

# 复合菌种发酵条件对猕猴桃饮料 抗氧化活性的影响

吴 丽, 谢小青, 唐春红\*, 尤琳烽

(重庆工商大学环境与资源学院, 重庆 400067)

**摘 要:** **目的** 研究发酵条件对猕猴桃饮料抗氧化活性的影响。**方法** 以猕猴桃为原料, 利用植物乳杆菌、嗜酸乳杆菌复合菌种发酵制备猕猴桃饮料, 以猕猴桃发酵饮料的 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-trinitrophenylhydrazine, DPPH)自由基清除率为考察指标, 通过单因素和响应面实验确定最佳发酵工艺, 并对猕猴桃饮料发酵前后的主要理化指标进行比较。**结果** 猕猴桃饮料的最佳发酵工艺参数为: 发酵液初始 pH 5.5, 发酵时间 21 h, 接种量为 1.6% (V:V)。该条件下发酵的猕猴桃饮料 DPPH 自由基清除率可高达  $90.28\% \pm 1.43\%$ , 较发酵前  $65.47\% \pm 1.12\%$  有显著提升 ( $P < 0.05$ ); OH 自由基清除率和总黄酮含量分别由  $42.67\% \pm 0.78\%$ 、 $(3.21 \pm 0.01)$  mg/mL 提高到  $61.21\% \pm 0.94\%$ 、 $(3.67 \pm 0.02)$  mg/mL; pH 由  $5.48 \pm 0.01$  降低到  $3.73 \pm 0.01$ ; 可溶性固形物和维生素 C 含量分别由  $13.26\% \pm 0.01\%$ 、 $(60.58 \pm 2.14)$  mg/100 g 下降到  $12.98\% \pm 0.01\%$ 、 $(58.39 \pm 1.22)$  mg/100 g, 变化不明显 ( $P > 0.05$ )。**结论** 最佳发酵条件下制备的猕猴桃发酵饮料抗氧化较强, 总黄酮含量增加, 可溶性固形物和和维生素 C 含量变化不明显。研究结果可为提升猕猴桃的产品价值提供依据。**关键词:** 猕猴桃; 发酵饮料; 复合菌种; 抗氧化; 响应面法

## Effects of fermentation conditions of compound strains on antioxidant activity of fermented kiwifruit beverage

WU Li, XIE Xiao-Qing, TANG Chun-Hong\*, YOU Lin-Feng

(College of Environment and Resources, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

**ABSTRACT: Objective** To study the effects of fermentation conditions of compound strains on antioxidant activity of kiwifruit beverage. **Methods** Kiwifruit beverage was prepared by fermentation with compound strains of *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus acidophilus*. The free radical scavenging rate of 1,1-diphenyl-2-trinitrophenylhydrazine (DPPH) in kiwifruit fermented beverage was used as the index. The optimal fermentation process was determined by single factor and response interview. The main physical and chemical indexes of kiwifruit beverage before and after fermentation were compared. **Results** The optional process parameters were as follows: Initial pH of the fermentation broth 5.5, fermentation time 21 h, and the inoculation amount of the seed solution 1.6% (V:V). Under this circumstance, the DPPH free radical scavenging activity of the fermented beverage reached  $90.28 \pm 1.43\%$ , which was significantly higher than  $65.47\% \pm 1.12\%$  before fermentation ( $P < 0.05$ ); OH radical

基金项目: 重庆市自然科学基金面上项目(cstc2018jcyjAX0804)

Fund: Supported by the Natural Science Foundation of Chongqing City (cstc2018jcyjAX0804)

\*通信作者: 唐春红, 博士, 教授, 主要研究方向为绿色食品加工技术。E-mail: 023tch@163.com

\*Corresponding author: TANG Chun-Hong, Ph.D, Professor, Chongqing Technology and Business University, No.19, Xuefu Avenue, Nan'an District, Chongqing 400067, China. E-mail: 023tch@163.com

scavenging rate and the content of total flavonoids increased from  $42.67\pm 0.78\%$  and  $(3.21\pm 0.01)$  mg/mL to  $61.21\pm 0.94\%$  and  $(3.67\pm 0.02)$  mg/mL; PH decreased from  $5.48\pm 0.01$  to  $3.73\pm 0.01$ ; soluble solids and vitamin C content decreased from  $13.26\pm 0.01\%$  and  $(60.58\pm 2.14)$  mg/100 g to  $12.98\pm 0.01\%$  and  $(58.39\pm 1.22)$  mg/100 g, and there was no significant change ( $P>0.05$ ). **Conclusion** The fermented kiwifruit beverage prepared under the optimum fermentation conditions has strong antioxidation, the content of total flavonoids increased, and the content of soluble solids and vitamin C does not change significantly. The results can provide a basis for improving the product value of kiwifruit.

