕴含了丰富的 *S. fibuligera* 菌株资源,因而从酒曲中进行 *S. fibuligera* 菌株的分离具有较大的可行性^[10]。不同地域来源的同种微生物菌株,其遗传多样性和发酵特性均存在较大差异^[11]。作为中国地理标志产品,东柳醪糟以糯米为原料使用米酒曲发酵而成,酿造历史悠久且颇具地方特色,因而从其酒曲中进行 *S. fibuligera* 的分离具有较强的可操作性。

作为发酵果酒,红枣酒是以红枣为原料,通过酵母菌的代谢将自身含有的糖转化为酒精,因具有浓郁的红枣果香和清爽的口感而深受消费者喜爱^[12]。和东芹研究发现使用 *S. fibuligera* E9802 酿造的红枣酒枣香突出、酒体丰满且风味良好^[13],因而将 *S. fibuligera* 用于红枣酒的酿造具有一定可行性。色度仪^[14]、电子舌^[15]和电子鼻^[16]等测试技术的出现,实现了食品色泽、滋味和风味品质的数字化评价,具有对研究人员专业知识要求低和结果受主观因素影响小的优点,广泛用于食品的品质评价中。

采用纯培养技术,本研究拟从四川省达州市大竹县的东柳米酒曲中进行 *S. fibuligera* 菌株的分离,并从理化指标、色泽、风味和滋味等维度对分离株酿造红枣酒的品质进行评价,在进一步论证 *S. fibuligera* 用于红枣酒酿造可行性的同时,亦为后续相关研究的开展提供菌株支持。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

引物 M13F(-47)/M13R(-48)、NS1/NL4:武汉天一辉远生物科技有限公司;Axygen PCR 清洁试剂盒:康宁生命科学吴江有限公司;DL15000 Marker、DL2000 Marker、PCR buffer、rTaq DNA 聚合酶、pMD18-T 克隆载体:宝生物工程(大连)有限公司;骏枣(*Jun jujube*):新疆维吾尔自治区石河子市;白砂糖:市售;马铃薯葡萄糖琼脂(PDA)、酵母粉麦芽糖(YM)培养基:青岛海博生物技术有限公司;偏重亚硫酸钾:意大利 ESSECO 公司;果胶酶(50 000U/g):和氏璧生物科技有限公司;酒石酸(食品级):湖北糖柜食品有限公司;电子舌配套溶液:日本 INSENT 公司。

HR40-II B2 型生物安全柜:青岛海尔股份有限公司;CR21N 高速离心机:日本日立公司;PTC-100PCR 仪:美国 Bio-Rad 公司;LHR-150 生化培养箱:上海一恒科学仪器有限公司;9231 破壁榨汁机:奥克斯集团

有限公司;SHZ-D 循环水式真空泵:巩义市予华仪器有限公司;RE52CS 旋转蒸发器:上海亚荣生化仪器厂;FCH6-20 智能高低循环水器:山东海能科学仪器有限公司;Abbemat350 全自动折光仪:奥地利安东帕公司;UltraScan PRO 色度仪:美国 HunterLab 公司;PEN3 电子鼻:德国 Airsense 公司;SA-402B 电子舌:日本 INSENT 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 酒曲样品的采集及酵母菌的分离鉴定

从四川省达州市大竹县东柳乡采集 10 个米酒曲样品,使用研钵将其碾碎后进行倍比稀释并涂布于 PDA 固体培养基上,28 ℃ 培养 48 h 挑选具有酵母菌菌落特征的菌株分离纯化后备用^[17]。参照赵慧君的方法,使用消解酶-氯化苄法进行 DNA 提取和 26S rDNA 扩增^[18],经清洁、连接和转化后的扩增子委托武汉天一辉远生物科技有限公司进行测序,反馈回的序列在 GenBank 数据库进行 Blast 同源性比对,进而明确其分类学地位。切除引物的序列,提交至 NCBI 网站(<https://www.ncbi.nlm.nih.gov>)公开并获得 GenBank 登录号。

