

# 酿酒根霉菌研究进展

龙可, 赵中开, 马莹莹, 杨建刚

(四川理工学院生物工程学院, 四川自贡 643000)

**摘要:** 根霉是一种极其重要的酿酒微生物, 在糖化过程中的作用十分显著, 根霉产酶特性的研究正如火如荼, 纯种根霉制曲早已广泛应用于生产, 现今根霉在我国酒类酿造业中的作用已无可替代。本文介绍了酿酒用根霉的一些主要生长及产酶特性, 并对根霉在酿酒过程中产酒精及对酒类风味物质的影响的研究进展进行了综述。

**关键词:** 根霉; 特性; 产酒精; 风味物质

文章编号: 1673-9078(2013)2-443-447

## Progresses of Researches on *Rhizopus* for Liquor-making

LONG Ke, ZHAO Zhong-kai, MA Ying-ying, YANG Jian-gang

(Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

**Abstract:** *Rhizopus* is a very important microbiology for liquor-making, which plays an extremely significant role in the process of saccharification. Many studies focus on the characteristics of the *Rhizopus* enzyme production. Purebred *Rhizopus* koji has been widely used in production. And nowadays the role of *Rhizopus* in liquor brewing has become irreplaceable. This paper introduces major growth and enzyme production characteristics of *Rhizopus* for liquor-making, and discusses the effect of product ethyl alcohol and flavor substances of *Rhizopus*.

**Keywords:** rhizopus; characteristic; product ethyl alcohol; flavor substances

我国酿酒历史悠久, 用曲酿酒技艺更是先人的伟大发明, 酒曲质量优劣直接关系到酒的质量和产率, 故大家都非常重视酒曲微生物的研究与应用技术<sup>[1]</sup>。

霉菌作为一种在各种酒曲中都存在的功能菌, 是我国酒曲微生物的重要组成部分。霉菌具有糖化力强的优点, 并能产生多种影响酒类风味的物质, 在酒的发酵过程中发挥着不可替代的作用。常用于酿酒的霉菌主要包括根霉属(*Rhizopus*)、曲霉属(*Aspergillus*)、毛霉属(*Mucor*)、犁头霉属(*Absidia*)、青霉属(*Penicillium*)等<sup>[2]</sup>。其中根霉属作为一种糖化力极强的霉菌, 广泛存在于各种酒曲中, 如泸州老窖国窖曲中的霉菌以根霉属为主, 小曲的主要糖化菌为根霉, 根霉也是茅台高温大曲中的主要霉菌之一<sup>[2-3]</sup>。吕旭聪等<sup>[4]</sup>对红曲中的丝状真菌进行了研究, 在分离得到的 43 种真菌中发现了 11 种根霉, 其种类数量仅次于曲霉, 其中米根霉的出现频率最高。Hye-Ryun Kim 等<sup>[5]</sup>在韩国的传统酒曲中也发现了米曲霉与米根霉。酒曲中的根霉经过长期驯化, 代代相传, 其性能得到改善和优化, 成为酒曲菌种中的一大宝库<sup>[6]</sup>。国内现使用较广的根霉菌株包括 C-24、Q303、3866、702、YG5~5 以及一些从各

种地方曲中分离出来的根霉等等<sup>[7-10]</sup>。

### 1 根霉在酿酒中的特性

根霉(*Rhizopus*)在分类学上属于真核生物界的毛霉目(*Mucorales*)、毛霉科(*Mucoraceae*)中的根霉属(*Rhizopus Ehrenberg*), 是发酵工业中的一种常用菌, 尤其在酿酒工业中扮演着及其重要的角色。根霉产酶种类繁多, 且酶活力高, 其中尤以淀粉酶最为突出。

#### 1.1 根霉的一些生长代谢特性

根霉比较娇嫩, 生长速度慢, 多数根霉最适生长温度为 30℃~33℃, 酶生成的温度比生长温度略高, 最适产酶 33℃~35℃, 故一般制备根霉曲的温度以 33℃~36℃为宜<sup>[3-7]</sup>。

