

多菌种接种发酵生产低盐剁辣椒的工艺优化

李文青^{1,2,3}, 罗凤莲^{1,2,3}, 曾希珂^{1,2,3}, 卿泉^{1,2,3}, 蒋依琳^{1,2,3}, 罗耀华^{1,2,3}

(1. 湖南农业大学食品科学技术学院, 湖南长沙 410128) (2. 国家蔬菜加工技术研发分中心, 湖南长沙 410128)
(3. 食品科学与生物技术湖南省重点实验室, 湖南长沙 410128)

摘要: 试验菌种肠膜明串珠菌 (*Leuconostoc mesenteroides*)、植物乳杆菌 (*Lactobacillus plantarum*)、发酵乳杆菌 (*Lactobacillus fermentum*) 和嗜酸乳杆菌 (*Lactobacillus acidophilus*) 按照 1:1:1:1 的配方, 以脆度、总酸和感官评分为考察指标, 研究了菌种接种量、食盐添加量和发酵时间对剁辣椒品质的影响。结果表明: 随着菌种添加量和食盐添加量的增加, 剁辣椒的脆度先增加后减小, 且脆度随着发酵时间的延长而逐步降低, 影响剁辣椒脆度 $F_{\max}$ 值的主次顺序为发酵时间>食盐添加量>接种量, 影响感官评分的主次顺序为接种量>发酵时间>食盐添加量, 多菌种发酵生产低盐剁辣椒的最佳工艺条件为接种量 6%, 食盐添加量 6%, 发酵时间 5 d, 发酵温度 37 °C, 在此条件下加工的低盐剁辣椒脆度 $F_{\max}$ 值为 12316.3 g, 感官评分为 87.9 分, 总酸含量为 0.52%, 最终获得的产品香气浓郁, 色泽鲜红, 口感脆嫩, 达到优质剁辣椒的要求。

关键词: 多菌种; 发酵; 低盐; 剁辣椒; 工艺优化

文章编号: 1673-9078(2019)01-206-214

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.1.029

Production Process Optimization of Low-salt Chopped Capsicum by Inoculation and Fermentation of Multiple Strains

LI Wen-qing^{1,2,3}, LUO Feng-lian^{1,2,3}, ZENG Xi-ke^{1,2,3}, QING Quan^{1,2,3}, JIANG Yi-lin^{1,2,3}, LUO Yao-hua^{1,2,3}

(1.College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128 China)

(2.National R&D Center for Vegetable Processing, Changsha 410128, China)

(3.Hunan Provincial Key Laboratory of Food Science and Biotechnology, Changsha 410128, China)

Abstract: The experiments were carried out with a 1:1:1:1 ratio of *Leuconostoc mesenteroides*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus fermentum*, and *Lactobacillus acidophilus*. With brittleness, total acid and sensory score as evaluation indexes, the effects of inoculation content, salt content and fermentation time on the quality of chopped capsicum were studied. The results showed that the brittleness of chopped capsicum first increased and then decreased with the increase of the amount of strains and salt, and the brittleness decreased gradually with the extension of fermentation time. The influencing order of brittleness $F_{\max}$ was fermentation time>salt content>inoculation content. The influencing order of sensory score was inoculation content>fermentation time>salt content. The optimum conditions for producing low-salt chopped capsicum were inoculation content 6%, salt content 6%, fermentation time 5 d, and fermentation temperature 37 °C. On the conditions, the $F_{\max}$ of low salt chopped capsicum was 12316.3 g, the sensory score was 87.9, and the total acid content was 0.52%. The finished product has a strong aroma, bright red color and crispy taste, which meets the requirements of high quality chopped capsicum.

Key words: multiple strains; fermentation; low salt; chopped capsicum; process optimization

辣椒(*Capsicum annuum* L.)是茄科属浆果类蔬菜, 又名海椒、辣子、辣茄等, 原产于中南美洲及印度群岛等地区, 大约在明代末期传入我国, 至今已有四百多年的历史^[1-4], 辣椒营养物质十分丰富, 含有大量的

收稿日期: 2018-09-18

基金项目: 湖南省科技重大专项 (2015NK1003)

作者简介: 李文青 (1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 粮食、油脂及植物蛋白工程

通讯作者: 罗凤莲 (1973-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品分析与营养

维生素C、维生素A和维生素B等, 可作为人体获取维生素的重要来源^[5,6], 剁辣椒是来自湖南的一种传统食品和调味品, 因其口感酸爽脆辣, 能增食欲促消化, 倍受人们青睐^[7-9]。目前, 国内剁辣椒生产中的食盐含量大多高于10%^[10], 大量食盐的添加有利于剁辣椒的保存, 但不利于人体健康, 所以对低盐剁辣椒的研究越来越多, 一般来说, 食盐含量低于8%的剁辣椒称为低盐剁辣椒^[11]; 同时, 国内主要利用纯种发酵生产剁辣椒, 但纯种发酵的剁辣椒口味单一, 所以逐渐利用多菌种混合发酵生产剁辣椒, 多菌种混合发酵的产品拥

有香气浓郁、发酵速度快、营养均衡等特点^[12],目前,多菌种发酵成功的应用于辣椒酱^[13]、酸菜^[14]、发酵蔬菜^[15]的生产,发酵产品因乳酸的积累和低盐保存,产品品质良好,并增进了风味。

