

天门冬酒的酿制工艺研究

冶 荣^{1,2}, 马梦璇^{1,2}, 阿曼娜·艾则孜^{1,2}, 秦瑞坪^{1,2}, 范学海^{1,2*}

¹伊犁师范大学生物科学与技术学院, 新疆 伊宁

²新疆伊犁河谷资源植物保护与利用重点实验室, 新疆 伊宁

收稿日期: 2025年4月20日; 录用日期: 2025年5月21日; 发布日期: 2025年5月28日

摘 要

为优化天门冬酒的酿制工艺, 以天门冬、糯米为原料, 采用红曲发酵制备天门冬酒。通过查阅文献, 选取红曲添加量、料液比、发酵时间和发酵温度四个因素进行单因素实验, 基于单因素结果, 采用响应面分析法对三个关键因素进行三因素三水平的优化实验。结果表明, 最佳酿制工艺为发酵时间21 d、红曲添加量8%、料液比1:1.2 g/mL、发酵温度28℃, 此条件下酒精度为12.9 %vol, 皂苷含量达到0.525 mg/mL, 酒体色泽透明、香气浓郁持久、有明显天门冬香、口感清爽宜人、余味悠长; 抗氧化活性实验结果显示: 天门冬酒对ABTS自由基有一定的清除能力, 当天门冬酒浓度为10 mg/mL时, ABTS自由基的清除率达到71.8%。

关键词

天门冬, 红曲, 酿制, 抗氧化

Optimization of Brewing Technology for *Asparagus cochinchinensis* Wine

Rong Ye^{1,2}, Mengxuan Ma^{1,2}, Amana·Aizezi^{1,2}, Ruiping Qin^{1,2}, Xuehai Fan^{1,2*}

¹College of Biological Sciences and Technology, Yili Normal University, Yining Xinjiang

²Key Laboratory of Plant Resources Protection and Utilization in Xinjiang Yili Valley, Yining Xinjiang

Received: Apr. 20th, 2025; accepted: May 21st, 2025; published: May 28th, 2025

Abstract

In order to optimize the brewing process of *Asparagus cochinchinensis* Wine, *Asparagus cochinchinensis* and glutinous rice were used as raw materials, and red yeast fermentation was used to prepare

*通讯作者。

文章引用: 冶荣, 马梦璇, 阿曼娜·艾则孜, 秦瑞坪, 范学海. 天门冬酒的酿制工艺研究[J]. 食品与营养科学, 2025, 14(3): 484-495. DOI: 10.12677/hjfn.2025.143054

***Asparagus cochinchinensis* Wine.** Through literature review, single factor experiments were conducted on four factors: the amount of red yeast added, material-to-liquid ratio, fermentation periods, and fermentation temperature. Based on the single factor results, response surface analysis was used to optimize the three key factors at three levels. The results showed that the optimal brewing process was 21 days of fermentation time, 8% addition of red yeast, a solid-liquid ratio of 1:1.2 g/mL, and a fermentation temperature 28°C. Under these conditions, the alcohol content was 12.9 %vol, the saponin content reached 0.525 mg/mL, the color of the wine was transparent, the aroma was rich and long-lasting, there was a clear *Asparagus cochinchinensis* aroma, the taste was refreshing and pleasant, and the aftertaste was long-lasting; the antioxidant activity test results showed that *Asparagus cochinchinensis* wine has a certain ability to scavenge ABTS free radicals. When the concentration of *Asparagus cochinchinensis* wine was 10 mg/mL on the same day, the clearance rate of ABTS free radicals reached 71.8%.

Keywords

Asparagus cochinchinensis, Red Yeast Rice, Brewing, Antioxidant Activity

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

天门冬(*Asparagus cochinchinensis* (Lour.) Merr.)为百合科(Liliaceae)天门冬属多年生草本植物,是我国传统中药材和药食两用资源[1]。其块根味甘、苦,性寒,归肺、肾经,具有养阴润燥、清肺生津等功效,临床常用于治疗肺燥干咳、津伤口渴、肠燥便秘等症[2]。现代研究表明,天门冬富含多糖、皂苷、氨基酸等多种生物活性成分,其中天门冬多糖具有显著的抗氧化、免疫调节等作用[3],而皂苷类成分则表现出抗炎、抗肿瘤等药理活性[4]。近年来研究发现,天门冬在发酵过程中释放的多糖类物质能显著改善酒体稳定性和风味特性[5],这为开发具有保健功能的特色发酵饮品提供了新思路。天门冬主要分布于我国华东、中南及西南地区[6],随着大健康产业的发展,其药食两用价值正受到越来越多的关注。

