

植物乳杆菌发酵桑葚酵素工艺优化及质量评价

Optimization of fermentation process and quality evaluation of

Mulberry Jiaosu from *Lactobacillus plantarum*

吴德光¹ 邓学聪² 胡智慧¹ 周英彪²

WU Deguang¹ DENG Xuecong² HU Zhihui¹ ZHOU Yingbiao²

(1. 茅台学院酿酒工程系, 贵州 遵义 564500; 2. 广东石油化工学院生物与食品工程学院, 广东 茂名 525000)

(1. Department of Brewing Engineering, Moutai Institute, Zunyi, Guizhou 564500, China;

2. College of Biological and Food Engineering, Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming, Guangdong 525000, China)

摘要:目的:解决新鲜桑葚难以保存的问题,将新鲜桑葚制成桑葚酵素。方法:以新鲜桑葚汁为原料,植物乳杆菌为生产菌种,总酚含量为评价指标,通过单因素试验结合响应面法优化了植物乳杆菌桑葚酵素的发酵工艺,并对桑葚酵素的理化、微生物及感官质量指标进行评价。结果:优化后发酵工艺条件为发酵时间 40 h、发酵温度 32 ℃、接种量 25%,所制得的植物乳杆菌桑葚酵素的总酚含量达(43.48±0.67) μg/mL,是未经发酵的桑葚汁的 1.62 倍,可溶性固体物含量为 5.36%,pH 值为 4.08±0.01,微生物指标满足国家标准;桑葚酵素呈紫红、色泽均匀,具有浓郁的桑葚果香和发酵的香味、无异味,酸味柔和、风味好,有光泽、无杂质及沉淀。结论:经植物乳杆菌发酵制得桑葚酵素的过程有生物活性物质产生,有利于提高桑葚酵素质量。

关键词:桑葚;植物乳杆菌;桑葚酵素;总酚

Abstract: Objective: To solve the problem of difficult preservation of fresh *Mulberry*, fresh *Mulberry* is fermented by *Lactobacillus plantarum* to produce *Mulberry Jiaosu*. **Methods:** Using fresh *Mulberry* juice as the raw material, *Lactobacillus plantarum* as strain and total phenol as index, the fermentation process of *Mulberry Jiaosu* was optimized by single factor test and response surface test. **Results:** The optimized fermentation conditions were as follows: fermentation time was 40 h, fermentation temperature was 32 ℃, inoculation amount was

25%, and the total phenol content of *Mulberry Jiaosu* was (43.48±0.67) μg/mL, which was 1.62 times that of non-fermented *Mulberry* juice. **Conclusion:** The quality evaluation results showed that the *Mulberry Jiaosu* had purple red color, uniform color, strong mulberry fruit aroma and fermentation aroma, no peculiar smell, soft sour taste, good flavor, lustre, no impurities and precipitation. The indexes of the *Mulberry Jiaosu* meet the relevant national standards.

Keywords: *Mulberry*; *Lactobacillus plantarum*; *Mulberry Jiaosu*; total phenol

桑葚是药食同源植物,含水量极高,采摘后难以长期贮藏和运输^[1]。其药用价值尚未得到有效开发,常见的桑葚干、桑葚果酱、桑葚醋、桑葚酒和桑葚茶等都是中低端加工产品^[2-3]。如何拓宽桑葚的深加工技术,开发出适合不同人群的桑葚功能食品,提升桑葚果的经济价值将成为桑葚高附加值产业的全新发展方向。桑葚的深加工技术仍主要依赖于微生物发酵,除了生产饮料酒和醋等产品外,桑葚还能生产具有特定生物活性成分的酵素^[4-5]。通常酵素产品富含酚类等抗氧化活性物质和维生素等生物活性物质,具有抗氧化、抗肿瘤、降血糖、降血压、预防慢性病与调节肠胃等功能,从而对机体的健康有一定的帮助^[6-7],其中占有率较高的果蔬酵素是以果蔬类植物营养物质为原料,经过植物乳杆菌等乳酸菌发酵而成,可将果蔬中原本人体不能吸收的营养成分转化为人体能吸收的代谢产物,从而使果蔬产品的营养价值大大提高^[8]。同时还有研究^[9]表明,乳酸菌释放的酶类可促进如花青素等酚类物质的转化,生成绿原酸及咖啡酸等,此类酚类物质能够清除自由基及阻断自由基链式反应而达到抗氧化的效果,并且该类物质也可通过微生物代谢合成。目前未见有以桑葚为原料,植物乳杆菌为发

