

有机酸对泡菜亚硝酸盐和生物胺的抑制作用

肖付才¹, 刘凯¹, 陈凤仪², 李二虎^{2*}

(1. 许昌职业技术学院 园林与食品工程学院, 河南 许昌 461000; 2. 华中农业大学
食品科学技术学院, 武汉 430070)

摘要:从理化、微生物、亚硝酸盐、生物胺及感官等方面探究了有机酸对泡菜品质的影响。结果表明:与对照组相比,添加 1% 柠檬酸、1% 苹果酸和 1% 乳酸快速降低了泡菜的 pH 值,显著增加了总酸含量,显著降低了泡菜的亚硝酸盐和生物胺含量。添加有机酸组氨基酸态氮的平均含量为 0.13 g/kg,与对照组差异不显著。感官分析表明,1% 柠檬酸处理泡菜的整体可接受性评分最高。

关键词:泡菜;有机酸;亚硝酸盐;生物胺

中图分类号:TS255.54

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1000-9973.2020.10.017

文章编号:1000-9973(2020)10-0080-05

Inhibition of Nitrite and Biogenic Amines in Pickle by Organic Acids

XIAO Fu-cai¹, LIU Kai¹, CHEN Feng-yi², LI Er-hu^{2*}

(1. College of Landscape and Food Engineering, Xuchang Vocational Technical College,
Xuchang 461000, China; 2. College of Food Science and Technology,
Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: The effects of organic acids on the quality of pickle are explored from physical and chemical, microbiological, nitrite, biogenic amine and sensory aspects. The results show that compared with the control group, the addition of 1% citric acid, 1% malic acid and 1% lactic acid can rapidly reduce the pH value, significantly increase the total acid content, and significantly reduce the content of nitrite and biogenic amine of pickle. The average content of amino acid nitrogen in the adding organic acid group is 0.13 g/kg, which is not significantly different from the control group. The sensory analysis shows that the score of overall acceptability of pickle treated with 1% citric acid is the highest.

Key words: pickle; organic acid; nitrite; biogenic amine

泡菜是我国传统发酵食品之一,以其丰富的营养和独特的风味深受食客喜爱^[1]。不当的加工方式不仅导致泡菜营养品质降低,而且会造成亚硝酸盐和生物胺含量超标等食用安全问题^[2-4]。目前国内研究者为了降低泡菜中亚硝酸盐和生物胺等有害物质已做了大量的研究,如筛选降解亚硝酸盐的菌株^[5-7],优化发酵工艺^[8],添加生姜、大蒜、辣椒等辅料,添加维生素 C、多酚提取物、植酸等材料^[9,10]。外源添加有机酸可以降低泡菜发酵液的 pH 值,有效抑制硝酸盐还原菌的生长,促进亚硝酸盐的降解^[11-13]。但有关外源有机酸对泡菜发酵过程中生物胺生成量的影响,以及有机酸

能否同时抑制泡菜中亚硝酸盐和生物胺累积的相关报道不多。在保证泡菜食用品质的前提下,进一步降低泡菜中亚硝酸盐和生物胺的含量,研究通过添加柠檬酸、苹果酸及乳酸,从理化、微生物、安全及感官等方面探究了有机酸对泡菜品质的影响。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

大白菜、食盐:许昌胖东来超市;乳酸菌发酵粉(包含植物乳杆菌、嗜酸乳杆菌和鼠李糖乳杆菌):北京川秀科技有限公司;生物胺标准品:美国 Sigma 公司;柠

收稿日期:2020-05-20

* 通讯作者

基金项目:国家自然科学基金面上项目(31771947)

作者简介:肖付才(1979-),男,讲师,硕士,主要从事食品发酵生产与检测工作;

李二虎(1982-),男,副教授,博士,主要从事酿酒微生物研究。

柠檬酸、苹果酸、乳酸:上海阿拉丁生化科技股份有限公司;乙腈、甲醇:德国 Merck 公司;4-氟-3-硝基三氟甲苯(FNBT)、N,N-二异丙基乙胺(DIPEA):上海麦克林生化科技有限公司。

