

# 纯黑米醪糟发酵工艺优化

## The optimization of fermentation process of pure black rice glutinous rice

何勇<sup>1</sup> 易晓成<sup>2</sup> 赵彬<sup>1</sup> 魏祖晨<sup>1</sup> 陈沛<sup>1</sup> 万萍<sup>1</sup>

HE Yong<sup>1</sup> YI Xiao-cheng<sup>2</sup> ZHAO Bin<sup>1</sup> WEI Zu-chen<sup>1</sup> CHEN Pei<sup>1</sup> WAN Ping<sup>1</sup>

(1. 成都大学药学与生物工程学院, 四川 成都 610106; 2. 四川工商职业技术学院酒类与食品工程系, 四川 都江堰 611830)

(1. College of Pharmacy and Biological Engineering, Chengdu University, Chengdu, Sichuan 610106, China;

2. Department of Wine and Food Engineering, Sichuan Technology Business College, Dujiangyan, Sichuan 611830, China)

**摘要:**以黑米为原料,通过单因素试验研究黑米醪糟发酵过程中的 5 个主要影响因素,浸米时间、浸米温度、酒曲添加量、发酵温度以及发酵时间对黑米醪糟发酵的影响。以感官评分为响应值,采用响应面法对黑米醪糟发酵工艺进行优化。结果表明,最适发酵条件为浸米时间 1.0 h、浸米温度 63 ℃、酒曲添加量 4.4%、发酵时间 42 h、发酵温度 31 ℃。所得产品的主要理化指标为总糖 236.9 g/L、总酸 4.3 g/L、酒精度 1.39 g/100 mL。该发酵条件下酿造出的黑米醪糟,呈紫红色,酿液透明有光泽,味浓甜,爽口,酒香味浓郁,口感软糯,具有黑米醪糟独特的风格和较高的营养价值。

**关键词:**黑米醪糟;发酵工艺;浸米水

**Abstract:** Five main influencing factors, including the time and the temperature of steeping rice, the amount of yeast addition, and the fermentation temperature and time were used as single factor, and their influences in fermentation of black rice fermented glutinous rice was studied by single factor experiments. Moreover, the sensory scale was used as the response value, and the fermentation process of black rice fermented glutinous rice was optimized by response surface method. The optimum fermentation conditions were as follows, the black rice was immersed at 63 ℃ for 1.0 h, with the addition of 4.4% wine, and then the fermented for 42 h at 31 ℃. The main physical and chemical indicators of the product were found to include 236.9 g/L of total sugar, 4.3 g/L of total acid, and 1.39 g/100 mL of alcohol. Under the control of these conditions, the black rice was fermented to be glutinous rice, and it was purple-red, transparent and shiny, sweet and sweet, refreshing, rich aroma, soft taste, unique style and high nutritional value of black rice glutinous rice.

**Keywords:** black rice vinasse; fermentation process; immersed rice

**基金项目:** 国家级大学生创新创业训练计划项目(编号: 201611079011)

**作者简介:** 何勇,男,成都大学在读本科生。

**通信作者:** 万萍(1963—),女,成都大学副教授,本科。

E-mail: 562182675@qq.com

**收稿日期:** 2018-02-03

醪糟是民间有名的风味食品,传统醪糟是以大米或糯米为原料经发酵而成。黑米是一种极为常见的杂粮,由于其米粒外部有一层坚韧的种皮包裹,糊化困难,进而限制了黑米发酵产品的开发。目前已有的黑米类发酵产品主要有黑米醪糟酒、黑糯米酒、黑米清酒、黑米甜酒酿等,其主要原料为黑米添加糯米、大米或白糖,以浓缩酒曲、混合酒曲加上活性干酵母、米酒曲、黑曲霉或黄曲霉、甜酒曲等作为生产菌种,工艺上主要采取自然冷却,冷水、冷开水或纯净水淋饭等方式进行冷却。

针对现有黑米研究存在的产品单一、冷水淋饭造成黑色素等营养成分流失及发酵过程评价的响应值单一等问题<sup>[3-5]</sup>,本研究以黑米为唯一原料,采用浸米水作为蒸饭水和淋饭用水,探讨发酵过程中黑米的浸米时间、浸米温度、酒曲添加量、发酵温度和发酵时间对黑米醪糟发酵过程中酒精度、总糖、总酸及感官的影响,并以感官评分为响应值,采用响应面法对黑米醪糟发酵工艺进行优化,以得出最佳的工艺条件,旨在酿造出独具黑米风味、口味醇和且含具有一定保健功能和营养价值的黑色素的黑色米醪糟。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料

优质黑米、安琪甜酒曲:市售。

### 1.2 仪器

pH 计:FE20 型,梅特勒-托利多(上海)有限公司;

数显恒温水浴锅:HH 型,金坛市金城国胜试验仪器厂;

电子天平:BSA-124 S 型,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;

智能型恒温培养箱:DHP-9050 B 型,上海琅环试验设备有限公司;

实用垂直新颖双人工作台:SW-CJ-2 D 型,苏州进化设备有限公司;

恒温磁力搅拌器:S10-3 型,上海司乐仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 黑米醪糟发酵工艺流程

