

# 泡菜、豆酱中产香酵母菌的筛选及其在面包制作中的应用

王刚<sup>1</sup>, 邢家溧<sup>1</sup>, 印伯星<sup>2</sup>, 房东升<sup>2</sup>, 田丰伟<sup>1</sup>, 刘小鸣<sup>1</sup>, 张秋香<sup>1</sup>, 张灏<sup>1</sup>, 陈卫<sup>1,3,\*</sup>

(1.江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122; 2.扬州市扬大康源乳业有限公司, 江苏 扬州 225004;

3.江南大学食品科学与技术国家重点实验室, 江苏 无锡 214122)

**摘要:**本研究从重庆泡菜及扬州豆酱等传统发酵食品中筛选出3株具有优良产香能力的酵母菌, 通过对其菌落形态特征、产酯能力、糖利用能力、面团发酵力以及高糖耐受能力等的测定, 最终得到1株具有潜在应用价值的产香酵母YG28B, 经ITS rDNA鉴定为季也蒙毕赤酵母。在面包发酵与烘焙应用的初步研究中, YG28B与市售活性干酵母混合发酵烘焙的面包, 其面团发酵效果良好, 且烘焙的面包风味独特。气相色谱-质谱联用技术检测显示面包中挥发性风味物质含量普遍有所提高, 优于单独使用市售活性干酵母发酵烘焙所得面包的风味。该株产香酵母菌可用于面包发酵以改善面包的风味, 在烘焙制品中具有潜在的应用价值。

**关键词:** 传统发酵食品; 产香酵母; 筛选; 发酵力; 面包

## Screening of Aroma-Producing Yeast from Pickled Cabbage and Bean Paste and Its Application in Bread Fermentation

WANG Gang<sup>1</sup>, XING Jia-li<sup>1</sup>, YIN Bo-xing<sup>2</sup>, FANG Dong-sheng<sup>2</sup>, TIAN Feng-wei<sup>1</sup>, LIU Xiao-ming<sup>1</sup>,

ZHANG Qiu-xiang<sup>1</sup>, ZHANG Hao<sup>1</sup>, CHEN Wei<sup>1,3,\*</sup>

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

2. Kangyuan Dairy Co. Ltd., Yangzhou University, Yangzhou 225004, China;

3. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** In this study, three aroma-producing yeast strains were screened from traditional fermented foods, Chongqing pickled cabbage and Yangzhou bean paste. The characterization of these strains was also investigated for colony morphology, ester-producing ability, carbohydrate utilization rate, dough fermentation ability and tolerance to high sugar concentrations. The strain YG28B identified as *Pichia guilliermondii* by ITS rDNA sequencing was proved to have a huge application potential. Preliminary studies on bread fermentation and baking application using YG28B indicated that bread products showed good aroma when fermented with commercial dry yeast and YG28B cooperatively. The content of volatile flavor substances as determined by GC-MS also showed a general rise in bread fermented by the combined starter cultures, which displayed more attractive flavor when compared with that fermented by commercial dry yeast alone. This aroma-producing yeast will have potential applications in baked products for improving the flavor of bread.

**Key words:** traditional fermented food; aroma-producing yeast; screening; fermentation ability; bread

中图分类号: TS201.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2014)23-0155-06

doi:10.7506/spkx1002-6630-201423031

产香酵母是一类能够产生香味物质的酵母菌<sup>[1-2]</sup>。产香酵母除了能够产生酯类, 还大量生成酮类、醛类等化合物, 形成多种呈味物质, 而且在代谢过程中产生多种氨基酸、维生素, 以及某些生物活性物质, 具有增强人体免疫力的功能<sup>[3-4]</sup>, 在白酒生产上已经得到了广泛的应用。我国传统发酵食品历史悠久, 其中有着多种食品

级微生物资源。例如对东北部分传统发酵食品中微生物多样性的研究表明, 东北传统发酵酸菜和大酱中的微生物几乎涵盖了细菌和真菌的各个门目的种属, 以厚壁菌门、变形菌门细菌和子囊菌门中的酵母菌亚门真菌为主, 其中细菌以乳杆菌目属种占优势, 真菌则以德巴利汉逊酵母为主<sup>[5]</sup>。这些微生物与发酵食品的品质和风味直