红曲(Red Yeast Rice)是以粳米为基质,经红曲霉(*Monascus* spp)固态发酵制成的传统发酵制品,在我国已有 1300 余年的应用历史[7]。现代研究表明,红曲中含有多种生物活性物质,主要包括:莫纳可林类(Monacolins)、红曲色素(Monascorubrin 和 Monascin)、 γ -氨基丁酸(GABA)以及多种消化酶类[8]。其中,Monacolin K 作为 HMG-CoA 还原酶的特异性抑制剂,可通过调节胆固醇代谢发挥显著的降血脂作用[9]。目前,红曲已广泛应用于传统酿酒(如红曲酒)、肉制品着色(替代亚硝酸盐)以及功能性食品开发等领域[10]。

本文拟通过响应面法优化天门冬酒的酿制工艺,旨在缩短发酵周期,提高功能成分保留率,改善酒体感官品质,以期为天门冬酒的工业化生产提供理论依据,同时为传统药酒的现代化开发提供技术参考。

2. 材料和方法

2.1. 材料与试剂

天门冬与红曲购于伊犁州金匱大药房;糯米购于超市;知母皂苷元购于上海士锋生物科技有限公司;葡萄糖、苯酚、硫酸、乙醇、氢氧化钠、甲醇、高氯酸、酚酞等均购于天津市福晨化学试剂厂(均为分析纯);快速 ABTS 自由基清除能力检测试剂盒购于北京中生奥邦生物科技有限公司。

2.2. 仪器与设备

BAO-150A 精密鼓风干燥箱，施都凯仪器设备(上海)有限公司；BSA124S 分析天平，赛多利斯科学仪器(北京)有限公司；恒温恒湿培养箱，常州市天竞实验仪器厂；BOXUN 立式压力蒸汽灭菌器，上海博讯实业有限公司医疗设备厂；HH-S1 数显恒温水浴锅，金坛市医疗仪器厂；C20 玻璃仪器气流烘干器，邦西仪器科技(上海)有限公司；UPE-II20L 优普系列超纯水器，四川优普超纯科技有限公司；KQ-250DB 型数控超声波清洗器，昆山市超声仪器有限公司；UV2550 紫外可见分光光度计，上海通谱检测技术有限公司；NAI-TI-50 台式冻干机，上海那艾精密仪器有限公司；酒精计，衡水创纪仪器仪表有限公司；全玻蒸馏套装，上海铨欧仪器有限公司。

2.3. 实验方法

2.3.1. 原料选择与预处理

实验选用符合《中国药典》(2025 年版)质量标准的天门冬块根、一级糯米及红曲米(色价 ≥ 1000 U/g)作为原料。精确称取天门冬原料 180.0 g (± 0.1 g)，采用蒸馏水浸泡 24 h ($25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$)，使其充分吸水膨胀后，使用陶瓷刀将其切成 3~5 mm 薄片。切片后加入去离子水(料液比 1:10 g/mL)于 90°C 水浴熬煮 60 min，经双层纱布过滤后，冷却至 $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 备用。称取糯米 360.0 g (± 0.1 g)，经淘洗后浸泡 6 h，蒸煮至糊化完全(碘蓝值 ≤ 0.02)控制降温至 $30^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

2.3.2. 单因素实验

以酒精度、皂苷含量和感官评价为指标，分别考察了不同料液比(1:1、1:1.2、1:1.4、1:1.6、1:1.8 g/mL)，红曲添加量(6%、8%、10%、12%、14%)，发酵时间(12、15、18、21、24 d)和发酵温度(15°C 、 18°C 、 21°C 、 24°C 、 27°C) 4 个因素对天门冬酒品质的影响。

2.3.3. 响应面优化实验

基于单因素实验结果，选取发酵时间、红曲添加量、料液比三个关键因素作为自变量，以酒精度(%vol)为响应变量，建立三因素三水平的响应面模型。实验共设计 17 个试验点，包括 12 个析因点和 5 个中心点用于评估实验误差，见表 1。

Table 1. Factors and levels for response surface methodology design

表 1. 响应面因素与水平

	因素	水平		
		-1	0	1
A	发酵时间/(d)	18	21	24
B	红曲添加量/(%)	6	8	10
C	料液比/(g/mL)	1:1	1:1.2	1:1.4

2.3.4. 感官分析

组建品评小组($n = 10$)，采用 10 分制评分法评估：色泽、香气、口感、余味。具体评分标准如表 2 所示。

2.3.5. 天门冬酒中各类指标的测定

还原糖含量测定：直接滴定法；酒精度测定：蒸馏法；皂苷含量测定：分光光度法；总酸含量测定：酸碱滴定法；感官评定。

Table 2. Sensory evaluation criteria for *Asparagus cochinchinensis* wine
表 2. 天门冬酒感官指标评分标准

项目	总分/分	单项分值/分	具体指标	分支区间/分		
				7~10	4~6	1~3
色泽	10	10	颜色与澄清度	清澈透明	轻微浑浊	浑浊或色泽不均
香气	10	5	香气纯净度	纯净无杂味	略有杂味	杂味明显
		5	香气类型	层次丰富	层次不明显	层次单一
口感	10	5	甜度	甜度适中，与酸度协调	平衡	过甜
		5	酸度	清爽宜人	适中	过酸或平淡
余味	10	10	余味愉悦度	舒适回甘	中性	苦涩或不适