挑选优质黑米→洗米→浸米→蒸米→淋水冷却→接种酒曲→拌匀搭窝→发酵→成品

1.3.2 操作步骤及要点

(1) 黑米的选取:经过挑选的米粒需无虫,少碎米,有光泽,无杂质,且大小、颜色均匀。

(2) 洗米与浸米:选取优质黑米适量,适量的清水洗净,用热水浸米。使其充分吸水,用手指掐米粒成粉状,且要求完整,内无粒心,水分的吸收量控制在 25%~30%。

(3) 蒸煮:需将浸后的黑米常压蒸煮 60 min,且蒸煮过程中用适量经煮沸的浸米水洒水,以补充水分,便于糊化,并能减少浸米造成的黑色素流失。蒸好后的米粒要求软硬适宜,内无白心,不烂且疏松。

(4) 淋水冷却:蒸熟后的黑米饭需用煮沸冷却的浸米水淋饭使其快速降温,若冷却的时间过长,会导致杂菌污染和引起淀粉老化,最终会对糖化发酵产生不利的影 响,同时,冷却后的饭温需要控制在 28~30 ℃,并保证出饭率为 (300±10)%,备用。

(5) 发酵(搭窝):蒸熟冷却的米饭添加酒曲充分拌匀后,放入发酵罐内,再将落缸的饭搭成“倒 V”形的凹窝,适当压平后,在表面均匀洒上少许酒曲,便于糖化菌的生长和后续的出酒,加盖保持适当的通气,发酵<sup>[6]</sup>。

1.3.3 单因素试验设计 选取 5 个对黑米醪糟发酵影响较大的因素:浸米时间、浸米温度、酒曲添加量、发酵时间、发酵温度进行单因素试验,测定发酵过程中的总糖、总酸、酒精度,同时进行感官评定,并以感官评价为主要依据,确定单因素最适条件<sup>[7]</sup>。每个样品均称取米 70 g,且每个温度做 2 个平行样,测定结果取平均值。

(1) 浸米温度对发酵的影响:分别设定浸米温度为 60, 65, 70, 75, 80 ℃,浸米时间 2.0 h,酒曲添加量 2.5%,发酵温度 30 ℃,发酵时间 36 h。

(2) 浸米时间对发酵的影响:分别设定浸米时间为 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 h,浸米温度 65 ℃,酒曲添加量 2.5%,发酵温度 30 ℃,发酵时间 36 h。

(3) 发酵温度对发酵的影响:分别设定发酵温度为 26, 28, 30, 32, 34 ℃,浸米温度 65 ℃,浸米时间 1.0 h,酒曲添加量 2.5%,发酵时间 36 h。

(4) 酒曲添加量对发酵的影响:分别设定酒曲添加量为 0.5%, 1.5%, 2.5%, 3.5%, 4.5%,浸米时间 1.0 h,浸米温度 65 ℃,发酵温度 30 ℃,发酵时间 36 h。

(5) 发酵时间对发酵的影响:分别设定发酵时间为 24, 30, 36, 42, 48 h,浸米时间 1.0 h,浸米温度 65 ℃,酒曲添加量 2.5%,发酵温度 30 ℃。

1.3.4 感官质量评定标准 以有感官品尝经验的 10 人组成感官评定小组,对黑米醪糟酿液的色泽、滋味气味及醪糟的组织形态 3 个方面进行评价,以参评人员所给分数的平均值作为最终评分。感官评定标准见表 1。

表 1 黑米醪糟感官质量评定标准

Table 1 Black rice fermented glutinous rice sensory quality assessment criteria

色泽	滋味、气味	组织状态
饭粒呈紫红色、红色或浅红色;酿液呈深红色、透明有光泽(16~20分)	具有黑米醪糟固有的滋味和气味。味浓甜,略带酸味,爽口;酒香味浓郁,无苦涩、酸败味(30~40分)	固液两相,饭粒大小均匀,不夹生,软糯;呈块团状,不黏糊,肉眼可见杂质(30~40分)
饭粒呈紫红色、红色或浅红色;酿液呈红色、较透明、有光泽(10~15分)	具有黑米醪糟固有的滋味和气味。味较甜,略带酸味,爽口;酒香味较浓郁,略有苦涩味(18~29分)	固液两相,饭粒大小均匀,不夹生,软糯;饭团较松散,较黏糊,无肉眼可见杂质(18~29分)
饭粒呈紫红色、红色或浅红色;酿液呈红色、略显浑浊、无光泽(1~9分)	黑米醪糟固有的滋味和气味不突出。味较甜,较爽口;酒香味不足,略有苦涩味或酸败味(1~17分)	固液两相,饭粒大小均匀,不夹生,软糯;饭团松散,黏糊,无肉眼可见杂质(1~17分)

1.3.5 检验方法

- (1) 总糖的测定:亚铁氰化钾滴定法<sup>[8]8-9</sup>。
- (2) pH的测定:pH计法<sup>[8]10</sup>。
- (3) 总酸的测定:中和滴定法<sup>[8]10-11</sup>。
- (4) 酒精度的测定:密度瓶法<sup>[9]</sup>。

