

红茶菌酸菜发酵条件的优化

刘庆静^{1,2}, 赵平^{3*}, 郭莹莹³, 邹积宏^{1,2*}, 窦清泉^{1,2}

(1. 黑龙江大学农业微生物技术教育部工程研究中心, 黑龙江哈尔滨 150500)(2. 黑龙江大学生命科学学院, 黑龙江省普通高校微生物重点实验室, 黑龙江哈尔滨 150080)(3. 黑龙江省质量监督研究院, 黑龙江哈尔滨 150050)

摘要: 该研究以东北大白菜为原料, 红茶菌(醋酸菌、酵母菌、乳酸菌)为菌种, 对红茶菌酸菜的发酵工艺进行研究。先通过单因素试验优化对影响酸菜感官品质、总酸含量和亚硝酸盐含量的三个因素(发酵时间、发酵温度、红茶菌接种量)进行筛选, 再通过响应面法进行三因素三水平进行优化。实验结果表明: 在红茶菌接种量为 16.036%, 发酵温度为 29.791 °C, 发酵时间为 7.143 d, 考虑到实际生产的便利, 将其调整为接种量 16%, 发酵温度 30 °C, 发酵时间 7 d, 调整后发酵出的红茶菌酸菜感官评分为 35 分, 总酸含量为 1.87 g/100 g, 此条件下产品中检出亚硝酸盐含量为 0.84 mg/kg。红茶菌自身产生的代谢产物有众多保健功效, 再与白菜结合后二者相互融合, 发酵出一款新型酸菜, 不仅提高红茶菌利用价值, 也为酸菜市场的多元化增添色彩。

关键词: 红茶菌; 发酵; 响应面法; 单因素试验

文章编号: 1673-9078(2022)05-56-63

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.5.0772

Optimization of Fermentation Conditions of Kombucha Sauerkraut

LIU Qingjing^{1,2}, ZHAO Ping^{3*}, GUO Yingying³, ZOU Jihong^{1,2*}, DOU Qingquan^{1,2}

(1.Engineering Research Center of Ministry of Education of Agricultural Microbiology Technology, Heilongjiang University, Harbin 150500, China) (2.Key Laboratory of Microbiology, College of Life Sciences, Heilongjiang University, Harbin 150080, China) (3.Heilongjiang Institute of Quality Supervision, Harbin 150050, China)

Abstract: In this study, Northeast Chinese cabbage was used as the raw material, Kombucha (acetic acid bacteria, yeast, lactobacillus) was used as strains to investigate the fermentation process of Kombucha sauerkraut. Firstly, three factors (fermentation time, fermentation temperature, inoculation amount) affecting the sensory quality, total acid content and nitrite content of sauerkraut were screened through single factor experiments. Then, three factors and three levels were optimized by the response surface method. The experimental results revealed that the inoculation amount of Kombucha was 16.036%, the fermentation temperature was 29.791 °C, and the fermentation time was 7.143 d. Considering the convenience of actual production, the conditions were adjusted to the inoculation amount of 16%, fermentation temperature at 30 °C, and fermentation time for 7d. After adjustment, the sensory score of fermented Kombucha sauerkraut was 35 points, the total acid content was 1.87 g/100 g, and the nitrite content detected in the product under these conditions was 0.84 mg/kg. The metabolites produced by Kombucha itself have many health-care effects, and then combined with Chinese cabbage. The two were fused to each other to ferment a new type of sauerkraut. This process not only improves the utilization value of Kombucha, but also adds color to the diversification of sauerkraut market.

Key words: Kombucha; fermentation; response surface method; single factor test

引文格式:

刘庆静,赵平,郭莹莹,等.红茶菌酸菜发酵条件的优化[J].现代食品科技,2022,38(5):56-63

LIU Qingjing, ZHAO Ping, GUO Yingying, et al. Optimization of fermentation conditions of kombucha sauerkraut [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(5): 56-63

收稿日期: 2021-07-22

基金项目: 黑龙江省财政支持项目

作者简介: 刘庆静(1995-),女,硕士研究生,研究方向: 食品和药物物质功能的挖掘及开发, E-mail: 1207449822@qq.com

通讯作者: 赵平(1985-),男,副研究员,研究方向: 生物产品开发、食品微生物检测, E-mail: 279225547@qq.com;共同通讯作者: 邹积宏(1964-),男,教授,研究方向: 食品和药物物质功能的挖掘及开发, E-mail: heilongjiang_university@aliyun.com

白菜是我国产量大且营养价值丰富的农产品之一^[1]。随着人们不断追求营养价值高而且美味食品的同时,酸菜逐渐受到广大群众的欢迎与热爱。这样既能延长白菜的贮藏时间,还能使食品更多元。酸菜口感丰富,酸甜脆嫩,能够激发食欲、加快消化,促进人体对铁元素的吸收^[2,3]。此外,酸菜不仅保留了蔬菜原有的营养成分如维生素 C、氨基酸以及膳食纤维等营养物质,而且还含有乳酸菌等功能性微生物,酸菜作