2.3.6. 抗氧化活性实验

将 10 mmol/L 的维生素 C 母液梯度稀释为 0.4、0.2、0.15、0.1、0.08 和 0.04 mmol/L 系列标准溶液，涡旋混匀。将不同浓度标准品溶液和天门冬酒各取 10 μL 分别加入 96 孔板中，在空白管中加入 10 μL 蒸馏水，各孔分别加入 20 μL 试剂四工作液，各阳性对照管另加入 10 μL 试剂五，最后各孔分别加入 170 μL ABTS 工作液，充分混匀，室温避光静置 6 min，测定 405 nm 处的吸光度(A)。按照公式计算清除率：

阳性对照的自由基清除率计算公式：

$$\text{ABTS 自由基清除率 DVC\%} = [(A \text{ 空白} - A \text{ 阳性对照}) / A \text{ 空白}] \times 100\%$$

样本的自由基清除率计算公式：

$$\text{ABTS 自由基清除率 D\%} = [A \text{ 空白} - (A \text{ 测定} - A \text{ 对照})] / A \text{ 空白} \times 100\%$$

3. 结果与分析

3.1. 知母皂苷元标准曲线

精确称取知母皂苷元标准品(≥98%) 3.00 mg，置于 10 mL 容量瓶中，用甲醇溶解并定容至刻度，配制 成 300 μg/mL 的储备液。分别精密移取上述储备液 0.0、0.6、0.8、1.0、1.2、1.4 mL 至 6 个 10 mL 容量瓶中，于 40℃ 水浴中挥干甲醇。每管准确加入 70%高氯酸 5.0 mL，涡旋混匀 30 s。将各管置于 80℃ 恒温水浴中反应 15 min，立即冰浴冷却终止反应，室温平衡 10 min 后，过滤。使用紫外分光光度计于 310 nm 波长下测定吸光度(A)。以知母皂苷元浓度(X, mg/mL)为横坐标，吸光度(Y)为纵坐标，采用最小二乘法建立标准曲线，见图 1。

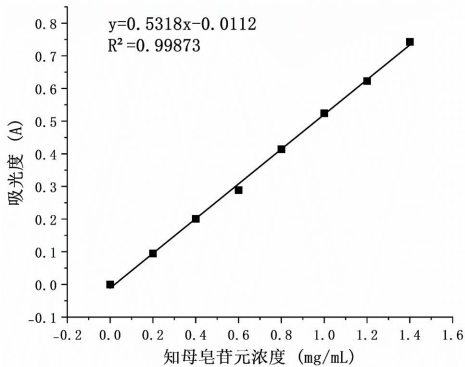


Figure 1. Standard curve of sarsasapogenin concentration
图 1. 知母皂苷元浓度标准曲线

3.2. 单因素实验

3.2.1. 料液比对天门冬酒的影响

如图 2 所示, 随着料液比的增加(1:1 至 1:1.8 g/mL), 天门冬酒的酒精度呈现先升高后降低的趋势, 低料液比时, 底物浓度过高导致渗透压抑制酵母活性, 发酵缓慢, 酒精含量较低; 高料液比时, 营养不足限制微生物生长, 皂苷含量随料液比增加也呈现先升高后降低的趋势, 高料液比导致单位体积有效成分稀释, 皂苷含量有所降低, 综合酒精度、皂苷含量和感官评分三个指标, 确定最佳料液比为 1:1.2 g/mL。

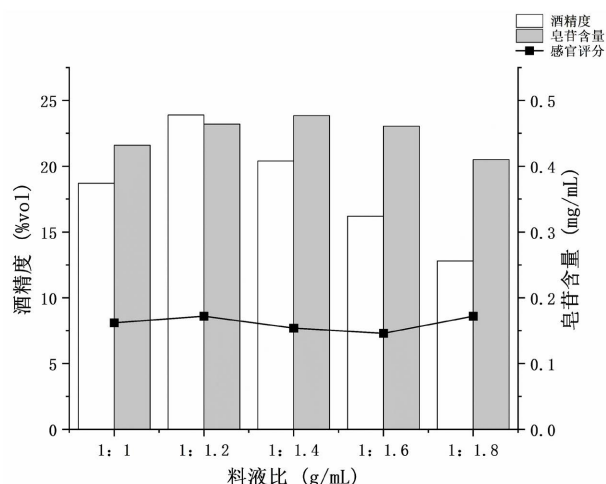


Figure 2. Effects of different material-to-liquid ratios on the fermentation of *Asparagus cochinchinensis* Wine
图 2. 不同料液比对天门冬酒发酵的影响

