

柑橘果皮中生香酵母的筛选及挥发性香气成分分析

刘 阳¹, 邓 静^{1*}, 吴华昌¹, 邓毛程², 龚艳川¹, 钟正丹¹, 龚加路¹

(1. 四川理工学院, 自贡 643000; 2. 广东轻工职业技术学院, 广州 510300)

摘要: **目的** 从微生物众多的柑橘中筛选得到生香酵母。**方法** 从四川地区的柑橘果皮中筛选出4株产生浓郁香味的生香酵母, 通过形态学、生理生化特征和 ITS 序列特征进行分析鉴定, 并利用顶空固相微萃取-气质联用技术检测其发酵产生的挥发性香气, 依据风味贡献理论比较不同菌株发酵的主体香气成分。**结果** 4株菌株(Y3、Y7、Y11、Y13)分别鉴定为桔假丝酵母(*Candida quercitrusa*)、蜜二糖假丝酵母(*Candida melibiosica*)、毕赤酵母(*Pichia sp.1* TMS-2011)、异常威克汉姆酵母(*Wickerhamomyces anomalus*), Y3的主体香味成分为2-壬醇、苯乙醇, Y7、Y11、Y13最主要的香气成分均为苯乙醇, 且苯乙醇相对含量均在30%以上。**结论** 分离得到的生香酵母具有发酵增香功能, 在柑橘果醋工业化生产中潜力巨大。

关键词: 柑橘; 生香酵母; 鉴定; 香气成分; 苯乙醇

Screening of yeast in citrus peels and their volatile aromatic components analysis

LIU Yang¹, DENG Jing^{1*}, WU Hua-Chang¹, DENG Mao-Cheng², GONG Yan-Chuan¹,
ZHONG Zheng-Dan¹, GONG Jia-Lu¹

(1. Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China;
2. Guangdong Light Industry Technical College, Guangzhou 510300, China)

ABSTRACT: Objective To screen an aroma-producing yeast in many microorganisms in citrus. **Methods** Four strains of aroma-producing yeasts were selected from the citrus peels produced in Sichuan province, the strains were identified based on morphological, physiological, biochemical characteristics and ITS sequence analysis. The types and content of volatile aromatic components were analyzed by SPME-GC-MS (Headspace solid phase microextraction combined with Gas chromatography-Mass spectrometry). The aroma values were calculated according to aroma contribution theory. **Results** The strains (Y3, Y7, Y11 and Y13) were identified as *Candida quercitrusa*, *Candida melibiosica*, *Pichia sp. 1* TMS-2011 and *Wicker hamomyces anomalus*. The results indicated that the main components of Y3 were 2-nonyl alcohol and benzene ethanol and the main components of Y7, Y11, and Y13 were benzene ethanol. **Conclusion** Aroma-producing yeast isolated with

基金项目: 广东高校特色调味品工程技术开发中心项目(GCZX-B1103)、四川理工学院学科特色培养项目、四川理工学院人才引进项目(2012RC12)、四川省2013年留学回国人员科技活动项目择优资助经费。

Fund: Supported by the Opening Project of Center of Guangdong Higher Education for Engineering and Technological Development of Speciality Condiments(GCZX-B1103), Sichuan University of Science and Engineering Discipline Characteristic Training Project, Sichuan University of Science and Engineering Talent Introduction Project(2012RC12), and Sichuan Province in 2013 Returned Project Personnel in Science and Technology Activities Preferred Grants.

*通讯作者: 邓静, 教授, 主要研究方向为食品发酵。E-mail: dj3930590@sina.com

*Corresponding author: DENG Jing, Professor, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China. E-mail: dj3930590@sina.com

fermentation fragrance has great potential to produce citrus vinegar in industrial production.