良好的发酵工艺对剁辣椒的品质影响很大,通过对低盐剁辣椒发酵工艺的探讨,了解其发酵规律,使之缩短发酵周期,提高产品品质^[16,17]。在多菌种接种发酵生产低盐剁辣椒过程中,影响产品品质的因素很多,除所选原料和发酵种子液外,菌种的接种量、食盐添加量和发酵时间也有重要影响^[18,19]。实验先利用最优培养基配方(葡萄糖的添加量4%,酵母浸膏的添加量为3%,磷酸氢二钾的添加量为0.2%^[20])制备多菌种发酵种子液,再人工接种至减菌预处理后的碎鲜辣椒中,以37℃为最佳发酵温度,研究菌种接种量、食盐添加量和发酵时间对剁辣椒脆度、总酸和感官评分的影响。在单因素试验的基础上,通过响应面优化确定多菌种接种发酵生产低盐剁辣椒的工艺参数。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

红辣椒:湘辣4号,红色,果长15~18cm,新鲜,无病虫害,产于湖南省长沙县;雪天牌加碘精制食盐:湖南省湘衡盐化有限责任公司。

菌种:植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*, LP) ATCC-8014,肠膜明串珠菌(*Leuconostoc mesenteroides*, LM) CICC-21861,发酵乳杆菌(*Lactobacillus fermentation*, LF) ATCC-11739,嗜酸乳杆菌(*Lactobacillus acidophilus*, LA) ATCC-4356;广东省微生物菌种保藏中心。

MRS肉汤培养基,广东环凯微生物技术有限公司;氢氧化钠(分析纯),国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

DHP-9272A型恒温培养箱,上海飞越实验仪器有限公司;LDZX-50KBS型立式压力蒸汽灭菌锅,上海申安医疗器械厂;CJ-2D型净化工作台,天津市泰斯特仪器有限公司;雷磁PH-S3C型pH计,上海精密科学仪器有限公司;08-2型数显恒温磁力搅拌器,上海梅颖浦仪器仪表制造有限公司;SS-450型离心机,湘潭离心机配件厂;TA-XT2i Plus质构仪,英国Stable Micro Systems公司;DHG-9140A型恒温水浴锅,上海博讯医疗设备厂。

1.3 试验方法

1.3.1 辣椒汁培养基的制备

以辣椒汁为基础培养基,葡萄糖添加量4%,酵母浸膏添加量3%,磷酸氢二钾添加量0.2%^[20]。

1.3.2 多菌种发酵种子液的制备

将4种乳酸菌分别活化2~3代,4种菌种按照1:1:1:1比例混合后吸取0.8mL接入50mL辣椒汁培养基中,37℃下扩大培养24h,离心分离(3500r/min, 10min, 4℃),用50mL 0.85%的生理盐水洗涤沉淀菌种2~3次后制成多菌种发酵种子液备用(菌浓度达 10^9 CFU/mL)。

1.3.3 低盐剁辣椒加工工艺流程及操作要点

原料选择→清洗晾干→减菌预处理→切分剁碎→添加食盐→接种装瓶→密封发酵→杀菌冷却→成品^[21]

减菌预处理:把辣椒置于臭氧浓度为10mg/L的密闭容器内处理2min后备用^[22]。

接种装瓶:以剁碎后的原料辣椒质量为基准,将制备好的多菌种发酵种子液按照相应比例接种至辣椒中,拌匀装瓶。

密封发酵:拌匀后装入玻璃瓶中密封,在37℃下恒温发酵。

杀菌冷却:将发酵完的剁辣椒放置于85℃的水中进行水浴杀菌15min后,冷却,得到剁辣椒成品^[23]。

1.3.4 产品品质的测定

1.3.4.1 脆度的测定

利用质构仪对剁辣椒的脆度进行测定^[24]。

1.3.4.2 总酸的测定

参照GB/T 12456-2008 pH滴定法进行测定^[25]。

1.3.5 感官评分标准

采用闫文华^[26]的感官评定方法,使用100分制,邀请10名食品专业的研究生组成评定小组对剁辣椒的外观、色泽、口感、风味和形态等进行感官评分,结果取平均分作为最终评分。

1.3.6 单因素试验

1.3.6.1 接种量对低盐剁辣椒品质的影响

以食盐添加量6%,接种量2%、4%、6%、8%、10%。在37℃的条件下发酵3d,测定剁辣椒的脆度、总酸含量并对产品进行感官评价。

1.3.6.2 食盐添加量对低盐剁辣椒品质的影响

以菌种接种量6%,食盐添加量4%、5%、6%、7%、8%。在37℃的条件下发酵3d,测定剁辣椒的脆度、总酸含量并对产品进行感官评价。

1.3.6.3 发酵时间对低盐剁辣椒品质的影响

以食盐添加量6%,接种量6%。在37℃的条件下发酵2d、3d、4d、5d、6d,测定剁辣椒的脆度、总酸含量并对产品进行感官评价。

1.3.7 响应面试验

响应面优化试验设计采用 Design-Expert.8.05 软件 Box-Behnken 中心组合原理进行设计。根据单因素试验结果,选取接种量、食盐添加量和发酵时间三个主要影响因素,以脆度和感官评分为响应值进行三因素三水平的响应面优化试验,试验因素水平表见表 1。

表 1 Box-Behnken 试验因素水平表

Table 1 Factors and levels of Box-Behnken experiment design

水平	因素		
	A 接种量/%	B 食盐添加量/%	C 发酵时间/d
-1	4	5	4
0	6	6	5
1	8	7	6

1.3.8 数据统计分析

采用 SPSS19.0、EXCEL 软件进行数据处理分析与制图。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果

