

## 益生菌发酵火龙果饮料工艺优化及抗氧化活性研究

邓诗源<sup>1</sup>, 黄烁翔<sup>2</sup>, 刘丰玮<sup>2</sup>, 张睿豪<sup>2</sup>, 陈东廷<sup>2</sup>, 王泊乔<sup>2</sup>, 惠月<sup>2</sup>, 吴丽<sup>1\*</sup>, 李叶凤<sup>1</sup>

1. 重庆工商大学食品科学与工程学院, 重庆 400067

2. 重庆市第十一中学校, 重庆 400061

**摘要:**目的 针对火龙果饮料中花青素成分易受发酵因素影响导致稳定性不佳, 提出了对火龙果饮料进行工艺优化, 研制出一款风味清爽宜人, 花色苷含量丰富且具有抗氧化能力的火龙果发酵饮品。方法 利用红心火龙果为原料, 植物乳杆菌和嗜热链球菌为发酵剂制备发酵饮料。以单因素实验为基础, 选择发酵液初始 pH、种子液接种量、发酵时间为影响因子, 以火龙果发酵液的花色苷含量为响应值, 采用响应面法确定火龙果发酵饮料的最佳工艺参数, 并测定发酵前后的花色苷含量、可溶性固形物和 DPPH 自由基清除率, 研究发酵工艺对火龙果饮料抗氧化活性的影响。结果 最佳发酵工艺为种子液接种量为 1.7%, 发酵液初始 pH 为 6.3, 发酵时间 24 h, 该条件下得到的火龙果复合发酵饮料自然透亮, 组织状态稳定, 火龙果果香和发酵风味明显。其中花色苷含量( $50.10 \pm 0.28$ ) mg/L, 仅比未发酵的火龙果原液降低了 11.68 mg/L, 而样品中 DPPH 自由基清除率为  $95.71\% \pm 0.62\%$ , 提高了 14.34%, 可溶性固形物含量基本不变; DPPH 自由基清除率显著提高, 且花色苷含量、可溶性固形物含量变化不大。结论 该火龙果饮料经发酵后营养成分保存良好, 抗氧化能力增强, 对丰富我国果蔬发酵饮料市场有一定的研究意义。

**关键词:** 火龙果; 复合益生菌; 花色苷; 响应面法

中图分类号: TS255.44 文献标识码: A doi: 10.16055/j.issn.1672-058X.2025.0002.003

### Optimization of Fermentation Process and Antioxidant Activity of Probiotic Fermented Dragon Fruit Beverage

DENG Shiyuan<sup>1</sup>, HUANG Shuoxiang<sup>2</sup>, LIU Fengwei<sup>2</sup>, ZHANG Ruihao<sup>2</sup>, CHEN Dongting<sup>2</sup>, WANG Boqiao<sup>2</sup>, HUI Yue<sup>2</sup>, WU Li<sup>1\*</sup>, LI Yefeng<sup>1</sup>

1. School of Food Science and Engineering, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China

2. Chongqing No. 11 Middle School, Chongqing 400061, China

**Abstract: Objective** To address the instability of anthocyanins in dragon fruit beverages due to fermentation factors, a fermentation process was optimized to develop a refreshing, flavorful dragon fruit beverage rich in anthocyanins and with strong antioxidant capacity. **Methods** Red-fleshed dragon fruit was used as the raw material, with *Lactobacillus plantarum* and *Streptococcus thermophilus* as fermentation agents. Based on single-factor experiments, the initial pH of the fermentation broth, inoculum volume of the seed solution, and fermentation time were selected as influencing factors, while the anthocyanin content of the fermented dragon fruit beverage served as the response value. Response surface methodology was employed to determine the optimal process parameters. The anthocyanin content, soluble solid content,

收稿日期: 2023-03-15 修回日期: 2023-05-21 文章编号: 1672-058X(2025)02-0018-08

基金项目: 重庆市教委雏鹰计划项目(CY230802)。

作者简介: 邓诗源(1999—), 女, 四川广安人, 硕士研究生, 从事食品工艺研究。

通讯作者: 吴丽(1981—), 女, 河南信阳人, 博士, 讲师, 从事农产品加工研究, Email: wulili1228@163.com。

引用格式: 邓诗源, 黄烁翔, 刘丰玮, 等. 益生菌发酵火龙果饮料工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2025, 42(2): 18-25.

DENG Shiyuan, HUANG Shuoxiang, LIU Fengwei, et al. Optimization of fermentation process and antioxidant activity of probiotic fermented dragon fruit beverage[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2025, 42(2): 18-25.

and DPPH radical scavenging rate were measured before and after fermentation to evaluate the effect of the fermentation process on the antioxidant activity of the beverage. **Results** The optimal fermentation conditions were as follows: inoculum volume of the seed solution of 1.7%, initial pH of 6.3, and fermentation time of 24 hours. Under these conditions, the fermented dragon fruit beverage exhibited natural clarity, stable texture, and distinct dragon fruit aroma with fermented notes. The anthocyanin content was  $(50.10 \pm 0.28)$  mg/L, which was only 11.68 mg/L lower than that of the unfermented dragon fruit juice. The DPPH free radical scavenging rate was significantly increased, and the content of anthocyanin and soluble solids did not change much. **Conclusion** The fermentation process preserved the nutritional components of the dragon fruit beverage while enhancing its antioxidant capacity. These findings provide valuable insights for enriching the fruit and vegetable fermented beverage market in China.

