

王艳, 胡跃, 方红美, 等. 白萝卜泡菜加工工艺的研究 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(11): 185–191. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020100225

WANG Yan, HU Yue, FANG Hongmei, et al. Study on Processing Technology of Pickled Radish[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(11): 185–191. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020100225

· 工艺技术 ·

白萝卜泡菜加工工艺的研究

王 艳, 胡 跃, 方红美, 周存六*

(合肥工业大学食品与生物工程学院, 安徽合肥 230009)

摘要:研究食盐、大豆低聚糖和紫苏-豆芽汁的添加量对白萝卜泡菜发酵过程中的 pH、亚硝酸盐含量和感官品质等影响。在此基础上, 研究乳酸菌和酵母菌的不同比例对泡菜母水乳酸菌总数和酵母菌总数的动态变化、pH 以及白萝卜泡菜的亚硝酸盐含量和感官品质等影响。结果表明: 4% 食盐、5% 大豆低聚糖和 4% 紫苏-豆芽汁综合效果最好, 发酵 7 d 后白萝卜泡菜的 pH 为 3.36, 亚硝酸盐含量为 1.5 mg/kg, 综合感官评分为 78.7。相对于自然发酵, 添加 0.2 g 乳酸菌粉和 0.2 g 酵母菌粉, 发酵 7 d 后白萝卜泡菜的乳酸菌和酵母菌浓度分别达到 $10^{8.05}$ CFU/mL 和 $10^{6.68}$ CFU/mL, pH 为 3.27, 亚硝酸盐含量为 1.1 mg/kg, 综合感官评分为 79.1。研究结果为低钠盐、低亚硝酸盐白萝卜泡菜加工工艺的改进拓展了思路。

关键词:白萝卜泡菜, 紫苏-豆芽汁, 亚硝酸盐, 发酵, pH

中图分类号: TS255.54

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2021)11-0185-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020100225

Study on Processing Technology of Pickled Radish

WANG Yan, HU Yue, FANG Hongmei, ZHOU Cunliu*

(School of Food and Biological Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: The work aimed at the effects of salt, soybean oligosaccharide and perilla-bean sprout juice on pH, nitrite content and sensory quality during fermenting. On this basis, the effects of different proportion of lactic acid bacteria and yeast on the dynamic changes in the total number of lactic acid bacteria and the total number of yeast of fermentation broth, pH, nitrite content and sensory quality of pickled radish were studied. The results showed that the comprehensive effect of 4% salt, 5% soybean polysaccharide and 4% perilla-bean sprout juice was the best, the pH of pickled radish was 3.36, the content of nitrite was 1.5 mg/kg, and the sensory score was 78.7. Compared with natural fermentation, adding 0.2 g lactic acid bacteria powder and 0.2 g yeast powder for seven days, the lactic acid bacteria and yeast concentration of pickled radish reached $10^{8.05}$ CFU/mL and $10^{6.68}$ CFU/mL, respectively, the pH was 3.27, the nitrite content was 1.1 mg/kg, and the comprehensive sensory score was 79.1. The results of this study expanded the path to improve the processing technology of pickled radish with low sodium salt and low nitrite.

Key words: pickled radish; perilla-bean sprout juice; nitrite; fermentation; pH

泡菜是蔬菜在食盐溶液下添加适量的香辛料、泡椒等辅料, 经乳酸菌和酵母菌等微生物发酵而成的发酵类蔬菜食品, 有着悠久的历史文化和传承底蕴。其中, 比较著名的有四川泡菜和韩国泡菜^[1-2]。泡菜含有丰富的维生素及钙、铁、磷等矿物质, 同时具有清爽、脆嫩的独特口感^[3-4], 深受消费者喜爱。此外, 泡菜中的乳酸菌还具有刺激免疫细胞产生抗体, 抑制肠道中的致病菌等作用^[5]。

然而, 目前泡菜生产仍存在诸多问题, 主要体现在以下方面: 多采用自然风干和传统发酵等加工方式, 存在生产规模小、卫生条件差, 以及营养损失高、产品出品率低、货架期短等缺点^[6]; 部分工厂采用人工接种单一菌种, 但接种单一乳酸菌发酵的泡菜风味不及自然发酵醇厚^[7]; 目前, 国内市场销售酱腌萝卜中的亚硝酸盐含量普遍高于 9.5 mg/kg, 以及泡菜制作过程食盐(主要指氯化钠)添加量通常高达 13~

收稿日期: 2020-10-29

基金项目: 安徽省重点研究与开发计划项目 (201904a06020045)。

作者简介: 王艳 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品工程, E-mail: 497191263@qq.com。

* 通信作者: 周存六 (1970-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品化学, E-mail: zhoul4@hfut.edu.cn。

15 g/100 g^[8-11]; 加工工艺缺乏创新, 产品口味单一, 缺乏市场竞争力^[10]。因此, 对泡菜加工工艺加以改进, 降低营养成分损失和亚硝酸盐含量, 提高产品食用安全, 非常有必要。

紫苏为我国卫生部首批颁布的药食两用植物之一^[11]。紫苏叶中的紫苏酮、紫苏醛等物质具有抑制有害菌的繁殖与生长等性质^[12-14]; 豆芽也称芽苗菜, 富含的优质蛋白、多肽、氨基酸和单糖等可为乳酸菌提供充足的营养物质^[15-17]; 大豆低聚糖通过增殖益生菌来调节菌群, 是一种重要的肠道调节物质, 并具有良好的可耐受酸性且不易生霉等特性, 在食品加工中的应用受到广泛的关注^[18]。理论上, 在泡菜加工中合理使用紫苏、豆芽和大豆低聚糖等, 有利于泡菜的品质与安全的提高。然而, 目前关于上述物质对泡菜品质与安全影响的研究报道较少。

