

浓香型白酒酿造车间空气中酵母菌的 分离鉴定及生长特性研究

Isolation, identification and growth characteristics of yeast in the air of
Luzhou-flavor liquor brewing workshop

黄治国¹ 彭思婕¹ 李浩²

HUANG Zhi-guo¹ PENG Si-jie¹ LI Hao²

钟姝霞³ 邓杰¹ 任志强¹ 卫春会¹

ZHONG Shu-xia³ DENG Jie¹ REN Zhi-qiang¹ WEI Chun-hui¹

(1. 四川轻化工大学酿酒生物技术及应用四川省重点实验室, 四川 宜宾 644000;

2. 四川水井坊股份有限公司, 四川 成都 610036; 3. 自贡检验检测院, 四川 自贡 643000)

(1. Key Laboratory of Brewing Biotechnology and Application of Sichuan Provincet, Sichuan University
of Science & Engineering, Yibin, Sichuan 644000, China; 2. Sichuan Shuijingfang Co., Ltd.,
Chengdu, Sichuan 610036, China; 3. Zigong Inspection and Testing Institute, Zigong, Sichuan 643000, China)

摘要:从浓香型白酒酿造车间空气中分离纯化得到 4 株酵母菌, 对其进行菌落生理生化和分子鉴定, 获得胶红酵母(*Rhodotorula mucilaginosa*)和季也蒙毕赤酵母(*Meyerozyma guilliermondii*)两种酵母。两种酵母菌最适生长时间均为 29~30 h, 季也蒙毕赤酵母对乙醇、温度、酸的耐受特性较胶红酵母的更好; 采用 GC-MS 法对两种酵母菌进行代谢产物分析, 发现两种酵母菌的优势产物为乙醇、己酸乙酯, 以及少量高级醇、酯类、酚类等芳香成分。

关键词:浓香型白酒; 酿造车间; 空气; 胶红酵母; 季也蒙毕赤酵母

Abstract: In this study, four yeast strains in the Luzhou-flavor liquor brewing workshop were isolated and purified from the air. The colony physiological, biochemical and molecular identification were performed to obtain two kinds of yeast, *R. mucilaginosa* and *M. guilliermondii*. The growth characteristics of the two

kinds of yeasts were studied, and the optimal growth time were found to be 29 to 30 h. The tolerance of *M. guilliermondii* to ethanol, temperature and acid is higher than that of *R. mucilaginosa*. By using GC-MS to analyze the metabolites, the dominant products of the two yeasts were determined to be ethanol and ethyl caproate, and only a small content of higher alcohols, esters, phenols and other aromatic components was detected.

Keywords: Luzhou-flavor liquor; brewing workshop; air; *Rhodotorula mucilaginosa*; *Meyerozyma guilliermondii*

浓香型白酒又称泸香型白酒, 是中国四大典型香型白酒之一, 以泸州老窖特区酒为典型代表, 属于大曲酒, 其主要的香型物质为己酸乙酯, 酒体无色透明、窖香浓郁、绵软甘冽、香味协调、尾净爽口^[1]。其中最能体现浓香型大曲酒酿造工艺独特之处是“泥窖固态发酵、续糟配料、混蒸混烧”^[2-3]。

传统固态白酒酿造过程中, 微生物对白酒的质量、品质、风味等有重要作用^[4], 多数微量物质都是微生物的代谢产物^[5]。大曲作为糖化发酵剂, 是多种微生物群的混合体系^[6], 微生物的生长繁殖形成了种类繁多的代谢产物, 进而赋予大曲酒独特的风格和特色^[7]。曲中的微生物主要是从环境中富集而来, 各种微生物互相作用进而影响发酵过程^[8]。游玲等^[9]研究表明窖泥、空气、糟醅之间的微生物存在相互转移, 酿造过程中的霉菌、细菌、酵母菌大部分来自空气, 酿造环境空气中的微生物是否在

基金项目:四川省科技厅重点研发项目(编号:2018JY0509); 四川省科技厅应用基础研究项目(编号:2019YJ0462); 中国轻工业浓香型白酒固态发酵重点实验室开放基金项目(编号:2018JJ008, 2018JJ011); 酿酒生物技术及应用四川省重点实验室开放基金项目(编号:NJ2018-04)