为营养成分丰富、滋味鲜美的蔬菜,长期食用可抗癌、治疗高血压和便秘、清理肠胃等^[4,5]。但传统自然发酵的酸菜产品存在不稳定、发酵时间长、亚硝酸盐含量高诸多问题,严重的制约着酸菜的工业化发展^[6,7]。

红茶菌起源于我国秦朝时期,是由醋酸菌、酵母菌、乳酸菌在茶基液培养液中混合发酵而成,称为“海宝”、“胃宝”,现多称“红茶菌”,西方国家称其为“康普茶”^[8]。因其发酵后母液中产生如茶多酚、小分子抑菌蛋白、D-葡萄糖二酸-1,4-内酯、氨基酸等诸多代谢产物,长期适量食用可起到降血压、抑菌、预防肥胖、调节肠道菌群等功效^[9-12]。随着分子生物学技术与市场多元化的持续发展,目前市场上有关红茶菌的产品越来越多,如红茶菌醋、红茶菌面包、酒等。因此研究红茶菌,一方面不仅能增加红茶菌产品的风味和种类,另一方面也增加了茶叶的用途,促进茶产业与农业经济的发展。

基于诸多文献对红茶菌及其产品的研究,本实验在传统发酵酸菜的基础上采用红茶菌菌种发酵,以期在短时间内获得品质优安全性高且具有红茶菌风味的一款新型酸菜。

1 材料与方法

1.1 原料

1.1.1 实验材料

菌种:红茶菌菌种(俄罗斯纯正红茶菌菌种),购自黑龙江红茶菌网,后保藏于实验室;白菜、白砂糖(市售)、茶叶(正山小种)。

1.1.2 主要仪器设备

WFZ800-D3B 紫外分光光度计,北京瑞利分析仪器有限公司;DH-101 型电热鼓风干燥箱,天津市中环试验电炉有限公司;2019-B2322 型手提式灭菌锅,上海

东亚压力容器有限公司;HH-B11-360 电热恒温培养箱,天津市实验仪器厂。

1.2 实验方法

1.2.1 红茶菌酸菜发酵工艺流程

白菜→清洗→晾晒→切碎→分装→发酵→检测→成品
接种↑
发酵液配制→初发酵→红茶菌

1.2.2 红茶菌酸菜发酵单因素试验

分别固定红茶菌接种量 15%,发酵时间 7 d,将发酵温度设定为 15、20、25、30、35 °C 五个梯度、固定红茶菌接种量 15%,发酵温度 30 °C,将发酵时间设置为 3、5、7、9、11 d 五个梯度、固定发酵温度 30 °C,发酵时间 7 d,将接种量别设定为 5%、10%、15%、20%、25% 五个梯度,发酵结束后以感官评价为主要指标,总酸含量和亚硝酸盐含量为辅助指标进行测定,以获得较优的发酵因素。

1.2.3 红茶菌酸菜发酵工艺响应面设计

以单因素试验中心点设置 $L_9(3^4)$ 试验,根据 Design Expert 11 中的 BBD 程序分析实验结果,详见表 1。

表 1 红茶菌酸菜工艺优化试验因素与水平设计

Table 1 Factors and levels of response surface experiment for fermentation technology optimization of sauerkraut with Konbucha

因素	代码	水平		
		-1	0	+1
接种量/%	A	10	15	20
发酵温度/°C	B	25	30	35
发酵时间/d	C	5	7	9

1.2.4 感官评价定

结束发酵后,选 10 名专业人士从 4 个方面进行打分,评分标准见表 2。

表 2 红茶菌酸菜感官评价指标

Table 2 Sensory evaluation standard for Kombucha sauerkraut

得分	色泽	香气	滋味	质地
0~2	长白色霉菌	腐烂味较重	不酸	叶片腐烂
3~4	色泽暗淡,呈黑褐色	腐烂味或臭味	滋味差,有刺鼻的酸味或不酸	过硬或过软、烂;无脆性
5~6	色泽偏黄褐,光泽较差	香气一般;无腐烂味	滋味一般,有少许刺鼻酸味	较硬或较软,脆性一般
7~8	色泽呈淡黄色,光泽一般	具有淡淡的红茶菌味道	较柔和的酸味,无刺鼻味	较好的硬度,较好的脆性
9~10	色泽呈淡黄色,有光泽	有红茶菌的香味,有酸菜发酵的味道,无异味	红茶菌味道浓郁;酸味纯正,柔和	软硬度适中,具有很好的脆性

1.2.5 理化指标的测定

亚硝酸盐含量：参照 GB 5009.33-2016《食品安全国家标准 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定》^[13]。亚硝酸盐标准曲线见图 1。

