

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2023.80711

# 辣蓼草对浓香麸曲品质的影响

李 容<sup>1,2</sup> 卫春会<sup>1,2</sup> 黄治国<sup>1,2</sup> 应 超<sup>1,2</sup> 曾 波<sup>1,2</sup> 任志强<sup>1,2</sup>

(1. 四川轻化工大学生物工程学院, 四川 宜宾 644000;

2. 四川轻化工大学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] 开发辣蓼草在浓香麸曲中的应用。[方法] 在制作浓香麸曲过程中添加辣蓼草, 对辣蓼草添加量、浓香大曲接种量、水分含量、培养时间等培养条件进行优化, 以细菌数、酵母菌数、糖化酶活力为指标, 确定最佳培养工艺条件。在最优工艺条件下, 采用 GC-MS 检测浓香麸曲酒中挥发性风味成分。[结果] 当辣蓼草添加量为 8%、浓香大曲接种量为 4%、水分含量为 55%、培养时间为 48 h 时, 麸曲中的细菌数为  $6.22 \times 10^7$  CFU/g、酵母菌数为  $6.14 \times 10^8$  CFU/g、糖化酶活力为 671 U/g。添加、未添加辣蓼草的浓香麸曲酒中分别检出 57, 51 种挥发性风味成分。[结论] 添加辣蓼草可改善浓香麸曲品质, 使酒体风味物质更丰富。

**关键词:** 麸曲; 辣蓼草; 浓香大曲; 工艺优化; 风味物质

## Study on the effect of *Polygonum lapathifolium* on the quality of Luzhou-flavor Fuqu

LI Rong<sup>1,2</sup> WEI Chunhui<sup>1,2</sup> HUANG Zhiguo<sup>1,2</sup> YING Chao<sup>1,2</sup> ZENG Bo<sup>1,2</sup> REN Zhiqing<sup>1,2</sup>

(1. School of Biological Engineering, Sichuan University of Light Chemical Technology, Yibin, Sichuan 644000, China;

2. Sichuan University of Science &amp; Engineering, Liquor Brewing Biotechnology and Application Key Laboratory of Sichuan Province, Yibin, Sichuan 644000, China)

**Abstract:** [Objective] This study aimed to develop the application of *Polygonum lapathifolium* in Luzhou-flavor Fuqu. [Methods] In the process of making Luzhou-flavor Fuqu, *P. lapathifolium* was added. The culture conditions such as the addition amount of *P. lapathifolium*, the inoculation amount of Luzhou-flavor Daqu, the moisture content and the culture time were optimized. The number of bacteria, the number of yeasts and the activity of glucoamylase were used as indicators to determine the optimal culture conditions. Under the optimal process conditions, GC-MS was used to detect the volatile flavor components in Luzhou-flavor Fuqu Baijiu. [Results] When the addition amount of *P. lapathifolium* was 8%, the inoculation amount of Luzhou-flavor Daqu was 4%, the moisture content was 55%, and the culture time was 48 h, the number of bacteria in Fuqu was  $6.22 \times 10^7$  CFU/g, the number of yeasts was  $6.14 \times 10^8$  CFU/g, and the glucoamylase activity was 671 U/g. 57 and 51 volatile flavor components were detected in Luzhou-flavor Fuqu Baijiu with and without *P. lapathifolium*. [Conclusion] The addition of *P. lapathifolium* could improve the quality of Luzhou-flavor Fuqu and enrich the flavor substances of liquor body.

**Keywords:** Fuqu; *Polygonum lapathifolium*; Luzhou-flavor Daqu; process optimization; flavor compounds

麸曲主要以麸皮为原料, 经过蒸煮、冷却, 接入菌种, 然后经人工培养, 再经过低温干燥而制成的一种散曲<sup>[1]</sup>。在酿造过程中, 麸曲起糖化作用<sup>[2-3]</sup>。麸曲具有成本低、生产周期短、出酒率高等优点<sup>[4-6]</sup>, 但是麸曲酒风味单一, 味道寡淡, 其质感不如大曲酒<sup>[7-8]</sup>。

在传统的小曲制作过程中, 往往加入中草药(辣蓼草、陈皮、肉桂、甘草)<sup>[9]</sup>用于提高酒曲质量, 其中辣蓼草最为

常用。加入辣蓼草不仅可以提高酒曲品质, 还可以抑制酒曲中的其他有害微生物生长, 从而保证酒曲中有益微生物的生长繁殖, 改善酒曲品质。朱海泉<sup>[10]</sup>研究表明, 辣蓼草对甜酒曲中酵母菌和根霉的生长繁殖具有促进作用。李新社等<sup>[11]</sup>研究了小曲制作过程中加入辣蓼草对小曲微生物数量、糖化力、液化力、培养速率等的影响, 发现辣蓼草可以改善小曲品质。陈辉等<sup>[12]</sup>在酒药中加入适量

基金项目: 四川省科技创新创业苗子工程项目(编号: 23MZGC0042); 四川轻化工大学研究生创新基金项目(编号: Y2023227)

