

一株降解亚硝酸盐植物乳杆菌的生长特性及其在泡菜制作中的应用

刘玮¹, 邱崇顺², 何宇星¹, 塔娜¹, 梁程媛¹, 张恩馨¹, 乌云达来^{1*}

(1. 内蒙古农业大学食品科学与工程学院, 内蒙古呼和浩特 010018)

(2. 联邦制药(内蒙古)有限公司, 内蒙古巴彦淖尔 015000)

摘要: 通过盐酸茶乙二胺法、平板计数法等方法研究了具有降解亚硝酸盐作用植物乳杆菌 36 的生长特性及其在泡菜制作中的应用。结果表明: 菌株 36 培养至 12 h 活菌数最大 (9.49 lg CFU/mL) 且具有较强的耐酸性和耐盐能力。用菌株 36 制作的泡菜 pH 值在自然发酵组第 7 天降至 3.42, 而试验组第 3 天就降至 3.34; 总酸含量在自然发酵组第 7 天达最高值 (4.11 g/kg) 并趋于平稳, 而试验组到第 5 天达最高值 (6.16 g/kg) 并趋于平稳, 这有利于缩短泡菜生产周期。亚硝酸盐含量在自然发酵组第 9 天达 2.10 mg/kg, 而试验组到第 9 天维持在 1.13 mg/kg 左右, 显著低于自然发酵组 ($p < 0.05$), 表明菌株 36 具有良好降解泡菜中亚硝酸盐的能力。乳酸菌数在自然发酵组第 3 天达最高值 (8.16 lg CFU/mL), 但试验组在第 7 天达最高值 (9.95 lg CFU/mL) 且比自然发酵组高一个数量级。而且, 泡菜感官评定值在两组间无显著差异 ($p > 0.05$)。因此, 植物乳杆菌 36 为降低泡菜中亚硝酸盐含量提供理论依据并在生产中具有实际意义。

关键词: 植物乳杆菌; 泡菜; 亚硝酸盐; 生长特性; 降解

文章编号: 1673-9078(2022)09-119-125

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.9.1264

Growth Characteristics of a Nitrite-degrading *Lactobacillus plantarum* and Its Application in Pickle Production

LIU Wei¹, QIU Chongshun², HE Yuxing¹, TA Na¹, LIANG Chengyuan¹, ZHANG Enxin¹, WU Yundalai^{1*}

(1. School of Food Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

(2. United Laboratories (Inner Mongolia) Co. Ltd., Bayannaer 015000, China)

Abstract: The application of nitrite-degrading *Lactobacillus plantarum* 36 in pickle production was evaluated by determining its growth characteristics using the naphthalene ethylenediamine hydrochloride and plate counting methods. The results showed that strain 36 had the largest number of viable bacteria (9.49 lg CFU/mL) after 12 h culture and exhibited strong acid and salt tolerance. The pH value of pickle prepared under natural fermentation decreased to 3.42 on day 7, whereas that of the test group using strain 36 dropped to 3.34 on day 3. The total acid content peaked and became stable on day 7 for the natural fermentation group, whereas that of the test group peaked (6.16 g/kg) and stabilized on day 5. Hence, the treatment shortened the pickle production cycle. The nitrite content in the natural fermentation group reached 2.10 mg/kg on day 9, whereas that of the test group remained at approximately 1.13 mg/kg by day 9, which was significantly lower than that of the natural fermentation group ($p < 0.05$). This indicates that strain 36 can degrade the nitrite in the pickle reasonably well. The number of lactic acid bacteria reached a maximum on day 3 for the natural fermentation group (8.16 lg CFU/mL), but that of the test group reached the highest value on day 7 (9.95 lg CFU/mL) and was an order of magnitude higher than that of the natural fermentation group. Moreover, the sensory

引文格式:

刘玮,邱崇顺,何宇星,等.一株降解亚硝酸盐植物乳杆菌的生长特性及其在泡菜制作中的应用[J].现代食品科技,2022,38(9): 119-125

LIU Wei, QIU Chongshun, HE Yuxing, et al. Growth characteristics of a nitrite-degrading *Lactobacillus plantarum* and its application in pickle production [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(9): 119-125

收稿日期: 2021-11-10

基金项目: 内蒙古自治区科技计划重大项目 (2020CG0012); 政府间国际科技创新合作重点专项 (2017YFE0108700); 内蒙古自治区高等学校科学研究项目 (NJZY19054)

作者简介: 刘玮 (1995-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 1741254637@qq.com

通讯作者: 乌云达来 (1975-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品微生物与生物技术, E-mail: wydl@imau.edu.cn

evaluation scores of the two groups of pickles was not significantly different ($p>0.05$). The findings on *L. plantarum* 36 in this study provide a theoretical basis for reducing the nitrite content in pickles and the stain is of practical significance in pickle production.