收稿日期: 2014-09-03

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD28B07)

作者简介: 王刚(1980—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为食品生物技术。E-mail: wanggang@jiangnan.edu.cn

\*通信作者: 陈卫(1966—), 男, 教授, 博士, 研究方向为食品生物技术。E-mail: chenwei66@jiangnan.edu.cn

接相关, 发酵食品独特的风味主要源自于其中大量微生物代谢所产生的醇类、酯类以及有机酸等小分子物质<sup>[6-7]</sup>。因此从传统发酵食品中筛选具有改善食品风味潜力的微生物并用于食品加工, 一方面可以改善食品的风味, 提高食品的可接受度并增加食品的附加值, 另一方面也能避免一些人工合成的风味添加剂的使用, 极大地保证了食品的安全性。

传统的面包发酵是利用酵母来发酵面团, 主要有压榨酵母(鲜酵母)、高活性干酵母等<sup>[8]</sup>。面包经发酵、烘焙后产生特殊的风味, 其中参与构成面包风味的芳香化合物主要来源于焙烤中的非酶促褐变过程, 脂肪酸氧化过程和微生物代谢产物<sup>[9-11]</sup>。如能利用一些产生特殊风味物质的食品级酵母作为面包发酵的菌种或辅助菌种, 则能够丰富面包的风味、改善其品质、扩大其消费人群。传统发酵食品中的乳酸菌已经被大量发掘并应用于发酵食品的生产, 酵母也在白酒、黄酒、葡萄酒、酱油、食醋等生产中得到广泛应用, 但在面包制作中的应用还相对较少。本实验旨在从传统发酵食品中筛选出具有产香能力的酵母菌, 研究其生理特性以及应用于面包烘焙的可行性, 以期改善传统面包的香气与风味。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

梅山牌活性干酵母 市售; 泡菜, 采集于重庆农家, 采用传统方法自然发酵成熟; 豆酱, 采集于扬州农家, 采用传统方法自然发酵成熟。

聚合酶链式反应(polymerase chain reaction, PCR)用酶、核酸分离试剂、电泳相关试剂 生工生物工程(上海)股份有限公司; 麦芽汁(糖度10 °Bx) 江南大学生物工程学院; 葡萄糖、蔗糖等 上海医药化学试剂公司; 其余试剂均为国产分析纯。

培养基: 1) 麦芽汁培养基<sup>[12]</sup>, 糖度为10 °Bx的麦芽汁于115 °C灭菌20 min, 固体培养基加入2 g/100 mL琼脂; 2) PDA培养基: 马铃薯20 g/100 mL、蔗糖2 g/100 mL, 蒸馏水配制, 自然pH值; 3) 10 g/100 mL(12.5 g/100 mL) 豆芽汁培养基<sup>[13]</sup>, 黄豆芽100 g(125 g)于蒸馏水1 000 mL中煮沸30 min, 过滤, 115 °C灭菌15 min, 自然pH值; 4) 产酯培养基<sup>[13]</sup>: 豆芽汁10 g/100 mL、葡萄糖5 g/100 mL, 蒸馏水配制, 自然pH值, 固体培养基加入2 g/100 mL琼脂。

### 1.2 仪器与设备

Trace MS气相色谱-质谱联用仪 美国Finnigan公司; 固相微萃取装置75 μmCAR/PDMS萃取头 美国Supelco公司; PB3002-N电子精密天平 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; ZB101-I型电热鼓风干燥箱

山东淄博仪表厂; MotiCB5生物显微镜 麦克奥迪公司; 101A-1型电热鼓风干燥箱 上海试验仪器厂有限公司; 高速冷冻离心机 德国Hettich公司; LS-B50L立式压力蒸汽灭菌器 上海三申医疗器械有限公司; 220V/1000W红灯铝合金双层电炉 无锡电热器材二厂; PYX-DHS隔水式电热恒温培养箱 上海跃进医疗器械厂; XW-80A微型旋涡混合仪 上海沪西分析仪器厂。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 菌种筛选