**KEY WORDS:** kiwifruit; fermented beverage; compound strains; antioxidant; response surface methodology

## 0 引言

猕猴桃, 又称奇异果, 风味独特, 营养丰富, 被誉为“水果之王”, 在我国品种丰富, 达 62 种以上, 种植和产量居世界第一位<sup>[1]</sup>。猕猴桃富含碳水化合物、糖类、有机酸、维生素、膳食纤维及多种矿物质, 具有止渴、补肾、利尿、降燥等功效<sup>[2]</sup>, 营养价值较高, 味道酸甜可口, 深受人们的喜爱。

随着功能食品的开发, 猕猴桃的生物活性成分也在不断进行深入研究。研究表明, 猕猴桃中含有生物碱、原花青素、水溶性提取物 PG102、天然植物多糖、多酚化合物等活性物质, 具有抗疲劳、清除自由基、抑制皮炎、降糖降脂、抑制肝细胞的生长繁殖、增强机体免疫力的作用, 并具有较强的抗氧化活性<sup>[3-9]</sup>, 在功能食品和医疗领域具有重要的作用。

目前对于猕猴桃产品的研究主要有果汁(浆)<sup>[10-11]</sup>、果酒<sup>[12-13]</sup>、果醋<sup>[14]</sup>、果酱<sup>[15]</sup>、果脯<sup>[16]</sup>、脆片<sup>[17]</sup>、果粉<sup>[18]</sup>等。由于益生菌发酵技术能够产生有机酸类物质、酯类芳香成分以及生理活性物质<sup>[19]</sup>, 发酵果蔬产品正在兴起。张业芳等<sup>[20]</sup>研究了植物乳杆菌发酵对猕猴桃果浆理化指标和抗氧化能力的影响, 结果表明, 发酵后猕猴桃果浆中植物乳杆菌活菌数、总酸含量升高, 总酚酸和总黄酮的含量提高, 且 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-trinitrophenylhydrazine, DPPH)自由基、2,2'-联氮-双-3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), ABTS]自由基的清除能力明显提高。目前采用复配菌株生产猕猴桃饮料的研究较少。本研究以猕猴桃为原料, 用植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*)、嗜酸乳杆菌(*Lactobacillus acidophilus*)复合乳杆菌发酵制备猕猴桃饮料, 以 DPPH 自由基清除率为指标, 通过响应面分析发酵条件对抗氧化性的影响, 优化发酵工艺, 使猕猴桃发酵饮料的抗氧化活性高于现有研究水平, 以期提升猕猴桃的产品价值提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

#### 1.1.1 原料与试剂

猕猴桃: 重庆市周边地区。

植物乳杆菌 Lp-G18、嗜酸乳杆菌 LA-G80 (上海润盈生物工程有限公司); MRS 琼脂培养基、MRS 肉汤培养基 (杭州百思生物技术有限公司); DPPH (色谱纯, 梯希爱化成工业发展有限公司); 芦丁标准品(纯度 $\geq 98.0\%$ , 南京都莱生物技术有限公司); 叶绿素铜钠盐(食品级, 四川华堂聚瑞生物科技有限公司); 羧甲基纤维素钠(食品级, 湖南聚硕生物科技有限公司); 白砂糖(优级, 广西南华糖业集团有限公司); 水杨酸、柠檬酸、无水乙醇、乙醚(分析纯, 成都市科隆化学品有限公司)。

#### 1.1.2 仪器与设备

JP818 型打浆机(浙江绍兴苏泊尔生活电器有限公司); TDZ5-WS 型离心机(长沙湘仪离心机仪器有限公司); BXM-30R 型立式压力蒸汽灭菌锅(上海博迅实业有限公司医疗设备厂); UV1102II 型紫外分光光度计(上海天美科学仪器有限公司); GHP-9080 型隔水式恒温培养箱(上海齐欣科学仪器有限公司); SW-CJ-2FD 型无菌操作台(苏州安泰空气技术有限公司); PB-10 型 pH 计(北京赛多利斯科学仪器有限公司); CP214 型电子天平(上海奥豪仪器有限公司)。

## 1.2 实验方法

### 1.2.1 菌种培养

将植物乳杆菌和嗜酸乳杆菌分别接种到 MRS 琼脂培养基上并传代 2 次, 然后将活化过的两菌种分别单独接种到 MRS 肉汤培养基中, 在 37 °C 恒温培养箱中培养 24 h, 得到种子液, 菌体浓度分别达到  $10^8$  CFU/mL, 冷藏备用。

