



引用格式:何培新,胡晓龙,郑燕,等.中国浓香型白酒“增己降乳”研究与应用进展[J].轻工学报,2018,33(4):1-12.

中图分类号:TS261.4 文献标识码:A

DOI:10.3969/j.issn.2096-1553.2018.04.001

文章编号:2096-1553(2018)04-0001-12

# 中国浓香型白酒“增己降乳”研究与应用进展

## Research and application progress of "Ethyl Caproate-increasing and Ethyl Lactate-decreasing" in brewing of Chinese Luzhou-flavor liquor

何培新<sup>1</sup>,胡晓龙<sup>1</sup>,郑燕<sup>1</sup>,沈祥坤<sup>2</sup>,李绍亮<sup>3</sup>,李学思<sup>3</sup>,范海报<sup>4</sup>  
HE Peixin<sup>1</sup>,HU Xiaolong<sup>1</sup>,ZHENG Yan<sup>1</sup>,SHEN Xiangkun<sup>2</sup>,LI Shaoliang<sup>3</sup>,  
LI Xuesi<sup>3</sup>,FAN Haibao<sup>4</sup>

1. 郑州轻工业学院 食品与生物工程学院,河南 郑州 450001;
2. 河南省食品工业科学研究所有限公司,河南 郑州 450003;
3. 河南宋河酒业股份有限公司,河南 鹿邑 477265;
4. 河南皇沟酒业有限责任公司,河南 永城 476600

1. College of Food and Bioengineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China;
2. He'nan Food Industry Science Research Institute Co., Ltd., Zhengzhou 450003, China;
3. He'nan Songhe Distillery Co., Ltd., Luyi 477265, China;
4. He'nan Huanggou Liquor Co., Ltd., Yongcheng 476600, China

**摘要:**适当增加浓香型白酒中己酸乙酯的质量浓度,降低乳酸乙酯的质量浓度,即“增己降乳”,是提高浓香型白酒品质的有效途径。从己酸乙酯和乳酸乙酯的化学性质与生物合成机理、“增己降乳”相关的微生物及其应用、“增己降乳”综合技术措施等方面对已有文献进行梳理发现:己酸乙酯和乳酸乙酯分别由己酸和乳酸与乙醇通过酯化作用生成,己酸和乳酸分别是这两种酯生物合成的底物;己酸菌、甲烷菌、酯化菌、乳酸菌和酵母菌等都是与“增己降乳”直接或间接相关联的微生物,单独或复合使用这些微生物制剂可以取得明显的“增己降乳”的效果;此外,白酒企业因地、因时制宜,采取科学建造窖池、优化窖泥配方、提高大曲质量、做好清洁卫生、调整入池条件、精细蒸馏操作、低温缓慢发酵等综合措施,也有助于实现“增己降乳”。未来应深入研究不同生产条件下,乳酸菌、降乳菌等“增己降乳”相关微生物的种群演替规律;采用人工培养方法和宏基因组学等免培养技术,系统研究与揭示浓香型白酒酿造过程中各种微生物的生长繁殖和代谢活动规律。以科学发展的态度,规范白酒产业化管理,保持“增己”和“降乳”的合理与适度,从而创造出具有自身特色、适应产品消费结构变化的品牌产品。

### 关键词:

浓香型白酒;己酸乙酯;乳酸乙酯;“增己降乳”

### Key words:

Luzhou-flavor liquor;  
ethyl caproate;  
ethyl lactate;  
"Ethyl Caproate-increasing and Ethyl Lactate-decreasing"

收稿日期:2018-06-19

基金项目:2018年度河南省重大科技专项项目(181100211400)

作者简介:何培新(1970—),男,河南省民权县人,郑州轻工业学院教授,博士,主要研究方向为发酵工程。

**Abstract:** Appropriately increasing the mass concentration of ethyl caproate and lowering that of ethyl lactate in Luzhou-flavor liquor, i. e. "Ethyl Caproate-increasing and Ethyl Lactate-decreasing", is an effective way to improve the quality of Luzhou-flavor liquor. From the aspects of the chemical properties and biosynthesis of ethyl caproate and ethyl lactate, the related microorganisms of "Ethyl Caproate-increasing and Ethyl Lactate-decreasing", and the main technical measures of "Ethyl Caproate-increasing and Ethyl Lactate-decreasing", the existing literatures were sorted out. Ethyl hexanoate and ethyl lactate are formed by caproic acid and lactic acid and ethanol through esterification, respectively. Caproic acid and lactic acid are substrates for the biosynthesis of these two esters. Caproic acid, methanogen, esterified bacteria, lactic acid bacteria and yeasts are all directly or indirectly relate to the "Ethyl Caproate-increasing and Ethyl Lactate-decreasing". The application of these microbial preparations alone or in combination can achieve an obvious effect of "Ethyl Caproate-increasing and Ethyl Lactate-decreasing". In addition, in order to achieve the purpose of "Ethyl Caproate-increasing and Ethyl Lactate-decreasing", Luzhou-flavor liquor companies apply some comprehensive measures according to the local conditions and fermented time, such as scientific construction of the wine cellar fermentation tank, optimization of the pit mud, improvement the quality of Daqu, cleaning and hygienism, adjustment of the conditions of fermentation tank, fine distillation operation, and slow fermentation under low temperature, i. e. In the future, we should study the population succession of lactic acid bacteria, lactobacilli, i. e. related to "Ethyl Caproate-increasing and Ethyl Lactate-decreasing" under different production conditions. And use artificial culture method and metagenomics and other culture-free techniques to systematically study and reveal the laws of growth, reproduction and metabolism of various microorganisms through the brewing process of Luzhou-flavor liquor. And the industrialization management of liquor will be regulated with the attitude of scientific development to maintain "Ethyl Caproate-increasing" and "Ethyl Lactate-decreasing" reasonably and appropriately, thus ultimately create their branded products with own characteristics and adapt to changes in product consumption structure.

## 0 引言

中国白酒历史悠久,工艺独特,独具民族特色,为世界六大蒸馏酒之一. 基于酿造工艺和风格的差异,中国白酒分为浓香型、酱香型、清香型和米香型四种基本香型,其中,浓香型白酒在中国白酒市场上处于主导地位,产、销量均占70%左右<sup>[1-2]</sup>. 浓香型白酒是以粮谷为原料,经泥窖固态发酵、蒸馏、陈酿、勾兑而成,是一种以己酸乙酯为主复合香的白酒<sup>[3]</sup>. 浓香型白酒含有120余种酯类,以己酸乙酯、乳酸乙酯、乙酸乙酯和丁酸乙酯这四大酯最为重要<sup>[4]</sup>. 己酸乙酯为浓香型白酒的主体呈香物质,是浓香型白酒中含量最高的酯,各种国家标准均对己酸乙酯的含量范围或上、下限作了硬性规定. 例如,国标规定,高度优级白酒(酒精度41% vol ~

68% vol)的己酸乙酯质量浓度范围为1.2 ~ 2.8 g/L,而低度优级白酒(酒精度25% vol ~ 40% vol)的己酸乙酯质量浓度范围为0.7 ~ 2.2 g/L<sup>[3]</sup>. 乳酸乙酯也是浓香型白酒的主要香味成分之一,适量的乳酸乙酯不仅对己酸乙酯有助香作用,还能对白酒香味起到缓冲、平衡的作用,使酒体醇厚、谐调、绵甜、味长. 当前,浓香型白酒的国家标准尚未对乳酸乙酯的质量浓度做出任何硬性规定,但业界普遍认为,浓香型白酒中己酸乙酯和乳酸乙酯保持适当的比例(如1:0.5~0.9),能使主体香突出,香、味协调,酒体典型性强;乳酸乙酯过高,酒的香气较短淡,主体香受抑,香味失调,并有闷甜感;乳酸乙酯过低,酒味欠浓厚,酒体欠完整<sup>[4-5]</sup>.