取重庆泡菜汁(20 mL)或扬州豆酱(10 g)置于20 mL加有玻璃珠的无菌水中充分打碎摇匀, 取1 mL悬液连续10倍梯度稀释4次, 不同稀释度分别取0.1 mL涂布于添加有0.1 μg/mL氨苄青霉素的麦芽汁培养基平板上, 分别置于28、32 °C恒温培养48 h。取菌落密度适中的平板挑取单菌落于新的平板上进行连续3次划线以分离纯化菌株。

#### 1.3.2 性能测定

菌落形态观察: 观察麦芽汁培养基平板上菌落的形态, 包括菌落大小、颜色、外形、表面湿润度以及有无褶皱, 并通过嗅闻初步判定各菌株香气的强弱。

酵母细胞形态观察: 将分离得到的酵母制成菌悬液, 滴加半滴碱性美蓝染液, 制成玻片, 于400×光学显微镜下观察其细胞形态。

ITS rDNA鉴定及进化分析: 以ITS rDNA序列通用引物(ITS1: 5'-TCCGTAGGT GAACCTGCGG-3', ITS4: 5'-TCCTCGCTTATTGATATGC-3')对酵母进行基因扩增并测序。选取同源性高的典型菌种序列, 应用ClustalX 2.0软件进行多序列比对, 采用MEGA 6.06软件邻位相连法构建系统发育树。

产酯能力测定<sup>[13-14]</sup>: 将分离纯化得到的单菌落接入10 g/100 mL豆芽汁培养基, 分别于28、32 °C培养3~5 d, 嗅觉测定是否有酯类香气。选择酯类香气浓的样品吸取其中1 mL菌悬液连续10倍梯度稀释5次, 每一个稀释度吸取0.1 mL菌悬液涂布于产酯平板上, 分别于28、32 °C培养3~5 d, 挑选出其中有香味的平板, 于4 °C冰箱保藏, 以备进一步研究鉴定。

糖利用能力测定: 12.5 g/100 mL豆芽汁分别添加2 g/100 mL葡萄糖、麦芽糖、白砂糖和可溶性淀粉作为酵母利用糖类的培养基<sup>[13]</sup>, 将PDA培养基中28 °C培养24 h的酵母种子液以体积分数3%的接种量接种至装有杜氏小管的试管中(5 mL培养基), 28 °C静置培养48 h, 观察酵母菌的产气情况, 测定酵母对不同糖类的利用能力。

发酵力测定: 将筛选得到的产香酵母接入PDA培养基中, 28 °C培养24 h, 4 °C离心10 min(6 000 r/min)收集菌体, 以无菌生理盐水重悬清洗3次, 得到鲜酵母。采用浮起法<sup>[15-17]</sup>测定酵母菌株的面团发酵力。当酵母在

面团中发酵产气时,会使面团的体积变大,从而密度变小。当发酵面团密度小于水的密度时,面团便从容器底部浮到水面。具体操作方式如下:称取精制特二粉70 g,30℃恒温备用。2%待测酵母(市售活性干酵母按0.8%干质量称取),2.8 g白砂糖,加19 mL蒸馏水溶解重悬,30℃活化30 min;另称取0.5 g NaCl溶于19 mL蒸馏水中,30℃恒温,将2种液体倾入恒温的精制特二粉中,揉和均匀,制成温度为30℃的面团。从中称取10 g小面团搓成小球(表面光滑无裂缝,3个一组),投入30℃水中,立即开始计时。记录小球浮起时间,取平均值作为实验结果。从面团揉和到小球投入水中控制在5 min内。面团投入到水中至面团浮起所用的时间越短表明酵母的发酵力越强。

耐高糖能力测定:与测定产香酵母发酵力实验相同的原料和方法,将上述发酵力测定实验中白砂糖的添加量梯度增加(5%、10%、15%和20%),测定面团能否浮起以及浮起的时间。

### 1.3.3 面包烘焙中的初步应用<sup>[18]</sup>

配方1:面粉500 g、鲜酵母2%(质量分数,下同)、白砂糖5%、NaCl 1%,蒸馏水54%;配方2:面粉500g、市售活性干酵母0.8%、白砂糖5%、NaCl 1%,蒸馏水54%;配方3:面粉500 g、鲜酵母2%,市售活性干酵母0.8%、白砂糖5%、NaCl 1%、蒸馏水54%。

