

## 不同酶制剂及酒曲组合对米香型白酒品质的影响

孙海琴<sup>1,2</sup>, 刘功良<sup>1,2</sup>, 赵文红<sup>1,2</sup>, 白卫东<sup>1,2</sup>, 梁景龙<sup>1,2\*</sup>

(1.仲恺农业工程学院 轻工食品学院 广东省岭南特色食品科学与技术重点实验室, 广东 广州 510225;

2.仲恺农业工程学院 轻工食品学院 农业农村部岭南特色食品绿色加工与智能制造重点实验室, 广东 广州 510225)

**摘要:**为探究不同酶制剂及酒曲组合对米香型白酒品质的影响,该研究考察了不同酒曲(安琪酒曲、锡安酒曲、力克酒曲、雅大酒曲)及不同酶制剂(酸性蛋白酶、纤维素酶、 $\alpha$ -淀粉酶和脂肪酶)组合对米香型白酒酒精度、总酸、总酯及感官评分的影响。结果表明,分别将酸性蛋白酶、 $\alpha$ -淀粉酶、脂肪酶与安琪酒曲进行组合,可提高米香型白酒品质。其中,将 $\alpha$ -淀粉酶和脂肪酶与安琪酒曲的组合可明显提高米香型白酒品质,其酒精度、总酸、总酯含量及感官评分分别为18.50%vol、0.40 g/L、2.81 g/L、88.00分,且其酒精度、总酸、总酯含量分别提高27.59%、29.03%、9.33%。

**关键词:**米香型白酒;酶制剂;酒曲;总酸;总酯;感官评价

中图分类号:TS262.3

文章编号:0254-5071(2024)03-0201-05

doi:10.11882/j.issn.0254-5071.2024.03.032

引文格式:孙海琴,刘功良,赵文红,等.不同酶制剂及酒曲组合对米香型白酒品质的影响[J].中国酿造,2024,43(3):201-205.

## Effect of different enzymes and Jiuqu combinations on rice-flavor Baijiu quality

SUN Haiqin<sup>1,2</sup>, LIU Gongliang<sup>1,2</sup>, ZHAO Wenhong<sup>1,2</sup>, BAI Weidong<sup>1,2</sup>, LIANG Jinglong<sup>1,2\*</sup>

(1.Guangdong Provincial Key Laboratory of Lingnan Specialty Food Science and Technology, College of Food Science and Technology, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China; 2.Key Laboratory of Green Processing and Intelligent Manufacturing of Lingnan Specialty Food, Ministry of Agriculture, College of Food Science and Technology, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China)

**Abstract:** In order to explore the effects of different enzymes and Jiuqu combinations on the quality of rice-flavor (Mixiangxing) Baijiu, the effects of different Jiuqu combinations (Anqi Jiuqu, Xi'an Jiuqu, Like Jiuqu, Yada Jiuqu) and different enzymes (acid protease, cellulase,  $\alpha$ -amylase and lipase) on alcohol content, total acid and total ester and sensory score of rice flavor Baijiu were investigated. The results showed that the combination of acid protease,  $\alpha$ -amylase and lipase with Anqi Jiuqu could improve the quality of rice-flavor Baijiu. Among them, the combination of  $\alpha$ -amylase and lipase with Anqi Jiuqu could significantly improve the quality of rice-flavor Baijiu, and its alcohol content, total acid and total ester content and sensory scores were 18.50%vol, 0.40 g/L, 2.81 g/L and 88.00 points, respectively. Moreover, the alcohol content, total acid and total ester contents were increased by 27.59%, 29.03% and 9.33%, respectively.