从浓香型白酒企业的生产实际出发,适当增加浓香型白酒中己酸乙酯的质量浓度,降低

乳酸乙酯的质量浓度(即所谓的“增己降乳”或“增己抑乳”),使酒中的四大酯比例恰到好处,是很多白酒企业多年来提高浓香型白酒品质的主要措施<sup>[6]</sup>. 本文将从己酸乙酯和乳酸乙酯的化学性质与生物合成机理、与“增己降乳”相关的微生物及其应用、“增己降乳”综合技术措施等方面,综述我国浓香型白酒“增己降乳”的研究与应用进展,以为浓香型白酒的生产管理、理论研究和技术开发工作提供借鉴.

## 1 己酸乙酯和乳酸乙酯的化学性质与生物合成机理

### 1.1 己酸乙酯和乳酸乙酯的化学性质

己酸乙酯沸点高(161.9 ~ 168 °C),比重小于水(相对密度 0.869),不溶于水,但溶于乙醇、乙醚等多种有机溶剂. 在蒸馏时,己酸乙酯主要存在于酒精度高的酒液里,酒尾中仅有 10% ~ 20%,在酒醅中残留一小部分,其总提取

率在 90% 左右.

乳酸乙酯沸点 154 °C (低于己酸乙酯),比重略大于水(相对密度 1.03). 乳酸乙酯自身化学结构含有羟基和羰基,能与多种成分发生亲和作用,如能与水、醇类和酯类等混溶,因此挥发性较差. 在蒸馏中,乳酸乙酯的流出规律是酒尾 > 酒身 > 酒头,仅有小部分乳酸乙酯被拖带入酒中,大部分乳酸乙酯仍留在酒醅或酒尾中<sup>[4,7-8]</sup>.

### 1.2 己酸乙酯和乳酸乙酯的生物合成机理

己酸乙酯和乳酸乙酯分别由己酸和乳酸与乙醇通过酯化作用生成,因此,己酸和乳酸分别是这两种酯生物合成的底物. 在浓香型白酒酿造过程中,己酸和乳酸的生成对酒中己酸乙酯和乳酸乙酯的含量具有直接影响<sup>[9]</sup>.

**1.2.1 己酸和己酸乙酯的合成** 对于芽孢梭菌(*Clostridium* spp.)等微生物,己酸通过 $\beta$ -氧

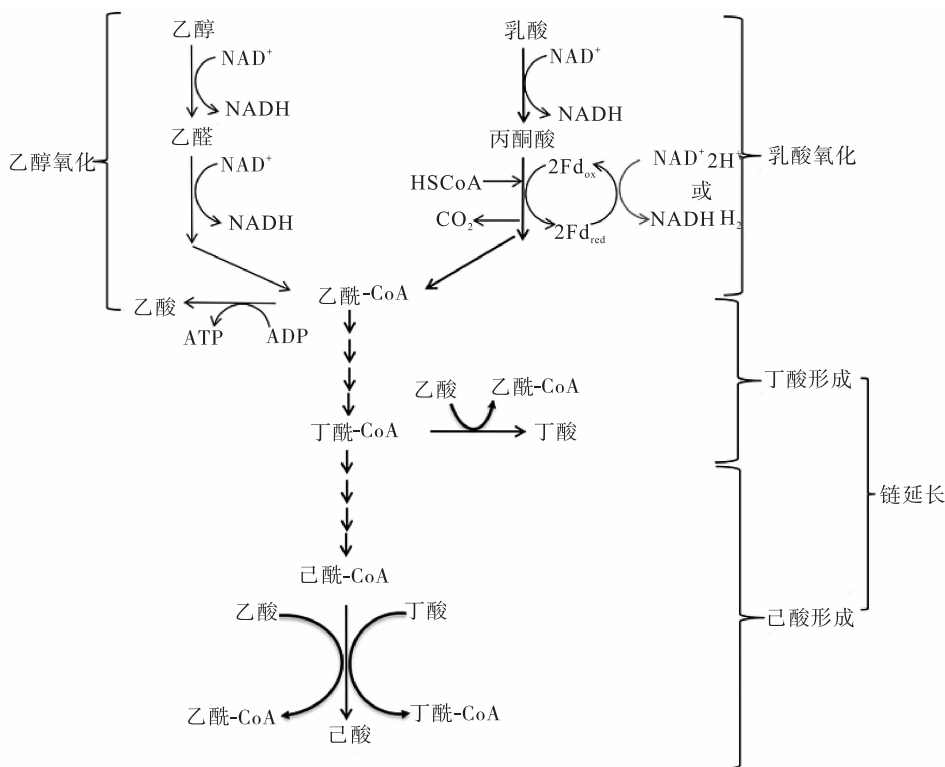


图 1 己酸的生物合成途径

Fig. 1 The biosynthetic pathway of hexanoic acid

化逆循环进行的羧酸链延长过程而合成. 在该过程中, 乙醇或乳酸作为电子供体, 经过氧化反应合成乙酰辅酶 A, 提供己酸合成所需的电子和还原力. 在丁酰辅酶转移酶等一系列酶的催化下, 乙酰辅酶 A 首先与乙酸缩合为丁酸; 再经己酰辅酶 A 转移酶等的催化作用, 乙酰辅酶 A 与丁酸缩合为己酸(见图 1)<sup>[10-11]</sup>. 相对于乳酸, 使用乙醇作为电子供体合成己酸在热力学方面具有能量增益的优势<sup>[11]</sup>.

一般说来, 己酸乙酯的生物合成主要有三种方式. 一是由己酸和乙醇通过酯酶的酯合成(酯化)反应生成己酸乙酯<sup>[12]</sup>, 催化该酯化反应的酯酶主要存在于酵母菌和霉菌. 而当酵母菌和霉菌共同作用时, 己酸乙酯的合成量显著高于这两类微生物的单独作用<sup>[12-16]</sup>. 二是己酸与乙醇通过乙酰己酸转移酶催化形成己酸乙酯. 酯酶为胞外酶, 而乙酰己酸转移酶为胞内酶, 相对而言, 乙酰己酸转移酶催化合成己酸乙酯的能力较强<sup>[12, 16-17]</sup>. 三是以乙酸乙酯为受体, 加入乙醇变为丁酸乙酯, 然后再与乙醇发生反应, 合成己酸乙酯<sup>[17-18]</sup>. 第三种己酸乙酯的生物合成方式存在于细菌中, 合成反应主要在兼性厌氧和厌氧条件下进行. 参与浓香型白酒酿造的微生物种群数量巨大, 种群演替过程复杂, 这就决定了浓香型白酒己酸乙酯生物合成的复杂性.

