

不同香型大曲酯化酶的特性分析

邢爽¹, 魏志阳¹, 郭学武¹, 王亚平¹, 谌柄旭¹, 李秋志^{1,2}, 肖冬光¹

(1. 工业微生物教育部重点实验室, 天津市工业微生物重点实验室, 天津科技大学生物工程学院, 天津 300457)

(2. 河北山庄老酒股份有限公司, 河北承德 067500)

摘要: 本文主要研究了不同酸浓度和 pH 值下清香型、浓香型和酱香型大曲的酯化酶催化合成乙酸乙酯、乳酸乙酯、己酸乙酯和丁酸乙酯的不同特性。结果显示, 随着酸浓度的升高, 三种香型大曲催化合成乙酸乙酯、己酸乙酯的酶活力均是先升高后降低的趋势, 催化合成乳酸乙酯的酶活力随乳酸浓度的升高降低; 而催化合成丁酸乙酯的酶活力变化趋势三种香型大曲有所不同, 清香型和浓香型大曲的酶活力随丁酸浓度的升高先升高后降低, 酱香型大曲的酶活力则是逐渐升高。清香型、浓香型和酱香型大曲催化合成乙酸乙酯的最适 pH 均为 4.0, 催化合成乳酸乙酯的最适 pH 分别为 7.0、7.0、8.0, 催化合成己酸乙酯的最适 pH 分别为 5.0、4.0、4.5, 催化合成丁酸乙酯的最适 pH 分别为 4.5、4.0 和 3.0。综上, 不同香型大曲酯化酶的催化特性各有不同, 且每种酯的合成都有其合适的酸浓度和 pH 范围。

关键词: 清香型大曲; 浓香型大曲; 酱香型大曲; 酯化酶; 酯类物质

文章编号: 1673-9078(2018)05-87-92

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.05.013

Characteristics Analysis of Esterifying Enzyme of Different Flavor *Daqu*

XING Shuang¹, WEI Zhi-yang¹, GUO Xue-wu¹, WANG Ya-ping¹, CHEN Bing-xu¹, LI Qiu-zhi^{1,2},

XIAO Dong-guang¹

(1. Key Laboratory of Industrial Fermentation Microbiology, Ministry of Education, Tianjin, Tianjin Industrial Microbiology Key Laboratory, College of Biotechnology of Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China) (2. Hebei Summer Resort Wine Limited-liability Company, Chengde 067500, China)

Abstract: The different characteristics of esterifying enzyme catalytic synthesis of ethyl acetate, ethyl lactate, ethyl hexanoate and ethyl butyrate in light-flavor *Daqu*, strong-flavor *Daqu* and maotai-flavor *Daqu* were studied in this paper under the different acid concentration (or pH). The results showed that the esterifying enzymes activities of three kinds of *Daqu* increased at first and then decreased with the increase of acid concentration in catalyzing and synthesizing ethyl acetate, ethyl caproate, the enzyme activity decreased with the increase of lactic acid concentration in catalyzing and synthesizing ethyl lactate. However, the variation tendency of enzyme activity was different in three kinds of *Daqu* in catalyzing and synthesizing ethyl butyrate. As the butyric acid increased, the enzyme activity of light-flavor *Daqu* and strong-flavor *Daqu* increased at first and then decreased, while the enzyme activity of maotai-flavor *Daqu* increased gradually. For light-flavor *Daqu*, strong-flavor *Daqu* and maotai-flavor *Daqu*, the optimum pH in catalyzing and synthesizing ethyl acetate all were 4.0; the optimum pH in catalyzing and synthesizing ethyl lactate were 7.0, 7.0, 8.0, respectively; the optimum pH in catalyzing and synthesizing ethyl caproate were 5.0, 4.0, 4.5, respectively; the optimum pH in catalyzing and synthesizing ethyl butyrate were 4.5, 4.0, 3.0, respectively. In conclusion, the characteristics of esterifying enzymes of three kinds of *Daqu* were different, and the synthesis of each ester had its proper acid concentration and pH range.