1.2 仪器与设备

e2695 高效液相色谱仪 美国 Waters 公司; Milli-Q A10 超纯水处理器 美国 Millipore 公司; Genius 3 微型旋涡混合仪 德国 IKA 公司;3-18K 高速冷冻离心机 德国 Sigma 公司;DCY-12B 可调式氮吹仪 上海泉岛科贸有限公司;pHS-3E 酸度计 上海雷磁仪器厂;UV-1700 紫外可见分光光度计 日本岛津公司;GWWF-50 恒温震荡水浴锅 常州市国旺仪器制造有限公司;SPX-250B III 恒温培养箱 天津市泰斯特仪器有限公司。

1.3 材料处理

泡菜制作的基本配方^[14]:大白菜 1.5 kg、凉开水 2 kg、食盐 60 g、发酵粉 1.5 g。

制作方法:白菜预处理→装坛→加食盐水(发酵粉/有机酸)→加水密封→发酵(32℃,5 d)→每天取样冷藏。

试验组:未添加有机酸(CK)、1%柠檬酸(CA)、1%苹果酸(MA)、1%乳酸(LA),添加比例为有机酸与白菜的质量比。

样品预处理:用洁净干燥的筷子将泡菜小心从坛中取出,用清水洗去表面残留的泡菜汁液,用滤纸擦干,称重记录,加适量蒸馏水,用搅拌机搅拌成糊状后再用手持式匀浆机匀浆 5 min 以上,6000 r/min、4℃离心 4 min,取上层清液即得到泡菜匀浆。

1.4 理化指标测定方法

1.4.1 pH 值的测定

参考 GB 5009.237—2016《食品 pH 值的测定》。

1.4.2 总酸的测定

参考 GB 5009.239—2016《食品酸度的测定》。

1.4.3 氨基酸态氮的测定

参考 GB 5009.235—2016《食品中氨基酸态氮的测定》。

1.4.4 亚硝酸盐的测定

参考 GB 5009.33—2016《食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定》。

1.4.5 生物胺的测定

参考 GB 5009.208—2016《食品中生物胺的测定》。

1.5 微生物指标测定方法

1.5.1 菌落总数的测定

参考 GB 4789.2—2016《食品微生物学检验 菌落

总数测定》。

1.5.2 乳酸菌数的测定

参考 GB 4789.35—2016《食品微生物学检验 乳酸菌检验》。

1.6 感官评价

对发酵 5 d 后所得泡菜进行感官评价,评价指标:颜色、酸味、鲜味、脆度、整体可接受性。邀请 10 名感官鉴别人员对泡菜 5 项指标分别打分(5 分制),其中 1=很差,3=中等,5=很好。

1.7 数据统计及图表绘制方法

使用 Microsoft Excel 2010 进行数据整理,使用 Origin 2019b 进行作图分析,SPSS 24.0 软件进行统计分析。利用 ANOVA、LSD 进行差异显著性检验和多重比较,“ $P<0.01$ ”的统计数值被认为是差异极显著,“ $P<0.05$ ”的统计数值被认为是差异显著。所有数据都是 3 次测试的平均值,数据统一采用平均值±标准偏差(Mean±SD)形式表示。

