

DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.016052

引用格式: 黄壹杨, 刘琨毅, 王琪, 等. 基于响应面法优化红豆米酒发酵工艺的研究[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(5): 130-134.

HUANG Yi-yang, LIU Kun-yi, WANG Qi, et al. Optimization for fermentation of red bean rice wine using response surface methodology [J]. Food and Fermentation Industries, 2018, 44(5): 130-134.

基于响应面法优化红豆米酒发酵工艺的研究

黄壹杨¹, 刘琨毅¹, 王琪¹, 邹伟²

1(宜宾职业技术学院 五粮液技术学院 四川 宜宾 644003) 2(四川理工学院 生物工程学院 四川 自贡 643000)

摘要 以生料曲为糖化发酵剂, 红豆、红米为原料混合发酵进行生料酒的酿制。在单因素试验的基础上, 选取物料比(红豆: 红米)、料液比、接种量及发酵温度为影响因素, 以感官评分为响应值, 采用 Box-Behnken 中心组合试验设计建立数学模型, 进行响应面分析。结果表明, 红豆米酒最优的酿造工艺条件为: 物料比 1: 2.9 (g: g)、料液比 1: 3 (g: mL)、接种量 2.1%、发酵温度 29 °C。在此条件下红豆米酒的感官评分为 90.9 分。

关键词 红豆米酒; 生料酒; 响应面法; 发酵工艺条件

红豆又名赤豆, 性平偏凉, 味甘, 是一种药食两用的草本植物。其营养丰富, 且含有黄酮、多酚等多种生物活性成分^[1-3]。现代医学研究发现, 红豆具有利尿通便、抗癌、延缓衰老、降低胆固醇等功效^[4-6]。其含有较多的皂角苷和膳食纤维, 可加工成许多食品, 深受大众喜爱, 堪称粮食佳品^[7-9]。

我国传统米酒的生产大都是先将原料蒸熟糊化后进行糖化发酵, 目前随着生物工程技术特别是酶工程技术的快速发展, 酿酒原料不经加热糊化而直接经酶制剂的作用进行糖化发酵变为了可能和现实^[10-11]。生料酒工艺与传统酿造工艺相比, 具有工业化生产操作简便、缩短发酵期、节约能源降低成本和提高出酒率等优点^[12-14]。目前, 生料酒的原料来源广泛, 主要包括红米、玉米、高粱、小麦、红薯等, 但大多数生料酒厂使用单一的粮食酿酒, 因其微生物代谢产物少, 香气单一, 口感单薄不协调, 而为大规模推广带来困难^[15-17]。本试验将红豆与红米混合用于生料酒, 以期提高酒香, 使酒体口感醇和协调, 为工业化生产提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

米酒生料酒曲: 丽水力克生物科技有限公司; 红豆、红米: 宜宾大润发超市; 水为纯净水, 其余试剂均为分析纯。

第一作者: 大专(黄壹杨与刘琨毅讲师为共同第一作者, 王琪讲师为通讯作者, E-mail: rodmanben@foxmail.com)。

收稿日期: 2017-10-18, 改回日期: 2018-01-18

1.2 仪器与设备

ZWYR-D2403 型恒温培养振荡器, 上海智城分析仪器制造有限公司; BS210S 型电子分析天平, 北京赛多利斯天平有限公司; PHs-3c 型精密 pH 计, 上海理达仪器厂; 800Y 型多功能粉碎机, 铂欧五金厂; SW-CJ-2FD 型超净工作台, 苏州净化设备有限公司; Alcomat Super 酒精度测试仪, 意大利盖博分析仪器公司。

1.3 红豆米酒酿造工艺流程

红豆、红米→粉碎→加水→调整 pH→接种→发酵→过滤→成品

操作要点: 红米粉碎过 40 目筛, 红豆粉碎过 60 目筛, 将两种原料按不同的配比组合加入三角瓶中, 并加入一定量的纯净水, 调整溶液至 pH 4.0, 接种后在温度 30 °C 条件下静置发酵, 发酵前 3 天每天搅拌 1 次, 观察到无气泡后发酵完成, 待发酵结束后过滤得到红豆米酒。