基金项目:遵义市科学计划项目(编号:遵市科合 HZ 字[2021]334 号);贵州省科技计划项目(编号:黔科合基础-ZK[2022]一般 538);茅台学院高层次人才科研启动经费项目(编号:mygccrc[2022]037)

作者简介:吴德光,男,茅台学院副教授,博士。

通信作者:周英彪(1976—),男,广东石油化工学院副教授,博士。
E-mail: zybno1@163.com

收稿日期:2023-08-27 **改回日期:**2023-11-03

酵菌种,以总酚为指标进行桑葚酵素发酵工艺优化的报道。

研究拟以植物乳杆菌为生产菌种,以新鲜桑葚汁为原料,以总酚为指标,通过单因素试验结合响应面法优化桑葚酵素的发酵工艺,并对桑葚酵素的质量进行评价,以期为进一步拓宽农产品加工提供依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

桑葚:茂名市化州名甚园;

植物乳杆菌:*Lactobacillus plantarum* CICC21790,广东石油化工学院生物与食品工程学院代谢控制发酵研究室保藏;

蛋白胨、酵母粉:生化级,广东环凯微生物科技有限公司;

氯化钠:分析纯,中国医药集团有限公司;

无水碳酸钠、95%无水乙醇:分析纯,天津市大茂化学试剂厂;

福林酚:分析纯,福州飞静生物技术公司;

75%医用酒精:沈阳惠民洗消剂制造公司;

没食子酸:色谱纯,北京索莱宝科技有限公司;

氢氧化钠:分析纯,西陇化工股份有限公司。

1.2 仪器与amp;设备

立式压力蒸汽灭菌器:LS-50HD型,江阴滨江医疗设备有限公司;

榨汁机:WJS1222F型,美的集团股份有限公司;

电子天平:10002型,杭州友恒称重设备有限公司;

双人单面垂直超净工作台:SW-CJ-2FD型,苏净安泰空气技术有限公司;

卧式恒温摇床:DHZ-DA型,苏州培英实验设备有限公司;

数显恒温水浴锅:HH-2型,常州天瑞仪器有限公司;

电热鼓风干燥箱:DHG-9140A型,上海精宏实验设备有限公司;

高速冷冻微量离心机:CF1524R型,上海通善生物科技有限公司;

微型离心机:PHS-3C型,杭州齐薇仪器有限公司;

紫外可见分光光度计:UV-5100B型,上海元析仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 桑葚酵素发酵工艺 桑葚酵素发酵工艺主要包括新鲜桑葚榨汁制备、菌种培养、发酵、巴氏灭菌与amp;过滤分装等工序。

(1) 新鲜桑葚汁的制备:从化州名甚园采摘的新鲜桑葚,用纯净水洗干净后,使用经75%医用酒精喷洒消毒的榨汁机将其榨汁,获得桑葚原液,无菌纱布对折4层过滤去除桑葚碎渣,置于2L的玻璃罐中,贮藏在-20℃冰箱

保存备用,使用前提前置于4℃冰箱解冻24h。

(2) 菌种培养:从4℃冰箱保存的种子液中,按试验所需的10%接种量接到经高压灭菌的LB培养基中,180r/min,37℃进行菌种活化10h,将活化好的菌种再次按10%接种量接到另一个新鲜LB培养基,同样条件下进行振荡培养,到菌种的对数生长期中后期(大约16h时)停止培养。

(3) 接种发酵:按试验所需接种量量取菌液,8000r/min,4℃条件下离心10min,弃上清液取菌体,无菌生理盐水洗涤菌体2次得干净的菌体,将经过80℃巴氏灭菌的桑葚汁分装每瓶10mL,按试验所需接入菌种培养发酵。