先将鲜酵母或市售活性干酵母与白砂糖、NaCl及蒸馏水充分溶解重悬,30℃活化30 min。将活化后的菌悬液与面粉混合,用和面机充分和匀,直至打出面筋,搓成形并松弛20 min后,放置于28℃、相对湿度75%~80%的醒发室中醒发90 min。醒发结束后取出置于烤炉中烘烤(上火150℃,下火230℃,20 min)。

### 1.3.4 面包中挥发性化合物含量的测定

顶空固相微萃取(headspace-solid phase micro-extraction, HS/SPME):称取面包样品约5 g,放入置于60℃恒温水浴的15 mL SPME样品瓶中(样品约占瓶体积的3/5);将老化好的萃取头插入样品瓶的上部,顶空萃取40 min;用手柄将纤维头退回到针头内,拔出针头进样。

采用气相色谱-质谱联用法(gas chromatograph-mass spectrometer, GC-MS)测定。气相色谱条件:DB-WAX122-7032毛细管色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm);载气He流量:恒流,0.8 mL/min;升温程序:起始温度40℃,保留3.5 min,后以5℃/min升至90℃,再以12℃/min升至220℃,保留7 min。质谱条件:电离方式EI,进样孔温度250℃,离子源温度200℃,电子能量70 eV,发射电流200 μA,采集方式为全扫描,采集质量范围为m/z 33~495。

## 2 结果与分析

### 2.1 产香酵母菌的筛选与分离

泡菜及豆酱稀释悬液经麦芽汁培养基培养48 h后,结果显示重庆泡菜样品中的微生物在28℃条件下生长较旺盛,扬州豆酱中的微生物在28℃及32℃条件下均有生长。从重庆泡菜28℃平板上共挑取典型单菌落20个,经菌落形态以及细胞形态观察,初步判定其中5株为酵母菌。从扬州豆酱28℃平板(制酱期为3个月的新豆酱)上共挑取典型单菌落15个,经菌落形态以及细胞形态观察初步判定1株为酵母菌;在32℃平板(制酱期为8个月的老豆酱)中共挑取典型单菌落15个,经菌落形态以及细胞形态观察初步判定2株为酵母菌。

#### 2.1.1 菌落形态特征

将上述分离得到的8株酵母菌经斜面传代培养后,于麦芽汁培养基平板上划线分离,28℃培养48 h,观察单菌落形态特征。菌落特征见表1。

表1 8株酵母菌株菌落特征

Table 1 Colony characteristics of 8 yeast strains

菌号	来源	菌落特征
YG28B	泡菜	白色、圆形、突起、表面干燥、不透明、有皱褶、边缘光滑、直径2.0 mm
YG28T	泡菜	乳白色、圆形、扁平、表面湿润、半透明、无褶皱、边缘光滑、直径2.5 mm
YZ28B	泡菜	白色、圆形、突起、表面干燥、不透明、有皱褶、边缘光滑、直径2.0 mm
YZ28T	泡菜	乳白色、圆形、扁平、表面湿润、半透明、无褶皱、边缘光滑、直径2.5 mm
YX28T	泡菜	乳白色、圆形、扁平、表面湿润、半透明、无褶皱、边缘光滑、直径1.5 mm
YL28T	豆酱	乳白色、圆形、扁平、表面湿润、半透明、无褶皱、边缘光滑、直径1.5 mm
YX32B	豆酱	白色、圆形、突起、表面半湿、不透明、无褶皱、边缘光滑、直径1.5 mm
YL32T	豆酱	乳白色、圆形、突起、表面湿润、半透明、无褶皱、边缘光滑、直径1.5 mm

#### 2.1.2 产香能力测定结果

产香能力是衡量酵母菌发酵性能的一个重要指标。酵母菌在发酵过程中不仅产生二氧化碳和酒精,而且还产生一些酯类物质,从而赋予发酵食品独特的风味<sup>[10]</sup>。实验将分离3次后得到的纯酵母菌接种于液体麦芽汁培养基中静置培养(28℃),通过嗅觉测定其产香情况(表2),同时将其接入液体豆芽汁培养基中,于28℃条件下静置培养,定时测定其产香情况(表3)。