**Key words:** rice-flavor Baijiu; enzyme; Jiuqu; total acid; total ester; sensory evaluation

米香型白酒是以大米等为原料物质,经过传统半固态发酵、蒸馏、陈酿、勾兑酿造而成的以小曲为发酵糖化剂的蒸馏酒,无添加食用酒精及非白酒发酵产生重要的香气物质含乳酸乙酯、 $\beta$ -苯乙醇等的白酒,米香气纯正、淡雅纯正、回味悠长<sup>[1]</sup>。目前,米香型白酒存在产品品质不稳定<sup>[2]</sup>;高级醇含量偏高导致消化难、后劲大,容易“上头”<sup>[3]</sup>;存在关键风味物质酯类化合物含量少导致感官评价较低等问题。从原料、酒曲、发酵工艺等不同环节进行优化是提高米香型白酒品质的有效措施<sup>[4]</sup>。利用酶制剂添加至酿造过程中,理论上可定向调控酒中特定物质的含量,是一种具有发展潜力的调控方式。

当前,白酒酿造生产中能使用的食品级酶制剂主要有糖化酶、纤维素酶、蛋白酶、酯化酶等,其具有酶活力强、用量少、使用方便等优点,在白酒发酵过程中向酒醅添加酸性蛋白酶不仅能将酒精度提高138%,还能将成品酒的挥发性风味成分和总酸含量提升284%和136%<sup>[5-7]</sup>;  $\alpha$ -淀粉酶切断淀粉分子内部的 $\alpha$ -1,4糖苷键,降低蒸煮原料的黏度<sup>[8-9]</sup>;纤维素酶不仅可以提高出酒率,还能将酒醅某些物质的胞壁破坏掉,使有用物质被释放出来,从而增强酒醅中酶的催化效果。发酵酒醅中纤维素酶添加量为10 FPU/kg酒糟时,四大乙酯及丙酸乙酯含量较高,当纤维素酶添加量为30~50 FPU/kg酒糟时,酿造的酒品质显著提高<sup>[10]</sup>;脂肪酶

收稿日期:2023-07-27

修回日期:2023-11-21

基金项目:广东省重点建设学科科研能力提升项目(2021ZDJS005);广东省企业科技特派员专项资助项目(GDKTP2021036400);梅州市科技计划项目(2023A0304057);云浮市科技计划项目(2022010220)

作者简介:孙海琴(1998-),女,本科,研究方向为食品生物技术。

\*通讯作者:梁景龙(1988-),男,讲师,博士,研究方向为食品生物技术。

催化非水溶性甘油三酯水解生成脂肪酸、甘油二酯及甘油单酯,生成相应的酯类物质促进了白酒香味成分的形成<sup>[11-13]</sup>,不同类型的脂肪酶添加能缩短白酒陈化时间<sup>[14]</sup>。但是目前鲜见酶制剂对米香型白酒品质影响的研究报道。

本研究以糯米为原料制备米香型白酒,采用酸性蛋白酶、纤维素酶、 $\alpha$ -淀粉酶和脂肪酶以不同组合的方式添加至4种不同酒曲酿造的米香型白酒中,分析白酒中酒精度、总酸、总酯指标,并进行感官评价,以期探索不同酶制剂组合添加对几种米香型白酒品质的影响,为利用酶制剂提升米香型白酒品质的工业化生产发展提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

糯米:沈阳信昌粮食贸易有限公司;白酒酿酒曲白酒酿酒(20230101):安琪酵母股份有限公司;锡安山白酒曲2(0221208):富宁锡安百草加工有限公司;力克小曲(1k2023010511):丽水力克生物科技有限公司;雅大白酒曲(yd20230301001):湖南阳光华利食品有限公司;酸性蛋白酶(100 000 U/g)、纤维素酶(11 000 U/g)、 $\alpha$ -淀粉酶(180 000 U/g)、脂肪酶(100 000 U/g):沧州夏盛酶生物技术有限公司;氢氧化钠:天津市百世化工有限公司;邻苯二甲酸氢钾:上海源叶生物科技有限公司;硫酸:广东广试试剂科技有限公司;无水碳酸钠、酚酞、溴甲酚绿、甲基红:天津市天新精细化工开发中心;无水乙醇:天津市永大化学试剂有限公司。所用试剂均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

F-40FE08微电脑智能电饭煲:杭州九阳生活电器有限公司;WK2102多功能电磁炉:广东美的生活电器制造有限公司;OptiClean1300洁净工作台:力康精密科技(上海)有限公司;DHP-9052生化培养箱:上海一恒科学仪器有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 米香型白酒加工工艺流程及操作要点