通信作者: 任志强(1985—), 男, 四川轻化工大学讲师, 博士。E-mail: zhiqren@foxmail.com

收稿日期: 2023-07-26 改回日期: 2024-07-31

的辣蓼草,可以提高其糖化性能和培养力,改善酒的品质和出酒率。

研究拟以浓香麸曲品质为研究对象,对辣蓼草添加量、浓香大曲接种量、水分含量、培养时间等培养条件进行优化,在最优工艺条件下,采用GC-MS检测浓香麸曲酒中的挥发性风味成分,以期改善浓香麸曲品质,使酒体风味物质更丰富。

## 1 材料与方 法

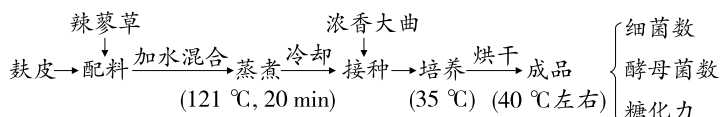
### 1.1 材料与培养基

辣蓼草、麸皮:市售;

浓香大曲:某酒厂;

牛肉膏蛋白胨培养基:牛肉膏 3.0 g/L、蛋白胨 10.0 g/L、NaCl 5.0 g/L、琼脂粉 20.0 g/L;

YPD 培养基:酵母浸粉 10.0 g/L、蛋白胨 20.0 g/L、无水葡萄糖 20.0 g/L、琼脂粉 20.0 g/L。



1.3.2 单因素试验 固定浓香大曲接种量为8%,水分含量为40%,培养时间为48 h,分别考察辣蓼草添加量(0%,2%,4%,6%,8%,10%,12%,14%<sup>[13]</sup>)、浓香大曲接种量(2%,4%,6%,8%,10%<sup>[14]</sup>)、水分含量(30%,35%,40%,45%,50%,55%<sup>[15]</sup>)和培养时间(24,36,48,60,72 h<sup>[16]</sup>)对浓香麸曲的细菌数、酵母菌数和糖化酶活力的影响。

1.3.3 正交试验 在单因素试验基础上,选择辣蓼草添加量、浓香大曲接种量、水分含量和培养时间4个影响因素设计 $L_9(3^4)$ 正交试验,进一步优化浓香麸曲工艺条件。

1.3.4 菌落数测定 采用平板计数法,称取1 g浓香麸曲至装有9 mL去离子水的锥形瓶中,制成菌悬液,依次稀释,选取 $10^{-4}$ 、 $10^{-5}$ 、 $10^{-6}$ 、 $10^{-7}$ 稀释梯度,用涂布器进行涂布,培养48 h,进行菌落计数<sup>[17]</sup>。

1.3.5 糖化酶活力测定 参照文献[18],于35 °C、pH 4.6下反应1 h,将可溶性淀粉产生1 mg葡萄糖所需要的酶量称为1个酶活力单位。

1.3.6 浓香麸曲白酒挥发性风味物质测定 采用GC-MS法。分析条件参照文献[19],挥发性产物的定性、定量分析参照文献[20],酒精度的测定和出酒率计算参照文献[21]。

1.3.7 数据处理 采用Excel、Origin软件对数据进行处理、NIST8.0谱库检索及相关文献分析,对相应的风味物质成分进行鉴定。

## 2 结果与分析

### 2.1 辣蓼草添加量对浓香麸曲品质的影响

由图1可知,随着辣蓼草添加量的增加,浓香麸曲中

### 1.2 仪器设备

超净工作台:SW-CJ-IF型,上海博迅实业有限公司;

电热恒温水浴锅:DZKW-D-2型,上海科恒实业发展有限公司;

电热恒温干燥箱:LABSERV-LS型,吴江韵达烘箱设备有限公司;

生化培养箱:LRH-150B型,广东泰宏君科学仪器有限公司;

液晶显示三叠加摇床:ZWYR-C2403型,上海智城有限公司;

立式自动高压蒸汽灭菌锅:GI54DS型,致微(厦门)仪器有限公司;

气相色谱一质谱联用(GC-MS)仪:TSQ8000型,美国Thermo公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 制曲工艺流程

的细菌数、酵母菌数和糖化酶活力均呈先上升后下降的趋势。当辣蓼草添加量为10%时,麸曲中的细菌数、酵母菌数和糖化酶活力均达到最大值。辣蓼草中含有黄酮类物质,过多的黄酮对细菌和真菌生长有抑制作用<sup>[22]</sup>,辣蓼草添加过多反而不利于微生物的生长。与未添加辣蓼草相比,添加辣蓼草的麸曲中细菌数、酵母菌数和霉菌数均有所提高。综上,选取辣蓼草添加量为10%。

