

DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.023066

引用格式:任雪,魏晓庆,韩雨辰,等.无窖泥发酵生产浓香型白酒[J].食品与发酵工业,2020,46(7):105-109. REN Xue, WEI Xiaoqing, HAN Yuchen, et al. Production of Luzhou-flavor Baijiu by fermentation without cellar mud[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(7):105-109.

## 无窖泥发酵生产浓香型白酒

任雪,魏晓庆,韩雨辰,李洋,肖冬光\*

(天津科技大学 生物工程学院,天津,300457)

**摘要** 浓香型白酒是我国产销量最大的白酒,传统的泥窖发酵劳动强度大、机械化操作困难,且原酒常常带有窖泥臭味。该研究采用窖泥微生物(己酸菌群)单独培养制备己酸发酵液,再与大曲微生物发酵酒醅(前发酵)混合发酵,实现无窖泥发酵生产浓香型白酒。己酸发酵液的制备采用液态厌氧培养,通过考察发酵产酸情况确定发酵时间为9 d,此时己酸含量达到10 g/L左右,丁酸含量达到2 g/L左右;前发酵为传统的固态发酵,由乙醇体积分数、残淀粉等发酵理化指标确定发酵周期为6~8 d;己酸发酵液与前发酵酒醅混合进行后发酵,己酸发酵液添加量为0.40 g/kg,总发酵周期为42 d。在此条件下,酒醅四大酯含量较高,比例协调,该研究为无窖泥发酵生产浓香型白酒打下基础。

**关键词** 无窖泥;浓香型;白酒;混合发酵

## Production of Luzhou-flavor Baijiu by fermentation without cellar mud

REN Xue, WEI Xiaoqing, HAN Yuchen, LI Yang, XIAO Dongguang\*

(College of Biotechnology, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China)

**ABSTRACT** Luzhou-flavor Baijiu is one of the largest Baijiu types in production and sales in China. The traditional mud cellar fermentation method is unsuitable for mechanized operation and thus labor-intensive, and the original Baijiu often has the smell of pit mud. In order to produce Luzhou-flavor Baijiu without cellar mud, the fermentation broth of caproic acid was produced by cultivating pit mud microorganisms separately, and then mixed with fermented grains. The preparation of caproic acid fermentation broth was prepared by liquid anaerobic culture, and after 9 d fermentation, the content of caproic acid reached about 10 g/L and the content of butyric acid 2 g/L. Fermented grains were prepared in so-called pre-fermentation, which is traditional solid-state fermentation with a duration of 6-8 d according to physical and chemical parameters such as the content of alcohol and residual starch. Then a post-fermentation was conducted by mixing 0.04 g caproic acid fermentation broth with 100 g pre-fermented grains, till the total fermentation period was 42 d. The product prepared by this process has a soft and sweet favor, outstanding aroma of ethyl caproate, and typical style of high-quality Luzhou-flavor Baijiu.

**Key words** no cellar mud; Luzhou-flavor type; Baijiu (Chinese liquor); mixed fermentation

中国传统白酒由于其独特的发酵工艺和产品风格,在世界六大蒸馏酒中占有重要的地位,而作为中国传统白酒的典型风味代表之一的浓香型白酒,其生

产量最大,国家名酒品牌最多,深受消费者喜爱<sup>[1-4]</sup>。传统浓香型白酒酿造工艺的独特之处在于“泥窖固态发酵,续糟配料,混蒸混烧”,泥窖除了作为蓄积酒

第一作者:硕士研究生(肖冬光教授为通讯作者, E-mail: xiao99@tust.edu.cn)

基金项目:国家自然科学基金项目(31471724);中国博士后科学基金面上项目(2017M611169);国家重点研发计划(2016YFD0400500);河北省博士后科研择优资助项目(B2018003031)