**Keywords:** dragon fruit; compound probiotics; anthocyanins; response surface methodology

## 1 引言

火龙果营养价值高,含有 Vitamin C、花青素、植物性白蛋白、和水溶性膳食纤维,具有减肥、减少便秘、降低血糖、预防大肠癌、糖尿病等功能<sup>[1-2]</sup>。尤其是红肉品种的花青素含量更高,花青素具有抗氧化的功效,可以保护视力,抗癌症,改善睡眠<sup>[3-7]</sup>。除此之外,火龙果中的铁含量也要高于普通的水果,具有广阔的开发前景<sup>[8]</sup>。

植物乳杆菌和嗜热链球菌,能够产生天然抑菌物质。当添加适量时,有利于宿主健康,如减轻胃肠道感染,刺激免疫系统,降低血清胆固醇,抗诱变作用和稳定肠道粘膜屏障<sup>[9-14]</sup>。利用红心火龙果生产发酵饮料,不仅色彩艳丽、可保留有效成分和风味物质,而且能进一步增加功能性活性物质<sup>[15-17]</sup>。因此可将益生菌和果蔬相结合,生产集益生菌的保健功能和果蔬汁的营养价值于一体的发酵型饮料。

目前,对于火龙果的研究主要是对总糖、还原糖含量、复合果蔬饮料及其活性成分研究<sup>[18]</sup>,以及对火龙果果皮中多酚类、花青素、甾醇等功能性成分的提取工艺<sup>[19-24]</sup>等,除此外大都只是以感官评价和简单理化指标(如 pH、糖含量等)为指标对发酵工艺进行优化,并未对火龙果发酵饮料中花青素含量进行深入探究<sup>[25-27]</sup>。为了更好地保存原料中丰富的花青素等功能活性成分,利用复合益生菌发酵协同增效。相比单一菌种发酵,更能满足人们对产品风味、口感或是营养价值、多样性和丰富性的要求。因此,本文以功能活性物质花色苷含量为主要指标,研制一种花色苷含量丰富且抗氧化活性高的火龙果发酵饮料,以促进火龙果饮料深加工技术的发展。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料与仪器

红心火龙果,重庆市人人乐超市购买;植物乳杆

菌、嗜热链球菌,重庆工商大学实验室提供;MRS 琼脂培养基、MRS 液体培养基,奥淇科化医疗供应链管理服务有限公司(天津)有限公司;1,1-二苯基-2-苦基肼自由基(DPPH),武汉卡诺斯科技有限公司;柠檬酸,苏州福升化工科技有限公司;盐酸,重庆川东化工(集团)有限公司;氯化钾,济南鑫越化工有限公司;乙酸钠(三水),成都市科隆化学品有限公司;其他试剂均为国产分析纯。

SP25 型苏泊尔快速破壁料理机(浙江绍兴苏泊尔有限公司);BXM-30R 型立式压力蒸汽灭菌锅(成都盛德先华科贸有限公司);PB10 型酸度计(深圳市卓越仪器仪表有限公司);UV-752N 型紫外-可见分光光度计(让奇(上海)仪器科莅有限公司);GHP-9160 型隔水式恒温培养箱(无锡玛瑞特科技有限公司);SW-CJ-2D 型无菌工作台(成都普汇捷实验室设备有限公司);TDZ5-WS 型离心机(长沙凯达科学有限公司);PAL-1 数显折射仪(上海岩澜国际贸易有限公司)。

### 2.2 实验方法

#### 2.2.1 菌种培养

将低温保藏环境的植物乳杆菌和嗜热链球菌从试管取出,接种到 MRS 固体培养基上并传代两次进行菌种活化,选取适量活化的两种益生菌分别接种到 MRS 液体培养基中,于 37 °C 培养 24 h,得到种子液,菌体浓度分别达到  $10^8$  CFU/mL,冷藏备用。

#### 2.2.2 火龙果发酵原液的制备

(1) 制作工艺流程如图 1 所示:



图 1 制作工艺流程

Fig. 1 Production process

## (2) 操作要点

①打浆:火龙果去皮后切成 5 cm 大小的果块,粉碎至果浆均匀无块;

②杀菌:火龙果浆分装后,121 °C 灭菌 20 min;

③接种:待火龙果浆冷却至室温,进行接种(植物乳杆菌:嗜热链球菌体积比为 1:1);

④发酵:将接种的火龙果浆置于 37 °C 条件下恒温发酵;

⑤粗滤:将火龙果果浆用滤网过滤,得到澄清的火龙果果汁;

⑥离心:5 000 r/min 离心 10 min,得到火龙果汁发酵原液,标记、冷藏备用。

### 2.2.3 发酵原液的单因素实验

(1) 发酵液初始 pH 对火龙果发酵液吸光度值的影响。以发酵时间 24 h,种子液接种量 1.5 % 为条件,设发酵液初始 pH 梯度(4、5、6、7、8),发酵完成后离心测定发酵液在 530 nm 处的吸光度值。

(2) 种子液接种量对火龙果发酵液吸光度值的影响。以初始 pH 为 6,发酵时间为 24 h 为条件,设种子液接种量为发酵液体积比梯度(0.5 %、1.0 %、1.5 %、2.0 %、2.5 %),发酵完成后离心测定火龙果发酵液在 530 nm 处的吸光度值。

(3) 发酵时间对发酵液吸光度值的影响。以初始 pH 为 6,种子液接种量为 1.5 % 为条件,设发酵时间梯度(16 h、20 h、24 h、28 h、32h),发酵完成后离心测定发酵液在 530 nm 处的吸光度值。