糯米→蒸煮→摊凉→拌酒曲→添加酶制剂→培菌糖化→补水→发酵→蒸馏→成品

操作要点:

糯米预处理:添加的水要没过糯米,使米吸水充分,浸泡0.5 h,浸泡结束后滤过水和除去杂质。再以冷水浸透淋洗,沥干。

蒸煮:放入电饭煲内蒸煮大约40 min,其中在蒸煮阶段添加 $\alpha$ -淀粉酶3.6 U/g原料,保证熟而不黏,观察大米已全部熟透,达到柔熟的程度。

摊凉:蒸煮后将糯米移出电饭锅,盛放在容器中,摊开松散,降温冷却至30 ℃左右。

拌酒曲、添加酶制剂、培菌糖化:在洁净工作台上进行拌曲,拌曲量为2%,通常分3次撒曲,每次下曲为总质量的1/3。分别按原料质量的2.5 U/g、3.3 U/g、5.0 U/g添加酸性蛋白酶、纤维素酶和脂肪酶,拌匀后于恒温培养箱中28 ℃

糖化24 h。

补水、发酵:熟粮经培菌糖化24 h,加水量为原料质量的1.5倍,于28 ℃条件下发酵5 d后进行蒸馏。

蒸馏:蒸馏方式为常压蒸馏,截头去尾。开始阶段蒸馏温度在78 ℃以下,所接的酒为酒头,需要单独接出来存放。中间阶段蒸馏温度为78~95 ℃,所接的酒属正流酒。后期阶段蒸馏温度为100 ℃左右,蒸馏出的为酒尾,单独接出与头酒一起存放。

#### 1.3.2 单一酶制剂对不同酒曲酿造米香型白酒品质的影响

分别添加安琪酒曲、锡安百酒曲、力克酒曲和雅大酒曲进行酿造,每种酒曲再分别添加酸性蛋白酶、纤维素酶、 $\alpha$ -淀粉酶和脂肪酶,以无添加酶制剂为空白对照组。以原料质量为2.5 U/g、3.3 U/g、5.0 U/g、3.6 U/g分别添加酸性蛋白酶、纤维素酶、脂肪酶、 $\alpha$ -淀粉酶,以不添加酶制剂的酒样为空白对照。分别测定米香型白酒的酒精度、总酸、总酯,并对其进行感官评价。

#### 1.3.3 酶制剂组合对米香型白酒品质的影响

选择理化指标与感官评价较优的酒曲和酶制剂进行酶制剂组合实验。以筛选出的酒曲为空白对照组,选取较优的酶制剂组合(酸性蛋白酶+ $\alpha$ -淀粉酶、酸性蛋白酶+脂肪酶、 $\alpha$ -淀粉酶+脂肪酶、 $\alpha$ -淀粉酶+脂肪酶+酸性蛋白酶)酿造米香型白酒,分别测定米香型白酒的酒精度、总酸、总酯,并对其进行感官评价。

#### 1.3.4 分析检测

酒精度测定:采用酒精计法<sup>[15]</sup>;总酸的测定:采用指示剂法<sup>[15]</sup>;总酯的测定:采用指示剂法<sup>[15]</sup>。

#### 1.3.5 感官评价

筛选20名经过培训的感官评价人员,从外观、香气、口味及风格4个方面对米香型白酒进行评价,满分为100分,米香型白酒的感官评分标准见表1。

表1 米香型白酒感官评分标准  
Table 1 Sensory scoring criteria of rice-flavor Baijiu

| 评分项目                      | 感官评价                    | 感官评分/分 |
|---------------------------|-------------------------|--------|
| 外观<br>(10分)               | 无色、清澈透明                 | 8~10   |
|                           | 微黄色、较透明                 | 5~7    |
|                           | 黄色、微浑浊                  | 4~6    |
|                           | 深黄色、有沉淀                 | 1~3    |
| 突出以主体香所组成的协调清雅的米香、香气纯正无邪杂 |                         | 22~30  |
| 香气<br>(30分)               | 米香不够明显、香气欠正夹带异杂成分       | 14~21  |
|                           | 米香不明显、有些许刺鼻难闻的异臭,邪杂味    | 6~13   |
|                           | 米香不明显、有明显刺激异臭气味         | 1~5    |
| 口味<br>(50分)               | 入口绵甜、酒体醇厚、爽冽、回味怡畅综合味感和谐 | 35~50  |
|                           | 入口稍带迟滞感、苦涩、味感单一缺少整体协调性  | 21~34  |
|                           | 入口粗糙、冲烈、后味不足            | 6~20   |
|                           | 入口粗糙、冲烈、缺少整体协调性         | 1~5    |