3.2.2. 红曲添加量对天门冬酒的影响

如图 3 所示, 随着红曲添加量的增加(6%至 14%), 酒精度和皂苷含量均呈现先升高后降低的趋势, 适量红曲提供最优酵母活性和糖化效率, 过量红曲导致发酵体系酸度升高, 抑制酵母生长, 红曲霉分泌的纤维素酶促进天门冬细胞壁分解, 皂苷释放较多, 但高添加量可能导致皂苷转化。综合酒精度、皂苷含量和感官评分三个指标, 确定最佳红曲添加量为 8%。

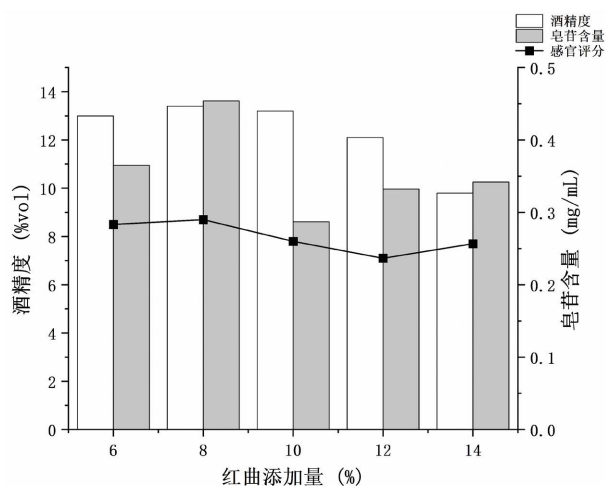


Figure 3. Effects of different red yeast rice addition levels on *Asparagus cochinchinensis* Wine
图 3. 不同红曲添加量对天门冬酒的影响

3.2.3. 发酵时间对天门冬酒的影响

如图 4 所示, 发酵时间(12~24 d)对酒精度、皂苷含量的影响呈现显著阶段性特征, 前期酵母对数生长期导致酒精快速积累, 中期营养限制使代谢转向次级产物, 后期酒精挥发及氧化损失; 与酒精度变化不同, 皂苷含量呈现双峰曲线, 第一峰值 0.458 mg/mL, 第二峰值 0.564 mg/mL, 初期原料溶解释放, 中期微生物转化生成新皂苷, 后期降解反应占主导。综合酒精度、皂苷含量和感官评分三个指标, 确定最佳发酵时间为 21 d。

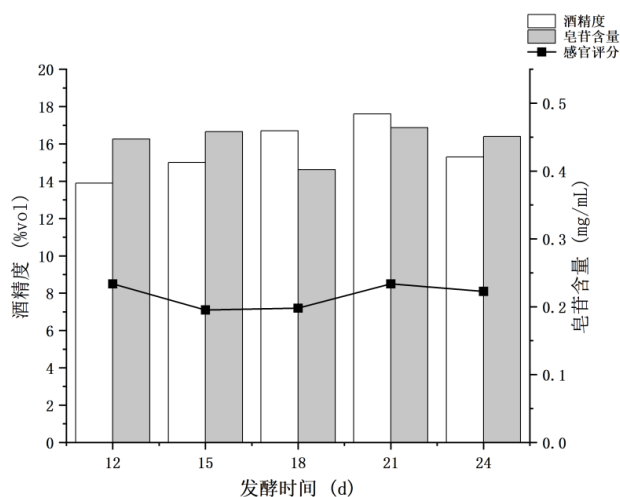


Figure 4. Effects of different fermentation periods on *Asparagus cochinchinensis* Wine

图 4. 不同发酵时间对天门冬酒的影响

3.2.4. 发酵温度对天门冬酒的影响

如图 5 所示, 发酵温度(15℃~31℃)对酒精度的影响呈单峰曲线、对皂苷含量的影响较小, 低温酵母代谢活性受限, 糖转化率降低, 适温酵母最适生长温度, 高温酵母应激反应导致乙醇转化效率下降, 皂苷含量与温度呈先升高后降低再升高的趋势, 高温利于天门冬细胞壁缓慢溶解释放皂苷。综合酒精度、皂苷含量和感官评分三个指标, 确定最佳发酵温度为 28℃。

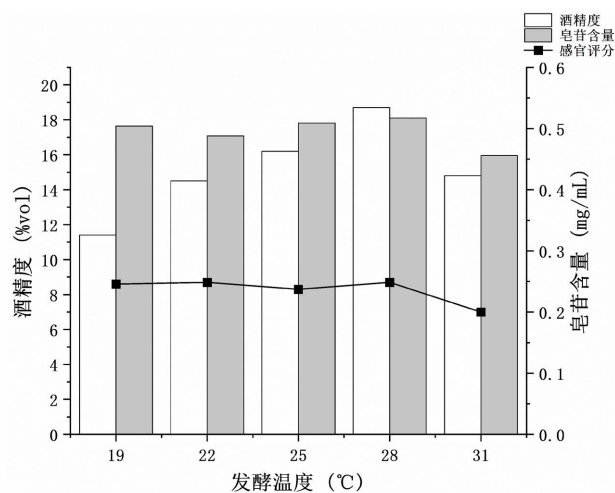


Figure 5. Effects of different fermentation temperatures on *Asparagus cochinchinensis* wine

