

# 复合酵母菌对浓香型复糟酒品质的影响

张海英<sup>1</sup>, 周瑞平<sup>2</sup>, 范轶玲<sup>1</sup>, 罗明有<sup>2</sup>, 邓杰<sup>3</sup>, 游玲<sup>1\*</sup>

(1. 宜宾学院农林与食品工程学部生命科学与食品工程学院, 四川宜宾 644000; 2. 叙府酒业股份公司, 四川宜宾 644000; 3. 酿酒生物技术及应用四川省重点实验室, 四川宜宾 644000)

**摘要** [目的]探究复合酵母菌对浓香型白酒复糟酒品质的影响。[方法]将分离自浓香型白酒酿造环境的酵母菌 Z8Y-15 和 S633Y-28-1 应用于复糟酒的生产, 经 40 d 发酵后, 分析各处理糟醅的主要成分及微量呈香呈味成分。[结果]经复合菌剂发酵后糟醅的还原糖和粗淀粉含量均极显著低于对照 ( $P < 0.01$ )。发酵后糟醅经减压蒸馏后采用高效气相色谱法对馏分中的醇类及酯类进行分析, 经复合酵母菌发酵后的糟醅馏分含乙醇的均值为 8 460.27 mg/L, 比对照高出 35.88%, 有提高复糟酒产量的趋势。复合酵母菌剂还可显著降低丢糟中的正丁醇和苯甲醇含量 ( $P < 0.05$ ), 显著增加己酸异戊酯含量 ( $P < 0.05$ ), 极显著增加  $\beta$ -苯乙醇和丁酸乙酯的含量 ( $P < 0.01$ )。糟醅中醇类及酯类物质含量的变化使得酒体更醇和, 香味更协调。[结论]该研究可为复合酵母菌剂应用于复糟酒的生产提供理论基础。

**关键词** 白酒丢糟; 复糟酒; 复合菌; 酵母菌

中图分类号 TS 261.1 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)08-0141-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.08.039

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Effect of Mixed Yeasts on the Waste Lees Liquor Quality of Nongxiangxing Baijiu

ZHANG Hai-ying<sup>1</sup>, ZHOU Rui-ping<sup>2</sup>, FAN Yi-ling<sup>1</sup> et al (1. College of Life Science and Food Engineering, Faculty of A & F and Food Engineering, Yibin University, Yibin, Sichuan 644000; 2. Xufu Liquor Co., Ltd., Yibin, Sichuan 644000)

**Abstract** [Objective] To explore the effect of mixed yeasts on the waste lees liquor quality of Nongxiangxing Baijiu. [Method] The two yeast strains Z8Y-15 and S633Y-28-1 isolated from Nongxiangxing Baijiu brewing environment were inoculated in distillers' grains and fermented for 40 days in pits. Then the contents of main components and aroma & flavor-producing substances in fermented grains were detected. [Result] The result showed that the saccharifying power of mixture by two different yeast strains are more effective than a single tested strain or blank control group ( $P < 0.01$ ), along with the average alcohol production was 8 460.27 mg/L, which was 35.88% higher than that of the control group. These characteristics significantly improved the yield of wine. Meanwhile, the mixed yeasts could significantly reduce the contents of n-butanol and benzyl alcohol in the waste distiller's grains ( $P < 0.05$ ), increase the contents of isoamyl hexanoate ( $P < 0.05$ ),  $\beta$ -Benzyl alcohol and ethyl butyrate ( $P < 0.01$ ). Thus the waste lees liquor body could change to be milder, and the flavor of waste lees liquor was more harmonious. [Conclusion] This study may shed light on the prospect of mixed yeasts in the future waste lees liquor production.