Key words: light-flavor *Daqu*; strong-flavor *Daqu*; maotai-flavor *Daqu*; esterifying enzyme; esters

酯类物质是白酒中所占比例最大的香味物质, 其中主要包括乙酸乙酯、乳酸乙酯、己酸乙酯和丁酸乙酯, 称为四大酯类^[1]。清香型白酒以乙酸乙酯和乳酸乙酯为主体香; 浓香型白酒以己酸乙酯为主体香, 与

收稿日期: 2017-12-30

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFD0400505); 中国博士后科学基金面上项目 (2017M611169)

作者简介: 邢爽 (1991-), 女, 在读硕士, 研究方向: 现代酿造技术

通讯作者: 肖冬光 (1956-), 男, 教授, 博导, 研究方向: 现代酿造技术

乙酸乙酯、乳酸乙酯和丁酸乙酯等一起构成复合香气; 酱香型白酒香味成分最为复杂, 酯类物质分布较广^[2-4]。这些酯类物质形成与白酒发酵过程中所用的大曲有很大关系, 白酒风格的形成与所用大曲也息息相关。

大曲是糖化发酵剂, “曲是酒之骨, 好曲出好酒”, 因此大曲在白酒酿造过程中起着非常重要的作用^[5-7]。大曲一般采用小麦、大麦和豌豆等原料, 经粉碎拌水后压制成砖块状的曲坯, 人工控制一定的温度和湿度, 让自然界中的各种微生物在上面生长而制成^[8,9]。清香

型大曲以大麦和豌豆为原料, 制曲温度不超过 50 °C, 是中温曲的典型代表。酱香型大曲采用纯小麦为原料, 制曲温度高, 品温最高可达 65~68 °C。浓香型大曲制曲原料各酒厂情况不一, 主要以小麦为主, 最高品温介于酱香型酒曲和清香型酒曲之间, 大多控制在 55 °C 左右^[10-12]。大曲中含有丰富的酿酒微生物菌系和酶系, 其中酶系包括糖化酶、淀粉酶、蛋白酶和酯化酶等, 大曲酯化酶可催化酸和醇生成相应的酯类物质^[13]。不同香型大曲由于制曲原料、制曲环境和制曲工艺的差异, 所网罗的微生物菌系不同, 导致酯化酶的催化特性也有所不同。

本文主要研究白酒三大香型大曲-清香型大曲、浓香型大曲和酱香型大曲酯化酶的活力与催化特性, 探讨不同酸浓度和 pH 值下不同香型大曲催化合成乙酸乙酯、乳酸乙酯、己酸乙酯和丁酸乙酯的规律, 为白酒生产提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

浓香型大曲, 清香型大曲, 酱香型大曲: 某大曲生产厂提供; 乙酸、乳酸、己酸、丁酸、乙醇: 分析纯, 天津市北方天医化学试剂厂; 氢氧化钠、硫酸: 分析纯, 天津市津科精细化工研究所。

1.2 仪器与设备

SeverEasy 型 pH 计: 瑞士梅特勒托利多仪器有限公司; Agilent 7890B 气相色谱仪: 美国安捷伦科技公司; DHP 恒温培养箱: 上海智诚分析仪器制造有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 酸浓度对三种香型大曲酯化酶活力的影响

采用 250 mL 螺口试剂瓶, 以体积分数为 20% 的乙醇溶液作为溶剂, 加大曲粉 5 g, 按表 1 配制不同乙酸、乳酸、丁酸和己酸浓度的反应液, pH 自然, 反应液总体积 100 mL。以不加曲粉的反应体系为对照组, 且将对照组的 pH 与实验组 pH 调成一致。30 °C 静置反应 7 d 后, 测定相应的酯含量。

表 1 不同酸浓度反应液的配制

Table 1 The preparation of reaction fluid with different acid concentration

反应液	乙醇浓度/(mL/100 mL)	大曲粉/(g/100 mL)	酸浓度/(g/L)						
乙酸/乙醇	20	5	5	10	15	20	25	30	
乳酸/乙醇	20	5	5	10	15	20	25	30	
己酸/乙醇	20	5	2	5	8	10	15	20	
丁酸/乙醇	20	5	2	5	8	10	15	20	