复合发酵是利用包括酵母菌、乳酸菌和醋酸菌等多菌种协同发酵的过程, 比单一发酵更有利于泡菜风味与品质的形成^[19]。但关于优良乳酸菌种的筛选和不同乳酸菌的配比对白萝卜泡菜的品质与亚硝酸盐的影响有待研究^[20]。

本实验尝试将紫苏、豆芽和大豆低聚糖有机结合并运用于白萝卜泡菜的加工中。通过对泡菜母水的 pH、白萝卜泡菜的亚硝酸盐含量和感官品质的分析, 探究紫苏、豆芽和大豆低聚糖对白萝卜泡菜品质与亚硝酸盐的影响; 同时, 在添加合适量的紫苏、豆芽和大豆低聚糖的条件下, 进一步研究乳酸菌与酵母菌协同发酵对泡菜母水乳酸菌和酵母菌总数的动态变化、pH 以及白萝卜泡菜的亚硝酸盐含量和感官品质的影响, 探究乳酸菌与酵母菌协同发酵对白萝卜泡菜品质与亚硝酸盐的影响。本研究结果为低钠盐、低亚硝酸盐白萝卜泡菜加工提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

白萝卜、豆芽、食盐、白醋、白砂糖、酱腌小米辣、姜、蒜 合肥家乐福超市; 紫苏叶 尚客友泰式美食工厂; 大豆低聚糖 浙江一诺生物科技; 盐酸、对氨基苯磺酸、盐酸萘乙二胺、亚硝酸钠、氯化汞、MRS 固体培养基、NA 培养基、马铃薯葡萄糖琼脂、孟加拉红琼脂 国药集团化学试剂有限公司; 乳酸菌、酵母菌 川秀北京专卖店。

WTC10002 型电子天平 杭州万特衡仪器有限公司; DHG-9240A 型鼓风干燥箱 常州金坛良友仪器有限公司; HH-S 型恒温水浴锅 江苏金坛市金城国胜实验仪器厂; FE20 PH 计 安徽爱珂智能仪表股份有限公司; INESA-721G 可见分光光度计 上海佑科科学有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 工艺流程

挑选→清洗→切分→烘干→入罐→发酵→产品
↑
制备泡菜母水

挑选: 挑选长度、直径大致相同和没有虫蛀、霉变的新鲜白萝卜作为实验原料。

清洗: 清水冲洗 2~3 次, 以除去白萝卜表皮上的泥土、微生物以及残存的化学农药。

切分: 切成 6 cm×1 cm×1 cm 细条状。

烘干: 将其放入温度 60 ℃ 的鼓风干燥箱烘干 90 min。

制备泡菜母水: 将 20 g 白醋、6 g 白砂糖、5 g 酱腌小米辣、4 g 姜、10 g 蒜与 200 g 蒸馏水充分混合, 得到泡菜母水。

入罐: 将 120 g 烘干白萝卜条和 200 g 泡菜母水混合后装入到容积为 500 mL 的发酵罐中, 然后加入食盐、大豆低聚糖或紫苏-豆芽汁, 搅拌混合均匀, 且使固体物完全浸没。

发酵: 用空气过滤器对上述发酵罐灭菌, 然后再加入不同比例的酵母菌粉和乳酸菌粉进行接种, 压盖密封。

产品: 发酵成熟后, 进行真空包装。

1.2.2 食盐、大豆低聚糖和紫苏-豆芽汁对白萝卜泡菜品质与亚硝酸盐含量的影响

1.2.2.1 食盐添加量对白萝卜泡菜品质与亚硝酸盐含量的影响 在常温储存下的 7 d 内, 考察 2%、4%、6%、8%、10%(以白萝卜泡菜总质量计, 下同) 食盐对泡菜母水的 pH、白萝卜泡菜的亚硝酸盐含量和感官品质的影响。

1.2.2.2 大豆低聚糖添加量对白萝卜泡菜品质与亚硝酸盐含量的影响 在常温储存下的 7 d 内和 4% 的食盐添加量基础上, 考察 0%、3%、4%、5%、6%^[20-21](以白萝卜泡菜总质量计, 下同) 的大豆低聚糖对泡菜母水的 pH、白萝卜泡菜的亚硝酸盐含量和感官品质的影响。

1.2.2.3 紫苏-豆芽汁添加量对白萝卜泡菜品质与亚硝酸盐含量的影响 在常温储存下的 7 d 内和 4% 食盐添加量的基础上, 考察 0%、2%、4%、6%、8%^[14,20-21] 的紫苏-豆芽汁(为紫苏汁、豆芽汁和蒸馏水按重量比 1:1:2 的混合液)对泡菜母水的 pH、白萝卜泡菜的亚硝酸盐含量和感官品质的影响。