| 续表          |                 |        |
|-------------|-----------------|--------|
| 评分项目        | 描述              | 感官评分/分 |
| 风格<br>(10分) | 总体协调完整,具有本品典型风格 | 8~10   |
|             | 具有本品明显风格        | 5~7    |
|             | 风味不突出           | 4~6    |
|             | 风味明显不完整         | 1~3    |

1.3.6 数据处理

采用Excel 2021软件进行数据处理和分析;用IBM SPSS Statistics 27.0的单因素ANOVA检验和配对样本T检验进行数据间的显著性和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 单一酶制剂对不同酒曲酿造米香型白酒品质的影响

单一酶制剂对不同酒曲酿造米香型白酒品质的影响见表2。

表2 不同酶制剂对不同酒曲酿造米香型白酒品质的影响  
Table 2 Effects of different enzymes on the quality of rice-flavor Baijiu brewed with different Jiuqu

| 项目                          | 酒曲   | 对照组   | 酸性蛋白酶  | 纤维素酶   | $\alpha$ -淀粉酶 | 脂肪酶     |
|-----------------------------|------|-------|--------|--------|---------------|---------|
| 酒精度/<br>%vol                | 安琪酒曲 | 17.50 | 21.70* | 18.70* | 23.60**       | 18.70*  |
|                             | 锡安酒曲 | 15.00 | 22.60* | 15.80* | 21.70*        | 19.70*  |
|                             | 力克酒曲 | 11.00 | 11.80  | 16.70* | 11.80         | 12.80   |
|                             | 雅大酒曲 | 15.00 | 12.80  | 15.70  | 21.70*        | 18.70*  |
| 总酸/<br>(g·L <sup>-1</sup> ) | 安琪酒曲 | 0.42  | 0.49*  | 0.53*  | 0.49*         | 0.48    |
|                             | 锡安酒曲 | 0.23  | 0.30*  | 0.32*  | 0.21          | 0.23    |
|                             | 力克酒曲 | 0.22  | 0.25   | 0.19   | 0.25          | 0.27    |
|                             | 雅大酒曲 | 0.33  | 0.41** | 0.38   | 0.31          | 0.34    |
| 总酯/<br>(g·L <sup>-1</sup> ) | 安琪酒曲 | 0.90  | 0.95*  | 0.95*  | 0.92          | 0.96*   |
|                             | 锡安酒曲 | 0.90  | 0.91   | 0.94*  | 0.92*         | 0.97**  |
|                             | 力克酒曲 | 0.88  | 0.95*  | 0.88   | 0.87          | 0.98**  |
|                             | 雅大酒曲 | 0.85  | 0.92*  | 0.88   | 0.88          | 0.93*   |
| 感官评分/<br>分                  | 安琪酒曲 | 75.50 | 81.33* | 78.45* | 85.00**       | 88.00** |
|                             | 锡安酒曲 | 73.00 | 75.00  | 72.00  | 70.50         | 74.00   |
|                             | 力克酒曲 | 65.33 | 66.56  | 65.00  | 66.00         | 69.45   |
|                             | 雅大酒曲 | 75.50 | 76.00  | 75.78  | 76.00         | 80.00*  |

注:“\*”表示对结果影响显著( $P<0.05$ ),“\*\*”表示对结果影响极显著( $P<0.01$ )。下同。

由表2可知,整体来看,针对不同酶制剂,添加安琪酒曲、锡安酒曲的米香型白酒酒精度较高。纤维素酶、 $\alpha$ -淀粉酶和脂肪酶与四种酒曲搭配分别与其对照组相比均能提高米香型白酒的酒精度,纤维素酶、 $\alpha$ -淀粉酶和脂肪酶与不同酒曲酿造米香型白酒的酒精度与对照组相比分别提升5.33%~51.82%、34.86%~44.67%,6.86%~31.33%,其中 $\alpha$ -淀粉酶与安琪酒曲搭配组合对酒精度提高最显著( $P<0.05$ ),提升了6.10%vol,力克酒曲对酒精度提升较高,力克酒曲与