根霉在生长过程中能产生大量的淀粉酶、蛋白酶、脂肪酶, 而且还能产生柠檬酸、葡萄糖酸、乳酸、琥珀酸等有机酸。由于根霉能产生活性很强的淀粉酶, 因此在酿酒工业上多用作淀粉质原料的糖化菌, 而我国是最早利用根霉糖化淀粉生产酒精的国家<sup>[11]</sup>。

根霉能在生料上大量生长, 在与其他菌种混合培养时, 根霉表现出一种极好的“团结性”, 能与不同来源的菌类, 在曲坯上以共生、拮抗等方式杂居在一起, 而且不仅仅是“和平共处”, 还能一枝独秀, 这就明显区别于曲霉的“孤独”<sup>[7-12]</sup>。相比于熟料, 根霉更适合在生料上生长, 主要是因为根霉缺乏酸性羧基蛋白

收稿日期: 2012-09-19

基金项目: 四川理工学院基金项目 (2011RC01)

作者简介: 龙可 (1988-), 男, 硕士研究生, 研究方向发酵工程

通讯作者: 杨建刚

酶(羧肽酶),在熟料上生长时,不能分解利用加热变性蛋白质,而一旦缺乏有机氮,则会影响菌丝的生长和产酶酶活,如果在熟料上补加硝酸铵或酪素水解液,根霉的生长就能够像在生料上那样旺盛,这些特性就使得根霉成为了一种典型的生料制曲的菌种<sup>[12~14]</sup>。也正是因为这个原因,根霉在与其他菌种混合培养时,就可以利用其他菌种的代谢产物,促进自身生长,于是造就了根霉的“团结性”,但这也使得根霉缺乏“独立”能力,在某种程度上限制了根霉利用熟料进行发酵制曲。

### 1.2 根霉产淀粉酶特性

根霉既能产糖化酶,也能产液化酶( $\alpha$ -淀粉酶),且根霉产液化酶的能力强,不容忽视,但根霉终究是以其产糖化酶而闻名,产糖化酶能力强且活性高,能将淀粉近乎理论值地转化为葡萄糖,故对根霉的糖化力的研究数不胜数。不管是在酿酒中,还是在其他发酵工业中,都常依靠根霉的糖化力和液化力进行各种发酵,如以根霉为主要糖化菌,制大曲和麸曲,用米根霉发酵生产L-乳酸等。王新惠等<sup>[15]</sup>对四川理工学院酿酒生物技术及应用四川省重点实验室所提供的米根霉 SCLG0319 进行了糖化酶酶促反应条件的研究,研究了这种酿酒用米根霉在不同的反应条件下酶活的变化情况,并测得酶活力可达到 90 U/mL,且该酶系对碳链较长的底物表现出较强的酶活力,最适酶促温度 50 °C~55 °C,最适 pH 为 5.0~5.5,  $Mg^{2+}$  对该酶有较大的激活效应,  $Mn^{2+}$  对该酶有较大的抑制作用。同时,王新惠、刘达玉<sup>[16]</sup>还对该菌种在发酵中产糖化酶与发酵时间、温度、装液量、初始 pH 值及相关金属离子等因素的关系进行了一系列的实验研究,确定发酵产糖化酶 40 h 为宜,最适发酵温度 30 °C,装液量 100 mL / 250 mL,培养基初始 pH 值 6.0,菌株对低浓度乙醇作用呈现依赖性,培养基中 6% vol 酒精度时酶活力达到最大的 135 U/mL,  $Mg^{2+}$  对产酶有较大的激活效应,  $Fe^{2+}$  对产酶有较大的抑制作用。田国政等<sup>[17]</sup>对从恩施酒曲中分离出的根霉 ERh1123、ERh3421、ERh5131 产液化酶的最适 pH 及反应过程中酶活受 pH 值的影响进行了研究,结果表明,菌株产糖化酶、液化酶的适宜 pH 为 4.6~5.2,在此条件下,糖化酶的活性为  $1.41 \times 10^2 \sim 1.59 \times 10^2$  U/g,液化酶的活性为  $0.69 \times 10^3 \sim 2.21 \times 10^3$  U/g;反应时糖化酶的最适 pH 为 4.6,液化酶的最适 pH 为 5.2~5.8,反应时酶的活性与产酶条件下相比,糖化酶的活性可提高到  $1.52 \times 10^2 \sim 3.21 \times 10^2$  U/g,但液化酶的活性没有显著变化。Kotaka A 等<sup>[18]</sup>在将淀粉转化为酒精的研究中发现,由米根霉合成的糖化酶会出现在酵母细胞的表面上。