(4) 发酵液灭菌与amp;过滤分装:将发酵液静置2h后,吸取上清液在冷冻离心机8000r/min,4℃离心10min,取上清液于80℃的水浴锅中巴氏灭菌10min,静置冷却到室温,0.45μm的滤膜过滤后分装,得桑葚乳酸菌酵素饮料。

1.3.2 单因素优化桑葚酵素发酵工艺试验

(1) 发酵温度对桑葚汁发酵程度的影响:发酵温度共设计6个水平(28,30,32,34,36,38℃),新鲜桑葚汁为10mL,接种量为10mL/100mL,发酵时间为24h,180r/min摇床进行恒温振荡培养后,取样测定不同温度下发酵液中的总酚含量。

(2) 发酵时间对桑葚汁发酵程度的影响:发酵时间共设计6个水平(12,24,36,48,60,72h),新鲜桑葚汁为10mL,接种量为10mL/100mL,发酵温度为30℃,180r/min摇床进行恒温振荡培养后,取样测定不同发酵时间下发酵液中的总酚含量。

(3) 接种量对桑葚汁发酵程度的影响:接种量共设计6个水平(5,10,15,20,25,30mL/100mL),新鲜桑葚汁为10mL,发酵时间为24h,发酵温度为30℃,180r/min摇床进行恒温振荡培养后,取样测定不同接种量下发酵液中的总酚含量。

1.3.3 响应面法优化桑葚酵素发酵工艺试验 根据单因素试验的结果选取总酚含量最高的3个水平,根据Design-Expert 13软件的Box-betoken中心组合设计条件进行试验优化得出最佳的桑葚汁酵素发酵工艺条件。

1.3.4 发酵液总酚含量测定

(1) 没食子酸标准曲线绘制:整个试验避光进行,在7根干净的10mL的具塞比色管中分别加入配制好的质量浓度为0.1mg/mL的标准没食子酸溶液为0.00,0.25,0.50,0.75,1.00,1.25,1.50mL,再加入福林酚试剂1mL和配制好的质量分数为12%的Na₂CO₃溶液2mL,超纯水定容至具塞比色管刻度线并充分振荡摇匀,重复3个平行组,室温下黑暗处避光反应30min后通过紫外分光光度计测定吸光值^[10]。

(2) 发酵液总酚含量测定:整个试验避光进行,经过

预试验确定合适的稀释倍数后用超纯水稀释样品,在干净的 10 mL 的具塞比色管中加入 0.25 mL 稀释的样品,再加入福林酚试剂 1 mL 和配制好的质量分数为 12% 的 Na_2CO_3 溶液 2 mL,超纯水定容至具塞比色管刻度线并充分振荡摇匀,重复 3 个平行组,室温下黑暗处避光反应 30 min 后通过紫外分光光度计测定吸光值,依据没食子酸标准曲线确定样品中的总酚含量^[10]。

1.3.5 桑葚酵素质量评价

(1) 感官评定:将制备的桑葚酵素分装 10 瓶于灭菌锥形瓶中,每瓶 20 mL,作为感官评定样品。参与感官评定的人员由 10 名心情平静且味觉正常的生物工程专业学生组成,从色泽、香味、滋味、体态 4 个项目对桑葚酵素进行评定。

(2) 可溶性固形物测定:按 GB/T 12143—2008 执行。

(3) pH 值:使用 PHS-3C 型酸度计测定。

(4) 微生物指标:按 GB 4789.3—2016、GB 4789.15—2016 执行。

1.3.6 数据处理 没食子酸标准曲线的的数据用 Excel 软件进行绘制,单因素试验数据用统计软件 SPSS 22.0 进行处理与分析,响应面试验数据用 Design-Expert 13 软件进行处理与分析。

2 结果与分析

2.1 总酚测定的标准曲线

按福林酚法要求的条件测量吸光值并制作没食子酸标准曲线如图 1 所示。经过计算得到没食子酸标准曲线的回归方程为 $y=9.5104x-0.3787$, $R^2=0.998$,表明线性拟合好。