**1.2.2 乳酸和乳酸乙酯的合成** 乳酸是浓香型白酒发酵酒醅中主要的有机酸, 是浓香型白酒中最重要的呈味剂和味道改良剂, 也是固态法白酒新酒老熟的老熟剂和酒体稳定剂<sup>[8]</sup>. 乳酸合成途径主要有同型乳酸发酵和异型乳酸发酵两种类型. 进行同型乳酸发酵的乳酸菌都存在糖酵解途径(EMP 途径), EMP 途径的终产物丙酮酸在乳酸脱氢酶作用下形成乳酸. 同型乳酸发酵不需要 O<sub>2</sub>, 一个葡萄糖分子可产生两个乳酸分子和两个 ATP 分子. 一些进行异型乳酸

发酵的乳酸菌因缺乏 EMP 途径中若干重要酶(如醛缩酶和异构酶), 故其利用葡萄糖进行分解代谢和产能时, 必须依赖戊糖磷酸途径. 在异型乳酸发酵中, 葡萄糖的分解产物除乳酸外, 还有乙醇、乙酸和 CO<sub>2</sub> 等多种代谢产物, 产生的 ATP 也仅为同型乳酸发酵的一半<sup>[19]</sup>.

在浓香型白酒酿造过程中, 乳酸乙酯的生成是多种微生物共同发生代谢作用的结果. 乳酸菌代谢产生的乳酸和酵母菌代谢产生的乙醇是乳酸乙酯合成的前体. 乳酸经转酰基酶活化成乳酰辅酶 A, 再在酯化酶的作用下与乙醇合成乳酸乙酯. 在浓香型白酒酿造过程中, 控制乳酸菌的数量可以有效降低乳酸生成量, 不仅能有效减少乳酸和乙醇酯化生成乳酸乙酯的量, 同时也有利于酵母菌的酒精发酵, 提高出酒率<sup>[20]</sup>.

## 2 与“增己降乳”相关的微生物及其应用

在浓香型白酒酿造过程中, 与“增己降乳”直接或间接相关联的微生物种类繁多, 包括己酸菌、甲烷菌、酯化菌、乳酸菌和降乳菌等. 在实际生产应用中, 单独或复合使用这些相关微生物制剂, 强化浓香型白酒酿造发酵过程, 可以取得明显的“增己降乳”效果.

### 2.1 己酸菌

己酸菌是浓香型白酒生产中的重要产酸微生物, 大量存在于窖泥、黄水、酒醅中, 不仅能促进己酸和己酸乙酯的合成, 而且还能促进戊酸、庚酸等多种微量成分的生成, 形成浓香型大曲酒的独特风味, 因此在一定程度上左右着浓香型白酒的品质和风格<sup>[17]</sup>. 目前发现能产己酸的微生物主要为梭菌纲(*Clostridia*)中的芽孢梭菌属细菌. J. Zheng 等<sup>[21]</sup>采用变性梯度凝胶电泳技术研究了泸州老窖不同窖龄的窖池窖泥中微生物的多样性, 发现克鲁氏梭菌(*C. kluyveri*)、

耳涡形梭菌(*C. cocleatum*)和泸型梭菌(*C. Lushun*)为主要的产己酸微生物. 曾田等<sup>[22]</sup>通过基于原核微生物 16S rRNA 基因 V4 可变区的高通量测序分析发现,河南某浓香型白酒企业正常发酵窖池的窖底泥样品中,产己酸菌群优势微生物除了芽孢梭菌以外,还有瘤胃球菌属(*Ruminococcus*)细菌,二者含量可达窖底泥样品中微生物总量的 75.7%.

己酸菌能代谢产生己酸乙酯等浓香型白酒的风味物质,有利于提高浓香型白酒的风味. 因此,在浓香型白酒生产管理中,应主动创造有利于己酸菌生长繁殖的营养和环境条件,促进己酸菌的生长繁殖和己酸、己酸乙酯等风味物质的合成. 从优质窖泥分离获得己酸菌,经扩大培养获得己酸菌液( $1 \sim 2 \times 10^8$  CFU/mL),用于灌窖、培养窖泥,可达到浓香型白酒生产“增己降乳”的目的. 李洪祥等<sup>[23]</sup>研究发现,灌窖选择入窖发酵 9 d 后最为恰当,这时酒醅入窖带入的大量  $O_2$  被消耗殆尽,前期曲霉、酵母的代谢发酵又积累了 3% vol ~ 5% vol 的酒精,窖内环境开始有利于己酸菌的繁殖和代谢. 这可能是因为人工培养窖泥时加入己酸菌培养液,可增加窖泥中己酸菌的接种数量,缩短窖泥成熟时间<sup>[23-25]</sup>. 杨喜军<sup>[24]</sup>研究发现,酒醅出窖后,用己酸菌液加酒尾喷洒窖壁,促进了窖泥的老熟,减缓窖泥退化,是稳定酒质的又一举措. 将己酸菌扩大培养后,添加适当比例的乙酸钠、母糟、老窖泥等物质,制备窖泥功能菌液,用于人工培养老窖泥,在浓香型白酒生产中用作窖底泥和窖壁泥使用,可大大提高新车间窖池产酒的己酸乙酯的质量浓度<sup>[25-27]</sup>.

总之,将人工己酸菌液用于窖泥培养和窖池维护,是浓香型白酒生产实践中最常采用的“增己”措施,可有效提高白酒的品质.

## 2.2 甲烷菌

甲烷菌是可以代谢  $H_2$ , CO 和少数简单有

机物进而生成甲烷的严格厌氧古生菌,是厌氧消化过程中的最后一组成员. 在没有外源受氢体的情况下,甲烷菌在严格厌氧条件下将发酵性细菌、产氢产乙酸菌和同型产乙酸菌代谢的产物同乙酸和  $H_2/CO_2$  一起,转化为  $CH_4$ ,  $CO_2$  和水,使有机物在厌氧条件下的分解作用得以顺利完成<sup>[19]</sup>. 黄丹等<sup>[28]</sup>从窖龄为 20 a 的老熟窖泥中分离到 1 株产氢产乙酸菌,与 *C. mesophilum* 的同源性高达 99%,该细菌在各种发酵条件下均能产生  $H_2$ , 乙酸和丁酸. 在浓香型白酒酿造中,甲烷菌主要存在于窖泥中,与己酸菌为互利共生关系. 甲烷菌在窖内起生态平衡的作用,促进己酸菌的生长繁殖. 白酒行业一般把己酸菌和甲烷菌的共栖种统称为窖泥己酸菌. 窖泥质量的好坏,不仅与窖泥中的己酸菌有关,也与甲烷菌密切关联<sup>[17,29]</sup>. 颜昌轩<sup>[30]</sup>研究发现,鉴于甲烷菌与己酸菌的互利共生关系,将甲烷菌和己酸菌共发酵技术应用于白酒酿造,可显著提高浓香型白酒的优质品率. 另外,甲烷菌与产酸菌在代谢上表现出的“种间氢转移”关系,有利于窖池内存在的各种产氢型发酵,进而促进有机酸的生成,有效提高己酸乙酯等的酯含量. 窖泥中甲烷菌的量与乙酸菌的富集程度可作为老窖泥的标志,也可反映窖泥质量的优劣.