他们利用基因工程手段,将米根霉中编码糖化酶的基因导入到实验室酿酒酵母 MT8-1 的细胞中并成功构建出能够表达糖化酶基因的酵母细胞 MT8-1/pUDGAR,经测定,该酵母细胞所合成的糖化酶活性要高于原酵母细胞表面上糖化酶的活性。在大曲中,糖化力和液化力有显著的正相关性,这是因为大曲的糖化力和液化力跟微生物的生长繁殖状况密切相关,通常情况下,这两种酶活力是相辅相成的,因而可以根据一种酶活力的测定结果来计算另一种酶活力的大致范围<sup>[19]</sup>。同时,不同菌株产酶特性不同,所产酶的特性也不同,总体而言根霉产淀粉酶能力强,且淀粉酶活力高。

大曲和麸曲主要作为酶制剂,故可以通过测定其酶活力的高低来确定质量,而根霉菌产品除本身的糖化力外还有大量的活菌体和孢子,在生产使用过程中,根霉边生长、边产酶、边糖化。因此根霉菌的质量不可能采用测定酶活力的方法来确定。由于根霉菌是用来接种米饭,并使之糖化发酵,所以采用试饭的方法来检测根霉菌的质量是一种比较合理的方法<sup>[6]</sup>。

酒曲中分离得到淀粉酶活性强的优良根霉菌株的研究不胜枚举,于博等<sup>[20]</sup>对广东肇庆传统小曲的优势霉菌进行了分离,得到糖化酶活力强的菌株 F6,经鉴定为米根霉,周光来等<sup>[21]</sup>从恩施酒曲中也分离得到了具有较高的糖化酶和液化酶活性的根霉菌株,喻凤香等<sup>[22]</sup>从酒曲中分离到 30 株根霉菌,其中 *Rhizopus RN-*、*Rhizopus RA-1*、*Rhizopus RS-1*、*Rhizopus RQ-1* 能产生低聚糖酶,其糖化酶和液化酶活力比 Q303 高,马蓁等<sup>[23]</sup>从湖北民间传统酒曲中分离到 1 株产糖化酶活力强的米根霉菌 F14。

### 1.3 根霉产酸性蛋白酶特性

目前已发现能分泌酸性蛋白酶的微生物主要是霉菌,根霉就是其中的一种,同时还包括曲霉、青霉等<sup>[24]</sup>。虽然在白酒酿造过程中,对于蛋白酶的了解远不及淀粉酶,但许多白酒中所含有的部分香味物质也来自于蛋白质,制曲及酒醅发酵也都与酸性蛋白酶密切相关,所以绝不能忽视蛋白质及其酶的作用<sup>[25]</sup>。

Hwa L Wang 等<sup>[26]</sup>对少孢根霉产酸性蛋白酶的最适条件进行了研究,结果表明,产酶的最佳培养基为含水量在 50% 的麸皮培养基,最适温度为 25 °C,培养时间为 3~4 d。李理,钟晓敏<sup>[27]</sup>以少孢根霉为对照研究了从豆豉中分离的一株米根霉产酸性蛋白酶的条件及所产蛋白酶的性质,其研究结果表明,米根霉在 28~31 °C 条件下培养 36 h 时产酸性蛋白酶能力很强,而少孢根霉在 31 °C 条件下培养 48 h 达到产酶高峰,当培养基水分含量在 52%~55% 范围内时,少孢根霉产