作者简介:黄治国, 男, 四川轻工业大学教授, 博士生导师, 博士后。

通信作者:卫春会(1980—), 女, 四川轻工业大学高级实验师, 硕士生导师。E-mail: 147516753@qq.com

收稿日期:2020-10-08

酿造特性方面有发展取决于环境条件。

目前,有关白酒微生物的研究主要是以酒醅或酒曲为出发点^[10],从微生物的角度探究白酒的发酵机理,并提出白酒微生物与风味之间的联系是今后研究的重点^[11],尤其是不同香型白酒具有不同的风味特征,其中微生物的作用十分重要^[12]。目前有关酿造过程中的细菌和霉菌的群落结构变化、群落结构与风味组分以及微生物群落与氨基酸含量的相关关系研究较多^[13-17],但未进行大量的菌落筛选,且空气中酵母菌的产酒产香作用尚未见报道。文章拟以浓香型白酒酿造车间空气微生物为研究对象,利用 YPD 培养基和麦芽汁培养基,对浓香型白酒酿造车间空气微生物进行分离鉴定,并从中筛选出酵母菌;对酵母菌进行耐受特性分析,并采用 GC-MS 分析其代谢产物。旨在为白酒酿造机理以及引进新型养生酒的同时提高白酒质量提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

空气微生物样品:将取样机置于酿造车间,对酿造车间空气进行多点取样并混合均匀作为试验分析样品,密封后于 4℃ 保藏,川北某浓香型白酒厂;

琼脂、葡萄糖、95%乙醇、浓盐酸等:分析纯,成都科龙化工试剂公司;

酵母浸膏、蛋白胨等:北京双旋微生物培养基制品厂。

1.2 仪器与设备

气相色谱质谱联用仪:7890A-5975B 型,美国安捷伦科技公司;

紫外可见分光光度计:A360 型,上海翱艺仪器有限公司;

双色荧光定量 PCR 仪:CFX96 型,美国 BIO-RAD 公司;

化学发光成像系统:ChemiDoc XRS 型,美国 BIO-RAD 公司;

正置生物显微镜:DM3000 型,德国 Leica 公司;

菌落计数分析仪:ProtoCOL3 型,广州市华粤行仪器有限公司;

电泳仪:Mini-subce11 型,美国 BIO-RAD 公司;

高性能台式离心机:X1R 型,赛默飞世尔科技(中国)有限公司;

离心机:5418 型,艾本德(中国)有限公司;

均质器:Precellys24 型,奥然科技有限公司;

恒温培养振荡器:ZWYR-D2403 型,上海智城分析仪器制造有限公司;

微生物培养箱:LS-I201 型,上海桑戈生物科技有限公司;

大型台式恒温冷冻摇床:MaxQ4000 型,赛默飞世尔科技(中国)有限公司;

超净工作台:SW-CJ-2D 型,上海实业苏净有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 培养基制备

(1) YPD 培养基:酵母膏 10 g,蛋白胨 20 g,葡萄糖 20 g,琼脂粉 20 g,蒸馏水 1000 mL,121℃ 灭菌 15 min。

(2) 马铃薯液体培养基:去皮马铃薯 200 g,葡萄糖 20 g,蒸馏水 1 000 mL,121℃ 灭菌 15 min。

(3) 高粱汁培养基^[18]:高粱粉 250 g,耐高温 α -淀粉酶(10 U/g 原料)45 mg,糖化酶(250 U/g 原料)20 mg,酸性蛋白酶(30 U/g 原料)30 mg,蒸馏水 1 000 mL,糖度 20°Bx,115℃ 灭菌 15 min。

1.3.2 空气中微生物的分离纯化及形态观察 无菌条件下,取 1 mL 空气样品,加入 9 mL 无菌水,充分摇匀,振荡 5~10 min,梯度稀释,选取 10^{-3} 、 10^{-5} 、 10^{-7} 稀释液各 1 mL,均匀涂布于酵母膏胨葡萄糖琼脂培养基,30℃ 培养 48 h,根据菌种的生长状况,选取适当的平皿,挑取单菌落,转接于另一平皿。按此法重复转接 2~3 次进行分离纯化,根据菌落特征及镜检确认后,挑取单菌落移入斜面,培养后备用。对分离纯化培养筛选出的菌株进行镜检,确定菌落形态。