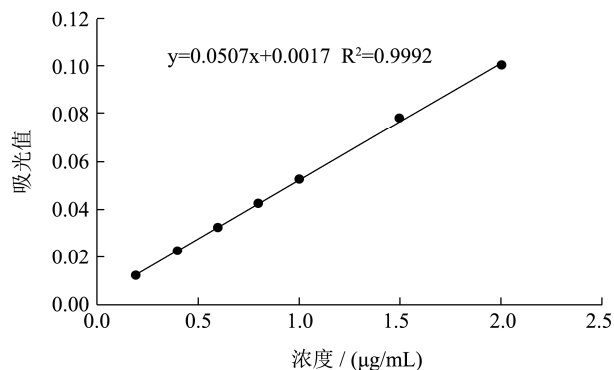


图 1 亚硝酸盐标准曲线

Fig.1 The standard curve of nitrite

如图 1 所得到的亚硝酸盐标准曲线方程为 $y=0.0507x+0.0017$, $R^2=0.9992$, 拟合度较高。

总酸含量：参照 GB/T 12456-2008《食品中总酸的测定》^[14]。

1.2.6 数据分析

单因素试验数据采用直观分析，以确定各因素对红茶菌酸菜发酵影响的参数区间。在单因素的基础上，应用 Design Expert 软件对数据结果进行统计分析。

2 结果与讨论

2.1 单因素试验结果

2.1.1 发酵时间对酸菜品质的影响

对不同发酵时间的酸菜品质分析见图 2、图 3。

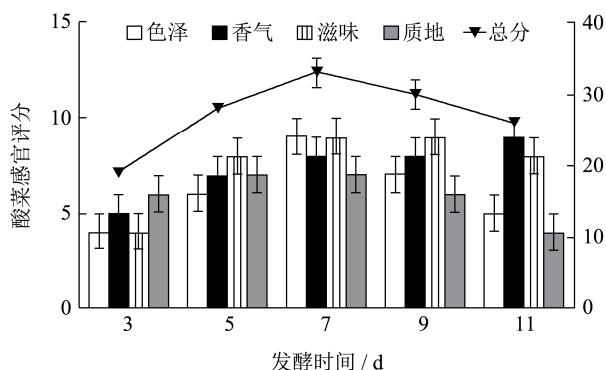


图 2 不同发酵时间下酸菜感官评分

Fig.2 The sensory score of sauerkraut with different fermentation time

由图 2 可知，发酵时间为 7 d 时酸菜感官评分 33。酸菜整体感官评分随着发酵时间延长而增加。但超过 7 d 后，酸菜的各項感官除香气外都呈现下降趋势，这是因为发酵时间过长，各菌体与白菜相互作用使得白

菜逐渐开始变质，甚至发酵时间更久之后，酸菜会出现软烂的现象。

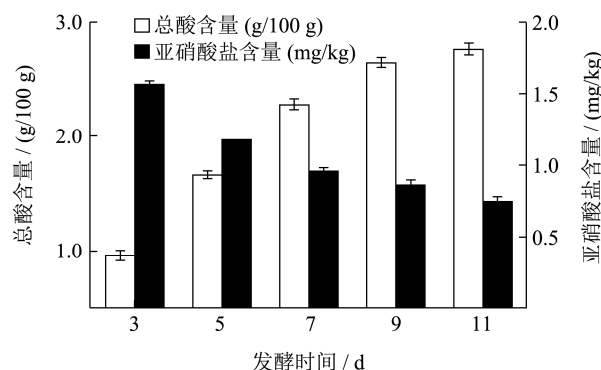


图 3 不同发酵时间下酸菜中总酸含量和亚硝酸盐含量

Fig.3 Content of total acid and nitrite in sauerkraut under different fermentation time

由图 3 可知，从发酵时间 3 d 到 7 d，总酸含量从 0.46 g/100 g 升到 1.79 g/100 g，上升趋势较为显著；但当发酵时间超过 7 d 后，从图中可看出总酸处于上升趋势，过多或过少的酸都会影响酸菜的口感与品质；亚硝酸盐含量第 7 天时为 0.96 mg/kg，在第 7 天后下降缓慢并趋于平缓，由于发酵时间区间内亚硝酸含量均低于国标中所规定，这与李杰等^[15]在利用面汤水发酵酸菜时的研究一致，故综合图 2、3 选择发酵时间 7 d 为响应面试验点。

2.1.2 不同发酵温度对酸菜品质的影响

对不同发酵温度的酸菜品质分析见图 4、5。

由图 4 可知当发酵温度为 30 °C 时，红茶菌酸菜感官评价为 33 分，发酵温度过高或者过低都会降低酸菜的感官品质。这是因为在发酵过程中若温度过低，其中菌种未达到最佳生长温度，从而影响酸菜的感官品质；当温度高于 30 °C 时，除了红茶菌酸菜的香气略高，其余几項指标均呈现下降的趋势，这是因为较高的温度致使菌种在短时间内相互作用快速产生代谢产物加快酸菜的发酵，如若代谢产物过多则导致其滋味发生刺鼻味，色泽呈暗黄色，质地过软等情况。