### 1.2.2 单因素实验

取适量猕猴桃清洗干净去皮后, 称重, 以料液比 1:3 ( $m:V$ )加水打浆, 然后加入 1% ( $m:m$ )的叶绿素铜钠盐护色, 1% ( $m:m$ )羧甲基纤维素钠作稳定剂, 12% ( $m:m$ )的白砂糖, 混合均匀, 并用柠檬酸钠或柠檬酸调节 pH 为 5.5~6.0。在无菌条件下将 1:1 ( $m:m$ )的植物乳杆菌和嗜酸乳杆菌混合菌种接入猕猴桃浆液中, 37 °C 恒温发酵制备猕猴桃发酵饮料, 发酵结束后离心(4000 r/min, 15 min)取上清液, 进行指标检测。在此条件的基础上进行调整, 考察单因素初始 pH (4.5、5.0、5.5、6.0、6.5)、接种量(0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、2.5%)、发酵时间(8、16、24、32、40 h)对猕猴桃发酵液 DPPH 自由基清除率的影响。

### 1.2.3 响应面优化及验证

根据单因素实验结果,设计三因素三水平实验,以发酵后猕猴桃饮料的 DPPH 自由基清除率为响应值,用 Box-Behnken 进行实验设计,实验各因素水平如表 1 所示。

表 1 发酵响应面实验因素及水平  
Table 1 Experimental factors and level of fermentation response surface

水平	因素		
	A 发酵液初始 pH	B 发酵时间 /h	C 种子液总接种量 /%
-1	5.0	16	1.0
0	5.5	20	1.5
1	6.0	24	2.0

### 1.2.4 DPPH 自由基清除率测定

参照文献[21],将 2 mL 稀释 10 倍的发酵饮料反应完全后在 517 nm 处测定其吸光值,以 2 mL 无水乙醇代替样品作为空白组,按照公式(1)计算 DPPH 自由基清除率。

$$\text{DPPH 自由基清除率}/\%=[1-(A_1-A_2)/A_0]\times 100\% \quad (1)$$

式(1)中:

$A_0$  为空白对照吸光值;

$A_1$  为样品溶液的吸光值;

$A_2$  为用无水乙醇代替 DPPH 时测得对应浓度的吸光值。

### 1.2.5 猕猴桃发酵饮料其他指标的测定

取 1 mL 发酵前后的猕猴桃果浆加入 9 mL 蒸馏水稀释 10 倍,在 4000 r/min 的转速下离心 5 min,取上清液,待测。

发酵前的猕猴桃果浆是指单因素实验 1.2.2 中猕猴桃经清洗、去皮、打浆后,加入护色剂、稳定剂和白砂糖,混合均匀得到的浆液。

#### (1) OH 自由基清除率的测定

取待测样品 2 mL,参照张树军<sup>[22]</sup>的方法,反应完全后在 510 nm 处测定吸光值  $A_1$ 。以等体积的蒸馏水代替水杨酸-乙醇溶液,测定吸光值  $A_2$ ,以扣除样品本身颜色干扰,以等体积蒸馏水代替样品,为空白样,测定吸光值  $A_0$ 。按照公式(2)计算 H 自由基清除率。

$$\text{OH 自由基清除率}/\%=[1-(A_1-A_2)/A_0]\times 100\% \quad (2)$$

#### (2) pH 的测定

采用 pH 计进行测定。

#### (3) 可溶性固形物含量的测定

根据 GB/T 12143—2008《饮料通用分析方法》中的折光计法进行测定。

#### (4) 维生素 C 含量的测定

根据 GB/T 12143—2008 中的乙醚萃取法进行测定。

#### (5) 总黄酮含量的测定

参照杨晓凤等<sup>[23]</sup>的分光光度法测定黄酮类化合物的含量,配制质量浓度为 0.2 mg/mL 的芦丁标准溶液,再分

别稀释成质量浓度为 4、8、12、16、20  $\mu\text{g}/\text{mL}$  标准溶液,建立标准曲线回归方程,将发酵前后猕猴桃溶液稀释 10 倍后按其步骤进行测定,计算黄酮类化合物的含量。

## 1.3 数据处理

采用 SPSS 统计软件进行数据分析,组间均值比较用单因素方差分析,结果用平均值 $\pm$ 标准误差表示。采用 Excel 进行数据处理和作图,使用 Design-expert V8.0.6 进行响应面设计和方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素实验结果