1.2.3 乳酸菌和酵母菌的不同比例对白萝卜泡菜品质与亚硝酸盐含量的影响 在上述实验以及正交实验(结果未列出)的基础上, 考察在 4% 食盐、5% 大豆低聚糖和 4% 紫苏-豆芽汁的条件下, 不同比例的乳酸菌(为植物乳杆菌以及麦芽糊精混合粉末)和酵母菌(如表 1 所示)对泡菜母水的乳酸菌总数、酵母菌总数的动态变化和 pH、对白萝卜泡菜的亚硝酸盐含量和感官品质的影响。

1.2.4 指标测定

1.2.4.1 亚硝酸盐的测定 参考王凡^[22]的测定方法。

1.2.4.2 pH 的测定 用 pH 计测定白萝卜泡菜的发酵液的 pH, 每隔 24 h 记录一次, 共测 7 次。

表 1 发酵实验设计

Table 1 Experiment design of fermentation

组号	对照组	实验组1	实验组2	实验组3
酵母菌粉(g)	0	0.2	0.2	0.2
乳酸菌粉(g)	0	0.1	0.2	0.4

1.2.4.3 乳酸菌数 参照 GB 4789.35-2016 食品微生物学检验 乳酸菌检验^[23]。

1.2.4.4 酵母菌数 参照 GB 4789.15-2016 食品微生物学检验 霉菌和酵母计数^[24]。

1.2.4.5 感官评定 参照金龙^[20]关于萝卜干的感官评价标(如表 2 所示)。由评价小组(10人)从滋味、色泽、气味、泡菜母水等方面对不同条件制备的白萝卜泡菜进行感官评分, 满分为 100 分, 得分中去掉一个最高分和一个最低分, 取剩余 8 个得分的平均值作为产品的最终得分。

表 2 感官评分标准(分)
Table 2 Standards of sensory evaluation (score)

项目	评定标准
滋味(25)	味道鲜美, 质地嫩脆, 酸甜鲜味均适宜(16~25) 有点酸或咸, 滋味不鲜美, 不脆(11~15) 偏酸或偏咸较严重, 有酸败味, 发涩, 不脆(0~10)
色泽(25)	色泽均匀, 白色(16~25) 色泽一般, 有微黄色(11~15) 色泽不均, 呈暗黄色(0~10)
气味(25)	有传统发酵泡菜香味, 风味醇正, 无异味(16~25) 传统发酵泡菜香味不明显, 其风味较醇正(11~15) 香气差, 有异味(0~10)
泡菜母水(25)	泡菜母水晶莹透明, 色泽鲜亮(16~25) 泡菜母水较晶莹透明, 色泽较鲜亮(11~15) 泡菜母水浑浊, 有霉花浮膜, 色泽不正常, 无光泽, 浑浊严重(0~10)

1.3 数据处理

每组样品测定三次, 所得数据均使用 Excel 2010 进行处理, 结果以“平均值±标准偏差”的形式表示。使用 SPSS Statistics 19 软件对不同组样品间的差异性进行 Duncan's range test 检验, 显著性水平为 $P<0.05$ 。用 Origin 9.0 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 食盐、大豆低聚糖和紫苏-豆芽汁对白萝卜泡菜品质与亚硝酸盐含量的影响

2.1.1 食盐添加量对白萝卜泡菜品质与亚硝酸盐含量的影响 由图 1 可知, pH 总体随着发酵时间的延长呈下降趋势, 前 2 d 内下降较快, 而到第 6 d 下降趋势趋于缓慢。导致这一结果的可能原因为: 在发酵初期, 乳酸菌的快速增长, 产生了大量乳酸; 在发酵后期, 泡菜母水酸度的增加, 导致包括产酸在内的多种微生物的生长与繁殖受到抑制, 产酸量下降。此外, 在发酵前期, 添加 6%~10% 食盐样品的 pH 最高, 添加 2% 食盐样品 pH 次之, 4% 食盐样品 pH 最低; 在

发酵后期, 各种样品的 pH 趋于接近。金龙^[20]研究了添加 2%~10% 食盐对萝卜干中的乳酸菌和细菌变化影响, 发现在所实验的食盐添加水平下, 4% 食盐样品中的乳酸菌菌落数最高; 4% 食盐样品中的细菌菌落数明显高于 2% 的样品, 明显低于 8% 和 10% 的样品, 与 6% 的样品基本相同。因此, 本实验结果可能与不同食盐浓度下乳酸菌等产酸菌的发酵有关: 6%~10% 食盐样品渗透压高, 乳酸菌等产酸菌的发酵受到一定程度的抑制; 而 2% 食盐样品渗透压低, 对杂菌的抑制作用弱, 从而也影响了乳酸菌等产酸菌的发酵, 因而 2% 和 6%~10% 食盐样品的最初 pH 较高; 4% 食盐样品的渗透压适中, 对杂菌的抑制作用明显, 但对乳酸菌的抑制作用较弱, 最初 pH 较低。在发酵后期, 随着泡菜母水酸度增加, 所有样品中的不耐酸乳酸菌的发酵受到抑制, pH 趋于平缓。在发酵后期、不同食盐浓度下, 泡菜母水的 pH 基本接近, 与金龙^[20]的研究结果一致。