2.1.1 接种量对低盐剁辣椒品质的影响

试验考察了接种量对剁辣椒品质的影响,结果如图 1 和表 2 所示。

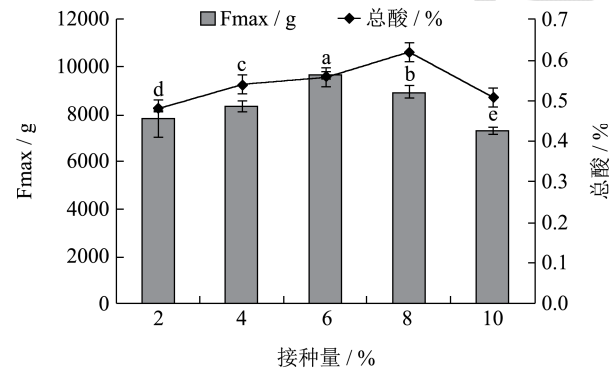


图 1 不同接种量对剁辣椒脆度和总酸的影响

Fig.1 Effect of different inoculation content on the brittleness and total acidity of chopped pepper

由图 1 可知,随着接种量的增大,脆度先增大后减小,当接种量为 6%时,脆度值最大。产酸量是衡量乳酸菌发酵能力的重要指标,在辣椒发酵过程中如果乳酸菌的产酸量太少,则不利于辣椒的成熟以及酸味的形成^[27]。总酸含量随着接种量的增大先增大后减小,当接种量为 8%时,总酸含量最高。从图 1 和表 2 可以看出,当接种量为 6%时,感官评分最高,酸度适宜。当接种量超过 8%后,总酸含量略微有所下降的

趋势,且会造成色泽与滋味较差、脆度低等不利影响,说明不是接种量越多发酵效果越好^[28]。同时考虑到生产成本,选择 6%的接种量最好。

表 2 不同接种量下剁辣椒感官评分结果

Table 2 Sensory evaluation of chopped pepper in different inoculation content

接种量/%	感官结果	评分
2	色泽暗淡,有酸涩味,汁液很少	74.2
4	色泽较好,香气较淡,汁液很少	78.6
6	色泽红亮,香气浓郁,汁液适中	81.9
8	色泽深红,有酸涩味,汁液较多	76.8
10	色泽暗红,有酸败味,汁液最多	69.5

2.1.2 食盐添加量对低盐剁辣椒品质的影响

食盐添加量是影响辣椒发酵速度和品质的一个重要因素。食盐浓度过低微生物代谢活动旺盛,辣椒脆度降低,椒片软塌^[29]。试验考察了食盐添加量对剁辣椒品质的影响,结果如图 2 和表 3 所示。

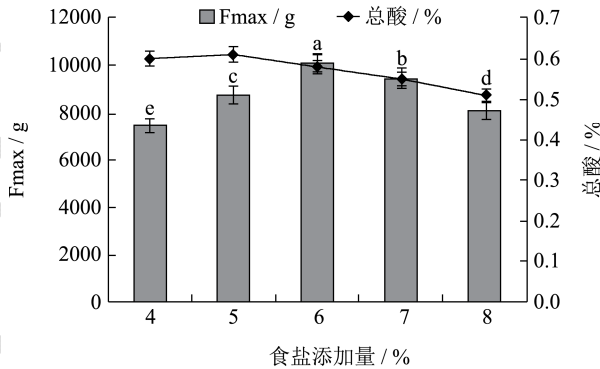


图 2 不同食盐添加量对剁辣椒脆度和总酸的影响

Fig.2 Effect of different salt content on the brittleness and total acidity of chopped pepper

表 3 不同食盐添加量剁辣椒感官评分结果

Table 3 Sensory evaluation of chopped pepper in different salt content

添加量/%	感官结果	评分
4	清淡无味,酸味过重,色泽暗沉	72.1
5	味道略淡,气味一般,色泽较暗沉	76.2
6	咸淡适宜,风味良好,色泽红亮	84.3
7	口感过咸,有酸涩味,色泽较暗	79.7
8	咸味过重,风味较差,色泽暗沉	71.6

由图 2 可知,随着食盐添加量的增加,脆度先增大后减小,当添加量为 6%时,脆度较好。总酸含量随着食盐添加量的增大略有下降。从表 3 得知,当食盐添加量为 6%时,咸淡适宜,口感爽脆,感官评分较高。

2.1.3 发酵时间对低盐剁辣椒品质的影响

发酵时间对剁辣椒品质的影响较大。发酵时间过短,乳酸菌无法充分利用辣椒中的营养成分,发酵不够完全,形成的风味物质较少;发酵时间过长,会导致产品过酸,质地软烂,颜色变暗,品质较差^[30]。试验考察了发酵时间对剁辣椒品质的影响,结果如图 3 和表 4 所示。

由图 3 可知,随着发酵时间的延长,剁辣椒的脆度逐渐降低,说明发酵时间过长会导致组织软化。发酵时间的越长,乳酸菌会逐渐成为优势菌群,大量生长繁殖,产酸量增多,总酸含量逐步上升。从表 4 可以看出,发酵时间为 5 d 时,辣椒色泽红亮,香气浓郁,酸度适宜,感官评分最高。

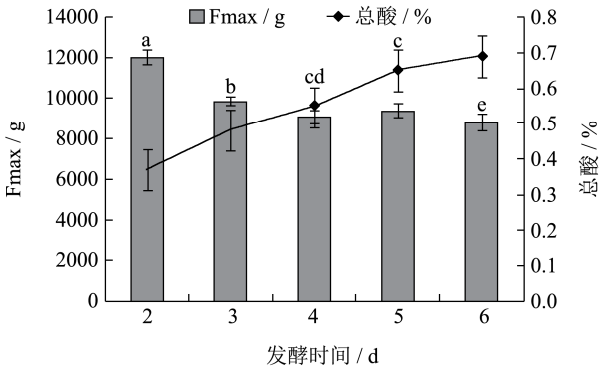


图 3 不同发酵时间对剁辣椒脆度和总酸的影响

Fig.3 Effect of different fermented time on the brittleness and total acidity of chopped pepper