#### 2.1.1 发酵液初始 pH 对猕猴桃发酵饮料抗氧化能力的影响

当发酵时间为 24 h,接种量为 1.5%时,发酵液初始 pH 分别为 4.5、5.0、5.5、6.0、6.5,发酵完成后离心,测定 DPPH 自由基清除率。结果表明,随着发酵液初始 pH 的上升,DPPH 自由基清除率呈现先增加后降低的趋势,当发酵液初始 pH 为 5.5 时,猕猴桃发酵饮料清除 DPPH 自由基能力最强,可达到 89.05% $\pm$ 0.92%。得到的 5 组数据经过 SPSS 分析可知,发酵液初始 pH 为 5.5 时,DPPH 自由基清除率与发酵液初始 pH 为 6.0 得到的结果没有显著性差异 ( $P>0.05$ ),与发酵液初始 pH 分别为 4.5、5.0、6.5 时得到的结果相比均有显著性差异 ( $P<0.05$ )。因此,将猕猴桃发酵液的初始 pH 的优化区间设置在 5.0~6.0。

#### 2.1.2 发酵时间对猕猴桃发酵饮料抗氧化能力的影响

当发酵液初始 pH 为 5.5,接种量为 1.5%时,发酵时间分别为 8、16、24、32、40 h,发酵完成后离心,测定猕猴桃发酵饮料 DPPH 自由基清除率。结果表明,随着发酵时间的增加,DPPH 自由基清除率呈现先增加后降低的趋势,当发酵时间为 24 h 时,猕猴桃发酵饮料清除 DPPH 自由基能力最强,可达到 87.94% $\pm$ 0.96%。得到的 5 组数据经过 SPSS 分析可知,发酵时间为 24 h 时,DPPH 自由基清除率与发酵 16 h 得到的结果没有显著性差异 ( $P>0.05$ ),与发酵 8、32、40 h 得到的结果相比均有显著性差异 ( $P<0.05$ )。因此,将猕猴桃发酵饮料的发酵时间的优化区间设置为 16~24 h。

#### 2.1.3 接种量对猕猴桃发酵饮料抗氧化能力的影响

当发酵液初始 pH 为 5.5,发酵时间为 24 h 时,接种量分别为 0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、2.5%,发酵完成后离心,测定猕猴桃发酵饮料 DPPH 自由基清除率。结果表明,随着接种量的增加,DPPH 自由基清除率呈现先增加后降低的趋势,当接种量为 1.5%时,猕猴桃发酵饮料清除 DPPH 自由基能力最强,可达到 88.89% $\pm$ 1.71%。得到的 5 组数据经过 SPSS 分析可知,接种量为 1.5%时,DPPH 自由基清除率与接种量分别为 0.5%、1.0%、2.0%、2.5%时得到的结

果相比均有显著性差异( $P<0.05$ )。因此, 将猕猴桃发酵饮料的接种量的优化区间设置为 1.0%~2.0%。

## 2.2 Box-Behnken 实验结果与分析

根据表 1 中的因素水平, 经 Box-Behnken 实验设计, 得到猕猴桃发酵饮料工艺参数的响应面实验结果如表 2。

表 2 得出的 17 组实验结果由响应面软件进行数据分析, 得到回归方程模型、响应面和等高线, 以及二次多项式模型的显著性分析和回归拟合的程度分析。该实验得到的数学模型  $P<0.0001$ , 因此模型具有高度的显著性, 失拟性  $P$  为 0.2290 ( $>0.05$ ), 表明该模型对于绝对误差不显著, 能很好地预测响应值。模型确定系数  $R^2=0.9781$ , 模型调整确定系数  $R_{Adj}^2=0.9498$ , 表明回归方程回归效果良好。

猕猴桃发酵饮料 DPPH 自由基清除率( $R$ )、发酵液初始 pH (A)、发酵时间(B)、接种量(C)的三元二次回归方程为:

$$R=90.84+0.27A+1.37B+1.95C+0.79AB+1.45AC+0.43BC-3.39A^2-5.20B^2-8.44C^2。$$

响应值二次模型的方差分析及显著性如表 3 所示, 发酵时间和接种量对猕猴桃发酵饮料的抗氧化性具有显著影响, 初始 pH 对发酵饮料的抗氧化性影响不明显( $P>0.05$ )。从 3 个因素单独比较分析可知, 3 个因素对猕猴桃发酵饮料的抗氧化性影响大小为接种量>发酵时间>初始 pH。