### 2.2.4 Box-Behnken 实验设计

根据单因素实验结论,设置响应值为火龙果发酵液中花色苷含量,用 Box-Behnken 进行 3 因素 3 水平实验设计,实验各因素水平如表 1 所示。

表 1 火龙果饮料发酵工艺参数的因素水平

Table 1 Factor levels of the fermentation process parameters of dragon fruit beverage

水 平	因 素		
	A(发酵液 初始 pH)	B(种子液 接种量/%)	C(发酵 时间/h)
-1	5	1.0	20
0	6	1.5	24
1	7	2.0	28

### 2.2.5 花色苷含量测定

参考 Castro-Vázquez 等<sup>[28]</sup>研究所用的 pH 示差法,将 1 mL 样品液稀释 100 倍,然后分别用 pH 1.0 的氯化钾盐酸缓冲液和 pH 4.5 的乙酸-乙酸钠缓冲液定容至

10 mL,在室温条件下暗处静置平衡 1 h 后在 530 nm 处测出吸光度值<sup>[29]</sup>。

$$\text{花色苷含量 (mg/L)} = \frac{\Delta A \times MW \times DF \times 10^3}{\epsilon \times l}$$

其中, $\Delta A = (A_{\max} - A_{700 \text{ nm}}) \text{pH}_{1.0} - (A_{\max} - A_{700 \text{ nm}}) \text{pH}_{4.5}$ ;  $MW$  为矢车菊素-3-葡萄糖苷分子质量;  $DF$  为稀释倍数;  $\epsilon$  为矢车菊素-3-葡萄糖苷摩尔消光系数;  $l$  (cm) 为光程厘米数<sup>[30]</sup>。

### 2.2.6 火龙果发酵液各指标测定

(1) DPPH 自由基清除率的测定。参照刘涛<sup>[31]</sup>的方法:将 2 mL 火龙果发酵液稀释 10 倍,并与 0.02 mg/mL 的 DPPH 溶液混合均匀,放入 25 °C 恒温水浴锅 30 min,反应完全后在 517 nm 处测定其吸光值,以 2 mL 无水乙醇作为空白组。

DPPH 自由基清除率 (%) =  $[1 - (A_1 - A_2) / A_0] \times 100\%$   
其中, $A_1$  为样品液的吸光值(样品与 DPPH);  $A_2$  为样品的空白吸光值(样品与无水乙醇);  $A_0$  为空白组吸光值(DPPH 与无水乙醇)。

(2) pH 值的测定。利用 pH 计进行测定。

(3) 可溶性固形物含量的测定。利用 PAL 迷你数显折射计来测定。

### 2.3 数据处理

本文实验均为 3 次平行,通过 SPSS 软件进行差异显著性分析,Excel 进行数据统计和绘图,采用 Design-Expert V 8.0.6 进行模型构建、响应面设计和方差分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 火龙果发酵液光谱扫描结果分析

在波长 200~700 nm 处对火龙果原液进行光谱扫描,结果如图 2 所示。在紫外-可见光区 530 nm 处火龙果原液有较明显的吸收峰,符合花色苷的光谱特征,因此本实验选用 530 nm 作为 pH 示差法<sup>[28]</sup>检测火龙果发酵液中花色苷含量的测定波长。

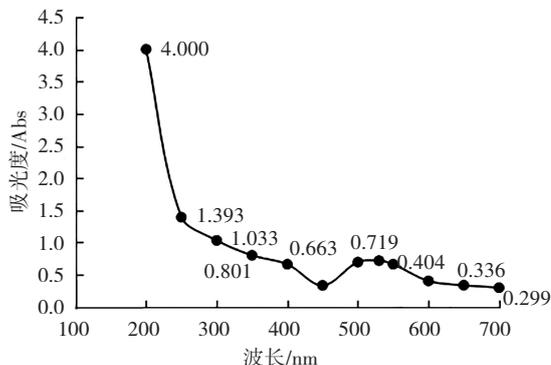


图 2 火龙果原液光谱扫描结果

Fig. 2 Spectral scanning results of dragon fruit stock solution

### 3.2 发酵原液单因素试验

#### 3.2.1 发酵液初始 pH 对火龙果发酵液吸光度值的影响

由图 3 且经 SPSS 分析可知,pH 在 5~8 之间时,火龙果发酵液测得的吸光度值相对较大,说明对应的样品中花色苷含量较多;初始 pH 小于 5 时,样品吸光度值呈下降趋势;pH 大于 7 时,样品吸光度值显著减小。所以,发酵液初始 pH 的优化范围在 5~7 之间。

#### 3.2.2 种子液接种量对火龙果发酵液吸光度值的影响

由图 4 且经 SPSS 分析可知,接种量在 1.0 %~2.0 %之间时,火龙果发酵液测出的吸光度值相对较大,说明对应的样品中花色苷含量较多;接种量小于 1.0 % 时,样品吸光度值减小;接种量大于 2.0 % 时,样品吸光度值也呈下降趋势。因此,种子液接种量的优化范围在 1.0 %~2.0 %之间。

#### 3.2.3 发酵时间对火龙果发酵液吸光度值的影响

由图 5 且经 SPSS 分析可知,发酵时间为 20~28 h 时,火龙果发酵液测得的吸光度值相对较大;发酵时间小于 20 h 时,样品吸光度值减小;发酵时间大于 28 h 时,样品吸光度值也是逐渐下降。所以,发酵时间的优化范围在 20~28 h 之间。