1.3.3 酵母菌 DNA 的提取 取 1 mL 菌悬液进行活化,采用酶破碎法结合玻璃珠破碎法提取 DNA。采用正向 ITS1(5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3')和反向引物 ITS4(5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3')进行 PCR 扩增。具体反应程序:94℃ 预变性 8 min;94℃ 变性 30 s,53℃ 退火 30 s,72℃ 延伸 90 s,共 29 个循环;72℃ 延伸 8 min,对扩增产物进行电泳检测。

1.3.4 酵母菌的生长曲线及对乙醇、温度、酸的耐受性

(1) 生长曲线:采用紫外可见分光光度计测定酵母菌数量,并绘制曲线图。

(2) 乙醇耐受性:分别添加 0%,3%,5%,7%,9%,11%乙醇至酵母菌液中,测定其吸光值。

(3) 温度耐受性:取 1 mL 酵母菌悬液接种至马铃薯液体培养基中,以 3℃ 为增长梯度,从 20~41℃,共 9 个培养基,培养 24 h,测定其吸光值。

(4) 酸耐受性:各取 1 mL 菌悬液接种至马铃薯液体培养基中,调节 pH 以 0.5 为梯度,从 pH 2.0~6.0,每组 9 个培养基,28℃ 培养 24 h,测定其吸光值。

1.3.5 酵母菌代谢产物分析 采用高粱汁培养基,分别接种酵母菌,28℃ 发酵 3 d。采用 GC-MS 进行鉴定,利用 NIST 数据库,分析发酵液中的代谢产物。

1.3.6 数据处理 采用 SPSS 软件和 Excel、Origin 软件等对数据进行处理分析。

2 结果与分析

2.1 空气中酵母菌的分离纯化

从川北某浓香型白酒厂酿造车间的空气微生物样品中分离纯化得到 4 株酵母菌,分别编号为 nz2、nz3、nz4、nz8,其菌落形态特征见表 1。

表 1 各菌株的菌落形态特征

Table 1 Morphological characteristics of strains

nz2		nz3		nz4		nz8	
菌落直径为 1~2 mm,圆球状,呈红色,菌落边缘整齐且光滑,比较湿润,正面与反面颜色一致,不透明,中央隆起,易挑取,且挑起无黏性		菌落直径为 1~2 mm,椭圆形,呈桃红色,菌落边缘平滑,表面湿润,正面与反面颜色一致,不透明,侧面微微凸起,单菌落易挑取,且无黏性		菌落直径为 2~3 mm,圆形,呈白色或米白色,边缘形状规则圆滑,表面湿润光滑,正面与反面颜色一致,不透明,侧面微微凸起,单菌落易挑取,无黏性		菌落直径为 1~2 mm,圆形,呈米白色,表面光滑,稍微湿润,正反面无色差,不透明,侧面整体微微凸起,单菌落易挑取	

2.2 基于 5.8S rDNA-ITS 区的分子鉴定结果

对分离纯化后的 4 株酵母菌 DNA 进行提取,使用引物 ITS1 和 ITS4 对其 5.8S rDNA-ITS 区基因进行 PCR 扩增。由图 1 可知,4 株酵母菌的 DNA 扩增产物长度为 500~750 bp。利用 NCBI 对菌株序列进行 BLAST 比对,并构造发育树如图 2 所示。

由图 2 可知,nz2 和 nz3 同属于胶红酵母(*R. mucilaginosa*),nz4 和 nz8 同属于季也蒙毕赤酵母(*M. guilliermondii*)。赵春海等^[19]研究发现胶红酵母和季也蒙毕赤酵母均属产油脂酵母类,可在一定条件下水解碳源、氮源产生脂肪酸。胶红酵母包含独特酶系,能很好分解酒中不良物质^[20],季也蒙毕赤酵母可将丰富原料发酵转换成油脂和其他微量物质^[21],这两株酵母均可适应环境并