1.2.2 红枣酒的制备

去核骏枣以 1:5 的质量比加入去离子水中,同时加入总重 0.006% 的偏重亚硫酸钾,置于破壁榨汁机打浆 30 s。浆液中加入总重 0.3% 的果胶酶 45 ℃ 酶解 1 h 后依次使用蔗糖调节可溶性固形物至 22%,并滴加酒石酸调 pH 值至 3.9^[19]。红枣浆分装于 1 L 玻璃发酵罐中,按照 5×10^7 CFU/mL 浆液的比例接入 1.2.1 中分离的 *S. fibuligera*,22 ℃ 恒温发酵。为对各菌株的发酵特性进行对比,若有 1 个样品的糖浓度 72 h 内保持不变,则停止所有样品的发酵,浆液 4 层纱布过滤后,4 ℃ 8 000 r/min 离心 10 min,滤液用于后续各指标检测。

1.2.3 红枣酒理化性质的测定

参考国家标准 GB 5009.225—2016《食品安全国家标准 酒中乙醇浓度的测定》中的酒精计法对红枣酒酒精含量进行测定。使用全自动折光仪对红枣酒的可溶性固形物含量进行测定。

1.2.4 红枣酒色度的测定

参照葛东颖的方法^[20],将样品置于 50 mm×10 mm×50 mm 石英比色皿中,选择透射模式进行测定,每个样品重复 3 次。

1.2.5 红枣酒风味品质的评价

参照周书楠的方法^[21],取 15 mL 红枣酒于顶空瓶中,55 ℃ 水浴 10 min 后室温(25 ℃ 左右)平衡 10 min,使用 PEN3 电子鼻进行测试。PEN3 电子鼻配有 10 套传感器,但由于传感器 W5S、W6S、W1S 和 W1W 主要

用于环境样品中氮氧化物、氢气、甲烷和萜类物质的检测,上述化合物在红枣酒中不存在,故而本研究仅使用其他6组传感器。

1.2.6 红枣酒滋味品质的评价

参照潘婷的方法^[22],取100 mL红枣酒均分于2个样品杯中,使用SA402B电子舌对其酸味、苦味、涩味、咸味和鲜味等5个基本味和后味A(涩味的回味)、后味B(苦味的回味)和丰度(鲜味的回味)等3个回味进行测定。

1.2.7 数据分析

基于邻接法(neighbor-joining, JN)使用MEGA5.0

软件构建系统发育树;基于主成分分析(principal component analysis, PCA)使用SAS8.0软件对红枣酒品质进行整体评价;使用Origin 2017绘制其他图。

2 结果与分析

2.1 酒曲中酵母菌26S rDNA 同源性分析

本研究从10个米酒曲样品中分离出24株疑似酵母菌的菌株,在对其26S rDNA序列进行拼接和同源性比对的基础上构建系统发育树,结果如图1所示,其中树枝节点值是检验置信值,树枝长度代表菌株差异程度。