2 结果分析

2.1 单因素试验

2.1.1 浸米温度对黑米醪糟发酵的影响 黑米米粒外部有一层坚韧的种皮包裹,不易糊化。浸米可使米粒吸收一定的水分,便于糊化,浸米温度过低米粒吸水慢,浸米温度过高米粒吸水快,但吸水不均匀性增加造成米饭生心,都会对发酵产生不利影响。由图 1 可知,随着浸米温度的提高,总糖的含量呈先增大后减小的趋势,总酸和酒精度呈下降趋势,当浸米温度为 65 ℃时,总糖最大值为 164.9 g/L,而此时总酸 5.41 g/L、酒精度 1.60 g/100 mL 均较适宜,酿液紫红色,光泽度较高,感官评分最高。故确定最适浸米温度为 65 ℃。

2.1.2 浸米时间对黑米醪糟发酵的影响 浸米时间的长短会影响到米粒吸水量,进而影响发酵,浸米时间短,米粒吸水

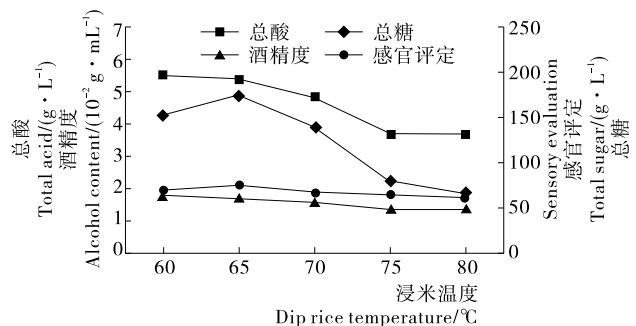


图 1 浸米温度对发酵的影响

Figure 1 Effect of dip rice temperature on fermentation

不足,浸米时间过长,米粒吸水过量,软化过度,会造成营养成分和淀粉流失,对糊化和发酵不利。由图 2 可知,随着浸米时间的增加,总糖的含量呈逐渐减小的趋势,总酸呈先增大后减小的趋势,酒精度呈增加的趋势,当浸米时间为 1.0 h 时,总糖有最大值为 223.2 g/L,而此时总酸 4.52 g/L、酒精度 1.08 g/100 mL 均适宜,酿液紫红色且透明,光泽度高,纯香爽口,总体感官评价最好。故确定最适浸米时间为 1.0 h。

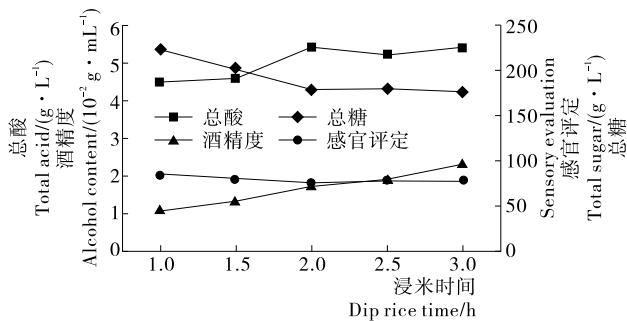


图 2 浸米时间对发酵的影响

Figure 2 Effect of rice dipping time on fermentation

2.1.3 发酵温度对黑米醪糟发酵的影响 发酵温度的高低影响酒曲中各类酶的作用进而影响整个发酵。由图 3 可知,随着发酵温度的增加,总糖含量呈先增大后减小的趋势,总酸呈先增大后减小再增大的趋势,酒精度呈先增大后减小的趋势,当发酵温度为 30 °C 时,总糖有最大值为 200.8 g/L,而此时总酸 4.83 g/L、酒精度 1.08 g/100 mL 均适宜,酿液呈深红色且透明,光泽度高,香气醇厚,感官评价高。故确定最适发酵温度为 30 °C。

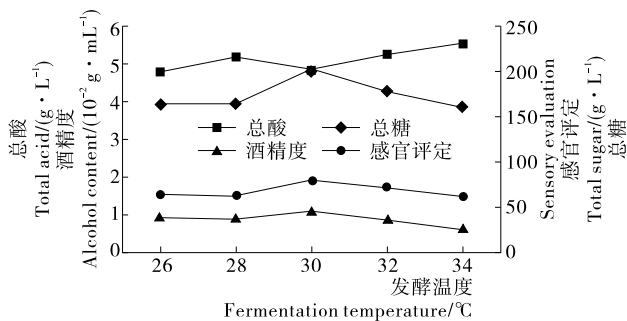


图 3 发酵温度对发酵的影响

Figure 3 Effect of fermentation temperature on fermentation

2.1.4 酒曲添加量对黑米醪糟发酵的影响 酒曲添加量会影响发酵的速度,进而影响糖化效果,最终影响生成总糖的多少,以及产品质量的好坏。由图 4 可知,随着酒曲添加量的增加,总糖含量呈先增大后减小的趋势,总酸呈减小的趋势,酒精度呈增加的趋势,当酒曲添加量为 3.5% 时,总糖有最大值为 208.0 g/L,而此时总酸 4.53 g/L、酒精度 1.10 g/100 mL 均适宜,酿液呈深红色且透明,光泽度高,纯香,感官评价较好。故确定最适酒曲添加量为 3.5%。