KEY WORDS: citrus; aroma-producing yeast; identification; aromatic components; benzene ethanol

1 引言

柑橘营养价值高, 生产量大, 是人们喜食的水果。在我国, 柑橘的年产量名列世界前列, 但由于加工业跟不上种植业的发展, 柑橘出现价格低廉、销售困难的局面^[1]。为高效发挥柑橘的营养价值, 研究人员开发了一种新型柑橘产品, 即柑橘果醋。柑橘果醋是新一代发酵食品, 兼有酿造醋和柑橘的营养成分、保健功能及风味, 深受消费者的青睐^[2]。

在柑橘果醋的生产过程中, 诸多有益微生物协同发酵, 其中, 酵母菌发酵能产生多种酯类、醇类等香味物质, 为果醋风味成分的形成具有重要作用。生香酵母是一类能够代谢产生香气成分的酵母菌的总称, 发酵过程中除参与醛缩醇类、含硫化合物等香气成分的生成外, 还一定程度地参与氨基酸和有机酸类的生成, 因此能显著增加食品的香气成分^[3]。目前研究人员对生香酵母在酒类生产、食品工业应用中做了很多研究。余伟民等^[4]在特香型白酒生产中加入生香酵母, 成功将白酒中的总酯、四大乙酯和丙酸乙酯大幅度提高, 总酸最大提高 12.2%, 乙酸、丙酸和丁酸均有较大提高; Feng 等^[5]发现 *Candida etchellsii* 能够大量产生酒石酸、苹果酸等有机酸, 也能够大量合成豆酱中独特的香味成分——愈创木酚。因此, 将生香酵母添加到发酵食品中, 对改善产品风味, 提高产品质量, 具有重大的实践意义。

在柑橘果醋制造过程中, 生香酵母的研究较少, 对特定菌株的相关挥发性香气成分也未见报道。因此, 从制造果醋的柑橘果皮中筛选生香酵母并研究其代谢产生的香气成分, 对柑橘果醋的工业化生产具有重要的现实意义。

本实验选择从制造果醋的柑橘果皮中筛选生香酵母, 通过菌种分离鉴定以及液体发酵产物中的挥发性香气成分的初步分析, 得到不同生香酵母菌株的挥发性香气成分和相对含量, 为其在柑橘果醋的生产应用中奠定基础。

2 材料与方法

2.1 试剂与仪器

2.1.1 材料与培养基

柑橘: 四川自贡市场购得。

培养基:

孟加拉红培养基: 蛋白胨 0.5%, 葡萄糖 1%, KH_2PO_4 0.1%, MgSO_4 0.05%, 琼脂 2%, 1/3000 孟加拉红溶液 10%, 补足蒸馏水, 分装 121 °C 灭菌 20 min。氯霉素 0.01% 用少量乙醇溶解, 加入已灭菌的 45 ~ 50 °C 培养基中, 制备平板。

YPD 培养基: 酵母膏 0.1%, 蛋白胨 2%, 葡萄糖 2%, 自然 pH。

PDA 培养基: 马铃薯 200 g, 葡萄糖 2%, 琼脂 2%, 自然 pH。

2.1.2 主要试剂与仪器

(1) 试剂:

EX Taq 酶(TaKaRa), dNTP (TaKaRa), ITS 引物 (Invitrogen 合成), Marker(DL2000)

(2) 仪器:

LDZX-50FBS 型立式压力蒸汽灭菌器(上海深谱医疗器械厂);

TGL—16B 型台式高速离心机(湖南星科科学仪器有限公司);

DY-6C 型电泳仪(北京市六一仪器厂);

GelDoc 2000 型凝胶成像系统(美国 Bio-Rad 公司);

S1000 型 PCR 扩增仪(美国 Bio-Rad 公司);

FD-1A-50 型冷冻干燥机(北京博医康实验仪器有限公司)。

2.2 方法

2.2.1 生香酵母的筛选

2.2.1.1 酵母菌的筛选

将购买的柑橘剥其果皮, 用无菌水洗净, 保鲜膜包好, 置于 28 °C 培养箱中, 待 3 d 后, 将柑橘果皮上的菌体刮入 10 mL 的无菌水试管中, 用移液枪准确吸取 1 mL 菌液做十倍梯度稀释, 取不同浓度的稀释液 100 μL 涂布到孟加拉红培养基上, 在 28 °C 恒温培养箱中, 培养 2 ~ 3 d, 挑取疑似酵母菌株的单菌落镜检、纯化并保藏。