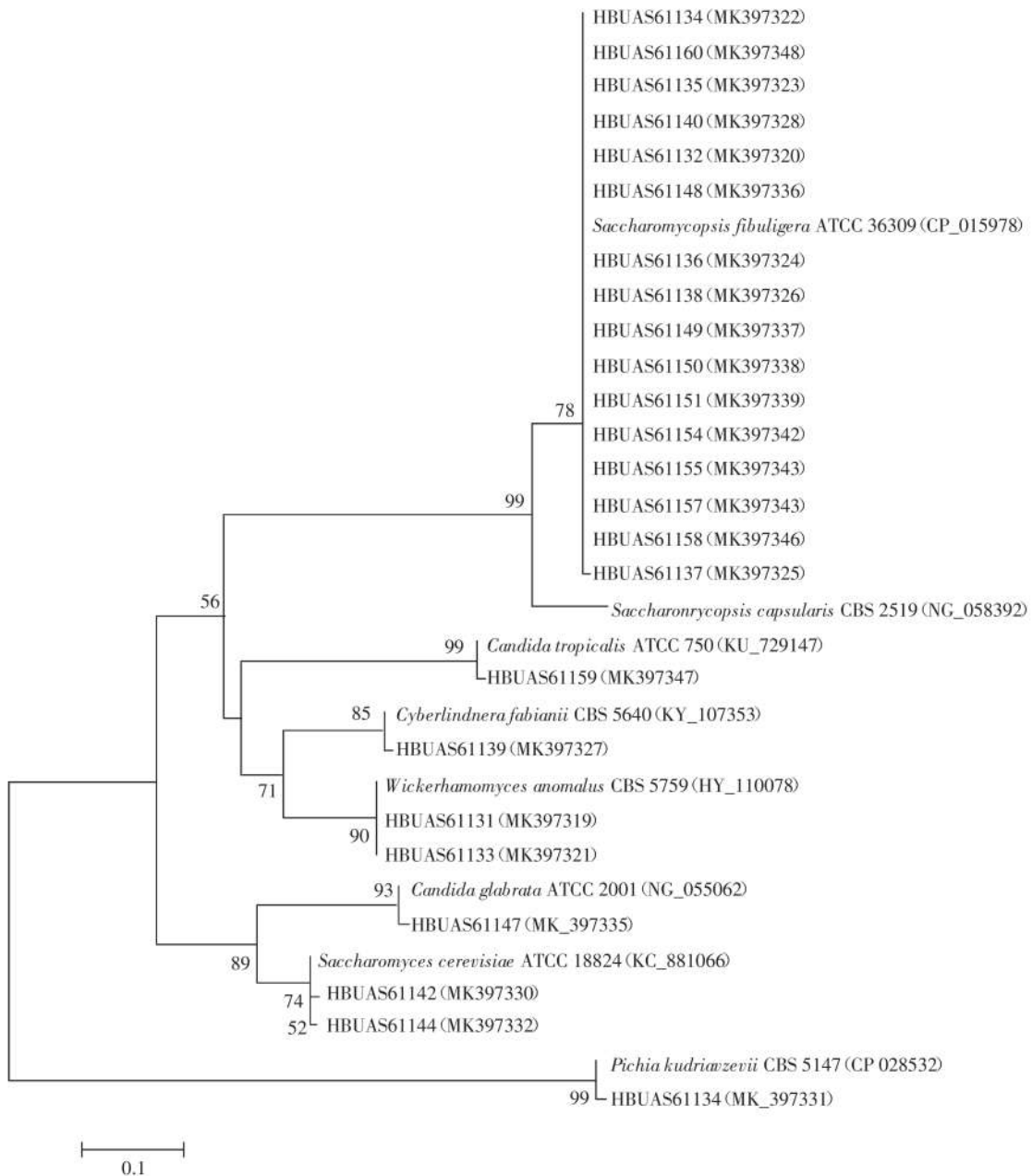


图1 基于26S rDNA基因的系统发育树

Fig.1 Phylogenetic tree based on 26S rDNA gene

如图1所示,HBUS61134等16株菌被鉴定为*S. fibuligera*(扣囊复膜酵母),HBUS61142和HBUS61144被鉴定为*Saccharomyces cerevisiae*(酿酒酵母),HBUS61131和HBUS61133被鉴定为*Wickerhamomyces anomalus*(异常威克汉姆酵母),HBUS61147被鉴定为*Candida glabrata*(光滑念珠菌),HBUS61159被鉴定为*C. tropicalis*(热带念珠菌),HBUS61143被鉴定为*Pichia kudriavzevii*(毕赤酵母),HBUS61139被鉴定为*Cyberlindnera fabianii*(费比恩塞伯林德纳氏酵母)。酵母菌种属的构成比例如图2所示。