表 4 不同发酵时间剁辣椒感官评分结果

Table 4 Sensory evaluation of chopped pepper in different fermented time

发酵时间/d	感官结果	评分
2	发酵香气不足, 色泽暗沉, 有大量汁液	68.9
3	发酵香气略淡, 产生少量白膜, 色泽暗沉	71.1
4	发酵香气略淡, 色泽较暗, 无白膜	78.9
5	发酵香气浓郁, 色泽红亮, 汁液适中	83.3
6	发酵酸味过重, 色泽暗沉, 有大量汁液	74.5

表5 响应面试验设计及结果

Table 5 Design and results of Box-Behnken experiment

试验编号	A (接种量) /%	B (食盐添加量) /%	C (发酵时间) /d	脆度 Fmax/g	感官评分/分
1	-1	0	-1	11516.6	79.7
2	0	1	1	11293.7	79.1
3	1	0	-1	11016.8	78.3
4	0	0	0	12082.2	87.5
5	1	0	1	11776.6	77.7
6	0	0	0	11923.5	87.2
7	1	1	0	11202.5	78.1
8	0	-1	1	11114.7	79.3
9	0	0	0	12082.2	87.1
10	-1	1	0	10868.2	78.3
11	1	-1	0	11163.7	76.6
12	0	1	-1	11128.2	76.6
13	0	0	0	12247.7	85.3
14	-1	-1	0	11121.5	78.2
15	0	-1	-1	10886.8	76.8
16	-1	0	1	11457.5	77.6
17	0	0	0	12293.7	87.6

2.2 响应面试验结果与分析

根据单因素试验结果,以接种量、食盐添加量和发酵时间为自变量,脆度和感官评分为响应值进行三

因素三水平的响应面优化试验,共设计以下 17 个试验,每个试验设置三个平行,Box-Behnken 试验设计与结果见表 5。

2.2.1 以脆度 Fmax(Y1)为响应值的回归分析

2.2.1.1 回归方程的方差分析

利用 Design-Expert 8.0.5 软件, 以接种量、食盐添加量和发酵时间为影响因素, 脆度 $F_{\max}$ 为响应值对表 5 的结果进行处理与分析, 得到表 6 回归方程方

差分析表, 使用软件进行非线性回归的二次多项式拟合, 得到预测模型: 脆度 $Y_1=12125.84+24.48A+25.75B+136.76C+73.02AB+204.72AC-15.62BC-350.43A^2-686.42B^2-333.55C^2$ 。

表6 脆度 $F_{\max}$ (Y1)回归模型的方差分析

Table 6 Variance analysis of regression model for brittleness $F_{\max}$ (Y₁)

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	差异显著性
模型	3.612E+06	9	4.014E+05	14.88	0.0009	*
A 接种量	4794.90	1	4794.90	0.18	0.6859	
B 食盐添加量	5303.73	1	5303.73	0.20	0.6708	
C 发酵时间	1.496E+05	1	1.496E+05	5.55	0.0500	*
AB	21329.58	1	21329.58	0.79	0.4033	
AC	1.676E+05	1	1.676E+05	6.22	0.0414	*
BC	975.63	1	975.63	0.036	0.8545	
A ²	5.171E+05	1	5.171E+05	19.17	0.0032	**
B ²	1.984E+06	1	1.984E+06	73.57	<0.0001	**
C ²	4.684E+05	1	4.684E+05	17.37	0.0042	**
残差	1.888E+05	7	26965.88			
失拟项	1.010E+05	3	33661.92	1.53	0.3357	
纯误差	87775.44	4	21943.86			
总离差	3.801E+06	16				

注: ** 差异极显著, $p<0.01$; * 差异显著, $p<0.05$, 以下同。

由表3~6可知, 回归方程的方差分析显著性结果表明, 该模型回归显著($p<0.01$), 即各因素间交互作用影响显著, 而失拟项不显著, 说明该模型拟合程度好。脆度模型的决定系数 $R^2=0.9503$, $R^2_{Adj}=0.8865$, 说明自变量与响应值之间的线性关系显著, 模型与实际情况拟合相近, 即试验误差小, 因此可以用该模型预测和分析不同条件对低盐剁辣椒脆度的影响。从脆度的方差分析结果可以看出, 方程的一次项C影响显著, 交互项AC影响显著, 二次项影响均极显著。根据表中F值和P可知, 3个因素对剁辣椒脆度 $F_{\max}$ 值的影响程度大小为: 发酵时间>食盐添加量>接种量。