图 5. 不同发酵温度对天门冬酒的影响

3.3. 响应面优化实验

3.3.1. 相应结果及方差分析

在单因素实验的基础上，选取料液比、红曲添加量、发酵时间进行三因素三水平的响应面优化实验，采用 Design-Expert 13 软件对实验结果进行多元回归分析，得到以下实验结果，响应面优化设计及结果如表 3 所示，方差分析如表 4 所示。

Table 3. Experimental design and results of response surface methodology
表 3. 响应面设计及结果

序号	发酵时间/(d)	红曲添加量/(%)	料液比/(g/mL)	酒精度/(%vol)
1	-1	-1	0	9.8
2	1	-1	0	12.0
3	-1	1	0	10.8
4	1	1	0	10.9
5	-1	0	-1	10.8
6	1	0	-1	11.9
7	-1	0	1	10.8
8	1	0	1	10.7
9	0	-1	-1	10.8
10	0	1	-1	10.5
11	0	-1	1	10.8
12	0	1	1	9.8
13	0	0	0	12.4
14	0	0	0	13.1
15	0	0	0	12.9
16	0	0	0	12.8
17	0	0	0	12.9

Table 4. ANOVA of alcohol content in response surface design experiments
表 4. 响应面设计试验酒精度方差分析

项目	平方和	自由度	均方和	F 检验	P 值	显著性
Model	18.74	9	2.08	21.11	0.0003	**
A-发酵时间	1.36	1	1.36	13.80	0.0075	**
B-红曲添加量	0.2450	1	0.2450	2.48	0.1590	
C-料液比	0.4512	1	0.4512	4.57	0.0698	
AB	1.10	1	1.10	11.18	0.0124	*
AC	0.3600	1	0.3600	3.65	0.0977	
BC	0.1225	1	0.1225	1.24	0.3019	
A ²	1.98	1	1.98	20.03	0.0029	**
B ²	6.68	1	6.68	67.77	<0.0001	**
C ²	4.96	1	4.96	50.25	0.0002	**
残差	0.6905	7	0.0986			

续表

失拟合	0.4225	3	0.1408	2.10	0.2427
纯误差	0.2680	4	0.0670		
总离差	19.43	16			
R^2	0.9645				
R^2_{Adj}	0.9188				

注：P < 0.01 极显著**；P < 0.05 显著*。

利用 Design-Expert 软件对表 3 数据进行多元回归拟合，得到天门冬酒酒精度(Y)对发酵时间(A)、红曲添加量(B)和料液比(C)的二次多项式回归模型。

$Y = 12.82 + 0.4125A - 0.175B - 0.2375C - 0.525AB - 0.3AC - 0.175BC - 0.685A^2 - 1.26B^2 - 1.085C^2$ 。根据表 4 可知，该模型的 F 值为 21.11，P 值为 0.0003 (<0.01)，表明模型极显著；失拟项的 P 值为 0.2427 (>0.05)，差异不显著，说明模型拟合良好。 $R^2 = 0.9645$ ， $R^2_{Adj} = 0.9188$ ，表明模型选择合理，预测能力可靠。其中，一次项发酵时间对酒精度的影响极显著($P = 0.0075 < 0.01$)，由 F 值可以分析得到单因素的影响大小，从高到低是：发酵时间 > 料液比 > 红曲添加量；交互项 AB ($P < 0.05$)对响应值的影响达到显著水平，二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 ($P < 0.01$)对响应值的影响达到极显著水平。

3.3.2. 两因素交互分析

响应面图曲面的倾斜度随着两因素之间交互作用的变化而变化，交互作用越强，则其倾斜度越大。由图 6 可知：在料液比恒定的情况下，随着发酵时间的延长，天门冬酒的酒精度呈现先快速上升后趋于平缓的趋势，发酵前期酵母代谢旺盛，酒精快速积累，后期因底物消耗代谢减缓；当发酵时间固定时，随着红曲添加量的增加，酒精度表现为先显著升高后缓慢下降的趋势，适量红曲提供最佳糖化酶活性和酵母生长环境，过量则导致酸度过高抑制发酵。