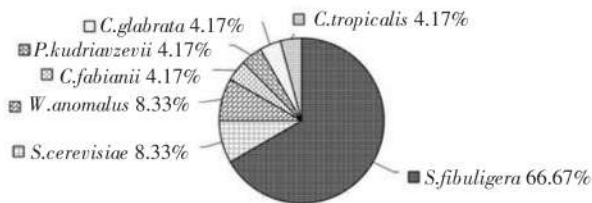


图2 不同酵母菌类群相对含量的饼图

Fig.2 Pie chart of the relative contents of different yeast groups

由图2可知,鉴定为*S. fibuligera*的菌株占总分离株的66.67%,*S. cerevisiae*和*W. anomalus*均占总分离菌株的8.33%,*C. glabrata*、*C. tropicalis*、*P. kudriavzevii*和*C. fabianii*均占总分离菌株的4.17%。由此可见,*S. fibuligera*为东柳米酒曲中的优势酵母菌。

2.2 红枣酒理化指标和色泽的评价

本研究使用16株*S. fibuligera*分别进行了红枣酒的制备。酿造好的红枣酒颜色呈枣红色,具有较高的透明度和澄清度,酒香味浓郁,红枣特有风味突出,入口后部分样品酒体协调且纯正无杂,但部分样品口感偏酸且苦味较重。因感官鉴评方法对评价人员专业知识和经验要求均较高,为保证结果的可靠性,本研究使用色度仪、电子鼻和电子舌等设备对红枣酒各指标进行了数字化评价,其酒精度、可溶性固形物含量和色度指标如表1所示。

表1 红枣酒理化和色度指标分析(n=16)

Table 1 Analysis of physic-chemical and chroma indexes of jujube wine (n=16)

指标	酒精度/%vol	可溶性固形物/%	L*	a*	b*
平均值	9.88	9.51	72.85	11.14	71.49
中位数	9.7	8.45	73.56	10.8	71.22
最小值	8.1	7.59	65.31	7.53	66.64
最大值	11.9	17.21	78.73	14.77	76.33
变异系数/%	11.97	26.89	4.87	17.3	3.26

由表1可知,16个红枣酒样品的酒精度在8.1%vol~11.9%vol,可溶性固形物含量在7.59%~17.21%,明度

值在65.31~78.73,红绿值在7.53~14.77,黄蓝值在66.64~76.33,颜色整体偏红偏黄。由此可见,不同酵母菌分离株在红枣酒中对糖的利用和产酒精的能力不同。

2.3 基于电子鼻技术红枣酒风味品质的评价

基于电子鼻技术红枣酒挥发性物质的分析结果如表2所示。

表2 基于电子鼻技术红枣酒挥发性物质的分析(n=16)

Table 2 Analysis of volatile substances in jujube wine by electronic nose (n=16)

金属传感器	性能描述 ⁽²⁾	平均值	中位数	最小值	最大值	变异系数/%
W1C	对芳香类物质灵敏	0.03	0.03	0.02	0.04	23.33
W3C	对芳香类物质灵敏	0.04	0.04	0.03	0.07	25.00
W5C	对烷烃、芳香类物质灵敏	0.02	0.02	0.02	0.03	20.00
W2S	对乙醇灵敏	97.72	100.13	55.68	124.12	20.16
W2W	对有机硫化物灵敏	6.21	5.89	3.54	9.19	30.50
W3S	对烷烃灵敏	4.57	4.54	2.78	5.77	18.58

由表2可知,乙醇为红枣酒挥发性化合物的主要成分,其次为有机硫化物和烷烃类化合物,传感器W2S、W2W和W3S在各红枣酒样品和空气中响应的比值范围分别在55.68~124.12、3.54~9.19和2.78~5.77,而对芳香类物质敏感的各传感器响应比值均较低。