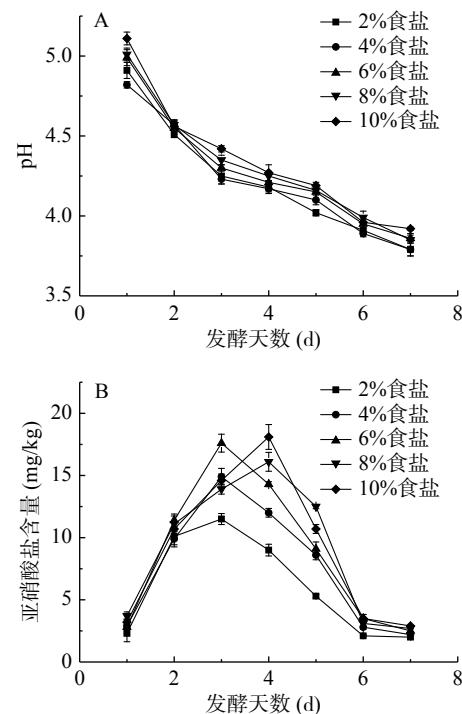


图 1 食盐添加量对泡菜母水 pH(A) 和白萝卜泡菜亚硝酸盐含量(B) 的影响

Fig.1 Effects of salt level on pH of fermentation broth (A) and nitrite content of pickled radish (B)

亚硝酸盐的过量摄入会给人体带来极大的危害。近年来, 亚硝酸盐中毒事件频频发生^[25], 因此, 亚硝酸盐残留量已经成为酱腌菜的一项重要评价指标。按照食品安全国家标准 GB 2762-2017 食品中污染物限量规定, 腌渍蔬菜中亚硝酸盐的含量(以 NaNO_2 计) $\leq 20 \text{ mg/kg}$ ^[26]。

在不同食盐浓度下, 白萝卜泡菜的亚硝酸盐含量如图 1 所示。在发酵初期, 不同浓度食盐下的白萝卜泡菜亚硝酸盐含量均持续上升, 达到峰值后迅速下降, 在第 6~7 d 基本趋于平稳。可能的原因是: 在

泡制过程中,萝卜中的硝酸盐在硝酸还原酶的作用下还原为亚硝酸盐,导致发酵初期亚硝酸盐含量迅速增高,形成“亚硝峰”。随着发酵的深入、微生物代谢活动的持续,泡菜母水的酸度增加,硝酸还原酶的活性受到抑制;同时,亚硝酸根离子与酸结合产生游离的亚硝酸,游离的亚硝酸不稳定,易分解成一氧化氮,导致亚硝酸盐含量逐渐下降并趋于一个相对稳定值^[27-28]。在发酵第7 d,2%和4%食盐样品亚硝酸盐含量最低,分别为2.0 mg/kg和2.2 mg/kg。李娟等^[29]对随机选取的市售酱腌菜的亚硝酸盐含量进行测定,其中,酸萝卜中的亚硝酸盐含量约为9.6 mg/kg。本实验在添加4%食盐条件下制得的白萝卜泡菜的亚硝酸盐含量远远低于国家限量标准和市售同类产品,具有明显优势。

滋味、色泽、独特香气和泡菜母水鲜亮程度是泡菜品质的重要评价指标。**表3**是不同食盐添加量对白萝卜泡菜的感官品质的影响。结果表明,在所实验的不同食盐添加量样品中,4%食盐样品的综合评分最高,而2%食盐样品有异味,泡菜母水浑浊,综合评分最低,可能与该条件对杂菌的抑制作用较弱有关。6%~10%食盐样品口感过咸且脆度较低,综合评分较低,可能与渗透压过高、萝卜组织失水严重有关^[30]。尽管4%食盐样品的pH最低,理论上口感较酸,但滋味评分最高,可能与人体味觉不足以区别pH的如此细微差异有关。

表3 食盐添加量对白萝卜泡菜感官评定的影响

Table 3 Effects of salt level on sensory evaluation of pickled radish

食盐添加量(%)	2	4	6	8	10
滋味	11.3±1.2 ^d	18.8±0.8 ^a	15.0±0.8 ^b	13.6±1.8 ^c	11.8±1.3 ^d
色泽	13.2±1.1 ^c	16.9±1.2 ^b	16.7±1.3 ^b	18.8±1.0 ^a	19.3±1.3 ^a
气味	5.5±1.1 ^d	18.1±1.0 ^a	15.0±1.1 ^b	12.5±1.5 ^c	12.2±1.5 ^c
泡菜母水	9.2±1.2 ^e	18.5±0.9 ^a	18.0±0.8 ^a	13.2±0.8 ^b	12.5±1.1 ^b
综合评分	39.2±3.4 ^e	72.3±3.3 ^a	64.7±2.5 ^b	58.1±2.2 ^c	55.8±3.6 ^d

注:同行不同字母表示不同样品组有显著性差异($P<0.05$);表4—表6同。

综合pH、亚硝酸盐含量和感官品质三个指标,可以得出:最适宜白萝卜泡菜加工的食盐添加量为4%。另外,王冉^[31]研究了萝卜泡菜在发酵过程中感官品质、理化品质以及滋味品质的形成情况,食盐的添加量为7%;王凡等^[22]研究几种蔬菜腌渍过程中亚硝酸盐含量的变化,食盐的添加量为7%~12%;陈峰^[10]研究了腌制萝卜品质劣变控制方法及其机制,食盐添加量为15%。与上述工艺方法相比,本实验所采用的工艺方法,食盐添加量低至4%,因而更加符合健康饮食要求。

2.1.2 大豆低聚糖添加量对白萝卜泡菜品质与亚硝酸盐含量的影响 由**图2**可知,pH总体随着发酵时间的延长呈下降趋势,前2 d内下降较快,而到第6 d下降趋势基本趋于平缓,这与2.1.1结果基本一