收稿日期:2019-12-11,改回日期:2020-01-05

醅进行发酵的容器外,还与各种呈香呈味物质的生成密切相关。以己酸菌群为主的泥窖微生物和以酵母菌群、乳酸菌群为主的酒醅微生物相比,各自的生长和代谢条件不同,但都在发酵过程中进行着复杂的物质代谢与交换,最终形成了浓香型白酒独特的成分构成和风味特征<sup>[5-8]</sup>。浓香型白酒的特征香味成分是己酸乙酯,它与适量的乙酸乙酯、乳酸乙酯、丁酸乙酯和其他香味成分组成复合香气,其四大酯比例协调,具有窖香浓郁,绵甜净爽的特点<sup>[9-13]</sup>。

由于传统浓香型白酒泥窖发酵的特殊方式,使得糟醅出入窖池很大程度上依赖于人工操作,劳动强度大,机械化程度低<sup>[14]</sup>。而且由于窖泥的存在,常给原酒带来土腥味和泥臭味<sup>[15-16]</sup>,需要进行一系列复杂的处理,从而增加了净化成本<sup>[17-18]</sup>。针对以上问题,研究人员提出了一系列解决办法,河套酒业采用“行车抓斗”出窖,形成有序的物料输送链条,降低劳动强度<sup>[19]</sup>。但这种方式容易把窖泥带到蒸馏酒醅中,影响原酒质量;为了不使原酒带有泥臭味,对接近窖壁的酒醅只能采用传统方式人工出窖,费时费力,且不利于管理。

为了打破泥窖对浓香型白酒机械化的限制,本研究先对己酸菌群单独培养,待前发酵酒醅中的乙醇含量到达高峰时再混入己酸发酵液进行后发酵,最终确定己酸发酵液添加量、添加时间及总发酵周期,从而绕开泥窖实现无窖泥发酵生产浓香型白酒。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

#### 1.1.1 原料和试剂

原料:高粱、浓香型大曲、酒糟、优质窖泥,均取自某浓香型酒厂。

试剂:  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 $\text{K}_2\text{HPO}_4$ 、乙醇,天津市风船化学试剂科技有限公司;乙酸钠、 $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{MgSO}_4$ ,天津市化学试剂一厂;酵母浸粉,北京奥博星生物技术公司。以上均为分析纯。

#### 1.1.2 主要培养基

己酸菌种子培养基(g/L):乙酸钠 5,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  0.5,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  0.4,  $\text{MgSO}_4$  0.2, 酵母浸粉 1, 自然 pH, 121 ℃ 灭菌 20 min, 在干热灭菌后接种前加入 10 g/L  $\text{CaCO}_3$ , 过滤除菌后加入体积分数为 20% 无水乙醇<sup>[20]</sup>。

己酸菌发酵培养基(g/L):乙酸钠 7,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  0.5,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  0.4,  $\text{MgSO}_4$  0.2, 酵母浸粉 5, 自然 pH,

121 ℃ 灭菌 20 min, 于干热灭菌后接种前加入 10 g/L  $\text{CaCO}_3$ , 过滤除菌后加入体积分数为 15% 无水乙醇。

### 1.2 分析方法

乙醇体积分数的测定:采用酒精计法<sup>[21]</sup>;酸度的测定:采用酸碱滴定指示剂法<sup>[22]</sup>;残淀粉的测定:采用斐林试剂法<sup>[23]</sup>。

主要风味物质的测定<sup>[24]</sup>:取 100 g 酒醅, 加入 200 mL 蒸馏水, 蒸馏并接取酒液 100 mL, 充分混匀, 取样进行气相色谱法测定。检测条件:Agilent HP-INNOWAX 色谱柱(30 m × 320  $\mu\text{m}$  × 0.25  $\mu\text{m}$ );载气为高纯氮气(>99.999%);柱流速为 0.8 mL/min;进样口温度 200 ℃;检测器温度 150 ℃;程序升温, 起始温度 50 ℃, 保持 8 min, 以 5 ℃/min 升至 150 ℃, 保持 15 min;进样体积为 1  $\mu\text{L}$ ;分流进样, 分流比为 10:1。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 己酸发酵液的制备