2 结果与分析

2.1 泡菜发酵过程中 pH 值与总酸含量变化

对添加不同有机酸的泡菜每隔 1 d 测定 pH 值和总酸含量,结果见图 1 和图 2。

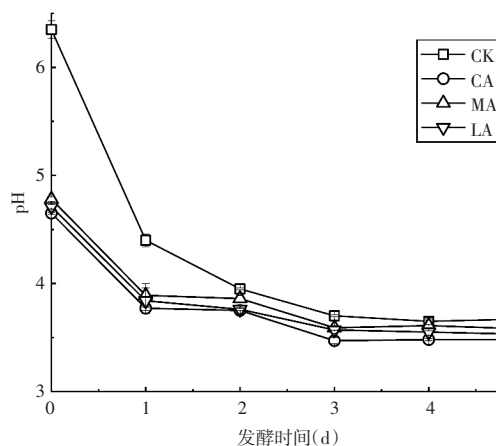


图 1 泡菜发酵过程中 pH 值的变化

Fig. 1 Changes in pH values of pickle during fermentation

注:CK 表示未添加有机酸;CA 表示添加 1% 柠檬酸;MA 表示添加 1% 苹果酸;LA 表示添加 1% 乳酸;下同。

由图 1 可知,4 组泡菜的 pH 值在发酵过程中不断下降。对照组 pH 值从初始的 6.35 下降到 3.95,添加 1% 柠檬酸、1% 苹果酸以及 1% 乳酸组的 pH 值分别从 5.95、5.88、5.91 降至 3.65、3.66、3.59;发酵中后期 pH 值缓慢下降直至趋于稳定,发酵第 5 天,4 组泡菜的 pH 值大小为 1% 柠檬酸组<1% 乳酸组<1% 苹果酸组<对照组,且各组之间差异不显著。

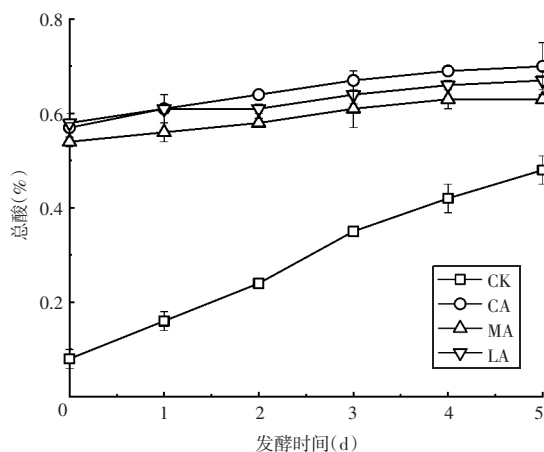


图 2 泡菜发酵过程中总酸含量的变化
Fig. 2 Changes in total acid content of pickle during fermentation

由图 2 可知,随着发酵的进行,4 组泡菜总酸含量均呈上升趋势。与对照组相比,发酵前添加 1% 柠檬酸、1% 苹果酸和 1% 乳酸显著增加了发酵各阶段泡菜中的总酸含量($P < 0.05$)。发酵过程中,对照组总酸的增加速率为 $0.08\%/d$,显著高于有机酸处理组。

2.2 泡菜氨基酸态氮在发酵过程中的变化

添加有机酸对泡菜中氨基酸态氮含量变化的影响结果见图 3。

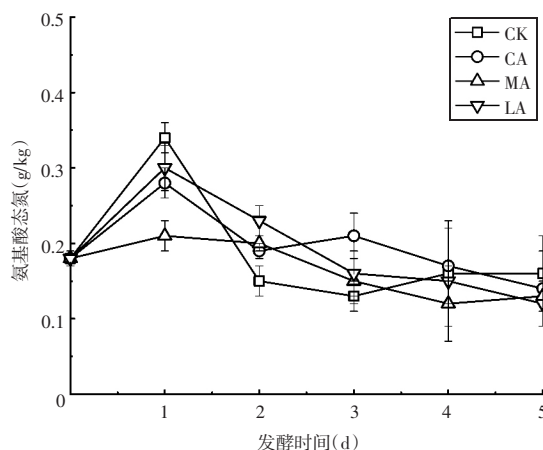


图 3 泡菜发酵过程中氨基酸态氮含量的变化
Fig. 3 Changes in amino acid nitrogen content of pickle during fermentation