2.2.1.2 响应面分析

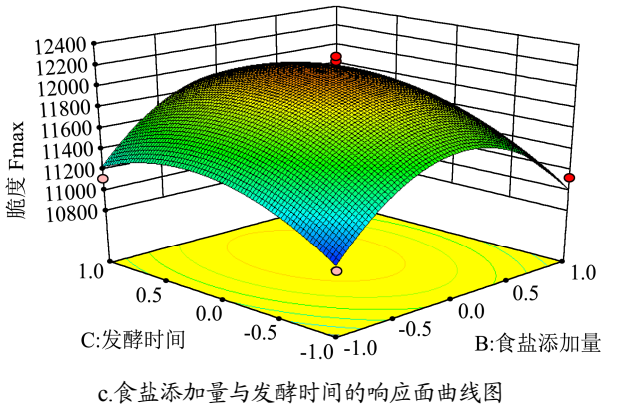
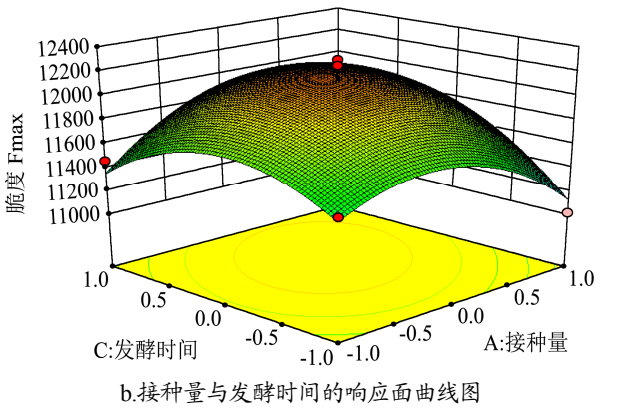
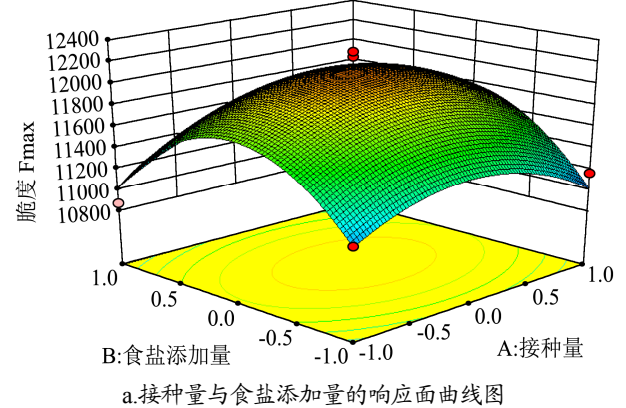


图 4 各因素交互作用对剁辣椒脆度 $F_{\max}$ 值的影响

Fig.4 Effects of independent variables on the $F_{\max}$ of chopped pepper brittleness

根据回归方程可以得到相应的响应面图,分析接种量、食盐添加量和发酵时间之间的相互作用对剁辣椒脆度的影响。

由图4可知接种量、食盐添加量和发酵时间对低盐剁辣椒脆度Fmax值的影响趋势。根据曲面形状可反映出各因素对脆度Fmax的影响程度,曲面越陡峭则影响越显著。通过响应面法优化,得到低盐剁辣椒发酵工艺的最优条件为接种量6.21%、食盐添加量6.02%、发酵时间5.24 d,预测在此工艺条件下,剁辣椒脆度Fmax值达到12143.6 g。为验证该模型的可靠性,在此优化工艺条件下制作低盐剁辣椒并进行三次重复试验。考虑到实际操作的便利,对发酵条件进行适当调整,修改为接种量6.2%,食盐添加量6.0%,发酵时间5.2 d,以上述条件进行验证试验,得到剁辣椒脆度Fmax值为12267.6 g,与理论预测值较吻合。

2.2.2 以感官评分(Y2)为响应值的回归分析

2.2.2.1 回归方程的方差分析

表7 感官评分(Y₂)的回归模型方差分析

Table 7 Variance analysis of regression model for sensory evaluation (Y₂)

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	差异显著性
模型	284.19	9	31.58	19.26	0.0004	**
A 接种量	1.20	1	1.20	0.73	0.4203	
B 食盐添加量	0.18	1	0.18	0.11	0.7501	
C 发酵时间	0.66	1	0.66	0.40	0.5455	
AB	0.49	1	0.49	0.30	0.6015	
AC	0.56	1	0.56	0.34	0.5764	
BC	0.00	1	0.00	0.00	1.0000	
A ²	80.87	1	80.87	49.33	0.0002	**
B ²	95.3	1	95.3	58.14	0.0001	**
C ²	75.43	1	75.43	46.01	0.0003	**
残差	11.47	7	1.64			
失拟项	7.94	3	2.65	3.00	0.1582	
纯误差	3.53	4	0.88			
总离差	295.66	16				

2.2.2.2 响应面分析

根据回归方程可以得到相应的响应面图,分析接种量、食盐添加量和发酵时间之间的相互作用对剁辣椒感官评分的影响。

由图5可知,接种量、食盐添加量和发酵时间对低盐剁辣椒感官评分的影响趋势,根据曲面形状可反映出各因素对感官评分的影响程度,曲面越陡峭则影响越显著。通过响应面法优化,得到低盐剁辣椒发酵工

利用Design-Expert 8.0.5软件,以接种量、食盐添加量和发酵时间为影响因素,感官评分为响应值对表6的结果进行处理与分析,得到表7回归方程方差分析表,使用软件进行非线性回归的二次多项式拟合,得到预测模型:感官评分 $Y_2=86.94-0.39A+0.15B+0.29C+0.35AB+0.38AC+0.00BC-4.38A^2-4.76B^2-4.23C^2$ 。

由表7可知,回归方程的方差分析显著性结果表明,该模型回归显著($p<0.01$),即各因素间交互作用影响显著,而失拟项不显著,说明该模型拟合程度好。感官评分模型的决定系数 $R^2=0.9612$, $R_{Adj}^2=0.9113$,说明自变量与响应值之间的线性关系显著,模型与实际情况拟合相近,即试验误差小,因此可以用该模型预测和分析不同条件对低盐剁辣椒感官评分的影响。从感官评分的方差分析结果可以看出,方程的二次项对感官评分影响极显著。根据表中F值和P可知,3个因素对剁辣椒感官评分的影响程度大小为:接种量>发酵时间>食盐添加量。