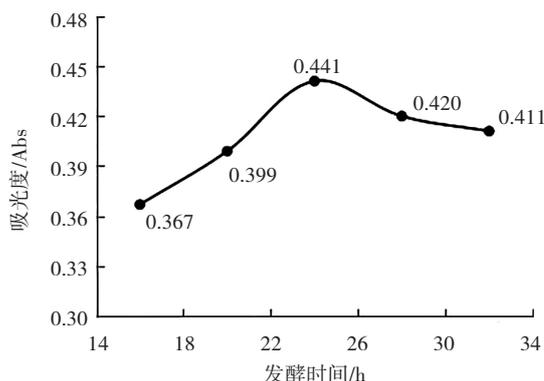


图 5 火龙果发酵原液发酵时间对吸光度值的影响

Fig. 5 The effect of fermentation time on the absorbance value of dragon fruit fermentation stock solution

#### 3.2.4 Box-Behnken 试验结果与分析

根据表 1,经 Box-Behnken 试验设计,得到火龙果发酵饮料工艺参数的响应面实验设计方案,如表 2 所示。

表 2 Box-Behnken 实验方案及结果

Table 2 Box-Behnken test plan and results

试验号	类别			Y(花色苷含量/mg · L <sup>-1</sup> )
	A	B	C	
1	1	1	0	43.42
2	0	0	0	51.77
3	-1	0	1	28.39
4	-1	-1	0	18.37
5	0	0	0	46.76
6	1	-1	0	30.06
7	0	-1	1	38.41
8	0	1	1	36.73
9	0	0	0	50.1
10	-1	1	0	33.4
11	-1	0	-1	23.28
12	1	0	1	40.08
13	0	0	0	46.76
14	1	0	-1	35.07
15	0	1	-1	41.75
16	0	-1	-1	25.05
17	0	0	0	48.43

表 2 得出的 17 组试验结果由 Design-Expert 软件进行数据分析。该试验得到的数学模型  $P < 0.0001$ ,因此得出该数学模型具有极显著性,失拟性  $P$  为 0.3174 ( $> 0.05$ ),表明该模型对于绝对误差并不显著,能很好地预测响应值。模型确定系数  $R^2$  为 0.9737,模型调整确定系数  $Adj R^2$  为 0.9398,表明回归方程回归效果

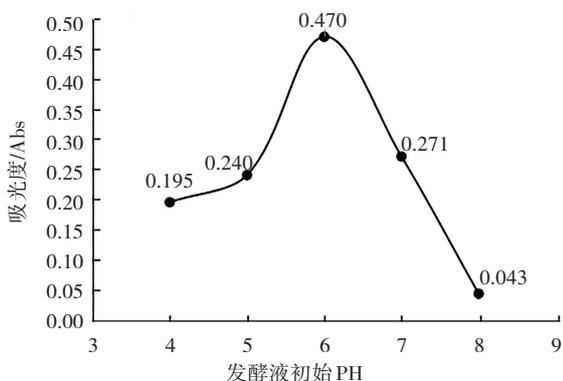


图 3 火龙果发酵原液初始 pH 对吸光度值的影响

Fig. 3 The effect of initial pH of dragon fruit fermentation stock solution on the absorbance value

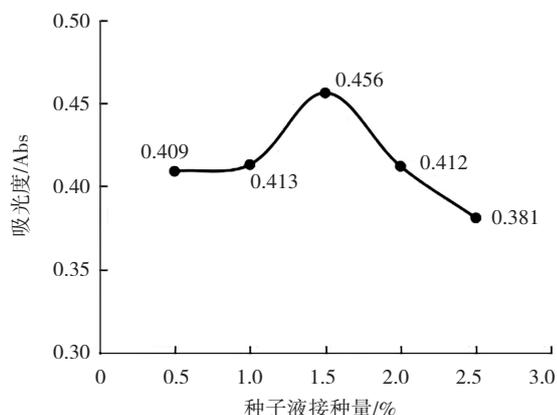


图 4 种子液接种量对吸光度值的影响

Fig. 4 Effect of seed solution inoculum on absorbance value

良好<sup>[32]</sup>。

火龙果发酵液花色苷含量 (Y)、发酵液初始 pH (A)、种子液接种量(B)、发酵时间(C)的三元二次回归方程如式(1)所示:

$$Y=48.76+5.65A+5.43B+2.31C-0.42AB-0.025AC-4.59BC-10.62A^2-6.84B^2-6.44C^2 \quad (1)$$

响应值二次模型的方差分析及显著性如表 3 所示。

表 3 回归模型方差分析

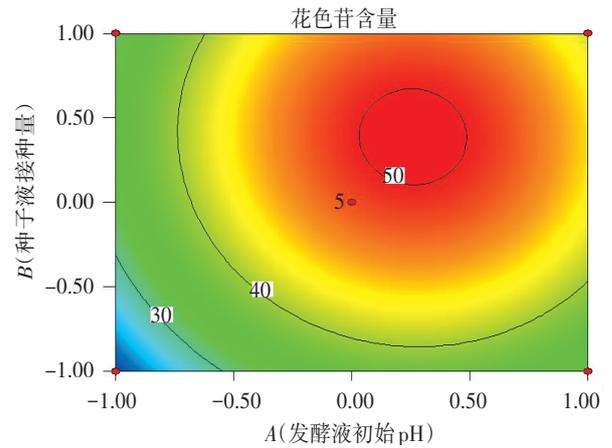
Table 3 Regression model analysis of variance