4 组泡菜中氨基酸态氮含量的变化趋势基本一致,均在发酵 1 d 后增加至最大值,随后不断下降直至趋于稳定。对照组泡菜中氨基酸态氮含量的最大值为 0.34 g/kg ,显著高于其他 3 组($P < 0.05$)。随着发酵的不断进行,4 组泡菜中氨基酸态氮含量的差异逐渐缩小,发酵第 5 天时对照组氨基酸态氮含量降至 0.16 g/kg ,添加 1% 柠檬酸、1% 苹果酸以及 1% 乳酸组泡菜的氨基酸态氮含量分别为 0.14 、 0.13 、 0.12 g/kg ,与

对照组无显著差异($P > 0.05$)。

2.3 泡菜菌落总数和乳酸菌数在发酵过程中的变化

添加有机酸对泡菜发酵液菌落总数的影响见图 4。

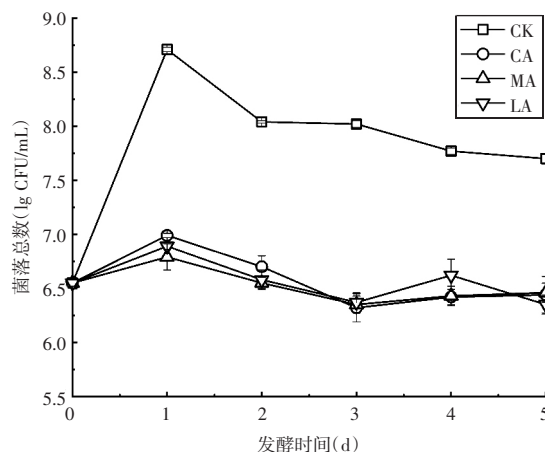


图 4 泡菜发酵过程中菌落总数的变化
Fig. 4 Changes in total number of colonies of pickle during fermentation

对照组菌落总数在发酵 1 d 内快速增加,由初始的 6.5 lg CFU/mL 增至 8.7 lg CFU/mL ,随后缓慢下降至稳定,发酵 5 d 后降至 7.7 lg CFU/mL 。添加 1% 柠檬酸、1% 苹果酸以及 1% 乳酸组的菌落总数也呈现出先增后降的变化趋势,但菌落总数的峰值和第 5 天的值均显著低于对照组($P < 0.05$)。

添加有机酸对泡菜发酵液乳酸菌数的影响见图 5。

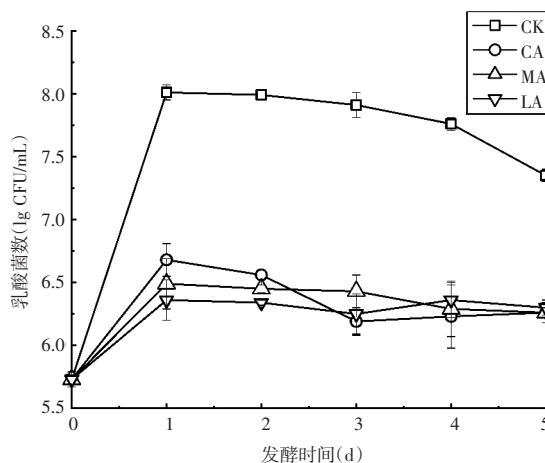


图 5 泡菜发酵过程中乳酸菌数的变化
Fig. 5 Changes in lactic acid bacteria number of pickle during fermentation

4 组泡菜发酵液乳酸菌数的变化趋势与菌落总数基本一致,均在发酵第 1 天达到峰值,随后呈不断下降(对照组)或基本保持不变(添加有机酸组)。添加有机酸组的乳酸菌数在整个发酵过程中均显著低于对照组($P < 0.05$)。发酵第 5 天,对照组的乳酸菌数比菌落总数低,说明发酵液中还含有一定量的其他菌,而添加有机酸的泡菜发酵液中乳酸菌数与总菌落数相差很