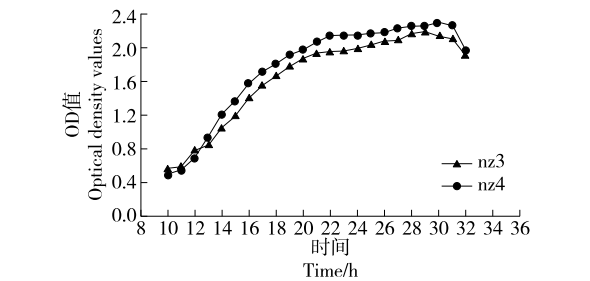
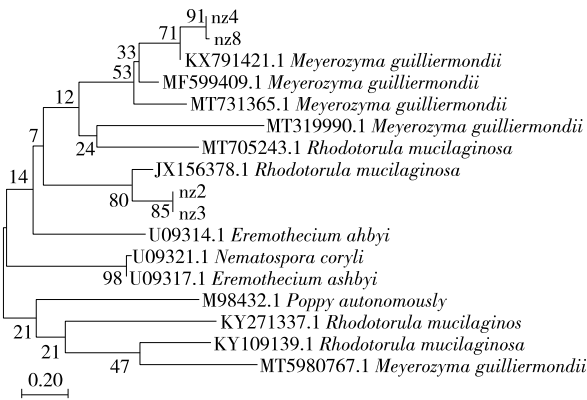
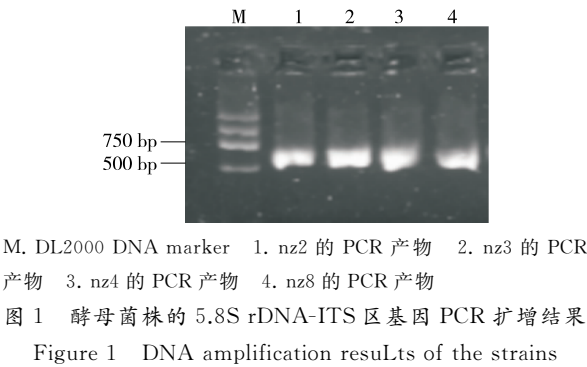
代谢产生有益物质,在酿造白酒的环境下,能够产香、产醇,在筛选菌株时这两株菌在培养基上生长繁殖会产生酒的香气。叶伟庆^[22]发现胶红酵母菌可产生类胡萝卜素、粗多糖、蛋白酶、淀粉酶、纤维素酶、维生素 B₁、维生素 B₂、维生素 B₆ 等物质,其中类胡萝卜素和维生素都是对人体有益的微量元素^[23-24]。故可将胶红酵母引入到白酒中使之发展成为新型养生酒。因此,选用其中的 nz3 和 nz4 两株酵母进行生长曲线、耐受特性以及代谢产物分析。

2.3 酵母菌生长曲线

由图 3 可知,菌株 nz3 和 nz4 的生长趋势大体一致,均先升高后降低。当培养时间为 10~12 h 时,两株菌的 OD 值增长幅度相近,但变化不大,此期间为生长曲线中的延滞期;当培养时间为 12~22 h 时,两株菌的 OD 值增长速率较大,接近于倍数增长,nz4 的 OD 值较 nz3 更大,此期间为生长曲线中的对数期;当培养时间为 22~33 h 时,两株菌的 OD 值的变化趋于平稳,先逐渐增大至最大值后降低,nz3 的增长速率由小变大再降低,OD 值在 29 h 处达最大,nz4 的增长速率保持平稳再降低,OD 值在 30 h 处达最大值且大于 nz3 的,此期间为生长曲线中的平稳期;当培养时间为 33~34 h 时,两株菌的 OD 值均下降,且下降幅度较大,此期间为生长曲线的衰亡期。综上,两种酵母菌在 29~30 h 范围内生长更好。

2.4 酵母菌的耐受性

2.4.1 耐乙醇性 由图 4 可知,两种酵母菌在不同乙醇浓度下变化趋势基本一致,OD 值逐渐减小并趋近于 0。当乙醇体积分数为 0%~5% 时,两种酵母菌的 OD 值下