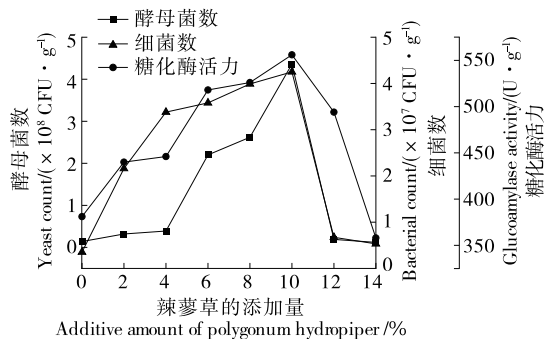


图1 辣蓼草添加量对细菌数、酵母菌数、糖化酶活力的影响

Figure 1 Effects of different amount of *P. lapathifolium* on the number of bacteria, yeast and glucoamylase activity

### 2.2 浓香大曲接种量对浓香麸曲品质的影响

适量的接种量可使微生物快速生长繁殖,缩短培养时间,并减少杂菌的生长。接种量过大会导致微生物前期生长过快,带入较多的代谢产物,导致微生物数下降<sup>[14]</sup>;接种量不足,微生物数增长缓慢,培养时间延长<sup>[23-24]</sup>。由图2可知,随着浓香大曲接种量的增加,浓香

麸曲中细菌数、酵母菌数和糖化酶活力均呈先上升后下降的趋势。当浓香大曲接种量为 2%~6% 时,微生物数随着浓香大曲接种量的增加而增加,是因为浓香大曲接种量不足,微生物数增长较缓慢。当浓香大曲接种量为 6% 时,细菌数、酵母菌数和糖化酶活力均达到最大值。当浓香大曲接种量 >6% 时,浓香大曲接种量过多,微生物前期生长过快,产生大量代谢产物,导致微生物数下降。综上,选取浓香大曲接种量为 6%。

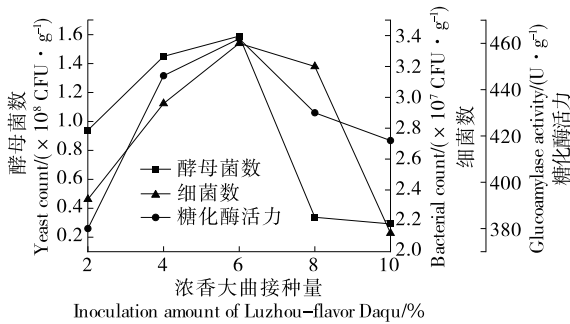


图 2 浓香大曲接种量对细菌数、酵母菌数和糖化酶活力的影响

Figure 2 Effects of different inoculation amount of Luzhou-flavor Daqu on the number of bacteria, yeast and glucoamylase activity

### 2.3 水分含量对浓香麸曲品质的影响

水是微生物生长繁殖所必需的营养物质,麸曲中水分含量对麸曲品质有重要影响<sup>[25]</sup>。水分含量太少会造成麸曲松散度高,水分挥发过快,不能达到微生物生长的水分活度,抑制了微生物的正常生理活动<sup>[26-27]</sup>。水分含量过高,麸曲结合太过紧密,对微生物生长有抑制作用,降低了浓香麸曲品质<sup>[28]</sup>。

由图 3 可知,随着水分含量的增加,浓香麸曲中细菌数、酵母菌数和糖化酶活力呈先上升后下降的趋势。当水分含量为 30%~50% 时,细菌数、酵母菌数和糖化酶活力呈上升状态,当水分含量为 50% 时,细菌数、酵母菌数和糖化酶活力均达到最大值。当水分含量为 50%~55% 时,细菌数、酵母菌数和糖化酶活力开始下降,此时麸曲结合紧密,疏松通气效果不好,造成微生物生长代谢缓慢,影响浓香麸曲品质。故选取水分含量为 50%。

### 2.4 培养时间对浓香麸曲品质的影响

培养时间对微生物生长繁殖和代谢能力有着至关重要的影响,培养时间太短,自身生长代谢不足,微生物未得到充分繁殖;培养时间太长,培养环境对微生物生长不利,有益微生物衰老并失去活力<sup>[29-30]</sup>。

由图 4 可知,随着培养时间的增加,浓香麸曲中细菌数、酵母菌数和糖化酶活力呈先上升后下降的趋势。因微生物培养时间不足,细菌、酵母菌和霉菌还处于对数增长期,微生物生长缓慢,故细菌数、酵母菌数和糖化酶活

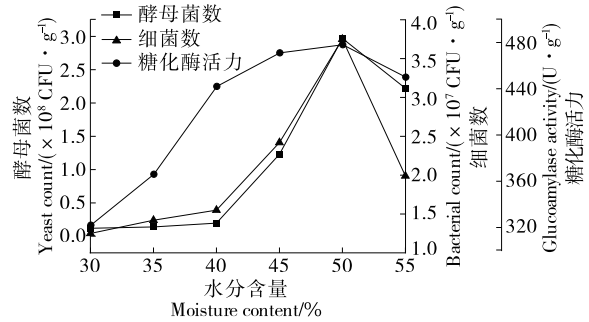


图 3 水分含量对细菌数、酵母菌数和糖化酶活力的影响  
Figure 3 Effects of different moisture content on the number of bacteria, yeast and glucoamylase activity