小,说明发酵液中其他菌的量很少或者基本没有。

2.4 泡菜发酵过程中亚硝酸盐含量的变化

添加有机酸对泡菜中亚硝酸盐含量变化的影响结果见图6。

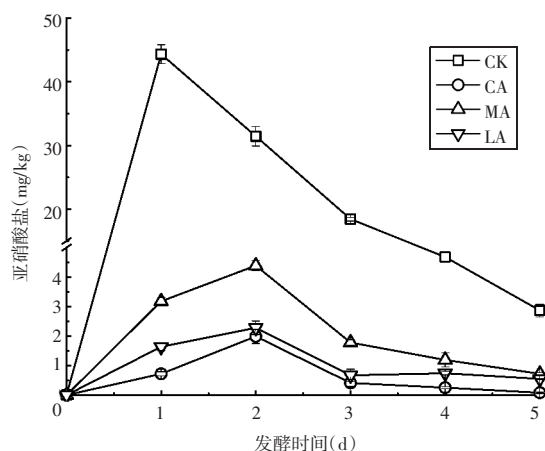


图6 泡菜发酵过程中亚硝酸盐含量的变化

Fig. 6 Changes in nitrite content of pickle during fermentation

对照组泡菜的亚硝酸盐含量在发酵第1天迅速上升并达到峰值44.34 mg/kg,随后不断下降。添加1%柠檬酸、1%苹果酸以及1%乳酸组泡菜中亚硝酸盐含量的变化比对照组平缓得多,均在发酵第2天达到最大值,分别为1.99,4.39,2.28 mg/kg,均显著低于对照组($P<0.05$)。发酵5 d后,添加1%苹果酸和1%乳酸组的亚硝酸盐残留量无显著差异($P>0.05$),添加1%柠檬酸组亚硝酸盐含量最低,相比于对照组降低了97.21%。

2.5 泡菜发酵过程中生物胺含量的变化

1%柠檬酸、1%苹果酸及1%乳酸对泡菜发酵过程中6种生物胺和总生物胺含量的影响见表1。

表1 添加有机酸对泡菜生物胺含量的影响
Table 1 The effect of organic acid addition on biogenic amine content of pickle

生物胺 (mg/kg)	时间 (d)	组别			
		CK	CA	MA	LA
组胺	0	—	—	—	—
	1	14.00±0.27 ^{Ab}	7.35±0.40 ^{Cc}	9.50±0.40 ^{Bb}	5.77±0.42 ^{Dc}
	3	18.89±1.32 ^{Aa}	9.57±0.17 ^{Db}	13.85±1.00 ^{Ca}	15.73±0.26 ^{Ba}
	5	19.75±0.66 ^{Aa}	10.52±0.54 ^{Ca}	13.18±2.09 ^{Ba}	11.88±0.50 ^{BCb}
	5	—	—	—	—
色胺	0	—	—	—	—
	1	11.58±2.12 ^{Ab}	10.48±0.71 ^{Ab}	10.38±1.02 ^{Ac}	10.38±0.77 ^{Ab}
	3	20.27±2.08 ^{Aa}	18.62±0.42 ^{Aa}	18.12±0.46 ^{Ab}	18.66±0.43 ^{Aa}
	5	20.92±1.09 ^{Aa}	19.20±0.71 ^{Aa}	20.46±1.45 ^{Aa}	19.28±1.21 ^{Aa}
	5	—	—	—	—
β-苯乙胺	0	—	—	—	—
	1	9.65±1.29 ^{Ac}	6.25±1.02 ^{Bc}	8.44±0.60 ^{Ac}	7.72±1.28 ^{ABb}
	3	25.82±0.54 ^{Ab}	22.57±1.32 ^{Bb}	24.79±0.23 ^{Ab}	25.73±0.71 ^{Aa}
	5	32.20±0.34 ^{Aa}	26.76±1.40 ^{Ba}	27.18±1.15 ^{Ba}	28.19±1.56 ^{Ba}
	5	—	—	—	—