**Key words** Distillers' grains; Waste lees liquor; Composite microbial inoculum; Yeast

浓香型白酒是我国十二大香型白酒中受众最为广泛的香型, 其发酵产酒的过程是在半开放体系中将糟醅置于泥窖中完成, 有“千年糟万年窖”的俗称。浓香型白酒的发酵体系非常复杂, 其产酒量与酒质的优劣受多种因素的影响, 而糟醅和窖池中的微生物区系是关键因素<sup>[1-3]</sup>。经多轮次发酵后的面糟粗纤维、粗蛋白和粗脂肪含量高, 但淀粉含量低, 故难以被微生物发酵利用而成为丢糟, 不再作为白酒循环发酵原料<sup>[4-6]</sup>。复糟酒是以白酒丢糟为原料, 通过加入糖化酶、酿酒酵母、大曲等糖化剂进行强化发酵, 进而蒸馏生产的白酒, 复糟酒的生产是对白酒丢糟的二次利用。复糟酒的产酒量和酒质通常较差, 目前主要通过添加菌剂和酶类予以提高。添加菌剂的目的是改变发酵体系的微生物区系, 常采用安琪酿酒酵母或分离自酿造环境的其他菌株<sup>[7-9]</sup>。添加纤维素酶、糖化酶等酶类可提高发酵体系的酶解能力, 进一步降解难以被微生物利用的纤维素和淀粉等, 从而提高产酒量<sup>[10-12]</sup>。酯化酶则可提高糟醅酯含量, 以达到提高酒质的目的<sup>[13]</sup>。该研究选取对丢糟环境适应好, 且有较好纤维素分解力及产乙醇产香能力的酵母菌株 Z8Y-15 和 S633Y-28-1 作为复合菌

剂的组成菌<sup>[14-16]</sup>, 将其加入丢糟后与窖池内糟醅进行同步发酵, 以探究其对浓香型白酒复糟酒生产的影响。

## 1 材料与方法

**1.1 材料与试剂** 丢糟及曲药: 丢糟及曲药采自四川宜宾当地某浓香型白酒企业。供试菌株: Z8Y-15 (*Pichia* sp., 分离自窖房空气) 和 S633Y-28-1 (*Lodderomyces elongisporus*, 分离自糟醅) 由宜宾学院固态发酵资源利用四川省重点实验室提供。酿酒酵母(安琪酵母), 购自安琪酵母股份有限公司。培养基: 营养琼脂培养基、酵母膏葡萄糖(yeast peptone dextrose, YPD)培养基均按常规标准配制。糖化酶: 购自无锡赛德德生物工程有限公司, 糖化酶活力为 50 000 U/g。

**1.2 仪器与设备** 7890A 气相色谱仪, 美国 Agilent 公司; Kjeltec8100 凯氏定氮仪, 丹麦 FOSS 公司; F800 纤维素测定仪, 海能仪器; Hei-VAP Advantage 旋转蒸发仪, 德国 Heidolph 公司。

## 1.3 试验方法

**1.3.1 供试菌株对峙试验。** 对供试菌株 Z8Y-15 和 S633Y-28-1 进行平板对峙生长试验, 以确保供试菌株作为复合菌剂发酵丢糟时无拮抗作用。

**1.3.2 发酵试验。** 供试菌株在 YPD 平板上活化培养后, 分别接种到 YPD 液体培养基, 控制温度 28 °C, 100 r/min 振荡培养 24 h, 显微镜计数。按发酵方案(表 1), 每组设置 3 个平行。各试验组均添加等量糖化酶和曲药, 添加量均参考酒厂

**基金项目** 宜宾市科技局重点项目(2014GY015); 酿酒生物技术及应用四川省重点实验室重点项目(NJ2018-06)。

**作者简介** 张海英(1982—), 女, 四川宜宾人, 助理研究员, 硕士, 从事食品发酵研究。\* 通信作者, 副研究员, 博士, 从事白酒发酵研究。

**收稿日期** 2021-07-28; **修回日期** 2021-08-23

生产丢糟酒的工艺。A 组作为对照组(CK),不添加供试菌, B、C、D 组均在生产工艺的基础上添加试验菌株。B 组加入单株试验菌进行发酵,添加量为安琪酵母菌体数的 20%。C

组仅添加试验单菌株,添加量同酵母菌体数,即发酵前糟醅中的终浓度达到  $0.3 \times 10^6$  个/g。D 组复合菌由等菌体数量的 2 株供试菌混合而成。

表 1 发酵丢糟设计方案

Table 1 Design of fermenting waste distiller's grains

组别 Group	丢糟 Distiller's grains//g	糖化酶 Glucoam- ylase//g	曲药 Starter g	安琪酵母 Angel Yeast//g	供试单菌 Single bacteria tested//个/g	复合菌 Compound bacteria//个/g
A(CK)	1 500	1.5	30	0.75	—	—
B	1 500	1.5	30	0.75	$0.6 \times 10^5$	—
C	1 500	1.5	30	—	$0.3 \times 10^6$	—
D	1 500	1.5	30	—	—	$0.3 \times 10^6$