1.3.2 pH 对三种香型大曲酯化酶活力的影响

反应体系及条件同 1.3.1, 在保持各酸浓度不变(根据白酒生产时的实际情况, 乙酸和乳酸浓度取 25 g/L、己酸和丁酸浓度取 8 g/L) 情况下, 用 NaOH 和 H₂SO₄ 溶液调节反应液 pH 分别为 2.0、3.0、4.0、4.5、5.0、5.5、6.0、7.0、8.0、9.0。

1.4 酯化酶活力的测定

1.4.1 酯含量的测定

将反应完毕的试样倒入 500 mL 蒸馏瓶中, 用 100 mL 蒸馏水洗涤试剂瓶且一并倒入蒸馏瓶中, 进行蒸馏, 接取 100 mL 蒸馏液, 用注射器取 1~2 mL 蒸馏液过膜添加到气相色谱瓶中, 采用气相色谱外标法检测, 色谱仪为 Agilent7890B, 色谱柱采用 Agilent HP-INNOWAX (30 m×320 μm×0.25 μm), 载气为高纯氮气 (>99.999%); 柱流速为 0.8 mL/min; 进样口温度 200 °C; 检测器温度 150 °C; 程序升温: 起始温度 50 °C, 保持 8 min, 以 5 °C/min 升至 150 °C, 保持 15

min; 进样体积为 1 μL; 分流进样, 分流比为 10:1^[14]。

1.4.2 酯化酶活力计算

对照组中酯的形成由酸醇的化学反应而来; 实验组添加了大曲粉, 乙醇体积分数为 20%, 曲中的微生物被抑制, 不发挥作用^[15], 因此实验组中酯的形成是酯化酶催化和化学合成两方面作用的结果; 酯化酶催化产酯量即为实验组酯含量与对照组酯含量的差值。酯化酶活力为一定条件下每 g 曲 7 天内催化合成相应酯的量 (mg), 以 mg/g 表示, 计算公式如下:

$$A = \frac{(c_1 - c_2)V}{w} = \frac{(c_1 - c_2) \times 0.1}{5} = 0.02(c_1 - c_2)$$

式中, A: 酯化酶活力, mg/g; c₁: 实验组酯含量, mg/L; c₂: 对照组酯含量, mg/L; V: 反应液体积, 0.1 L; w: 曲粉质量, 5 g。

1.5 数据统计与分析

每个实验指标做三个平行试验, 将测定的实验数据利用 Excel 2010 进行运算处理, 结果以“平均值±标

准差”表示, 并采用 Origin 8.5 软件对结果数据进行绘图分析。

2 结果与讨论

2.1 酸浓度对三种香型大曲酯化酶活力的影响

在本研究体系中乙醇是过量的, 在此前提下研究酸浓度对大曲酯化酶催化的影响。按照 1.3.1 的方法, 在不同酸浓度下进行了大曲酯化酶的催化反应, 结果如图 1 至图 4。

2.1.1 乙酸浓度对大曲催化合成乙酸乙酯酶活力的影响

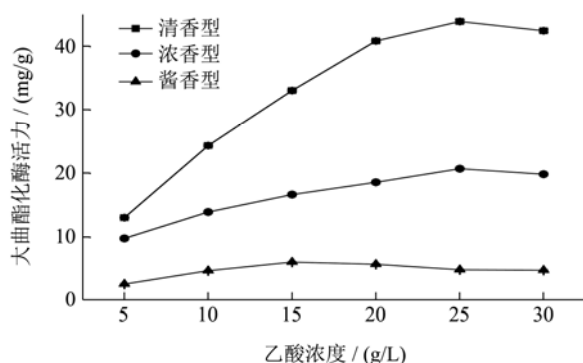


图 1 乙酸浓度对大曲催化合成乙酸乙酯酶活力的影响

Fig.1 Effect of acetic acid on the enzyme activity of *Daqu* in catalyzing and synthesizing ethyl acetate