选取优质窖泥, 85 ℃ 水浴处理 10 min, 置于 30 ~ 35 ℃ 厌氧培养 7 ~ 12 d, 挑选产气较多的菌液, 补充新的培养基继续热处理, 连续富集培养 3 次, 得到己酸菌富集菌液<sup>[25]</sup>。

取己酸菌富集菌液按 7% 的接种量接种于发酵培养基, 于 35 ℃ 培养箱中厌氧培养, 从发酵第 6 天开始, 每天取样进行己酸和丁酸的测定, 确定最终发酵时间, 使己酸含量达到 10 g/L 左右, 且己酸、丁酸比例适宜。

#### 1.3.2 前发酵工艺

原料粉碎:以优质高粱为原料, 粉碎度要求通过 20 目孔筛占 70% ~ 75% 以上。

润料:高粱粉用相当于原料质量 60% 的 60 ~ 70 ℃ 水拌匀, 堆积润料 18 ~ 20 h。

蒸料:润好的物料拌入相当于高粱粉质量 20% 的稻壳(已清蒸过), 拌匀后蒸料, 圆汽后蒸 1 h。

配料发酵:蒸熟的物料冷却至 30 ℃ 左右, 拌入传统发酵的酒糟, 配糟比(高粱:新鲜酒糟, 质量比)为 1:3 ~ 4, 以配料后物料可发酵淀粉含量 16% ~ 18%、酸度 1.6 ~ 2.0 mmol/10 g 为宜, 拌入浓香型大曲粉的质量相当于高粱质量的 10% ~ 12%, 装瓶, 30 ℃ 下静置发酵, 发酵开始后每天进行称重, 发酵至第 4 天开始, 每天取样进行乙醇体积分数和残淀粉的测定, 依据指标确定前发酵时间。

#### 1.3.3 后发酵

##### 1.3.3.1 己酸发酵液添加时间的确定

按照 1.3.2 的方法进行前发酵,分别在发酵至第 5、6、7、8 天添加 0.40 g/kg 己酸发酵液,继续后发酵至第 14 天,取样分析,确定己酸发酵液的添加时间。

### 1.3.3.2 己酸发酵液添加量的确定

按照 1.3.2 的方法进行前发酵,在发酵至第 6 天时,分别添加 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 g/kg 的己酸发酵液,继续后发酵至第 14 天,取样分析,确定己酸发酵液的添加量。

### 1.3.3.3 总发酵周期的确定

按照 1.3.2 的方法进行前发酵,在发酵至第 6 天,添加 0.40 g/kg 的己酸发酵液,进行后发酵,分别在发酵至第 14、21、28、35、42 天,取样分析,确定最终发酵周期。

## 2 结果与分析

### 2.1 己酸发酵液培养时间的确定

按照 1.3.1 的方法,将己酸菌富集菌液接种于发酵培养基中,培养至第 6 天时开始产生轻微气泡,之后每天取样,测定己酸、丁酸含量,产酸情况如图 1 所示。培养 6~9 d,己酸含量逐渐增加,且增长幅度较大,而丁酸含量呈现降低趋势,继续延长培养时间,己酸、丁酸的含量均趋于平稳,当培养至第 9 天时,己酸含量为 9.651 g/L,丁酸含量为 2.031 g/L。

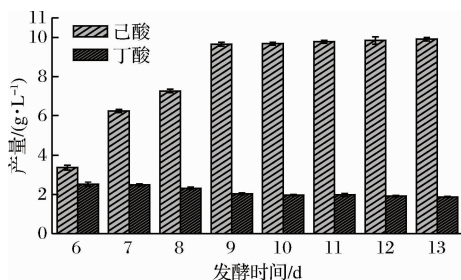


图 1 己酸、丁酸产量随发酵时间变化情况

Fig.1 Variation of caproic acid and butyric acid content with fermentation time

根据文献报道,丁酸是己酸合成过程中的底物之一<sup>[26]</sup>,所以随着己酸含量的增加,丁酸含量有降低趋势,当发酵至第 9 天时,己酸、丁酸含量均趋于平稳,且己酸、丁酸的比例较适宜,因此确定发酵时间为 9 d。