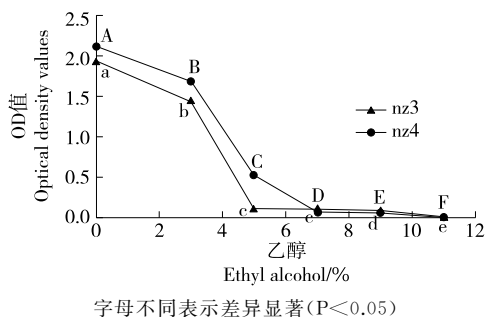


图 4 两株酵母菌的乙醇耐受性

Figure 4 Study on ethanol tolerance of two yeast strains

降幅度较大,当乙醇体积分数为 5% 时,nz3、nz4 的 OD 分别为 0.1、0.5 左右;当乙醇体积分数为 5%~11% 时,nz3 的 OD 值变化幅度较小,在乙醇体积分数为 11% 时变为 0,nz4 的 OD 值在乙醇体积分数 5%~7% 时下降幅度较大,在乙醇体积分数为 7%~11% 时,nz4 的 OD 值持续减小并接近于 0。同样的生长条件下,nz4 的 OD 值比 nz3 的更大,说明 nz4 的乙醇耐受性比 nz3 的更好。

2.4.2 耐温性 由图 5 可知,两种酵母菌的 OD 值变化趋势一致,均先升高后降低。当温度为 20~29℃ 时,两种酵母菌的 OD 值持续上升,在 29℃ 时达最大值,且 nz4 的增长幅度更大;当温度为 29~44℃ 时,两种酵母菌的 OD 值持续下降,nz3 的下降幅度较大,在 44℃ 时接近 0,nz4 在 29~38℃ 时下降幅度较小,在 38℃ 后急剧下降,44℃ 时接近 0。同样的生长环境下,nz4 的 OD 值高于 nz3,因此 nz4 的耐温性更好。

2.4.3 耐酸性 由图 6 可知,两种酵母菌的 OD 值变化趋势一致,均先平稳后上升再下降。当 pH 为 2.0~3.5 时,nz3 的 OD 值是 pH 3.0 开始大幅度上升,在 pH 3.5 时达 1.4 左右,nz4 的 OD 值从 pH 2.0 开始急剧增长,在 pH 3.5 时达 1.8 左右;当 pH 为 3.5~5.5 时,nz3 的 OD 值仍在增长,从 1.4 增长至 1.6 左右,而 nz4 的增长幅度较小,变化趋于平缓,在 pH 5.5 时达最大值 1.9;当 pH 从 5.5 增加至 6.0 时,两种酵母菌的 OD 值均下降至 1.6 左右。

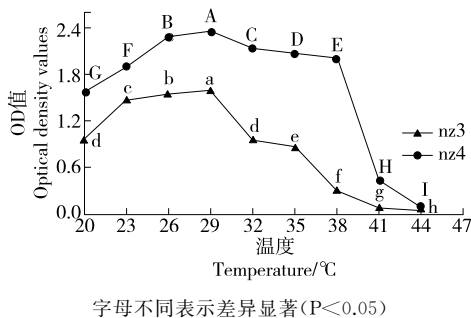


图 5 两株酵母菌的温度耐受性

Figure 5 Study on temperature tolerance of two yeast strains

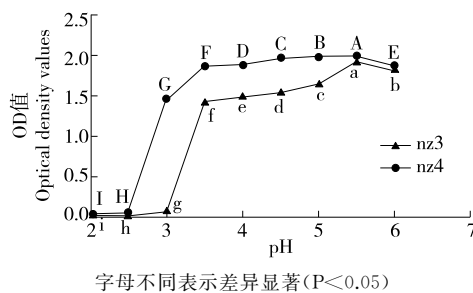


图 6 两株酵母菌的酸度耐受性

Figure 6 Study on the acidity tolerance of two yeast strains

同样的生长环境下,nz4 的 OD 值高于 nz3,说明 nz4 在酸性条件下比 nz3 更适合生存。

综上,空气中的酵母菌在酿造特性方面表现优良,与酒醅或大曲中的酵母菌性能^[25]相近,表明空气中的酵母菌也能在酿造环境下很好地生长并代谢出有益物质,可进一步将空气中微生物进行培养优化,使酒质更优、风味更佳。