力呈上升状态。当培养时间为 36 h 时,浓香麸曲中的细菌数、酵母菌数和糖化酶活力均达到最大值。当培养时间 > 36 h 时,营养物质和水分开始降低,细菌、酵母菌和霉菌开始衰亡。综合考虑,选取培养时间为 36 h。

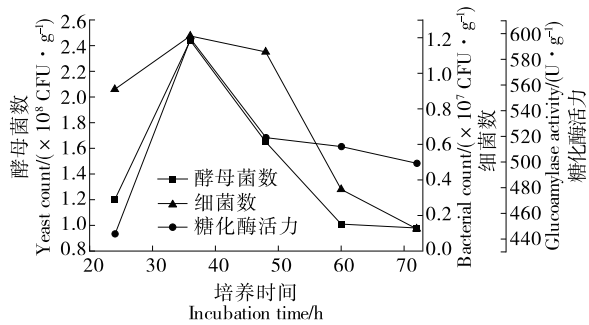


图 4 培养时间对细菌数、酵母菌数和糖化酶活力的影响  
Figure 4 Effects of different culture time on the number of bacteria, yeast and glucoamylase activity

### 2.5 正交试验

在单因素试验基础上,设计  $L_9(3^4)$  正交试验,以浓香麸曲的细菌数、酵母菌数和糖化酶活力为指标,选择辣蓼草添加量、浓香大曲接种量、水分含量和培养时间为考察因素,对浓香麸曲培养工艺条件进行优化。试验因素水平见表 1,试验设计及结果见表 2。由表 2 可知,各因素对浓香麸曲中细菌数、酵母菌数和糖化酶活力的影响主次顺序均为辣蓼草添加量 > 水分含量 > 培养时间 > 浓香大曲接种量,最优组合为  $A_2B_1C_3D_2$ ,即辣蓼草添加量 8%、浓香大曲接种量 4%、水分含量 55%、培养时间 48 h。按此工艺条件进行验证,测得浓香麸曲中细菌数为  $6.22 \times 10^7$  CFU/g,酵母菌数为  $6.14 \times 10^8$  CFU/g,糖化酶活力为 671 U/g。此时浓香麸曲外观呈淡黄色,无发黑,质松,散发着浓香麸曲特有的香味。

### 2.6 浓香麸曲酒挥发性风味成分分析

在最优工艺条件下生产的浓香麸曲,添加辣蓼草浓香麸曲酒的酒精度为  $(54 \pm 0.92)\%$  vol,出酒率为  $(41 \pm$

表1 因素水平表  
Table 1 Factor level table

水平	A 辣蓼草 添加量/%	B 浓香大曲 接种量/%	C 水分含 量/%	D 培养 时间/h
1	6	4	45	36
2	8	6	50	48
3	10	8	55	60

0.55)% ;不添加辣蓼草浓香麸曲酒的酒精度为(54±0.72)%vol,出酒率为(40±0.65)%。

由表3和表4可知,添加辣蓼草的浓香麸曲酒中共检

出57种挥发性风味成分,包括醇类物质10种、酯类物质21种、酸类物质4种、醛类物质6种、烃类物质7种、酚类物质5种,其他类物质4种,其相对含量分别占19.88%,61.60%,1.43%,1.53%,0.45%,14.83%,0.27%。不添加辣蓼草的浓香麸曲酒中共检出51种挥发性风味成分,包括醇类物质8种、酯类物质20种、酸类物质3种、醛类物质5种、烃类物质8种、酚类物质4种,其他类物质3种,其相对含量分别占25.93%,48.03%,1.24%,1.93%,3.99%,18.24%,0.63%。其中醇类和酯类是浓香麸曲酒的主要风味物质。由于工艺条件的不同,其种类和含量存在差异。但其中风味成分在种类方面具有一定的相似性。

表2 正交试验设计及结果

Table 2 Orthogonal test results and analysis

试验号	A	B	C	D	细菌数/ ( $\times 10^7$ CFU·g <sup>-1</sup> )	酵母菌数/ ( $\times 10^8$ CFU·g <sup>-1</sup> )	糖化酶活力/ (U·g <sup>-1</sup> )
1	1	1	1	1	3.90	1.24	449
2	1	2	2	2	5.54	2.96	586
3	1	3	3	3	3.96	1.72	510
4	2	1	2	3	5.84	4.36	631
5	2	2	3	1	6.18	6.00	565
6	2	3	1	2	5.04	4.12	578
7	3	1	3	2	5.50	5.28	491
8	3	2	1	3	2.90	0.68	476
9	3	3	2	1	3.72	1.12	521
细菌数	$k_1$	4.47	5.08	3.95	4.60		
	$k_2$	5.69	4.87	5.03	5.36		
	$k_3$	4.04	4.24	5.21	4.23		
	$R$	1.65	0.84	1.27	1.13		
酵母菌数	$k_1$	1.97	3.63	2.01	2.79		
	$k_2$	4.83	3.21	2.81	4.12		
	$k_3$	2.36	2.32	4.33	2.25		
	$R$	2.85	1.31	2.32	1.87		
糖化酶活力	$k_1$	515	524	501	512		
	$k_2$	591	542	579	552		
	$k_3$	496	536	522	539		
	$R$	95	18	78	40		