表2 酵母菌发酵麦芽汁产香情况

Table 2 Aroma production from wort fermented with yeasts

菌号	产香情况
空白	培养基的味道
YG28B	较浓的米酒味
YG28T	有米酒略带霉味
YZ28B	很浓的米酒香
YZ28T	很浓的米酒香
YX28T	酸味、豆腥味、产气
YL28T	干霉味、较弱的酸味
YX32B	豆腥味
YL32T	豆腥味及刺鼻的味道

由表2可知, YZ28B、YZ28T、YG28B 3株酵母菌, 经3次平板划线纯化后, 仍有较浓烈的酒香气味(将培养于麦芽汁培养基平板上的相应培养物置于4℃冰箱保存4d后, 气味减弱), 表明该3株酵母在生长过程中产生了可挥发的芳香性物质。

表3 酵母菌株发酵豆芽汁产香情况

Table 3 Aroma production from bean sprout juice fermented with yeasts

菌号	产香情况		
	1 d	2 d	3 d
空白	无酯香、培养基的气味		
YG28B	无香气	香气淡、醜	香气浓、醜、有气泡
YG28T	无香气	香气淡、醜	香气较浓、醜、有气泡
YZ28B	无香气	香气淡、醜	香气较浓、醜、有气泡
YZ28T	无香气	香气淡、醜	香气较浓、醜、有气泡
YX28T	无香气		
YL28T	无香气		
YX32B	无香气		
YL32T	无香气		

由表3可知, 从重庆泡菜中筛选得到的4株酵母 YG28B、YG28T、YZ28B、YZ28T在豆芽汁培养基上培养3d(28℃)后有明显的香味, 且YG28B产生的香气最浓, 而泡菜中筛得的YX28T以及豆酱中筛得的酵母 YL28T、YX32B、YL32T则没有香气, 仅有一股淡淡的酸味。

结合表2和表3的实验结果, 重庆泡菜筛选得到的4株酵母具有较高的产香能力, 尤其是YG28B、YZ28B、YZ28T等3株菌香味较纯。因此进一步检测该4株菌在产酯平板(28℃)上的菌落特征和气味, 判断其产酯能力, 结果如表4所示。

表4 产酯平板菌落特征及产香情况

Table 4 Colony characteristics and aroma production of yeasts on ester-producing plates

菌号	菌落特征及产香情况
空白	培养基的气味
YG28B	表面干燥有皱褶、白色不透明、菌落扁平直径较大、酯香浓烈
YG28T	表面较湿润、乳白色、半透明、菌落扁平直径较大、酯香一般
YZ28B	表面干燥有皱褶、白色不透明、菌落扁平直径较大、酯香较浓
YZ28T	表面较湿润、乳白色、半透明、菌落扁平直径较大、酯香较浓

由表2~4可知, YG28B、YZ28B、YZ28T 3株菌产香能力较强, 在麦芽汁培养基中不产气, 而在豆芽汁培养基中发酵产气能力很强, 尤其在50h以后, 更加明显, 且在产酯平板上酯类香气能维持10d以上不散去。

## 2.2 产香酵母的性能测定结果

### 2.2.1 不同糖类的利用能力

酵母对一定质量浓度的葡萄糖、半乳糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖、棉子糖、蜜二糖等糖类有一定的适应性, 并且能利用这些糖发酵产生二氧化碳。此外, 能否利用麦芽糖是判断面包酵母的一个特征<sup>[19]</sup>。因此, 以添加不

同糖类(2g/100mL)的12.5g/100mL豆芽汁培养基对 YG28B、YZ28B、YZ28T 3株菌进行糖类利用实验, 以判定酵母菌对不同碳源的利用情况(3%接种量, 28℃培养48h), 结果见表5。