### 2.2 前发酵时间的确定

按照 1.3.2 的方法进行前发酵。前发酵过程中,乙醇体积分数、残淀粉以及失重随着发酵时间的变化情况如图 2 所示。随着发酵的进行,失重和乙醇体积

分数先增加后趋于稳定,残淀粉先降低后趋于稳定。酒醅菌群主要是以酵母菌和乳酸菌等兼性厌氧菌或好氧菌为主要菌群,而窖泥菌群是以己酸菌等厌氧菌为主要菌群,它们的生长环境和代谢机制不同,酵母发酵产生的酒精对己酸菌群有抑制作用,而窖泥菌群发酵产生的己酸等代谢物对酿酒酵母也有抑制作用。如果己酸发酵液添加时间过早,己酸、丁酸等代谢物会对酵母的生长和代谢产生抑制作用,使发酵不彻底,残淀粉过高而乙醇含量过低;如果己酸发酵液添加时间过晚,己酸、丁酸等与乙醇的酯化时间短,会导致合成的风味物质不足。当发酵 6~8 d,乙醇含量达到高峰,所以应该选择在此时间段内添加己酸发酵液。

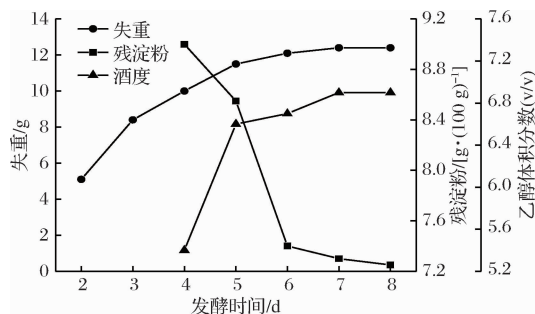


图 2 前发酵过程中主要理化指标变化情况

Fig.2 Changes of main physical and chemical indexes in the process of pre-fermentation

### 2.3 后发酵

前发酵结束后,添加己酸发酵液,进行后发酵,根据各项理化指标,确定己酸发酵液的添加时间、添加量和总发酵周期。

#### 2.3.1 己酸发酵液添加时间的确定

己酸发酵液添加时间对乙醇体积分数、残淀粉的影响如图 3 所示。

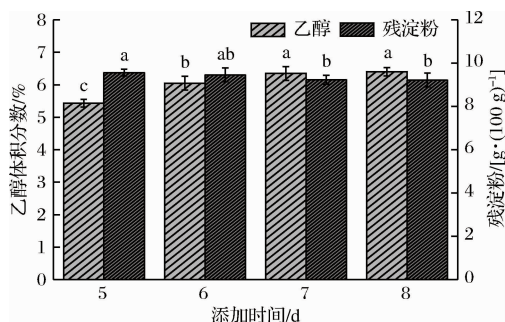


图 3 己酸发酵液添加时间对乙醇体积分数、残淀粉的影响

Fig.3 Effect of adding time of caproic acid fermentation broth on alcohol content and residual starch

注:不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ) (下同)

随着己酸发酵液添加时间的延后,乙醇体积分数逐渐上升,残淀粉逐渐降低。说明己酸发酵液添加时间过早会影响酒醅中酵母菌生长、代谢,进而影响乙醇体积分数和残淀粉的含量。

不同时间添加己酸发酵液对主要风味物质的影响如表 1 所示。随着己酸发酵液添加时间的延后,乙酸乙酯和乳酸乙酯的含量呈现增加的趋势,而己酸乙酯和丁酸乙酯的含量呈现降低的趋势,总高级醇的合