由图 5 可知总酸含量从 15 °C 的 0.40 g/100 g 上升到了 30 °C 的 1.85 g/100 g，但在 30 °C 后有下降趋势但不明显；亚硝酸盐含量从 15 °C 的 1.67 mg/kg 降到了 35 °C 的 0.79 mg/kg，但 30 °C 后下降不显著，虽 35 °C 时最低，但 30 °C 时已远远低于国标规定，说明在较高的温度下，红茶菌中有益菌繁殖加快，抑制硝酸还原菌的生长繁殖，从而减少亚硝酸盐的还原，且已生成的亚硝酸盐在酸性环境下部分分解。这与丁健等^[16]在响应面法优化水芹菜自然发酵酸菜结果分析一致。以图 4 为主要考察指标综合考虑选择发酵温度为 30 °C 作为响应面优化试验点。

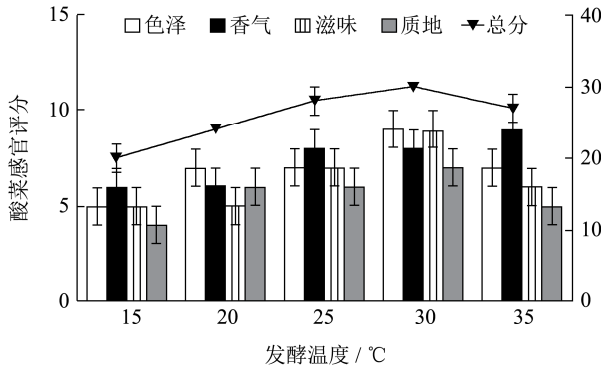


图4 不同发酵温度下酸菜感官评分

Fig.4 The sensory score of sauerkraut with different fermentation temperature

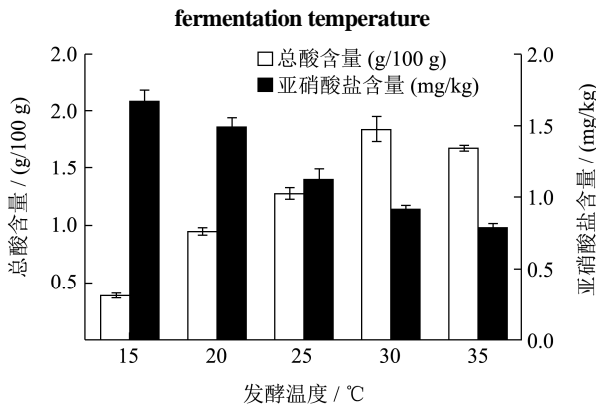


图5 不同发酵温度下酸菜中总酸含量和亚硝酸盐含量

Fig.5 Content of total acid and nitrite in sauerkraut under different fermentation temperature

2.1.3 不同菌种量对酸菜品质的影响

对不同接种量的酸菜品质分析见图6、7。

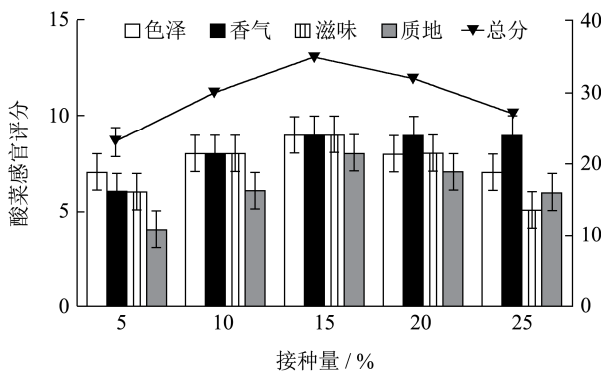


图6 不同接种量下酸菜感官评分

Fig.6 The sensory score of sauerkraut with different inoculation amount

从图6可知,接种量在5%~15%时感官评分逐渐升高,15%时到高达35分,但当接种量超过15%后,除香气外其余几项指标呈现逐渐下降,这是由于随着接种量的增加酸菜的香气也会越发浓郁,并可保留较长时间,但当菌种量增多时,其生长繁殖需要更多的营养成分,而发酵液中的营养成分有限,不能供给过多菌种的生长,从而影响菌种间的生长繁殖,而接种

量过少时发酵速率缓慢,更易于受到有害菌的污染,影响产品的品质,使得感官评分总体降低。

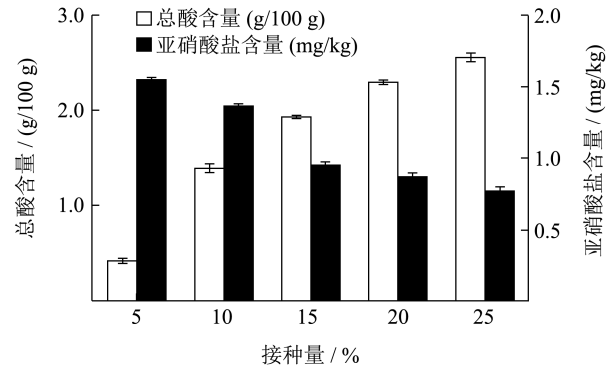


图7 不同接种量下酸菜中总酸含量和亚硝酸盐含量

Fig.7 Content of total acid and nitrite in sauerkraut under different inoculation amount