表 2 响应面实验设计及结果  
Table 2 Design and results of response surface test

实验号	初始 pH	发酵时间/h	接种量/%	DPPH 自由基清除率/%
1	0.00	1.00	-1.00	76.12
2	-1.00	0.00	1.00	80.38
3	0.00	0.00	0.00	90.17
4	0.00	0.00	0.00	91.48
5	1.00	0.00	1.00	82.54
6	0.00	0.00	0.00	89.24
7	0.00	0.00	0.00	91.56
8	-1.00	-1.00	0.00	80.19
9	1.00	0.00	-1.00	74.74
10	-1.00	1.00	0.00	82.51
11	0.00	-1.00	-1.00	75.39
12	0.00	-1.00	1.00	77.42
13	0.00	1.00	1.00	79.86
14	1.00	1.00	0.00	85.88
15	-1.00	0.00	-1.00	78.37
16	1.00	-1.00	0.00	80.42
17	0.00	0.00	0.00	91.75

表 3 猕猴桃发酵饮料 DPPH 自由基清除率的回归模型方差分析  
Table 3 Analysis of regression model variance of DPPH free radical scavenging rate of fermented kiwifruit beverage

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	564.97	9	62.77	34.67	<0.0001	极显著
A-发酵液初始 pH	0.57	1	0.57	0.31	0.5932	
B-发酵时间/h	14.99	1	14.99	8.28	0.0238	显著
C-接种量/%	30.34	1	30.34	16.76	0.0046	极显著
AB	2.46	1	2.46	1.36	0.2815	
AC	8.38	1	8.38	4.63	0.0685	
BC	0.73	1	0.73	0.40	0.5454	
A <sup>2</sup>	48.39	1	48.39	26.72	0.0013	极显著
B <sup>2</sup>	113.85	1	113.85	62.88	<0.0001	极显著
C <sup>2</sup>	300.11	1	300.11	165.74	<0.0001	极显著
残差	12.67	7	1.81			
失拟性	7.91	3	2.64	2.21	0.2290	不显著
纯误差	4.77	4	1.19			
总差	577.64	16				

注:  $P<0.01$ , 表示极显著;  $P<0.05$ , 表示显著;  $P>0.05$ , 表示不显著。

为了得到影响猕猴桃发酵饮料的 DPPH 自由基清除率的各因素之间的交互性, 采用响应面软件处理实验数据, 获得回归方程的响应面图和等高线图, 保持其他因素不变, 分析不同的 2 个因素之间对猕猴桃发酵饮料 DPPH 自由基清除率的影响, 如图 1。响应面越陡峭, 说明两因素之间的交互性就越强, 图 1 可直观地反映出初始 pH、发酵时间、接种量之间的相互作用对猕猴桃发酵饮料 DPPH 自由基清除率的影响程度, 3 个因素之间的交互作用对猕猴桃发酵饮料 DPPH 自由基的清除率影响均不显著, 与方差分析结果相同。

## 2.3 验证实验结果

通过数据处理软件分析所建立的模型, 获得猕猴桃饮料的最佳发酵工艺参数为: 发酵液初始 pH 5.54, 发酵时间 20.57 h, 接种量 1.56%, 该条件下发酵出的猕猴桃饮料 DPPH 自由基清除率可高达 91.07%±0.65%。考虑实际操作方便, 发酵条件修正为: 初始 pH 5.5, 发酵时间 21 h, 接种量 1.6% (V:V), 在该条件下进行验证实验, 以检验回归模型的可靠性。经 3 组平行实验后, 猕猴桃饮料的 DPPH 自由基清除率平均值为 90.28%±1.43%, 与模型的预测值相比相差 0.79, 相对误差为 0.87%, 说明回归模型能很好的预测实际结果, 该模型优化工艺条件可靠性、实用性强。