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	1 556.66	9	172.96	28.76	0.000 1	极显著
A	255.27	1	255.27	42.45	0.000 3	显著
B	235.55	1	235.55	39.17	0.000 4	显著
C	42.60	1	42.60	7.08	0.032 4	显著
AB	0.70	1	0.70	0.12	0.743 5	
AC	2.500E-003	1	2.500E-003	4.157E-004	0.984 3	
BC	84.46	1	84.46	14.04	0.007 2	显著
A <sup>2</sup>	474.50	1	474.50	78.90	0.000 1	极显著
B <sup>2</sup>	196.75	1	196.75	32.72	0.000 7	显著
C <sup>2</sup>	174.80	1	174.80	29.07	0.001 0	显著
残差	42.10	7	6.01			
失拟项	23.13	3	7.71	1.63	0.317 4	不显著
纯误差	18.96	4	4.74			
总差	1 598.76	16				

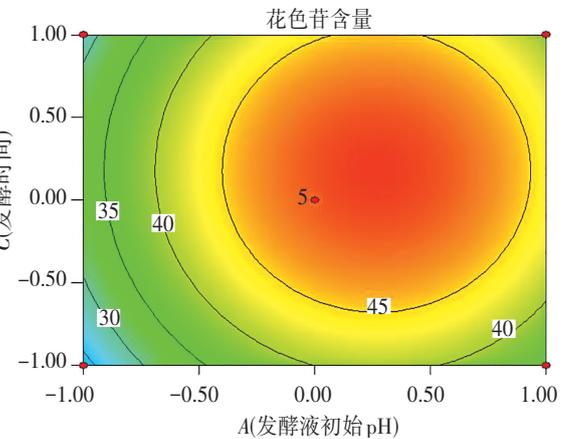
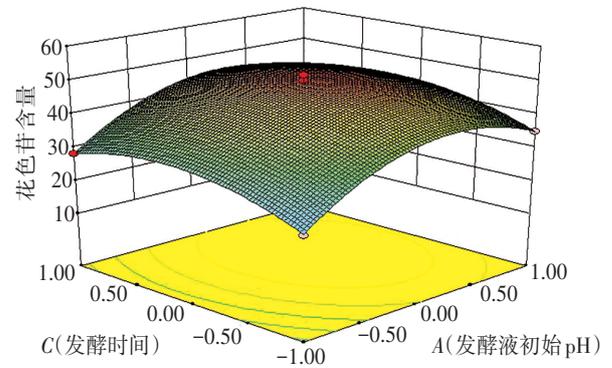
注:P<0.000 1,表示极显著;P<0.05,表示显著;P>0.05,表示不显著。

由表 3 可知,对 3 个因素单独比较分析,3 个因素对火龙果发酵液中花色苷含量影响大小为:发酵液初始 pH>种子液接种量>发酵时间。

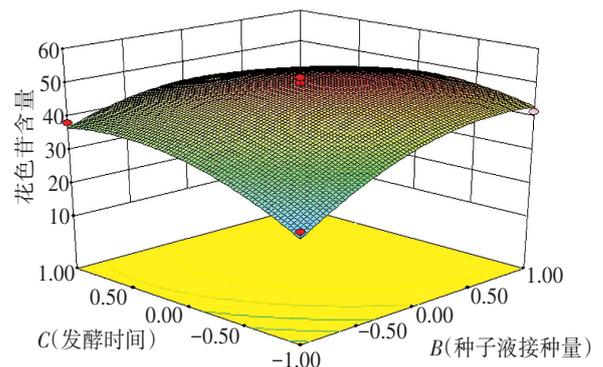
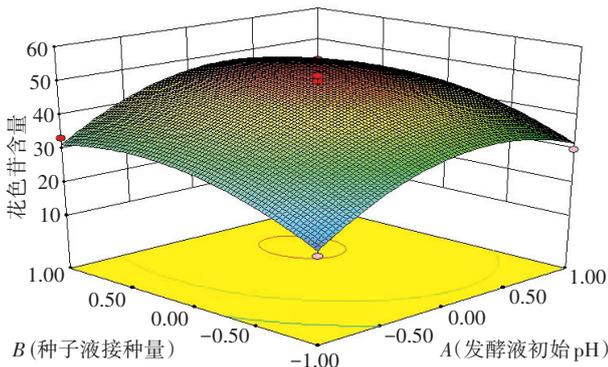
依据回归方程,通过 Design-Expert 软件绘出响应面图和等高线图,进一步判定影响火龙果发酵液花色苷含量的各因素之间的交互作用的强弱,并分析各因素之间对响应值的影响大小,如图 6 所示。

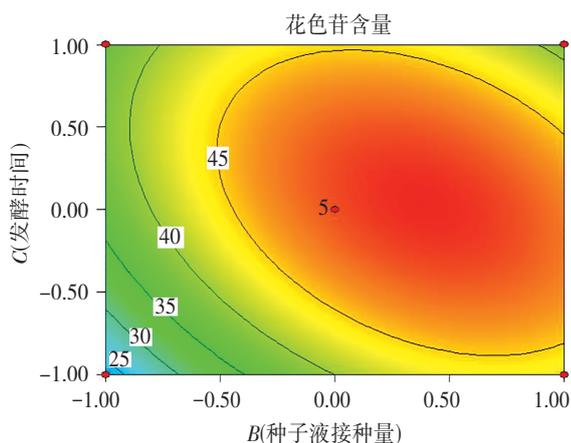


(a) 发酵液初始 pH 和种子液接种量对火龙果发酵液中花色苷含量的影响



(b) 发酵液初始 pH 和发酵时间对火龙果发酵液中花色苷含量的影响





(c) 种子液接种量和发酵时间对火龙果发酵液中花色苷含量的影响

图 6 两影响因子交互性对花色苷含量影响的响应面和等高线

Fig. 6 Response surface and contour lines of the interaction between two influencing factors on anthocyanin content

