

植物乳杆菌在辣白菜发酵过程中 对其感官品质的影响

任大勇^{1*}, 高良锋¹, 杨柳¹, 刘宏妍², 于寒松¹, 沈明浩¹

(1. 吉林农业大学 食品科学与工程学院, 长春 130118;

2. 吉林农业大学 中药材学院, 长春 130118)

摘要:以植物乳杆菌 L12 作为发酵剂, 以辣白菜的颜色、气味、味道和质构特性 4 个感官因素作为品质的衡量标准, 来分析辣白菜的发酵剂接种量以及对发酵剂有较大影响的发酵温度、腌制盐浓度和发酵时间 3 个因素对感官品质的影响; 利用响应面法分析发酵剂与其他 3 个因素间的交互作用, 通过分析得出发酵时间与发酵剂接种量间存在显著的交互作用, 同时得到该发酵剂的最佳发酵条件为: 接种量 2%, 腌制盐浓度 4%, 发酵温度 11 °C, 发酵时间 7 d。结果表明该菌株可以在适宜的条件下, 干预自然发酵过程中微生物的变化, 从而改善辣白菜的感官品质, 同时有效地缩短发酵时间, 实现快速发酵, 说明该菌株有作为发酵剂的研究价值。

关键词: 发酵剂; 植物乳杆菌; 辣白菜; 感官品质

中图分类号: TS207.3

文献标志码: A

doi:10.3969/j.issn.1000-9973.2019.08.005

文章编号: 1000-9973(2019)08-0022-05

Effect of *Lactobacillus plantarum* on Sensory Quality in Fermentation Process of Spicy Cabbage

REN Da-yong^{1*}, GAO Liang-feng¹, YANG Liu¹, LIU Hong-yan²,
YU Han-song¹, SHEN Ming-hao¹

(1. College of Food Science and Engineering, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China;
2. College of Traditional Chinese Medicine, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract: In this study, *Lactobacillus plantarum* L12 is researched as the starter to ferment spicy cabbage which is measured by color, flavor, taste and texture properties. The effect of inoculation amount of starter and the three factors containing fermentation temperature, salt concentration and fermentation time which have great influence on the starter on the sensory quality is analyzed. Use response surface methodology to analyze the interaction of starter and the other three factors, which shows that fermentation time and starter have a significant interaction, meanwhile, the optimal fermentation conditions of the starter are inoculation amount of 2%, salt concentration of 4%, fermentation temperature of 11 °C, fermentation time of 7 days. The results show that the strain could intervene the change of microorganisms in the natural fermentation process under the suitable conditions, so as to improve the sensory quality of spicy cabbage, and effectively shorten the fermentation time to achieve rapid fermentation, indicating that the strain has the research value as starter.

Key words: starter; *Lactobacillus plantarum*; spicy cabbage; sensory quality

辣白菜是我国传统发酵食品之一, 微生物的代谢赋予其丰富的营养物质和独特的风味^[1-3]。传统辣白

菜的发酵通过白菜及其配料所携带的微生物来完成^[4], 这种工艺存在着发酵时间长、产品质量不稳定等

收稿日期: 2019-02-24

* 通讯作者

基金项目: 吉林省教育厅十二五科研项目(吉教科合字[2015]第 196 号)

作者简介: 任大勇(1979-), 男, 副教授, 博士, 研究方向: 食品质量安全。

缺陷^[5,6],不利于商业化产品的推广。利用发酵剂来缩短生产周期、控制产品质量是目前发酵蔬菜行业所公认的有效手段^[7],但我国目前对辣白菜发酵剂及发酵工艺的研究报道较少。

辣白菜发酵过程由多种微生物共同作用,研究表明发酵过程中优势菌种主要包括明串珠菌属、魏斯氏菌属以及乳杆菌^[8]。其中明串珠菌属作为发酵剂被研究的较为广泛,但植物乳杆菌对辣白菜的影响却被忽视,乳杆菌属中的植物乳杆菌是辣白菜发酵中后期的优势菌种^[9,10],在发酵过程中起到重要的作用。本研究利用植物乳杆菌作为发酵剂,研究它在不同发酵条件下对辣白菜感官品质的影响,并进一步通过响应面试验探讨了发酵剂(植物乳杆菌)与发酵因素间的交互作用,为了解植物乳杆菌在辣白菜发酵过程中的作用及为辣白菜发酵剂的开发提供了理论依据。