Key words: *Lactobacillus plantarum*; pickle; nitrite; growth characteristics; degradation

泡菜是我国传统发酵食品,因富含膳食纤维、有机酸,具有较好的风味及较长的货架期而被世界各地消费者所喜爱^[1-3],虽然我国蔬菜产量在全球排第一,但近年来一直存在新鲜蔬菜污染有害细菌或致病菌^[4],生产过程不易控制^[5],亚硝酸盐和食盐含量高^[6]等问题。亚硝酸盐(Nitrite, NIT)是一种被食品工业广泛应用的护色剂和防腐剂。然而,过量食用亚硝酸盐会出现急性中毒等症状,微量或少量长期摄入也会对人体产生毒副作用^[7,8],因此,有必要控制食品中亚硝酸盐的含量。据研究报道,乳酸菌在泡菜发酵中起关键作用^[9],与自然发酵相比,纯菌接种发酵能让优势菌群快速增殖,缩短发酵周期^[10,11],提高游离氨基酸等代谢产物^[12],降低亚硝酸盐含量,提高感官评价分数^[13-16]。此外,在酸菜中接种乳酸菌可加速发酵体系中pH值的降低,并提高亚硝酸盐降解率^[17]。

当前,降解亚硝酸盐的方法有物理降解法、化学降解法、生物降解法^[18],利用乳酸菌降解亚硝酸盐是生物降解法最常见的方法之一^[19],其降解亚硝酸盐的机理主要是酸降解、酶降解和抑制有害微生物的生长^[20],邹辉等^[21]研究表明草酸、柠檬酸、乳酸等对食品中亚硝酸盐有显著的降解作用。林浩等^[22]将乳酸直接添加去离子水来降解亚硝酸盐,发现随着时间的推进亚硝酸盐含量都出现不同程度的下降,而对照组亚硝酸盐含量基本不变。乳酸能够去除亚硝酸盐是因为乳酸与亚硝酸盐发生歧化反应($2\text{H}^+ + 3\text{NO}_2^- = \text{NO}_3^- + 2\text{NO} + \text{H}_2\text{O}$),证实了植物乳杆菌降解亚硝酸盐主要是依靠酸降解。李文婷等^[23]研究表明,使用乳酸菌制剂(泡乐美1号)接种泡菜,试验组中pH值降低速度高于自然发酵组;就亚硝酸盐峰值而言,试验组(9.13 mg/kg)明显低于自然发酵组(12.07 mg/kg),可见乳酸菌产生的酸对亚硝酸盐的降解起着重要作用。张庆芳等^[24]研究发现短乳杆菌产生亚硝酸盐还原酶对亚硝酸盐的降解起着重要作用。因此,本研究自行分离筛选的具有降解亚硝酸盐作用的植物乳杆菌36为供试菌株,运用于泡菜制作中研究其泡菜亚硝酸盐含量的影响,为提高发酵蔬菜产品质量与安全性提供理论依据和实验数据。

1 材料与方法

1.1 供试菌株

菌株36是从蒙古国传统发酵乳制品中分离筛选的一株具有降解亚硝酸盐作用的植物乳杆菌,在NCBI中登录号为MN611150,由内蒙古农业大学食品质量与安全实验室提供^[25]。

1.2 方法

1.2.1 植物乳杆菌36的生长特性分析

1.2.1.1 菌种活化及发酵剂的制备

将菌株36活化3次,接种于MRS液体培养基培养至菌体浓度达到 10^7 CFU/mL,4℃冰箱冷藏备用。

1.2.1.2 生长曲线的测定

将菌株36以2%(V/V)的接种量接种于MRS液体培养基中,37℃培养24h,每隔2h测定培养液 $OD_{600\text{nm}}$ 值、活菌数对数值。以时间为横坐标,培养液 $OD_{600\text{nm}}$ 值、活菌数对数值为纵坐标,绘制其生长曲线。