乙酸浓度对三种香型大曲催化合成乙酸乙酯的酶活力的影响见图 1。从结果看, 三种香型大曲催化合成乙酸乙酯的酶活力: 清香型大曲>浓香型大曲>酱香型大曲; 随着乙酸浓度的升高, 三种香型大曲催化合成乙酸乙酯的酶活力均是先升高后降低的趋势, 其中清香型和浓香型大曲催化合成乙酸乙酯的最适乙酸浓度为 25 g/L, 而酱香型大曲为 15 g/L。在最适酸浓度下, 清香型、浓香型、酱香型大曲催化合成乙酸乙酯的酶活力分别为 43.95 mg/g、20.72 mg/g、6.02 mg/g。

2.1.2 乳酸浓度对大曲催化合成乳酸乙酯酶活力的影响

图 2 为三种香型大曲催化合成乳酸乙酯酶活力随乳酸浓度变化的趋势。从结果看, 随着乳酸浓度的升高, 三种香型大曲催化合成乳酸乙酯的酶活力均呈下降趋势; 乳酸浓度为 5 g/L 时其酯化酶活力最高, 清香型、浓香型和酱香型大曲的酯化酶活力分别为 1.75 mg/g、1.87 mg/g、0.98 mg/g; 乳酸浓度为 30 g/L 时, 三种香型大曲催化合成乳酸乙酯的酶活力均为负值, 此时大曲酯化酶表现为分解作用。

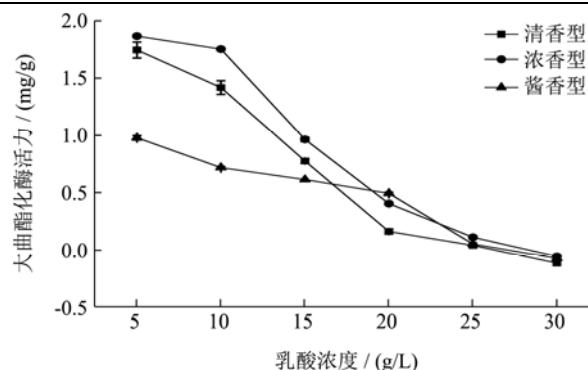


图 2 乳酸浓度对大曲催化合成乳酸乙酯酶活力的影响

Fig.2 Effect of lactic acid on the enzyme activity of *Daqu* in catalyzing and synthesizing ethyl lactate

2.1.3 己酸浓度对大曲催化合成己酸乙酯酶活力的影响

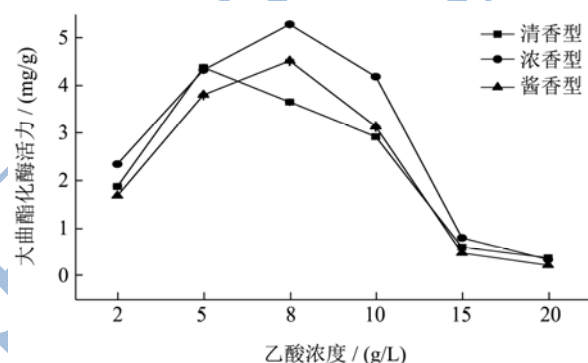


图 3 己酸浓度对大曲催化合成己酸乙酯酶活力的影响

Fig.3 Effect of caproic acid on the enzyme activity of *Daqu* in catalyzing and synthesizing ethyl caproate

图 3 为三种香型大曲催化合成己酸乙酯的酶活力随己酸浓度变化的曲线。从结果看, 三种香型大曲催化合成己酸乙酯的酶活力: 浓香型大曲较强, 清香型大曲与酱香型大曲活力相当。随着己酸浓度的增加, 三种香型大曲催化合成己酸乙酯的酶活力先升高后降低, 其中清香型大曲催化合成己酸乙酯的最适己酸浓度为 5 g/L, 而浓香型和酱香型大曲为 8 g/L。在最适己酸浓度下, 清香型、浓香型、酱香型大曲催化合成己酸乙酯的酶活力分别为 4.39 mg/g、5.29 mg/g、4.53 mg/g。