2.4 基于电子舌技术红枣酒滋味品质的评价

红枣酒不同滋味指标的相对强度如图3所示。

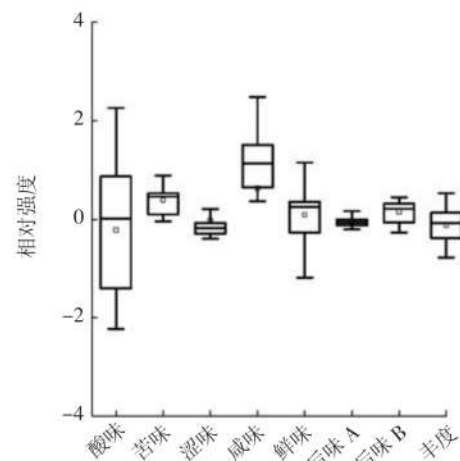


图3 基于电子舌技术红枣酒不同滋味指标相对强度的箱型图(n=16)

Fig.3 Box chart of relative intensity of different taste indexes in jujube wine by electronic tongue (n=16)

由图3可知,16个红枣酒样品在酸味指标上差异最大,相对强度的极差值为4.48,在鲜味、咸味和丰度(鲜味的回味)指标上的差异较大,极差值分别为2.33、

2.11 和 1.30。SA402B 电子舌具有较高的灵敏度,若两个样品在某一传感器上的相对强度差值小于 1.0,虽其存在差异,但通过感官鉴评的方法不能予以区分^[24]。各样品在苦味、后味 B(苦味的回味)、涩味和后味 A(涩味的回味) 指标上的极差值分别为 0.93、0.72、0.60 和 0.37,由于极差值均小于 1.0,故而其差异不会对产品品质造成影响。由于红枣酒在制作过程中不使用热杀菌,仅通过添加偏重亚硫酸钾抑制微生物生长,因而红枣和制作器具自身携带的微生物及环境中的微生物不能被完全杀死,外源接入酵母菌仅使其成为了红枣酒发酵过程中的绝对优势菌株,因而红枣酒的发酵是多菌株参与的过程^[25],这可能是导致本研究中红枣酒在酸味和鲜味等指标上存在差异的原因。

2.5 基于主成分分析红枣酒整体品质的评价

本研究采用 PCA 对 16 个红枣酒样品品质进行了整体评价, 结果发现 19 个指标可划分为 5 个主成分(principal component, PC), 其贡献率分别为 48.36%、15.44%、8.13%、7.61%和 5.73%, 其中 PC1 由涩味、咸味、W1C、W3C、W2S 和 W3S 6 个指标构成,PC2 由酸味、鲜味、L*、a* 和 b* 5 个指标构成,PC3 由苦味和丰度(鲜味的回味) 构成,PC4 由后味 B(苦味的回味)、W5C、酒精度和可溶性固形物含量 4 个指标构成,PC5 由后味 A(涩味的回味) 和 W2W 构成。因 PC1 贡献率最高,而 PC4 中包含了酒精度和可溶性固形物含量等重要指标, 故而选择 PC1 和 PC4 进行因子载荷图构建,如图 4 所示。

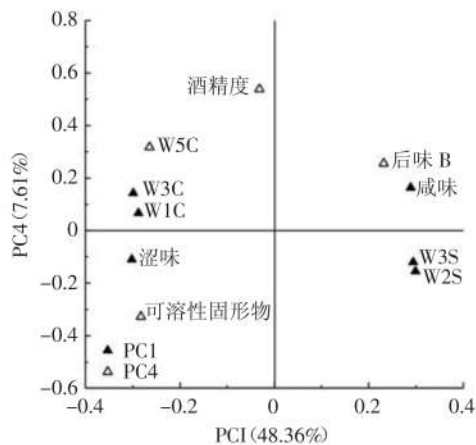


图4 PC1 与 PC4 的因子载荷图
Fig.4 Factor loading map of PC1 and PC4

由图 4 可知,PC1 指标中 W1C、W3C 和涩味分布在 X=0 轴的左侧,而 W2S、W3S 和咸味分布在 X=0 轴的右侧;PC4 指标中后味 B(苦味的回味)、酒精度和 W5C 分布在 Y=0 轴的上方,而可溶性固形物分布在 Y=0 轴的下方。传感器 W1C、W3C 和 W5C 对红枣酒中