2.5 酵母菌代谢产物

由表 2 可知,两种酵母菌的优势产物均为乙醇和己酸乙酯,并含有少量的酸、高级醇、酯类、酚类等芳香类物质,可构成白酒香味成分^[26],其中己酸乙酯是浓香型白酒的香味主体成分。nz3 的代谢产物中乙醇和己酸乙酯含量较高,还产生了苯乙醇和 2,3-丁二醇,这两种物质是发酵产生的中间物,可以构成一些香味物质,能对酒体产生正面影响;nz4 的代谢产物中乙醇、丁醇、苯乙醇、己酸乙酯、辛酸乙酯含量高于 nz3,其发酵效果优于 nz3。综上,

表 2 两株酵母的发酵产物[†]

名称	nz3	nz4
乙醇	0.228 0	1.004 0
丁醇	0.226 0	0.969 0
异戊醇	—	0.198 0
苯乙醇	0.011 0	0.086 0
2,3-丁二醇	0.022 0	—
环丁醇	—	0.011 0
1-壬醇	—	0.020 0
己酸乙酯	0.144 0	0.159 0
辛酸乙酯	0.000 3	1.358 0
甲酸异戊酯	0.019 0	—
乙酸	0.011 0	—
愈创木酚	0.006 0	0.019 0
N-甲基-2-羟基乙胺	—	0.006 0

† “—”表示未检出。

nz4 的产酒能力和产香能力都较好,可对其进行进一步发酵试验,并且通过观察其产物的含量变化,利用生理生化试验优化其产醇和产香的能力。此外,生香酵母用于浓香型白酒、酱香型白酒生产中对白酒产量的提高具有明显效果^[27-28]。因此,可以从生香方向研究筛选出的胶红酵母和季也蒙毕赤酵母,对酵母菌的代谢产物进行分析,进一步探究其产酒、产香作用,使之可应用于白酒生产,赋予白酒风味物质,提高白酒质量。

3 结论

以浓香型白酒酿造车间空气微生物为研究对象,利用YPD培养基和麦芽汁培养基对其进行分离鉴定,并采用GC-MS分析技术,对空气微生物中的酵母菌进行代谢产物分析。结果表明:①空气微生物中大部分可培养的微生物包含细菌、霉菌和酵母菌,并筛选鉴定出了两种酵母菌,分别是胶红酵母(*R. mucilaginosa*)和季也蒙毕赤酵母(*M. guilliermondii*)。②两种酵母菌最适生长时间为29~30 h,季也蒙毕赤酵母对乙醇、温度、酸的耐受性优于胶红酵母。③两种酵母菌均可应用于酿造生产并提高酒质和风味,其优势产物有乙醇、己酸乙酯,还有少量高级醇、酯类、酚类等芳香成分。试验对酵母菌进行了分离,但是参与白酒酿造的微生物还有霉菌、放线菌等多种微生物^[29]。因此,对空气中微生物种类的筛选可多样化,还可将试验所得酵母菌与空气中的霉菌、放线菌等结合,探究不同种类菌种的复合发酵效果。