2.1.4 丁酸浓度对大曲催化合成丁酸乙酯酶活力的影响

丁酸浓度对三种香型大曲催化合成丁酸乙酯酶活力的影响如图 4 所示。从结果看, 随着丁酸浓度的升高, 三种香型大曲催化合成丁酸乙酯的酶活力变化趋势有所不同, 清香型和浓香型大曲催化合成丁酸乙酯的酶活力先升高后降低, 而酱香型大曲的酶活力逐渐升高; 其中清香型大曲催化合成丁酸乙酯最适丁酸浓度为 10 g/L, 浓香型大曲为 15 g/L, 而酱香型大曲在

丁酸浓度为 20 g/L 时催化合成丁酸乙酯酶活力最高。

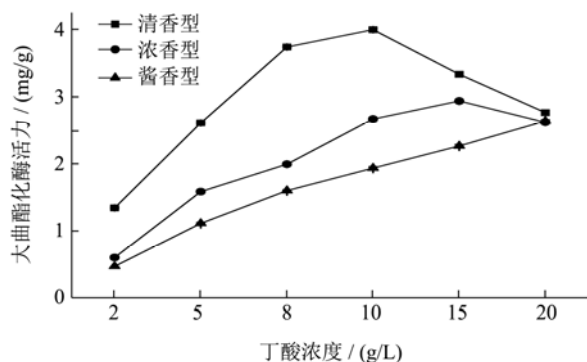


图 4 丁酸浓度对大曲催化合成丁酸乙酯酶活力的影响

Fig.4 Effect of butyric acid on the enzyme activity of Daqu in catalyzing and synthesizing ethyl butyrate

2.2 pH 对大曲酯化酶活力的影响

pH 对酶的活性以及稳定性影响很大, pH 过高或过低, 会影响酶蛋白的稳定性, 使酶遭受不可逆破坏, 导致酶蛋白失活而变性, 其次影响酶活性中心上必须基团的解离状态, 使其与底物不能结合, 从而影响底物与酶的催化活性^[16]。不仅如此, 过高或过低的 pH 会造成酶活性中性改变, 酯分解作用增强, 酯类物质减少, 因此酶对 pH 的要求比较严格。研究 pH 对大曲酯化酶的催化影响有助于掌握其催化规律, 指导白酒生产。

2.2.1 pH 对大曲催化合成乙酸乙酯酶活力的影响

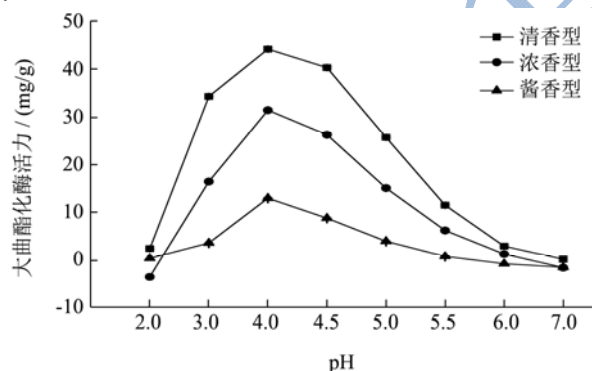


图 5 pH 对三种香型大曲催化合成乙酸乙酯酶活力的影响

Fig.5 Effect of pH on the enzyme activity of different flavor Daqu in catalyzing and synthesizing ethyl acetate

图 5 为 pH 对三种香型大曲催化合成乙酸乙酯酶活力的影响。从结果看, 随着 pH 的升高, 三种香型大曲催化合成乙酸乙酯的酶活力均是先升高后降低, 且均在 pH 为 4.0 时活力达到最大值, 此时清香型、浓香型和酱香型大曲酯化酶活力分别为 44.22 mg/g、31.52 mg/g、13.06 mg/g。在 pH 较低或接近中性时三种大曲催化合成乙酸乙酯的酶活力都较低, 其中浓香