纤维素酶搭配组合的酒精度较对照组提升51.82%,提高酒精度的原因可能是纤维素酶可以将酒醅酒曲中富含纤维素的麦麸成分和大米中纤维素类物质降解成糖,能不同程度地提高酒醅出酒率,经发酵产生酒精<sup>[16]</sup>。在酿造白酒中为了使产出的酒浓香、醇甜,选择的原料淀粉含量会偏高, $\alpha$ -淀粉酶降低粮食的消耗,提高原料利用率, $\alpha$ -淀粉酶使淀粉黏度迅速下降达到液化目的,使淀粉分解充分,酒精酵母菌的无氧呼吸作用下,将糖转化为二氧化碳和酒精<sup>[17]</sup>。综上所述,酸性蛋白酶、纤维素酶、 $\alpha$ -淀粉酶和脂肪酶均可有效提高酒精度。

整体来看,安琪酒曲与4种酶制剂酿造米香型白酒的总酸含量均较高,其中,安琪酒曲与纤维素酶酿造米香型白酒的总酸含量最高,为0.53 g/L,安琪酒曲与酸性蛋白酶的总酸提高显著( $P<0.05$ )。添加了酸性蛋白酶总酸提高原因可能是酸性蛋白酶能将原料中的蛋白质分解为氨基酸,氨基酸含量提高,所以提高了总酸的含量。酸性蛋白酶还产生相对应酯类的前体物质,能对酒醅原料物质具有很强的降解作用进而提高原料利用率,对酿酒体系中的菌种生长代谢具有重要意义<sup>[18]</sup>。

脂肪酶与安琪酒曲的酒样中总酯含量较高,为0.96 g/L;其次,酸性蛋白酶、纤维素酶与安琪酒曲的酒样中总酯含量为0.95 g/L。在范光森等<sup>[19]</sup>对白酒中脂肪酶的应用进展中,利用灰色关联度法,对发酵过程中酶与酯类物质生成的灰色关联度进行计算分析,发现脂肪酶在白酒发酵过程中对酯的产生起着重要的作用。脂肪酶在一些研究中被用于酯化和增香的添加剂以改善风味<sup>[20]</sup>。综合上述,脂肪酶可提高米香型白酒的总酯含量,对改善酒体品质有积极意义。

整体来看,针对不同酶制剂,添加安琪酒曲感官评分较高。其中, $\alpha$ -淀粉酶、脂肪酶与不同酒曲酿造米香型白酒的感官评分较高,感官上香气纯正、入口,相比较对照组更醇正甜柔。其中,脂肪酶与安琪酒曲酿造的米香型白酒的感官评分最高,为88.00分。安琪酒曲中的具体配料有酵母、根霉和复合酶制剂,与其余的三个酒曲对比,酿造出的米香型白酒的所有指标都较高,感官评价都高于其余3种酒曲。原因可能是含纯种根霉,纯种根霉能加强糖化力<sup>[24]</sup>。研究基于针对内部间隔转录区的变性梯度凝胶电泳分析,米根霉被确定为糖化下增殖的主要真菌,其主要能促进糖化活性和提高乳酸的含量<sup>[25]</sup>。使用根霉用于小曲白酒酿造,能产生大量酶,有利于提高白酒的出酒率<sup>[26]</sup>。根霉一般也参与一些低沸点物质的合成<sup>[27]</sup>。酒曲中还加入了复合酶,增加了酶的种类,对白酒中的有利物质分解发挥很大作用。安琪酒曲作为糖化发酵剂制备的白酒曲品质较优。因此,酸性蛋白酶、 $\alpha$ -淀粉酶、脂肪酶和安琪酒曲的组合对提高米香型白酒的品质有较好的效果。