2.1.5 发酵时间对黑米醪糟发酵的影响 发酵时间过短,发酵不完全,总糖含量达不到要求;时间过长,会使糖过多地转

化成酒精,影响醪糟的品质。由图 5 可知,随着发酵时间的延长,总糖含量呈先增大后减小的趋势,总酸呈增大的趋势,酒精度则呈增加的趋势,当发酵时间为 42 h 时,总糖有最大值为 217.6 g/L,而此时总酸 5.17 g/L、酒精度 1.35 g/100 mL 均适宜,酿液呈深红色且透明,光泽度高,纯香,感官评价较好。故确定最适发酵时间为 42 h。

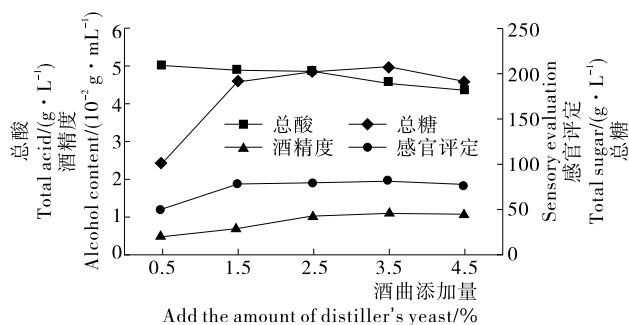


图 4 酒曲添加量对发酵的影响

Figure 4 Effect of the addition of wine on fermentation

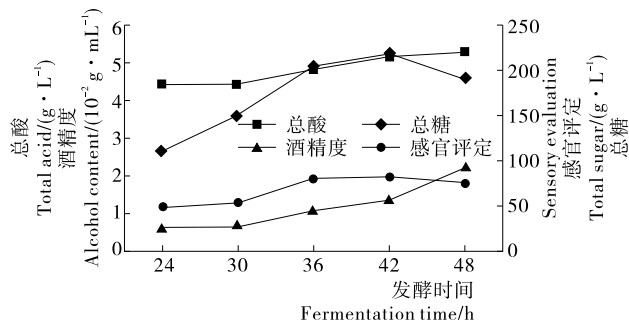


图 5 发酵时间对发酵的影响

Figure 5 Effect of Fermentation Time on Fermentation

## 2.2 响应面优化试验

2.2.1 响应曲面法试验设计 在单因素的试验基础上,以感官评分为响应值,采用响应面法对黑米醪糟发酵工艺条件进行优化,根据 Box-Behnken 8.0.6 中心组合试验的设计原则,以浸米温度、酒曲添加量、发酵温度、发酵时间等为主要考察因素,设计了四因素三水平响应面试验组<sup>[10-11]</sup>,见表 2。

2.2.2 模型方程的建立与显著性影响 结合 Box-Behnken 8.0.6 试验设计统计学原理,响应面试验设计与结果见表 3。

2.2.3 响应面试验结果及分析 用 Design-Expert 8.0.6 统计软件对表 3 中的试验数据进行二次回归分析,得出如下多元二次回归方程:

$$Y = +91.44 - 2.42A + 4.34B + 7.14C + 0.28D - 5.15AB - 0.88AC + 3.58AD + 1.22BC - 1.10BD + 2.18CD - 6.36A^2 - 10.10B^2 - 4.35C^2 - 8.04D^2 \quad (1)$$

表 2 Box-Behnken 试验因素及编码

Table 2 Box-Behnken test factors and coding

水平	A 浸米温度/°C	B 发酵温度/°C	C 酒曲添加量/%	D 发酵时间/h
-1	60	28	2.5	36
0	65	30	3.5	42
1	70	32	4.5	48

回归方程模型  $F=76.5$ ,  $P$  值  $<0.0001$ , 表明该模型极显著, 误差小、拟合度佳。各发酵工艺存在较大的差异性, 说明此试验与方程间具有较高的拟合度, 试验发生误差的机率非常小, 通过此模型即可推出实际情况, 其真实度非常高。

由表 4 可知, A、B、C 3 个因素对感官评价具有极显著的影响, 而 D 则不显著; 二次项  $A^2$ 、 $B^2$ 、 $C^2$ 、 $D^2$  对响应值有极显著的曲面效应; 交互项 AB、AD、CD 极显著, AC、BC、BD 不显著。有 3 个因素对感官评价影响显著, 说明本试验因素的选择是成功的。  $R^2$  为 0.9871,  $R^2$  adj 为 0.9742, 说明此模型 98.71% 的数据的可变性可用此模型解释, 仅有总变异的 1.29% 不能用此模型解释; 回归模型具有较高的拟合度, 预测值、试验值之间具有显著相关性, 误差小, 该模型适用。

利用 Design Expert 8.0.6 对表 4 数据进行二次多元回归拟合, 得到二次回归方程响应面及相应等高线, 见图 6~11, 由此可对任何两因素间交互作用对感官评价的影响进行分

析与评价, 确定合理的因素水平。

由图 6 可知, 当浸米温度不变时, 随着发酵温度的升高, 感官评分呈逐渐上升趋势, 当浸米温度为 30 °C 时, 感官评分到达最高, 后随着浸米温度的增加, 感官评分呈下降的趋势; 当发酵温度不变时, 随着浸米温度的增加, 感官评分呈现上升的趋势, 在 65 °C 时, 感官评分到达最高, 后随着浸米温度的增加, 感官评分呈显著下降的趋势。等高线图的椭圆度较大, 说明两者间的交互作用对感官评分影响显著。