1 试验材料与方法

1.1 材料与试剂

菌株:植物乳杆菌 L12,吉林农业大学食品安全实验室。

白菜、辣椒粉、大蒜、姜、食盐、白糖等:市售;亚硝酸盐、硫酸亚铁、乙酸锌、硼酸钠、对氨基苯磺酸、盐酸乙二胺:分析纯试剂;MRS 肉汤培养基:青岛海博生物技术有限公司。

1.2 仪器与设备

pHS-3C 型 pH 计 上海佑科仪器仪表有限公司;5804R 型离心机 德国 Eppendorf 公司;BSA2245-CW 型电子天平 德国 Sartorius 公司;DS-11 型微量分光光度计 美国 Denovix 公司;TMS-PRO 型质构仪 美国 FTC 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 辣白菜的基本制作流程

去老叶→切分→称重→腌制→清洗→抹料→发酵→保藏。

将新鲜白菜去老叶,切分成 4 份,以质量为基重,用不同浓度(1%、2%、3%、4%、5%、6%,g/g)食盐腌制 24 h 后,用清水清洗,沥干,待用。用适量的热水烫辣椒粉去苦,冷却。将苹果、梨、姜、蒜用捣碎机打碎成泥状,按表 1 中的配料比例调制成辣白菜酱料,按每份占白菜总质量的百分数分配酱料,根据酱料质量加入不同浓度菌液(0%、1%、2%、3%、4%、5%、6%,mL/g),混匀。将酱料均匀涂抹在每片菜叶上,放在塑料保鲜盒中密封,于不同温度(1,4,7,10,13,16 °C)发酵,发酵时间控制在 1,3,5,7,9,11,13,15 d,检测发酵结束后各理化指标及感官评价。

表 1 配料表

Table 1 The list of ingredients

原料名称	添加量	原料名称	添加量
白菜	100	虾酱	1.5
辣椒粉	3.5	鱼露	0.5
大蒜	1.5	盐	2
姜	0.8	糖	0.5
葱	2	味精	0.5
苹果	6		

1.3.2 感官评价

挑选 30 名接受过感官评价培训课程并考核通过的人员,对产品进行感官评价,以色泽、气味、味道和质构特性 4 个因素作为感官品质的基本评价指标,评定标准(见表 2)参考 DB22/T 1758—2012^[11],以累积得分总和作为感官评价得分。

表 2 辣白菜感官评价评分标准

Table 2 The sensory evaluation standard of spicy cabbage

项目	色泽	气味	味道	质构特性
好	茎叶亮白,边叶亮黄,汤汁鲜红(25~20 分)	发酵香气浓郁(25~20 分)	咸味、辣味适宜,带有醇厚酸味(25~20 分)	口感脆嫩(25~20 分)
较好	茎叶白色,边叶黄色,汤汁浅红(20~15 分)	发酵香气良好(20~15 分)	咸味、辣味较好,略带酸味(20~15 分)	口感较脆(20~15 分)
一般	茎叶白色,边叶浅黄,汤汁微红(15~10 分)	发酵香气一般(15~10 分)	咸味、辣味一般,酸味带有刺激性(15~10 分)	口感一般(15~10 分)
较差	茎叶灰白,边叶土黄,汤汁淡黄(10~5 分)	无发酵香气(10~5 分)	咸味、辣味口感较差,酸味较差(10~5 分)	口感较差(10~5 分)
差	茎叶灰白,边叶暗黄,汤汁暗黄(<5 分)	有馊味(<5 分)	酸味刺激明显,带有苦味(<5 分)	无脆感(<5 分)

1.3.3 亚硝酸盐检测

依照国标 GB 5009.33—2016 中第二法分光光度法执行操作^[12]。

1.3.4 质构分析^[13]