酸性蛋白酶能力较强,而对于米根霉,培养基水分含量达 57% 时产酶量最高。米根霉与少孢根霉产酸性蛋白酶的合适 pH 均为 2.5~3.0。虽然根霉能产酸性蛋白酶,且产酶能力较强,但是在酿酒过程中,由于发酵条件与其产酸性蛋白酶的条件并不能完全吻合,虽然能产生一定量的酸性蛋白酶,产酶量往往可能略显不足。现今在黄酒生产过程中,为了提高出酒率,缩短发酵周期,或者改进酒的风味等目的,人为的添加酸性蛋白酶,从而更好的调控发酵,得到人们所期待的产品,如张学峰等<sup>[28]</sup>在甜酒酿发酵中添加适量的酸性蛋白酶,酒曲的糖化发酵能力增强,可以起到充分利用糯米中的蛋白质的作用,与不加酸性蛋白酶发酵相比,氨基酸含量提高了约 80%,发酵周期可缩短 10 h~15 h;杜士良等<sup>[29]</sup>以黄斑米为原料,进行了酒用酸性蛋白酶添加于酒曲之中的模拟黄酒酿缸(淋饭酒母)三角瓶糖化发酵实验,其研究表明,在以 Q303 菌种等川黔型根霉纯种麸皮酒曲中添加适量酸性蛋白酶,对促进根霉和酵母更健壮生长、提高酒曲的糖化发酵能力有明显作用,提高了原料出酒率。但酸性蛋白酶添加于绍兴白药和上海根霉制作的谷粉小曲中基本无作用或作用较小,这也说明对于酸性蛋白酶的研究和使用还有待进一步研究。然而酸性蛋白酶对生料酿酒却有极大的妨碍作用,一是它吸附淀粉酶,二是它分解淀粉酶,因此,生料酿酒时必须极力控制曲中的酸性蛋白酶的生成<sup>[22]</sup>。

#### 1.4 根霉产脂肪酶特性

根霉具有较强的合成脂肪酶的能力,脂肪酶催化酯合成反应、转酯化反应、酸解反应等反应,故对酒的主要香气成分-酯类的形成具有重要作用。在过去的十多年里,从根霉菌中分离到超过 30 种脂肪酶,多种根霉脂肪酶已被制成商品化酶制剂,所以根霉属已成为脂肪酶的重要生产菌种之一<sup>[30-31]</sup>。同时,脂肪酶具有只改变反应的动力学平衡而不改变热力学平衡及催化作用特点,恰好能够在短时间内促使酒体中酯、酸、醇达到相对的平衡,达到催陈作用<sup>[32]</sup>。

孙舒杨<sup>[33]</sup>研究了从白酒大曲中分离得到的一株华根霉(*Rhizopus chinensis* CCTCC M201021)在固态发酵中产酯合成脂肪酶的特点和形成机理,结果表明采用椰子油渣和麸皮组成的混合培养基、使用固态发酵来制备高活性的脂肪酶时,固态发酵的起始水分含量应控制在 70%~80%,而 pH 在 6~7.5 之间均可以获得较高的合成酶活,其原因可能是华根霉对 pH 波动的敏感性较差,同时固态培养基对 pH 的缓冲能力较强的缘故。该菌株发酵产脂肪酶的最适温度为 30℃。这对控制同样是固态发酵的酿酒过程中产脂肪酶的条件

可以有所借鉴。黄酒酿造时,在浸米的水中加入脂肪酶,可使米中的甘油三酸酯分解为游离酸,能对酒质有明显帮助,脂肪酶还能改善稻米和酒精饮料的香味,同时,可以缩短发酵周期<sup>[34]</sup>。