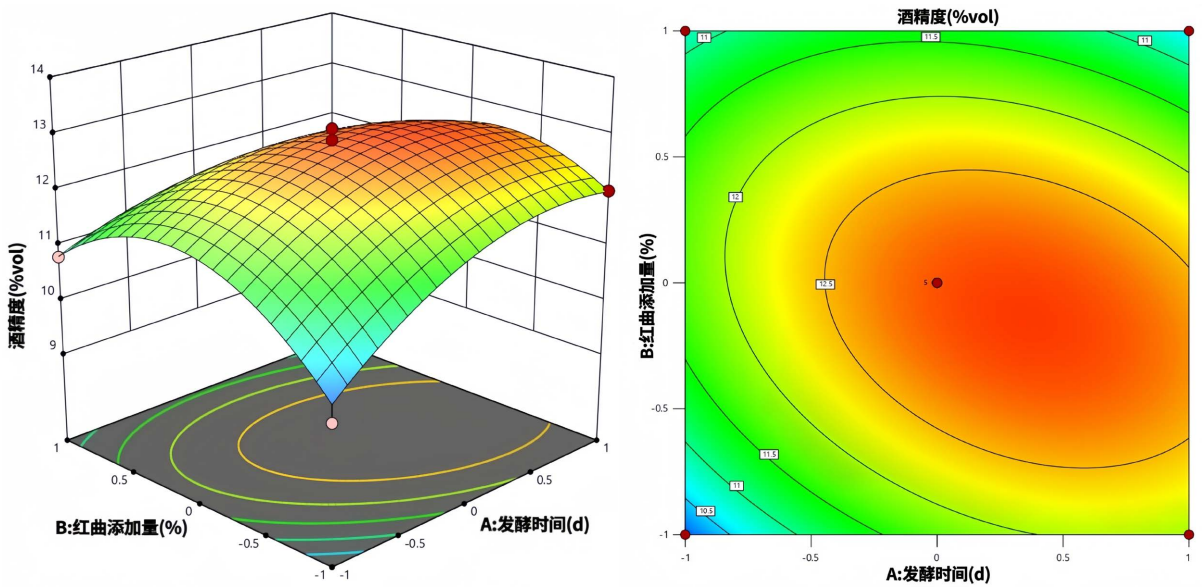


Figure 6. Response surface and contour plot illustrating the interaction effects of fermentation time and red yeast rice addition level on alcohol content

图 6. 发酵时间和红曲添加量的交互作用对酒精度影响的响应面和等高线图

由图 7 可知：在红曲添加量恒定的情况下，随着发酵时间的延长，天门冬酒的酒精度呈现先快速上升后趋于平缓的趋势，发酵前期酵母活性旺盛，糖类物质快速转化为酒精，后期因底物消耗转化速率降低；当发酵时间固定时，随着料液比的增加，酒精度表现为先显著升高后缓慢下降的趋势，适中的料液比既保证充分传质又避免过度稀释发酵底物。

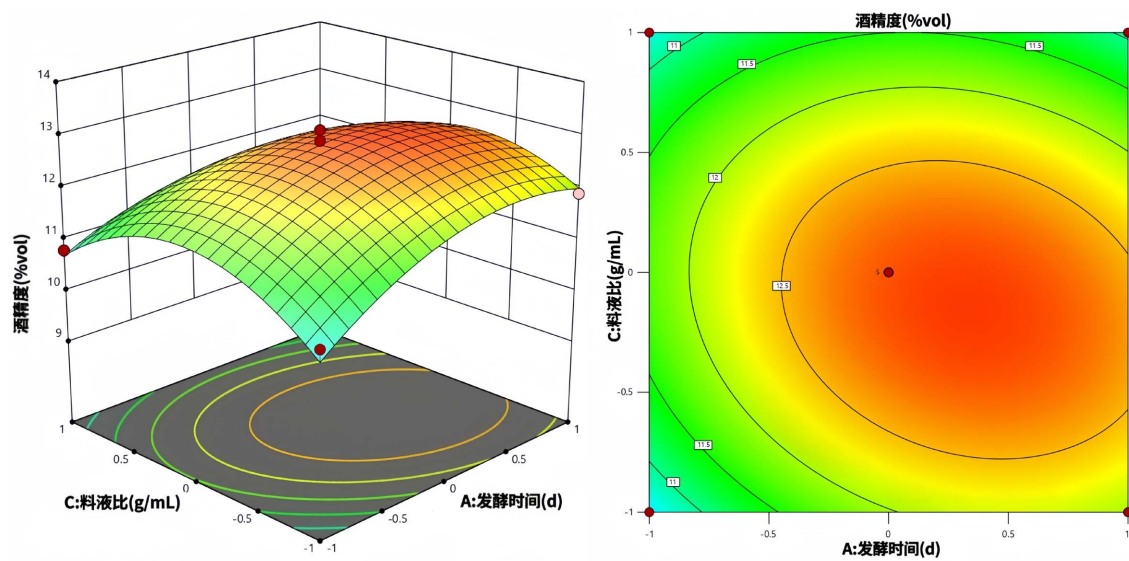


Figure 7. Response surface and contour plot illustrating the interaction effects of fermentation time and material-to-liquid ratio on alcohol content