成量差异不显著。因为随己酸发酵液添加时间的延后,己酸、丁酸与乙醇的作用时间缩短,导致己酸乙酯和丁酸乙酯的含量降低;而过早添加己酸发酵液会抑制大曲中酵母菌群和乳酸菌群的生长和代谢,进而影响乙酸乙酯和乳酸乙酯的合成。综合己酸发酵液添加时间对主要风味物质、乙醇体积分数以及发酵酒醅中物质利用情况,选择发酵 6 d 时添加己酸发酵液。

表 1 己酸发酵液添加时间对主要风味物质的影响

单位:mg/L

添加时间/d	乙酸乙酯	乳酸乙酯	己酸乙酯	丁酸乙酯	正丙醇	异丁醇	异戊醇	苯乙醇
5	147.63 ± 2.23 <sup>d</sup>	315.36 ± 4.83 <sup>d</sup>	81.14 ± 1.16 <sup>a</sup>	17.14 ± 0.02 <sup>a</sup>	9.42 ± 0.02 <sup>ab</sup>	13.59 ± 1.88 <sup>a</sup>	33.76 ± 1.65 <sup>a</sup>	15.23 ± 0.61 <sup>a</sup>
6	166.82 ± 2.71 <sup>c</sup>	336.83 ± 4.21 <sup>c</sup>	79.24 ± 1.17 <sup>a</sup>	15.32 ± 0.66 <sup>b</sup>	8.72 ± 0.43 <sup>b</sup>	13.75 ± 1.07 <sup>a</sup>	33.43 ± 1.62 <sup>a</sup>	15.43 ± 0.17 <sup>a</sup>
7	195.78 ± 1.07 <sup>b</sup>	363.13 ± 3.81 <sup>b</sup>	77.26 ± 3.61 <sup>b</sup>	13.27 ± 0.17 <sup>c</sup>	9.74 ± 0.39 <sup>a</sup>	13.11 ± 1.42 <sup>a</sup>	33.18 ± 2.82 <sup>a</sup>	15.56 ± 0.89 <sup>a</sup>
8	239.12 ± 16.31 <sup>a</sup>	393.76 ± 6.05 <sup>a</sup>	67.65 ± 6.41 <sup>c</sup>	11.11 ± 0.54 <sup>d</sup>	8.87 ± 0.49 <sup>ab</sup>	13.82 ± 0.85 <sup>a</sup>	32.81 ± 2.15 <sup>a</sup>	16.06 ± 0.60 <sup>a</sup>

注:同列数据肩标不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )(下同)

2.3.2 己酸发酵液添加量的确定

如表 2 所示,随着己酸发酵液添加量的增多,乙酸乙酯含量逐渐增加,乳酸乙酯含量呈降低趋势,己酸乙酯含量先增加后变化不显著,而丁酸乙酯含量变化不显著。

从高级醇来看,正丙醇和异戊醇含量随着己酸发

酵液添加量增多而减少,异丁醇和苯乙醇含量变化不显著。由于添加过多的己酸发酵液没有显著提高己酸乙酯含量,并且会导致酒体中剩余过多的己酸,影响酒体平衡,综合来看,选择己酸发酵液的添加量为 0.40 g/kg。