选择圆形探头,触发力 1000 N,速度 1 mm/s,形变量 45%,抬起高度 30 mm。

1.4 数据统计方法

单因素试验每组重复 10 次,利用 GraphPad Prism 5 进行统计分析,试验结果以均值±方差的形式表示;响应面试验重复 30 组,利用 Design-Expert 8.0.6 软件进行二次回归方程分析及响应面分析。

2 结果分析

2.1 单因素试验

2.1.1 发酵剂接种量对辣白菜感官品质的影响

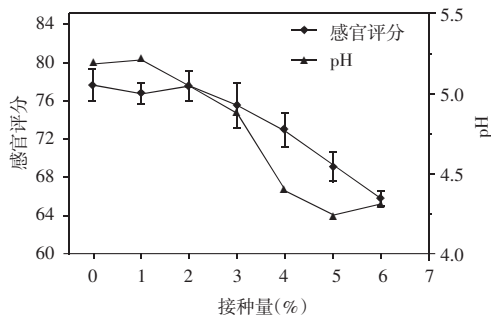


图1 发酵剂接种量对辣白菜感官评分的影响
Fig. 1 Effect of inoculation amount of starter on sensory score of spicy cabbage

微生物在辣白菜的发酵过程中对风味及口感均产生影响,发酵剂的添加量会影响原有微生物的生长及代谢,对感官品质产生直接影响。由图1可知,pH值随发酵剂添加量的增加呈下降趋势,可以反映出各样品正处于不同的发酵阶段;同时从感官评分上分析,发酵结束时,接种量在0%~3%时,样品尚未完全达到发酵成熟期,酸积累量不高,辣白菜滋味丰富,酸度比较适宜;接种量在3%~6%时,感官评分呈下降趋势,pH迅速下降,之后又呈上升趋势,此阶段酸的积累量增加,乳酸菌受到显著抑制,酵母菌等开始增长,从而使样品酸度回升,但风味受到严重破坏。这与Jeong等^[14]对辣白菜微生物代谢的研究结果相一致。由于在接菌量为2%时感官评分较高,所以后续试验菌以2%的接菌量为标准。

2.1.2 腌制盐浓度对辣白菜感官品质的影响

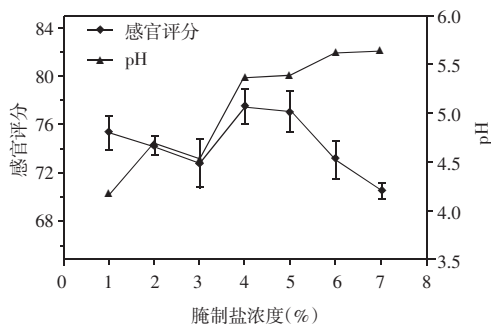


图2 腌制盐浓度对辣白菜感官评分的影响
Fig. 2 Effect of salt concentration on sensory score of spicy cabbage

辣白菜前期腌制时所采用的盐浓度直接影响原料初始阶段的口感及风味,同时对发酵初始阶段的原料所携带的微生物和发酵过程中微生物的代谢都有着很大影响。由图2可知,盐浓度在1%~8%范围内,pH值随盐浓度增加而呈上升趋势,说明较高的盐浓度会抑制乳酸菌代谢,使其产酸量减少;盐度在5%~7%时,因盐度过高,适口性较差,由于盐浓度较高对菜叶脱水作用较为明显,使菜叶质地偏软,同时高盐浓度抑

制了部分微生物生长,导致发酵风味不足;盐浓度较低时,各种微生物代谢菌比较活跃,同样乳酸菌也容易过量繁殖,易导致产品酸化。

2.1.3 发酵温度对辣白菜感官品质的影响

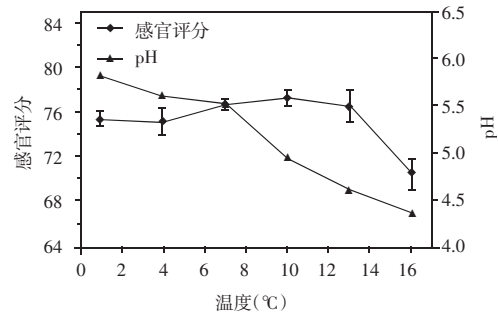


图3 发酵温度对辣白菜感官评分的影响
Fig. 3 Effect of fermentation temperature on sensory score of spicy cabbage