2.2 单因素试验

2.2.1 发酵时间对桑葚酵素总酚的影响 如图 2 所示,发酵 12 h 时桑葚酵素的总酚含量较低,随着发酵时间的增加总酚含量逐渐上升,发酵 36 h 时桑葚酵素的总酚含量达到最大值(42.43 $\mu\text{g}/\text{mL}$),当发酵时间超过 36 h 后总酚含量逐渐下降。因此,选取 24,36,48 h 3 个时间作为响应面试验发酵时间的 3 个水平。

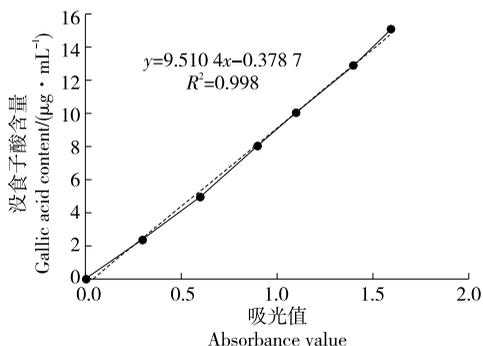


图 1 没食子酸标准曲线

Figure 1 The standard curve of gallic acid

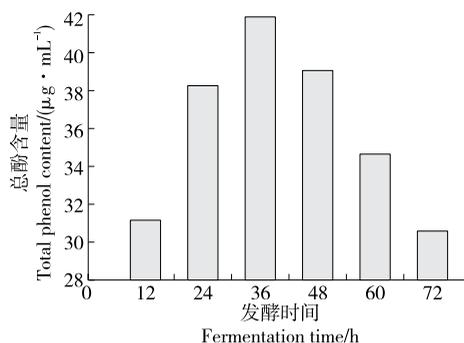


图 2 发酵时间对桑葚酵素总酚含量的影响

Figure 2 Effect of different fermentation times on the total phenol content of *Mulberry Jiaosu*

2.2.2 发酵温度对桑葚酵素总酚的影响 如图 3 所示,发酵温度为 28 $^{\circ}\text{C}$ 时桑葚酵素的总酚含量较低,随着发酵温度的上升总酚含量逐渐增加,发酵温度为 30 $^{\circ}\text{C}$ 时桑葚酵素的总酚含量达到最大值(40.25 $\mu\text{g}/\text{mL}$),当发酵温度超过 30 $^{\circ}\text{C}$ 后总酚含量逐渐下降。因此,选取 30,32,34 $^{\circ}\text{C}$ 3 个温度作为响应面试验发酵温度的 3 个水平。

2.2.3 接种量对桑葚酵素总酚的影响 如图 4 所示,接种量为 5 mL/100 mL 时桑葚酵素的总酚含量较低,随着

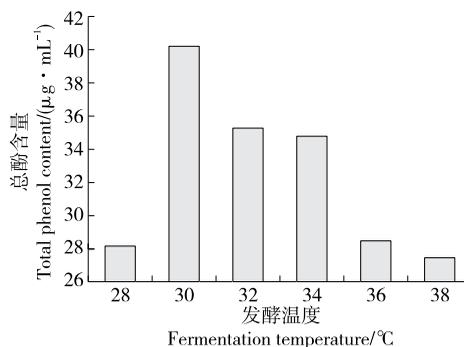


图 3 发酵温度对桑葚酵素总酚含量的影响

Figure 3 Effect of different fermentation temperatures on the total phenol content of *Mulberry Jiaosu*

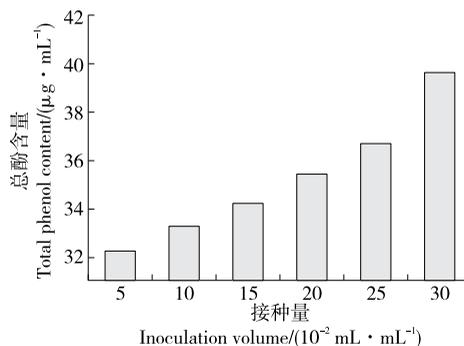


图 4 接种量对桑葚酵素总酚含量的影响

Figure 4 Effect of inoculation volume on the total phenol content of *Mulberry Jiaosu*

总接种量的增加,总酚含量呈增加趋势,接种量为30 mL/100 mL时桑葚酵素的总酚含量达到最大值(39.68 μg/mL),表明植物乳杆菌的代谢有助于总酚的积累。