按照发酵组合方案,将各成分混匀后装入玻璃坛中,上部未填满部分用白糟覆盖。糖化酶、酵母添加前需用适量温水活化。玻璃坛用瓶塞密封后,置入丢糟酒发酵窖池中上部,与窖池内糟醅同步发酵。所有试验组均处于窖池同一水平且呈圆形排列,3 个平行样均匀分布于圆的 3 个对称点。入窖时间为 10 月下旬,经 40 d 发酵后取出样品测定各项指标。

**1.3.3 糟醅理化性质测定。**发酵试验结束后,糟醅中的蛋白质和纤维素的含量测定参考文献[17],水分、酸度、残糖、残淀的含量测定参考文献[18-19]。空白对照及每个处理的 3 个重复均单独检测,数据通过 SPSS 19.0 进行分析。

**1.3.4 糟醅馏分检测。**发酵后糟醅采用减压蒸馏以检测乙醇及呈香呈味物质的含量,蒸馏条件:真空度 0.02 MPa,温度 80 ℃,转速 80 r/min。每坛取糟醅 100 g,加蒸馏水 200 mL 进行蒸馏,取 100 mL 检测备用。

HPGC 检测馏分的条件:色谱柱为 Lzp930 (50 m × 250 μm × 1 μm),载气为高纯氮气,流速 19.5 mL/min,柱温 55 ℃(保持 3 min),以 3.5 ℃/min 的速率升温到 150 ℃(1 min),以 10.0 ℃/min 的速率升温到 170 ℃(3 min),以 20.0 ℃/min 的速率升温到 220 ℃(2 min),进样量 0.4 μL,分

流 10:1。

## 2 结果与分析

**2.1 供试菌的平板对峙试验** 供试菌株 Z8Y-15 和 S633Y-28-1 的平板对峙生长试验结果显示,2 菌株无拮抗作用,可组合为复合菌用于丢糟的发酵。

**2.2 复合菌对糟醅主要成分的影响** 按照表 1 中的发酵丢糟方案,分别得到相应的样品,分析各组样品发酵后糟醅的各项理化指标,结果见表 2。由表 2 可知,试验组的酸度与 CK 相比,B 组呈极显著差异( $P < 0.01$ ),C 组呈显著差异( $P < 0.05$ ),而 D 组无显著差异,说明安琪酵母和单株试验菌株的协同效应更利于降酸。

C 组添加试验菌株 Z8Y-15 发酵丢糟后其糟醅的还原糖、粗淀粉及粗纤维含量均极显著低于 CK,也低于 S633Y-28-1。该结论与 S633Y-28 在前期实验室模拟发酵中表现出更强的纤维素分解能力有差异<sup>[14,20]</sup>,分析原因可能为 Z8Y-15 在生产窖池环境背景下的淀粉、纤维素分解及还原糖利用能力更强。D 组的粗淀粉和还原糖含量均极显著低于 CK ( $P < 0.01$ )。从发酵后糟醅粗蛋白含量来看,试验组菌株在发酵过程中均有较好的生长态势,其中菌株 S633Y-28-1 的适应性最好。

表 2 菌株不同添加方式对糟醅中主要成分含量的影响

Table 2 Effects on the major constituent of distillers' grains after fermented by different strains

组别 Group	菌株 Strains	酸度 Acidity mmol/kg	水分含量 Moisture content//%	还原糖含量 Reducing sugar content//%	粗淀粉含量 Crude starch content//%	粗蛋白含量 Crude protein content//%	粗纤维含量 Crude fiber content//%
A(CK)		39.23±0.71	60.27±0.83	5.87±0.23	13.01±0.56	10.81±0.59	27.67±4.04
B	Z8Y-15	37.98±0.74**	60.47±0.49	5.15±0.17*	12.47±0.17	11.62±1.00	29.33±3.06
	S633Y-28-1	37.14±0.70**	59.77±1.10	5.31±0.12	12.41±0.29	13.31±0.50**	26.00±2.65
C	Z8Y-15	38.12±0.11*	60.83±0.74	4.77±0.58**	11.91±0.52**	10.72±0.82	19.67±0.58**
	S633Y-28-1	38.07±0.35*	60.17±0.40	5.33±0.44	12.26±0.06**	12.22±1.09	27.00±2.65
D		39.17±0.41	60.20±0.00	4.95±0.30**	11.82±0.45**	11.16±1.22	24.67±2.52