## 2 酿酒中根霉对产酒及其风味物质的影响

一般来说,根霉用作酿酒,主要是利用其产淀粉酶的能力,用以将淀粉质原料糖化,但是,与此同时,根霉有一定的产酒精的作用,所以能进行边糖化边发酵,而且在发酵过程中能产生乳酸、琥珀酸、苹果酸和延胡索酸等有机酸,此外,在一定的条件下还能产生如乙醛、乙酸乙酯、异丁醇、异戊醇、乳酸乙酯、乙酸、苯乙醇等风味物质<sup>[35]</sup>。

### 2.1 根霉对产酒的影响

根霉本身是可以发酵产酒精的,这在很早就被发现和证实了的,方心芳等<sup>[32]</sup>老前辈将根霉分为“上海型”和“川黔型”,且确定这两类根霉都具有糖化和酒精发酵的功能<sup>[36]</sup>,但是却鲜见实际生产中用根霉作为产酒精的菌,张凤英等<sup>[37]</sup>对根霉酒精发酵特性进行了研究,以属种未鉴定的 2-2 根霉等几株纯种根霉进行糖化发酵,与 2-2 根霉和活性干酵母混合制曲发酵进行对照,结果表明:用纯根霉产酒精的发酵性能前期虽比加了酵母的根霉发酵迟缓,但发酵结束是其酒精含量与对照无显著差异。这不仅肯定了根霉产酒精的能力,而且也使我们纯种根霉酿酒的可行性产生进一步思考。现今生产小曲酒所流行的根霉菌,大多是用糖化力强的纯种根霉和酵母搭配,根霉的主要功能是对原料进行糖化,酵母负责发酵,当然在发酵过程中,根霉同样产酒化系酶,参与发酵生成酒精。

### 2.2 根霉对酒风味物质的贡献

无论是白酒还是黄酒,其中的微量成分都是及其复杂的,他们种类繁多,且含量微少,但相互之间平衡协调。在白酒中,就是根据这些风味物质的种类和含量的差异来确定白酒不同的香型,酯、醇、醛、酸是这其中最为重要的成分,而根霉对这些物质的生成都有一定的影响。

根霉具有产酸能力,这一点受到了人们的重视,其中米根霉产酸能力较强,在适宜的有氧条件下可将 80% 的糖转化为乳酸,同时也可产生相当数量的丁烯二酸等有机酸,而且米根霉就是目前发酵生产 L-乳酸的重要菌株<sup>[38-40]</sup>。不同类型不同地域的根霉产酸能力肯定会有所差异,而酿酒原料同样会影响根霉的产酸能力,李金生等<sup>[41]</sup>对五株根霉产酸性进行了比较,证明四川型根霉 3.852、3.868 产酸力较弱,而上海型根霉 3.851、3.866、3.867 产酸性就更好,杜士良<sup>[42]</sup>也对

此有相同的观点。在原料糖化和酒精发酵过程中,根霉产酸是一个必然存在的过程,且根霉的产酸能力强,而酸是酒的重要风味物质,过高或过低都会影响酒的风味和整体协调性,泸型大曲中就存在着米根霉,虽然窖池中的乳酸菌等细菌能产大量乳酸,但根霉同样能产生部分乳酸<sup>[9]</sup>。

根霉能产脂肪酶,而脂肪酶能催化酯的合成,故根霉菌具有较强的酯化能力,对有机酸的酯化生香有一定的贡献,但是不同菌株产酶特性不同,增香效果也会有差异<sup>[43]</sup>。在发酵过程中,各种微生物进行自身代谢,产生各种微量成分,而且能相互利用各彼此代谢产物,合成一些新的物质。同时,各种物质本身还会发生相互的化学反应,又会产生新的成分。经证明根霉确有合成酯类的能力,其中某些根霉的产酯能力还较强,如崔如生等<sup>[44]</sup>在用 R92 华根霉进行生产调味酒的研究时,证明该菌种合成己酸乙酯的能力较强;任道群等<sup>[45]</sup>对红曲霉,根霉等的酯化酶动力学进行了研究,确定根霉在对混合酸与乙醇的催化过程中,对己酸乙酯和乳酸乙酯的生成有一定的作用,但酯化能力较弱,对乙酸乙酯的生成没有直接作用,而相对于根霉,红曲霉的酯化力更强。