1.4 试验方法

1.4.1 感官评分方法

感官评定由 15 名专业人员组成的感官评定小组参照 NY/T 1885—2010《绿色食品 米酒》^[18]对红豆米酒从形态(满分 5 分)、色泽(满分 5 分)、香气(满分 30 分)、滋味(满分 40 分)、典型性(满分 20 分) 5 个方面进行感官评定, 酒样总分为 5 项得分之和, 满分为 100 分。

1.4.2 理化指标测定方法

还原糖(以葡萄糖计)测定: 斐林试剂法^[19]; 酒精体积分数测定: 酒精计法^[19]; 总酸的测定: 电位滴定法^[20]。

1.4.3 红豆米酒发酵工艺条件的单因素试验

物料比(红豆: 红米)对红豆米酒发酵效果的影

响:控制处理条件为料液比 1:2.5 (g:mL)、接种量 1.5%、发酵温度 30℃,考察物料比分别为 1:6、1:5、1:4、1:3、1:2 (g:g) 时红豆米酒的感官评分,以确定较佳的物料比。

料液比对红豆米酒发酵效果的影响:将红豆与红米按照 1:4 (g:g) 装瓶后,分别按原料与纯净水 1:1.5、1:2、1:2.5、1:3、1:3.5 (g:mL) 的比例添加,接种量 1.5% 时,于 30℃ 下摇床发酵,发酵结束后进行感官评价,以确定较佳的料液比。

接种量对红豆米酒发酵效果的影响:控制处理条件为物料比 1:4 (g:g)、料液比 1:2.5 (g:mL)、发酵温度 30℃,记录接种量为 0.5%~2.5% 时红豆米酒的感官评分,以确定较佳的接种量。

发酵温度对红豆米酒发酵效果的影响:将红豆与红米的比例按照 1:4 (g:g) 及料液比 1:2.5 (g:mL) 装瓶后,接种量为 1.5% 时分别在温度 26、28、30、32、34℃ 下摇床发酵,待发酵结束后进行感官评价,以确定较佳的发酵温度。

1.4.4 红豆米酒发酵工艺条件的响应面优化试验

在单因素试验的基础上,进行 4 因素 3 水平的响应面分析实验,确定红豆米酒最佳的发酵工艺条件,因素水平如表 1 所示。

表 1 响应面试验因素水平

Table 1 Level and code of independent variable used for response surface analysis

水平	物料比 (g:g)	料液比 (g:mL)	接种量/ %	发酵温度/ ℃
-1	1:4	1:2.0	1.5	28
0	1:3	1:2.5	2.0	30
1	1:2	1:3.0	2.5	32

1.5 数据分析处理方法

以上每个试验重复 3 次,结果取平均值。采用 OriginLab, OriginPro 9.1 软件进行数据制图和统计分析。Design Expert 8.0.6 软件进行响应面设计及结果分析。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 物料比对红豆米酒感官评分的影响

由图 1 可知,当红豆比例相对较小时,随着红豆比例的逐渐增加,红豆米酒的感官评分也随之增加,但酒精度变化不显著 ($p > 0.05$);当红豆与红米的比例达到 1:3 (g:g) 时,红豆米酒的感官评分达到最高,

为 (84.7 ± 0.8) 分;但当红豆的比例继续增加时,红豆米酒的感官评分与酒精度则表现出下降的趋势。尽管红豆经发酵后产生的独特香气能克服单粮酿酒香气单一的弱点,但红豆量大后容易使酒体呈现出较强的豆腥味。故当红豆与红米比例适当时,能赋予红豆米酒特殊的风味,因此选择物料比(红豆:红米)为 1:4、1:3 及 1:2 (g:g) 用于响应面优化试验。