注:\*表示与 CK 差异显著( $P < 0.05$ ),\*\*表示与 CK 差异极显著( $P < 0.01$ )

Note:\* indicates significant difference with CK ( $P < 0.05$ ), \*\* indicates extremely significant difference with CK ( $P < 0.01$ )

**2.3 复合菌对糟醅酯类含量的影响** 不同菌株发酵后的丢糟经减压蒸馏后,用气相色谱分析其酯类含量,结果见表 3。由表 3 可知,复合酵母菌发酵丢糟对丁酸乙酯生成有极显著影响( $P < 0.01$ ),对乳酸乙酯的生成呈提高趋势。适量的丁酸乙酯可赋予白酒爽快的凤梨香,乳酸乙酯对酒体醇厚感的增

加有不可替代的作用<sup>[21-22]</sup>。所有试验组均有提高己酸异戊酯的趋势,该物质可赋予白酒花香。苯乙酸乙酯在 2 株菌的 B 处理中含量均较高,表明试验菌与安琪酵母共同作用,有利于苯乙酸乙酯的生成,该物质呈浓烈而甜的蜂蜜香气和果香<sup>[23]</sup>。

表 3 菌株不同添加方式对糟醅中酯类含量的影响

Table 3 Effects on esters content in distillers' grain after fermented by different strains

mg/L

组别 Group	菌株 Strains	乙酸乙酯 Ethyl acetate	丁酸乙酯 Ethyl butyrate	乳酸乙酯 Ethyl lactate	己酸乙酯 Ethyl caproate	己酸异戊酯 Isopentyl hexanoate	苯乙酸乙酯 Ethyl phenylacetate
A (CK)		4.46±4.29	1.54±2.45	242.32±13.57	6.20±5.79	7.36±1.34	0.82±1.41
B	Z8Y-15	1.03±1.78	4.32±0.21	287.49±21.03	4.90±4.46	9.38±2.07	2.24±3.78
	S633Y-28-1	0.00±0.00*	2.09±1.76	245.15±26.31	0.00±0.00	10.17±0.64*	2.18±3.85
C	Z8Y-15	0.00±0.00*	7.94±4.01	290.08±56.40	1.94±1.74	9.92±0.82*	1.34±2.22
	S633-Y28-1	1.49±2.59	6.29±1.92	276.28±18.60	1.72±2.97	8.38±1.24	0.00±0.00
D		1.70±2.96	12.30±7.67**	290.86±16.51	2.15±3.72	9.75±0.63*	1.07±1.92

注: \* 表示与 CK 差异显著( $P < 0.05$ ), \*\* 表示与 CK 差异极显著( $P < 0.01$ )Note: \* indicates significant difference with CK ( $P < 0.05$ ), \*\* indicates extremely significant difference with CK ( $P < 0.01$ )

2.4 复合菌对糟醅醇类含量的影响 对发酵后糟醅馏分中的醇类进行分析,乙醇、甲醇含量见表 4,馏分中的高级醇含量表 5。

表 4 菌株不同添加方式对糟醅中乙醇和甲醇含量的影响

Table 4 Effect on content of alcohol and methanol in distillers' grain after fermented by different strains

mg/L

组别 Group	菌株 Strains	甲醇 Methanol	乙醇 Ethanol
A (CK)		4.92±0.41	6 226.16±1 786.50
B	Z8Y-15	4.97±1.18	7 985.08±2 250.56
	S633Y-28-1	4.93±2.21	3 444.64±2 078.56
C	Z8Y-15	4.80±1.70	7 422.26±4 195.41
	S633Y-28-1	4.98±0.64	7 470.71±1 486.61
D		4.50±0.32	8 460.27±2 226.27

由表 4 可知,5 组试验处理中,仅 B 组 S633Y-28-1 乙醇含量低于 CK,其余 4 组均高于 CK。D 组的馏分中,乙醇含量 8 460.27 mg/L 高于 CK 35.88%。