Park Seong-Eun等^[15]研究表明,温度对于微生物的生长和代谢都有着重要的影响,辣白菜多采用低温发酵,所以发酵剂必须具备在较低温度下代谢生长的能力。由图3可知,随发酵温度的升高,样品pH值不断降低,说明植物乳杆菌随温度升高代谢活跃,产酸量增加,酸的积累量增加,导致pH降低;感官评分在温度4~10℃范围内不断升高,在较低温度下发酵脆度较好,但乳酸菌及其他微生物代谢缓慢,发酵风味不足;当温度高于10℃时,乳酸菌的代谢量增加,酸的积累量同样增加,导致部分风味被酸味所掩盖。所以,当发酵温度为10℃时,能得到较好的感官评分。

2.1.4 发酵时间对辣白菜感官品质的影响

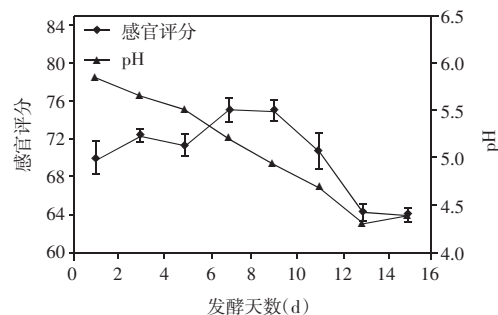


图4 发酵时间对辣白菜感官评分的影响
Fig. 4 Effect of fermentation time on sensory score of spicy cabbage

发酵时间反映出发酵进程中微生物代谢产物的累积过程,由图4可知,随着发酵的进行,酸的积累量不断增加,pH值不断降低,当发酵到13天时pH降至最低点,之后有所回升,表明该阶段乳酸菌受到抑制,耐酸性菌株代谢消耗体系中的酸性物质,导致pH有所回升;而在发酵初期,主要以好氧微生物代谢为主,该阶段微生物种类最多,所产生的风味物质也较为丰富;当体系中氧耗尽后,厌氧微生物(以乳酸菌为主)逐渐

占据优势,有机酸开始积累,当有机酸积累到一定量时开始对感官品质产生负面影响。

2.2 Box-Behnken 响应面试验

2.2.1 响应面设计及结果

以上述试验结果为基础,利用 Design-Expert 8.0.6 软件进行 Box-Behnken 响应面试验,研究发酵剂植物乳杆菌 L12 的接种量与发酵温度、腌制盐浓度和发酵时间 3 个因素间的交互作用,试验设计及试验结果见表 3。

表 3 辣白菜发酵工艺响应面试验设计及结果

Table 3 Design and results of response surface experiments for fermentation process of spicy cabbage

序号	接种量 (%)	发酵温度 (°C)	腌制盐浓度 (%)	发酵时间 (d)	pH	感官评分
1	2	10	4	7	5.05	76.21
2	2	13	4	9	4.7	70.27
3	1	10	3	7	5.25	73.2
4	2	10	4	7	4.59	76.73
5	2	10	3	5	4.74	71.47
6	3	7	4	7	5.67	69.62
7	2	10	4	7	5.20	76.27
8	2	10	5	5	5.12	69.87
9	3	10	3	7	4.85	72.43
10	2	10	5	9	5.1	68.73
11	3	13	4	7	4.59	75.11
12	2	10	4	7	4.61	75.87
13	1	10	4	5	5.09	71.47
14	1	10	4	9	4.98	69.65
15	1	13	4	7	5.15	73.87
16	1	7	4	7	5.55	67.73
17	1	10	5	7	5.12	69.65
18	3	10	4	5	5.39	70.73
19	2	7	4	9	5.78	70.27
20	2	13	4	5	4.81	75.86
21	2	13	5	7	5.31	71.48
22	2	7	4	5	5.66	67.07
23	2	7	5	7	5.82	65.73
24	3	10	5	7	5.12	71.47
25	3	10	4	9	4.72	72.73
26	2	10	3	9	4.69	71.24
27	2	13	3	7	4.75	72.62
28	2	7	3	7	5.66	67.47
29	2	10	4	7	5.05	76.87