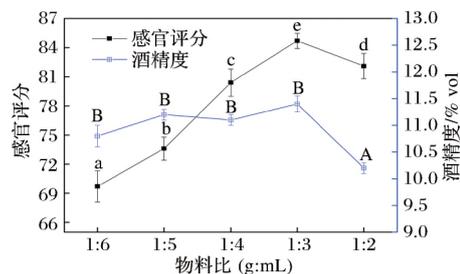


图 1 物料比对红豆米酒感官评分的影响

Fig. 1 Effect of material ratio on sensory evaluation of red bean rice wine

不相同字母表示差异显著 ($p < 0.05$), 下同。

2.1.2 料液比对红豆米酒感官评分的影响

由图 2 可知,当料液比在 1:1.5~1:2.5 (g:mL) 范围内时,红豆米酒的酒精度和感官评分随着纯净水比例的升高而升高,酒精度最高为 (11.1 ± 1.0) % vol,对应的感官评分也达到最高,为 (80.4 ± 1.4) 分;当料液比继续增大时,易出现红豆米酒酒精体积分数偏低、风味较差的现象。因此选择料液比为 1:2.0、1:2.5、1:3.0 (g:mL) 用于后续试验。

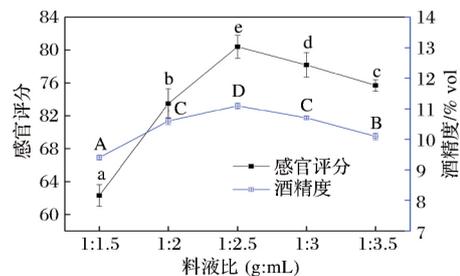


图 2 料液比对红豆米酒感官评分的影响

Fig. 2 Effect of material/water ratio on sensory evaluation of red bean rice wine

2.1.3 接种量对红豆米酒感官评分的影响

由图 3 可知,当接种量在 2.0% 范围内变化时,随着接种量的逐渐增加,红豆米酒的酒精度与感官评分也随之增加。接种量偏低时,原料不易完全发酵,造成发酵液酒精体积分数偏低及酒香不突出等现象。当接种量达到 2.0% 时,红豆米酒的感官评分为 (83.7 ± 1.3) 分;当接种量继续增加时,酒精度虽有升高但容

易造成酒醅发酵过快、酒体发苦的不良现象。故酿造红豆米酒较佳的接种量为 1.5% ~ 2.5%。

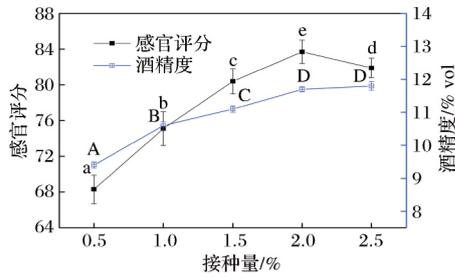


图3 接种量对红豆米酒感官评分的影响

Fig. 3 Effect of inoculums concentration on sensory evaluation of red bean rice wine

2.1.4 发酵温度对红豆米酒感官评分的影响

由图4可知,发酵温度在 26 ~ 34 °C 变化时,红豆米酒的酒精度变化不显著 ($p > 0.05$)。酿造红豆米酒较佳的发酵温度为 30 °C,红豆米酒的感官评分达到了 (80.4 ± 1.4) 分。当温度低于 30 °C 时,生料曲中的相关酶类不能充分发挥其作用,使得酒体风格欠佳;当温度为 34 °C 时,虽然缩短了红豆米酒的酿造时间,但红豆米酒的酒香与粮香不明显。因此选择发酵温度为 28 ~ 32 °C 用于后续试验。

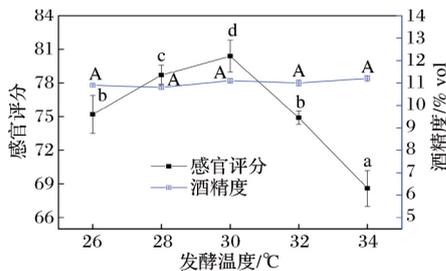


图4 发酵温度对红豆米酒感官评分的影响

Fig. 4 Effect of fermentation temperature on sensory evaluation of red bean rice wine