续表

生物胺 (mg/kg)	时间 (d)	组别			
		CK	CA	MA	LA
腐胺	0	5.51±0.18 ^{Ad}	5.38±0.23 ^{Ab}	5.39±0.10 ^{Ab}	5.43±0.23 ^{Ac}
	1	13.49±0.57 ^{Ac}	11.60±0.35 ^{Ba}	12.06±0.20 ^{Ba}	11.81±0.33 ^{Bb}
	3	14.82±0.92 ^{Ab}	11.34±0.15 ^{Ba}	12.54±0.98 ^{Ba}	11.27±0.22 ^{Ba}
	5	19.84±0.54 ^{Aa}	11.39±0.53 ^{Ca}	12.32±0.50 ^{Ba}	11.97±0.01 ^{BCa}
	5	—	—	—	—
尸胺	0	—	—	—	—
	1	16.57±0.43 ^c	—	—	—
	3	21.11±1.43 ^b	—	—	—
	5	24.50±0.72 ^a	—	—	—
	5	—	—	—	—
亚精胺	0	10.91±1.23 ^{Ac}	10.78±0.53 ^{Ac}	10.36±1.14 ^{Ab}	10.72±1.35 ^{Ab}
	1	15.61±1.00 ^{Ab}	15.48±0.42 ^{Aa}	15.08±0.52 ^{Aa}	15.33±0.95 ^{Aa}
	3	16.68±0.67 ^{Ab}	14.68±0.09 ^{Bb}	14.47±0.39 ^{Ba}	14.68±0.80 ^{Ba}
	5	21.20±1.17 ^{Aa}	14.54±0.27 ^{Bb}	15.26±0.02 ^{Ba}	15.48±0.14 ^{Ba}
	5	—	—	—	—
总生物胺	0	16.42±1.08 ^{Ad}	16.15±0.62 ^{Ad}	15.76±1.10 ^{Ad}	16.15±1.46 ^{Ac}
	1	80.91±3.33 ^{Ac}	51.17±1.20 ^{Cc}	55.46±2.22 ^{Bc}	51.01±1.50 ^{Cb}
	3	117.59±1.61 ^{Ab}	76.79±1.81 ^{Cb}	83.77±1.84 ^{Bb}	86.08±0.99 ^{Ba}
	5	138.41±3.07 ^{Aa}	82.41±1.89 ^{Ca}	88.40±2.44 ^{Ba}	86.79±3.10 ^{BCa}
	5	—	—	—	—

注:同行大写字母不同表示差异显著($P<0.05$);同列小写字母不同表示差异显著($P<0.05$);“—”表示未检出。

随着发酵的进行,泡菜中生物胺总量逐渐增加。发酵第5天时,对照组泡菜中生物胺总量达到138.41 mg/kg,显著高于其他3组($P<0.05$)。添加1%柠檬酸、1%苹果酸及1%乳酸组泡菜中生物胺总量与对照组相比分别降低了40.46%、36.13%和37.29%。

由表1可知,4组泡菜中组胺含量随发酵的进行不断增加,发酵第5天,对照组泡菜中组胺含量显著高于其他3组($P<0.05$)。添加1%柠檬酸、1%苹果酸以及1%乳酸组泡菜中组胺含量相比于对照组分别降低了46.73%、33.27%和39.85%。泡菜中色胺含量在发酵前3 d显著增多($P<0.05$),随后变化不显著($P>0.05$),发酵结束时,4组泡菜中色胺含量在20.00 mg/kg左右,且无显著差异($P>0.05$)。除添加1%乳酸组泡菜以外,其他3组泡菜中β-苯乙胺含量在整个发酵过程中显著增加($P<0.05$),发酵结束时,添加1%柠檬酸、1%苹果酸及1%乳酸组泡菜中β-苯乙胺含量显著低于对照组($P<0.05$),且这3组的β-苯乙胺含量差异不显著($P>0.05$)。泡菜原材料中检测出腐胺和亚精胺两种生物胺,对照组泡菜中腐胺含量在整个发酵阶段显著上升($P<0.05$),添加有机酸组腐胺含量则没有显著的变化($P>0.05$),发酵第5天,1%柠檬酸对腐胺的抑制作用最强,使其含量相比于对照组降低了42.59%。亚精胺的变化趋势与腐胺相似,即添加3种有机酸均减小了亚精胺含量的增长幅度,因而发酵结束时,添加1%柠檬酸、1%苹果酸及1%乳酸组的亚精胺含量均显著低于对照组($P<0.05$)。泡菜的整个发酵过程中,仅在对照组的检测到尸胺,且其含量随发酵时间的延长而显著增多($P<0.05$)。