2.2.2 方差结果分析

通过 Design-Expert 8.0.6 软件,对表 3 中数据结果进行响应面分析,并对试验结果进行回归拟合,结合感官评分与接种量(A)、发酵温度(B)、腌制盐浓度(C)和发酵时间(D)得到回归方程:

$$\text{感官评分} = 76.39 + 0.54A + 2.61B - 0.96C - 0.30D - 0.16AB + 0.65AC + 0.95AD + 0.15BC - 2.20BD - 0.23CD - 1.81A^2 - 3.13B^2 - 3.35C^2 - 2.85D^2$$

表 4 方差分析

Table 4 Analysis of variance

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	261.80	14	18.70	32.49	<0.0001	**
A 接种量 (%)	3.54	1	3.54	6.15	0.0264	*
B 发酵温度 (°C)	81.75	1	81.75	142.02	<0.0001	**

续 表

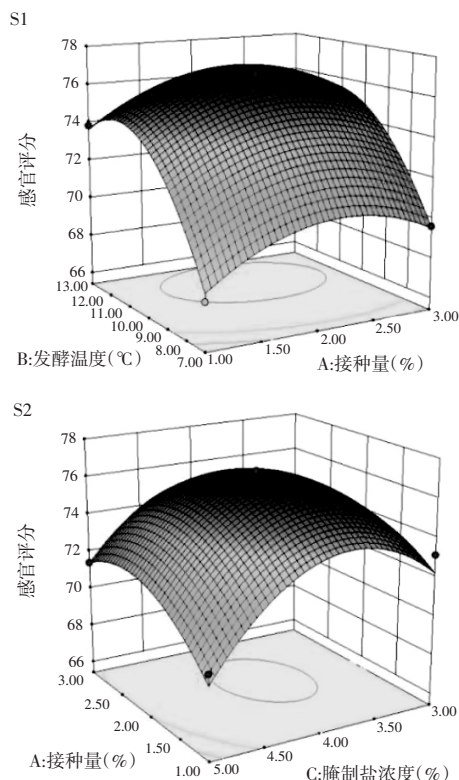
方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
C 腌制盐浓度 (%)	11.02	1	11.02	19.15	0.0006	**
D 发酵时间 (d)	1.07	1	1.07	1.86	0.1946	
AB	0.11	1	0.11	0.18	0.6749	
AC	1.68	1	1.68	2.91	0.1099	
AD	3.65	1	3.65	6.34	0.0246	*
BC	0.090	1	0.090	0.16	0.6985	
BD	19.32	1	19.32	33.56	<0.0001	**
CD	0.21	1	0.21	0.36	0.5583	
A ²	21.25	1	21.25	36.92	<0.0001	**
B ²	63.55	1	63.55	110.41	<0.0001	**
C ²	72.69	1	72.69	126.28	<0.0001	**
D ²	52.59	1	52.59	91.38	<0.0001	**
残差	8.06	14	0.58			
失拟项	7.39	10	0.74	4.46	0.0813	>0.05
纯误差	0.66	4	0.17			
总离差	269.86	28				

注:“*”($P < 0.05$)表示差异显著, $P > 0.05$ 表示差异不显著;“**”($P < 0.01$)表示差异极显著。

结合表 4 分析,模型项 $P < 0.01$,回归模型差异极显著;失拟项 $P = 0.0813$ ($P > 0.05$),失拟差异不显著,说明模型存在统计学意义; $R^2 = 0.9701$, $R_{Adj}^2 = 0.9403$ 说明该模型拟合度良好,适用于辣白菜的发酵条件预测和分析。响应面方差因素 A、AD、A²对感官评分的影响存在显著统计学意义($P < 0.01$),说明该发酵剂对发酵有显著性影响;但发酵剂与其他各因素间作用关系不能单纯通过线性关系表示,存在显著性的交互作用。