2.2 不同酶制剂组合对安琪酒曲酿造米香型白酒的影响

酒曲中含丰富的微生物,其需要生长繁殖与曲料环境相适应进而产生大量的次生代谢产物,酒曲的品质对酿造白酒的品质有很大影响<sup>[21-22]</sup>。这种发酵情况的差异,通常认为取决于微生物群落组成及其代谢功能特征<sup>[23]</sup>。每种酒曲的产品配料各不相同,对白酒品质的影响很大,品质也有明显区别。不同酶制剂组合对安琪酒曲酿造米香型白酒品质的影响见表3。

表3 不同酶制剂组合对安琪酒曲酿造米香型白酒品质的影响  
Table 3 Effects of different enzymes combination on rice-flavor Baijiu brewed with different Jiuqu

| 酶制剂组合           | 酒精度/<br>%vol | 总酸/<br>(g•L <sup>-1</sup> ) | 总酯/<br>(g•L <sup>-1</sup> ) | 感官评<br>分/分 |
|-----------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|
| 对照组             | 14.50        | 0.31                        | 2.57                        | 75.00      |
| 酸性蛋白酶+α-淀粉酶     | 22.30*       | 0.38                        | 2.75                        | 78.00      |
| 酸性蛋白酶+脂肪酶       | 17.50        | 0.39                        | 2.75                        | 82.00      |
| α-淀粉酶+脂肪酶       | 18.50*       | 0.40*                       | 2.81*                       | 88.00**    |
| 酸性蛋白酶+α-淀粉酶+脂肪酶 | 17.50        | 0.38                        | 2.78                        | 80.00      |

由表3可知,添加酸性蛋白酶+α-淀粉酶组合酒精度最高(22.30%vol),与对照相比,酒精度提高约53.8%,α-淀粉酶+脂肪酶对酒精度影响其次,提高了约27.6%。其原因可能是酒醅在发酵过程中氨基酸含量升高,促使了各种菌种和酶的活动,乙醇代谢活跃<sup>[28-29]</sup>。在对酒曲质量进行评价的各类研究中,两个常见的重要指标是糖化力和液化力<sup>[30]</sup>,α-淀粉酶能充分液化,原料充分分解,糖以及物料的粘度下降,能给其他酶充分发挥作用提供条件<sup>[31]</sup>。岳腾飞等<sup>[32]</sup>研究表明,液化型淀粉酶容易被原料的淀粉吸附,从而降低淀粉酶的液化效果,导致出酒率下降,加入酸性蛋白酶可以有效减低其黏度,还有利于酸性蛋白酶与淀粉酶的充分融合提高出酒率。

添加α-淀粉酶+脂肪酶的组合对总酸、总酯含量及感官评分影响最大,其分别为0.40 g/L、2.81 g/L、88.00分,与添加单一酶制剂相比,米香型白酒总酸、总酯含量均有一定程度提高。这可能是和白酒酿造酒曲酶系、菌系特征及酿造过程中微生物动态变化有关<sup>[33]</sup>,酿造米香型白酒作用主要以发酵前期加速糖化发酵、后期促进酯化合成,使酶充分发挥水解和酯化等作用,大大增加香味成分含量,从而改善白酒的品质<sup>[34]</sup>。添加α-淀粉酶和脂肪酶正符合这一反应的规律性动态消长趋势。大米中淀粉含量在75%左右<sup>[35]</sup>,淀粉酶在初期的水解有着重要作用,本实验用的α-淀粉酶来自地衣芽孢杆菌(*Bacillus licheniformis*),作用于酒醅发酵,在蒸煮阶段加入,其分解大部分麦芽糖和少量葡萄糖,α-淀粉酶在初始阶段分解速度快,可以最终降低淀粉浆黏度。张静等<sup>[36]</sup>的研究表明,复配酶能使总酸提高7.8%,充分释放原料中的酒香物质,白酒中的总酸、总酯含量均有增加,