艺的最优条件为接种量6.01%、食盐添加量6.02%、发酵时间5.11 d,预测在此工艺条件下,剁辣椒感官评分达到86.9分。为验证该模型的可靠性,采用此优化工艺条件下来制作低盐剁辣椒并进行三次重复试验。考虑到实际操作的便利,对发酵条件进行适当调整,修改为接种量6.0%,食盐添加量6.0%,发酵时间5.1 d,以上述条件进行验证试验,得到剁辣椒感官评分为87.3分,与理论预测值较吻合。

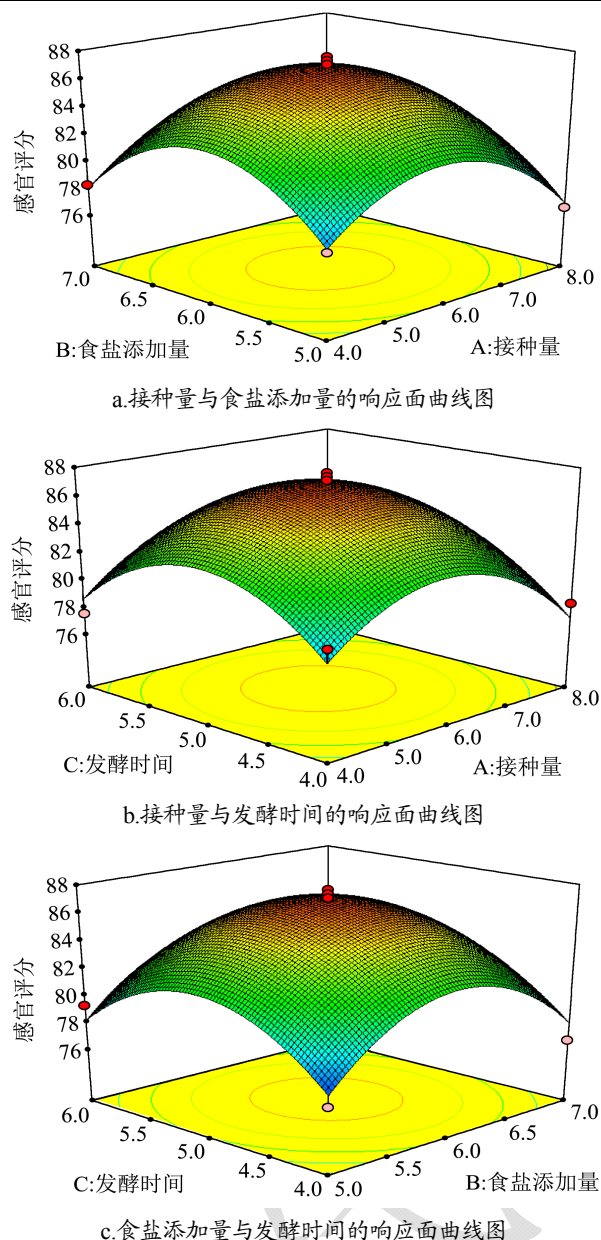


图5 各因素交互作用对剁辣椒感官评分的影响

Fig.5 Effects of independent variables on sensory evaluation of chopped pepper

2.2.3 感官评分与脆度的相关性分析

表8 感官评分与脆度的相关性分析

Table 8 Correlation between sensory score and brittleness

项目	脆度Fmax/g	感官评分/分
脆度Fmax/g	1	
感官评分/分	0.8704	1

从表8可以看出,剁辣椒的脆度和感官评分之间的相关系数为0.87,说明两者之间呈现比较高的正相关关系。试验结果中也出现了脆度与感官评分相左的情况,原因可能有是在发酵的初期,辣椒中的糖类物质还没有大量被微生物发酵成乳酸,导致口感不佳。

2.3 低盐剁辣椒发酵工艺的优化组合及验证

从响应面分析可知,接种量6.2%,食盐添加量6.0%,发酵时间5.2 d时,脆度最好,Fmax值为12267.6 g,同等条件下感官评分为87.2分;当接种量6.0%,食盐添加量6.0%,发酵时间5.1 d时,感官评分为87.3分,同等条件下脆度Fmax值为12198.5 g。试验发现两组工艺条件对剁辣椒脆度Fmax和感官评分值相差不显著($p>0.05$),且与预测值接近,说明通过响应面优化后得出的回归方程具有一定的实践指导意义。从节约成本和实际操作的便利考虑,确定接种量6%,食盐添加量6%,发酵时间5 d为多菌种接种发酵生产低盐剁辣椒的最佳工艺条件,此时剁辣椒的脆度Fmax值为12316.3 g,感官评分为87.9分,总酸含量为0.52%,品质较好。

3 结论

本试验采用多菌种接种发酵生产低盐剁辣椒,根据 Box-Behnken 试验设计,建立接种量、食盐添加量和发酵时间对剁辣椒脆度和感官评分的回归模型,并对模型进行失拟,通过验证试验证实了该方法的可靠性,试验拟合度较高,且能较好的预测低盐剁辣椒的脆度 Fmax 值和感官评分。影响剁辣椒脆度 Fmax 值的主次顺序为发酵时间>食盐添加量>接种量,影响感官评分的主次顺序为接种量>发酵时间>食盐添加量。综合单因素和响应面试验得到多菌种接种发酵生产低盐剁辣椒的最佳工艺条件为:接种量 6%,食盐添加量 6%,发酵时间 5 d,发酵温度 37 ℃,在此工艺条件下得到低盐剁辣椒的脆度 Fmax 值为 12316.3 g,感官评分为 87.9 分,总酸含量为 0.52%,品质良好。