2.2.1.2 生香能力研究

挑取一环 YPD 斜面的酵母接种至 50 mL YPD 液体培养基中, 28 °C 恒温静置培养 2 ~ 3 d, 嗅闻法确定是否产生香气^[6]。

2.2.1.3 生香酵母的鉴定

(1) 形态、生理生化特征

参照《真菌鉴定手册》^[7]和《酵母菌的特征与鉴定手册》^[8],对生香酵母进行形态学、生理生化鉴定。相关的生理生化实验包括糖发酵、碳源/氮源同化、高糖发酵、脲酶和石蕊牛奶实验。

(2) ITSrDNA 序列测定及菌株鉴定

采用 SDS-CTAB 法^[9]提取生香酵母 DNA,纯化后进行 PCR 扩增。ITS 序列^[10]扩增引物为 ITS1(5'-TCC GTAG GTGAACCTGCGG-3')、ITS4(5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3'),由上海生工生物工程股份有限公司合成。PCR 扩增条件:94 °C 预变性 10 min,94 °C 变性 1 min,55 °C 退火 1 min,72 °C 延伸 1 min,共 30 个循环,最后 72 °C 补平 7 min,终止温度 4 °C。PCR 扩增产物由上海杰李生物技术有限公司测序。在 NCBI 网站中使用 Blastn 功能将测序得到的 ITS 序列与 GenBank 数据库中已知标准菌 ITS 基因序列进行同源性比对分析,进一步准确鉴定各菌株。

2.2.2 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法检测生香酵母的挥发性香气成分

2.2.2.1 顶空固相微萃取方法条件

准确量取 7 mL 发酵液于 15 mL 顶空瓶中恒温(65 °C)水浴,将 50/30 μmDVB/CAR/PDMS 萃取头插入顶空瓶中平衡 10 min 后吸附 30 min(在固相微萃取装置上实现)后,将萃取头移入气相色谱的高温汽化室中解吸 5 min,进行 GC-MS 分析。

2.2.2.2 定性与定量分析

实验数据处理由 GC-MS 数据分析软件系统完成,未知化合物经计算机检索同时与 NSIT 谱库和 RTLPEST 谱库相匹配,仅当匹配度大于 800(最大值为 1000)的鉴定结果才予以报道,采用峰面积归一化法定量计算出各挥发性成分的含量。

2.2.2.3 GC-MS 条件

色谱条件:毛细管色谱柱 Agilent HP-INNOWax (60 m×250 μm, 0.25 μm);手动无分流进样,进样口温度 230 °C;程序升温 45 °C,保留 3 min,以 10 °C/min 的速率升至 200 °C,保留 5 min;检测器温度 230 °C;载气 He,流速 1 mL/min。

质谱条件:EI 电离源,电子能量 70 eV,扫描范围 10~550 u,离子源温度 230 °C;接口温度 230 °C。

2.2.3 筛选不同菌株主体香气成分

根据风味贡献率理论^[11],即香气物质的浓度或相对含量与香气阈值的比值确定特征香气,从生香酵母

液体发酵产生的挥发性香气成分中筛选出主体香气。

3 结果与分析

3.1 生香酵母的筛选

按照 2.2.1.1 的方法从柑橘果皮中筛选出 15 株酵母菌株,进一步做生香能力研究,结果如表 1 所示。

由表 1 可知,Y3、Y7、Y11、Y13 产香能力较强,Y4、Y9、Y14 一般,Y1、Y2、Y5、Y6、Y8、Y10、Y12、Y15 较弱。因此选择 Y3、Y7、Y11、Y13 作为实验菌株,对其进行种属鉴定和挥发性香味物质研究。

3.2 生香酵母的鉴定

3.2.1 形态特征

划线培养已纯化的生香酵母于 28 °C 恒温培养箱 24 h,显微镜下观察酵母的细胞形态,继续培养 3 d,显微镜下观察其生成孢子情况。同时,将纯化的生香酵母点接于 YPD 固体培养基上,28 °C 恒温培养箱 7 d,观察其菌落形态。菌落特征及个体形态情况,结果如表 2 所示。