表5 酵母菌对不同糖类的利用能力

Table 5 Ability of utilization of different carbohydrates by yeasts

菌号	不同碳源产气情况			
	葡萄糖	麦芽糖	白砂糖	可溶性淀粉
YG28B	+	++	+	-
YZ28B	+	++	+	-
YZ28T	+	-	-	-

注: ++, 产气能力较好; +, 产气能力一般; -, 不产气。

由表5可知, 该3株菌株中YG28B、YZ28B能较好地利用葡萄糖、麦芽糖以及白砂糖。根据能利用麦芽糖的特性, 表明以上2株酵母可能为面包酵母。

### 2.2.2 产香酵母的发酵力

将3株酵母菌作为发酵面团的种子, 测定其在面团中的发酵力, 并且和市售活性干酵母进行比较, 测定结果如表6所示。

表6 不同酵母发酵力的比较

Table 6 Comparison of fermentation ability of different yeasts

菌号	YG28B	YZ28B	YZ28T	市售活性干酵母	市售干酵母+YG28B
浮起时间/min	36.13	55.17	90.25	33.83	39.42

发酵力越强的酵母在面团中越能快速发酵产气, 使面团在越短时间内体积变大、密度变小, 从而快速上浮。由表6可知, 筛选到的3株产香酵母中, YG28B的浮起时间最短, 与市售活性干酵母一样具有较好的发酵能力, 对实际应用有一定的参考价值。当将YG28B与市售活性干酵母混合添加至面团中时, 发酵力并无显著提高。

### 2.2.3 耐高糖能力

具有良好发酵性能的酵母菌株必须耐高温和高浓度糖, 这是进行工业发酵生产的前提<sup>[20]</sup>。部分焙烤制品中的糖含量可高达25%<sup>[21]</sup>, 在高糖面团中酵母的发酵速率受到抑制, 因此耐糖性是酵母产品的重要质量指标之一。本研究进一步对上述3株产香酵母进行耐高糖实验, 结果如表7所示。

表7 酵母耐糖能力

Table 7 Tolerance of yeasts to high sugar concentrations

白砂糖添加量/%	浮起时间/min		
	YG28B	YZ28B	YZ28T
5	39.27	60.42	100.48
10	50.38	95.13	>120
15	85.60	>120	>120
20	>120	>120	>120

由表7可知, YG28B能够耐受一定高添加量的白砂糖, 该产香酵母具有在焙烤制品中潜在的应用价值, 可用于面包发酵并改善面包囊的风味。

2.2.4 细胞形态观察

利用碱性美蓝对筛得的产香酵母YG28B染色后,在光学显微镜400×条件下对其细胞形态进行初步鉴定,鉴定结果如图1所示。

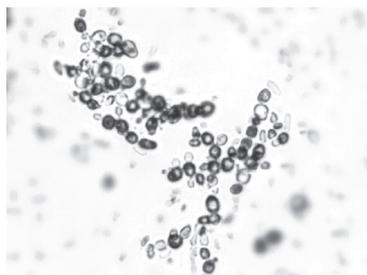


图1 产香酵母YG28B在显微镜下的细胞形态(×400)

Fig.1 Cell morphology of aroma-producing yeast YG28B under microscope (×400)

由图1可知,该菌株个体较大,400×能明显看出其细胞形态。菌体呈卵圆形,芽殖,具有较明显的酵母形态特征。

2.2.5 ITS rDNA序列分析

以ITS rDNA序列通用引物对菌株YG28B进行基因扩增并测序,测序结果上传至NCBI进行序列匹配和鉴定。结果显示序列相似度最高菌株为*Pichia guilliermondii*。选取同源性高的典型菌种序列,对YG28B与其发育关系相近菌株的ITS序列进行遗传距离计算,应用ClustalX 2.1和MEGA 6.06软件采用邻位相连法构建系统发育树,如图2所示。