2.3 响应面实验

根据单因素试验结果,响应面实验因素水平编码见表1,试验设计及结果见表2,方差分析见表3。

以桑葚酵素总酚含量为指标,得到总酚含量(Y)对发酵时间(A)、发酵温度(B)、总接种量(C)的二次多项回归方程:

$$Y = -803.151\ 000 + 5.573\ 790A + 47.176\ 120B - 0.646\ 175C - 0.094\ 062AB + 0.009\ 313AC + 0.044\ 000BC - 0.036\ 132A^2 - 0.707\ 625B^2 - 0.022\ 555C^2 \quad (1)$$

表1 响应面实验因素水平编码表

Table 1 The coding table of response surface experimental factor level

水平	A 发酵时间/h	B 发酵温度/℃	C 接种量/(10 ⁻² mL·mL ⁻¹)
-1	24	30	10
0	36	32	20
1	48	34	30

表2 桑葚酵素响应面实验设计及结果

Table 2 Response surface experiment and results of Mulberry Jiaosu

序号	A	B	C	总酚/(μg·mL ⁻¹)
1	-1	1	0	30.83
2	0	0	0	39.96
3	1	0	1	36.92
4	0	1	-1	31.02
5	-1	-1	0	29.69
6	0	-1	1	37.58
7	1	1	0	30.26
8	1	0	-1	31.88
9	0	0	0	39.39
10	-1	0	-1	30.93
11	0	-1	-1	34.35
12	0	0	0	40.53
13	-1	0	1	31.50
14	0	1	1	37.77
15	1	-1	0	38.15
16	0	0	0	39.87
17	0	0	0	41.58

表3 总酚含量回归模型方差分析及显著性检验†

Table 3 Analysis of variance and significance test of total phenol content regression model

误差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	282.09	9	32.34	30.82	<0.000 1	* *
A	25.42	1	25.42	24.99	0.001 6	*
B	12.23	1	12.23	12.02	0.010 4	*
C	30.38	1	30.38	29.87	0.000 9	*
AB	20.39	1	20.39	20.04	0.002 9	*
AC	5.00	1	5.00	4.91	0.062 2	
BC	3.10	1	3.10	3.05	0.124 5	
A ²	113.98	1	113.98	112.08	<0.000 1	* *
B ²	33.73	1	33.73	33.17	0.000 7	*
C ²	21.42	1	21.42	21.06	0.002 5	*
残差	7.12	7	1.02			
失拟项	4.30	3	1.43	2.04	0.250 9	
纯误差	2.81	4	0.70			
总变异	289.21	16				

† * * 表示极显著差异(P<0.01); * 表示显著差异(P<0.05);R²为0.975 4;R_{Adj}²为0.943 7;R_{Pred}²为0.746 6。

从表3可以看出,响应面回归模型中的F值为30.82,且P<0.000 1,说明响应面实验中所采用的二次模型极显著;失拟项(F值为2.04,且P=0.250 9>0.05)不显著,变异系数(C.V.%)为2.85(<10%),说明该响应面实验中所采用的模型拟合优度较好,模型具有较好的试验稳定性;模型相关系数R²为0.975 4,说明该响应面实验模型与实际试验拟合较好,实际试验中约97.54%的结果可以通过拟合的模型进行解释。校正后的决定系数R_{Adj}²为0.943 7,与R²相差不大,说明模型具有准确性和通用性,拟合效果好,可用来分析预测乳酸菌发酵桑葚酵素饮料的工艺条件参数。另外,二次项A²对发酵的桑葚酵素总酚含量的影响极显著,一次项A、B、C和交互项AB,二次项B²、C²的影响显著,交互项BC、AC的影响不显著,因此得出影响发酵的桑葚酵素总酚含量的因素顺序为C(接种量)>A(发酵时间)>B(发酵温度)。

图5~图7表明,发酵温度与发酵时间的交互作用对桑葚酵素总酚含量的影响最大,发酵时间与接种量的交互作用对桑葚酵素总酚含量的影响次之,发酵温度与接种量的交互作用对桑葚酵素总酚含量的影响不显著。