由此可见,甲烷菌与其他菌群的互利共生关系,对浓香型白酒酿造中“增己”至关重要. 然而,在浓香型白酒酿造过程中,关于甲烷菌等古生菌的种群变化规律与甲烷菌对白酒中己酸乙酯等风味酯类质量浓度的影响等基础研究还很薄弱,亟待加强.

## 2.3 酯化菌

酯化菌是具有酸、醇酯化特殊功能的特定微生物的统称<sup>[31]</sup>. 白酒行业所称的酯化酶(Esterase, E. C. 3. 1. 1. 1, 亦称羧基酯酶)具有催化合成低级脂肪酸酯(碳原子小于 12 个)的

功能<sup>[32-33]</sup>. 白酒行业研究较多的酯化菌包括酵母菌、霉菌和细菌<sup>[31,34]</sup>. 酯化酵母包括酿酒酵母属 (*Saccharomyces*)、汉逊酵母属 (*Hansenula*)、假丝酵母属 (*Candida*)、酒香酵母属 (*Brettanomyces*) 和球拟酵母属 (*Torulopsis*) 等<sup>[35-37]</sup>. 霉菌主要有红曲霉、根霉、曲霉 (*Aspergillus*)<sup>[38-41]</sup> 等; 尤其是红曲霉, 除产生酯化酶外, 还代谢产生糖化酶、液化酶、果胶酶、蛋白酶、纤维素分解酶和酒化酶等, 在浓香型白酒酿造过程中具有很高的应用价值<sup>[37,42]</sup>. 胡晓龙等<sup>[38]</sup> 从五粮液大曲中分离筛选到 3 株红曲霉, 其中 M1 菌株酯化酶活性最高, 其产酯化酶固态培养的最适温度和 pH 值分别为 33 °C 和 3.5. 已报道的主要细菌类群包括血红鞘氨醇单胞菌 (*Sphingomonas sanguinis*) 和葡萄球菌 (*Staphylococcus sp.*)<sup>[43-44]</sup>. 在发酵中后期, 芽孢杆菌会大量增殖, 成为酒醅中的优势菌体, 也是重要的酯化产香菌之一<sup>[31,37,45]</sup>. 刘阳<sup>[45]</sup> 通过在培养基中添加底物三丁酸甘油酯, 从中、高温大曲中初步筛选得到产酯化酶细菌 11 株; 以乙醇和己酸为底物, 其中 10# 菌株表现出最高酯化酶催化活力, 采用形态学、生理生化特征和 16S rDNA 序列分析的方法, 将 10# 菌株鉴定为地衣芽孢杆菌 (*Bacillus licheniformis*).

在有乙醇和相应有机酸底物 (如己酸、乳酸等) 存在的条件下, 酯化菌会促进己酸乙酯和乳酸乙酯的合成. 施安辉等<sup>[6]</sup> 研究发现, 把红曲霉或球拟酵母的酯化酶制剂与大曲粉一起入窖发酵, 酯化酶在窖中分布均匀, 接触面积增大, 有利于醇酸酯化的进行, 使己酸等有机酸尽可能多地转化为己酸乙酯等相应的酯类. 朱弟雄<sup>[46]</sup> 研究发现, 利用 1 a 新窖和 12 a 成熟窖, 在度夏压排时和压排后的粮醅中添加酯化红曲, 优级酒率均有不同程度的提高. 在度夏后第一排添加酯化红曲, 试验组基酒的己酸乙酯质量浓度提高 9% ~ 16%, 风味成分显著改善, 更

趋平衡协调; 并对后续酒醅发酵出好酒有良好的促进作用, 具有明显的“增己降乳”效果. 全细胞酯化曲 (酶) 是一种活性很高的南极假丝酵母 (*Candida antarctica*) 脂肪酶 B, 能高效快速地将黄水酒尾中的有机酸生物合成相应的芳香酯. 刘义刚等<sup>[47]</sup> 研究发现, 在浓香型白酒生产中, 将生物酯化液应用于酒醅串蒸 (粮糟串蒸和丢糟串蒸), 可有效“增己”, 全面提升基酒等级; 将生物酯化液直接蒸馏, 可生产高酯调味酒, 酯香浓郁、纯正协调、醇甜净爽; 除了含有较高的酯类物质外, 生物酯化液还含有较丰富的有益功能菌和酯化酶, 可直接应用于回窖发酵, 也可用于养窖和人工老窖生产等.

酯化菌的种群多样性和丰富度决定了浓香型白酒“增己降乳”工作的复杂性, 而如何有效利用丰富的酯化菌菌种资源, 又将为浓香型白酒“增己降乳”提供新的可能和实现途径.

## 2.4 乳酸菌

传统的乳酸菌是一类发酵糖类原料产生乳酸的细菌之统称. 除了传统的乳酸菌以外, 酵母菌、霉菌、芽孢杆菌和其他一些细菌都可代谢产生乳酸<sup>[8,48]</sup>. 栗连会<sup>[49]</sup> 采取高通量测序技术和克隆文库分析, 解析了泸州老窖酿造过程酒醅中乳酸菌的群落变化规律, 发现乳酸菌的生物量在整个发酵过程中始终保持上升的趋势, 同时保持着群落的多样性且不断演替; 酒醅中的大部分乳酸菌来源于大曲, 而耐酸乳杆菌 (*L. acetotolerans*) 来源于窖泥. 谢玉球等<sup>[8]</sup> 研究发现, 各种乳酸菌在白酒发酵过程中发生着复杂的种群演替. 乳酸菌在浓香型白酒发酵中的作用主要有: 1) 为固态法白酒发酵微生物提供必需营养物质, 促进酿酒微生物的生长、繁殖; 2) 促进美拉德反应, 有利于香味物质的形成; 3) 产生的乳酸和细菌素拮抗部分杂菌的代谢活动, 保持和改善白酒酿造微生态环境的稳定与协调; 4) 合成乳酸和乙酸, 还能代谢生成以

丙酸、丁酸、己酸和己酸乙酯为主的多种风味物质; 5) 多种乳酸菌混合生长与繁殖, 有利于提高酿酒微生物的生物活性, 有利于各种酿酒菌株充分发挥协同效应, 以保证固态法白酒发酵的顺利进行<sup>[4,8]</sup>。