3.2.2 生理生化特征

对照《真菌鉴定手册》和《酵母菌的特征与鉴定手册》对 4 株生香酵母进行生理生化鉴定实验。

依据《真菌鉴定手册》及《酵母菌的特征与鉴定手册》和各分离菌株的形态特征、生理生化特征,初步将分离菌种 Y3、Y7 归类为假丝酵母(*Candida*),Y11 为毕赤酵母(*Pichia*),Y13 为威克酵母(*Wickerhamia*)。

3.2.3 分子鉴定

SDS-CTAB 法提取酵母总 DNA,纯化扩增后,送往测序公司测序,将得到的拼接序列以及单链序列,分别在 NCBI 网站中比对,通过筛选发现,Y3 菌株与标准菌株 KF220648 的 ITS 同源性为 100%,判定为桔假丝酵母菌(*Candida quercitrusa*);Y7 菌株与标准菌株 KJ9393352 的同源性大于 99%,判定为口津假丝酵母菌(*Candida melibiosica*);Y11 菌株与标准菌株 HQ631071 的同源性大于 99%,判定为毕赤酵母菌(*pichia sp.* 1 TMS-2011);Y13 菌株与标准菌株 KJ502660 的同源性为 100%,判定为异常威克汉姆酵母菌(*Wickerhamomyces anomalus*)。

3.3 生香酵母液体发酵产物中挥发性成分分析

将筛选出来的 4 株生香酵母菌株,按 2%接种量接入 250 mLYPD 液体发酵培养基,并置于 28 °C,150 r/min 摇床发酵 7 d,利用顶空固相微萃取-气质

联用技术检测发酵液中的挥发性香气成分, 结果如表 3 所示。

由表 3 知, 不同生香酵母发酵产生的挥发性成分的种类和含量存在极大差异。

表 1 柑橘果皮中酵母生香能力研究
Table 1 The ability to study citrus peel aroma raw yeast

菌号	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12	Y13	Y14	Y15
生香能力	+	+	+++	++	+	+	+++	+	++	+	+++	+	+++	++	+

注: “+++”表示香气浓郁; “++”表示香气稍淡; “+”表示香气轻微

表 2 生香酵母的菌落及个体形态
Table 2 The colonies and individual shapes of aroma-producing yeast strains

菌株	菌落形态	个体形态
Y3	乳白色, 圆形, 中央凸起, 边缘齐整, 菌落光滑, 不透明	卵圆形、长条形细胞, 一端出芽, 无子囊孢子, 有假菌丝
Y7	乳白色, 圆形, 中央凸起, 边缘齐整, 菌落不光滑(有小麻点), 不透明	不规则圆形细胞, 一端出芽, 无子囊孢子, 有假菌丝
Y11	乳白色, 圆形, 四周平、中部略凸, 边缘不齐整, 菌落有条形褶皱, 不透明, 有菌璞	圆形细胞, 较小, 多边出芽, 产生 1~4 个子囊孢子, 有假菌丝
Y13	乳白色, 圆形, 中央凸起, 边缘齐整, 菌落光滑, 不透明	卵圆形细胞, 较大, 两端芽殖, 产生 1~16 个子囊孢子

表 3 生香酵母发酵代谢产物中挥发性成分的检测
Table 3 Detection of aroma of yeast fermentation metabolite of volatile components