图 7. 发酵时间和料液比的交互作用对酒精度影响的响应面和等高线图

由图 8 可知：在发酵时间恒定的情况下，随着料液比的增加，天门冬酒的酒精度呈现先快速上升后缓慢下降的趋势，适中的料液比最有利于酵母代谢和酒精生成；当料液比固定时，随着红曲添加量的增加，酒精度表现为先显著升高后趋于稳定的趋势。

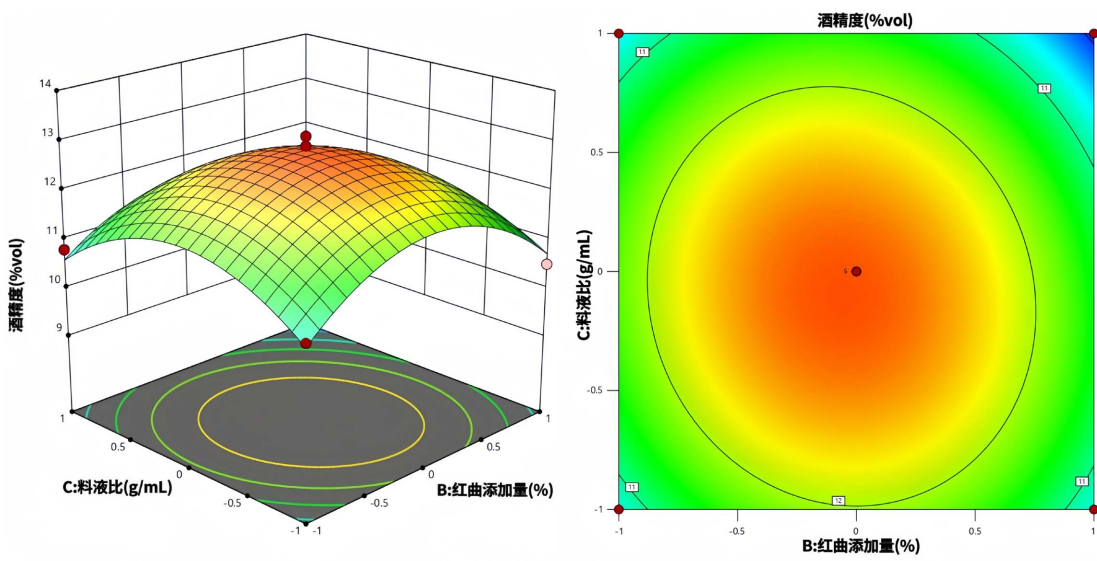


Figure 8. Response surface and contour plots of the interactive effects between solid-to-liquid ratio and red yeast rice dosage on alcohol content

图 8. 料液比和红曲添加量的交互作用对酒精度影响的响应面和等高线图

3.3.3. 最佳工艺参数的验证

采用响应面法优化天门冬酒酿制工艺，预测得到最佳发酵条件为：发酵时间 21 天、红曲添加量 8%、料液比 1:1.2 g/mL，理论酒精度为 12.8 %vol。按照预测进行三组平行验证实验，实测结果为：酒精度 12.9 %vol，皂苷含量 0.525 mg/mL，试验结果与模型预测高度吻合，表明响应面法优化的工艺参数可靠，适用于工业化生产。

3.4. 成品天门冬酒的品质分析

3.4.1. 感官评价

根据上述确定的天门冬酒的最佳工艺参数进行酿造，即将 180 g 天门冬浸泡 24 h 后，于 90℃水浴熬煮 60 min、料液比 1:1.2 g/mL、红曲添加量 8%、发酵时间 21 d，得到的成品天门冬酒进行品质分析。

由 10 位专业品评小组成员分别从色泽、香气、口感、余味等方面对制备好的样品进行 10 分制评分法评估，酒体清澈透明，呈红色，香气浓郁持久，纯净无杂味，天门冬香明显，口感甜度适中，清爽宜人，整体品质达到良好水平，评价结果如表 5 所示。

Table 5. Sensory evaluation results of *Asparagus cochinchinensis* Wine
表 5. 天门冬酒感官评价结果

序号	色泽	香气	口感	余味
1	7	9	7	9
2	7	8	9	9
3	7	7	9	7
4	7	9	10	7
5	10	7	9	10
6	7	9	7	9
7	7	7	9	7
8	9	8	7	7
9	7	7	7	7
10	9	7	9	10
平均分	7.7	7.8	8.3	8.2
整体评分	8			

3.4.2. 理化指标检测

对天门冬酒成品进行理化指标的检测，测得酒精度为 12.9 %vol、皂苷含量为 0.525 mg/mL、还原糖含量为 1.24 g/L、总酸为 4.15 g/L。检测结果如表 6。

Table 6. Quality inspection results of *Asparagus cochinchinensis* Wine
表 6. 天门冬酒的质量检测结果