2.6 有机酸对泡菜感官品质的影响

表 2 有机酸对泡菜感官品质的影响

Table 2 The effect of organic acids
on sensory quality of pickle

评价指标	得分			
	CK	CA	MA	LA
颜色	4.00±0.87 ^B	4.78±0.44 ^A	4.44±0.73 ^{AB}	4.67±0.50 ^A
酸味	4.22±0.83 ^B	5.00±0.00 ^A	4.78±0.44 ^{AB}	4.78±0.67 ^{AB}
鲜味	4.22±0.67 ^A	4.33±0.50 ^A	4.22±0.83 ^A	4.44±0.73 ^A
脆度	3.56±1.13 ^B	4.78±0.44 ^A	4.67±0.71 ^A	4.78±0.67 ^A
整体可接受性	3.89±0.60 ^C	4.89±0.33 ^A	4.11±0.78 ^{BC}	4.56±0.73 ^{AB}

注:同表 1。

由表 2 可知,添加有机酸后泡菜产品的整体感官品质优于对照组,其中添加 1% 柠檬酸组泡菜的整体可接收性得分最高,为 4.89 分。在颜色、酸味及脆度方面,添加 1% 柠檬酸、1% 苹果酸及 1% 乳酸组泡菜得分均显著高于对照组($P < 0.05$),且 3 组之间得分无显著差异($P > 0.05$),其中添加 1% 柠檬酸组泡菜的酸味得分达到感官评价的最高分 5 分。在鲜味方面,添加 1% 柠檬酸和 1% 乳酸组得分高于其他两组,但差别不显著($P > 0.05$)。

3 结论

添加 1% 柠檬酸、1% 苹果酸及 1% 乳酸降低了发酵泡菜的 pH 值,增加了总酸含量,缩短了发酵时间,抑制了泡菜发酵过程中的菌落总数和乳酸菌数,显著降低了泡菜中亚硝酸盐及生物胺的含量。综合泡菜产品的感官品质,整体可接受性得分顺序为 1% 柠檬酸组 > 1% 乳酸组 > 1% 苹果酸组 > 对照组。

参考文献:

- [1] 刘秉坤,吕嘉彬,晁倩文,等.连续自然发酵泡菜中菌群显微表征与抗氧化活性的研究[J].中国调味品,2020,45(1):13-19.

(上接第 62 页)

参考文献:

- [1] 侯成立,赵梦雅,吴立国,等.过热蒸汽对调理羊肉减菌效果的影响[J].食品科学技术学报,2018,36(4):76-81.
[2] 周强,刘蒙佳,张宝善,等.肉桂精油-壳聚糖涂膜协同气调包装对冷鲜肉品质的影响[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2019,45(6):723-735.
[3] 周琳,杨祯妮,张敏,等.肉类全产业链损耗及可食用系数研究[J].中国农业科学,2019,52(21):3934-3942.
[4] 孟金明,樊爱萍,吴依婕,等.木姜子精油/壳聚糖/乳清蛋白复合膜对枇杷品质的影响[J].食品研究与开发,2019,40(15):19-24.
[5] 马迪,王林.正交试验优化复合调味品木姜子油泼辣椒酱工艺研究[J].中国调味品,2019,44(12):132-135.
[6] 张晓莉,祝瑞雪,赵志峰,等.木姜子油的加工工艺研究[J].食品与发酵科技,2013,49(3):64-67.
[7] 李锐,任彬,徐长友,等.不同保鲜方式对牡蛎品质及烹饪效果影响研究[J].食品工业,2018,39(10):75-78.
[8] 曹辰辰,冯美琴,孙健,等.功能性发酵剂对发酵香肠氧化稳定性及挥发性风味物质的影响[J].食品科学,2019,40(20):106-113.