型大曲在 pH 2.0 和 7.0 时、酱香型大曲在 pH≥6.0 时, 酯化酶活力为负值, 表现为分解作用。

2.2.2 pH 对大曲催化合成乳酸乙酯酶活力的影响

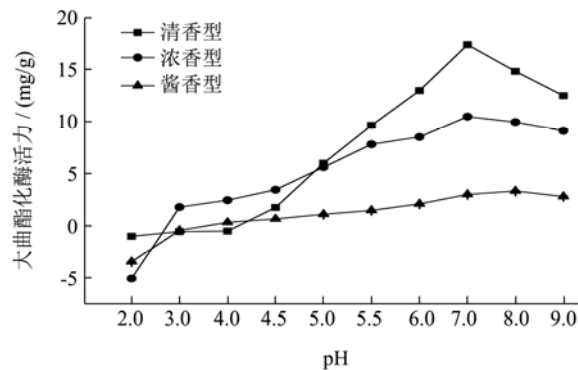


图 6 pH 对三种香型大曲催化合成乳酸乙酯酶活力的影响

Fig.6 Effect of pH on the enzyme activity of different flavor Daqu in catalyzing and synthesizing ethyl lactate

三种香型大曲催化合成乳酸乙酯的酶活力随 pH 变化的曲线如图 6 所示。由图可看出, 随着 pH 的升高, 三种香型大曲催化合成乳酸乙酯的酶活力先升高后降低, 其中清香型和浓香型大曲最适 pH 均为 7.0, 而酱香型大曲为 8.0。在最适 pH 下, 清香型、浓香型和酱香型大曲酯化酶活力分别为 17.42 mg/g、10.49 mg/g、3.38 mg/g。在 pH 较低时三种大曲催化合成乳酸乙酯的酶活力都较低, 其中浓香型大曲在 pH≤2.0 时、清香型和酱香型大曲在 pH≤3.0 时, 酯化酶活力为负值, 表现为分解作用。

2.2.3 pH 对大曲催化合成己酸乙酯酶活力的影响

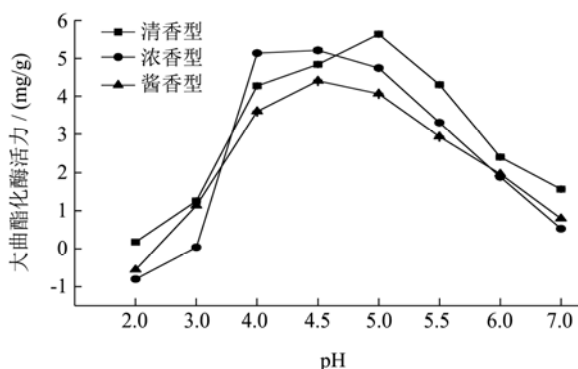


图 7 pH 对三种香型大曲催化合成己酸乙酯酶活力的影响

Fig.7 Effect of pH on the enzyme activity of different flavor Daqu in catalyzing and synthesizing ethyl caproate

pH 对三种香型大曲催化合成己酸乙酯酶活力的影响如图 7 所示。从其变化曲线可以看出, 随着 pH 的升高, 三种香型大曲催化合成己酸乙酯的酶活力均是先升后降, 清香型、浓香型和酱香型大曲催化合成己酸乙酯最适的 pH 分别为 5.0、4.0、4.5。在高于或