从醇类物质的相对含量和种类来看,添加辣蓼草的浓香麸曲酒中醇类物质相对含量比不添加辣蓼草的更多,种类更丰富,使得白酒的口感更加复杂,风味更加多样。其中异丁醇相对含量较高,异丁醇具有果香味,可以增添香气和改善口感。醇类化合物的存在可使酒体浓厚丰满,同时也是形成酯类化合物的前体物质。从酯类物质的相对含量和种类来看,添加辣蓼草的浓香麸曲酒的酯类物质所占比例大于不添加辣蓼草的。酯类物质主要呈现花香和果香,其中乙酸乙酯、乳酸乙酯、乙酸异戊酯

等酯类均具有水果香味、甜香,赋予浓香麸曲酒果香及甜香的味道,对酒体的风味贡献较大。酸类物质主要赋予酒体刺激性醋酸味和油脂臭等,其中乙酸相对含量较高,具有刺激性醋酸气味,有呈香、助香和缓冲平衡的作用。醛类物质主要赋予酒体坚果类香味、花香等,其中苯乙醛相对含量较高,具有玫瑰花香。烃类主要是异味的来源。综上,添加辣蓼草的浓香麸曲酒的风味物质比不添加辣蓼草的更丰富,说明辣蓼草在一定程度上改善了浓香麸曲品质。

表 3 添加辣蓼草与不添加辣蓼草的浓香麸曲酒的风味成分对比

Table 3 Comparative analysis of flavor components of Luzhou-flavor Fuqu liquor with and without *P. lapathifolium*

种类	添加与不添加辣蓼草的浓香麸曲酒中共有的化合物	添加辣蓼草的浓香麸曲酒中特有化合物	不添加辣蓼草的浓香麸曲酒中特有化合物
醇类	异丁醇、3-甲基-3-丁烯-1-醇、正己醇、1-十五醇、1,1-二甲基硅烷二醇、1-壬醇	正丙醇、正丁醇、正辛醇、苏合香醇	3-辛醇、1-苯基-1,2-丙二醇
酯类	乙酸乙酯、乙酸异戊酯、己酸乙酯、L(-)-乳酸乙酯、辛酸乙酯、壬酸乙酯、己酸己酯、癸酸乙酯、反式-4-癸烯酸乙酯、丁二酸二乙酯、苯甲酸乙酯、苯乙酸乙酯、乙酸苯乙酯、月桂酸乙酯、肉豆蔻酸乙酯、棕榈酸乙酯、油酸乙酯	间苯二酚单苯甲酸酯、2,3-丁二醇-2,3-二硝酸酯、庚酸乙酯、5-羟基戊酸-2,4-双(1,1-二甲基乙基)苯酯	2-(甲基氨基乙基)乙酸酯、2-甲基丁酸乙酯、二甲氧基乙酸甲酯
酸类	乙酸、异丁酸	N-(4-丁基苯甲酰基)庚酯D-丙氨酸、戊酸	苯基丁二酸
醛类	3-呋喃甲醛、3-羟基-4-甲氧基苯甲醛、苯甲醛、苯乙醛	三聚甲醛、二甲醇缩甲醛	丙烯醛
烃类	正十三烷、十五烷、二十四烷	1,1-二乙氧基-3-甲基丁烷、1,1-二乙基己烷、1,1-二甲基环戊烷、二十二烷	4,7-二甲基十一烷、十四烷、S-环氧丙烷、3,3,5-三甲基癸烷、十六烷
酚类	苯酚、4-乙基愈创木酚、4-乙基苯酚	3,5-二甲基苯酚、4-甲基苯酚	4-乙基愈创木酚
其他类	萘、苯乙烯	(2,2-二乙氧基乙基)苯、丁烯酮	3-羟基苯乙酮

表 4 添加辣蓼草与不添加辣蓼草的浓香麸曲酒的风味成分种类及含量

Table 4 Types and contents of flavor components in Luzhou-flavor Fuqu Baijiu with and without *P. lapathifolium*

种类	添加辣蓼草的浓香麸曲酒		不添加辣蓼草的浓香麸曲酒	
	种类	相对含量/%	种类	相对含量/%
醇类	10	19.88	8	25.93
酯类	21	61.60	20	48.03
酸类	4	1.43	3	1.24
醛类	6	1.53	5	1.93
烃类	7	0.45	8	3.99
酚类	5	14.83	4	18.24
其他类	4	0.27	3	0.63

### 3 结论

浓香麸曲最优的培养工艺条件为辣蓼草添加量 8%、浓香大曲接种量 4%、水分含量 55%、培养时间 48 h。在此条件下生产的浓香麸曲中的细菌数为  $6.22 \times 10^7$  CFU/g, 酵母菌数为  $6.14 \times 10^8$  CFU/g, 糖化酶活力为 671 U/g, 成品浓香麸曲外观呈淡黄色, 无发黑, 质松, 散发着浓香麸曲特有的香味。添加、不添加辣蓼草的浓香麸曲酒中分别检出 57, 51 种挥发性风味成分, 说明添加辣蓼草可改善浓香麸曲品质, 使酒体风味物质更丰富。后续可进一步研究辣蓼草改善浓香麸曲品质的作用机制。