由图 7 可知, 当浸米温度不变时, 随着酒曲添加量的升高, 感官评分呈逐渐上升趋势, 当酒曲添加量为 3.5% 时, 感官评分最高, 但是随着酒曲添加量不断增大, 感官评分逐步下降; 当酒曲添加量不变时, 随着浸米温度的增加, 感官评分呈逐渐上升趋势, 在浸米温度为 65 °C 时, 感官评分达到最大; 后随着浸米温度升高, 感官评分降低。等高线椭圆度较小, 故浸米温度与酒曲添加量的交互作用对感官评分影响不显著。

表 3 响应面试验设计与结果

Table 3 Response surface test design and results

组别	A	B	C	D	总糖/ ( $g \cdot L^{-1}$ )	总酸/ ( $g \cdot L^{-1}$ )	酒精度/ ( $10^{-2} g \cdot mL^{-1}$ )	感官/分
1	0	-1	1	0	211.70	4.83	1.32	77.9
2	-1	0	0	-1	226.88	4.68	1.12	83.9
3	1	-1	0	0	211.90	4.85	1.24	71.9
4	0	0	0	0	235.60	4.99	1.36	91.6
5	0	0	-1	-1	212.30	4.83	1.08	72.3
6	0	0	0	0	241.70	4.99	1.34	92.9
7	0	1	-1	0	213.70	5.19	1.37	73.7
8	0	0	1	1	224.40	5.24	1.49	89.4
9	0	-1	0	-1	207.45	4.68	1.07	67.5
10	-1	0	1	0	232.40	4.93	1.26	91.4
11	1	0	0	-1	211.40	4.93	1.31	71.4
12	0	0	0	0	234.70	5.19	1.36	91.7
13	-1	0	1	0	226.03	4.91	1.37	86.1
14	0	0	0	0	237.20	5.21	1.34	90.1
15	-1	0	0	1	215.60	5.21	1.39	75.6
16	-1	1	0	0	231.56	5.23	1.43	87.6
17	0	0	1	-1	222.13	4.79	1.25	83.8
18	0	-1	0	1	207.98	4.71	1.21	71.3
19	0	1	0	-1	216.57	5.17	1.38	78.2
20	1	1	0	0	211.70	5.19	1.47	71.7
21	-1	-1	0	0	207.21	4.93	1.23	67.2
22	1	0	-1	0	212.54	4.99	1.26	72.5
23	0	0	-1	1	209.20	5.49	1.42	69.2
24	1	0	0	1	217.45	5.23	1.57	77.4
25	0	0	0	0	235.90	5.17	1.35	90.9
26	0	1	1	0	232.09	4.91	1.41	87.8
27	0	1	0	1	217.60	5.21	1.46	77.6
28	0	-1	-1	0	203.40	4.59	1.14	68.7
29	-1	0	-1	0	213.32	5.21	1.34	74.3

表 4 回归模型系数显著性检验结果<sup>†</sup>

Table 4 Regression model coefficient significance test results

方差来源	平均和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	2 103.63	14	150.26	76.50	<0.000 1	**
A	70.08	1	70.08	35.68	<0.000 1	**
B	226.20	1	226.20	115.16	<0.000 1	**
C	612.04	1	612.04	311.59	<0.000 1	**
D	0.96	1	0.96	0.49	0.495 2	#
AB	106.09	1	106.09	54.01	<0.000 1	**
AC	3.06	1	3.06	1.56	0.232 3	#
AD	51.12	1	51.12	26.03	0.000 2	**
BC	6.00	1	6.00	3.06	0.102 3	#
BD	4.84	1	4.84	2.46	0.138 8	#
CD	18.92	1	18.92	9.63	0.007 8	**
A <sup>2</sup>	262.51	1	262.51	133.65	<0.000 1	**
B <sup>2</sup>	661.58	1	661.58	336.81	<0.000 1	**
C <sup>2</sup>	122.69	1	122.69	62.46	<0.000 1	**
D <sup>2</sup>	418.95	1	418.95	213.29	<0.000 1	**
残差	27.50	14	1.96			
失拟项	23.19	10	2.32	2.15	0.239 6	#
纯误差	4.31	4	1.08			
总和	2131.13	28				

<sup>†</sup> P<0.01,极显著“\*\*”;0.01<P<0.05,显著“\*”;P>0.05,不显著“#”;R<sup>2</sup>=0.987 1。

由图 8 可知,当浸米温度不变时,随着发酵时间的延长,感官评分呈逐渐上升的趋势,当发酵时间为 42 h 时,感官评分到达最高,后随着发酵时间的延长,感官评分呈下降的趋势;当发酵时间不变时,随着浸米温度的增加,感官评分呈逐渐上升的趋势,在浸米温度为 65 ℃ 时,感官评分达到最高,后随着浸米温度的增大,感官评分呈下降的趋势。等高线椭圆度较大,说明发酵时间与浸米温度的交互作用对感官评分影响显著。