由图7可知酸菜总酸含量从接种量5%的0.42 mg/kg升到15%的1.93 mg/kg,但在15%后持续上升使酸菜产生刺鼻的酸味从而影响口感和对人的第一感受,而此时亚硝酸含量为0.95 mg/kg,也符合规定,虽15%后逐渐缓慢降低,这与奉毅等^[17]在红茶菌菌液对亚硝酸盐降解及NO的生成的影响一文中发现红茶菌可一定量的降解亚硝酸盐一致。综合两图选择以15%接种量为响应面优化试验点。

表3 Box-Behnken 试验设计及结果

Table 3 Box-Behnken experimental design arrangement and results

试验号	编码因素值			总酸含量(Y) / (g/100 g)	感官评分(N) / 分
	A	B	C		
1	1	0	1	1.32±0.09	23±0.05
2	0	-1	1	1.40±0.10	25±0.03
3	1	1	0	1.22±0.10	22±0.02
4	-1	1	0	1.11±0.06	19±0.05
5	-1	-1	0	1.22±0.07	21±0.01
6	0	0	0	1.93±0.04	33±0.01
7	0	0	0	1.90±0.011	34±0.02
8	0	-1	-1	1.50±0.08	28±0.01
9	1	-1	0	1.18±0.05	20±0.01
10	0	0	0	1.86±0.06	36±0.09
11	-1	0	-1	1.38±0.08	20±0.01
12	1	0	-1	1.18±0.04	23±0.01
13	0	0	0	1.95±0.04	34±0.01
14	-1	0	1	1.31±0.04	22±0.02
15	0	1	-1	1.39±0.05	24±0.01
16	0	1	1	1.43±0.06	24±0.02
17	0	0	0	1.85±0.04	35±0.01

表 4 总酸含量回归模型方差分析

Table 4 Analysis of variance for the fitted quadratic polynomial model with the total acid content

方差来源	平方和	自由度	均方和	F 值	P 值	显著性
模型	1.39	9	0.1549	58.11	<0.0001	**
A	0.0020	1	0.0020	0.7680	0.4099	
B	0.0027	1	0.0027	1.01	0.03477	*
C	0.0000	1	0.0000	0.0057	0.9421	**
AB	0.0059	1	0.0059	2.22	0.1796	
AC	0.0108	1	0.0108	4.06	0.0839	
BC	0.0053	1	0.0053	1.97	0.2031	
A ²	0.7542	1	0.7542	282.83	<0.0001	**
B ²	0.3577	1	0.3577	134.15	<0.0001	**
C ²	0.1311	1	0.1311	49.18	0.0002	*
残差	0.0187	7	0.0027			
失拟项	0.0106	3	0.0035	1.75	0.2955	不显著
纯误差	0.0081	4	0.0020			
总和	1.41	16				

R²=0.9868, R_{adj}²=0.9698

注：“*”表示影响显著 (p<0.05), “**”表示影响极显著 (p<0.01), 下同。

表 5 感官评分回归模型方差分析

Table 5 Analysis of variance for the fitted quadratic polynomial model with the sensory score

方差来源	平方和	自由度	均方和	F 值	P 值	显著性
模型	554.99	9	61.67	36.12	<0.0001	**
A	4.50	1	4.50	2.64	0.1485	
B	3.12	1	3.12	1.83	0.2181	
C	0.1250	1	0.1250	0.0732	0.7945	
AB	4.00	1	4.00	2.34	0.1697	
AC	1.0000	1	1.0000	0.5858	0.4691	
BC	2.25	1	2.25	1.32	0.2887	
A ²	309.60	1	309.60	181.36	<0.0001	**
B ²	119.39	1	119.39	69.94	<0.0001	**
C ²	61.60	1	61.60	36.09	0.0005	*
残差	11.95	7	1.71			
失拟项	6.75	3	2.25	1.73	0.2984	不显著
纯误差	5.20	4	1.30			
总和	560.94	16				

R²=0.9789, R_{adj}²=0.9518

2.2 响应面试验结果分析

2.2.1 响应面试验结果

表 3 为试验结果, 使用软件 Design Expert 11.0 得到的回归模型方程如下:

$$Y=1.90-0.0106A-0.0184B+0.0014C+0.0385AB+0.0520AC-0.0362BC-0.4232A^2-0.2915B^2-0.01765C^2$$

$$N=34.40+0.7500A-0.6250B+0.1250C+1.0000AB-$$

$$0.5000AC+0.7500BC-8.580A^2-5.33B^2-3.82C^2$$

2.2.2 模型方差分析

表 4、5 分别为总酸含量回归模型方差分析、感官评分回归模型方差分析。

由表 4 和表 5 可知, 两个模型具有极高的显著性 (p<0.01), 变量对于响应值的影响都表现为显著或失拟项结果为不显著 (p>0.05), 说明两种模型为差异极显著, 设计模型有良好拟合性。两个模型的相关系数

分别为 $R^2=0.9868$, $R_{adj}^2=0.9698$, $R^2=0.9789$, $R_{adj}^2=0.9518$, 说明两个模型的回归拟合度较好, 更接近实际试验, 所以可使用该模型对于红茶菌酸菜的发酵工艺参数进行分析预测。