参考文献

- [1] 熊子书. 中国三大香型白酒的研究一: 浓香·泸州篇[J]. 酿酒科技, 2005(2): 22-25.
- [2] 郎召伟. 泸型酒酿造过程中风味物质变化分析[D]. 无锡: 江南大学, 2015: 5-20.
- [3] 梁金辉, 梁绍勋, 汤有宏, 等. 影响浓香型大曲糖化力测定因素的探讨[J]. 酿酒, 2015(5): 112-114.
- [4] 程伟, 吴丽华, 徐亚磊, 等. 浓香型白酒酿造微生物研究进展[J]. 中国酿造, 2014, 33(3): 1-4.
- [5] 徐岩. 基于风味导向技术的中国白酒微生物及其代谢调控研究[J]. 酿酒科技, 2015(2): 1-11, 16.
- [6] HU Cheng, WU Jie-Feng, SHEN Cai-hong, et al. Research on Luzhou-flavor Daqu starter & its application[J]. Liquor-making Science & Technology, 2004(1): 33-36.
- [7] GAO Zhi-yuan, CHENG Wei, MA Yu-lei, et al. Microbial culture and starter-making of Jinzhongzi Nongxiang medium-and high-temperature Daqu [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2016(11): 41-45.
- [8] 程伟, 李娜, 张杰, 等. 江淮地区自然环境对柔和型白酒品质的影响[J]. 酿酒科技, 2019(6): 59-64.
- [9] 游玲, 王松, 冯瑞章, 等. 宜宾产区浓香型白酒窖房空气、窖泥和糟醅可培养细菌的相关性[J]. 食品科学, 2012, 33(9): 188-192.
- [10] 刘建学, 刘金科, 李璇, 等. 白酒酒醅高产酯酵母筛选鉴定及其发酵性能研究[J]. 食品与机械, 2020, 36(6): 42-49.
- [11] 赵爽, 杨春霞, 窦灿, 等. 白酒生产中酿酒微生物研究进展[J]. 中国酿造, 2012, 31(4): 5-10.
- [12] 李芳莉. 浓香型白酒窖泥微生物群落结构分析及其对原酒风味物质的影响[D]. 郑州: 郑州轻工业学院, 2017: 12-25.
- [13] 刘雄. 中、高温大曲固态发酵过程微生物菌群结构变化的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2017: 15-28.
- [14] 倪斌, 任道群, 唐玉明, 等. 浓香型酒人工窖泥酿造过程中微生物变化研究[J]. 中国酿造, 2012(6): 157-160.
- [15] 陈继良. 浓香型白酒在酿造中的功能菌研究进展[J]. 酿酒, 2020, 47(2): 15-18.
- [16] CHEN Chen, YANG Liu, HUAI Xiang-tian, et al. Metagenomic analysis reveals the impact of Jiuyao microbial diversity on fermentation and the volatile profile of Shaoxing-jiu[J]. Food Microbiology, 2020, 86: 103326.1.
- [17] ZHANG Cheng-Liang, LIN Xiao-zi, HE Zhi-gang, et al. Amino acid and microbial community dynamics during the fermentation of Hong Qu glutinous rice wine[J]. Food Microbiology, 2020, 90: 103467.
- [18] 张华东, 郭学武, 肖冬光. 醋酸菌对高产酯酿酒酵母酒精发酵及酯醇代谢的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(1): 36-42.
- [19] 赵春海. 产油脂酵母菌的遗传改良和油脂的发酵生产[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011: 7-12.
- [20] 陶永胜, 牟含, 李国, 等. 野生胶红酵母糖苷酶水解媚丽新酒中香气糖苷研究[J]. 农业机械学报, 2014, 45(12): 249-254.
- [21] 王光远. 海洋季也蒙毕赤酵母菌油脂合成调控的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014: 10-17.
- [22] 叶伟庆. 4株海洋红酵母分离鉴定及其代谢产物分析[J]. 热带作物学报, 2013, 34(10): 2 046-2 050.
- [23] 张雪松, 曹梦锦, 王晓婧, 等. 部分市售植物性食物中 α -胡萝卜素和 β -胡萝卜素含量分析[J]. 营养学报, 2019, 41(2): 193-197, 203.
- [24] 汪蓓蓓, 陶懂谊. 类胡萝卜素对人类健康的影响研究与展望[J]. 微量元素与健康研究, 2011, 28(4): 55-59.
- [25] 祝云飞, 黄治国, 邓杰, 等. 浓香型大曲中一株酵母菌的分离鉴定及其挥发性产物分析[J]. 四川理工学院学报(自然科学版), 2016, 29(1): 7-11.
- [26] 王海瑞, 陈军. 气相色谱内标法测定白酒中高级醇与酯类[J]. 农产品加工(学刊), 2014(15): 55-56.
- [27] 孙露露, 岳腾飞, 丁鹏飞, 等. 生香酵母在液体窖泥中的应用[J]. 酿酒科技, 2020(1): 103-106.
- [28] 程伟, 张杰, 潘天全, 等. 安琪生香活性干酵母在固态小曲清香型白酒酿造生产中的应用[J]. 酿酒科技, 2018(7): 83-88, 91.
- [29] 赵龙飞, 周文和. 传统白酒发酵过程中微生物种类及功能研究进展[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(19): 195-198.