乳酸菌在浓香型白酒酿造中的作用, 不局限于产生生物合成乳酸乙酯的底物乳酸, 进而不利于“降乳”那么简单, 而是对整个发酵过程多种风味物质的生成产生复杂的影响。这种现象暗示了浓香型白酒“增己降乳”工作的复杂性。

## 2.5 降乳菌

在浓香型白酒酿造过程中, 乳酸的过量积累会造成白酒中乳酸乙酯质量浓度过高; 而且, 窖池中过量的乳酸还可以与钙、铁离子形成乳酸钙和乳酸铁, 造成窖池板结和窖泥退化<sup>[5]</sup>。乳酸乙酯性质稳定, 不易分解, 要降解乳酸乙酯必须降低其前体物质乳酸<sup>[49]</sup>。乳酸降解菌(降乳菌)是指能够利用乳酸作为碳源或者电子受体的微生物, 经常栖息在大曲、窖泥、黄水、酒醅或出窖的糟醅之中<sup>[4]</sup>。降乳菌可以利用乳酸生成乙酸、丙酸、丁酸等香气前体物质, 进而合成多种重要的酯类物质, 增加白酒中的香气成分<sup>[37]</sup>。栗连会<sup>[49]</sup>的分子研究发现, 泸州老窖发酵酒醅中降乳菌表现出生物多样性, 从酒醅中可分离得到芽孢梭菌属、土孢杆菌属(*Terrisporobacter*)、芽孢杆菌属(*Bacillus*)、泥杆菌属(*Ilyobacter*)、脱硫肠杆菌属(*Desulfotomaculum*)、葡萄球菌属(*Staphylococcus*)和拉乌尔菌属(*Raoultella*)共7个属17种降乳菌, 其中以芽孢梭菌居多。曾田等<sup>[22]</sup>的高通量测序研究发现, 河南省某浓香型白酒酒企窖泥中降乳菌群的优势微生物主要集中在厚壁菌门的芽孢杆菌属, 芽孢梭菌属, 孢厌氧杆菌属(*Sporanaerobacter*), *Soehngenia*, 颤螺旋菌属(*Oscillospira*), *Ruminococcus*, 类芽孢杆菌属(*Paenibacillus*), *Cal-*

*dicoprobacter*, *Sedimentibacter*, *Dorea*, 粪球菌属(*Coprococcus*), *Tepidimicrobium*等12个属。

丙酸菌(*Propionibacterium* spp.)作为降菌的代表菌株, 为兼性厌氧杆菌, 一般栖息在大曲或窖泥之中, 在30~32℃和pH值为4.5~7.0环境下生长和发酵良好。在厌氧条件下, 丙酸菌可利用乳酸、葡萄糖等基质生成丙酸、乙酸和CO<sub>2</sub>。在乳酸和糖类共存的酿酒过程中, 丙酸菌往往先利用乳酸, 而对糖的利用率较低, 其降乳率有的可高达90%以上<sup>[4]</sup>。鉴于丙酸菌等降乳菌代谢的特异性, 在浓香型白酒实际生产中, 有针对性地引入降乳菌或者阶段性创造有利于降乳菌生长繁殖的营养和环境条件, 将会有效达到“降乳”的目的。李大和<sup>[51]</sup>研究发现, 丙酸菌液使用量0.15%~2.0%, 在窖池中乳酸形成高峰期(约入窖20d)投菌, 连续投菌两排以上, 乳酸乙酯最大降低41.8%。国内某酒厂应用丙酸菌等后酒质明显提高, 乳酸乙酯降低30.9%, 己酸乙酯提高31.1%, 乙酸乙酯提高17.9%, 丁酸乙酯提高6.9%。采用“降乳菌”与人工老窖工艺相结合的措施, “增己降乳”的效果更为明显<sup>[6]</sup>。

目前, 降乳菌菌剂还没有广泛应用于浓香型白酒的实际生产。随着理论研究的不断深入, 人们对参与浓香型白酒酿造的微生物种类与其作用的认识不断加强, 降乳菌的应用有望得以普及。

## 2.6 复合使用功能菌

在浓香型白酒酿造中, 复合使用己酸菌、酯化菌、产酯酵母、降乳菌等功能菌, 相互取长补短, 能更有效地“增己降乳”, 提高酒质<sup>[6]</sup>。李大和<sup>[51]</sup>研究发现, 丙酸菌与人工老窖、强化制曲和其他提高酒质的技术措施相结合, 能更有效地达到“增己降乳”的目的。将己酸菌与酵母菌、细菌、霉菌进行混合培养, 制备成混合己酸菌液应用于窖泥制作和窖泥养护中, 能有效地



提高出酒率和优质酒率<sup>[26]</sup>。郭本跃<sup>[52]</sup>研究发现,将生香活性干酵母、耐高温酒精活性干酵母、己酸菌液和糖化酶混合运用于浓香型曲酒生产,可以“增己降乳”,提高出酒率和名优酒率<sup>[52]</sup>。徐希望等<sup>[53]</sup>研究发现,在浓香型白酒生产中,丙酸菌液在母糟入窖时均匀喷雾施加,己酸菌液在清扫池壁干净后均匀喷洒到窖壁窖泥上,同时利用丙酸菌的“降乳”和己酸菌的“增己”功能,达到“增己降乳”、提高酒质的目的。复合酯化酶生态菌剂含有耐酸强、产己酸的梭状芽孢杆菌,强化了有机酸酯化酶活性,糖化微生物以根霉和酸性曲霉为主,发酵能力强,含有高产酸性蛋白酶微生物,是生物酶和活菌体的生态混合体,可强化传统大曲的发酵功能和生香功能,促使发酵过程平稳持久。张志刚等<sup>[54]</sup>研究发现,将复合酯化酶生态菌剂应用于浓香型白酒生产,可生产高酯调味酒,提高浓香型白酒的出酒率和提优率,改善浓香型白酒厂的产品结构,具有较高的应用价值。在浓香型白酒酿造的不同阶段,复合使用多种具有“增己”和“降乳”作用的功能菌,对提高白酒品质具有重要作用,这也是我国浓香型白酒生产现代化的重要内容。

### 3 “增己降乳”的综合技术措施

“增己降乳”是很多浓香型白酒企业长期以来面临的重要技术问题。在“增己降乳”中,“增己”和“降乳”相互联系、相互制约。企业一般以“增己”为主、“降乳”为辅,要保持二者间比例关系的合理与适度。目前,我国白酒企业大多从实际情况出发,因地、因时制宜,采取科学建造窖池、优化窖泥配方、提高大曲质量等综合措施,以收到“增己降乳”的效果<sup>[4,5,55]</sup>。