项目	指标
酒精度	12.9 %vol
皂苷含量	0.525 mg/mL
还原糖	1.24 g/L
总酸	4.15 g/L

3.4.3. 抗氧化活性分析

如图 9 所示, ABTS 自由基清除率随着天门冬酒和维生素 C(Vc)质量浓度的增大而逐渐增大。当质量浓度为 10 mg/mL 时, 天门冬酒的 ABTS 自由基清除率达到 71.8%, 表明天门冬酒对 ABTS 自由基有一定的清除能力, 具有抗氧化活性。天门冬酒的清除能力接近标准抗氧化剂 Vc, 证实其具有显著的抗氧化能力, 这种清除效果可能与天门冬中富含的多酚类、皂苷等活性物质有关。

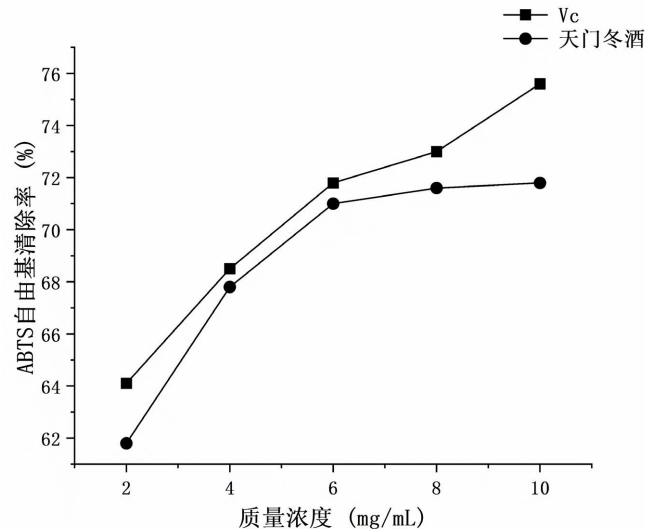


Figure 9. Free radical scavenging capability of vitamin C and *Asparagus cochinchinensis* Wine

图 9. 维生素 C 和天门冬酒自由基清除能力

4. 结论

本研究对天门冬酒的酿制工艺进行优化, 通过单因素实验和响应面分析, 确定了最佳的发酵工艺: 发酵时间为 21 d、红曲添加量为 8%、料液比为 1:1.2 g/mL、发酵温度 28℃, 在此条件下, 天门冬酒的酒精度达到 12.9 %vol, 皂苷含量为 0.525 mg/mL, 酒体色泽透明、香气浓郁持久, 有明显天门冬香, 口感清爽宜人, 余味悠长; 抗氧化活性实验结果显示: 天门冬酒对 ABTS 自由基有一定的清除能力, 当天门冬酒浓度为 10 mg/mL 时, ABTS 自由基的清除率达到 71.8%。

基金项目

伊犁师范大学创新创业训练计划(No: X2023107640017)。

参考文献

- [1] 吕灿灿. 15 种天门冬属植物系统演化研究[D]: [硕士学位论文]. 新乡: 河南师范大学, 2023.
- [2] 陆珍先, 马道承, 蒋丰璟, 等. 不同人工林下种植天门冬对土壤物理性质及养分含量的影响[J]. 湖北农业科学, 2025, 64(1): 28-34.
- [3] 黄宝优, 韦树根, 柯芳, 等. 广西天门冬种质资源调查报告[J]. 北方园艺, 2011(10): 161-163.
- [4] 福如海. 天门冬——补阴抗癌效堪夸[J]. 家庭中医药, 2006, 13(7): 67.
- [5] 黄昭宁, 罗舒, 李芳, 等. 天冬化学成分的提取纯化、药理作用和临床应用研究进展[J]. 四川农业科技, 2024(5): 123-126.
- [6] 王家妍, 蒋丰璟, 李青春, 等. 人工林种植模式对天门冬生物量、养分含量及品质的影响[J]. 经济林研究, 2024,

-
- 42(4): 145-154.
- [7] 解盈盈, 汪冰, 栾永福, 等. 相对校正因子法测定红曲米药材中洛伐他汀和开环洛伐他汀[J]. 药学研究, 2023, 42(2): 109-112, 116.
- [8] 陈运中. 红曲活性成分的结构与功能评价[D]: [博士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2004.
- [9] Gerards, M.C., Terlou, R.J., Yu, H., Koks, C.H.W. and Gerdes, V.E.A. (2015) Traditional Chinese Lipid-Lowering Agent Red Yeast Rice Results in Significant LDL Reduction but Safety Is Uncertain—A Systematic Review and Meta-Analysis. *Atherosclerosis*, **240**, 415-423. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2015.04.004>
- [10] 张婵, 程颖, 秦昱晖, 等. 红曲霉合成莫纳克林 K 的研究进展[J]. 食品科学技术学报, 2023, 41(5): 24-33.