

响应面法优化紫甘薯发酵酒的工艺条件

于聪¹, 李艳^{1,2,*}

(1. 河北科技大学 生物科学与工程学院, 河北 石家庄 050018; 2. 河北省发酵工程技术研究中心, 河北 石家庄 050018)

摘要:以冀紫甘薯2号为原料,经双酶法水解淀粉制得糖液,酵母菌进行酒精发酵制得口感醇厚、色泽紫红鲜亮的紫甘薯发酵红酒。采用单因素和 Box-Behnken 响应面试验设计优化紫甘薯红酒发酵的工艺条件。结果表明:接种安琪酵母 2×10^6 个/mL, pH 4.0, 24 ℃发酵 10 d, 得到酒精度为 12.2 % vol, 颜色鲜艳呈紫玫瑰色、透明度好、带有紫甘薯香味、酸度适中、酒体协调、余味悠长的紫甘薯发酵红酒。为紫甘薯新品种的扩大种植和深加工奠定理论基础。

关键词:紫甘薯; 发酵酒; 工艺条件; 响应面; 优化试验

Optimization Conditions of Purple Sweet Potato Fermented Wine by Response Surface Methodology

YU Cong¹, LI Yan^{1,2,*}

(1. College of Bioscience and Bioengineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, Hebei, China; 2. Hebei R & D Center for Fermentation Engineering, Shijiazhuang 050018, Hebei, China)

Abstract: Ji zi no. 2 purple sweet potato was used as materialin and the sugar solution was prepared by double enzymatic hydrolysis of starch, and then fermented by yeast. The color of red wine was bright purple and tasting rich. Single factor and box-behnken response surface experiment were used to design and optimize the fermentation conditions of purple sweet potato red wine. The best fermentation condition was adding 2×10^6 cells/mL Anqi yeast into the must, and fermented at 24 ℃ for 10 days with pH 4.0. In the purple sweet potato fermented red wine, the alcohol content was 12.2 % vol, the color was bright purple rose, transparency, with purple sweet potato flavor, with moderate acidity, harmonious body and long aftertaste. It laid a theoretical foundation for the expansion and deep processing of new purple sweet potato varieties.

Key words: purple sweet potato; fermented wine; process conditions; response surface; optimization test

引文格式:

于聪, 李艳. 响应面法优化紫甘薯发酵酒的工艺条件[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(11): 133-140

YU Cong, LI Yan. Optimization Conditions of Purple Sweet Potato Fermented Wine by Response Surface Methodology[J]. Food Research and Development, 2019, 40(11): 133-140

紫甘薯属甘薯类植物, 又名紫薯、山川紫^[1-2], 我国广为种植^[3], 因土壤差异和栽培条件不同, 形态和成分也不同^[4-7]。紫甘薯富含丰富的花青素类功能物质和膳

食纤维, 日益成为大众追捧的健康饮食, 深加工产品开发日渐深入^[8-10]。目前利用紫甘薯开发的深加工产品有速溶紫甘薯粉、红薯啤酒、红薯葡萄酒等^[11]。

冀紫薯2号是河北省农林科学院粮油作物研究所选育的紫甘薯新品种, 本研究以此为原料, 通过单因素和 Box-Behnken 响应面试验优化紫甘薯酒的发酵工艺条件, 酿造紫甘薯发酵酒, 为紫甘薯新品种的深加工奠定应用基础, 扩大工业开发价值和市场潜能。

作者简介: 于聪(1995—), 女(汉), 在读硕士研究生, 研究方向: 传统发酵工程创新技术研究、酒类酿造。

* 通信作者: 李艳(1958—), 女, 教授, 研究方向: 传统发酵工程创新技术研究、酒类酿造。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器设备

紫甘薯-冀紫薯 2 号:河北省农林科学院粮油作物研究所; α -淀粉酶(883 U/g)、糖化酶(100 000 U/g):上海宝曼生物科技有限公司;葡萄糖、没食子酸:天津市红岩化学试剂厂;氢氧化钠:天津市福晨化学试剂厂;石油醚:天津市津东天正精细化学试剂厂;酒石酸钾钠、柠檬酸:天津市永大化学试剂有限公司;苯酚:天津市标准科技有限公司,以上试剂均为分析纯。商用活性干酵母(安琪、SC、F15):北京赛普瑞森技术有限公司。试验中用到的仪器与设备见表 1。

表 1 试验仪器设备表

Table 1 Table of experimental equipments

仪器设备名称-型号	生产厂家
DY-D2 电热恒温水浴锅	上海胜启仪器仪表有限公司
GT-21097-5024 酶标仪	美国伯腾仪器有限公司
SW-CJ-2FD 洁净工作台	苏净集团苏州安泰空气技术有限公司
DELTA320 pH 计	梅普勒-托利多仪器有限公司
QL-901 振荡器	海门市其林贝尔仪器制造有限公司
LRH-250 生化培养箱	上海-恒科学仪器有限公司
AR1140 电子分析天平	奥豪斯国际贸易(上海)有限公司
ZHWY-2102 恒温培养振荡器	上海智城分析仪器制造有限公司