由表 5 可知,与 CK 相比,S633Y-28-1 的 B 处理可使正丙醇生成量显著减少( $P < 0.05$ ),正丁醇生成量极显著减少( $P < 0.01$ )。以上 2 种物质含量的降低,可减少苦涩味及饮后上头,且正丙醇是降低乙醇前期代谢的关键醇类<sup>[24-26]</sup>。与 CK 相比, $\beta$ -苯乙醇在 Z8Y-15 的 B 处理中显著提高( $P < 0.05$ ),在 C 组和 D 组呈极显著增高趋势( $P < 0.01$ )。由此可知,Z8Y-15 有增加  $\beta$ -苯乙醇生成量的能力,而  $\beta$ -苯乙醇可赋予酒体玫瑰花香<sup>[27-28]</sup>。复合菌发酵丢糟后(D 组),其正丁醇和苯甲醇生成量显著减少( $P < 0.05$ ),而  $\beta$ -苯乙醇极显著提高( $P < 0.01$ ),使得白酒酒体更柔和、香气更协调。

表 5 菌株不同添加方式对糟醅中高级醇含量的影响

Table 5 Effect on higher alcohol in distillers' grain after fermented by different strains

mg/L

组别 Group	菌株 Strains	正丙醇 N-propanol	正丁醇 N-butanol	苯甲醇 Benzyl alcohol	$\beta$ -苯乙醇 $\beta$ -phenylethanol
A (CK)		4.35±0.56	7.31±0.37	26.79±0.30	4.04±0.27
B	Z8Y-15	4.55±0.79	5.54±1.76	25.77±1.09	4.74±0.43*
	S633Y-28-1	2.79±0.78*	1.78±3.07**	25.50±1.31	4.30±0.25
C	Z8Y-15	3.51±1.21	2.20±2.02**	23.11±0.60	5.05±0.73**
	S633Y-28-1	3.69±0.72	4.25±0.30	13.34±6.35*	4.46±0.10
D		3.84±0.87	2.85±2.57*	16.00±8.98*	5.10±0.26**

注: \* 表示与 CK 差异显著( $P < 0.05$ ), \*\* 表示与 CK 差异极显著( $P < 0.01$ )Note: \* indicates significant difference with CK ( $P < 0.05$ ), \*\* indicates extremely significant difference with CK ( $P < 0.01$ )

### 3 结论

该研究通过将试验菌株以不同的配比添加到丢糟中进行复糟酒的发酵,结果表明,复合酵母菌在丢糟中生长态势良好,且能极显著降低糟醅的粗淀粉和还原糖含量( $P < 0.01$ )。复合酵母菌剂比单纯加入安琪酵母或单株试验菌更能提高糟醅产乙醇的能力,且糟醅正丁醇和苯甲醇的含量均比 CK 显著减少( $P < 0.05$ ), $\beta$ -苯乙醇含量极显著增加( $P < 0.01$ )。高级醇成分的变化在减少酒体苦涩味,赋予酒体更丰富香气的同时,更利于人体健康。复合菌合成丁酸乙酯和己酸异戊酯的能力与 CK 相比有极显著和显著的提高趋势( $P < 0.01$ ,  $P < 0.05$ ),其特有的花果香对协调酒体风味有一定意义。

综上所述,由 Z8Y-15 和 S633Y-28-1 构成的复合酵母菌剂可以提高丢糟的出酒率,并使得复糟酒的酒体香味更加

协调,该复合菌剂在复糟酒的生产上具有良好的应用潜力。

### 参考文献

- [1] 胡晓龙,王康丽,余苗,等.浓香型酒醅微生物菌群演替规律及其空间异质性[J].食品与发酵工业,2020,46(10):66-73.
- [2] 张会敏,王艳丽,孟雅静,等.浓香型白酒发酵新老窖泥理化因子和原核微生物群落结构差异分析[J].食品科学,2020,41(6):207-214.
- [3] JIN G Y,ZHU Y,XU Y.Mystery behind Chinese liquor fermentation[J].Trends in food science & technology,2017,63:18-28.
- [4] 张瑞景,汪江波,蔡凤娇,等.白酒糟生产丢糟酒的研究进展[J].中国酿造,2020,39(6):17-21.
- [5] 王超,张宿义,李德林,等.固态法白酒丢糟的资源化综合利用[J].酿酒科技,2015(12):103-107.
- [6] 吴忠会,刘清波,刘正安.白酒丢糟“零排放”的研究[J].食品科学,2008,29(8):201-204.
- [7] 李彦芹,崔海灏,李春青,等.耐酸酵母的分离鉴定及在丢糟发酵中的应用[J].河北大学学报(自然科学版),2016,36(5):517-523.