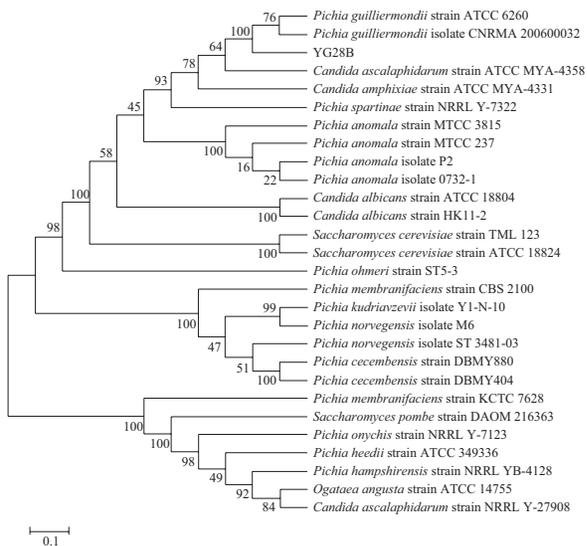


图2 基于菌株YG28B及相关模式菌株ITS rDNA序列分析构建的系统发育树

Fig.2 Phylogenetic tree based on the ITS rDNA sequences of strain YG28B and other species

2.3 产香酵母在面包烘焙中的初步应用研究

经过上述一系列筛选鉴定,将YG28B用于面包烘焙的初步应用研究,感官评定<sup>[22]</sup>结果如表8和图3所示。

表8 不同酵母烘焙面包感官评定

Table 8 Sensory assessment of bread fermented with different yeast strains

酵母种类	市售活性干酵母	YG28B	市售活性干酵母+YG28B
酵母添加量/%	0.8% (以干质量计)	2% (以湿质量计)	0.8%+2%
面包发酵情况	体积庞大	体积略有膨胀	体积庞大
面包囊风味	酸味,微香	无特殊香味	面包香,且有特殊可接受香味

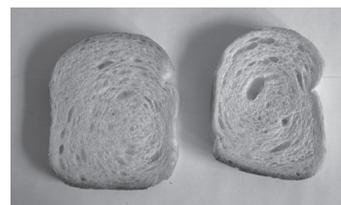


图3 市售活性干酵母和YG28B混合发酵(左)的面包与市售活性干酵母(右)发酵的面包

Fig.3 Comparison of bread fermented with commercial dry yeast and YG28B cooperatively (left) and commercial dry yeast alone (right)

由表8及图3结果可知,分别用YG28B、市售活性干酵母单独作为发酵种子制作的面包风味都不甚饱满。YG28B单独用于面包发酵时面包体积有一定的膨胀,但未达到令人满意的效果,且发酵后的面包只有面粉味而无任何发酵面团的气味。然而将YG28B添加到以市售活性干酵母为主要发酵种子的面团中进行混合发酵后,制作的面包不仅质地松软疏松,而且风味独特,有一股特殊的甜香味,并且无单独使用市售活性干酵母发酵面包时所产生的酸味。

表9 不同酵母菌发酵对面包重要挥发性风味物质的影响

Table 9 Effect of yeast starter cultures on volatile flavor compounds in bread

挥发性物质	峰面积(×10 <sup>6</sup> )	
	市售活性干酵母	市售活性干酵母+YG28B
乙醇	11.78	26.90
正丙醇	3.01	5.28
2-甲基-1-丙醇	12.13	13.98
2,3-甲基-1-丁醇	8.42	17.69
正丁醇	0.98	2.01
正戊醇	5.89	7.78
正己醇	6.43	11.16
1-庚醇	2.21	3.12
1-辛醇	ND	1.37
乙酸乙酯	1.19	3.91
己酸乙酯	1.99	4.25
辛酸乙酯	1.88	3.97
3-羟基-2-丁酮	0.98	2.78
2,3-丁二酮	0.18	2.21
正己醛	6.14	7.59
正辛醛	0.09	1.09
2-戊基呋喃	0.11	3.09
总计	63.41	118.18

注: ND. 未检测到。

进一步利用GC-MS对YG28B、市售活性干酵母混合发酵的面包及市售活性干酵母单独发酵的面包中重要挥

发性物质进行分析。由表9可知,在添加了YG28B之后,面包中醇类、酯类以及醛类物质含量均有提高,表明混合使用市售活性干酵母和YG28B发酵的面包比单独使用市售活性干酵母发酵的面包具有更优良的风味。本研究所筛得的产香酵母YG28B具有在面包烘焙制作中的潜在应用价值。