致。在整个发酵期间,添加大豆低聚糖样品的pH明显低于对照组;且随着大豆低聚糖添加量的增加,样品的pH呈下降趋势。在发酵后期,添加4%、5%和6%大豆低聚糖样品的pH趋于一致。先前的研究表明^[18],大豆低聚糖提供的营养素可供乳酸菌繁殖需要,产生大量乳酸;本研究中,样品的pH随着大豆低聚糖添加量的增加而降低,可能与不同大豆低聚糖浓度下乳酸菌的繁殖情况有关^[32-33]。

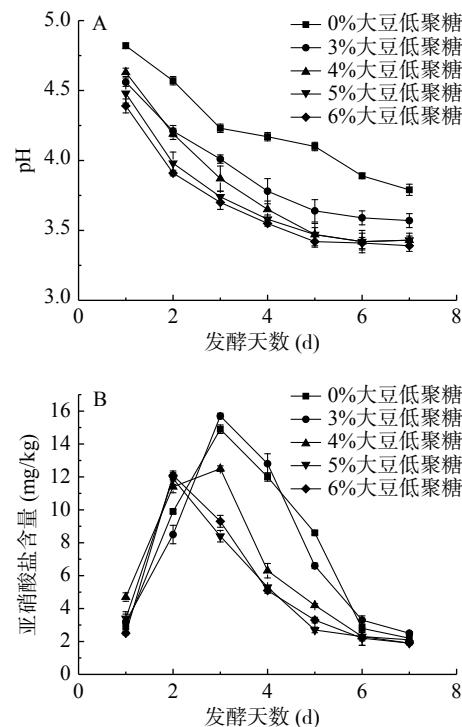


图2 大豆低聚糖添加量对泡菜母水pH(A)和白萝卜泡菜亚硝酸盐含量(B)的影响

Fig.2 Effects of soybean oligosaccharide level on pH of fermentation broth (A) and nitrite content of pickled radish (B)

在不同大豆低聚糖浓度下,白萝卜泡菜的亚硝酸盐含量如**图2**所示。所有白萝卜泡菜样品的亚硝酸盐含量在发酵初期均随发酵时间延长而上升,达到峰值后迅速下降,在第6~7 d基本趋于平稳,这与2.1.1结果基本一致。在发酵第7 d,添加了大豆低聚糖样品的亚硝酸盐含量明显低于对照组。添加5%和6%大豆低聚糖样品的亚硝酸盐含量最低,大约为1.9 mg/kg。这可能与大豆低聚糖影响乳酸菌增殖、降低pH有关^[32-33]。

表4是不同浓度大豆低聚糖对白萝卜泡菜感官品质的影响。结果表明,与比对照组相比、添加了大豆低聚糖样品具有更佳的口感和香味;其中,添加5%大豆低聚糖样品的综合评分最高。这可能与大豆低聚糖具有乳酸菌的增殖作用和产酸量有关^[18]。

综合pH、亚硝酸盐含量和感官品质三个指标,最适宜白萝卜泡菜加工的大豆低聚糖添加量为5%。

2.1.3 紫苏-豆芽汁添加量对白萝卜泡菜品质与亚硝酸盐含量的影响 由**图3**可知,pH总体随着发酵时

表 4 大豆低聚糖添加量对白萝卜泡菜感官评定的影响
Table 4 Effects of soybean oligosaccharide level on sensory evaluation of pickled radish

大豆低聚糖(%)	0	3	4	5	6
滋味	16.0±0.8 ^c	17.0±0.8 ^b	18.4±0.8 ^a	18.8±0.6 ^a	17.3±0.9 ^b
色泽	15.8±1.0 ^b	16.9±1.1 ^a	17.2±1.1 ^a	16.8±0.8 ^a	17.0±1.2 ^b
气味	15.0±0.9 ^c	16.1±1.0 ^b	19.6±1.1 ^a	20.3±1.2 ^a	19.8±0.9 ^a
泡菜母水	15.7±0.7 ^c	16.9±0.7 ^b	17.0±0.8 ^b	18.0±1.2 ^a	16.8±0.8 ^c
综合评分	62.5±2.2 ^c	66.9±2.8 ^d	72.2±2.5 ^b	73.9±1.7 ^a	70.9±2.4 ^c

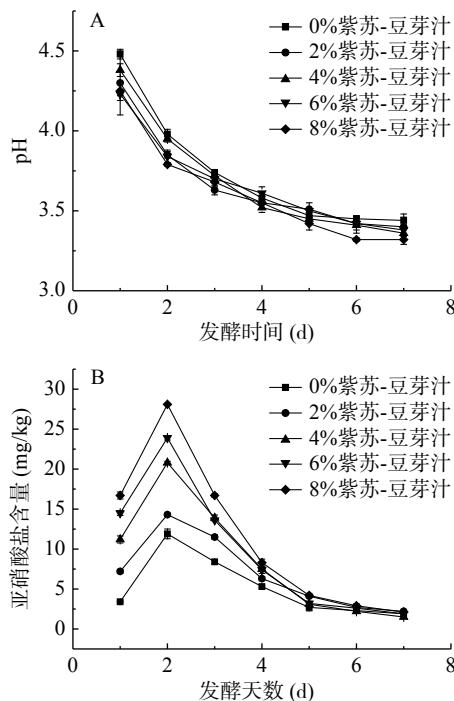


图 3 紫苏-豆芽汁添加量对泡菜母水 pH(A) 和白萝卜泡菜亚硝酸盐含量(B) 的影响

Fig. 3 Effects of perilla-bean sprout juice level on pH of fermentation broth (A) and nitrite content of pickled radish (B)