低于最适 pH 时三种大曲催化合成己酸乙酯的酶活力迅速下降,其中浓香型和酱香型大曲在 pH 2.0 时,酯化酶活力为负值,表现为分解作用。

2.2.4 pH 对大曲催化合成丁酸乙酯酶活力的影响

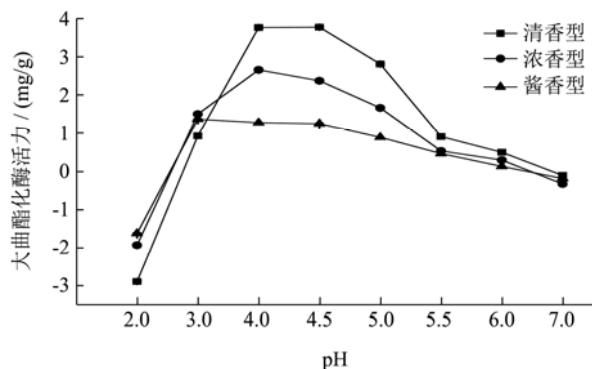


图8 pH对三种香型大曲催化合成丁酸乙酯酶活力的影响

Fig.8 Effect of pH on the enzyme activity of different flavor

Daqu in catalyzing and synthesizing ethyl butyrate

pH 对三种香型大曲催化合成丁酸乙酯酶活力的影响如图 8 所示。从结果看,随着 pH 值的升高,三种香型大曲催化合成丁酸乙酯的酶活力均是先升高后降低,清香型、浓香型、酱香型大曲催化合成丁酸乙酯的最适 pH 分别为 4.5、4.0 和 3.0。低于最适 pH 时三种香型大曲的酶活力迅速下降,而高于最适 pH 时酶活力下降较为缓慢,在 pH 2.0 和 7.0 时,三种大曲催化合成丁酸乙酯的酶活力均为负值,表现为分解作用。

3 结论

不同香型大曲由于制曲工艺的差异,所网罗的微生物菌系不同,其酯化酶的催化特性也有所不同。

3.1 清香型大曲催化合成乙酸乙酯和丁酸乙酯的酶活力最大;浓香型大曲催化合成乳酸乙酯和己酸乙酯的酶活力最大;酱香曲催化合成酯类物质的酶活力最小。

3.2 一般情况下,较高的底物浓度有利于催化反应的进行,但对以酸为底物的酯反应而言,酸浓度的提高使反应体系的 pH 下降,而过低的 pH 影响酯化酶的活性,因此,随着酸浓度的升高大曲酯化酶活力表现为先升高后降低。通过调节高酸浓度下的 pH 值,可有效提高酯化反应的速度。

3.3 酯化反应是可逆反应,在一定条件下催化酯类物质的分解,反应液酯含量低于对照,大曲酯化酶活力为负值。本试验结果表明,催化合成乙酸乙酯时浓香型大曲在 pH 2.0 和 7.0 时、酱香型大曲在 pH≥6.0 时,酶活力为负值;催化合成乳酸乙酯时浓香型大曲在

pH≤2.0 时、清香型和酱香型大曲在 pH≤3.0 时,酶活力为负值;催化合成己酸乙酯时浓香型和酱香型大曲在 pH 2.0 时,酶活力为负值;催化合成丁酸乙酯时,三种大曲在 pH 2.0 和 7.0 时酶活力均为负值。上述情况的发生可能存在的原因是:1、特定的 pH 条件促进体系中酯类物质的分解作用;2、特定的 pH 条件抑制体系中乙醇与有机酸的合成作用。无论是哪种原因导致,上述结果均对白酒中酯类物质的生成是不利的。

3.4 本研究的结果表明,各种酯的合成都有其合适酸浓度和 pH 范围,如要考虑调节酯香物质的相对含量,可通过适当调节酒醅的酸度来实现。

参考文献

- [1] 沈怡方.白酒中四大乙酯在酿造发酵中形成的探讨[J].酿酒科技,2003,5:28-31
SHEN Yi-fang. Study on the formation mechanism of four main kinds of ethyl esters in the fermentation of liquors [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2003, 5: 28-31
- [2] 吕云怀,王莉,汪地强,等.不同香型白酒大曲风味物质与其产品风格特征关系的分析[J].酿酒科技,2012,7:72-75
LV Yun-huai, WANG Li, WANG Di-qiang, et al. Analysis of the relations between flavoring substances of Daqu different flavor type and its styles and characteristics [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2012, 7: 72-75
- [3] 王晓欣.酱香型和浓香型白酒中香气物质及其差异研究[D].无锡:江南大学,2014
WANG Xiao-xin. Comparison on aroma compounds of soy sauce and strong aroma type liquors [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014
- [4] 于单.中国不同香型白酒香气物质的鉴定研究[D].上海:上海应用技术学院,2015
YU Dan. Characterization of volatile compounds of chinese liquors by gc-ms and sensory evaluation [D]. Shanghai: Shanghai Institute of Technology, 2015
- [5] 胡承,郭捷锋,沈才洪,等.浓香型(泸型)大曲的研究及其应用[J].酿酒科技,2004,1:33-36
HU Cheng, WU Jie-feng, SHEN Cai-hong, et al. Research on Luzhou-flavor Daqu starter & its application [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2004, 1: 33-36
- [6] 张春林.泸州老窖大曲的质量、微生物与香气成分关系[D].无锡:江南大学,2012
ZHANG Chun-lin. The relationship between quality, microorganisms and flavour components of LuzhouLaojiao Daqu [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012
- [7] 张志刚,吴生文,陈飞.大曲酶系在白酒生产中的研究现状