参考文献

- [1] 张晶,佟全胜,石磊岭,等.辣椒的化学成分研究进展[J].中成药,2009,31(12):1906-1912
ZHANG Jing, TONG Quan-sheng, SHI Lei-ling, et al. Research progress on chemical constituents of capsicum [J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2009, 31(12): 1906-1912
- [2] 张晶,金沙,董蕊,等.辣椒的药理作用研究进展[J].中国药房,2010,21(7):663-665
ZHANG Jing, JIN Sha, DONG Rui, et al. Research progress on pharmacological action of capsicum [J]. China Pharmacy, 2010, 21(7): 663-665

- [3] 李焕玲.辣椒真菌性病害发生的种类[J].长江蔬菜,2014, 31(21):43-45
LI Huan-ling. Types of fungal diseases occurring in pepper [J]. Journal of Chang-jiang Vegetables, 2014, 31(21): 43-45
- [4] 黄任中,黄启中,吕中华,等.我国干制辣椒产业现状及发展对策[J].中国蔬菜,2015,1(2):9-11
HUANG Ren-zhong, HUANG Qi-zhong, LYU Zhong-hua, et al. Present situation and development countermeasures of dry chili industry in China [J]. China Vegetables, 2015, 1(2): 9-11
- [5] Geleta L F, Labuschagne M T. Combining ability and heritability for Vitamin C and total soluble solids in pepper (*Capsicum annum* L.) [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2010, 86(9): 1317-1320
- [6] 刘向前,冯爱国,李春艳.辣椒营养成分开发利用研究进展[J].农业工程,2013,3(1):48-51
LIU Xiang-qian, FENG Ai-guo, LI Chun-yan. Development and utilization of chili nutrients [J]. Agricultural Engineering, 2013, 3(1): 48-51
- [7] 卢星军.辣椒汁工业化生产技术研究及应用[D].长沙:湖南农业大学,2015
LU Xing-jun. Explore and application of chili sauce industrial production technology [D]. Changsha, Hunan Agricultural University, 2015
- [8] 赵思扬,叶香玲.辣椒产业坐上中国最大蔬菜产业宝座[N/OL].中国食品报,2016-2-1
ZHAO Si-yang, YE Xiang-ling. Pepper industry sits on the throne of China's largest vegetable industry [N/OL]. China Food News, 2016-2-1
- [9] 萨仁高娃,胡文忠,姜爱丽.辣椒营养保健功能及辣椒食品的研究进展[J].食品工业科技,2012,33(15):371-375
SA-ren-gao-wa, HU Wen-zhong, JIANG Ai-li. Research process in pharmacological function and products of chili [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(15): 371-375
- [10] 王晶晶,王蓉蓉,刘成国,等.低钠盐发酵剁辣椒的挥发性成分研究[J].农产品加工,2017,18:32-36
WANG Jing-jing, WANG Rong-rong, LIU Cheng-guo, et al. Volatile compounds of chopped pepper with low sodium salt [J]. Farm Products Processing, 2017, 18: 32-36
- [11] 郭秀云,张雅玮,彭增起.食盐减控研究进展[J].食品科学, 2012,33(21):374-378
GUO Xiu-yun, ZHANG Ya-wei, PENG Zeng-qi. Research progresses in reduction and control of salt intake [J]. Food Science, 2012, 33(21): 374-378
- [12] 张海,冯成利,屈春虹,等.多菌种速酿发酵辣椒的研制[J].中国调味品,1992,7:18-20
ZHANG Hai, FENG Cheng-li, QU Chun-hong, et al. Development of quick fermented chili with multi strains [J]. Chinese Condiment, 1992, 7: 18-20
- [13] 杨玉新,任花,李丹.辣椒酱复合菌种发酵工艺的研究[J].中国酿造,2011,30(8):162-164
YANG Yu-xin, REN Hua, LI Dan. Pepper sauce fermentation technology with multi-strains [J]. China Brewing, 2011, 30(8): 162-164
- [14] 孙庆申,王艺,杨丽娟,等.复合酸菜发酵剂乳酸菌的优选及鉴定[J].黑龙江大学工程学报,2013,4(4):35-39
SUN Qin-shen, WANG Yi, YANG Li-juan, et al. Isolation and identification of the preferably selected lactic acid bacteria from marketed pickled cabbage [J]. Journal of Engineering of Heilongjiang University, 2013, 4(4): 35-39
- [15] 陈惠音,杨汝德.超低盐多菌种快速发酵腌菜技术[J].食品科学,1994,15(5):18-22
CHEN Hui-yin, YANG Ru-de. Rapid fermentation of pickles with ultralow-salt and multi-strains [J]. Food Science, 1994, 15(5): 18-22
- [16] 张菊华,单扬.多菌种乳酸菌泡辣椒的工艺研究[J].辣椒杂志,2004,3(4):45-46
ZHANG Ju-hua, SHAN Yang. Study on the technology of pickled capsicum with multi-strains of lactic acid bacteria [J]. Journal of China Capsicum, 2004, 3(4): 45-46
- [17] 丁筑红,何绪晓,俞露,等.不同处理工艺对发酵辣椒品质特性的影响[J].中国调味品,2008,33(6):49-53
DING Zhu-hong, HE Xu-xiao, YU Lu, et al. Effects of different treatment processes on quality characteristics of fermented chili [J]. China Condiment, 2008, 33(6): 49-53
- [18] 谢靛,李梓铭,蒋立文.接种耐盐植物乳杆菌对不同盐渍程度发酵辣椒挥发性成分的影响[J].食品科学,2015,36(16): 163-169
XIE Jing, LI Zi-ming, JIANG Li-wen. Effect of salt-tolerant *Lactobacillus* incubation on volatile components in pickled pepper with different salinities [J]. Food Science, 2015, 36(16): 163-169
- [19] 张国华,何国庆.传统发酵食品中乳酸菌多样性及其功能特性[J].中国食品学报,2013,13(9):174-181
ZHANG Guo-hua, He Guo-qin. Diversity and functional characteristics of lactic acid bacteria in traditional fermented food [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013, 13(9): 174-181
- [20] 曾希珂,张喻,罗凤莲,等.多菌种发酵辣椒汁培养基配方的