间的延长呈下降趋势, 前 2 d 内下降较快, 而到第 6 d 下降趋势基本趋于平缓, 这与 2.1.1 结果基本一致。特别地, 在发酵前期, 与对照组相比, 添加了紫苏-豆芽汁样品的 pH 明显较低; 在发酵后期, 对照组 pH 最高, 添加 2%~6% 紫苏-豆芽汁样品的 pH 次之, 添加 8% 紫苏-豆芽汁样品的 pH 最低。这可能归因于不同紫苏-豆芽汁浓度下乳酸菌的发酵情况不同^[11~17]: 与对照组相比, 紫苏-豆芽汁对有害菌的抑制作用明显且为乳酸菌提供了充足的营养物质。

在不同紫苏-豆芽汁浓度下, 白萝卜泡菜样品的亚硝酸盐含量如图 3 所示。所有白萝卜泡菜样品的亚硝酸盐含量在发酵初期均持续上升, 达到峰值后迅速下降, 在第 5 d 基本趋于平缓。在发酵初期, 添加紫苏-豆芽汁样品的亚硝酸盐含量明显高于对照组; 且随着紫苏-豆芽汁添加量的增加, 样品的亚硝酸盐含量呈现上升趋势。这可能与紫苏茎叶中本身含有亚硝酸根离子有关^[13]。吴周和等^[14]研究了紫苏叶对萝卜乳酸发酵亚硝酸盐含量的影响, 与空白对照组相

比、添加紫苏叶的样品“亚硝峰”高, 与本实验结果一致。在发酵第 7 d, 4% 紫苏-豆芽汁样品亚硝酸盐含量最低, 为 1.5 mg/kg。

表 5 是不同浓度紫苏-豆芽汁对白萝卜泡菜感官品质的影响。结果表明, 与对照组相比, 添加了紫苏-豆芽汁的白萝卜泡菜具有清冽口感和酸辣风味, 这可能与紫苏本身的香气有关^[11~12]; 其中, 4% 紫苏-豆芽汁白萝卜泡菜的综合评分最高。

表 5 紫苏-豆芽汁添加量对白萝卜泡菜感官评分的影响

Table 5 Effect of perilla-bean sprout juice level on sensory evaluation of pickled radish

紫苏-豆芽汁添加量(%)	0	2	4	6	8
滋味	15.3±0.9 ^d	17.0±0.8 ^b	20.7±1.2 ^a	17.0±0.8 ^b	13.0±1.2 ^c
色泽	19.3±1.2 ^a	17.3±0.8 ^b	17.1±0.7 ^b	14.2±1.0 ^c	8.9±0.9 ^d
气味	17.1±1.0 ^c	18.5±0.9 ^b	21.6±0.8 ^a	15.9±0.7 ^d	14.6±0.8 ^c
泡菜母水	18.4±0.7 ^b	19.7±0.7 ^a	19.3±0.9 ^a	14.9±0.7 ^c	10.8±0.8 ^d
综合评分	70.1±0.7 ^c	72.5±1.9 ^b	78.7±2.5 ^a	62.0±2.6 ^d	47.3±2.8 ^e

2.2 不同比例的乳酸菌和酵母菌对白萝卜泡菜品质与亚硝酸盐含量的影响

由图 4 可知, 与对照组相比, 加入不同比例的酵母菌粉和乳酸菌粉后, 可以明显提高白萝卜泡菜中酵母菌和乳酸菌数量, 说明接种后这两种菌为泡菜体系中的优势菌种, 有效抑制其它杂菌的繁殖、缩短发酵时间和提高产品品质^[7]。其中, 白萝卜泡菜母水中的乳酸菌数目随着发酵时间的延长而增加, 到发酵后期乳酸菌的数目基本趋于稳定。酵母菌数目在 0~3 d 增加, 3~7 d 数量略微下降, 可能的原因是发酵后期泡菜母水的 pH 较低, 部分酵母菌对酸比较敏感而死亡, 或者泡菜母水中的营养物质减少, 抑制了酵母菌的生长^[27]。

由图 4 可知, 泡菜母水中加入酵母菌和乳酸菌的混合菌种可以加快 pH 的降低。pH 在发酵 0~3 d 下降较快, 之后下降变得缓慢直至趋于稳定。其中, 在发酵前期, 加入的乳酸菌越多, pH 下降得越快。相对于自然发酵组(未添加发酵粉), 添加酵母菌和乳酸菌的样品发酵后期的 pH 较低, 这与刘春燕等^[34~35]报道接种不同比例植物乳杆菌与酿酒酵母的白萝卜泡菜有低的 pH 结果相似。

由图 4 可知, 与对照组相比, 接种不同复配比的酵母菌和乳酸菌可以明显降低亚硝酸盐峰值, 其中实验组 3 的亚硝峰值最低, 为 10.8 mg/kg, 表明人工接种发酵可以有效降低亚硝酸盐的积累。这可能由于人工接种的乳酸菌进行乳酸发酵产生了大量乳酸, 从而加速亚硝酸盐的分解^[28]。在发酵后期, 所有实验组泡菜中的亚硝酸盐含量逐渐趋于稳定, 约为 1.0 mg/kg, 远低于国家限量标准(20.0 mg/kg)。因此, 本发酵工艺所生产的白萝卜泡菜更加符合健康饮食要求。