验证了本实验结果。  
安琪酒曲中原含有酶复合制剂,酒曲产香能力强,加之脂肪酶对发酵体系中的酯化反应具有很强的催化作用,能在发酵过程中生成更多酯类物质,对提酯增香有更好的效果<sup>[37]</sup>。添加α-淀粉酶与脂肪酶组合的感官评分较其他酶组合的感官评价更加优质,口感丰富,米香纯正,有低度米香型白酒典型的风格。综合考虑,安琪酒曲与α-淀粉酶与脂肪酶组合制备酒样的酒精度较高,感官品质较好,风味更突出。

3 结论

该研究以糯米为原料,采用不同酒曲(安琪酒曲、锡安酒曲、力克酒曲、雅大酒曲)及不同酶制剂(酸性蛋白酶、纤维素酶、α-淀粉酶和脂肪酶)组合酿造米香型白酒,并对其品质进行分析。结果表明,分别将酸性蛋白酶、α-淀粉酶、脂肪酶与安琪酒曲进行组合,可提高米香型白酒品质。其中,将α-淀粉酶和脂肪酶与安琪酒曲的组合可明显提高米香型白酒品质,其酒精度、总酸、总酯含量及感官评分分别为18.50%vol、0.40 g/L、2.81 g/L、88.00分,且其酒精度、总酸、总酯含量分别提高27.59%、29.03%、9.33%。本研究为利用酶制剂提升米香型白酒的工业化生产提供参考。

参考文献:

- [1] 余洁瑜,刘功良,白卫东,等. 米香型白酒的研究进展[J]. 中国酿造, 2021, 40(1): 29-32.
- [2] 郭建华,蒋海娇,刘晓兰,等. 酶制剂在白酒发酵中应用的研究进展[J]. 食品工业, 2021, 42(11): 308-311.
- [3] 闵宇航,岳清洪,李航,等. 我国白酒食品安全风险分析及防控建议[J]. 中国酿造, 2023, 42(3): 13-17.
- [4] 张国强. 中国白酒工艺的传承与创新[J]. 酿酒, 2018, 45(3): 7-8.
- [5] 吴伟伟,钱世凯,王丹,等. 酸性蛋白酶在酒精生产的应用[J]. 酿酒, 2018, 45(1): 111-114.
- [6] 吴生文,张志刚,陈飞. 特型大曲蛋白酶活力对特型酒微量成分影响的研究[J]. 酿酒科技, 2011(8): 24-27.
- [7] 黄永光. 酱香型白酒酿造中 *Aspergillus hennebergii* 及其分泌酸性蛋白酶的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
- [8] 简何,简江,周娜. 不同酶类物质在白酒酿造中的应用研究进展[J]. 酿酒科技, 2022(12): 85-90.
- [9] 石方方,焦国宝,丁长河,等. 耐酸耐高温α-淀粉酶的研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2014(4): 171-176.
- [10] 李旭晖,吴生文,张志刚. 纤维素酶对大曲酒风味物质影响的探讨[J]. 中国酿造, 2011, 30(6): 80-83.
- [11] KHAYATI G, GILANI H G, KAZEMI M. The effect of olive cake types on lipase production by isolated *Rhizopus* sp. and process statistical optimization[J]. *J Biosci Biotechnol*, 2013, 2(1): 45-55.
- [12] GUO J, JIA S. Effects of enzymes on ester production during the course of a Chinese liquor fermentation as discussed by correlation analysis and path analysis[J]. *J I Brewing*, 2014, 120(4): 565-570.
- [13] VAN RIJSWIJK I M H, KRUIS A J ,WOLKERS-ROOIJACKERS, et al. Acetate-ester hydrolase activity for screening of the variation in ac-