### 3 结论

通过对传统发酵食品重庆泡菜和扬州豆酱中酵母的定向筛选,得到了3株具有优良产香能力的酵母菌,分别为YG28B、YZ28B和YZ28T。本实验对该3株酵母的产酯能力、糖类利用能力、面团发酵力以及耐高糖能力等生理特性进行了鉴定,并对其中1株优良产香酵母YG28B在面包烘焙制作中的应用做了初步研究。研究结果显示,该3株酵母均有较好的产酯能力;均能利用葡萄糖而不能利用可溶性淀粉,除YZ28T外,另两株菌可利用麦芽糖和白砂糖,提示该两株菌可能为面包酵母;3株酵母中只有YG28B有较好的面团发酵力及高糖耐受能力,然而在面包的发酵与烘焙过程中,YG28B发酵力效果不明显,但将YG28B与市售活性干酵母混合发酵烘焙的面包,面团发酵效果良好,且面包囊风味独特,GC-MS检测显示面包中挥发性风味物质含量普遍有所提高,优于单独使用市售活性干酵母发酵烘焙的面包的风味。该株产香酵母可用于面包发酵以改善面包囊的风味,具有在烘焙制品中潜在的应用价值,经ITS rDNA鉴定该株产香酵母为季也蒙毕赤酵母*P. gilliermondii*。

### 参考文献:

- [1] 贝士. 产香酵母的特性与应用[J]. 食品工业, 1993, 14(3): 36-38.
- [2] 王国良, 宋俊梅, 曲静然. 生香酵母及其应用[J]. 食品工业, 2004, 25(3): 16-17.
- [3] 陆振群. 产酯类酵母菌的选育[D]. 芜湖: 安徽工程大学, 2012.
- [4] 王旭亮, 王异静, 王德良, 等. 清香型白酒优质产酯酵母菌筛选[J]. 酿酒, 2012, 39(4): 28-33.
- [5] 武俊瑞. 东北传统发酵特色食品中主要微生物多样性研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2013.
- [6] 柴洋洋, 葛菁萍, 宋刚, 等. 传统发酵豆酱中酵母菌的分离、筛选及功能酵母的鉴定[J]. 中国食品学报, 2013, 13(3): 183-187.
- [7] 汤慧娟, 杨秋萍, 韩翠萍. 传统发酵豆酱的风味物质研究进展[J]. 大豆科技, 2011(6): 31-34.
- [8] 冯微, 段绪果. 面包酵母研究进展[J]. 化工时刊, 2008, 22(7): 42-45.
- [9] 胡嘉鹏. 面包的风味化学[J]. 食品科学, 1985, 6(12): 9-17.
- [10] WOOD B J B. 发酵食品微生物学[M]. 徐岩, 译. 2版. 北京: 中国轻工业出版社, 2001.
- [11] 赵玉红, 张立钢. 乳酸菌和酵母菌共生发酵生产面包的研究[J]. 食品工业科技, 2003, 24(3): 61-62.
- [12] 诸葛健, 王正祥. 工业微生物实验技术手册[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1994.
- [13] 中国科学院微生物研究所. 常见与常用真菌[M]. 北京: 科学出版社, 1978.
- [14] 周德庆. 微生物学实验手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1986.
- [15] 肖冬光, 刘青, 李静. 面包酵母发酵力测定方法的研究[J]. 食品工业科技, 2004, 25(11): 61-63.
- [16] 曹斌辉, 刘长虹, 黄松伟, 等. 酵母发酵力测定新方法的探讨[J]. 粮食加工, 2010, 35(5): 76-78.
- [17] 李长文, 肖东光, 李志勇. 面包酵母发酵力测定方法的探讨[J]. 食品与发酵工业, 2002, 28(11): 25-27.
- [18] 李培圩. 面包生产工艺与配方[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999.
- [19] 姜天笑, 肖冬光, 刘青, 等. 快速发酵面包酵母菌株的选育[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(11): 76-79.
- [20] 王敏, 朱会霞, 孙金旭, 等. 高温酵母的分离及其特性研究[J]. 中国酿造, 2006, 25(11): 38-41.
- [21] 刘湄, 肖冬光, 代丽昕. 耐高糖面包酵母的研究[J]. 食品与发酵工业, 2001, 27(5): 12-16.
- [22] 孙君社, 薛毅. 食品感官鉴定[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2001.