表 2 己酸发酵液添加量对主要风味物质的影响

单位:mg/L

添加量/ (g · kg <sup>-1</sup> )	乙酸乙酯	乳酸乙酯	己酸乙酯	丁酸乙酯	正丙醇	异丁醇	异戊醇	苯乙醇
0.20	159.65 ± 6.93 <sup>c</sup>	352.85 ± 4.46 <sup>a</sup>	69.90 ± 0.96 <sup>c</sup>	15.71 ± 0.42 <sup>a</sup>	12.58 ± 0.51 <sup>a</sup>	13.21 ± 0.91 <sup>a</sup>	33.13 ± 0.64 <sup>a</sup>	16.28 ± 1.56 <sup>a</sup>
0.40	167.10 ± 3.55 <sup>d</sup>	312.82 ± 4.75 <sup>b</sup>	94.69 ± 0.67 <sup>b</sup>	15.87 ± 0.19 <sup>a</sup>	11.42 ± 0.46 <sup>a</sup>	13.17 ± 0.68 <sup>a</sup>	32.07 ± 0.46 <sup>a</sup>	15.98 ± 0.25 <sup>a</sup>
0.60	175.93 ± 12.67 <sup>c</sup>	302.67 ± 1.91 <sup>c</sup>	98.52 ± 0.79 <sup>ab</sup>	15.99 ± 0.34 <sup>a</sup>	9.95 ± 0.88 <sup>b</sup>	12.69 ± 0.27 <sup>a</sup>	30.51 ± 0.23 <sup>b</sup>	15.54 ± 0.28 <sup>a</sup>
0.80	190.02 ± 26.66 <sup>b</sup>	294.16 ± 0.83 <sup>d</sup>	101.81 ± 4.77 <sup>a</sup>	16.27 ± 0.52 <sup>a</sup>	9.11 ± 0.29 <sup>bc</sup>	12.71 ± 0.76 <sup>a</sup>	29.41 ± 0.45 <sup>c</sup>	15.49 ± 0.20 <sup>a</sup>
1.00	213.09 ± 16.65 <sup>a</sup>	285.81 ± 0.42 <sup>e</sup>	102.72 ± 3.47 <sup>a</sup>	16.30 ± 0.87 <sup>a</sup>	8.26 ± 0.42 <sup>c</sup>	13.08 ± 0.19 <sup>a</sup>	27.66 ± 0.75 <sup>d</sup>	15.95 ± 0.26 <sup>a</sup>

2.3.3 发酵周期的确定

从表 2 可以看出,通过提高己酸发酵液的添加量不能显著增加己酸乙酯和丁酸乙酯的含量,因此要延长发酵时间使己酸、丁酸和乙醇在大曲酯化酶的作用下继续合成己酸乙酯和丁酸乙酯,确定最终发酵周期使浓香型白酒四大酯比例协调,己酸乙酯香气突出。

如图 4 所示,随发酵周期的延长,乙醇体积分数有降低的趋势,酸度有增加趋势,残淀粉基本稳定。因为合成酯类以及挥发等因素影响,酒精会有所消耗,所以乙醇体积分数略微降低,而随着发酵周期的延长,一些有机酸会增加,所以酸度有增加趋势。

如表 3 所示,随发酵周期的延长,乙酸乙酯含量呈略微降低趋势,乳酸乙酯含量变化不显著,己酸乙酯和丁酸乙酯的含量均显著增加;从高级醇方面

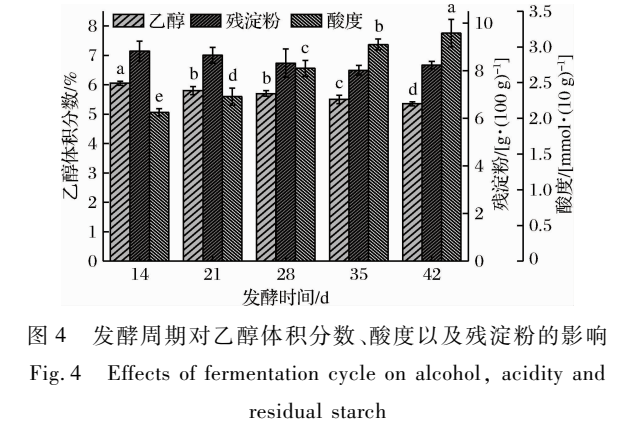


图 4 发酵周期对乙醇体积分数、酸度以及残淀粉的影响  
Fig.4 Effects of fermentation cycle on alcohol, acidity and residual starch