的芳香类挥发性化合物灵敏,而酒精度的高低可直接反应 *S. fibuligera* 在红枣酒中的发酵特性,因而上述 4 个指标为红枣酒的特征性指标, 故在因子得分图中分布于第二象限的样品具有较好的品质,基于 PC1 和 PC4 的因子得分图如图 5 所示。

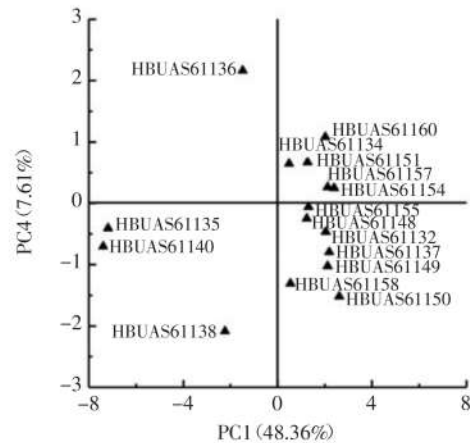


图5 PC1 与 PC4 因子得分图

Fig.5 Factor score map of PC1 and PC4

由图 5 可知, 仅有 1 个样品分布于因子得分图第二象限,因而由 *S. fibuligera* HBUAS61136 发酵的红枣酒具有良好的风味和较高的酒精度,在后续红枣酒相关产品开发中该菌株具有一定的应用潜力。为了进一步筛选出适用于红枣酒发酵的酵母菌,在后续研究中继续从不同地区米酒曲或其他酒曲中分离 *S. fibuligera* 菌株,并探讨其单独发酵或与 *S. cerevisiae* 等菌株复配发酵,对推动红枣酒发酵用发酵剂的研究具有积极意义。

3 结论

本研究从中国地理标志产品东柳醪糟米酒曲中进行了 *S. fibuligera* 的分离,同时对分离株在红枣酒中的应用进行了评价,结果发现 *S. fibuligera* 是该地米酒曲中的优势酵母菌,其分离株可用于红枣酒的酿造。乙醇为红枣酒挥发性风味物质的主要成分,且不同菌株酿造的红枣酒在酸味、酒精度和可溶性固形物上存在一定的差异,其中 *S. fibuligera* HBUAS61136 酿造的红枣酒具有较好的风味品质和较高的酒精度,可用于后续相关研究中。

参考文献:

- [1] BONETE D E E, TOLENTINO J H G, NOVERO A U. Determination of the cDNA sequence and in silico functional analysis of a glucoamylase gene from *Saccharomyces fibuligera* 2074 [J]. Philippine Journal of Science, 2018, 147(2): 261-273.
- [2] NATALIA D, VIDILASERIS K, ISMAYA W T, et al. Effect of introducing a disulphide bond between the A and C domains on the ac-