2.2.3 响应面图形分析 (总酸)

图 8~图 10 表明都有一定的交互作用, 图 8 中沿 A 轴等高线相对密集一些, 这说明对红茶菌酸菜总酸含量的影响红茶菌接种量比发酵温度大一些。图 9 可知对酸菜总酸含量的影响接种量比发酵时间更大。图 10 中沿 A 轴的等高线相对较密集, 说明发酵温度影响比发酵时间大一些。综合三组图分析可知影响红茶菌酸菜总酸含量的因素强弱顺序依次为 A>B>C。

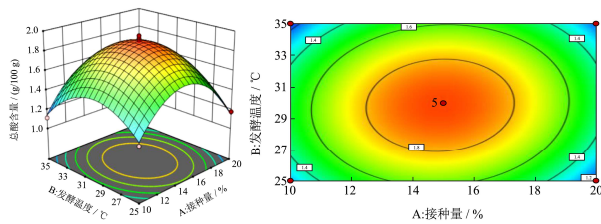


图 8 发酵温度和接种量对总酸含量交互影响图

Fig.8 Interaction diagram of fermentation temperature and inoculation amount on total acid content

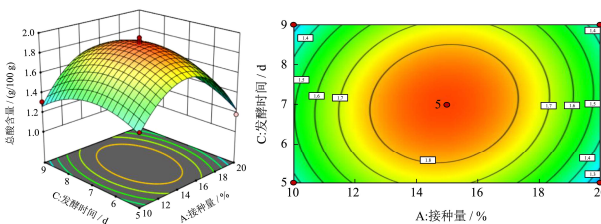


图 9 发酵时间和接种量对总酸含量交互影响图

Fig.9 Interaction between fermentation time and inoculation amount with the total acid content

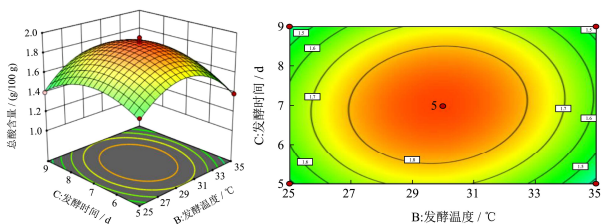


图 10 发酵时间和发酵温度对总酸含量交互影响图

Fig.10 Interaction between fermentation time and fermentation temperature with the total acid content

2.2.4 响应面图形分析 (感官评价)

图 11 表明接种量和发酵温度对其感官品质的影响交互作用不显著。图 12 表明接种量和发酵温度对红茶菌酸菜感官品质交互作用显著, A 轴的等高线较 C 轴密集, 表明菌种接种量对感官品质的影响大于发酵时间。图 13 中的等高线图可知发酵温度对感官品质的

影响大于发酵时间。综合三组图分析可知影响红茶菌酸菜感官品质的因素强弱顺序依次为 A>B>C。

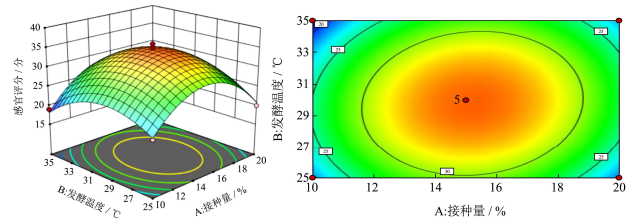


图 11 接种量和发酵温度对感官评分交互影响图

Fig.11 Interaction between inoculum amount and fermentation temperature with the sensory score

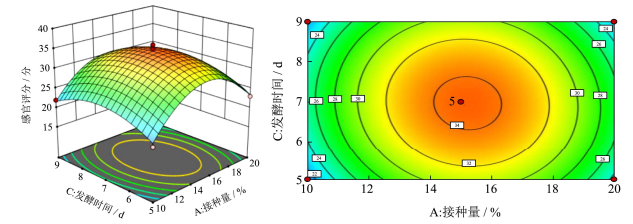


图 12 接种量和发酵时间对感官评分交互影响图

Fig.12 Interaction between inoculum amount and fermentation time with the sensory score

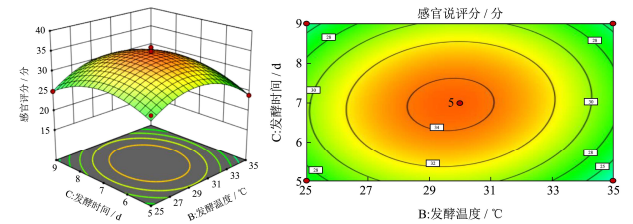


图 13 发酵温度和发酵时间对感官评分交互影响图

Fig.13 Interaction between fermentation temperature and fermentation time with the sensory score