2.2 响应面法试验

通过响应面法对物料比、料液比、接种量、发酵温度 4 个因素分析得到以下试验方案及结果见表 2。

通过 Design-Expert 8.0.6 软件对表 2 的数据进行分析,得到结果如表 3 所示。由表 3 可知:接种量对红豆米酒感官评分影响极为显著 ($p < 0.01$),物料比、料液比及发酵温度对红豆米酒感官评分影响显著 ($p < 0.05$)。以红豆米酒感官评分为响应值,经回归拟合后,得到回归方程:

$$\text{红豆米酒感官评分} = 89.30 + 0.71A + 0.83B + 2.55C - 0.91D - 0.83AB + 1.43AC + 1.43AD - 0.18BC - 1.75BD + 0.55CD - 1.45A^2 - 0.56B^2 - 4.26C^2 - 2.67D^2$$

表 2 响应面试验设计及结果

Table 2 Experimental design and results for response surface analysis

序号	物料比 (A)	料液比 (B)	接种量 (C)	发酵温度 (D)	感官评分/分
1	1	0	0	1	86.8 ± 1.7
2	-1	0	0	1	82.8 ± 1.4
3	0	1	0	-1	88.0 ± 1.1
4	0	0	0	0	89.4 ± 0.7
5	1	0	0	-1	85.5 ± 1.0
6	0	0	0	0	89.8 ± 0.9
7	0	0	0	0	89.0 ± 1.6
8	0	-1	0	1	87.5 ± 1.4
9	0	1	0	1	84.6 ± 1.2
10	0	0	1	1	83.4 ± 1.2
11	-1	0	-1	0	81.2 ± 0.8
12	0	-1	1	0	86.0 ± 1.3
13	-1	1	0	0	88.3 ± 1.1
14	0	0	0	0	88.2 ± 1.2
15	1	1	0	0	87.6 ± 1.7
16	0	0	-1	-1	81.8 ± 1.9
17	-1	0	0	-1	87.2 ± 1.2
18	0	0	0	0	90.1 ± 1.5
19	0	0	1	-1	86.3 ± 1.4
20	0	-1	0	-1	83.9 ± 1.1
21	-1	-1	0	0	84.7 ± 0.7
22	0	-1	-1	0	81.3 ± 1.3
23	0	1	-1	0	84.1 ± 1.4
24	1	0	1	0	88.7 ± 1.8
25	0	0	-1	1	76.7 ± 1.0
26	1	0	-1	0	80.5 ± 0.9
27	1	-1	0	0	87.3 ± 1.2
28	0	1	1	0	88.1 ± 1.7
29	-1	0	1	0	83.7 ± 1.4

表 3 方差分析

Table 3 Analysis of variance for the fitted regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	p 值	显著性
模型	279.13	14	19.94	17.09	<0.000 1	显著
A	6.02	1	6.02	5.16	0.039 4	
B	8.33	1	8.33	7.14	0.018 2	
C	78.03	1	78.03	66.87	<0.000 1	
D	9.90	1	9.90	8.49	0.011 3	
AB	2.72	1	2.72	2.33	0.148 9	
AC	8.21	1	8.12	6.96	0.019 5	
AD	8.21	1	8.12	6.96	0.019 5	
BC	0.12	1	0.12	0.10	0.750 7	
BD	12.25	1	12.29	10.50	0.005 9	
CD	1.21	1	1.21	1.04	0.325 8	
A ²	13.56	1	13.56	11.62	0.004 2	
B ²	2.02	1	2.02	1.73	0.209 2	
C ²	117.62	1	117.62	100.80	<0.000 1	
D ²	46.27	1	46.27	39.65	<0.000 1	
残差	16.34	14	1.17			
失拟项	14.14	10	1.41	2.57	0.188 1	不显著
纯误差	2.20	4	0.55			
总离差	295.47	28				