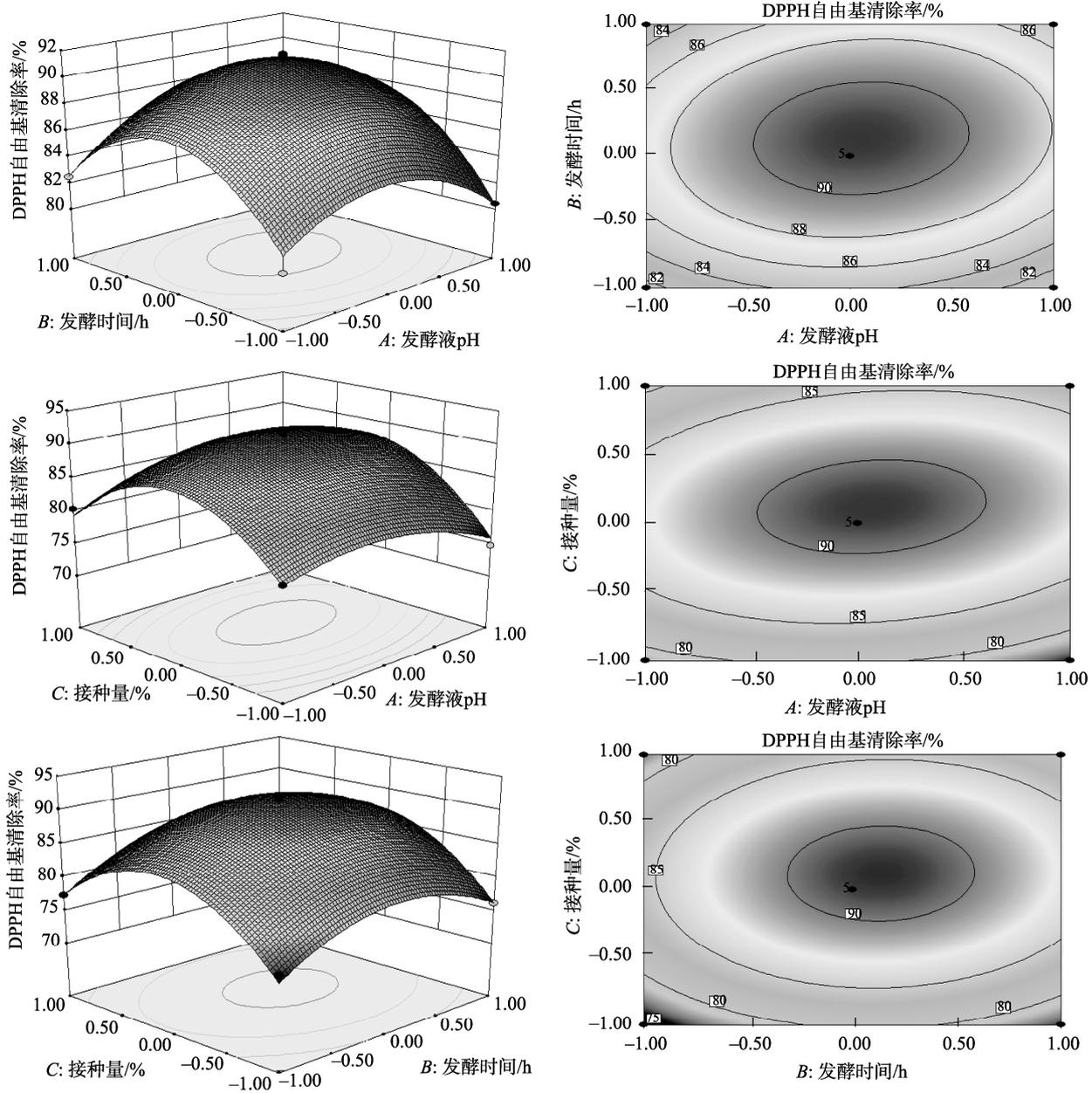


图 1 两因素交互作用对 DPPH 清除率影响的响应面和等高线  
Fig.1 Response surfaces and contours of variable parameters on the DPPH clearance rate

## 2.4 猕猴桃发酵饮料其他指标测定结果

猕猴桃饮料发酵前后的 OH 自由基清除率、pH、可溶性固形物含量及维生素 C 含量见表 4。黄酮含量测定采用分光光度法,以质量浓度(mg/L)为横坐标(X),吸光度为纵坐标(Y)绘制芦丁标准曲线为 $Y=0.0098X-0.002$  ( $r^2=0.9994$ )。根据标准曲线得到猕猴桃饮料发酵前后溶液中的总黄酮含量,见表 4。

由表 4 可知,发酵后猕猴桃饮料 pH 明显降低( $P<0.05$ ),可溶性固形物和维生素 C 含量变化不大,原因是乳酸菌代谢产生乳酸等小分子有机酸,从而使总酸的含量增加, pH 下降,形成了酸性环境,使可溶性固形物和维生素保持相

对稳定;总黄酮含量增加了 0.46 mg/mL, OH 自由基清除率和 DPPH 自由基的清除率变化趋势与总黄酮变化一致,都有显著增加( $P<0.05$ ),可能是在发酵过程中,黄酮类物质溶出,酚类物质发生变化,总酚酸和总黄酮含量增加,使得 OH 自由基清除率和 DPPH 自由基清除率提高<sup>[24]</sup>。

## 3 结论

本研究探究了发酵条件对猕猴桃饮料抗氧化活性的影响,对猕猴桃饮料的发酵工艺进行研究,确定最佳发酵工艺参数:当料液比 1:3 ( $m:V$ ),初始 pH 5.5,发酵时间

21 h, 接种量 1.6% (V:V)时, 此条件下发酵出的猕猴桃饮料 DPPH 自由基清除率可高达 90.28%±1.43%。对猕猴桃发酵饮料的其他指标进行测定, 结果显示: 发酵后猕猴桃饮料 pH 明显降低; 可溶性固形物和维生素 C 含量变化