由图 9 可知,当发酵温度不变时,随着酒曲添加量的升高,感官评分呈逐渐上升的趋势,当酒曲添加量为 3.5% 时,感官评分到达最高,后逐渐增加酒曲添加量,感官评分呈下降的趋势;当酒曲添加量不变时,感官评分随着发酵温度的增加而增加,在发酵温度为 30 ℃ 时,感官评分到达最高;后随着发酵温度的增加,感官评分呈下降的趋势。等高线椭圆度较小,故发酵温度与酒曲添加量交互作用对感官评分的影响不显著。

由图 10 可知,当发酵温度不变时,随着发酵时间的延长,感官评分呈逐渐上升的趋势,当发酵时间为 42 h 时,感官评分到达最高,后随着发酵时间的延长,感官评分呈下降的趋势;当发酵时间不变时,随着发酵温度的增加,感官评分逐呈渐上升的趋势,在发酵温度为 30 ℃ 时,感官评分到达最高;后随着发酵温度的增加,感官评分呈下降的趋势。等高线椭圆度较小,故发酵温度与发酵时间的交互作用对感官评分的影响不显著。

由图 11 可知,当酒曲添加量不变时,随着发酵时间的延

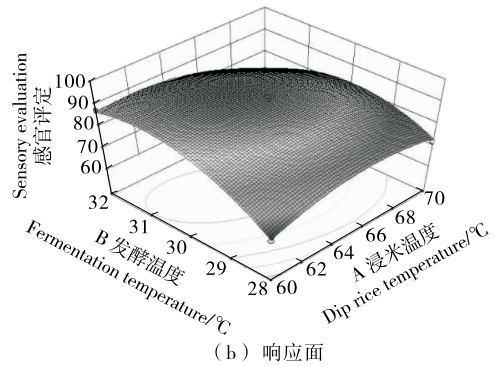
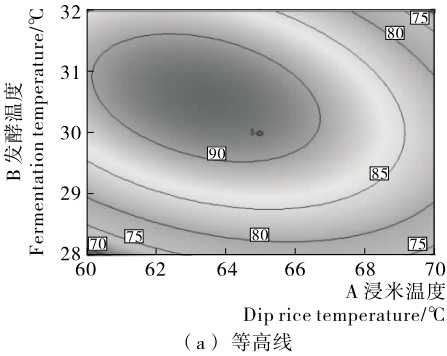


图 6 浸米温度和发酵温度对感官评分影响的响应面及其等高线

Figure 6 Response surface and its contours of the effect of dip rice temperature and fermentation temperature on sensory score

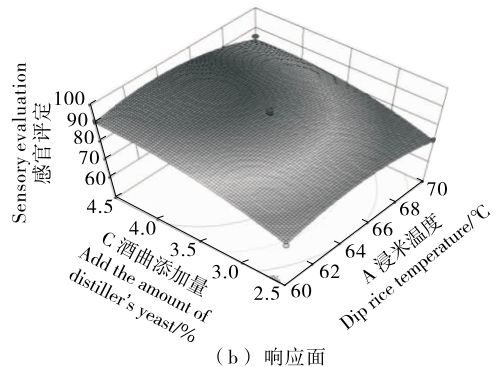
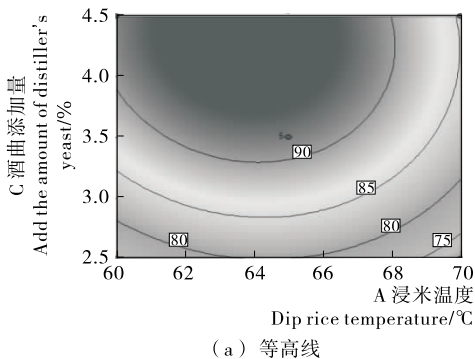
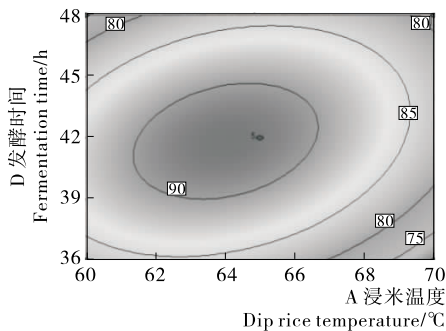
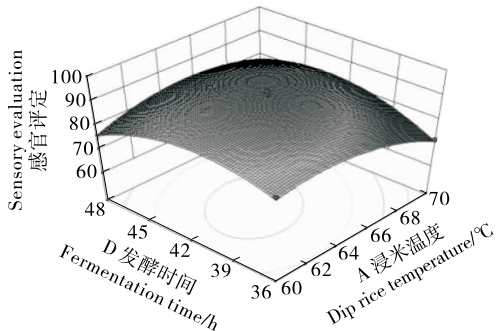


图 7 浸米温度和酒曲添加量对感官评分影响的响应面及其等高线

Figure 7 Response surface and its contours of the effect of dip rice temperature and the amount of wine added on the sensory score