响应面反映对响应值的影响,三维曲面越陡峭,对响应值影响越大;同时,等高线图反映两因素间交互作用是否显著,越接近椭圆,表示越显著。由图 5 可以看出,种子液接种量和发酵时间之间的等高线图更接近椭圆,因此对火龙果发酵液中花色苷含量的影响显著,而发酵液初始 pH 和发酵时间、发酵液初始 pH 和种子液接种量之间的交互性对火龙果发酵液中花色苷含量的影响不显著,与表 3 结果相同。

### 3.2.5 验证试验

通过数据处理软件分析,确定火龙果发酵饮料的最佳发酵工艺参数:种子液接种量为 1.69%,发酵液初始 pH 为 6.26,发酵时间 24.18 h,预测以该工艺参数发酵出的火龙果饮料中花色苷含量可达  $(50.56 \pm 0.45)$  mg/L。为便于实际操作调整工艺参数:种子液接种量 1.7%,发酵液初始 pH 6.3,发酵时间 24 h。以该参数进行验证试验,经三组平行试验测得火龙果发酵饮料中花色苷含量平均值为  $(50.10 \pm 0.28)$  mg/L,与回归模型预测值相差 0.46,相对误差为 0.92%。表明该火龙果发酵工艺模型优化结果可靠,具有实用价值。

## 3.3 理化指标的测定结果与分析

### 3.3.1 pH 值变化

由表 4 可知,发酵后火龙果饮料的 pH 值由  $5.01 \pm 0.03$  下降到  $3.73 \pm 0.03$ ,原因是发酵期间乳酸菌进行新陈代谢所需的能源充足,产酸菌株生长旺盛,产酸量增加,因此发酵后饮料的 pH 下降。

### 3.3.2 可溶性固形物含量

由表 4 可知,发酵前火龙果发酵液中可溶性固形

物含量为  $2.93 \% \pm 0.06 \%$ ,发酵后火龙果发酵液中可溶性固形物含量为  $3.2 \% \pm 0.52 \%$ ,变化不明显。

### 3.3.3 DPPH 自由基清除率

DPPH 是一种很稳定的自由基,其醇溶液呈紫色,当试样中有自由基清除剂存在时,其紫色醇溶液将发生褪色。因此 DPPH 自由基清除率越高,说明抗氧化能力越强。由表 4 可见,火龙果汁经发酵后 DPPH 自由基清除率高达  $95.71 \% \pm 0.62 \%$ ,说明饮料经发酵后抗氧化能力大大提高,原因可能是发酵后总酚含量增高。

### 3.3.4 花色苷含量

经测定,火龙果原液的花色苷含量为  $(61.78 \pm 0.84)$  mg/L,发酵后其花色苷含量为  $(50.10 \pm 0.28)$  mg/L (表 4),降低了 11.68 mg/L。原因是花色苷极不稳定,受加工条件的影响而发生降解。

表 4 火龙果饮料发酵前后指标变化

Table 4 Changes in indicators of dragon fruit beverage before and after fermentation

实验操作	理化指标			
	pH 值	可溶性固形物/%	DPPH 自由基清除率/%	花色苷含量/(mg·L <sup>-1</sup> )
发酵前	$5.01 \pm 0.03$	$2.93 \pm 0.06$	$81.37 \pm 0.34$	$61.78 \pm 0.84$
发酵后	$3.73 \pm 0.03$	$3.2 \pm 0.52$	$95.71 \pm 0.62$	$50.10 \pm 0.28$

## 4 结论与讨论

利用响应面法优化火龙果发酵饮料的制备工艺,着重于考察火龙果发酵饮料中花青素含量。获得最佳发酵参数:发酵液初始 pH 6.3,种子液接种量 1.7%,发酵时间 24 h,该条件下得到的火龙果发酵饮料中花色苷含量高达  $(50.10 \pm 0.28)$  mg/L,仅比发酵前降低了 11.68 mg/L。并对火龙果发酵液的其他指标进行测定,结果显示:火龙果发酵饮料的 pH 降到  $3.73 \pm 0.03$ ,可溶性固形物含量基本不变,为  $3.2 \% \pm 0.52 \%$ ;DPPH 自由基清除率为  $95.71 \% \pm 0.62 \%$ ,提高了 14.34%,因此说明火龙果饮料经发酵后营养成分保存良好,抗氧化能力增强。火龙果与益生菌的结合将花青素保健功效发挥到最大,更能满足当前大健康战略下的饮品要求,对丰富我国果蔬发酵饮料市场有一定的研究意义。

## 参考文献(References):

- [1] 罗小艳,郭璇华. 火龙果的研究现状及发展前景[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(9): 142-145.