- tivity and stability of *Saccharomycopsis fibuligera* R64 α -amylase [J]. *Journal of Biotechnology*, 2015, 195(2): 8–14.
- [3] YU X J, LI H J, LI J, et al. Overexpression of acid protease of *Saccharomycopsis fibuligera* in *Yarrowia lipolytica* and characterization of the recombinant acid protease for skimmed milk clotting [J]. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 2010, 15(3): 467–475.
- [4] MA Y, LIU X, YIN Y, et al. Expression optimization and biochemical properties of two glycosyl hydrolase family 3 beta-glucosidases [J]. *Journal of Biotechnology*, 2015, 206(7): 79–88.
- [5] SON E Y, LEE S M, KIM M, et al. Comparison of volatile and non-volatile metabolites in rice wine fermented by Koji inoculated with *Saccharomycopsis fibuligera* and *Aspergillus oryzae* [J]. *Food Research International*, 2018, 109(7): 596–605.
- [6] FARH M E A, CHO Y, LIM J Y, et al. A diversity study of *Saccharomycopsis fibuligera* in rice wine starter nuruk, reveals the evolutionary process associated with its interspecies hybrid [J]. *Journal of Microbiology*, 2017, 55(5): 337–343.
- [7] LV X C, CHEN Z C, JIA R B, et al. Microbial community structure and dynamics during the traditional brewing of Fuzhou Hong Qu glutinous rice wine as determined by culture-dependent and culture-independent techniques [J]. *Food Control*, 2015, 57(11): 216–224.
- [8] 臧威, 谢广发, 孙剑秋, 等. 绍兴黄酒酒药中酵母菌的物种资源 [J]. *菌物学报*, 2015, 34(6): 1078–1084.
- [9] 明红梅, 郭志, 周健, 等. 浓香型大曲中产香微生物的筛选及鉴定 [J]. *现代食品科技*, 2015, 31(4): 186–191.
- [10] 苏畅, 马莹莹, 杨建刚. 扣囊复膜酵母在酿酒中的应用研究进展 [J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(1): 205–209.
- [11] MARSIT S, DEQUIN S. Diversity and adaptive evolution of *Saccharomyces* wine yeast: a review [J]. *FEMS Yeast Research*, 2015, 15(7): 67.
- [12] ZHAO L, LIU F, WU L, et al. Fate of triadimefon and its metabolite triadimenol in jujube samples during jujube wine and vinegar processing [J]. *Food Control*, 2017, 73(3): 468–473.
- [13] 和东芹, 张伟. 大枣干红生产工艺研究 [J]. *食品科学*, 2002, 23(12): 74–76.
- [14] BIMPILAS A, PANAGOPOULOU M, TSIMOGIANNIS D, et al. An-thocyanin copigmentation and color of wine: The effect of naturally obtained hydroxycinnamic acids as cofactors [J]. *Food Chemistry*, 2016, 197(4): 39–46.
- [15] CETÓ X, GONZÁLEZ-CALABUIG A, CAPDEVILA J, et al. Instrumental measurement of wine sensory descriptors using a voltammetric electronic tongue [J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2015, 207(2): 1053–1059.
- [16] PAKNAHAD M, AHMADI A, ROUSSEAU J, et al. On-chip electronic nose for wine tasting: A digital microfluidic approach [J]. *IEEE Sensors Journal*, 2017, 17(14): 4322–4329.
- [17] LV X C, HUANG Z Q, ZHANG W, et al. Identification and characterization of filamentous fungi isolated from fermentation starters for Hong Qu glutinous rice wine brewing [J]. *The Journal of General and Applied Microbiology*, 2012, 58(1): 33–42.
- [18] 赵慧君, 董蕴, 刘伟, 等. 襄阳大头菜酱油中酵母菌多样性分析 [J]. *中国调味品*, 2018, 43(12): 55–59.
- [19] 吕虎晋, 董蕴, 单春会, 等. 不同浸提方式对红枣酒品质的影响 [J]. *中国酿造*, 2019, 38(9): 143–147.
- [20] 葛东颖, 李华佳, 杨成聪, 等. 不同处理工艺对猕猴桃果酒品质的影响 [J]. *中国酿造*, 2019, 38(4): 70–74.
- [21] 周书楠, 杨成聪, 郭志鹏, 等. 基于主成分和聚类分析的不同乳酸杆菌制备酸浆水品质评价 [J]. *食品工业科技*, 2019, 40(23): 242–246.
- [22] 潘婷, 杨雷, 朱科帆, 等. 市售蚝油产品品质的评价 [J]. *食品工业科技*, 2016, 37(20): 96–100.
- [23] WU H, YUE T L, XU Z, et al. Sensor array optimization and discrimination of apple juices according to variety by an electronic nose [J]. *Analytical Methods*, 2017, 9(6): 921–928.
- [24] WOERTZ K, TISSEN C, KLEINEBUDDE P, et al. Taste sensing systems (electronic tongues) for pharmaceutical applications [J]. *International Journal of Pharmaceutics*, 2011, 417(1/2): 256–271.
- [25] PARK H J, KIM K Y, JEONG H S. Quality changes of jujube wine by hydrostatic pressure and freezing treatment during storage [J]. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 2009, 38(1): 89–97.

加工编辑:冯娜
收稿日期:2020-04-24