(下转第 194 页)

最小偏二乘路径模型(PLSPM)是着重研究显变量与潜变量之间关系的一种测量模型,能够更直观地体现显变量与潜变量的内在联系。该研究最小偏二乘路径模型分析结果表明:气候因素是主要限制粮食产量提高的主要因素,科技因素对粮食产量提升作用最大。在科技因素中显变量塑料薄膜使用量载荷量最大,在经济因素中显变量财政支农支出的载荷量最大,在生产条件因素中农村用电量载荷量最大。

**3.2 建议** 通过对1990—2018年我粮食产量影响因素的深入分析,针对构建我国粮食安全长效机制提出以下建议。

**3.2.1 提升科技创新对粮食安全的提升作用。**①完善科技创新体制建设。建立市场为导向、农业企业与科研单位为主体、政府全方位服务的农业科技体系,打破科研、教育和推广三个环节闭环状态,强化各单位之间的沟通与协作。②加速科技人才队伍建设。体系化培养科研人才与技工人才,强化知识产权保护与成果转化,切实保障科技人才待遇。③集中力量进行科技攻关与成果推广。对农业“卡脖子”的薄弱环节如新品种选育等,加快科技攻关;加快推进农业数字化建设,推广物联网、智联网、大数据、云计算等新技术应用,全面落实“智慧农业”发展战略。

**3.2.2 强化财政资金对粮食安全的保障作用。**①狠抓惠农政策的到位与落实工作。加大各项惠农政策的宣传力度,让政策真正下沉到农户层面。加大对政策落实的督查力度。②完善财政投入与金融资本作用。完善涉农资金统筹整合长效机制,加大粮食生产补贴和收购价格补贴力度。发挥财政投入引领作用,撬动金融资本、社会力量参与乡村振兴。持续深化农村金融改革,运用多种金融工具保障农业农村优先发展。③切实控制农资价格,严厉打击随意哄抬农资价格行为。切实保障农机具、农资等售后服务,严厉打击“骗农”“坑农”“伤农”等行为。

**3.2.3 发挥基础设施对粮食安全的“避险”作用。**①加强传统基础设施建设。加快农田水利、机耕道等基础设施建设力度,探索“谁受益、谁管护”的设施管护机制。用优惠政策吸引社会资本投资基础设施建设,探索建立仓储、烘干等公用共享设施。②加强新一代基础设施建设。加大农村电网建设力度,提升农村电力保障水平。加快建设农业遥感卫星等新一代基础设施,完善农业气象综合监测网络,提升农业气象灾害防范能力。③完善基础设施“软件”建设。在完善农村土地确权颁证与加快土地流转的基础上,强化以绿色防控、土地托管、农技服务、烘干仓储销售等为重点的农业生产社会化服务体系建设,充分保障粮食产量,防止耕地非粮化。