- 优化[J].中国酿造,2017,36(11):91-95
- ZENG Xi-ke, ZHANG Yu, LUO Feng-lian, et al. Optimization of medium formula of multi-strains fermentation of pepper juice [J]. China Brewing, 2017, 36(11): 91-95
- [21] 邓放明,李罗明,刘素纯,等.碎鲜辣椒发酵制品系列产品生产技术[J].食品与机械,2004,20(2):52-53
- DENG Fang-ming, LI Luo-ming, LIU Su-chun, et al. Processing technology of fermented piece and verdure chili [J]. Food and Machinery, 2004, 20(2): 52-53
- [22] 母应春,曾海英,谭书明,等.辣椒不同减菌化预处理效果对比研究[J].食品科学,2008,29(11):250-255
- MU Ying-chun, ZENG Hai-ying, TAN Shu-ming, et al. Comparative study on different microbe-reducing pretreatment effects of pepper [J]. Food Science, 2008, 29(11): 250-255
- [23] 张海,冯成利,屈春虹,等.多菌种速酿发酵辣椒的研制[J].中国调味品,1992,17(7):18-20
- ZHANG Hai, FENG Cheng-li, QU Chun-hong, et al. Development of a variety of quickly fermented chili [J]. Chinese Condiment, 1992, 17(7): 18-20
- [24] 张晓.芹菜泡菜的盐渍及发酵新技术研究[D].长沙:湖南农业大学,2013
- ZHANG Xiao. Study on salinization and new fermented technology of pickled celery [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2013
- [25] GB/T 12456-2008,食品中总酸的测定[S]
- GB/T 12456-2008, Determination of Total Acids in Foods [S]
- [26] 闫文华,陆欢,郑胜丰,等.鲜脆刹辣椒生产工艺优化[J].食品与机械,2010,26(5):151-154
- YAN Wen-hua, LU Huan, ZHENG Shen-feng, et al. Optimization the production technology of fresh-crisp chopped capsicum [J]. Food Machinery, 2010, 26(5): 151-154
- [27] 邓放明,李罗明,尹华,等.碎鲜辣椒发酵制品发酵用乳酸菌的选育与接种发酵试验[J].食品科学,2005,26(3):83-86
- DENG Fang-ming, LI Luo-ming, YIN Hua, et al. Isolation and selection of *Lactobacillus* strains for fermented piece of broken verdure chili and inoculation fermentation experiment [J]. Food Science, 2005, 26(3): 83-86
- [28] 林燕文,蔡汉权,陈晓芸,等.乳酸菌发酵型枸杞泡菜最佳工艺条件研究[J].现代食品科技,2006,22(3):131-133
- LIN Yan-wen, CAI Han-quan, CHEN Xiao-yun, et al. The optimal processing of *Lycium barbarum* pickle fermented by lactic acid bacteria [J]. Modern Food Science and Technology, 2006, 22(3): 131-133
- [29] 谢靓,蒋立文.不同食盐含量对发酵辣椒质构的变化研究[J].中国酿造,2014,33(11):59-62
- XIE Jing, JIANG Li-wen. Effect of different salt content on change of fermented chili texture [J]. China Brewing, 2014, 33(11): 59-62
- [30] 张洪超,薛张芝,周红丽,等.纯种乳酸菌混合发酵对生姜品质的影响[J].食品工业科技,2017,38(20):125-131
- ZHANG Hong-chao, XUE Zhang-zhi, ZHOU Hong-li. Effect of mixed fermentation of pure lactic acid bacteria on the quality of ginger [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(20): 125-131

(上接第 181 页)

- [27] Muralidhar R V, Chirumamila R R, Marchanta R, et al. A response surface approach for the comparison of lipase production by *Candida cylindracea* using two different carbon sources [J]. Biochemical Engineering Journal, 2001, 9(1): 17-23
- [28] 王宁,林小翠,王文君.响应面法优化黄金茶总黄酮提取工艺及对胰蛋白酶活性影响的研究[J].现代食品科技,2018,34(3):121-130
- WANG Ning, LIN Xiao-cui, WANG Wen-jun. Optimization of extraction process of total flavonoids from *Chimonanthus salicifolius* S. Y. Hu. leaves by response surface methodology and its effect on trypsin activity [J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(3): 121-130
- [29] Xiao J H, Zhang H, Niu L Y, et al. Efficient screening of a novel antimicrobial peptide from *Jatropha curcas* by cell membrane affinity chromatography [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59: 1145-1151
- [30] 杨鹏斌,于新,等.绿色木霉菌发酵液萃取物对金黄色葡萄球菌细胞膜的损伤作用[J].食品科学,2013,34(15):27-31
- YANG Peng-bin, YU Xin, YANG Jing, et al. Effect of extract from trichoderma viride fermentation broth on cell membrane injury of *Staphylococcus aureus* [J]. Food Science, 2013, 34(15): 27-31