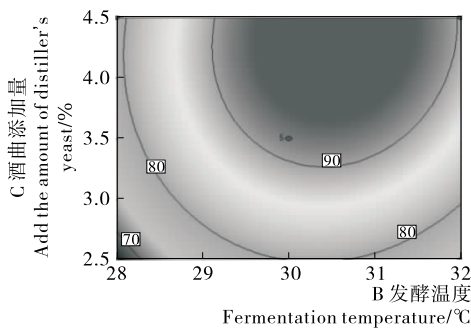
(a) 等高线



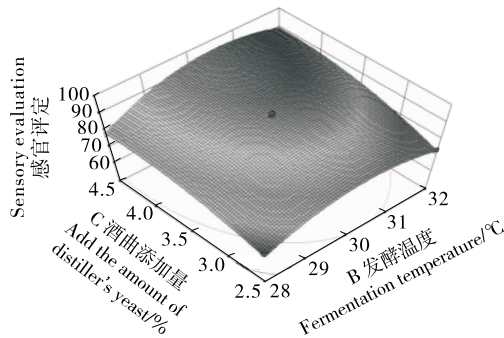
(b) 响应面

图8 浸米温度和发酵时间对感官评分影响的响应面及其等高线

Figure 8 Response surface and its contours of the effect of dip rice temperature and fermentation time on sensory score



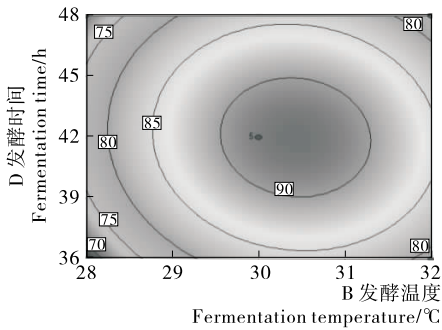
(a) 等高线



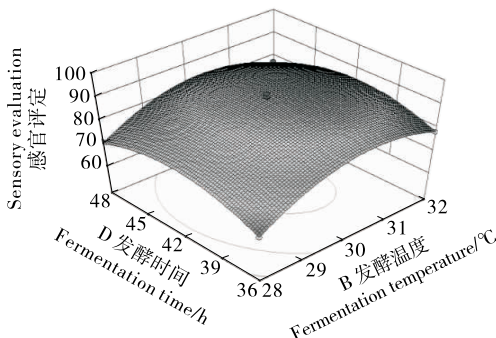
(b) 响应面

图9 发酵温度和酒曲添加量对感官评分影响的响应面及其等高线

Figure 9 Response surface of the fermentation temperature and the amount of wine added to the sensory score and its contours



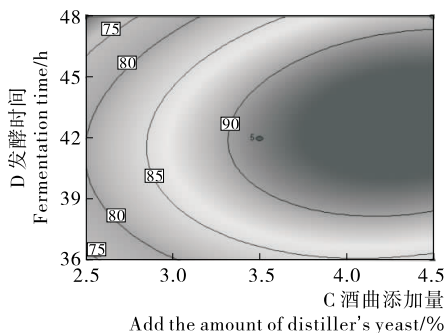
(a) 等高线



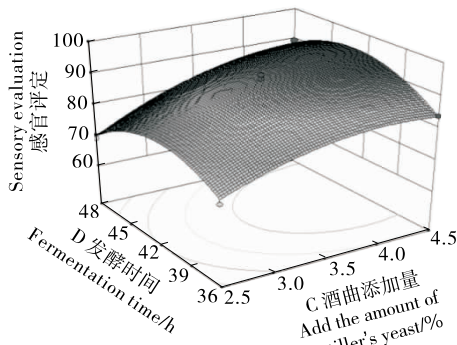
(b) 响应面

图10 发酵温度和发酵时间对感官评分影响的响应面及其等高线

Figure 10 Response surface of the fermentation temperature and fermentation time to the sensory score and its contours



(a) 等高线



(b) 响应面

图11 酒曲添加量和发酵时间对感官评分影响的响应面及其等高线

Figure 11 Response of the amount of wine and fermentation time on the sensory score of the response surface and contours

长,感官评分呈逐渐上升的趋势,当发酵时间为 42 h 时,感官评分达到最高,后随着发酵时间的延长,感官评分呈下降的趋势;当发酵时间不变时,随着酒曲添加量的增加,感官评分呈逐渐上升的趋势,当酒曲添加量为 3.5% 时,感官评分达到最高;后随着酒曲添加量的增加,感官评分呈下降的趋势。等高线椭圆度较大,故发酵时间与酒曲添加量的交互作用对感官评分的影响显著。

### 2.3 最佳工艺条件的验证

由 Design-Expert 8.0.6 软件优化后得到的最优工艺参数为:浸米时间 1.0 h,浸米温度 63.03 °C,发酵时间 42.17 h,酒曲添加量 4.42%,发酵温度 30.74 °C,感官评分预测值为 96.01。考虑试验的可操作性,把浸米温度、发酵温度分别调整为 63,31 °C,发酵时间 42 h,添加酒曲量 4.4%,实测感官评分为 95.3,与预测结果的相对误差仅有 0.74%。因此,采用响应面法优化后得到的黑米醪糟最优工艺条件符合实际。