- [2] 唐小曼,唐焱,张其圣,等.传统发酵蔬菜中生物胺的研究进展[J].食品工业科技,2019,40(15):345-348.
[3] 张二康,王修俊,王纪辉,等.发酵萝卜中亚硝酸盐含量影响因素分析[J].中国调味品,2019,44(9):33-38.
[4] 韩露,朱薇,林永健,等.泡菜中亚硝酸盐控制方法的研究[J].中国调味品,2019,44(1):198-200.
[5] Wang Z, Shao Y. Effects of microbial diversity on nitrite concentration in paocai, a naturally fermented cabbage product from China[J]. Food Microbiology, 2018, 72: 185-192.
[6] 苏容容,熊蝶,袁岚玉,等.从泡菜中分离的植物乳杆菌 P51 降解亚硝酸盐影响因素的动态研究[J].中国调味品,2020,45(3):27-32.
[7] Yan P M, Xue W T, Tan S S, et al. Effect of inoculating lactic acid bacteria starter cultures on the nitrite concentration of fermenting Chinese paocai[J]. Food Control, 2008, 19(1): 50-55.
[8] 周强,刘蒙佳,谭属琼,等.处理条件对大白菜发酵过程中总酸及亚硝酸盐含量的影响[J].中国调味品,2019,44(8):44-48.
[9] 王晓婧.多酚提取物与维生素 C 对泡菜发酵的影响[J].中国调味品,2019,44(10):105-107.
[10] 张翔宇,潘伟杰,金尚卉.抗氧化维生素消减亚硝酸盐作用的比较[J].中国调味品,2019,44(6):41-43.
[11] 徐柯,成林林,袁美,等.柠檬酸对泡菜中硝酸盐、亚硝酸盐及其风味物质的影响[J].中国酿造,2019,38(10):77-83.
[12] 商景天,王修俊,王继辉.有机酸对泡菜中亚硝酸盐的降解作用[J].食品与机械,2018,34(3):73-78.
[13] 刘晓英.泡菜中有机酸对亚硝酸盐降解作用及机理的初步研究[D].泰安:山东农业大学,2013.
[14] 蔡丽清.降低酸萝卜中亚硝酸盐含量的方法研究[D].南京:南京农业大学,2009.

- [9] 孙迪.不同脂肪对肌原纤维蛋白乳液液稳定性及肉糜凝胶特性的影响[D].锦州:渤海大学,2019.
[10] 陈雪,罗欣,梁荣蓉,等.不同冰温条件对长期贮藏牛肉品质和货架期的影响[J].农业工程学报,2019,35(23):305-311.
[11] 杨玉莹,张一敏,毛衍伟,等.不同部位牦牛肉肌纤维特性与肉品质差异[J].食品科学,2019,40(21):72-77.
[12] 李锐,张海玲,李旭艳,等.三种发酵方法制备远东拟沙丁鱼鱼露中鲜味物质的比较[J].食品与发酵工业,2019,45(22):143-149.
[13] 宋范范,张康逸,杨妍,等.青麦仁预制菜肴加工工艺的研究[J].保鲜与加工,2020,20(1):155-159.
[14] 靳明凯,杨文平,赵芳芳,等.黄玉米粗类黄酮在牛肉丸保鲜中的应用[J].食品工业科技,2019,40(23):278-282.
[15] 牛建章,闫忠心,靳义超,等.蛋白质氧化对牦牛肉品质的影响[J].青海畜牧兽医杂志,2019,49(6):11-14,31.
[16] 郭兆斌,余群力,陈骋,等.宰后牦牛肉水分分布变化与持水性能关系研究[J].农业机械学报,2019,50(10):343-351.
[17] 王琳琳,陈炼红,韩玲,等.茶多酚对宰后牦牛肉线粒体细胞凋亡和肌肉嫩度的影响[J].农业机械学报,2019,50(10):352-359,366.