#### 参考文献

[1] 郑自强, 卫春会, 邓杰, 等. 一株产纤维素酶枯草芽孢杆菌的

麸曲制作及其产酶特性研究[J]. 食品与机械, 2021, 37(10): 12-17.  
 ZHENG Z Q, WEI C H, DENG J, et al. Study on the production of Fuqu and the characteristics of enzyme about a cellulase producing *Bacillus subtilis*[J]. Food & Machinery, 2021, 37(10): 12-17.  
 [2] 李明珠, 李渊杰, 侯笑林, 等. 麸曲酱香型白酒酿造工艺研究及微量成分分析[J]. 食品与机械, 2023, 39(9): 183-189.  
 LI M Z, LI Y J, HOU X L, et al. Research on brewing technology of bran sauce Baijiu and trace composition analysis [J]. Food & Machinery, 2023, 39(9): 183-189.  
 [3] 梁敏华, 赵文红, 白卫东, 等. 白酒酒曲微生物菌群对其风味形成影响研究进展[J]. 中国酿造, 2023, 42(5): 22-27.  
 LIANG M H, ZHAO W H, BAI W D, et al. Research progress on the influence of microbial flora of Baijiu Jiuqu on flavor formation[J]. Brewing in China, 2023, 42(5): 22-27.  
 [4] 杜鑫, 李静雯, 许译文, 等. 贵州麸曲酱香型白酒采用菌种及制曲工艺特点[J]. 酿酒, 2019, 46(4): 45-47.  
 DU X, LI J W, XU Y W, et al. The strains used in Guizhou Fuqu Maotai-flavor liquor making and characters of the Qu making process[J]. Brewing, 2019, 46(4): 45-47.  
 [5] 孙炜方. 麸曲酱香白酒生产工艺及堆积发酵对风味物质影响的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2019: 6-8.  
 SUN W F. Production process of Bran Maotai-flavor Liquor and influence of accumulation fermentation on flavor substances [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2019: 6-8.  
 [6] 赵恒山. 产糖化酶、液化酶菌株的筛选及麸曲的制备[D]. 太原: 山西农业大学, 2017: 3-4.  
 ZHAO H S. Produce saccharifying enzyme, liquefied enzyme screening of strain and the preparation of Fuqu[D]. Taiyuan:

- Shanxi Agricultural University, 2017: 3-4.
- [7] 郭凯凯, 肖楠, 肖冬光. 高产酯酿酒活性干酵母在清香型麸曲酒生产中的应用研究[J]. 酿酒科技, 2018(1): 38-40, 46.  
GUO K K, XIAO N, XIAO D G. Application of active dry yeast with high-yield of acetate ester in the production of Qing xiang Fuqu Baijiu[J]. Brewing Technology, 2018(1): 38-40, 46.
- [8] 张东平. 根霉酵母麸曲在牛栏山基酒生产中的应用[J]. 酿酒, 2011, 38(4): 29-31.  
ZHANG D P. Application of rhizopus and yeast Fuqu in the production of the basic liquor of Niulanshan distillery[J]. Brewing, 2011, 38(4): 29-31.
- [9] 邓子新. 中国酒曲制作技艺研究与[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2019: 337-338.  
DENG Z X. Research and application of Chinese wine koji production techniques[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2019: 337-338.
- [10] 朱海泉. 混合甜酒曲开发与甜酒生产技术的[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2012: 21-25.  
ZHU H Q. Development of mixed liqueur koji and research on production technology of sweet rice wine[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2012: 21-25.
- [11] 陆步诗, 李新社. 辣蓼草对小曲质量的影响研究[J]. 酿酒科技, 2006(11): 42-43.  
LU B S, LI X S. Study on the effects of polygonum hydropiper on Xiaoqu quality[J]. Brewing Technology, 2006(11): 42-43.
- [12] 陈辉, 谢晶, 肖荣, 等. 新化水酒辣蓼草酒药工艺技术研究[J]. 保鲜与加工, 2019, 19(4): 136-140.  
CHEN H, XIE J, XIAO R, et al. Processing technology of *Polygonum lapathifolium* L. Var. *salicifolium* siphth yeast for producing Xinhua watery wine[J]. Preservation and Processing, 2019, 19(4): 136-140.
- [13] 赵申升, 相飞, 汪立平, 等. 辣蓼对酵母的影响及其在甜酒曲制作中的应用[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(2): 117-120.  
ZHAO S S, XIANG F, WANG L P, et al. Effect of polygonum hydropiper on yeast and its application in the production of rice wine starter[J]. Food Research and Development, 2017, 38(2): 117-120.
- [14] 邱勇, 王颖, 张焜, 等. 高产四甲基吡嗪的菌株筛选及其麸曲制作工艺优化[J]. 中国酿造, 2023, 42(4): 112-117.  
QIU Y, WANG Y, ZHANG W, et al. Strain screening of high-yield tetramethylpyrazine and optimization of its Fuqu process technology[J]. Brewing in China, 2023, 42(4): 112-117.
- [15] 靳沛. 大曲和麸曲相结合液态发酵白酒的酿造及理化性质的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020: 16-17.  
PEI J. Study on the brewing and physicochemical properties of liquid fermentation liquor by Daqu and Fuqu[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2020: 16-17.
- [16] 张旭姣, 闫裕峰, 周景丽, 等. 强化多微麸曲制备工艺优化及其在陈醋酒精发酵阶段的应用[J]. 中国酿造, 2020, 39(2): 129-134.  
ZHANG X J, YAN Y F, ZHOU J L, et al. Optimization of preparation technology of fortified Fuqu with multi-microorganisms and its application in alcohol fermentation of aged vinegar[J]. Brewing in China, 2020, 39(2): 129-134.
- [17] 胡瑞萍, 丁贤, 李来好, 等. 响应面法优化枯草芽孢杆菌 NHS1 产芽孢发酵培养[J]. 生态学杂志, 2018, 37(2): 605-612.  
HU R P, DING X, LI L H, et al. Optimization of fermentation medium composition by response surface methodology for the spore production of *Bacillus subtilis* Chinese[J]. Journal of Ecology, 2018, 37(2): 605-612.
- [18] 王福荣. 酿酒分析与检测[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 241-242.  
WANG F R. Analysis and detection of wine[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 241-242.
- [19] 母应春, 姜丽, 苏伟. 彝族小曲酒香气成分的分析研究[J]. 酿酒科技, 2019(7): 23-31.  
MU Y C, JIANG L, SU W. Study of the flavoring components of Yi People's Xiaoqu Baijiu[J]. Brewing technology, 2019(7): 23-31.
- [20] 李媛媛, 邓杰, 郑若欣, 等. 两种高粱的酿造特性对比研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(15): 40-45.  
LI Y Y, DENG J, ZHENG R X, et al. Comparative study on brewing characteristics of two kinds of sorghum[J]. Food Research and Development, 2020, 41(15): 40-45.
- [21] 曹新志, 宋泽丽, 胡琴, 等. 苦荞小曲酒半固态发酵工艺优化及挥发性风味成分分析[J]. 中国酿造, 2023, 42(2): 102-107.  
CAO X Z, SONG Z L, HU Q, et al. Optimization of semi-solid fermentation process and volatile flavor components analysis of tartary buckwheat Xiaoqu Baijiu[J]. Brewing technology, 2023, 42(2): 102-107.
- [22] 谢广发. 黄酒酿造技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2020: 43-44.  
XIE G F. Brewing technology of yellow rice wine[M]. Beijing: China Light Industry Publishing House, 2020: 43-44.
- [23] 张杰, 程伟, 关玉权, 等. 高糖化力霉菌 Mxzd-001 麸曲的培养工艺优化及应用[J]. 酿酒科技, 2021(1): 17-23.  
ZHANG J, CHENG W, GUAN Y Q, et al. Optimization and application of culture technology of Fuqu Using mould Mxzd-001 with high saccharifying power[J]. Brewing Technology, 2021(1): 17-23.
- [24] 李燕荣, 杨勇, 张龙云, 等. 中高温大曲发酵过程微生物消长规律探析[J]. 酿酒科技, 2019(5): 89-93.  
LI Y R, YANG Y, ZHANG L Y, et al. Microbial growth decline rules in the fermentation process of medium high-temperature Daqu[J]. Brewing Technology, 2019(5): 89-93.
- [25] 刘占. 一种生麸曲的制作工艺[J]. 现代食品, 2020(13): 56-58.  
LIU Z. A processing technology of raw bran Koji[J]. Modern Food, 2020(13): 56-58.

(下转第 199 页)

- [30] 赵萌萌, 党斌, 张文刚, 等. 超微粉碎对青稞麸皮粉微观结构及功能特性的影响[J]. 农业工程学报, 2020, 36(8): 278-286.  
ZHAO M M, DANG B, ZHANG W G, et al. Effects of ultrafine crushing on microstructure and functional properties of highland barley bran powder[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(8): 278-286.
- [31] 张增明. 绣球菌干燥、超微粉制备及其应用研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2014: 31.  
ZHANG Z M. The drying characteristics of *Sparassis crispa*, preparation and applications of its ultrafine powder[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2014: 31.
- [32] 梁晓君, 廖才学, 黄振勇, 等. 不同干燥和粉碎方式对玉米耳粉粉体特性和营养成分的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(1): 96-100, 109.  
LIANG X J, LIAO C X, HUANG Z Y, et al. Effects of different drying and grinding methods on the powder characteristics and nutritional components of *Auricularia nigricans* powder[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(1): 96-100, 109.
- [33] 刘丽娜, 王安建, 李顺峰, 等. 香菇柄热风干燥特性及微粉性质研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(5): 126-131.  
LIU L N, WANG A J, LI S F, et al. Study on hot air drying characteristics of mushroom stem and its properties of micro-powder[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(5): 126-131.
- [34] 邵家威, 郝征红, 岳凤丽, 等. 振动式超微粉碎处理时间对白毛木耳多糖提取率及体外抗氧化性质的影响[J]. 中国食物与营养, 2019, 25(3): 34-38.  
SHAO J W, HAO Z H, YUE F L, et al. Effect of vibration ultrafine grinding time on extraction rate and antioxidant properties of *Auricularia polytricha* polysaccharide in vitro[J]. Food and Nutrition in China, 2019, 25(3): 34-38.
- [35] 卢琪, 薛淑静, 杨德, 等. 不同加工方式对羊肚菌水提液鲜味及抗氧化性能的影响[J]. 食品工业科技, 2022, 43(15): 27-33.  
LU Q, XUE S J, YANG D, et al. Effects of different processing methods on umami taste and antioxidant capability of water extracts of *Morchella esculenta*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(15): 27-33.