2.2.3 响应面分析

发酵剂接种量与发酵温度、腌制盐浓度及发酵时间之间的交互作用对感官评分的影响见图 5。



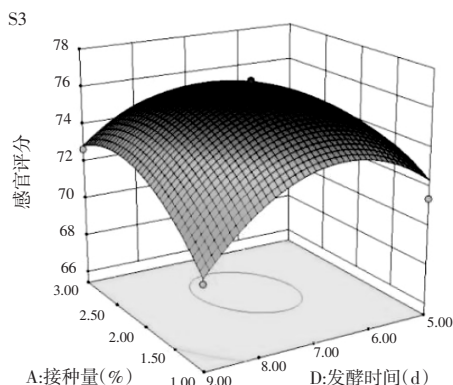


图 5 发酵剂接种量与 3 个因素的交互作用对感官评分影响的响应面图

Fig. 5 The response surface of interaction function for starter inoculation amount and three factors on the sensory score

图 5 中 S1、S2 和 S3 直观地反映出发酵剂的接种量与发酵温度、腌制盐浓度、发酵时间交互作用所形成的响应面坡度陡峭,交互作用明显,对所得产品的感官评分影响较大。由图 5 中 S1 可知,低温、低接种量在选定的时间范围内辣白菜的感官评分明显较低,低温不利于微生物代谢活动,增加初始阶段微生物数量能有效提高代谢产物的积累,但可能会因为发酵剂接种量过大而直接抑制其他微生物的生长,从而使感官评分降低;由图 5 中 S2 可知,高盐度、低接种量所得感官评分偏低,高盐度造成产品咸味过重,菜叶变软,同时导致包括发酵剂在内的菌株不能正常生长代谢,也不能产生足够的风味物质。胡会萍等^[16]的研究表明,虽然低盐度发酵所得产品更有利于健康,但低盐度对产品风味也会造成影响,同时会造成体系中微生物变化更快,增加产品质量的控制难度;由图 5 中 S3 可知,响应面坡度相对较小,但等高线跨度较大,说明接种量与发酵时间的交互作用显著,说明发酵剂能明显改变发酵时间,且更容易得到最佳的发酵时间节点,发酵时间过短,微生物代谢产物积累量较少,风味不足;发酵时间过长,代谢产物累积过量,从而使感官评分下降。

2.2.4 验证试验

通过 Design-Expert 8.0.6 软件计算,得到理论最佳接菌发酵工艺参数为:接种量 2.05%,发酵温度 11.48℃,腌制盐浓度 3.88%,发酵时间 6.54 d;由于试验受操作条件限制,选择最佳发酵工艺参数为:接种量 2%,发酵温度 11℃,腌制盐浓度 4%,发酵时间 7 d。参照此条件进行 3 组重复性试验,接种发酵样品 pH 值为 5.04,感官评分为 76.8±1.5,与预测结果相似。通过与自然发酵样品和 2 种市售样品相对比(见表 5),各样品亚硝酸盐含量均明显低于国家标准(20 mg/kg),但自然发酵样品亚硝酸盐含量稍高,说明植物乳杆菌在辣白菜的发酵过程中能起到降低亚硝

酸盐的作用;可溶性糖含量相差不大,但自然发酵样品可溶性糖相比于接种发酵含量偏低,可能是因为植物乳杆菌降解了辣白菜中的不可溶性纤维素,导致可溶性糖含量增加,但乳酸菌降解纤维素的能力较差,所以两者间差异并不显著;通过感官评分结果可知,接种发酵与自然发酵相比,接种发酵能有效提高辣白菜的咀嚼性,并对风味有一定改善作用;与市售产品的品质间有所差别,接种发酵样品酸味上更容易被消费者所接受,亚硝酸盐含量和可溶性糖含量相差不大,脆度更好,咀嚼性明显优于市售样品。