1.2 试验方法

1.2.1 紫甘薯酒酿造工艺流程

新鲜紫甘薯清洗→剔除霉斑→煮熟→加热水打浆→淀粉液化→调节 pH 值,糖化→调节 pH 值,接种酵母→发酵→陈酿→澄清处理→过滤→紫甘薯酒

1.2.2 紫甘薯酒酿造工艺说明

原料预处理:新鲜紫甘薯清洗后剔除霉斑,取样检测各种基础理化数据,包括:水分、淀粉、总糖、还原糖、滴定酸、粗脂肪、粗蛋白、花色苷和总酚等。

煮熟、打浆:新鲜紫甘薯切片 1 cm 厚,常压蒸煮 40 min,出锅后添加预先加热到 90 ℃以上热水,料液比 1:5 (g/mL),打浆搅拌均匀。

淀粉液化和糖化:紫甘薯淀粉的液化和糖化采用耐高温 α -淀粉酶和糖化酶。淀粉酶加量 2 U/g 原料,于 92.5 ℃液化 75 min;糖化酶加量 400 U/g 原料,调 pH 4.5,于 50 ℃糖化 50 min,制得紫甘薯糖液。

紫甘薯酒发酵:调整紫甘薯糖液的糖含量至 220 g/L, pH 4.0,接种酵母菌进行控温发酵制得紫甘薯发酵原酒。

陈酿、澄清、过滤:主发酵结束后,经 1 个月左右后发酵,虹吸法倒罐去除酵母泥和沉淀物得到紫甘薯原酒。将原酒置于温度恒定在 14 ℃~15 ℃的地下室陈酿

半年,虹吸取上清液,加明胶澄清,经过滤后得到紫甘薯发酵酒。

1.2.3 紫甘薯酒发酵工艺单因素试验

酵母菌种选择:紫甘薯糖液调 pH 4.0,分别接种安琪、SC 和 F15 酿酒酵母,接种量 2×10^6 个/mL,控制 28 ℃发酵,以 CO₂ 生成量和残糖含量为评价指标,选择发酵速度快的菌种。

再以选定的酵母菌进行发酵条件的单因素试验,以 CO₂ 生成量、糖含量和酒精度为评价指标。紫甘薯糖液调 pH 4.0,分别固定发酵温度 24 ℃,酵母接种量 2×10^6 个/mL,发酵时间 10 d,分组试验的变量分别为:酵母接种量 1×10^6 、 2×10^6 、 3×10^6 、 4×10^6 、 5×10^6 (个/mL);发酵温度:16、20、24、28、32 ℃;发酵时间 6、7、8、9、10、11 d。

1.2.4 响应面试验设计优化发酵条件

在单因素试验基础上,采用 Box-Behnken 响应面设计法^[12-15]优化紫甘薯酒发酵工艺条件,以酒精度为评价指标,选择酵母接种量、发酵温度、发酵时间 3 个因素,因素水平表见表 2。

表 2 紫甘薯发酵响应面试验因素水平表

Table 2 Table of purple sweet potato fermentation response surface factor level

水平	因素		
	A 接种量/($\times 10^6$ 个/mL)	B 发酵温度/℃	C 发酵时间/d
-1	1	20	8
0	2	24	10
1	3	28	12

1.2.5 检测方法

水分:称重法,清洗好的紫甘薯称重后放入 55 ℃烘箱烘干,恒重后再称重。

$$\text{水分}/\% = (A_2/A_1) \times 100$$

式中: A_1 为样品烘干前的总重量,g; A_2 为样品烘干后的净重量,g。

酒精度:比重计法^[16],取 50 mL 发酵后的酒样和 50 mL 去离子水于蒸馏瓶中,取 50 mL 蒸馏液,测定其酒精度。

CO₂ 生成量:称重法。对应每个发酵罐,取 250 mL 三角瓶 2 只,装液量 100 mL,安装呼吸阀,只有 CO₂ 逸出,接种酵母菌为发酵 0 时,每天称重 1 次~2 次,直到发酵结束,计算 CO₂ 生成量。

淀粉:GB/T 5009.9-2016《食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》中酸水解法^[17]。

总糖:GB/T 15672-2009《食用菌中总糖含量的测定》中苯酚硫酸法。

还原糖:GB/T 15038-2006《葡萄酒、果酒通用分析

方法》中的斐林试剂滴定法。

粗脂肪: 索氏抽提法^[18]。

粗蛋白: GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中第二法。

滴定酸: GB/T 15038-2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》中 pH 计法^[19-20]。

花色苷: pH 示差法^[21-22], 吸取酒样 1 mL, 分别加入 12 mL pH 1.0 的缓冲溶液、12 mL pH 4.5 的缓冲溶液, 避光放置 15 min, 在 520 nm 和 700 nm 波长处测定吸光度。根据以下公式计算花色苷总量。

$$X \text{ 总花色苷含量}/(\text{mg/L}) = \frac{A \times M \times 25}{\varepsilon} \times 1\,000$$

式中: X 为总花色苷含量, mg/L; A 为 $(A_{520} - A_{700})_{\text{pH}1.0} - (A_{520} - A_{700})_{\text{pH}4.5}$; M 为 449.2 g/mol; ε 为摩尔消光系数 $[\text{L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})]$, 26 900。