根据表 3 中方差分析结果,红豆米酒感官评分的

回归方程描述与响应面值之间的关系模型显著 ($p < 0.05$), 且失拟项检验不显著 ($p > 0.05$), 表明该试验模型充分拟合试验数据。红豆米酒感官评分的回归方程是红豆米酒感官评分与红豆米酒酿造工艺各参数的合适数学模型, 即可以利用此回归方程确定红豆米酒酿造的最佳工艺。

响应面图形是响应值对各试验因子所构成的三维空间的曲面图, 从响应面分析图上可形象地看出最佳参数及各参数之间的相互作用^[21]。根据红豆米酒感官评分回归方程得出不同因子的响应面分析图结果见图 5。由图 5 可较直观地看出各因素交互作用对红豆米酒感官评分的影响, 若曲线越陡峭, 则表明该因素对红豆米酒感官评分的影响越大^[22]。从图 5 可以看出因子 C(接种量) 对红豆米酒感官评分的影响最大, 因子 D(发酵温度) 次之, 与表 3 方差分析结果相吻合。

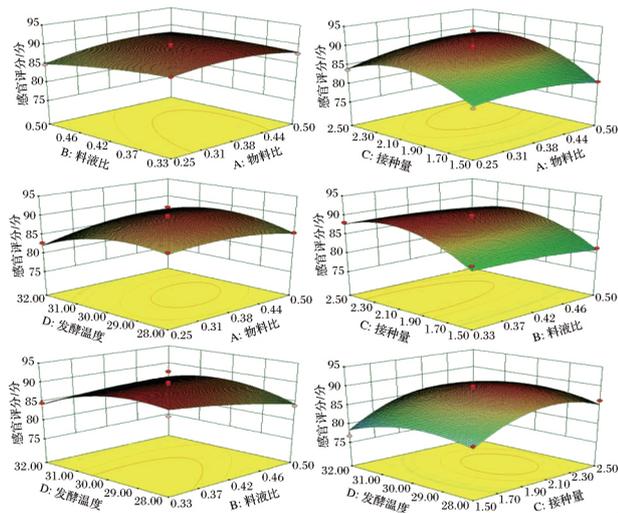


图 5 各因素的交互作用对感官评分影响的响应面图

Fig. 5 The response surface of interaction among four factors on the sensory score

通过软件分析确定红豆米酒的最佳酿造工艺为物料比(红豆:红米) 1:2.86(g:g)、料液比 1:3.03(g:mL)、接种量 2.11% 及发酵温度 28.94 °C, 此条件下由公式算出的理论值为 90.54 分。根据所得的分析数据进行 3 组验证实验, 验证实验的条件为物料比(红豆:红米) 1:2.9(g:g)、料液比 1:3(g:mL)、接种量 2.1% 及发酵温度 29 °C, 得到红豆米酒的感官评分为 90.9 分, 测定结果稳定, 偏差不大, 证明该结果合理可靠。

2.3 理化指标分析

经测得红豆米酒在最佳酿造工艺条件下的还原糖为 3.42 g/100g、酒精度 12.1% vol 及总酸 0.73 g/100g。3 种理化指标均符合中华人民共和国 NY/T 1885—2010 标准。

3 结论

在单因素试验的基础上用响应面法对红豆米酒的酿造工艺条件进行了优化, 影响红豆米酒感官评分的工艺因素按主次顺序排列为接种量 > 发酵温度 > 料液比 > 物料比。最终确定了其最优工艺条件为: 物料比(红豆:红米) 1:2.9(g:g)、料液比 1:3(g:mL)、接种量 2.1% 及发酵温度 29 °C, 此条件下红豆米酒的感官评分为 90.9 分。