## 3 结论

本研究用响应面法优化黑米醪糟发酵工艺条件,试验证明:浸米温度,酒曲添加量,发酵温度对发酵都有显著影响。酿造黑米醪糟最佳发酵工艺条件为:浸米时间 1.0 h,浸米温度 63 °C,酒曲添加量 4.4%,发酵时间 42 h,发酵温度 31 °C。所得产品的主要理化指标为:总糖 236.9 g/L,总酸 4.3 g/L,酒精度 1.39 g/100 mL,综合感官评分 95.30。饭粒呈紫红色、酿液呈深红色、透明有光泽;有黑米醪糟独特的滋味和气味,味浓甜,爽口,酒香浓郁;口感软糯,具有较高的营养价值。

黑米醪糟的研究突破了传统醪糟一直沿用糯米的固有

模式,采用极富营养价值的黑米为唯一原料生产醪糟,同时采用浸米水作为蒸饭洒水和淋饭用水,有效地减少了具有保健功能的黑色素的流失,增强了黑米醪糟的营养价值。期望此研究结果能对工业化大生产起到积极的指导作用。

### 参考文献

- [1] 马洁. 浅谈黑糯酒生产工艺[J]. 四川食品与发酵, 2000(1): 41-42.
- [2] 刘达玉, 马艳华, 王新惠, 等. 黑米酒的酿造及其品质分析研究[J]. 食品研究与开发, 2012, 31(9): 86-89.
- [3] 张清安, 史芳芳, 王袭, 等. 超声波处理对黑米酒中酚类物质、颜色及抗氧化性的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(12): 1-6.
- [4] 黄镭, 郑妍, 喻弘, 等. 黑米甜酒酿发酵工艺及主要指标变化规律的研究[J]. 中国酿造, 2013(7): 86-88.
- [5] 吴素萍, 张惠玲. 黑米醪糟酒工艺条件的探讨[J]. 中国酿造, 2008(17): 78-81.
- [6] 林良魁, 权美平. 黑米酒酿造工艺的优化[J]. 贵州农业科学, 2011, 34(12): 182-184.
- [7] 万萍, 刘红, 唐玲, 等. 苦荞摊饭法甜型黄酒发酵工艺研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(1): 181-185.
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 13662—2008 黄酒[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [9] 王福荣. 酿酒分析与检测[M]. 2 版. 北京: 化学工业出版社, 2012: 33.
- [10] 万萍, 张宇, 杨兰, 等. 响应面法优化苦荞干黄酒主发酵工艺[J]. 食品与生物技术学报, 2015, 34(11): 1 185-1 191.
- [11] 李彦坡, 黄高弟, 张阳, 等. 丁香杨梅果酒发酵工艺的优化[J]. 食品与机械, 2015, 31(4): 198-202.
- [12] 章栋梁, 郭向莹, 余南静, 等. 多糖生物活性及应用研究新进展[J]. 湖北农业科学, 2009, 48(9): 2 282-2 285.
- [13] 黄有强. 微波辅助提取三叶青多糖工艺优化及其拮抗炎症细胞的研究[J]. 浙江中医杂志, 2017, 52(5): 384-385.
- [14] 陈炼红, 杨丽珠, 索化夷, 等. 响应面法优化松茸多糖酶法提取工艺及其体外抗氧化性分析[J]. 食品科学, 2014, 35(16): 23-28.
- [15] 张青, 张天民. 苯酚-硫酸比色法测定多糖含量[J]. 山东食品科技, 2004, 6(7): 56-56.
- [16] 穆文静, 杜玲, 扈瑞平, 等. 钝顶螺旋藻多糖 Seavage 法脱蛋白工艺的研究[J]. 内蒙古石油化工, 2011, 37(10): 1-4.
- [17] 张小爽. 梭柄松苞菇多糖结构分析及其抗肿瘤活性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2014: 34.
- [18] 谢建华. 青钱柳多糖的分离纯化与结构解析及其生物活性研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2007.
- [19] 张惟杰. 糖复合物生化研究技术[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1999: 309-326.
- [20] 赵婷. 五味子多糖的分离纯化、结构表征及其活性研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2009: 76-77.

(上接第 147 页)

- [5] FENG Zheng-quan, HAO Wan-rong, LIN Xiao-yang, et al. Antitumor activity of total flavonoids from *Tetrastigma hemsleyanum* Diels et Gilg is associated with the inhibition of regulatory T cells in mice[J]. *Oncotargets & Therapy*, 2014, 7 (default): 947-956.
- [6] SUN Yong, TSAO Rong, CHEN Fang, et al. The phenolic profiles of *Radix Tetrastigma* after solid phase extraction (SPE) and their antitumor effects and antioxidant activities in H22 tumor-bearing mice[J]. *Food & Function*, 2017, 8(11): 4 014-4 027.
- [7] 董宜旋, 李静. 三叶青提取物抗人类免疫缺陷病毒活性研究[J]. 辽宁中医杂志, 2016 (10): 2 173-2 175.
- [8] ZHONG Liang-rui, CHEN Xian, WEI Ke-min. *Radix tetrastigma hemsleyani* flavone induces apoptosis in human lung carcinoma a549 cells by modulating the MAPK pathway[J]. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention Apjcp*, 2013, 14(10): 5 983-5 987.
- [9] 饶君凤, 吕伟德, 倪承珠, 等. 离子色谱法测定三叶青多糖中单糖组成[J]. 亚太传统医药, 2016, 12(12): 42-44.