#### 3.1 科学建造窖池,增加接触面积

建造窖池,要根据生产实际需要,最大限度地增大窖体表面积。在窖池容积一定的情况下,

窖池表面积随窖池长、宽比例变化而变化。窖池长宽比越大,表面积也越大。为了便于生产操作、利于窖池的坚固性和安全性,一般窖池长宽比确定为1.5~2:1,深度以1.8~2 m为宜<sup>[5,55-56]</sup>。窖池中使用人工老窖泥板,增加酒醅与窖泥的接触面积,使己酸菌的数量和其活动场所均相应地增加,能显著地提高原酒中己酸乙酯的质量浓度<sup>[57]</sup>。詹炳耀等<sup>[58]</sup>研究发现,在窖池中加入香泥板发酵,增加40%酒醅与窖泥的接触面积,也可大幅度提高原酒中己酸乙酯的质量浓度,达到有效“增己”的目的。

#### 3.2 优化窖泥配方,科学养护窖泥

人工培养窖泥的配方必须因地制宜,做到科学合理。在材料选择方面,可充分利用酿酒的优质黄水、酒尾、底锅水、大曲粉、酒醅、乙醇、老窖泥培养液等下脚料,科学养护窖泥,使窖泥中的水分、酸度、氮源、碳源、有效磷、钾和腐殖质等始终保持良好的态势<sup>[5,6,17,55-56]</sup>,有利于窖泥中己酸菌和甲烷菌的生长繁殖,维持“增己”的细菌种群的多样性和丰富度。

#### 3.3 提高大曲质量,控制大曲用量

大曲在生产发酵升温过程中,要做到前缓、中挺、后缓落。要适时翻曲,掌握收堆时间和温度,保证曲霉、根霉、酵母菌占绝对优势,乳酸菌处于劣势。曲块贮存时码放不能过紧,要留适当的通风孔,保持曲库的通风、干燥,有利于曲块水分的释放。生产中要使用陈曲,并应根据入池温度和入池淀粉来调整用曲量。适当增大粗颗粒曲粉比例,有利于缓慢发酵、缓慢生酸<sup>[5,51,55]</sup>。保持大曲中乳酸菌的适当比例,对浓香型白酒科学“降乳”比较有利。

#### 3.4 降低用水硬度,做好清洁卫生

白酒酿造对酿酒用水要求很高。一般来讲,偏软和中性的水对酿酒有利;硬度大的水易使窖池板结,并影响酒醅风格。因此,要对酿造用水进行处理,将硬度大的水变成偏软或中性的



水. 固态白酒酿造工艺操作是敞开式的, 酒醅与空气、生产工具、设备、晾堂等直接接触易感染杂菌(特别是乳酸菌), 造成乳酸和乳酸乙酯升高. 因此, 一定要严格要求车间与环境的清洁卫生. 用蒸气或沸水冲洗工具、甑桶和生产晾堂, 以减少乃至杜绝杂菌、乳酸菌的侵入. 此外, 使固体和液体酒糟场地远离生产车间, 粉碎车间采取除尘装置以减少粉尘飞扬, 天天清扫车间内外, 天天清除鼓风凉板下的“死角”, 及时清理锅底水和晾床底下的残留酒醅, 注意工人的个人卫生等措施, 都可取得明显的“降乳”效果<sup>[4-6, 51, 55, 59-60]</sup>.

科学用水可延缓窖泥老化, 维持己酸菌和甲烷菌群稳定性, 有利于“增己”; 而规范化生产管理, 做好清洁卫生工作, 则可有效降低乳酸菌的污染, 对“降乳”有利.

### 3.5 因地、因时制宜, 调整入池条件

目前, 我国浓香型白酒大多采取开放发酵模式, 受自然气候条件的影响较大. 根据不同生产季节的环境条件, 因地、因时制宜, 调整入池淀粉含量、水分、温度、酸度、含氧量等入池条件和大曲用量, 保持糟醅良好风格, 既有利于“增己”, 又有利于“降乳”, 可有效维持与提高浓香型白酒品质<sup>[5, 51, 55, 59-60]</sup>.

**3.5.1 入池淀粉含量** 根据入池温度, 控制入池原料的淀粉含量不要过高或过低. 一般来讲, 旺季(冬季)入池淀粉控制在 18%~20%, 淡季(夏季)控制在 15%~18% 为宜.

**3.5.2 入池水分** 旺季入池水分 53%~54%, 淡季 55%~56% 为宜; 北方酌情增加 2%~3%; 蒸馏前, 酒醅的含水量在 51% 左右对提高己酸乙酯质量浓度有利. 生产正常时, 在许可的范围内入池水分尽量用下限, 有利于保证酒的品质.

**3.5.3 入池温度** 入池温度要根据地温来定, 不能强行降温. 淡季一般采取热平地温(或低

于地温 1℃左右), 旺季以 16~18℃为宜.

**3.5.4 入池酸度** 入池酸度影响微生物的生长繁殖, 从而影响正常发酵和生香. 入池酸度旺季一般为 1.7~1.8, 淡季以 2.0 左右为宜.

**3.5.5 入池含氧量** 谷壳用量偏高会使酒醅含氧量增大, 利于乳酸菌而不利于己酸菌生长繁殖. 因此, 在正常生产许可情况下, 谷壳用量采用下限. 单粮生产旺季以 20%~22%, 淡季以 18%~19% 为宜; 多粮生产分别增加 2%~3%. 夏天加强踩窖, 冬天适当踩窖, 维持酒醅适当的氧气含量, 限制乳酸菌的生长繁殖, 促进己酸菌等厌氧菌的生长繁殖, 对产酒和生香有利.

**3.5.6 大曲用量** 大曲用量过大或过小均对白酒品质不利. 多粮生产, 南方酒企旺季用曲量一般为 23%~25%, 淡季适当减少 2%~3%; 北方一般用曲量在 25% 左右. 曲粉要撒均匀, 摊晾时间一般以每甑 30 min 左右, 及时入池.

**3.5.7 糟醅质量** 要保持糟醅良好的风格, 必须根据入池温度和不同地区生产条件, 以及对酒质的要求等, 调整好粮糟比. 正常的粮糟比旺季为 1:4.0~4.5, 淡季为 1:5.0~5.5 为宜. 从形态上看, 糟醅应符合疏松不燥、熟而不腻、有弹性、有肉头, 保持母糟的水份、酸度、淀粉的正常值.

### 3.6 强化清窖管理, 低温缓慢发酵

封窖泥要用黄水、酒尾、底锅水、老窖泥培养液等拌合均匀, 确保其含有充分的营养成分, 踩至柔熟. 严禁用生水、锅炉水、冷凝器内的水拌合封窖泥. 封窖密封厚度旺季不低于 15 cm, 淡季不低于 20 cm. 坚持清窖 10 d 以上, 保障窖池密封良好, 做好周围清洁卫生工作. 科学清窖管理可有效延缓窖泥老化, 维持相对厌氧发酵, 利于“增己”. 尽可能做到低温缓慢发酵, 控制窖池内最高温度在 30~35℃. 滴窖在 20 h 左右, 做到勤舀黄水, 利于降酸和降乳<sup>[5, 51, 55, 61]</sup>.