对回归方程求解后,得出最优的发酵工艺条件为:发酵时间39.30 h、发酵温度31.48℃、接种量24.51%,得到的桑葚酵素理想总酚含量为41.11 μg/mL。综合考量仪器条件和可操作性,将发酵工艺条件修正为发酵时间40 h、发酵温度32℃、接种量25%。按此发酵条件进行3次平行实验,得到桑葚酵素的总酚含量为(43.48±0.67) μg/mL,与响应面模型的预测值相近,表明优化得

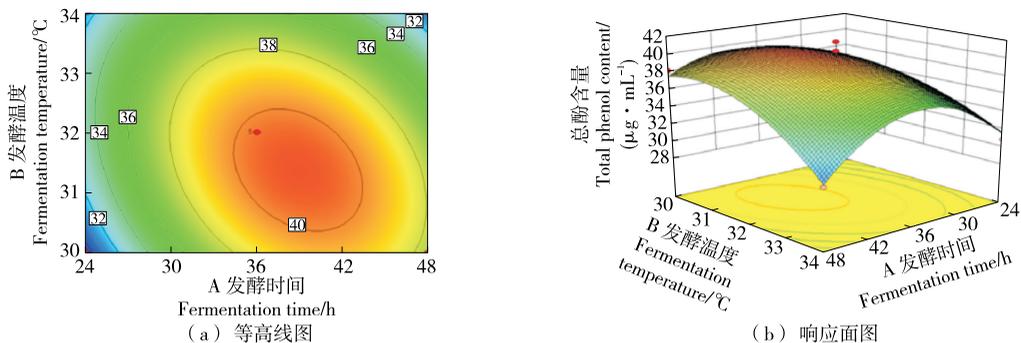


图 5 发酵温度与发酵时间对桑葚酵素总酚含量的交互影响

Figure 5 The interactive effect of fermentation temperature and time on the total phenol content of *Mulberry* Jiaosu

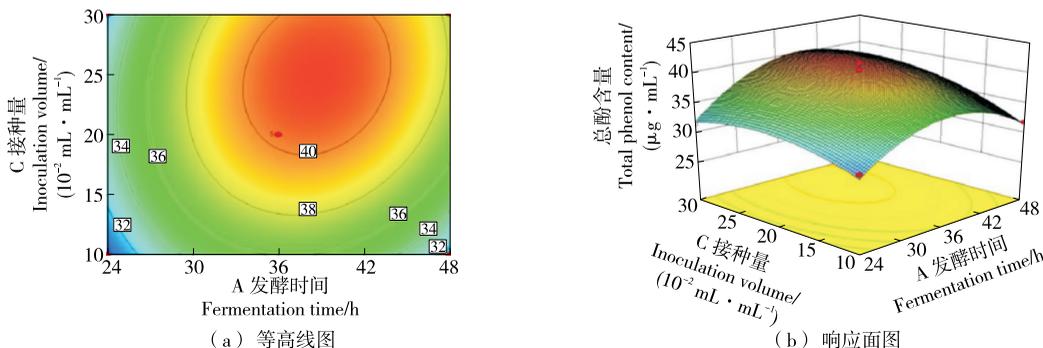


图 6 发酵时间与接种量对桑葚酵素总酚含量的交互影响

Figure 6 The interactive effect of fermentation time and inoculation volume on the total phenol content of *Mulberry* Jiaosu