参 考 文 献

- [1] 徐向东. 豆类(小红豆、大红豆和荷包豆)淀粉和蛋白质性质的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010.
- [2] 张波, 薛文通. 红小豆功能特性研究进展[J]. 食品科学, 2012, 33(9): 264-266.
- [3] 孟令洁, 任璐, 张锋华, 等. 红豆乳饮料的研制[J]. 食品工业, 2011(6): 73-75.
- [4] 赵翻, 李红良, 伍杏月. 响应面法优化红豆酸奶发酵工艺的研究[J]. 中国食品添加剂, 2012(4): 107-112.
- [5] 李南薇, 李燕杰, 朱艺通. 凝固型红豆颗粒酸奶的研制[J]. 中国乳品工业, 2011, 39(3): 62-64.
- [6] 王巍杰, 田亚红. 红豆米酒加工工艺的研究[J]. 中国酿造, 2009(10): 164-165.
- [7] 李向东, 周向荣. 红豆风味调味乳的研制[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(12): 116-118.
- [8] 于章龙, 段欣, 武晓娟. 红小豆功能特性及产品开发现状[J]. 食品工业科技, 2011, 32(1): 360-363.
- [9] 王丹丹. 红豆丹贝的研制及生理活性物质的研究[D]. 晋中: 山西农业大学, 2013.
- [10] 黄平, 刘义刚, 余明华, 等. 生料酿酒技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001.
- [11] 王瑛, 喻恩森, 张捷, 等. 玉米生料酿酒工艺优化及设备选型的研究[J]. 湖北农业科学, 2014(21): 5230-5233.
- [12] 高阳, 谢立娜. 高粱生料酿酒工艺探讨[J]. 科技与企业, 2015(17): 172.
- [13] 孙志栋, 许丽娜, 陈国, 等. 生料法黑糯米保健酒酿造工艺的初步研究[J]. 食品科技, 2010, 35(3): 98-103.
- [14] 兰文忠. 生料酿酒工艺相关研究[J]. 中国高新技术企业, 2015(2): 70-71.
- [15] 李聚森, 张爱民, 江军山, 等. 生料酿酒直投复合菌

- 制剂用于生红米酿酒过程中的发酵特性研究[J]. 中国酿造, 2009, 28(1): 93-95.
- [16] 奕水明, 钱文捷, 钱非, 等. 生料酿酒在黄酒生产过程中的研究与应用前景[J]. 酿酒科技, 2016(4): 111-115.
- [17] 王洪, 罗惠波, 廖玉琴, 等. 多粮生料酿酒工艺的研究[J]. 中国酿造, 2017, 36(6): 38-41.
- [18] 中华人民共和国农业部. 绿色食品 米酒: NY/T 1885—2010[S]. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [19] 全国食品工业标准化技术委员会酿酒分技术委员会. 葡萄酒、果酒通用分析方法: GB/T 15038—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [20] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 食品中总酸的测定 GB/T 12456—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [21] 何英霞, 李霁昕, 米兰, 等. 响应面分析 pH 值、温度、SO₂ 对干红葡萄酒中吡喃花色苷 Vitisins 的影响[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(8): 115-120.
- [22] 马瑞雪, 高天, 宋蕾, 等. 响应面法优化调理鸡排水油混合油炸工艺[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(8): 128-134.

Optimization for fermentation of red bean rice wine using response surface methodology

HUANG Yi-yang¹, LIU Kun-yi¹, WANG Qi¹, ZOU Wei²

1(Wuliangye Technical College, Yibin Vocational and Technical College, Yibin 644003, China)

2(Sichuan University of Science & Engineering School of Bioengineering, Zigong 643000, China)

ABSTRACT Using uncooked *Qu* as saccharification and fermentation starter, Baijiu was produced with uncooked red bean and rice as raw materials. Based on the single-factor tests, the impacts of ratio of red bean to rice, ration of material to water, inoculums concentration, and fermentation temperature on sensory score were investigated. The corresponding mathematical models were established by Box-Behnken design. The results showed that the optimal fermentation conditions were determined as follows: material ratio of 1:2.9 (g:g), material/water ratio of 1:3 (g:mL), inoculums concentration of 2.1% and fermentation temperature of 29 °C. Under the optimized conditions, the sensory evaluation of red bean rice wine was 90.9.

Key words red bean rice wine; liquor-making with uncooked materials; response surface methodology; fermentation conditions