- 及发展方向[J].中国酿造,2011,30(1):13-16
- ZHANG Zhi-gang, WU Sheng-wen, CHEN Fei. Research and development of application of enzymes in Daqu in liquor production [J]. China Brewing, 2011, 30(1): 13-16
- [8] 邢钢,敖宗华,邓波.大曲中微生物研究和检测进展[J].酿酒科技,2012(12)
- XING Gang, AO Zong-hua, DENG Bo. Research & detection progress of microbes in Daqu [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2012(12)
- [9] 王小琴,练顺才,安明哲,等.大曲酯化力对固态酿酒的作用[J].酿酒科技,2016,1:63-64
- WANG Xiao-qin, LIAN Shun-cai, AN Ming-zhe, et al. The contributions of Daqu esterifying power to solid fermentation [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2016, 1: 63-64
- [10] 李丹宇.浓香型大曲制备过程中理化指标及微生物群落演替规律的研究[D].自贡:四川理工学院,2013
- LI Dan-yu. The study on the succession law of Physicochemical index and microbial community in the preparation of Luzhou-flavor Daqu [D]. Zigong: Sichuan University of Science & Engineering, 2013
- [11] 樊文毅.生产清香型大曲的质量控制要点[J].酿酒科技,1994(6)
- FAN Wen-yi. Control quality key points of producing light-flavor Daqu [J]. Liquor-Making Science & Technology, 1994(6)
- [12] 胡宝东,王晓丹,王婧,等.酱香型大曲生产工艺与大曲品质的关系研究[J].食品工业,2016,2:260-264
- HU Bao-dong, WANG Xiao-dan, WANG Jing, et al. Relationship between production technology of matai-flavor Daqu and its quality [J]. The Food Industry, 2016, 2: 260-264
- [13] 涂荣坤,钱志伟,秦辉,等.大曲检测指标研究进展[J].酿酒科技,2016,1:110-115
- TU Rong-kun, QIAN Zhi-wei, QIN Hui, et al. Research progress in Daqu detection indexes [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2016, 1: 110-115
- [14] 张超,胡可萍,端裕树,等.快速气相色谱法分析白酒中的香味组分[J].色谱,2007,4:586-589
- ZHANG Chao, HU Ke-ping, HASHI YuKI, et al. Analysis of flavor compositions of chinese distillate spirits by fast gas chromatography [J]. Chinese Journal of Chromatography, 2007, 4: 586-589
- [15] 唐取来,李晶晶,郭学武,等.清香型大曲酯化酶活力的研究[J].中国酿造,2017,36(1):35-38
- TANG Qu-lai, LI Jing-jing, GUO Xue-wu, et al. Esterifying enzymes activity of light-flavor Daqu [J]. China Brewing, 2017, 36(1): 35-38
- [16] 杜礼泉,唐聪,古加强,等.红曲霉酯酶酯化特性的探讨[J].中国酿造,2005,24(1):23-24
- DU Li-quan, TANG Cong, GU Jia-qiang, et al. Exploration to the esterification property of esterase produced by *Monascus* spp [J]. China Brewing, 2005, 24(1): 23-24
- [17] 沙均响,宁明理,刘建芝.中高温大曲酯化力测定方法优化及误差探讨[J].酿酒,2016,43(4):88-90
- SHA Jun-xiang, NING Ming-li, LIU Jian-zhi. To explore the methods of optimization and error in high temperature Daqu esterifying power determination [J]. Liquor Maker, 2016, 43(4): 88-90