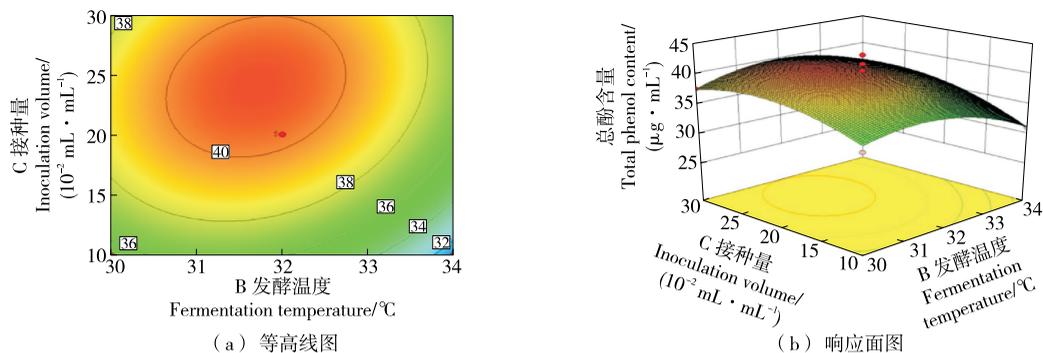


图 7 发酵温度与接种量对桑葚酵素总酚含量的交互影响

Figure 7 The interactive effect of fermentation temperature and inoculation volume on the total phenol content of *Mulberry* Jiaosu

到发酵工艺条件具有实际应用价值。

2.4 桑葚酵素的质量评价

2.4.1 感官品质 采用优化的发酵工艺条件酿制的桑葚酵素呈紫红、色泽均匀;具有浓郁的桑葚果香和发酵的香味,无异味;酸味柔和,风味好;无杂质,有光泽,无沉淀。

2.4.2 理化指标 新鲜桑葚汁与桑葚酵素的总酚含量、可溶性固体物和 pH 值见表 4。

由表 4 可知,对比之下,优化发酵工艺条件下制得的桑葚酵素总酚含量是新鲜桑葚汁的1.62倍,有助于提高

表 4 桑葚酵素的理化指标

Table 4 Physical and chemical indicators of *Mulberry* Jiaosu

组别	总酚含量/ ($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)	可溶性固体 物/%	pH 值
新鲜桑葚汁	26.84 ± 0.71	7.61 ± 0.12	4.85 ± 0.01
桑葚乳酸菌酵素	43.48 ± 0.67	5.36 ± 0.16	4.08 ± 0.01
标准指标	—	5.0	—

其抗氧化能力。韩晓云等^[1]研究也发现桑葚发酵后的酚类物质对 DPPH 自由基清除率由发酵前的 (45.97 ± 2.23)% 显著提高到 (59.01 ± 3.59)% ($P < 0.05$); 对羟自由基清除率由发酵前的 (68.68 ± 1.23)% 显著提高到 (78.55 ± 0.57)% ($P < 0.05$)。发酵后的桑葚酵素 pH 值相比于未经发酵的新鲜桑葚汁有所下降, 表明乳酸菌发酵时发生代谢作用产出乳酸致使发酵液的 pH 值下降; 桑葚酵素的可溶性固体物为 5.36%, 符合 GB/T 31121—2014《果蔬汁类及其饮料》中: 发酵果蔬汁的可溶性固体物大于 5.0% 的标准。

2.4.3 微生物指标 桑葚酵素的微生物指标见表 5。

表 5 桑葚酵素的微生物指标

Table 5 Microbial indicators of *Mulberry* Jiaosu

组别	菌落总数/ (CFU · L ⁻¹)	大肠杆菌/(10 ⁻² MPN · mL ⁻¹)	霉菌/ (CFU · L ⁻¹)	致病菌
桑葚酵素	50 ± 1	未检出	未检出	未检出
标准指标	≤ 100	≤ 3	≤ 20	不得检出

由表 5 可知, 该桑葚酵素的微生物指标符合 GB/T 31121—2014《果蔬汁类及其饮料》和 GB 7101—2022《食品安全国家标准 饮料》的相关标准。

3 结论

以新鲜桑葚汁为原料, 植物乳杆菌为生产菌种, 总酚含量为指标, 经单因素试验与响应面试验优化桑葚酵素发酵工艺, 确定最佳发酵工艺条件为发酵时间 40 h、发酵温度 32 °C、接种量 25%, 此发酵工艺下制得的桑葚酵素的总酚含量达 (43.48 ± 0.67) μg/mL, 是未经发酵的桑葚汁的 1.62 倍。质量评价结果表明, 所酿制的桑葚酵素呈紫红、色泽均匀; 具有浓郁的桑葚果香和发酵的香味, 无异味; 酸味柔和, 风味好; 无杂质, 有光泽, 无沉淀。该桑葚酵素指标符合 GB/T 10789—2015《饮料通则》、GB/T 31121—2014《果蔬汁类及其饮料》和 GB 7101—2022《食品安全国家标准 饮料》的相关标准。后续将对酚类物质组成和含量以及对桑葚酵素品质的影响进一步探究。