- etate ester yield of *Cyberlindnera fabianii*, *Pichia kudriavzevii* and *Saccharomyces cerevisiae*[J]. **Lebensmittel Wissenschaft Und Technologie**, 2019, 104: 8-15.
- [14] 吴华昌, 由耀辉, 卢中明, 等. 脂肪酶应用于白酒催陈的初探[J]. 中国酿造, 2011, 30(3): 75-77.
- [15] 王清龙, 朱甜甜, 刘延波, 等. 白酒生产不同酒曲微生物群落结构、理化指标及挥发性风味物质研究[J]. 中国酿造, 2023, 42(7): 93-102.
- [16] 宋丽丽, 闻格, 霍姍浩, 等. 白酒酒糟中产纤维素酶细菌的分离筛选和酶学性质研究[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(7): 43-49.
- [17] 李季鹏. 淀粉酶、蛋白酶在芝麻香型白酒中的应用[D]. 济南: 济南大学, 2013.
- [18] 王琛虎, 杨帅宇. 白酒中有机物质对其质量的影响分析[J]. 现代食品, 2023, 29(18): 65-67.
- [19] 范光森, 吴秋华, 刘朋肖, 等. 脂肪酶在白酒酯类化合物合成中的作用研究进展[J]. 中国食品学报, 2021, 21(1): 351-360.
- [20] 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): 72-76.
- [21] JIN G Y, ZHU Y, XU Y. Mystery behind Chinese liquor fermentation[J]. **Trends Food Sci Tech**, 2017, 63: 18-28.
- [22] LIU H L, SUN B G. Effect of fermentation processing on the flavor of *Baijiu*[J]. **J Agr Food Chem**, 2018: 5425.
- [23] WANG B W, WU Q, XU Y, et al. Specific volumetric weight-driven shift in microbiota compositions with saccharifying activity change in starter for Chinese *Baijiu* fermentation[J]. **Front Microbiol**, 2018, 9: 02349.
- [24] ZHAO Z, SUGIMACHI M, YOSHIZAKI Y, et al. Correlation between key aroma and manufacturing processes of rice-flavor *Baijiu* and awamori, Chinese and Japanese traditional liquors[J]. **Food Biosci**, 2021, 44: 101375.
- [25] YIN X, YOSHIZAKI Y, IKENAGA M, et al. Manufactural impact of the solid-state saccharification process in rice-flavor *Baijiu* production[J]. **J Biosci Bioeng**, 2020, 129(3): 315-321.
- [26] 李洪媛, 马美荣, 周林艳, 等. 根霉酵母混合麸曲在清香型白酒生产中的应用[J]. 酿酒科技, 2021(9): 123-130.
- [27] ZHENG X W, TABRIZI M R, NOUT M J R, et al. Daqu-a traditional Chinese liquor fermentation starter[J]. **J I Brewing**, 2012, 117(1): 82-90.
- [28] 董瑞丽, 邵淑娟, 周咸江, 等. 白酒酿造过程中淀粉凝胶特性的变化研究[J]. 农产品加工, 2023(20): 6-10.
- [29] 李吴颖. 基于组学的传统米酒发酵糖化过程相关酶研究[D]. 无锡: 江南大学, 2022.
- [30] LV X C, CAI Q Q, KE X X, et al. Characterization of fungal community and dynamics during the traditional brewing of Wuyi Hong Qu glutinous rice wine by means of multiple culture-independent methods[J]. **Food Control**, 2015, 54: 231-239.
- [31] 俞峰, 刘玉春, 柳加润, 等. 耐高温 $\alpha$ -淀粉酶在淀粉质酒精生产中的应用研究[J]. 酿酒, 2020, 47(5): 84-88.
- [32] 岳腾飞, 梁伟伟, 李子森, 等. 现代酶工程技术及其在白酒酿造生产中的应用[J]. 酿酒科技, 2022(8): 103-111.
- [33] 关芊彤. 酒曲酶系、菌系特征及酿造过程中微生物动态变化研究[J]. 现代食品, 2019(2): 68-70.
- [34] WANG H, ZHANG M Q, QU C Y, et al. Characterization and correlation of microbiota and higher alcohols based on metagenomic and metabolite profiling during rice-flavor *Baijiu* fermentation[J]. **Foods**, 2023, 12(14): 2720.
- [35] 郭婷婷. 米香型白酒液态发酵试验研究[D]. 柳州: 广西科技大学, 2023.
- [36] 张静, 陈臣, 杨月轮, 等. 复配酶制剂在十里香白酒生产中的应用[J]. 酿酒, 2017, 44(5): 111-113.
- [37] 范光森, 吴秋华, 刘朋肖, 等. 脂肪酶在白酒酯类化合物合成中的作用研究进展[J]. 中国食品学报, 2021, 21(1): 351-360.