由表 6 可知, 人工接种发酵的白萝卜泡菜比自

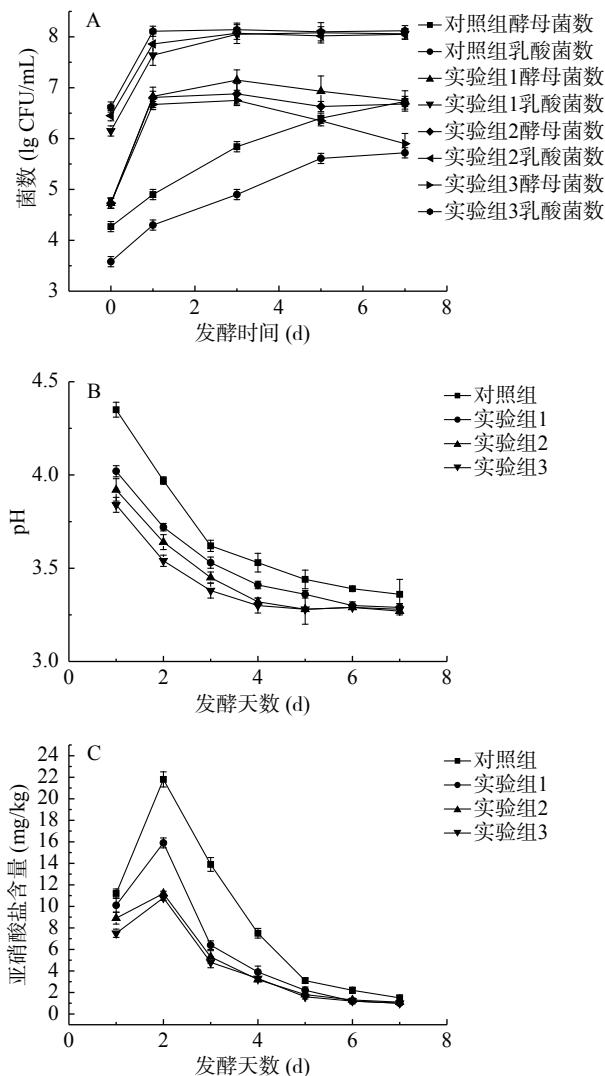


图4 不同比例酵母菌和乳酸菌的对白萝卜泡菜菌数数目(A)、pH(B) 和亚硝酸盐含量(C) 的影响

Fig.4 Effects of proportion of yeast and lactic acid bacteria on strain numbe (A), pH (B) and nitrite content of pickled radish (C)

表6 酵母菌和乳酸菌的不同比例对白萝卜泡菜感官评分的影响

Table 6 Effects of proportion of yeast and lactic acid bacteria on sensory evaluation of pickled radish

组号	对照组	实验组1	实验组2	实验组3
滋味	17.4±0.7 ^b	20.3±0.7 ^a	21.0±0.8 ^a	20.9±0.9 ^a
色泽	19.2±0.8 ^a	17.7±0.8 ^{bc}	17.9±0.7 ^b	17.0±1.1 ^d
气味	17.4±1.1 ^b	20.3±0.7 ^a	20.4±0.7 ^a	19.6±1.0 ^a
泡菜母水	19.4±1.0 ^b	20.0±0.8 ^{ab}	19.8±1.1 ^{ab}	20.5±1.1 ^a
综合评分	73.4±1.5 ^b	78.3±1.6 ^a	79.1±1.2 ^a	78.0±2.1 ^a

然发酵的泡菜具有更好的食用品质,其中实验组2综合评分最高。人工接种发酵的白萝卜泡菜具有更好的滋味和气味,可能与酵母菌和乳酸菌协同发酵促进醇类和脂类等风味物质的形成有关^[6]。

3 结论

本研究表明添加量4%食盐、5%大豆低聚糖和4%紫苏-豆芽汁综合效果最好,发酵7 d后的白

萝卜泡菜的pH为3.36,亚硝酸盐含量为1.5 mg/kg,感官评分为78.7。在此条件下,每200 g泡菜母水添加0.2 g乳酸菌粉和0.2 g酵母菌粉,所制得的白萝卜泡菜产品有较高的乳酸菌、酵母菌数,更低的pH、亚硝酸盐含量和更好的滋味和气味。