### 3.7 精细蒸馏操作, 创新蒸馏工艺

做到单人装甑, 轻撒匀铺, 真正实现缓火蒸

馏. 一般来讲,  $2.0 \text{ m}^3$  左右的甑桶, 上甑时间以每甑 40 min 左右为宜, 有利于提取高浓度酒精和香味成分, 同时也有利于减少酒中的乳酸乙酯质量浓度. 装甑汽压坚持“两头小、中间大”的原则, 即装甑开始和结束时, 装甑汽压不超过 0.04 MPa, 装到中间时不超过 0.06 MPa. 按不同馏分酒的品质和酒度的高低, 量质分段摘酒. 摘酒浓度高, 乳酸乙酯质量浓度低, 己酸乙酯质量浓度高. 因此, 后段酒比前段酒乳酸乙酯要高几倍, 特别是酒尾中乳酸乙酯质量浓度更高. 坚持量质分段摘酒, 分级贮存, 入库基酒酒精度以大于 63% vol 为宜<sup>[4,5,55,59-61]</sup>.

杨平等<sup>[62]</sup>研究发现, 在甑桶醅层高度和结构设计方面, 单位质量糟醅的蒸馏效率随醅层高度的增加逐渐升高. 醅层高度相同时, 小直径的甑桶蒸馏效率大于大直径甑桶; 甑桶的高径比较大时有利于强化蒸馏, 能达到“增己降乳”的目的. 陈全庚等<sup>[63-65]</sup>研究发现, 相对于水封甑蒸馏系统, 采用气封甑蒸馏系统的蒸馏效果更好, 产酒率平均提高 5% 以上, 同时具有“增己”和“降乳”的明显功效. 总之, 实行科学发酵管理, 精细蒸馏操作, 是提高浓香型白酒产品的品质和有效“增己降乳”的重要保证.

## 4 结语

长期以来, “增己降乳”一直是我国很多浓香型白酒企业面临的主要技术问题. 我国浓香型白酒以开放式和自然发酵为主的生产方式决定了在酿造过程中, 大量与“增己降乳”相关的己酸菌、甲烷菌、酯化菌、乳酸菌和降乳菌等微生物存在着复杂的种群演替. 因此, 在严格生产管理的基础上, 加强理论研究, 深入认识浓香型白酒酿造过程中参与“增己降乳”的微生物类群及其种群演替规律, 找寻有用且高效的“增己降乳”菌株, 并将其合理运用到浓香型白酒酿造过程中, 是主动实现科学“增己降乳”目标

的基石. 随着微生物组学技术的发展, 有必要综合采用人工培养方法和宏基因组学等免培养技术, 系统地揭示浓香型白酒酿造过程中各种微生物的生长繁殖和代谢活动规律. 浓香型白酒企业更须因地、因时制宜, 以科学发展的态度, 规范白酒产业化管理, 保持“增己”和“降乳”的合理与适度, 不断创造出具有自身特色、适应产品消费结构变化的品牌产品, 才能让历史悠久、工艺独特、独具民族特色的浓香型白酒发展更好、走得更远.

## 参考文献:

- [1] 王延才. 中国酒业形势[J]. 酒·饮料技术装备, 2016(3): 12.
- [2] ZHAO J S, ZHENG J, ZHOU R Q, et al. Microbial community structure of pit mud in a Chinese strong aromatic liquor fermentation pit[J]. Journal of the Institute of Brewing, 2012, 11(4): 356.
- [3] 中国国家标准委员会. 浓香型白酒: GB/T 10781.1—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [4] 李维青. 浓香型白酒与乳酸菌、乳酸、乳酸乙酯[J]. 酿酒, 2010, 37(3): 90.
- [5] 赖登辉, 梁诚. 系统论对浓香型白酒生产中“增己降乳”的解析及应用[J]. 酿酒科技, 2008(8): 104.
- [6] 施安辉, 刘积和, 曲维祺, 等. 当前浓香型白酒增己降乳的微生物学技术[J]. 中国酿造, 2001(3): 8.
- [7] 张彬, 武绪敬, 陈清让. 锅底添加酒精串蒸工艺的探讨[J]. 酿酒科技, 2003(2): 47.
- [8] 谢玉球, 钟雨, 谢旭, 等. 乳酸菌在固态法白酒生产中的地位与作用[J]. 酿酒科技, 2008(11): 83.
- [9] 沈怡方. 白酒生产技术全书[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998.

- [10] ZHU X,ZHOU Y,WANG Y,et al. Production of high-concentration *n*-caproic acid from lactate through fermentation using a newly isolated *Ruminococcaceae* bacterium CPB6 [J]. *Biotechnology for Biofuels*,2017,10: 102.
- [11] CAVALCANTE W De A,LEITÃO R C,GEHRING T A,et al. Anaerobic fermentation for *n*-caproic acid production:a review [J]. *Process Biochemistry*,2017,54:106.
- [12] 赵华,赵树欣,李颖宪,等. 酵母菌己酸乙酯生物合成与代谢控制育种 [J]. *酿酒科技*,1998 (4): 24.
- [13] 刘雪,杨爱华,张学梅,等. 华根霉生物酶法合成己酸乙酯条件的研究 [J]. *酿酒科技*,2017 (2): 57.
- [14] 詹美榕,丁俊竹,丛方地,等. 调节黑曲霉脂肪酶催化合成己酸乙酯的探索 [J]. *酿酒科技*,2016 (12): 28.
- [15] 赵华,赵树欣,李颖宪,等. 微生物酶法合成己酸乙酯的研究 [J]. *天津轻工业学院学报*,1999 (1): 15.
- [16] 周恒刚. 漫谈己酸乙酯的酯化 [J]. *酿酒科技*,1998(3): 18.
- [17] 唐瑞. 己酸菌、窖泥与浓香型白酒之间的关系 [J]. *酿酒*,2005,32(4): 24.
- [18] 章克昌. 酒精与蒸馏酒工艺学 [M]. 北京: 中国轻工业出版社,2002.
- [19] 何培新. 高级微生物学 [M]. 北京: 中国轻工业出版社,2017.
- [20] 孟东,梁辉. 浓香型白酒乳酸乙酯的产生及控制方法 [J]. *江苏食品与发酵*,2003 (2): 21.
- [21] ZHENG J,LIANG R,ZHANG L,et al. Characterization of microbial communities in strong aromatic liquor fermentation pit muds of different ages assessed by combined DGGE and PLFA analyses [J]. *Food Research International*,2013,54(1): 660.
- [22] 曾田,胡晓龙,马兆,等. 浓香型白酒窖泥中“增己降乳”原核微生物群落多样性解析 [J]. *轻工学报*,2017,32(6): 12.
- [23] 李洪祥. 己酸菌培养液使用小议 [J]. *酿酒科技*,2002 (5):40.
- [24] 杨喜军. 黑轻 80 号己酸菌在我厂白酒生产中的应用 [J]. *黑龙江发酵*,1982 (1):31.
- [25] 施安辉. 在白酒酿造中己酸菌 C1 应用方法的对比试验 [J]. *中国酿造*,1983,2(6):25.
- [26] 管健,廖蓓,李兆飞,等. 白酒功能菌的功能特性及应用研究 [J]. *中国酿造*,2017,36(8):1.
- [27] 彭文明,周敬慧,刘娟. 己酸菌复合菌液在浓香型白酒生产中的应用 [J]. *中小企业管理与科技(中旬刊)*,2014 (20):311.
- [28] 黄丹,刘超兰,张文学,等. 白酒发酵窖泥中一株产氢细菌的分离及其代谢特性分析 [J]. *酿酒科技*,2013 (12): 21.
- [29] 邓杰,卫春会,边名鸿,等. 浓香型白酒不同窖龄窖池窖泥中古菌群落结构分析 [J]. *食品科学*,2017,38(8): 37.
- [30] 颜昌轩. 甲烷菌在浓香型白酒生产中的作用(简报) [J]. *西南大学学报(自然科学版)*,1989,11(5):481.
- [31] 梁龙元,王露,薛栋升. 白酒酿造中酯酶及己酸乙酯的研究进展 [J]. *酿酒*,2018,45(1): 17.
- [32] 任道群,唐玉明,姚万春,等. 酯化酶动力学研究 [J]. *酿酒科技*,2006 (6): 39.
- [33] ARANDA J,CERQUEIRA N M F S A,FERNANDES P A,et al. The catalytic mechanism of carboxylesterases: a computational study [J]. *Biochemistry*,2014,53(36):5820.
- [34] 施安辉,张文璞,徐恩润,等. 酯酶的微生物类群、酯化特性及应用前景 [J]. *山东食品发酵*,2001 (2): 17.
- [35] SMART K. *Brewing yeast fermentation performance* [M]. Oxford: Blackwell Science Ltd, A Blackwell Publishing Company,2003.
- [36] 王治国,夏明星,管清先,等. 应用产酯酵母提