表 5 接种发酵样品与自然发酵样品、市售样品比较结果

Table 5 The comparison results of inoculated fermented, natural fermented and commercial samples

	感官评分	pH	亚硝酸盐 (mg/kg)	可溶性糖 (g/100 g)	TPA	
					脆度	咀嚼性
自然发酵	75.3±1.3	5.4	0.05	0.11±0.04	72.85±6.85	9.93±0.17
接种发酵	76.8±1.5	5.6	0.03	0.13±0.02	56.2±7.07	12.89±3.13
Q-1	77.6±0.6	4.02	0.02	0.14±0.01	40.3±8.42	5.83±2.02
H-1	72.6±1.8	5.86	0.01	0.14±0.02	44.2±1.08	9.93±2.03

3 结论

本研究利用植物乳杆菌 L12 作为发酵剂发酵辣白菜,通过接种量与发酵温度、腌制盐浓度、发酵时间 3 个因素对发酵体系微生物有较大影响的单因素研究,表明植物乳杆菌 L12 能改变发酵进程,有效地缩短发酵时间;利用响应面法进一步研究了接种量与其他 3 个因素间存在着明显的交互作用,发酵时间与发酵剂接种量间交互作用差异显著,发酵剂接种量对发酵时间能起到显著的效果,同时得到了植物乳杆菌 L12 作为发酵剂的最佳发酵条件为:接种量 2%,腌制盐浓度 4%,发酵温度 11℃,发酵时间 7 d;通过接种发酵与 2 种市售产品相对比,表明接种发酵的辣白菜咀嚼性明显优于市售产品;与自然发酵样品相比,辣白菜的咀嚼性显著提高,风味也明显得到改善。

虽然辣白菜发酵体系中微生物种类繁多,演变及代谢过程复杂,很难通过单一菌株诠释整个发酵过程,但从研究结果可以看出,植物乳杆菌 L12 作为辣白菜发酵剂,能干预自然发酵过程中微生物变化,从而缩短发酵时间,实现快速发酵,同时提高产品的感官品质,符合辣白菜发酵剂的使用要求。但发酵体系中微生物的复杂性和代谢产物的丰富性,还不能完全被单菌株发酵取代,后续以该试验为基础,挑选对风味改善更明显或具有较强功能性的菌株与之复配,进一步提高产品品质,研发更优质的复合型发酵剂。

参考文献:

[1] 马欢欢,吕欣然,白凤翎,等.传统中韩泡菜乳酸菌菌相分析与风味物质组成的比较[J].食品与发酵工业,2015,41(12):184-190.

(下转第 43 页)

由图12可知,产品的风味较好,感官分值最高,其次为组织形态,香气的感官评分偏低,说明产品在香气方面需要进一步改善。从雷达图整体来看,线性较为规则,为近似于圆形的不规则图形,进一步分析可以看出,评价员对于本产品的各感官指标的单一偏向性较小,说明产品整体的感官评价较好。

2.6 产品微生物检测结果分析

在低温保藏的情况下,分别在30天和45天对样品进行微生物检测。

细菌总数(CFU/g):在30天时细菌总数 $\leq 1 \times 10^3$,在45天时细菌总数 $\leq 1 \times 10^4$ 。

大肠杆菌(MPN/mL):在30天和45天时均未检出。

3 结论

本研究运用 Plackett-Burman 试验,结合 Box-Behnken 响应面试验对扇贝边酱的制作工艺进行分析优化,确定扇贝边酱制作最佳配方。所得扇贝边酱口感浓郁鲜美,可成为人们日常佐餐、调味的佳品。通过本试验,旨在为扇贝的深加工与综合利用提供参考依据。

参考文献:

[1]梁晓芳,牟建楼,姚利利,等.富含抗氧化因子扇贝沙司的研制[J].中国调味品,2018,43(9):78-82,86.

[2]王晓洁,刘新生,孙科深,等.栉孔扇贝营养物的提取与分析[J].食品科学,2007(11):271-275.