序号	保留时间	匹配项名称	中文名称	特征香气	香气成分相对含量/%			
					Y3	Y7	Y11	Y13
1	6.10	Ethyl alcohol	乙醇	特殊、愉快的香味	12.91	4.76	-	-
2	9.26	Isobutyl alcohol	异丁醇	醇油、酒精气味	1.34	2.22	0.18	-
3	11.25	Isoamyl alcohol	异戊醇	香蕉香、醇香气味	40.57	25.13	7.61	1.75
4	14.33	2-Nonanone	2-壬酮	花香、柑橘香	0.11	-	-	-
5	14.43	Nonanal	壬醛	玫瑰、柑橘香	2.95	0.42	1.03	0.83
6	15.95	Decanal	癸醛	脂蜡状香气	-	0.46	1.26	1.40
7	15.99	2-Nonanol	2-壬醇	蜡香、柑橘香	2.48	-	-	-
8	16.43	Benzaldehyde	苯甲醛	苦杏仁味	1.35	1.14	0.93	0.28
9	17.78	1-Nonanol	1-壬醇	花香、似柑橘香气	0.18	-	-	0.19
10	17.83	2-Furanmethanol	糠醇	甜香味	0.28	-	-	-
11	17.91	Benzeneacetaldehyde	苯乙醛	蜂蜜香、甜香	0.82	0.53	-	0.41
12	18.05	Acetophenone	苯乙酮	类似杏仁香气	-	-	-	0.11
13	18.43	2-Dodecanol	2-十二醇	花香	0.22	-	-	-
14	19.03	D-Citronellol	D-茅香醇	香茅油香	0.33	-	-	-
15	19.26	Naphthalene	精萘	煤焦油气味	-	0.15	0.14	0.12
16	19.58	Phenethyl acetate	乙酸苯乙酯	甜蜜香味	-	-	-	0.10
17	20.05	Dibutyl phthalate	酞酸二丁酯	芳香气味	-	-	0.51	-
18	21.23	PhenylethylAlcohol	苯乙醇	愉快的玫瑰香气	33.71	57.79	80.24	91.83
19	25.19	γ -Decalactone	丙位癸内酯	桃子、椰子香气	-	-	0.54	0.59
总计					97.25	95.17	94.33	98.04

Y3 检测出 14 种呈香物质, 香气成分占总挥发性成分的 97.24%, 相对含量最高的是异戊醇, 其阈值为 30 mg/L, 其次是苯乙醇(阈值 1 mg/L)、乙醇(阈值 14000 mg/L)、2-壬醇(阈值 0.28 mg/L), 其他醛类物质含量较小且其阈值相对较高, 故根据风味贡献率理论得知, Y3 的主体香味成分是 2-壬醇, 其次是苯乙醇; Y7 检测出 9 种呈香物质, 香气成分占总挥发性成分的 95.17%, 相对含量最高的是苯乙醇, 其次为异戊醇、乙醇、异丁醇(阈值 40 mg/L), 根据风味贡献率理论得知, Y7 的最主要的香气成分是苯乙醇; Y11 和 Y13 也分别检测出 9 种、11 种呈香物质, 相对含量最高的均为苯乙醇(80.24%、91.83%), 其次为异戊醇、葵醛、壬醛。因此, Y11、Y13 的主要香气成分为苯乙醇。

4 讨论

本实验从柑橘果皮中筛选出 4 株能产生浓郁香气的生香酵母, 通过形态学特征和 ITS 序列特征分析, 初步鉴定其分别为桔假丝酵母(*Candida quercitrusa*)、蜜二糖假丝酵母(*Candida melibiosica*)、毕赤酵母(*Pichia sp.* 1 TMS-2011)、异常威克汉姆酵母(*Wickerhamomyces anomalus*)。假丝酵母、毕赤酵母、威克酵母都是典型的产香酵母菌, 在目前许多研究中都有报道。梁慧^[12]等从传统腊鱼中筛选出两株生香酵母菌, 分别为季也蒙毕赤酵母(*Pichia guilliermondii*, H9), 近平滑假丝酵母(*Candida parapsilosis*, J11); 叶荫祺^[13]等从苹果样品中筛选出一株产香能力强, 且能提高苹果感官质量的酵母, 经鉴定为威克酵母(*Wickerhamomyces anomalus*)。王晓丹^[14]等从贵州某白酒厂的酒醋中筛选出两株既产酒又生香的酵母, 经鉴定其分别为高产乙酸乙酯的平常假丝酵母(*Candida inconspicua*)、高产乙酸苯乙酯的毕赤酵母(*Pichia kudriavzevii*)。目前报道了许多的生香酵母, 但其发酵代谢产物的种类和含量具有明显的差别。