2.3 确定最优条件及验证试验

根据模型可得出最优生产工艺为: 接种量 16.036%, 发酵温度为 29.791 °C, 发酵时间为 7.143 d。便于实际生产, 将工艺条件调整为: 红茶菌接种量 16%, 发酵温度为 30 °C, 发酵时间为 7 d。以此工艺为条件进行三次平行实验得到的红茶菌酸菜感官评分为 35 分, 总酸含量为 1.87 g/100 g, 产品中检出亚硝酸盐含量为 0.84 mg/kg, 远低于食品安全国家标准中对腌渍蔬菜中亚硝酸盐含量的限定。因此, 利用响应面法优化得到的红茶菌酸菜生产工艺参数准确可靠, 具有使用价值。

2.4 讨论

近年来利用红茶菌发酵的食品除了酸菜泡菜外, 还有不同口味与功效的饮料、酸奶、面包、奶茶等^[18-22]。

本文研究的红茶菌酸菜是目前新开发的一种新型酸菜,可有效的利用红茶菌,并开拓了其多元化利用的新局面,增加市场占有率,还可增加酸菜的保健功能,丰富了酸菜市场^[22]。本研究以低亚硝酸盐含量为出发点,通过响应面法优化并确定了红茶菌酸菜发酵的工艺参数。试验结果表明,采用合适的菌种添加量和发酵温度以及发酵时间,对发酵过程中产生亚硝酸盐有一定的抑制作用,并且可获得质量优、周期短、安全性能高的产品。这与陆春霞等^[23]、崔松林^[24]的研究结果相似。赵国忠等^[25]对不同地区的24个酸菜样品进行感官分析与亚硝酸含量测定,发现感官得分较高的酸菜发酵过程中有益菌含量高,产酸量大,进而腐败菌生长较少,亚硝酸盐含量低。在响应面优化工艺条件下摸索出最优的工艺参数,为实际生产提供了可供参考的依据。

3 结论

本文通过单因素试验和响应面分析法确立了一种红茶菌酸菜的发酵工艺,结果表明:

(1) 经响应面分析,红茶菌酸菜的佳发酵工艺为:接种量16.036%,发酵温度为29.791℃,发酵时间为7.143 d。便于实际生产,将工艺条件调整为:红茶菌接种量16%,发酵温度为30℃,发酵时间为7 d。此工艺条件得到的红茶菌酸菜感官评分为35分,总酸含量为1.87 g/100 g,产品中检出亚硝酸盐含量为0.84 mg/kg,远低于食品安全国家标准中对腌渍蔬菜中亚硝酸盐含量的限定。

(2) 通过对红茶菌酸菜加工工艺优化,结合红茶菌与白菜功效形成一款安全性高的特色风味酸菜,在提高白菜利用率与其农业附加值的同时也提升了红茶菌酸菜的品质,为酸菜市场多元化增添姿色。

参考文献

- [1] 谢玉鹏.紫薯及玫瑰花复合酸菜的发酵工艺及其品质研究[D].合肥:合肥工业大学,2016
XIE Yupeng. Study on fermentation technology and quality of purple potato and rose composite pickled cabbage [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2016
- [2] Hou, Cai J, Long, et al. Nitrite level of pickled vegetables in northeast China [J]. Food Control, 2013, 29(1): 7-10
- [3] 栾天琪.酸菜发酵剂的制备及酸菜风味成分分析[D].天津:天津科技大学,2011
LUAN Tianqi. Preparation of starter cultures and analysis of flavor components of sauerkraut [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2011
- [4] 张玉龙,胡萍,湛剑龙,等.发酵酸菜的研究及其进展[J].食品安全质量检测学报,2014,12:3998-4003
ZHANG Yulong, HU Ping, ZHAN Jianlong, et al. Research and development of fermented sauerkraut [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2014, 12: 3998-4003
- [5] 彭飞.我国传统泡菜自然发酵与接种发酵中微生物及其代谢特性研究[D].南昌:南昌大学,2015
PENG Fei. Study on microbial and metabolic characteristics of traditional Chinese kimchi in natural fermentation and inoculation fermentation [D]. Nanchang: Nanchang University, 2015
- [6] 朱莉莉,罗惠波,黄治国,等.大头菜等蔬菜腌制工艺研究现状与展望[J].中国酿造,2018,37(7):11-16
ZHU Lili, LUO Huibo, HUANG Zhiguo, et al. Research status and prospect of pickled cabbage and other vegetables [J]. China Brewing, 2018, 37(7): 11-16
- [7] 吴伟杰,郗海燕,陈杭君,等.白萝卜泡菜发酵菌株乳酸肠球菌 WJ03 的分离筛选与应用[J].中国食品学报,2017,17(12): 86-94
WU Weijie, GAO Haiyan, CHEN Hangjun, et al. The isolation and application of *Enterococcus lactate* WJ03, a fermentation strain of white radish kimchi [J]. Chinese Journal of Food Science and Technology, 2017, 17(12): 86-94
- [8] Laureys D, Britton S J, Clippeleer J D. Kombucha tea fermentation: a review [J]. Journal of the American Society of Brewing Chemists, 2020, 78(3): 165-174
- [9] Dufresne, Farnworth E. Tea, kombucha, and health: a review [J]. Food Research International, 2000, 33(6): 409-421
- [10] 吴薇,盖宝川,籍保平.红茶菌菌种主要代谢产物的试验研究[J].食品科学,2004,12:147-151
WU Wei, GAI Baochuan, JI Baoping. Experimental study on main metabolites of kombucha strains [J]. Food Science, 2004, 12: 147-151
- [11] Kim D H, Kang H J, Park S H, et al. Characterization of *beta*-glucosidase and *beta*-glucuronidase of alkalotolerant intestinal bacteria [J]. Biological & Pharmaceutical Bulletin, 1994, 17(3): 423-426
- [12] Gaggia F, Baffoni L, Galiano M, et al. Kombucha beverage from green, black and rooibos teas: a comparative study looking at microbiology, chemistry and antioxidant activity [J]. Nutrients, 2019, 11(1): 22-30
- [13] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.GB 5009.33-2016 食品安全国家标准 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定[S]

- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. GB 5009.33-2016 National Standard for food safety - Determination of Nitrite and Nitrate in Food [S]
- [14] 国家质量监督检验检疫总局.GB/T 12456-2008 食品中总酸的测定[S]
State General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. GB/T 12456-2008 Determination of Total Acid in Food [S]
- [15] 李杰,罗倩,张琴萍,等.响应面法优化山葵酸菜加工工艺的研究[J].食品研发与开发,2018,39(24):83-90
LI Jie, LUO Qian, ZHANG Qiping, et al. Research on optimization of pickle processing technology of wasabi by response surface methodology [J]. Food Research and Development, 2018, 39(24): 83-90
- [16] 丁健,谭书明,张若男,等.响应面法优化水芹菜自然发酵酸菜工艺研究[J].广东农业科学,2014,41(16):90-95
DING Jian, TAN Shuming, ZHANG Ruonan, et al. Optimization of natural fermentation process of pickled cabbage by response surface methodology [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2014, 41(16): 90-95
- [17] 俸毅,张伟敏,蒋盛军.红茶菌饮料澄清度与抗氧化性能力的研究[J].茶叶科学,2009,29(6):426-429
FENG Yi, ZHANG Weimin, JIANG Shengjun. Study on clarification and antioxidant capacity of kombucha beverage [J]. Tea Science, 2009, 29(6): 426-429
- [18] 张泽生,王春龙,徐梦莹.枸杞金银花红茶菌复合饮料的研制[J].中国食品添加剂,2016,10:112-117
ZHANG Zesheng, WANG Chunlong, XU Mengying. Development of composite beverage of *Lycium barbarum* Flos *lonicerae* kombucha [J]. Chinese Food Additives, 2016, 10: 112-117
- [19] Tuti Rahayu dan Triastuti Rahayu. Optmation of liquid coffee fermentation by iinokul-a kombucha culture (kombucha coffee) [J]. Journal Penelitian Sains & Teknologi, 2007, 10(8): 15-29
- [20] 刘林,赵鸭美,孙永康.红茶风味胡萝卜泡菜发酵工艺初探[J].食品与发酵科技,2012,48(4):71-74
LIU Lin, ZHAO Yamei, SUN Yongknag. Preliminary study on fermentation technology of black tea flavor carrot kimchi [J]. Food & Fermentation Technology, 2012, 48(4): 71-74
- [21] 广州市妙豆生物科技有限公司.一种红茶菌豆腐凝固剂及其制备方法[P].中国:ZL201711097449. 4. 2017-11-08
Guangzhou Miaodou Biotechnology Co., LTD. A study on curing agent and preparation method of kombucha bean curd [P]. China: ZL201711097449. 4. 2017-11-08
- [22] 郑有为,王联结,牛乐宝.红茶菌酸奶的工艺[J].食品研究与开发,2010,31(10):91-95
ZHENG Youwei, WANG Lianjie, NIU Lebao. Technology of kombucha yoghurt [J]. Food Research and Development, 2010, 31(10): 91-95
- [23] 陆春霞,梁贵秋,吴婧婧,等.利用响应面法优化桑叶酸菜的发酵工艺条件[J].蚕业科学,2019,45(4):547-554
LU Chunxia, LIANG Guiqiu, WU Jingjing, et al. Response surface methodology was used to optimize the fermentation conditions of mulberry leaf sauerkraut [J]. Journal of Sericulture Science, 2019, 45(4): 547-554
- [24] 崔松林.乳酸菌接种发酵酸菜的亚硝酸盐含量影响因素研究[J].安徽农业科学,2014,42(14):4415-4417
CUI Songlin. Study on influencing factors of nitrite content in pickled cabbage fermented by lactic acid bacteria inoculation [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2014, 42(14): 4415-4417
- [25] 赵国忠,王梦颖,韩俊燕,等.东北酸菜品质评定及发酵优良菌株筛选[J].中国酿造,2014,33(8):33-37
ZHAO Guozhong, WANG Mengying, HAN Junyan, et al. Quality evaluation and selection of excellent fermentation strains of northeast sauerkraut [J]. China Brewing, 2014, 33(8): 33-37