色度和色调: 分光光度计法^[23]; 检测样品 420 nm (A_1)、520 nm (A_2)、620 nm (A_3) 时的吸光度。

$$\text{色度} = A_1 + A_2 + A_3$$

$$\text{色调} = A_1/A_2$$

1.2.6 紫甘薯酒感官评价

紫甘薯酒的感官测评参照 GB/T 15038-2006《葡萄酒、果酒通用的分析方法》。组织具有一定品酒技能和知识的 8 个人进行品尝, 从色泽、香气、口感、组织形态 4 个方面进行描述评价。感官品评表见表 3。

1.2.7 重复试验和数据处理

所有试验均为 3 次以上重复。线性方程、重复性

表 3 紫甘薯酒感官评价打分表

Table 3 Purple sweet potato wine sensory evaluation score sheet

项目	感官评分标准	级别	分值
色泽 20 分	颜色鲜艳成紫玫瑰色、透明度好	优	8~10
	颜色较深, 色泽不均一, 浑浊	中	5~7
	颜色较浅, 色泽发暗, 浑浊	差	0~4
香气 30 分	无薯味且具有酿造特有酒香味	优	25~30
	稍有薯味、酒香气浓度恰当	中	19~24
	薯味太浓, 无酒香气	差	15~18
口感 30 分	酸甜适中, 口感细腻	优	35~40
	酸度低、饮后唇齿留有香气, 没有不愉快的刺激感	中	28~34
	无味或者有异味	差	20~27
组织形态 20 分	酒体协调, 组织均一	优	17~20
	有少量沉淀	中	13~16
	含有大量沉淀	差	9~12

和准确性试验的数据均由 Excel 2010 计算得出; 采用 Design-Expert 6.0.10 软件进行响应面试验设计, Origin 8.5 软件作图, Spss 17.0 统计分析软件进行数据处理, 应用单因素方差分析 (One-way ANOVA) 和邓肯法 (Duncan's) 差异分析。

2 结果与分析

2.1 原料成分分析

冀紫薯 2 号紫甘薯是河北省农林科学院粮油作物研究所选育的紫甘薯新品种, 相关理化指标检测数据见表 4。

表 4 冀紫薯 2 号理化指标检测数据表

Table 4 Table of ji zi no. 2 purple sweet potato's physical and chemical indicators test data

水分/%	粗脂肪/%	淀粉/%	粗蛋白/%	总酚(以没食子酸计)/%	花色苷/%	还原糖/%	总酸(以酒石酸计)/%
76.15	10.52	7.21	1.85	2.63	0.08	1.04	0.37

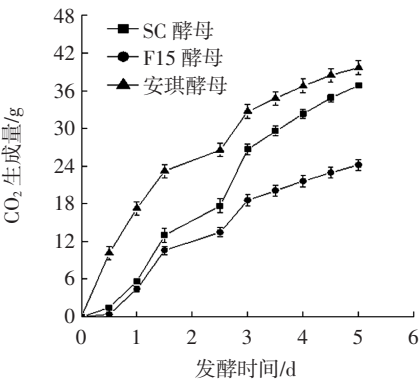
由表 4 数据分析, 冀紫薯 2 号的淀粉含量占原料干物质的 30.23 %, 淀粉经蒸煮, 加水 and 加酶水解后得到糖, 糖是发酵酒的物质基础, 本研究经双酶法水解后的糖液含可发酵性糖 42.6 g/L, 为了酿造酒精度 12 % vol 以上的发酵型紫甘薯酒, 在接种酵母菌前添加蔗糖, 调整糖含量至 220 g/L。紫甘薯花色苷和总酚分别占干物质的 3.35 % 和 11.03 %, 经发酵保留到酒中赋予紫甘薯酒抗氧化、降血糖、改善肝功能、防癌等保健功能^[24]和鲜艳的色泽外观。粗脂肪和粗蛋白在水解和发酵过程中都会发生一定程度的水解, 在陈酿和澄清时需予以去除。