利用顶空固相微萃取-气质联用技术检测了此次实验筛选的生香酵母发酵代谢产物, 确定了不同菌株的主体香味情况。其中, 桔假丝酵母的主体香味成分是 2-壬醇和苯乙醇, 蜜二糖假丝酵母、毕赤酵母和异常威克汉姆酵母的主体香味成分均为苯乙醇, 且其相对含量较高, 分别为 57.79%、80.24%、91.83%。在目前报道中, 有很多生香酵母可以产生苯乙醇, 但其相对含量均没有达到 50%以上。在高健^[15]等分离

的莴苣内生香酵母 GC-MS 检测中苯乙醇相对含量为 5.21%, 廖永红^[16]等分离的产香酵母中苯乙醇相对含量更低, 仅为 3.49%, 而付俊淑等^[17]分离出的产苯乙醇相对含量较高酵母菌也仅为 19.03%。因此, 本次筛选出的生香酵母具备产大量苯乙醇的优势功能。苯乙醇是一种比较典型的芳香醇^[18], 阈值较低, 仅为 10 mg/L, 具有淡雅细腻的玫瑰香气, 很受人们欢迎, 在食品、白酒、果酒、药品及化妆品等行业中都有着广泛的应用。在柑橘果醋生产中, 苯乙醇也具有重要的作用, 其不仅可以作为香味物质直接加入到果醋中, 又可以在酿醋的过程中, 与酸类物质形成芳香酯类化合物, 促进果醋风味形成。因此, 高产苯乙醇的生香酵母具备发酵增香的巨大潜力, 在柑橘果醋的工业化生产中具有极大的应用前景。

参考文献

- [1] 陈功, 余文华, 康建平, 等. 论我国柑桔深加工技术研究与开发的必要性[J]. 四川省食品与发酵, 2001, 36(3): 1-5.
Chen G, Yu WH, Kang JP, et al. Necessity of research and development of deep processing technique of citrus in China [J]. Sichuan Food Ferment, 2001, 36(3): 1-5.
- [2] 徐子婷, 周文美. 绿色食品果醋开发的探讨[J]. 河北农业科学, 2010, 14(7): 74-76.
Xu ZT, Zhou WM. Development of green food of fruit vinegar [J]. J Hebei Agric Sci, 2010, 14(7): 74-76.
- [3] 蒲春, 胡沂淮, 贾亚伟. 产酯酵母的筛选及其发酵特性研究[J]. 酿酒科技, 2013, 10(3): 47-49+53.
Pu C, Hu YH, Jia YW. Screening of ester-producing yeast strains and study on its fermenting properties [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2013, 10(3): 47-49+53.
- [4] 余伟民, 徐小明, 林培, 等. 生香酵母对特香型白酒风味风格的影响研究[J]. 酿酒科技, 2012, (1): 24-27.
Yu WM, Xu XM, Lin P, et al. Effects of aroma-producing yeast on the style and the flavor of site liquor [J]. Liquor-making Sci Technol, 2012, (1): 24-27.
- [5] Feng J, Zhan XB, Wang D, et al. Identification and analysis of the metabolic functions of a high-salt-tolerant halophilic aromatic yeast *Candida etchellsii* for soy sauce production [J]. Microbiol Biotechnol, 2012, 28(4): 1451-1458.
- [6] 石娇娇, 张建军, 邓静, 等. 自然发酵甜面酱中耐高温生香酵母的鉴定与挥发性香气成分分析[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(9): 172.
Shi JJ, Zhang JJ, Deng J, et al. Identification of aroma-producing yeast strains resistant to high temperature from the spontaneous