[3]牛瑞,崔金香.海洋生物酶解多肽的研究进展[J].化工科技市场,2010,33(3):29-30.

[4]李翔,邢增通,吴达洋,等.扇贝加工的研究进展[J].食品研究与开发,2013,34(10):123-125.

[5]宋荪阳,孙黎明,朱蓓薇,等.扇贝性腺多糖提取物的抗氧化及免疫调节活性[J].食品科学,2012(5):248-251.

[6]陈秋虹,莫建光,黄艳.天然牛磺酸的提取与应用[J].氨基酸和生物资源,2011(2):43-45,56.

[7]梁秋元.海湾扇贝裙边糖蛋白的抗肿瘤及免疫调节活性研究[D].保定:河北农业大学,2012.

[8]韦月平.扇贝边多肽提取物的制备及抗氧化性能[J].辽东学院学报(自然科学版),2015,22(2):86-87,98.

[9]魏玉西,殷邦忠,刘淇,等.扇贝裙边氨基酸营养粉的制备工艺研究[J].渔业科学进展,2009,30(3):112-116.

[10]赵刚,刘振华,辛明杨,等. Plackett-Burman 设计及响应面优化蓝莓中总黄酮的超声提取工艺[J].食品工业,2017,38(10):22-27.

[11]Zheng M, Detiennt N A, Barnes B W, et al. Tenderness and yields of poultry breast are influenced by phosphate type and concentration of marinade[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2001, 81(1): 82-87.

[12]王奋芬.仿生海洋食品加工工艺的研究[D].舟山:浙江海洋学院,2013.

(上接第26页)

[2]黄盛蓝,杜木英,周先容,等.发软泡菜品质及风味物质主成分分析[J].食品与机械,2017,33(12):36-44.

[3]李范洙,李铉军,朴惠淑,等.苹果梨添加量对辣白菜理化及感官品质的影响[J].中国调味品,2011,36(12):67-71.

[4]曹佳璐,张列兵.韩国泡菜乳酸菌研究进展[J].中国食品学报,2017,17(10):184-193.

[5]甘奕,李洪军,付杨,等.韩国泡菜品质特性[J].食品科学,2014,35(19):125-127.

[6]李丽,宗绪岩,张静,等.泡菜复合发酵剂培养条件优化[J].食品与机械,2013,29(4):182-184.

[7]王卫东,陈安徽,杨万根,等.人工发酵蔬菜的研究进展[J].食品科学,2010,31(21):413-416.

[8]Lee Moeun, Song Jung-Hee. Large-scale targeted metagenomics analysis of bacterial ecological changes in 88 kimchi samples during fermentation[J]. Food Microbiology, 2017, 66: 173-183.

[9]Park Jung-Min, Shin Jin-Ho. Effect of a *Leuconostoc mesenteroides* strain as a starter culture isolated from the kimchi[J]. Springer Netherlands, 2013, 22(6): 1729-1733.

[10]Kim Sang-Hyun, Kim Sung-Hyun. Kimchi probiotic bacteria contribute to reduced amounts of N-nitrosodimethylamine in lactic acid bacteria-fortified kimchi[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 84: 196-203.

[11]DB22/T 1758-2012,延边朝鲜族辣白菜[S].

[12]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].

[13]宋宁.超高压处理对软包装辣白菜的杀菌效果及品质影响[D].长春:吉林农业大学,2017.

[14]Jeong S H, Jung J Y, Lee S H, et al. Microbial succession and metabolite changes during fermentation of dongchimi, traditional Korean watery kimchi[J]. International Journal of Food Microbiology, 2013, 164(1): 46-53.

[15]Park Seong-Eun, Yoo Seon-A, Seo Seung-Ho, et al. GC-MS based metabolomics approach of kimchi for the understanding of *Lactobacillus plantarum* fermentation characteristics[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 68: 313-321.

[16]胡会萍,丁立孝,袁娜,等.低盐传统发酵食品的研究进展[J].中国调味品,2010,35(11):40-42,50.