2.2 紫甘薯酒发酵工艺条件单因素试验结果

2.2.1 酵母菌种的确定

各种酵母菌的发酵条件有一定差异, 以 CO₂ 生成

量和残糖检测值为评价指标, 选择发酵时间短、降糖速率快, 酒颜色好的酵母菌种进行紫甘薯酒的发酵, 结果见图 1。



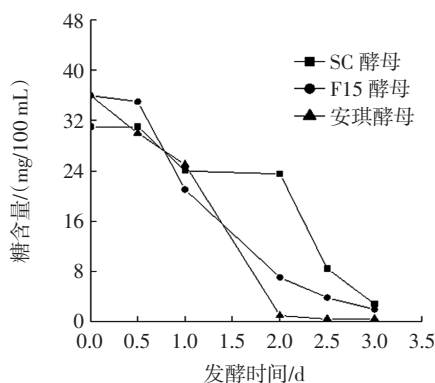


图1 酵母菌种选择

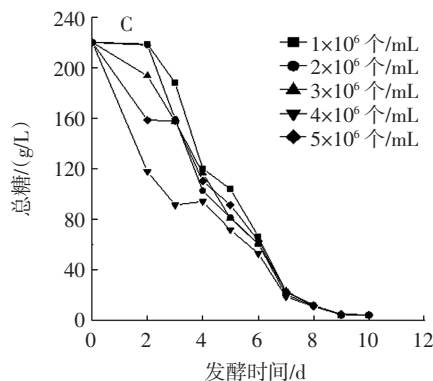
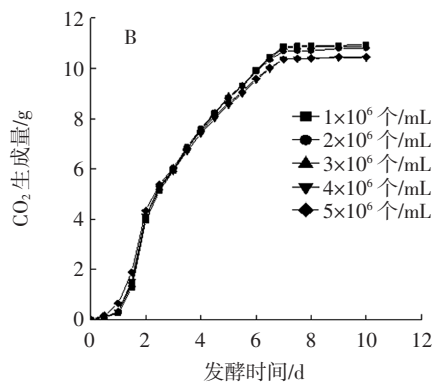
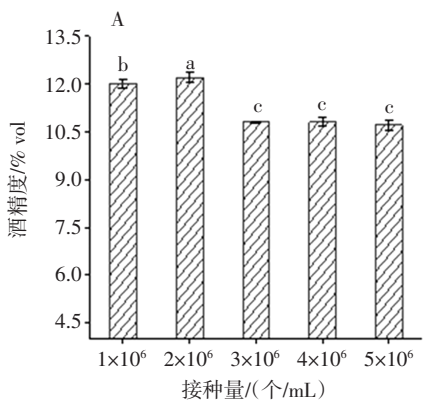
Fig.1 Selected yeast strains

由图1可见,在相同时间内,安琪酵母的 CO_2 释放量比SC和F15酵母菌的多,降糖速率也快。 CO_2 是酒精发酵的副产物,与酒精相伴而生。降糖速率快说明酵母菌的发酵和原料转化能力强,在 28°C 条件下安琪酵母2d已经将糖降至接近于零,比另外两株酵母菌达到相同情况快20多个小时,虽然发酵时间太短或许会使酿造的酒口感粗糙,但可以通过适当降低发酵温度,延长发酵时间促成风味物质的生成。

2.2.2 酵母接种量对发酵的影响

以安琪酵母发酵紫甘薯酒,5个不同接种量的发酵试验结果如图2,方差分析见表5。

利用spss软件,以5组接种量每组3个平行作为



不同小写字母代表差异显著。

图2 酵母接种量对紫甘薯酒发酵的影响

Fig.2 Effect of yeast inoculum on fermentation of purple sweet potato wine

表5 酵母接种量方差分析结果

Table 5 Variance analysis of yeast inoculation amount

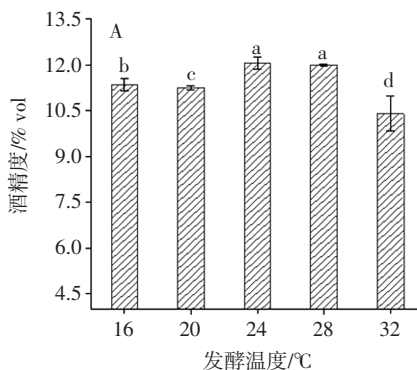
	平方和	df	均方	F	显著性
组间	6.480	4	1.620	202.500	0.000
组内	0.080	10	0.008		
总数	6.560	14			

因子,酒精度作为评判指标进行了单因素ANOVA,分析结果如表5, $P=0.000<0.05$ (显著性水平在0.05)显著;多重比较检验的结果如图2A。由图2可知,酵母菌接种量为 2×10^6 个细胞/mL时,酒精度最高,达到12.2 % vol,且 CO_2 生成量最多,降糖速率也最快, 24°C 发酵10d时,残糖几乎为零。一般情况下,在发酵温度固定时,随着接种量加大,发酵速率也加快。但在液体糖含量一定时,接种量过大,酵母生长和生存所需物质增加,造成酒精生成量降低,所以最优酵母接种量取 2×10^6 个/mL。

2.2.3 温度对发酵的影响

发酵温度影响酵母的生长速度和酒精生成,温度对紫甘薯酒发酵的影响见图3,方差分析见表6。

利用spss软件,以5组发酵温度每组3个平行作



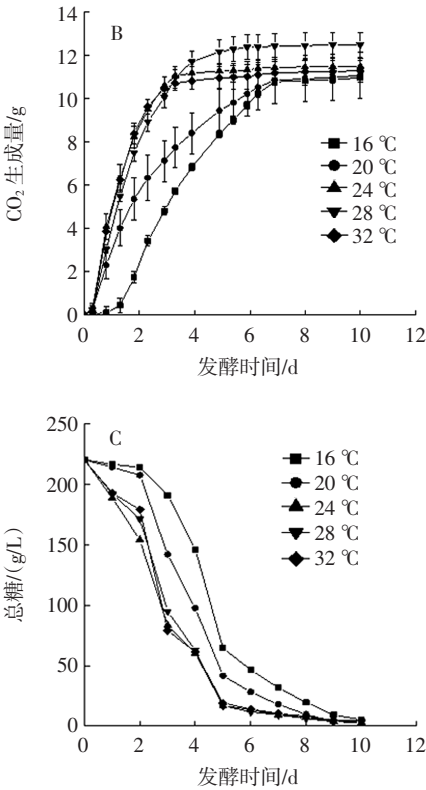


图3 温度对紫甘薯酒发酵的影响
Fig.3 Effect of temperature on fermentation of purple sweet potato wine