(上接第 178 页)

- [20] GUO X, HE X, DAI T, et al. The physicochemical and pasting properties of purple corn flour ground by a novel low temperature impact mill[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2021, 74: 102825.
- [21] DHITAL S, SHRESTHA A K, GIDLEY M J. Effect of cryomilling on starches: functionality and digestibility[J]. Food Hydrocolloids, 2010, 24(2/3): 152-163.
- [22] LIU C, LIANG R, DAI T, et al. Effect of dynamic high pressure microfluidization modified insoluble dietary fiber on gelatinization and rheology of rice starch[J]. Food Hydrocolloids, 2016, 57: 55-61.
- [23] LU Z, YE F, ZHOU G, et al. Micronized apple pomace as a novel emulsifier for food O/W pickering emulsion[J]. Food Chemistry, 2020, 330: 127325.
- [24] MA Q, YU Y, ZHOU Z, et al. Effects of different treatments on composition, physicochemical and biological properties of soluble dietary fiber in buckwheat bran[J]. Food Bioscience, 2023, 53: 102517.
- [25] 徐丽, 刘艳兰, 蔡吉祥, 等. 大豆分离蛋白提升鲜湿米粉凝胶品质的研究[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(9): 54-60.  
XU L, LIU Y L, CAI J X, et al. Soy protein isolate improving gel quality of fresh rice noodles[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2022, 37(9): 54-60.
- [26] YAN X, WU J, ZHAO C, et al. Chinese rice noodles form the viscoelastic texture by dual high-temperature retrogradation: an insight into the mechanism[J]. LWT-Food Science and Technology, 2023, 189: 115496.
- [27] 陈款, 周游, 庄坤, 等. 纤维素酶处理改善糙米米线食用品质的研究[J]. 食品科技, 2023, 48(4): 168-175.  
CHEN K, ZHOU Y, ZHUANG K, et al. Improving the edible quality of brown rice noodles by cellulase treatment[J]. Food Technology, 2023, 48(4): 168-175.
- [28] HEO S, LEE S M, SHIM J H, et al. Effect of dry- and wet-milled rice flours on the quality attributes of gluten-free dough and noodles[J]. J Food Eng, 2013, 116(1): 213-217.

(上接第 191 页)

- [26] 郭锦宁, 刘幼强, 何松贵, 等. 米根霉麸曲提高豉香型白酒中乳酸乙酯的含量[J]. 现代食品科技, 2021, 37(8): 84-90.  
GUO J N, LIU Y Q, HE S G, et al. Application of *Rhizopus oryzae* Fuqu to increase ethyl lactate content in Chi-flavor Baijiu [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(8): 84-90.
- [27] 郑自强, 卫春会, 张立伟, 等. 中高温大曲中霉菌的分离及其麸曲制备[J]. 现代食品科技, 2022, 38(1): 165-172.  
ZHENG Z Q, WEI C H, ZHANG L W, et al. Isolation of mold from medium high temperature Daqu and preparation of Fuqu[J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(1): 165-172.
- [28] 夏珂, 谢军, 黄丹, 等. 异常威克汉逊酵母的麸曲制作工艺优化[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(22): 118-123.  
XIA Y, XIE J, HUANG D, et al. Optimization of processing technology of Fuqu with *Wickerhamomyces anomalus*[J]. Food Research and Development, 2018, 39(22): 118-123.
- [29] 刘茗铭, 边名鸿, 赵金松, 等. 纯种酒曲强化剂的制备及其工艺优化[J]. 酿酒, 2022, 49(1): 47-52.  
LIU M M, BIAN M H, ZHAO J S, et al. Preparation and process optimization of purebred Jiuqu fortifier[J]. Brewing, 2022, 49(1): 47-52.
- [30] 刘延波, 张丽婷, 赵志军, 等. 赊店老酒大曲中耐高温霉菌的筛选与产酶条件优化[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(5): 268-275.  
LIU Y B, ZHANG L T, ZHAO Z J, et al. Screening of molds with high temperature resistance and optimization of enzyme [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2020, 48(5): 268-275.