- fermented sweet sauce and detection of volatile aroma components [J]. *Food Ferment Ind*, 2014, 40(9): 172.
- [7] 魏景超. 真菌鉴定手册[M]. 第 1 版. 上海: 上海科学技术出版社, 1979: 102–117.
Wei JC. *Fungal Identification Manual* [M]. First edition. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1979: 102–117.
- [8] 巴尼特 A, 佩恩 RW, 亚罗 D. 酵母菌的特征与鉴定手册[M]. 胡瑞卿译. 青岛: 青岛海洋出版社, 1991: 20–28.
Barnett A, Payne RW, Yarrow D. *Characteristics and identification of yeasts* [M]. Translated by Hu RQ. Qingdao: Qingdao Ocean Press, 1991: 20–28.
- [9] 刘小勇, 田素忠, 秦国夫, 等. 提取植物和微生物 DNA 的 SDS-CTAB 改进法[J]. *北京林业大学学报*, 1997, 19(3): 100–103.
Liu XY, Tian SZ, Qin GF, *et al.* Extraction of plant and microbial DNA SDS-CTAB method [J]. *J Beijing Forestry Univ*, 1997, 19(3): 100–103.
- [10] Esteve-zarzoso B, Bellich C, Uruburu F, *et al.* Identification of yeasts by RFLP analysis of the 5.8S rRNA gene and the two ribosomal internal transcribed spacers [J]. *Int J Syst Bacteriol*, 1999, 49: 329–337
- [11] 魏永义, 焦驼文, 崔广, 等. 食醋特征香气成分分析研究[J]. *中国调味品*, 2010, 6(3): 99–101.
Wei YY, Jiao TW, Cui G, *et al.* Research of characteristic aroma constituents of vinegar [J]. *China Condiment*, 2010, 6(3): 99–101.
- [12] 梁慧, 马海霞, 李来好. 腊鱼产香酵母菌的筛选及其发酵产香特性初步研究[J]. *食品工业科技*, 2011, 32(12): 213–216.
Liang H, Ma HX, Li LH, *et al.* Screening of aroma-producing yeast strains from dry-cured fish and initial study on their aroma-production and fermentation characteristics [J]. *Food Sci Technol Ind*, 2011, 32(12): 213–216.
- [13] 叶萌祺, 袁亚宏, 岳田利, 等. 产香酵母分离鉴定与苹果酒发酵中的应用[J]. *农业机械学报*, 2013, 44(12): 188–192.
Ye MQ, Yuan YH, Yue TL, *et al.* Isolation and identification of aroma-producing yeasts and its application in cider fermentation [J]. *J Agric Mach*, 2013, 44(12): 188–192.
- [14] 王晓丹, 庞博, 陈孟强, 等. 酱香白酒酒醅中产香酵母分离与鉴定[J]. *食品安全质量检测学报*, 2014, 5(6): 1800–1805.
Wang XD, Pang B, Chen MQ, *et al.* Isolation and identification of aroma-producing yeast in fermented grains of maotai-flavor liquor [J]. *J Food Safe Qual*, 2014, 5(6): 1800–1805.
- [15] 高健, 许爱清, 唐新科. 一株莴苣内生香酵母菌的分离、鉴定及挥发性香气成分分析[J]. *食品科学*, 2011, 32(23): 162–166.
Gao J, Xu AQ, Tang XK, *et al.* Isolation, identification and volatile compound analysis of an aroma-producing endophytic yeast from romaine lettuce [J]. *Food Sci*, 2011, 32(23): 162–166.
- [16] 廖永红, 沈晗, 石文娟, 等. 产香酵母碳源利用及发酵产香特性初步研究[J]. *食品与发酵工业*, 2010, (2): 1–7.
Liao YH, Shen H, Shi WJ, *et al.* Study on carbon sources utilization and fermentation features of ester-producing yeasts [J]. *Food Ferment Ind*, 2010, (2): 1–7.
- [17] 付俊淑, 庄世文, 徐丹丹, 等. 酵母分离株分子鉴定及其挥发性香气成分检测分析[J]. *食品与发酵工业*, 2010, 36(2): 44–48.
Fu JS, Zhuang SW, Xu DD, *et al.* Free volatile compounds analysis and molecular identification of different yeast isolates [J]. *Food Ferment Ind*, 2010, 36(2): 44–48.
- [18] Etschmann MMW, Schrader J. Biotechnological production of 2-phenylethanol [J]. *Appl Microbiol Biotechnol*, 2002, 59(2): 1–8.

(责任编辑: 白洪健)

作者简介



刘 阳, 硕士, 主要研究方向为食品发酵。

E-mail: yangliuy5211@163.com



邓 静, 教授, 主要研究方向为食品发酵。

E-mail: dj3930590@sina.com