看,总体呈现降低趋势。由于发酵时间的延长,乙酸乙酯逐渐被分解而有所降低,而己酸、丁酸与乙醇逐渐合成己酸乙酯和丁酸乙酯,所以均呈现升高的趋

势。综合看来,发酵周期为 42 d 时,四大酯比例较协调,且酒精含量维持在一定水平,符合浓香型白酒质

量标准,因此,确定最终发酵周期为 42 d。

表 3 发酵周期对主要风味物质的影响

单位:mg/L

Table 3 Effect of fermentation time on main flavor substances

发酵周期/d	乙酸乙酯	乳酸乙酯	己酸乙酯	丁酸乙酯	正丙醇	异丁醇	异戊醇	苯乙醇
14	181.78 ± 2.97 <sup>a</sup>	348.46 ± 2.23 <sup>a</sup>	96.05 ± 1.92 <sup>c</sup>	13.21 ± 1.02 <sup>c</sup>	13.02 ± 0.48 <sup>a</sup>	15.29 ± 0.26 <sup>a</sup>	29.24 ± 0.05 <sup>a</sup>	15.75 ± 0.28 <sup>a</sup>
21	182.64 ± 1.23 <sup>a</sup>	355.45 ± 9.73 <sup>a</sup>	104.89 ± 6.33 <sup>d</sup>	14.10 ± 0.02 <sup>bc</sup>	11.52 ± 0.95 <sup>b</sup>	14.69 ± 1.24 <sup>a</sup>	27.85 ± 0.90 <sup>b</sup>	15.71 ± 0.17 <sup>a</sup>
28	176.01 ± 1.16 <sup>ab</sup>	362.11 ± 7.87 <sup>a</sup>	125.28 ± 6.79 <sup>c</sup>	15.23 ± 0.09 <sup>b</sup>	9.38 ± 0.97 <sup>c</sup>	15.39 ± 1.21 <sup>a</sup>	29.61 ± 0.78 <sup>a</sup>	15.76 ± 0.14 <sup>a</sup>
35	174.51 ± 4.40 <sup>b</sup>	356.01 ± 6.18 <sup>a</sup>	161.63 ± 3.20 <sup>b</sup>	15.20 ± 1.53 <sup>b</sup>	8.17 ± 0.65 <sup>c</sup>	14.18 ± 0.18 <sup>a</sup>	27.29 ± 0.10 <sup>b</sup>	13.83 ± 0.22 <sup>b</sup>
42	164.74 ± 5.48 <sup>c</sup>	355.79 ± 5.42 <sup>a</sup>	177.20 ± 3.16 <sup>a</sup>	16.87 ± 0.78 <sup>a</sup>	6.18 ± 0.09 <sup>d</sup>	14.26 ± 1.19 <sup>a</sup>	27.61 ± 0.62 <sup>b</sup>	13.89 ± 0.63 <sup>b</sup>

### 3 结果与讨论

从实验结果来看,己酸发酵液添加时间、添加量以及总发酵周期,对浓香型白酒四大酯的平衡起到很大作用。若己酸发酵液添加时间过早,对乙酸乙酯和乳酸乙酯的合成有抑制作用,而添加过晚会影响己酸乙酯和丁酸乙酯的合成。当总发酵周期为 14 d(表 2),己酸发酵液的添加量由 0.20 g/kg 增加至 0.40 g/kg 时,己酸乙酯的含量增加了 35.46%;再加大己酸发酵液的添加量,己酸乙酯和丁酸乙酯的含量增加不显著,而乙酸乙酯的含量明显增加,乳酸乙酯含量有所下降,说明在发酵周期较短的情况下并不能通过加大己酸发酵液的量来提高己酸乙酯的含量。通过延长发酵周期可显著提高己酸乙酯的含量(表 3),丁酸乙酯的含量也有所增加,乙酸乙酯的含量稍有下降,而乳酸乙酯的含量变化不明显,四大酯比例趋于平衡。由此可见,可以通过对己酸发酵液添加时间、添加量以及总发酵周期的调控来有效控制四大酯的含量并协调其比例,从而实现无窖泥发酵生产浓香型白酒的目的。