参考文献

- [1] 李雨晨, 续飞, 闫倩倩, 等. 桑葚发酵食品研究进展[J]. 中国果菜, 2020, 40(7): 44-46.
LI Y C, XU F, YAN Q Q, et al. Research progress on fermented food of mulberry[J]. China Fruit & Vegetable, 2020, 40(7): 44-46.
- [2] 徐佳, 高萌. 桑葚果醋发酵条件的优化[J]. 中国酿造, 2015, 34(8): 160-163.
XU J, GAO M. Optimization of fermentation conditions of mulberry vinegar[J]. China Brewing, 2015, 34(8): 160-163.
- [3] 谢小花, 张聆莉, 陈叶, 等. 桑葚果酒的酿造工艺研究[J]. 安徽农业大学学报, 2018, 45(2): 201-207.

- XIE X H, ZHANG L L, CHEN Y, et al. The brewing technology of mulberry wine[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2018, 45(2): 201-207.
- [4] 李容. 桑葚多糖及其衍生物免疫调节作用及抗肿瘤活性研究[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2020: 10-11.
LI R. Preliminary studies on the immunomodulatory effects and antitumor activities of Mori Fructus polysaccharides and their derivatives[D]. Guiyang: Guizhou Normal University, 2020: 10-11.
- [5] 王帅, 宋奇, 范影, 等. 桑葚酵素发酵过程中理化指标及抗氧化活性的变化[J]. 中国酿造, 2022, 41(11): 84-88.
WANG S, SONG Q, FAN Y, et al. Changes of physicochemical indexes and antioxidant activities of mulberry Jiaosu during fermentation process[J]. China Brewing, 2022, 41(11): 84-88.
- [6] 胡学智. 论植物发酵和酵素[J]. 中国微生物学杂志, 2019, 31(11): 1356-1365.
HU X Z. Plant fermentation and Jiaosu[J]. China J Microecol, 2019, 31(11): 1356-1365.
- [7] 彭凯雄, 郑钰涵, 陈晓明. 桑葚活性成分及其现代食品开发研究进展[J]. 淮阴工学院学报, 2021, 30(5): 9-14.
PENG K X, ZHENG Y H, CHEN X M. Research progress of Mulberry active ingredients and their usage in modern food development[J]. Journal of Huaiyin Institute of Technology, 2021, 30(5): 9-14.
- [8] 田文静, 武亚帅, 王俊山, 等. 果蔬酵素的研究进展[J]. 食品科技, 2021, 46(12): 116-122.
TIAN W J, WU Y S, WANG J S, et al. Research progress of fruit and vegetable ferment[J]. Food Science and Technology, 2021, 46(12): 116-122.
- [9] KAPRASOB R, KERDCHOECHUEN O, LAOHAKUNJIT N, et al. Fermentation-based biotransformation of bioactive phenolics and volatile compounds from cashew apple juice by select lactic acid bacteria[J]. Process Biochemistry, 2017, 59: 141-149.
- [10] 潘梓源, 林佳漫, 邓乃铨, 等. 桂圆酵素的发酵工艺优化及其酚类化合物生物转化分析[J]. 中国酿造, 2019, 38(7): 95-99.
PAN Z Y, LIN J M, DENG N Q, et al. Optimization of fermentation process for longan ferment and biotransformation analysis of its phenolic compounds[J]. China Brewing, 2019, 38(7): 95-99.
- [11] 韩晓云, 陶雨婷, 战佳莹, 等. 桑葚发酵前后酚类组成变化及其抗氧化活性分析[J/OL]. 食品工业科技. (2023-06-20) [2023-08-25]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023040005>.
HAN X Y, TAO Y T, ZHAN J Y, et al. Analysis of phenolic composition changes and antioxidant activity of mulberry before and after fermentation[J/OL]. Science and Technology of Food Industry. (2023-06-20) [2023-08-25]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023040005>.