### 参考文献

- [1] 吴红霞,李荆荆,聂艳,等.基于偏最小二乘回归模型的湖北省粮食产量影响因素分析[J].湖北农业科学,2017,56(13):2553-2559.
- [2] 毛伟.基于分位数回归的粮食产量影响因素分析:以湖北省为例[J].湖南财政经济学院学报,2012,28(2):81-86.
- [3] 李玉虎,陈俊美.基于灰色关联分析模型的河南粮食产量影响因素分析[J].农业技术与装备,2019(3):92-93,96.
- [4] 李心慧,朱嘉伟,王旋,等.基于主成分分析的河南省粮食产量影响因素分析[J].河南农业大学学报,2016,50(2):268-274.
- [5] 欧阳浩,戎陆庆,黄镇谨,等.基于粗糙集方法的广东省粮食产量影响因素分析[J].中国农业资源与区划,2014,35(6):100-107.
- [6] 李青松,邓素君,徐国劲,等.河南省粮食产量波动特征及影响因素分析[J].中国农学通报,2015,31(18):226-230.
- [7] 李昊儒,毛丽丽,梅旭荣,等.近30年来我国粮食产量波动影响因素分析[J].中国农业资源与区划,2018,39(10):1-10,16.
- [8] 顾莉丽.中国粮食主产区粮食产量波动研究[J].安徽农业科学,2011,39(20):12458-12461.
- [9] 胡慧芝,王建力,王勇,等.1990~2015年长江流域县域粮食生产与粮食安全时空格局演变及影响因素分析[J].长江流域资源与环境,2019,28(2):359-367.
- [10] 刘克强.对中国粮食安全问题研究[J].首都经济贸易大学学报,2008,10(5):42-46.
- [11] 王苏斌,郑海涛,邵谦谦,等.SPSS统计分析[M].北京:机械工业出版社,2003:113-230.
- [12] 李树明,黄治国,罗惠波,等.白酒丢糟发酵生产蛋白质饲料的菌种筛选[J].西南大学学报(自然科学版),2011,33(10):27-30.
- [13] 沈怡方.白酒生产技术全书[M].北京:中国轻工业出版社,1998.
- [14] 罗明有,游玲,潘玲玲,等.一株产纤维素酶的浓香型白酒酵母产酶条件的初步研究[J].食品工业,2016,37(6):52-55.
- [15] 宋波.白酒中各种成分对酒质的影响[J].酿酒科技,2011(12):65-67.
- [16] 李维青.浓香型白酒与乳酸菌、乳酸、乳酸乙酯[J].酿酒,2010,37(3):90-93.
- [17] 丁吉星,何玉云,梁艳英,等.新型嘉宝果起泡酒香气成分及特征香气分析[J].食品科学,2014,35(24):145-150.
- [18] 葛向阳,何宏魁,刘国英,等.影响人体酒精乙醇代谢速度的关键风味物质[J].食品与发酵工业,2021,47(1):160-164.
- [19] 王尹叶.白酒中挥发性呈苦和/或涩味物质研究[D].无锡:江南大学,2018.
- [20] 章克昌.酒精与蒸馏酒工艺学[M].北京:中国轻工业出版社,2010:557.
- [21] SHEN L, NISHIMURA Y, MATSUDA F, et al. Overexpressing enzymes of the Ehrlich pathway and deleting genes of the competing pathway in *Saccharomyces cerevisiae* for increasing 2-phenylethanol production from glucose[J]. Journal of bioscience and bioengineering, 2016, 122(1):34-39.
- [22] 富志磊,范光森,马超,等.老白干酒曲中一株高产 $\beta$ -苯乙醇酵母菌的分离、鉴定及其产香特性研究[J].中国食品学报,2019,19(1):207-215.

(上接第143页)

- [8] 贾盼,赵东,彭志云,等.安琪酿酒曲在固态法白酒丢糟发酵中的应用[J].酿酒科技,2017(4):57-60.
- [9] 李娜,程伟,张杰,等.功能性酿酒微生物的筛选及其在绿色酿造生产中的应用[J].酿酒科技,2019(6):69-74.
- [10] 赵东,彭志云,牛广杰,等.强化发酵丢糟再生产白酒的研究[J].中国酿造,2011,30(2):147-149.
- [11] 刘跃红,吴正云,杨健,等.白酒丢糟的多酶复配降解制备可发酵性糖[J].生物加工过程,2014,12(6):18-22.
- [12] 李站胜,颜晨麟,江宁,等.脂肪酶处理白酒丢糟提升复糟酒的品质[J].现代食品科技,2019,35(5):191-197,123.
- [13] 张楷正,黄海.浓香型白酒酿造中的酯化酶研究及应用进展[J].酿酒科技,2016(2):93-96.
- [14] 张海英,王涛,游玲,等.5株酵母菌在浓香型白酒丢糟酒生产中的初步应用[J].食品工业,2017,38(10):154-157.
- [15] 王涛,胡先强,游玲,等.浓香型白酒酵母对发酵糟醅中乙醇及主要酸、酯生成的影响[J].食品与发酵工业,2015,41(8):18-22.
- [16] 游玲,蒲岚,王涛,等.1株毕赤氏属酵母的酿造特性[J].食品与发酵工业,2012,38(2):52-56.
- [17] 吴国峰,李国全,马永强.工业发酵分析[M].北京:化学工业出版社,2006:4-36.