- LUO Xiao-yan, GUO Xuan-hua. Present research status and development prospect of pitaya [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2007, 33(9): 142-145.
- [2] 刘妍, 郭艳峰, 李晓璐, 等. 三种水果果皮中花青素含量测定及其稳定性分析[J]. *保鲜与加工*, 2017, 17(4): 89-93.  
LIU Yan, GUO Yan-feng, LI Xiao-lu, et al. Determination and stability analysis of anthocyanidin in three kinds of fruit peels[J]. *Storage and Process*, 2017, 17(4): 89-93.
- [3] 李涛, 王明月, 杜海群, 等. 红肉火龙果与白肉火龙果的品质分析[J]. *保鲜与加工*, 2015, 15(4): 59-61, 65.  
LI Tao, WANG Ming-yue, DU Hai-qun, et al. Quality analysis of red pitaya and white pitaya[J]. *Storage and Process*, 2015, 15(4): 59-61, 65.
- [4] 周笑犁, 莫瑞, 肖娜, 等. 红肉与白肉火龙果常规营养成分及抗氧化活性比较分析[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(21): 248-251, 319.  
ZHOU Xiao-li, MO Rui, XIAO Na, et al. Comparative analysis of nutritional components and antioxidant activity in red pitaya and white pitaya [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39(21): 248-251, 319.
- [5] WEISEL T, BAUM M, EISENBRAND G, et al. An anthocyanin/polyphenolic-rich fruit juice reduces oxidative DNA damage and increases glutathione level in healthy probands[J]. *Biotechnology Journal*, 2006, 1(4): 388-397.
- [6] WANG Y, ZHANG D, LIU Y, et al. The protective effects of berry-derived anthocyanins against visible light-induced damage in human retinal pigment epithelial cells [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2015, 95(5): 936-944.
- [7] SEHITOGLU M H, FAROOQI A A, QURESHI M Z, et al. Anthocyanins: Targeting of signaling networks in cancer cells [J]. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 2014, 15(5): 2379-2381.
- [8] 张福平. 火龙果的营养保健功效及开发利用[J]. *食品研究与开发*, 2002(3): 49-50.  
ZHANG Fu-ping. The nutrition and health care effect of pitaya and its development and utilization [J]. *Food Research and Development*, 2002(3): 49-50.
- [9] 孟宪福, 卢保丽, 覃朝望. 植物乳杆菌功能及其应用进展[J]. *轻工科技*, 2023, 39(3): 52-54.  
MENG Xian-fu, LU Bao-li, QIN (Chao | Zhao) (Wang). Function and application progress of *Lactobacillus plantarum* [J]. *Light Industry Science and Technology*, 2023, 39(3): 52-54.
- [10] 司天昭, 柳陈坚, 秦晓萌, 等. 植物乳杆菌 YM-2 菌株胞外多糖生物合成工艺优化[J]. *食品科学*, 2017, 38(10): 24-30.  
SI Tian-zhao, LIU Chen-jian, QIN Xiao-meng, et al. Optimization of biosynthesis conditions for the production of exopolysaccharides by *Lactobacillus plantarum* YM-2[J]. *Food Science*, 2017, 38(10): 24-30.
- [11] ALI IMANI FOOLADI A, YAZDI M H, POURMAND M R, et al. Th1 cytokine production induced by *Lactobacillus acidophilus* in BALB/c mice bearing transplanted breast tumor[J]. *Jundishapur Journal of Microbiology*, 2015, 8(4): 17353-17359.
- [12] 张晓磊. 益生菌发酵豆乳对高脂饮食小鼠降血脂及缓解肝损伤作用[D]. 长春: 吉林农业大学, 2016.  
ZHANG Xiao-lei. Effects of probiotic fermented soybean milk on reducing blood lipid and alleviating liver injury in mice fed with high-fat diet[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2016.
- [13] 王磊, 陈宇飞, 刘长姣. 发酵饮料的开发现状与研究前景[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(10): 379-382.  
WANG Lei, CHEN Yu-fei, LIU Chang-jiao. Research progress in developing situation and prospects of fermented drinks[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(10): 379-382.
- [14] YILMAZ C, GÖKMEN V. Formation of tyramine in yoghurt during fermentation-Interaction between yoghurt starter bacteria and *Lactobacillus plantarum*[J]. *Food Research International*, 2017, 97: 288-295.
- [15] 杨洪元, 蒋向军. 发酵型罗汉果酒的生产工艺研究[J]. *安徽农业科学*, 2011, 39(21): 13070-13072.  
YANG Hong-yuan, JIANG Xiang-jun. Study on the processing technology of fermented wine of *Momordica grosvenori* Swingle [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2011, 39(21): 13070-13072.
- [16] 王路. 玫瑰花乳酸发酵饮料的工艺研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2013.  
WANG Lu. Study on the technology of rose lactic acid fermented beverage[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2013.
- [17] 鲁明, 付欣, 王小鹤, 等. 响应面法优化乳酸菌发酵黑米饮料工艺研究[J]. *保鲜与加工*, 2016, 16(6): 54-60.  
LU Ming, FU Xin, WANG Xiao-he, et al. Optimization of fermentation technology of black rice *Lactobacillus* beverage by response surface methodology[J]. *Storage and Process*, 2016, 16(6): 54-60.
- [18] 李珊, 梁俭, 冯群, 等. 红心与白心火龙果总糖、还原糖含量及其抗氧化活性的对比分析[J]. *粮食与油脂*, 2020, 33(5): 20-24.