表6 发酵温度方差分析结果

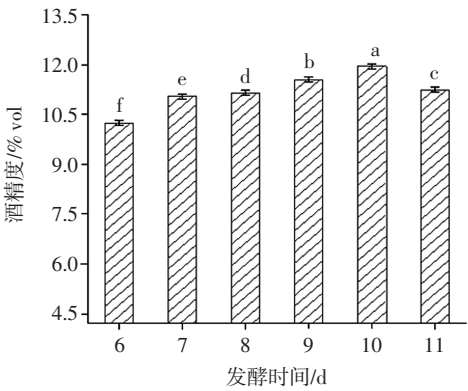
Table 6 Results of variance analysis of fermentation temperature					
	平方和	df	均方	F	显著性
组间	5.421	4	1.355	32.657	0.000
组内	0.415	10	0.042		
总数	5.836	14			

为因子,酒精度作为评判指标进行了单因素 ANOVA,分析结果如表 6, $P=0.000<0.05$ (显著性水平在 0.05)显著;多重比较检验的结果如图 3A。由图 3 可知,发酵温度低于 24 °C 时,发酵液启酵慢,发酵时间长,酒度低;发酵温度高于 28 °C,酵母菌的降糖速率过快,发酵剧烈,酵母菌衰老也快,最终生成的酒度低。24 °C 发酵时,酒精产生量最大,发酵和降糖速率适宜,所以最优发酵温度为 24 °C。

2.2.4 发酵时间的影响

在确定的发酵温度和酵母接种量条件下,发酵时间对紫甘薯酒精度的影响如图 4,方差分析见表 7。

利用 spss 软件,以 6 组发酵时间每组 3 个平行作为因子,酒精度作为评判指标进行了单因素 ANOVA,分析结果如表 7, $P=0.000<0.05$ (显著性水平在 0.05)显



不同小写字母代表差异显著。
图4 发酵时间对紫甘薯酒酒度的影响
Fig.4 Effect of time on fermentation of purple sweet potato wine

表7 发酵时间方差分析结果

Table 7 Results of variance analysis of fermentation time					
	平方和	df	均方	F	显著性
组间	4.851	5	0.970	384.670	0.000
组内	0.030	12	0.003		
总数	4.881	17			

著;多重比较的结果如图 4。由图 4 可知,在酵母接种量固定 2×10^6 个细胞/mL,24 °C 发酵时,随着发酵时间延长,酒度提高,总糖降低,超过 10 d 后,发酵液中可利用的糖耗尽,安琪酵母开始利用发酵产物—酒精为碳源来维持自身的生长和繁殖,从而使酒精度降低^[25]。因此,选择发酵时间 10 d 进行下一步的优化。

2.3 响应面试验优化发酵工艺条件

在单因素试验结果基础上,通过 Design-Expert 6.0.10 软件设计 Box-Behnken 响应面试验,以酒精度为评价指标,结果见表 8。

表8 紫甘薯发酵响应面设计及结果
Table 8 Design and results of response surface for fermentation purple sweet potato

组数	A	B	C	酒精度/% vol
1	1×10^6	20	10	9.77
2	2×10^6	24	10	12.45
3	1×10^6	24	8	10.67
4	2×10^6	24	10	12.34
5	2×10^6	20	12	10.79
6	2×10^6	28	12	10.80
7	3×10^6	24	8	11.38
8	2×10^6	24	10	12.34
9	2×10^6	20	8	9.65
10	2×10^6	28	8	11.13

续表 8 紫甘薯发酵响应面设计及结果

Continue table 8 Design and results of response surface for fermentation purple sweet potato

组数	A	B	C	酒精度/% vol
11	2×10^6	24	10	12.34
12	1×10^6	24	12	9.62
13	2×10^6	24	10	12.34
14	3×10^6	24	12	10.33
15	3×10^6	20	10	10.77
16	1×10^6	28	10	10.77
17	3×10^6	28	10	9.58

2.3.1 响应面回归分析

对表 8 的试验结果,采用试验因素的相关性来解释,试验的误差越小越好,用方差分析评价结果的显著性,见表 9。

表 9 回归模型的方差分析

Table 9 Analysis of variance of regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	15.70	9	1.74	7.00	0.008 9	**
A	0.19	1	0.19	0.76	0.412 6	
B	0.21	1	0.21	0.85	0.387 9	
C	0.21	1	0.21	0.83	0.391 4	
AB	1.20	1	1.20	4.81	0.064 4	
AC	0.000	1	0.000	0.000	1.000 0	
BC	0.54	1	0.54	2.17	0.184 5	
A ²	5.24	1	5.24	21.04	0.002 5	**
B ²	4.41	1	4.41	17.69	0.004 0	**
C ²	2.34	1	2.34	9.40	0.018 2	*
残差	1.75	7	0.25			
失拟项	1.74	3	0.58	239.03	<0.000 1	**
纯误差	$0.009\ 680 \times 10^{-3}$	4	2.420×10^{-3}			
总和	17.45	16				