### 参 考 文 献

- [1] 肖冬光,赵树欣,陈叶福,等. 白酒生产技术[M]. 北京:化学工业出版社,2010.
- [2] 李维青. 浓香型白酒流派[J]. 酿酒科技,2009(12):112-116.
- [3] 张宗奇,张旭. 对浓香型白酒个性特点的探讨[J]. 酿酒科技,2009(2):68-70.
- [4] 胡永松,王忠彦,邓小晨,等. 对酿酒工业生态及其发展的思考[J]. 酿酒科技,2000(1):22-23.
- [5] TAO Y, LI J, RUI J, et al. Prokaryotic communities in pit mud from different-aged cellars used for the production of Chinese Strong-Flavored liquor[J]. Appl Environ Microbiol, 2014, 80(7): 2 254-2 260.
- [6] 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.
- [7] HU X, DU H, REN C, et al. Illuminating anaerobic microbial community and co-occurrence patterns across a quality gradient in Chi-

- nese liquor fermentation pit muds[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2016,82(8):2 206-2 215.
- [8] 蒲岚,李璐,谢善慈,等. 浓香型白酒窖池中糟醅微生物的变化趋势研究[J]. 酿酒科技,2011(1):17-19.
- [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] 李大和,刘念,李国红. 中国白酒香型融合创新的思考[J]. 酿酒科技,2006(11):116-118.
- [11] 贾巧唤,任石荷. 浅述酸、酯、醇等成分对白酒的影响[J]. 食品工程,2008(4):12-13.
- [12] 刘子红,李学思. 论北方地区浓香型白酒生产工艺特点[J]. 酿酒,2013,40(5):63-68.
- [13] 郝建宇,张宿义,税梁扬,等. 浓香型白酒生产工艺优化调控的研究进展[J]. 酿酒科技,2012(5):92-95.
- [14] 谭光迅,李净,张明,等. 无泥窖浓香白酒的生产研究[J]. 酿酒,2013,40(3):65-69.
- [15] 刘博,杜海,王雪山,等. 基于高通量测序技术解析浓香型白酒中窖泥臭味物质 4-甲基苯酚的来源[J]. 微生物学通报,2017(1):108-117.
- [16] DU H, LIU B, WANG X, et al. Exploring the microbial origins of p-cresol and its co-occurrence pattern in the Chinese liquor-making process[J]. International Journal of Food Microbiology, 2017, 260:27-35.
- [17] 刘森,姚万春,唐玉明,等. 功能性人工窖泥的培养和应用[J]. 酿酒科技,2014(6):80-83.
- [18] 姚万春,唐玉明,任道群,等. 优质人工窖泥的研制与应用[J]. 酿酒,2013,40(6):47-50.
- [19] 任国军. 河套酒业白酒机械化的尝试[J]. 酿酒科技,2010(12):73-75.
- [20] 胡智慧,湛柄旭,任雪,等. 白酒生产用己酸菌发酵液发酵条件及培养基组成的优化[J]. 中国酿造,2018(4):16-22.
- [21] 牟建楼,王颖,张伟,等. 乙醇的测定方法综述[J]. 酿酒,2006,33(2):46-48.
- [22] 余尚华,刘沛龙. 白酒中总酯测定方法的研究[J]. 酿酒,1982,9(4):35-39.
- [23] 李雪梅,杨俊慧,张利群,等. 还原糖测定方法的比较[J]. 山东科学,2008,21(2):18-20.
- [24] 唐取来,李晶晶,李玲玲,等. 新型液态发酵生产米香型白酒的研究(I)——酶制剂在液态发酵米香型白酒中的应用[J]. 酿酒科技,2015(9):8-11.
- [25] 薛正楷,薛原. 一株窖泥己酸菌株的多相鉴定及产酸研究[J]. 酿酒科技,2016(6):65-71.
- [26] 周恒刚. 漫谈己酸菌与窖泥[J]. 酿酒,1998,25(3):1-5.