不大, 略有降低; 总黄酮含量、OH 自由基清除率和 DPPH 自由基的清除率都有明显增加( $P<0.05$ )。相比现有研究<sup>[20]</sup>, 猕猴桃发酵饮料的抗氧化活性有所提高。研究结果可为提升猕猴桃的产品价值提供依据。

表 4 猕猴桃饮料其他指标  
Table 4 Other indexes of kiwifruit beverage

猕猴桃饮料	pH	可溶性固形物含量/%	维生素 C 含量/(mg/100 g)	总黄酮含量/(mg/mL)	OH 自由基清除率/%	DPPH 自由基清除率/%
发酵前	5.48±0.01	13.26±0.01	60.58±2.14	3.21±0.01	42.67±0.78	65.47±1.12
发酵后	3.73±0.01*	12.98±0.01	58.39±1.22	3.67±0.02*	61.21±0.94*	90.28±1.43*

注: \*表示同一指标在同一水平下发酵前后变化显著( $P<0.05$ )。

## 参考文献

- [1] 李吉达, 彭婷, 赵玥, 等. 黔野生猕猴桃果酱的制备及体外抗氧化性研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(3): 119–124.  
LI JD, PENG T, ZHAO Y, et al. Preparation and antioxidant function in vitro of wild kiwi jam in Guizhou province [J]. Food Res Dev, 2019, 40(3): 119–124.
- [2] 张业芳. 猕猴桃发酵饮料的研制及生物活性成分分析[D]. 贵阳: 贵州医科大学, 2018.  
ZHANG YF. Preparation of kiwifruit fermented beverage and analysis of bioactive components [D]. Guiyang: Guizhou Medical University, 2018.
- [3] LIU YY, LIU CJ. Antifatigue and increasing exercise performance of *Actinidia arguta* crude alkaloids in mice [J]. J Food Drug Anal, 2016, 24(4): 738–745.
- [4] 石浩, 王仁才, 庞立, 等. 软枣猕猴桃原花青素对 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 诱导细胞损伤的预保护作用[J]. 现代食品科技, 2019, 35(1): 1–8.  
SHI H, WANG RC, PANG L, et al. Preprotective effect of *Actinidia arguta* proanthocyanidins on the cell injured by drogen peroxide [J]. Mod Food Sci Technol, 2019, 35(1): 1–8.
- [5] WANG S, QIU Y, ZHU F. Kiwifruit (*Actinidia* spp.): A review of chemical diversity and biological activities [J]. Food Chem, 2021, 350: 1–29.
- [6] 牛强. 软枣猕猴桃枝条多糖的分离纯化及降血糖活性研究[D]. 佳木斯: 佳木斯大学, 2020.  
NIU Q. Study on the separation, purification and hypoglycemic activity of polysaccharides from the branches of *Actinidia arguta* [D]. Jiamusi: Jiamusi University, 2020.
- [7] 于雪骊. 软枣猕猴桃多糖 AAP-3b 的生物安全性评价及抗肝癌活性研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016.  
YU XL. The experimental study on safety evaluation and anti-hepatoma activity of the *Actinidia arguta* polysaccharides AAP-3b [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2016.
- [8] 吴优. 软枣猕猴桃精油和角鲨烯的提取纯化及生物活性研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020.  
WU Y. Extraction, purification and biological activity of *Actinidia arguta* essential oil and squalene [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2020.
- [9] WANG ZN, FENGG YZ, YANG NN, et al. Ermentation of kiwifruit juice from two cultivars by probiotic bacteria: Bioactive phenolics, antioxidant activities and flavor volatiles [J]. Food Chem, 2021, 373: 1–9.
- [10] 杨柳, 邵婷, 钟金锋, 等. 三种稳定剂对猕猴桃椰汁复合乳饮料稳定性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(10): 116–121, 128.  
YANG L, SHAO T, ZHONG JF, et al. Effects of stabilizers on the stability of kiwifruit and coconut juice mixed milk beverage [J]. Food Ferment Ind, 2019, 45(10): 116–121, 128.
- [11] 李涵, 杨天歌, 向珈慧, 等. 冷破碎工艺对猕猴桃果浆品质的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(4): 259–262.  
LI H, YANG TG, XIANG JH, et al. Effects of cold crushing process on the fruit pulp quality of kiwi fruit [J]. Food Ind Sci Technol, 2017, 38(4): 259–262.
- [12] 黄莹捷, 朱裕德, 覃小玲, 等. 猕猴桃茶酒的发酵工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(15): 117–122.  
HUANG YJ, ZHU YD, QIN XL, et al. Study on fermentation technology of kiwifruit tea wine [J]. Food Res Dev, 2020, 41(15): 117–122.
- [13] 魏丽娜, 赵静, 余偲, 等. 猕猴桃枸杞复合果酒的研制[J]. 现代食品科技, 2019, 35(8): 190–197, 316.  
WEI LN, ZHAO J, YU C, et al. Development of kiwi & medlar fruit wine [J]. Mod Food Sci Technol, 2019, 35(8): 190–197, 316.
- [14] 钟武, 王腾腾, 张娜威, 等. 带皮发酵对“金艳”猕猴桃果醋品质的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(22): 74–81.  
ZHONG W, WANG TT, ZHANG NW, et al. Effect of fermentation with peel on the quality of “Jinyan” kiwifruit vinegar [J]. Food Sci, 2020, 41(22): 74–81.
- [15] 刘春燕, 丁捷, 刘继, 等. 脱皮方式对低糖猕猴桃果酱特征风味物质的影响[J]. 食品科技, 2019, 44(1): 125–132.  
LIU CY, DING J, LIU J, et al. Impact of peeling ways on flavor characteristics of low-sugar preserved kiwi fruit jam [J]. Food Sci Technol, 2019, 44(1): 125–132.
- [16] 秦世蓉, 左勇, 何颂捷, 等. 猕猴桃果脯制作工艺优化[J]. 食品工业科技, 2019, 40(24): 152–159.  
QIN SR, ZUO Y, HE SJ, et al. Optimization of processing technology of preserved kiwifruit [J]. Food Ind Sci Technol, 2019, 40(24): 152–159.
- [17] 罗晶晶, 李华佳, 郭壮, 等. 大豆分离蛋白/甲基纤维素浸泡预处理对猕猴桃脆片品质的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(10): 63–67, 74.  
LUO JJ, LI HJ, GUO Z, et al. Effect of soy protein isolate and methylcellulose soaking pretreatment on the quality of kiwi crispy tablets [J]. Food Ind Sci Technol, 2020, 41(10): 63–67, 74.
- [18] 许牡丹, 周丹, 黄萌, 等. 猕猴桃复合粉的制备及其评价指标筛选[J].