注:* $P < 0.05$,差异显著;** $P < 0.01$,差异极显著。

通过软件分析,得到接种量(A)、发酵温度(B)、发酵时间(C)3个自变量对紫甘薯酒酒度的动态参数方程:

$$\text{酒精度}/(\% \text{ vol}) = 12.36 + 0.15A + 0.16B - 0.16C - 0.55AB - 0.37BC - 1.12A^2 - 1.02B^2 - 0.75C^2$$

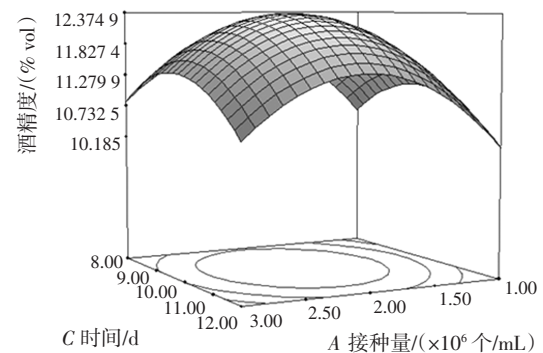
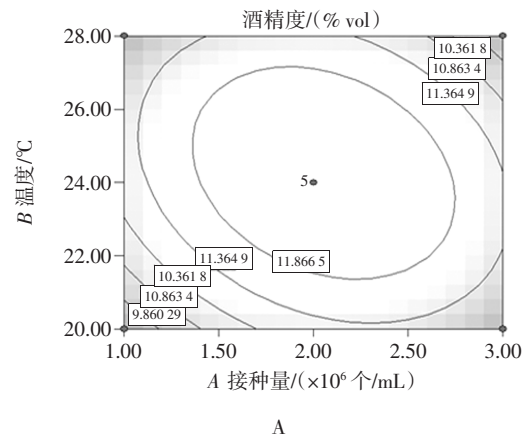
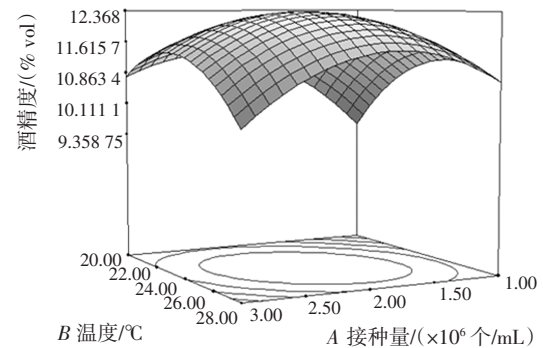
回归模型的有效性指 F 检验,包括失拟性检验和回归方程显著性检验^[26]两部分。回归模型的系数反映显著性。表 6 回归模型方差分析可见:模型显著性检验 $P = 0.008\ 9 < 0.05$,说明该模型具有统计学意义。自变量二次项 A^2 ($P = 0.002\ 5$)、 B^2 ($P = 0.004\ 0$)、 C^2 ($P = 0.018\ 2$) 均低于 0.05 说明显著,二次项 AB 不显著 ($P = 0.064\ 4 >$

0.05);所用模型与实验拟合的程度用失拟项说明,即二者差异的程度,因为失拟项 $P < 0.0001$ 表示极显著,没有失拟因素存在,所以对模型有利,因此,可用该回归方程对试验结果进行分析。该方程的决定系数 $R^2 = 0.900\ 0$,变异系数(C.V.)4.54,说明建立的模型能解释响应值变化的 90.00%,模型的拟合程度较好,所以模型是合适的。

2.3.2 各因素交互作用的 3D 响应面图和等高线图

响应面图形是响应值对各试验因素 A、B、C 所构成的三维空间立体曲面图,从响应面 3D 图上可直观形象地看出最佳参数及各参数之间的相互作用^[27]。不同因素的响应面 3D 图及相应等高线图见图 5。