- LI Shan, LIANG Jian, FENG Qun, et al. Comparative analysis of total sugar, reducing sugar content and antioxidant activity in red pitaya and white pitaya[J]. *Cereals & Oils*, 2020, 33(5): 20-24.
- [19] 杜洁, 戴伟杰, 曹庸. 火龙果皮多酚的提取及其抑菌性研究[J]. *吉林农业*, 2017(6): 60-61.
- DU Jie, DAI Wei-jie, CAO Yong. Extraction of polyphenols from pitaya peel and its bacteriostasis[J]. *Agriculture of Jilin*, 2017(6): 60-61.
- [20] 许金蓉, 陶炫宏, 卢笛, 等. 响应面优化微波辅助提取火龙果果皮中多酚工艺研究[J]. *轻工科技*, 2017, 33(6): 23-25.
- XU Jin-rong, TAO Xuan-hong, LU Di, et al. Optimization of microwave-assisted extraction of polyphenols from pitaya peel by response surface methodology[J]. *Light Industry Science and Technology*, 2017, 33(6): 23-25.
- [21] 黄斌, 韦兰洁, 麦馨允, 等. 超声辅助提取红心火龙果果肉花青素工艺的优化分析[J]. *种子科技*, 2021, 39(8): 21-23.
- HUANG Bin, WEI Lan-jie, MAI Xin-yun, et al. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of anthocyanin from pitaya pulp[J]. *Seed Science & Technology*, 2021, 39(8): 21-23.
- [22] 程水明, 曾霞, 周国钰, 等. 响应面法优化红肉火龙果果皮中花青素提取工艺[J]. *广东石油化工学院学报*, 2021, 31(1): 68-73.
- CHENG Shui-ming, ZENG Xia, ZHOU Guo-yu, et al. Optimization of the anthocyanin extraction from *Hylocereus undatus* pericarp by using response surface methodology[J]. *Journal of Guangdong University of Petrochemical Technology*, 2021, 31(1): 68-73.
- [23] 卢梦婷, 陶志杰, 祁文慧, 等. 火龙果果皮花青素提取及其热稳定性研究[J]. *广州化工*, 2020, 48(23): 66-68, 75.
- LU Meng-ting, TAO Zhi-jie, QI Wen-hui, et al. Extraction of anthocyanin from pitaya peel and its hot stability study[J]. *Guangzhou Chemical Industry*, 2020, 48(23): 66-68, 75.
- [24] 付调坤, 周伟, 夏文, 等. 火龙果茎中3种主要甾醇的提取工艺研究[J]. *热带农业科学*, 2019, 39(12): 42-50.
- FU Tiao-kun, ZHOU Wei, XIA Wen, et al. Study on the extraction technology of three main sterols from the pitaya stem[J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2019, 39(12): 42-50.
- [25] 马晓伟, 林小晖, 杜冰. 益生菌发酵火龙果饮料的工艺研究[J]. *饮料工业*, 2017, 20(3): 48-52.
- MA Xiao-wei, LIN Xiao-hui, DU Bing. Research and produce of pitaya fermented beverage with *Lactobacillus*[J]. *Beverage Industry*, 2017, 20(3): 48-52.
- [26] 周俊良, 谢国芳, 王晓芸, 等. 火龙果果汁饮料复合稳定剂研究[J]. *江苏农业科学*, 2014, 42(7): 268-270.
- ZHOU Jun-liang, XIE Guo-fang, WANG Xiao-yun, et al. Study on compound stabilizer of pitaya juice beverage[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2014, 42(7): 268-270.
- [27] COSTA M G M, FONTELES T V, DE JESUS A L T, et al. Sonicated pineapple juice as substrate for *L. casei* cultivation for probiotic beverage development: process optimisation and product stability[J]. *Food Chemistry*, 2013, 139(1-4): 261-266.
- [28] CASTRO-VÁZQUEZ L, DÍAZ-MAROTO M C, GONZÁLEZ-VIÑAS M A, et al. Differentiation of monofloral citrus, rosemary, eucalyptus, lavender, thyme and heather honeys based on volatile composition and sensory descriptive analysis[J]. *Food Chemistry*, 2009, 112(4): 1022-1030.
- [29] 桑戈, 赵力, 谭婷婷, 等. pH示差法测定紫薯酒中花青素的含量[J]. *酿酒科技*, 2015(6): 88-91.
- SANG Ge, ZHAO Li, TAN Ting-ting, et al. Determination of anthocyanin content in purple potato wine by pH-differential method[J]. *Liquor-Making Science & Technology*, 2015(6): 88-91.
- [30] 杨冬彦, 赵庆生, 赵兵, 等. 黑果枸杞速溶粉的制备工艺研究[J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(23): 68-75.
- YANG Dong-yan, ZHAO Qing-sheng, ZHAO Bing, et al. Study on preparation technology of *Lycium ruthenicum* Murr. instant powder[J]. *Food Research and Development*, 2018, 39(23): 68-75.
- [31] 刘涛, 韦仕静, 任杰, 等. 桑葚汁多菌种发酵过程主要成分及抗氧化性的变化[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(19): 131-135, 141.
- LIU Tao, WEI Shi-jing, REN Jie, et al. The change of index and antioxidant activity in mulberry juice fermentation process[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(19): 131-135, 141.
- [32] 侯银臣, 吕行, 黄继红, 等. 发酵条件对桑葚酵素抗氧化能力的影响[J]. *河南农业大学学报*, 2019, 53(2): 251-256.
- HOU Yin-chen, LYU Xing, HUANG Ji-hong, et al. Effect of fermentation conditions on the antioxidant capacity of the ferment of mulberry[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2019, 53(2): 251-256.

责任编辑:陈芳