### 3 结语

3.1 酒曲微生物永远是制曲和酿酒的灵魂和原动力,根霉是我国酿酒行业中的一种极为重要的微生物,对于根霉各种特性的研究一直是一个紧要而重要的课题,其产糖化酶的能力被人们广泛关注和利用,同时,根霉的其他作用也不能忽视,不论是在大曲还是小曲中,根霉都扮演着不可替代的角色。

3.2 高糖化力根霉菌株的筛选仍将受到人们的关注和重视,但随着分子生物学的发展及在酿酒业中的渗透,运用分子生物学手段去定向的改造和改良已有的优良菌株势必成为一个新的拓展方向。

3.3 国内酿酒使用的根霉大多品种不一,很多根霉菌都是由各种酒曲中筛选出来的性能相对优越的品种,而已广泛研究和使用的根霉菌有的甚至未经种属鉴定,在某些方面,这就局限了根霉更进一步深入和细化的研究和应用。

3.4 随着酿酒业的繁荣,酒曲的生产必定向着科学化,标准化发展,所以酒曲的专业化生产势在必行,而根霉这种重要的制曲微生物,必将更显活力。

### 参考文献

[1] 傅金泉.我国老一辈科学家对酿造微生物学的贡献[J].酿酒,2010,37(1):4-7

- [2] 谭映月,胡萍,谢和.我国白酒酿造微生物多样性的研究现状及展望[J].酿酒科技,2011 No11:100-105
- [3] 胡怀玲.小曲的特点以及其中主要微生物间的关系[J].酿酒,2008,35.(5):52-53
- [4] Lv XC, Huang ZQ, 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
- [5] Hye-Ryun Kim, Jae-Ho Kim, Dong-Hoon Bai, et al. Identification and characterization of useful fungi with  $\alpha$ -amylase activity from the Korean traditional Nunuk [J]. Mycobiology. 2011, 39(4): 278-282
- [6] 王和才,李金生,钱菊根.中国酿酒小曲生产现状的调查与分析[J].中国酿造,2011 No.5:13-15
- [7] 姚万春,唐玉明,任道群,等.酿酒用根霉若干菌株的培养特性研究[J].中国酿造,2006(10):34-37
- [8] 杜鑫.固体酵母通风制曲生产工艺总结[J].酿酒科技,2011, 1:68-72
- [9] 刘宪春.pH 值在根霉菌生产过程检验糖分酸度中的应用[J].酿酒科技,2008,(8):84-86
- [10] 刘宪春.水分和温度对根霉 Q303 生长繁殖的影响[J].酿酒科技,2007(6):59-61
- [11] 詹汉林.新型米香型白酒曲种的研制和应用[J].现代食品科技,2009,(7):813-815
- [12] 周恒刚.试论根霉菌在制曲上的特征[J].酿酒,2001,12(6):23-26
- [13] 李增胜.中国曲[J].酿酒,2005.07
- [14] 徐成勇,刘泉勇,周东阳.酿酒根霉高糖化力菌株的筛选[J].酿酒科技,2002,(5):26-28
- [15] 王新惠,李再新,刘达玉,等.米根霉糖化酶酶促反应条件的研究[J].食品科技,2008,(5):26-29
- [16] 王新惠,刘达玉.米根霉产糖化酶发酵条件的研究[J].中国酿造,2009,(9):85-8
- [17] 田国政.pH 值对 3 个根霉菌株产酶活性的影响[J].湖北民族学院学报(自然科学版),2011No.3:295-298
- [18] Kotaka A, Sahara H, Hata Y, et al. Efficient and direct fermentation of starch to ethanol by sake yeast strains displaying fungal glucoamylases [J]. Bioscience, Biotechnology and Biochemistry. 2008, 72(5): 1376-9.
- [19] 王世宽,潘明,徐艳丽.浓香型大曲发酵过程中霉菌消长情况的研究[J].中国酿造,2010,No.1:42-45
- [20] 于博,董开发,张凤英.广东肇县传统酒曲优势霉菌的分离及鉴定[J].中国食品学报,2007No1:95-98
- [21] 周光来,田国政.酒曲根霉的纯化筛选初报[J].湖北民族学