由图 5 可较直观地看出各因素交互作用对紫甘薯酒酒度的影响:由接种量和温度交互作用的影响,紫



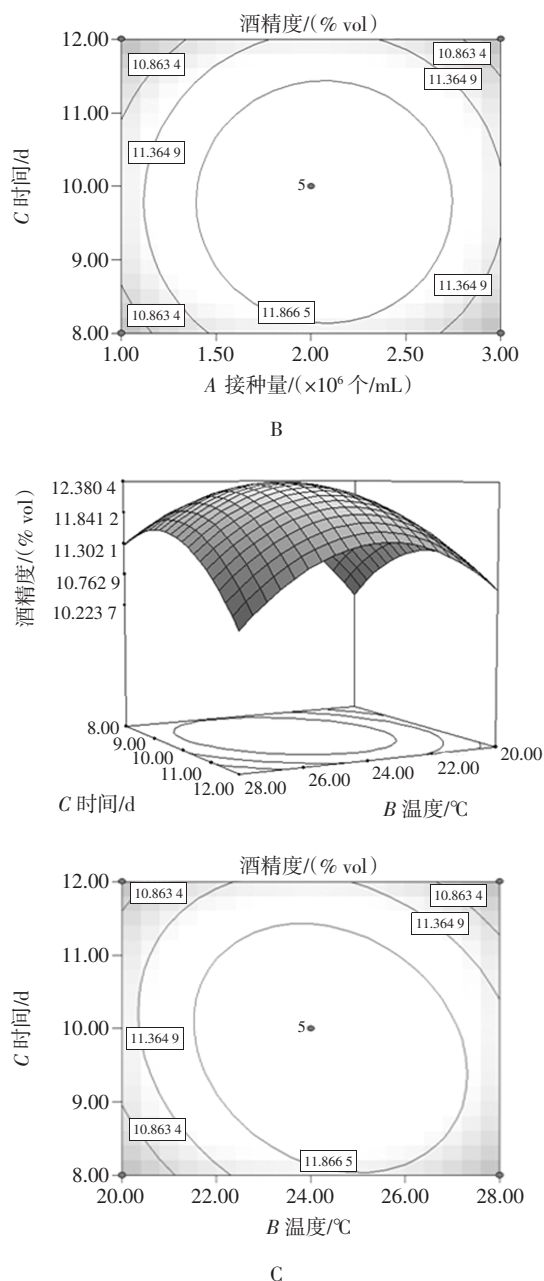


图5 两因素交互作用对紫甘薯酒酒精度高低的影响

Fig.5 The influence of the interaction of two factors on the quality of purple sweet potato wine

甘薯酒酒精度先升高后下降(图5A);因为接种量和时间交互作用的影响,紫甘薯酒酒精度先升高后下降(图5B);又温度和温度交互作用的影响,紫甘薯酒酒精度先升高后下降(图5C);响应值变化的大小^[28]反应等高线的陡峭性,曲线越陡峭,则表明该因素对紫甘薯酒酒精度的影响越大。交互作用的强弱表现为等高线的形状,交互作用显著为椭圆,交互作用不显著为圆形^[29]。接种量和温度交互作用的等高线比接种量和时间、温度和时间交互作用的等高线密集且陡峭,所以接种量和温度对安琪酵母发酵影响较大。

2.3.3 最佳试验条件预测与验证

根据 Design-Expert 软件的分析结果,得到紫甘薯红酒理论预测最佳工艺条件为:接种量 2.05×10^6 个/mL,温度 24.36 $^{\circ}\text{C}$,发酵时间 9.74 d,最终达到的酒精度为 12.38 % vol 对最佳发酵条件进行验证试验,考虑到实际操作条件,将最佳工艺参数修正为:接种量 2×10^6 个/mL,温度 24 $^{\circ}\text{C}$,发酵 10 d,在该条件下进行 3 次平行试验最终测得紫甘薯酒酒度为 12.2 % vol,与预测值接近,拟合试验误差 1.5 %,重复效果较好。

2.4 紫甘薯酒的感官评价

评价一款酒的标准包括:颜色、透明度、香气和风味等方面,本研究的紫甘薯发酵红酒 8 位品评员给出了 84 分的好成绩,他们的评价是:该酒色泽鲜艳,成紫玫瑰红色、透明度好、带有紫甘薯特有的香气,香味和口感醇厚、酸度适中、酒体协调、且余味悠长。

3 结论

经过响应面试验得到冀紫薯 2 号紫甘薯发酵红酒的最佳发酵条件为:接种量 2×10^6 个/mL,温度 24 $^{\circ}\text{C}$,发酵 10 d,紫甘薯酒的酒精度 12.2 % vol。色泽鲜艳成紫玫瑰色、透明度好、带有紫甘薯香味、酸度适中、酒体协调、余味悠长。为该品种的开发应用和推广种植奠定了理论基础。

参考文献:

- [1] 白津榕.紫薯产品的开发研究现状[J].食品工程,2013(4): 17
- [2] 陆国权,邱永军.紫心甘薯红色素提取技术研究[J].天然产物研究与开发,1997,23(1): 105-107
- [3] 刘宜贵,吴松青.美国超短蔓黑红薯新品种[J].北京农业,2002(12): 38
- [4] 陆国权.甘薯重要品质性状的基因型差异及其环境效应研究[D].杭州:浙江大学,2002: 9-44
- [5] Kivuva B M, Githiri S M, Yench G C, et al. Genotype $\times$ environment interaction for storage root yield in sweetpotato under managed drought stress conditions[J]. Journal of Agricultural Science, 2014, 6(10): 1-16
- [6] Niyireeba R T, Ebong C, Lukuyu B, et al. Effects of location, genotype and ratooning on chemical composition of sweetpotato [*Ipomea batatas* (L.) Lam] vines and quality attributes of the roots[J]. Agri-cultural Journal, 2013, 8(6): 315-321
- [7] 李里特.食品原料科学[J].北京:中国农业出版社,2001: 105-107
- [8] 龙德祥,任晓菊,徐海军,等.紫甘薯品种主要性状比较研究[J].现代农业科技,2018(3): 42-43
- [9] 李春寿,黄福灯,阮关海,等.野败籼型三系不育系钱江 1 号 A 的选育[J].杂交水稻,2005,20(3): 14-15
- [10] 中华人民共和国农业部.米质测定方法: NY/T83-2017[S].北京:

- 中国标准出版社,2017
- [11] 王杉,邓泽元,曹树稳.紫薯色素的研究进展[J].粮油食品科技,2004,12(2): 45-46
- [12] 盖钧镒.实验统计方法[M].北京:中国农业出版社,2003: 193-297
- [13] KHAJEH M. Optimization of microwave-assisted extraction procedure for zinc and copper determination in food samples by Box-Behnken design[J].Journal of Food Composition and Analysis,2009,22(4): 343-346
- [14] FERREIRA S L C,BRUNS R E,FERREIRA H S,et al. Box-Behnken design: an alternative for the optimization of analytical methods[J].Analytica Chimica Acta,2007,597(2): 179-186
- [15] DONG Caihong,XIE Xueqing,WANG Xiaoliang,et al.Application of Box-Behnken design in optimisation for polysaccharides extraction from cultured mycelium of Cordyceps sinensis[J].Food and Bioprocess Processing,2009,87(C2): 139-144
- [16] 赵华,陶静.玉米原料酒精浓醪液发酵技术的研究[J].酿酒科技,1998(5): 38-40
- [17] 应桦,宋建群,任自力.不同种植方式马铃薯产量品质的比较分析[J].农技服务,2017,34(13): 2
- [18] 魏永义,尹军杰,张丽.脂肪测定仪测定香肠中脂肪含量的研究[J].肉类工业,2012(3): 15-16
- [19] 王福荣.酿酒分析与检测[M].北京:化学工业出版社,2012: 200-204
- [20] 楚文靖,滕建文.紫甘薯酒发酵工艺条件研究[J].资源开发与市
场,2010,26(8): 686-688
- [21] MATO I, SUÁREZ-LUQUE S, HUIDOBRO J F. A review of the analytical methods to determine organic acids in grape juices and wines[J]. Food Research International,2005,38(10): 1175-1188
- [22] FAN Gongjian,HAN Yongbin,GU Zhenxin. Composition and colour stability of anthocyanins extracted from fermented purple sweet potato culture[J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(8): 1412-1416
- [23] 庄学兰.啤酒色度及其测定方法[J].啤酒科技,2007(2): 37-38
- [24] 楚文靖.紫甘薯酒的加工和抗氧化活性研究[J].酿酒科技,2008(6): 4-7
- [25] 吴素萍.酶解玉米淀粉发酵酒精工艺条件的研究[J].酿酒科技,2007(11): 45-47,50
- [26] 王允祥,吕凤霞,陆兆新.杯伞发酵培养基的响应曲面法优化研究[J].南京农业大学学报,2004,27(3): 89-94
- [27] 闫晗,聂简琪,葛佩富,等.速溶性大豆分离蛋白生产工艺优化[J].大豆科学,2012,31(6): 996-1001
- [28] 赵妍嫣,秦新生,朱圣伟,等.大豆凝集素的超声波辅助提取工艺优化及其性质[J].食品科学,2016,37(10): 34-39
- [29] MURALIDHAR R V,CHIRUMAMILA R R,MARCHANT R,et al.A response surface approach for the comparison of lipase production by Candida cylindracea using two different carbon sources[J]. Bio-chemis-try Engineering Journal,2001,9(1): 17-23

收稿日期:2018-09-19

欢迎订阅 2019 年《食品研究与开发》

《食品研究与开发》是由天津市食品研究所有限公司和天津市食品工业生产力促进中心主办,国内外公开发行的食品专业科技期刊,1980年创刊,半月刊,采用国际流行开本大16开。其专业突出,内容丰富,印刷精美,是一本既有基础理论研究,又包括实用技术的刊物。本刊已被“万方数据库”、“中文科技期刊数据库”、《乌利希期刊指南》、美国《化学文摘》、英国国际农业与生物科学研究中心(CABI)、英国《食品科技文摘》(FSTA)等知名媒体收录,并被列入“中文核心期刊”、“中国科技核心期刊”、RCCSE中国核心学术期刊(A)。主要栏目有:基础研究、应用技术、检测分析、生物工程、专题论述、食品机械等。

本刊国内统一刊号 CN 12-1231/TS;国际刊号 ISSN 1005-6521;邮发代号:6-197。全国各地邮局及本编辑部均可订阅。从本编辑部订阅全年刊物享八折优惠。2019年定价:30元/册,全年720元。

本编辑部常年办理邮购,订阅办法如下:

(1)邮局汇款。地址:天津市静海县静海经济开发区南区科技路9号;收款人:《食品研究与开发》编辑部;邮政编码:301600。

(2)银行汇款。开户银行:工商银行静海支行

账号:0302095119300204171;单位:天津市食品研究所有限公司。

《食品研究与开发》编辑部

www.tjfrad.com.cn

E-mail:tjfood@vip.163.com

电话(传真):022-59525671