参考文献

- Rao Yu, Qian Yang, Tao Yufei, et al. Characterization of the microbial communities and their correlations with chemical profiles in assorted vegetable Sichuan pickles[J]. *Food Control*, 2020, 113: 107174.
- Kim E, Seo S, Park S, et al. Initial storage of kimchi at room temperature alters its microbial and metabolite profiles[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 134: 110160.
- Xiang Wenliang, Zhang Nandi, Lu Yue, et al. Effect of *Weissella cibaria* co-inoculation on the quality of Sichuan Pickles fermented by *Lactobacillus plantarum*[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 121: 108975.
- Kei K, Ryo K, Taito K, et al. Nutritional content and health benefits of sun-dried and salt-aged radish[J]. *Food Chemistry*, 2017, 231: 33–41.
- 闫凯. 泡菜发酵工艺及保藏性的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.
- 罗静, 文婧, 甘李, 等. 泡菜盐渍-发酵复合新工艺的研究[J]. *食品工业*, 2019, 40(1): 32–36.
- 张文娟, 陈安特, 韩宇琴, 等. 酿酒酵母对萝卜泡菜发酵的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2017, 43(8): 134–137.
- 翟彩宁, 陈佩, 党辉, 等. 泡菜加工与贮藏过程中亚硝酸盐的变化与控制[J]. *食品安全导刊*, 2018(24): 141–142.
- 吴逸华, 叶洁, 王碧波, 等. 12家生产企业的酱腌菜防腐剂、甜味剂、亚硝酸盐检测结果分析[J]. *现代食品*, 2019(19): 186–188.
- 陈峰. 腌制萝卜品质劣变控制方法研究及其机制分析[D]. 无锡: 江南大学.
- 李娜. 紫苏精油提取及其防腐复合材料的制备和性能研究[D]. 太原: 中北大学, 2018.
- Lin K H, Jhou Y J, Wu C W, et al. Growth, physiological, and antioxidant characteristics in green and red *Perilla frutescens* varieties as affected by temperature-and water-stressed conditions[J]. *Scientia Horticulturae*, 2020, 274: 109682.
- 陈小华. 紫苏中天然活性成分的提取与应用[J]. *临床医药文献杂志*, 2015, 2(17): 3385–3386.
- 吴周和, 徐燕, 吴传茂. 紫苏叶对萝卜乳酸发酵亚硝酸盐含量的影响[J]. *江苏调味副食品*, 2004, 21(1): 12–13.
- 梁雪梅. 加工方式对绿豆芽多酚抗氧化活性及理化特性的影响[D]. 大庆: 黑龙江八一农业大学, 2020.
- Lopez A, El-naggar T, Duenas M, et al. Effect of cooking and germination on phenolic composition and biological properties of dark beans(*Phaseolus vulgaris* L.)[J]. *Food Chemistry*, 2013, 138: 547–555.
- Sikora M, Swieca M. Effect of ascorbic acid postharvest treatment on enzymatic browning, phenolics and tioxidant capacity of stored mung bean sprouts[J]. *Food Chemistry*, 2018, 239: 1160–1166.

- [18] 周晓莉, 许喜林. 大豆低聚糖的生理功能及应用 [C]//2019 年广东省食品学会年会论文集. 广州: 广东省食品学会, 2019: 21–24.
- [19] Lee J, Choi Y, Lee M, et al. Effects of combining two lactic acid bacteria as a starter culture on model kimchi fermentation [J]. *Food Research International*, 2020, 136: 109591.
- [20] 金龙. 萝卜干的加工工艺及保藏研究 [D]. 杭州: 浙江工商大学, 2015.
- [21] 王向阳, 任焕, 金龙. 添加豆粉和豆芽汁对腌萝卜发酵的影响 [J]. *中国调味品*, 2016, 41(10): 33–37.
- [22] 王凡. 几种蔬菜腌渍过程中亚硝酸盐含量变化的研究 [J]. *农产品加工*, 2016, 399(1): 6–11.
- [23] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 4789.35–2016 食品安全国家标准. 食品微生物学检验 乳酸菌检验 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1–8.
- [24] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 4789.15–2016 食品安全国家标准. 食品微生物学检验 霉菌和酵母计数 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1–5.
- [25] 周光燕, 张小平, 钟凯, 等. 乳酸菌对泡菜发酵过程中亚硝酸盐含量变化及泡菜品质的影响研究 [J]. *西南农业学报*, 2006: 290–293.
- [26] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 2762–2017 食品安全国家标准. 食品中污染物限量 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017: 9–10.
- [27] 段先兵, 钟叶芳, 杨维占. 泡菜中硝酸盐和亚硝酸盐含量及 pH 值变化规律 [J]. *中国卫生检验杂志*, 2019, 29(4): 481–486.
- [28] 王伟. 萝卜泡菜泡制过程中亚硝酸盐降解及保藏技术研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- [29] 李娟, 王茂琼. 市售 7 种酱腌菜中亚硝酸盐、二氧化硫含量的测定 [J]. *绵阳师范学院学报*, 2020, 39(2): 58–63.
- [30] 梅明鑫, 刘卫, 晏敏, 等. 萝卜低盐腌制过程中脆度变化原因探究 [J]. *中国酿造*, 2017, 36(12): 27–33.
- [31] 王冉. 发酵方式对萝卜泡菜发酵过程中品质的影响 [D]. 成都: 四川农业大学, 2014.
- [32] Zhu Xin, Liu Jizhe, Liu Haiying, et al. Soybean oligosaccharide, stachyose, and raffinose in broilers diets: Effects on odor compound concentration and microbiota in cecal digesta [J]. *Poultry Science*, 2020, 99(7): 3532–3539.
- [33] 雷海容, 张枫燃, 梁洪祥, 等. 大豆益生元发酵豆乳的制备及其对益生菌数量的影响 [J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(1): 139–146.
- [34] 刘春燕, 戴明福, 夏姣, 等. 不同乳酸菌接种发酵泡菜风味的研究 [J]. *食品工业科技*, 2015, 36(7): 154–158.
- [35] Ding Y J, Niu Y P, Chen Z, et al. Discovery of novel *Lactobacillus plantarum* co-existence-associated influencing factor(s) on *Saccharomyces cerevisiae* fermentation performance [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2021, 135: 110268.