- 食品科技, 2017, 42(1): 130–133.
- XU MD, ZHOU D, HUANG M, *et al.* Preparation and evaluation index of compound powder of kiwi fruit [J]. *Food Sci Technol*, 2017, 42(1): 130–133.
- [19] LUCKOW T, DELAHUNTY C. Which juice is ‘healthier’? A consumer study of probiotic non-dairy juice drinks [J]. *Food Qual Prefer*, 2004, 15(7-8): 751–759.
- [20] 张业芳, 唐诗, 周艳, 等. 植物乳杆菌发酵对猕猴桃抗氧化物质含量及抗氧化活性的影响[J]. *中国酿造*, 2018, 37(12): 154–159.
- ZHANG YF, TANG S, ZHOU Y, *et al.* Effects of *Lactobacillus plantarum* fermentation on the antioxidants content and antioxidant activities of kiwifruit [J]. *China Brew*, 2018, 37(12): 154–159.
- [21] 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 T, WEI SJ, REN J, *et al.* The change of index and antioxidant activity in mulberry juice fermentation process [J]. *Food Ind Sci Technol*, 2017, 38(19): 131–135, 141.
- [22] 张树军. 忍冬茎叶抗氧化活性成分研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
- ZHANG SJ. Antioxidant activity constituents of stems and leaves of *Lonicera japonica* Thunb [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2012.
- [23] 杨晓凤, 韩梅, 胡莉. 分光光度法测定老鹰茶中黄酮类化合物[J]. *西南农业学报*, 2011, 24(3): 1234–1235.
- YANG XF, HAN M, HU L. Determination of total flavonoids in *Litsea coreana* by spectrophotometric method [J]. *J Southwest China Agric Sci*, 2011, 24(3): 1234–1235.
- [24] 王高坚, 王珍珍, 李嘉嘉, 等. 蓝莓酵素的体外抗氧化及对秀丽隐杆线虫的氧化应激保护作用[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(15): 343–350.
- WANG GJ, WANG ZZ, LI JJ, *et al.* Antioxidant activity *in vitro* and promoting resistance to oxidative stress in *Caenorhabditis elegans* of blueberry Jiaosu [J]. *Food Ind Sci Technol*, 2021, 42(15): 343–350.

(责任编辑: 李磅礴 张晓寒)

## 作者简介



吴丽, 博士, 讲师, 主要研究方向为农产品加工及贮藏工程。  
E-mail: wulili1228@163.com



唐春红, 博士, 教授, 主要研究方向为绿色食品加工技术。  
E-mail: 023tch@163.com.