- 院学报:自然科学版,2000,18(4):19-20
- [22] 喻风香,陈煦,林亲录,等.酒曲根霉的分离纯化及淀粉酶活力测定[J].酿酒,2006,33(3):39-41
- [23] 马蕤,朱江,张凤英,等.湖北传统酒曲中优势霉菌 F14 的鉴定[J].酿酒科技,2007(9):17-19
- [24] 魏炜.酸性蛋白酶的性质及其在白酒酿造中的作用[J].酿酒科技,1997(6):18-20
- [25] 周恒刚.白酒生产与酸性蛋白酶[J].酿酒,1991 No.6:5-8
- [26] Hwa L Wang, Janet B Vespa, C W Hessektine. Acidprotease production by fungi used in soybean food fermentati on [J]. Applied microbiology, 1974, 27(5): 906-11
- [27] 李理,钟晓敏.Rhizopus oryzae 产酸性蛋白酶条件及其酶学性质研究[J].现代食品科技,2010,26(1):28-33
- [28] 张学峰,刘达玉,夏兵兵,等.酒用酸性蛋白酶在甜酒酿生产中的应用[J].中国酿造,2009,2:122-124
- [29] 杜士良,黄建平.酒用酸性蛋白酶在黄酒生产上的应用小试[J].酿酒科技,2001(4):67-68
- [30] 田国政.优势酒曲根霉产酶条件及耐硒能力的研究(硕士学位论文)[D].湖北:华中农业大学,2006
- [31] 于忠良.根霉 ZM-10 脂肪酶酶学性质和化学修饰(硕士学位论文)[D].山东,山东农业大学,2010
- [32] 吴华昌,由耀辉,卢中明.脂肪酶催陈白酒应用条件对微量成分影响的研究[J].酿酒科技,2011,9:23-28
- [33] 孙舒杨.大曲华根霉固态发酵表达酯合成脂肪酶的研究(博士学位论文)[D].无锡,江南大学,2009
- [34] 孟庆阳,方维明,汪志君.酶制剂在黄酒工业中的应用[J].酿酒,2007,(1):95-96
- [35] 冯春,汪光明,杨强,等.绿衣观音土曲中微生物种群区系分析及其功能研究[J].酿酒科技,2005 No.3:39-42
- [36] 康明官.日本清酒技术(第 1 版)[M].北京:中国轻工业出版社,1986
- [37] 张凤英,董开发,涂瑾.根霉菌酒精发酵特性的研究[J].食品科学,2002,(8):158-159
- [38] 张燕,柴振波,蔡高伟.对米根霉在不同条件下产酸情况的研究[J].中国酿造,2011,(1):91-94
- [39] 李大和,试论鼓香型白酒独特风格的成因[J].酿酒科技,2004,1:24-27
- [40] 徐志南.米根霉培养条件对脱氢酶活力和产物组成的影响[J].浙江大学学报,2003.11:743-747
- [41] 杜士良.上海型根霉与川黔型根霉的特点[J].酿酒科技,2004,3:32-33
- [42] 李金生,朱春林.五株优良根霉的特性比较及其推广应用[J].酿酒科技,2005,(3):43-45
- [43] 沈怡方.白酒中四大乙酯在酿造发酵中形成的讨论[J].酿酒科技,2003,(5):28-31
- [44] 崔如生,徐岩.应用 R92 华根霉生产调味酒提高新型白酒质量[J].酿酒,2007,(1):27-31
- [45] 任道群,唐玉明,姚万春.酯化酶动力学研究[J].酿酒科技,2006, 6:39-40