- 高浓香型白酒质量的研究[J]. 酿酒科技, 1994(4): 13.
- [37] 侯小歌, 王俊英, 李学思, 等. 浓香型白酒糟醅及窖泥产香功能菌的研究进展[J]. 微生物学通报, 2013, 40(7): 1257.
- [38] 胡晓龙, 赵东, 葛隐, 等. 五粮液大曲中产酯化酶红曲霉的分离及酯化酶的纯化[J]. 酿酒, 2011, 38(3): 35.
- [39] 黄丹, 储玉龙, 尚志超, 等. 大曲酯化酶根霉菌的分离及产酶条件研究[J]. 食品与发酵科技, 2010, 46(3): 30.
- [40] 滕巍, 李国莹, 刘小波, 等. 大曲中产酯化酶菌株的分离鉴定及固体发酵工艺优化[J]. 食品与生物技术学报, 2016, 35(9): 971.
- [41] 李绍亮, 李学思, 侯小歌, 等. 宋河酒曲中主要霉菌的鉴定及其产酶特性的研究[J]. 酿酒, 2016, 43(6): 24.
- [42] 镇达, 尚玲, 陈茂彬. 红曲霉酯化酶特性及在白酒酿造中的应用研究[J]. 酿酒科技, 2009(1): 62.
- [43] 黄丹, 张强, 严芳, 等. 浓香型大曲中酯化酶细菌的分离鉴定及产酶条件研究[J]. 中国酿造, 2009(8): 57.
- [44] 张秀红, 刘秋林, 孔健, 等. 一株产酯化酶细菌的筛选[J]. 酿酒科技, 2012(6): 56.
- [45] 刘阳. 中高温大曲中产酯化酶细菌的选育[D]. 芜湖: 安徽工程大学, 2013.
- [46] 朱弟雄, 涂向勇. 酯化红曲在浓香型白酒生产度夏压排中的应用研究[J]. 酿酒科技, 2010(5): 82.
- [47] 刘义刚, 周治全, 周超, 等. 全细胞酯化曲(酶)在生物酯化液中的应用[J]. 酿酒科技, 2016(2): 72.
- [48] 姚惟琦, 陈茂彬, 镇达, 等. 浓香型白酒酒醅中乳酸菌分离及其对模拟固态发酵的影响[J]. 酿酒, 2010, 37(3): 37.
- [49] 栗连会. 泸型酒酒醅中乳酸菌和乳酸降解菌的多样性和代谢特性[D]. 无锡: 江南大学, 2016.
- [50] 孙超, 刘勇. 白酒生产中乳酸菌的分布及主要代谢产物[J]. 中国酿造, 2012, 31(5): 1.
- [51] 李大和. 浓香型曲酒乳酸乙酯偏高的原因及解决措施[J]. 酿酒科技, 2007(2): 100.
- [52] 郭本跃. 生香 ADY, TH-AADY, 己酸菌液和糖化酶混合使用提高浓香型曲酒的质量[J]. 酿酒科技, 2002(5): 87.
- [53] 徐希望, 徐世江, 谢恩举. 利用丙、己酸菌液双喷雾实现增己降乳的研究[J]. 酿酒科技, 1996(6): 43.
- [54] 张志刚, 周爱江. 复合酯化酶生态菌剂在浓香型白酒中的应用研究[J]. 酿酒科技, 2006(5): 55.
- [55] 赖登辉. 浓香型白酒生产中“增己降乳”科学、合理性的研究[J]. 酿酒, 2007, 34(5): 4.
- [56] 詹炳耀. 浓香型大曲酒“增己抑乳”问题的探讨与研究[J]. 黑龙江发酵, 1982(3): 34.
- [57] 戴自鸣, 汪俊英. “增己减乳”的一项技术措施(摘要)[J]. 酿酒, 1982(4): 38.
- [58] 詹炳耀, 郭宗武. 低度张弓大曲酒[J]. 黑龙江发酵, 1981(4): 12.
- [59] 冯雅芳, 张永利. 凤型酒生产过程降乳措施探讨[J]. 酿酒, 2015, 42(6): 89.
- [60] 田以清, 牛学士. 浅谈增己降乳提高浓香型白酒质量[J]. 酿酒科技, 1992(6): 22.
- [61] 钟玉叶, 崔如生. 洋河酒厂的多粮工艺创新[J]. 酿酒, 2007, 34(5): 28.
- [62] 杨平, 涂荣坤, 钱志伟, 等. 甑桶醅层高度及结构设计对蒸馏效率及酒质的影响研究[J]. 酿酒科技, 2012(10): 94.
- [63] 陈全庚, 陈珊, 黄应华, 等. 气封甑和水封甑蒸馏对比试验研究[J]. 酿酒科技, 2012(4): 88.
- [64] 陈全庚, 孙庆文, 黄应华, 等. 应用白酒气态处理新技术提高蒸馏提香效果和原酒品质的生产实验[J]. 酿酒科技, 2013(1): 65.
- [65] 孙庆文, 陈全庚, 侯勇, 等. 气封甑蒸馏效果分析研究[J]. 酿酒科技, 2014(4): 57.