1.2.1.3 耐酸性的测定

将菌株36按2%(V/V)的接种量接种于不同pH值(2.0、2.5、3.0、3.5、4.0、4.5、5.0、5.5、6.0)的MRS液体培养基中,37℃培养12h,测定发酵液 $OD_{600\text{nm}}$ 值。

1.2.1.4 耐盐性的测定

将菌株36按2%(V/V)的接种量接种于不同NaCl浓度(0%、2%、4%、6%、8%、10%、12%、14%,质量分数)的MRS液体培养基中,37℃培养12h,测定发酵液 $OD_{600\text{nm}}$ 值。

1.2.2 植物乳杆菌36在泡菜制作中的应用

1.2.2.1 泡菜制作的工艺流程

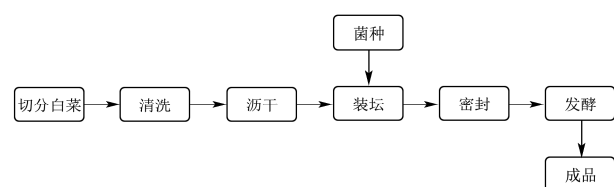


图1 泡菜制作工艺流程

Fig.1 Production process of pickle

参照郭云仙^[26]的方法用乳酸菌接种发酵制作泡菜,将新鲜白菜去除老叶、根须等附属物,切成大小5~6cm左右,厚度0.5cm左右的薄片,用清水洗净并置于阴凉处晾干,装入泡菜坛,以料液比约1.5:1(g/mL)加入质量分数4%的食盐溶液,加入辅料,在无菌条件下,接入菌体浓度达 10^7 CFU/mL的植物

乳杆菌 36 发酵剂, 然后用纱布将坛口进行密封, 发酵 9 d。制作工艺流程如图 1 所示。

1.2.2.2 泡菜中 pH 值的测定

用 pH 计对泡菜发酵液的 pH 值进行测定, 于第 1、3、5、7、9 天进行测量, 每组测量三次, 取均值。

1.2.2.3 测定泡菜中总酸含量

参照文献^[27]测定泡菜中总酸含量(g/kg), 于第 1、3、5、7、9 天进行测量, 每组测量三次, 取均值。

1.2.2.4 测定泡菜中亚硝酸盐含量

参照盐酸萘乙二胺法^[28]测定泡菜中亚硝酸盐含

量(mg/kg), 于第 1、3、5、7、9 天进行测量, 每组测量三次, 取均值。

1.2.2.5 乳酸菌数的测定

参照平板计数法^[29]测定泡菜中乳酸菌数(lg CFU/mL), 于第 1、3、5、7、9 天进行测量, 每组测量三次, 取均值。

1.2.2.6 泡菜感官品质的评定

泡菜感官评定参照文献^[30]的方法在基础上做稍微调整, 具体评价标准如表 1 所示。

表 1 泡菜感官评定表

Table 1 Sensory evaluation form of pickle

项目	标准	得分
色泽及形态	色泽正常、新鲜、有光泽, 大小均匀一致, 无菜屑、杂质及异物, 无油水分离现象, 汤汁清亮, 无霉花浮膜	30
	色泽不正常、不新鲜、无光泽、发黑	24~29
	菜坯规格大小不均匀、不一致	25~29
	有菜屑、杂质及异物	24~29
	油水分离现象	27~29
香气	汤汁不清亮、有霉花浮膜	20~25
	具有本产品固有的香气(如菜香), 或具有发酵型香气及辅料添加后的复合香气(如酱香、酯香等), 无不良气味及其他异香	30
	香气差	25~29
	香气不正	20~29
质地及滋味	有不良气味(如氨、硫化氢、焦糊、酸败等气味)及其他异香	15~23
	滋味鲜美, 质地脆嫩, 酸甜咸味适宜, 无过酸过咸过甜味, 无苦味及涩味、焦糊味	40
	菜质脆嫩度差	36~39
	菜质脆嫩度差, 咀嚼有渣	35~39
	口味淡薄	35~39
	有过酸过咸过甜味	35~39
	有苦味及涩味、焦糊、酸败味	34~37

1.2.3 数据统计

每个样本均进行 3 次平行试验, 结果以 $\bar{x} \pm SD$ 表示; 组间比较采用单因素 ANOVA 分析, 部分数据采用 SPSS 19.0 软件中的 Duncan 法进行显著性分析。

2 结果与讨论

2.1 植物乳杆菌 36 的生长特性分析

2.1.1 生长曲线的测定

将菌株 36 以 2% (V/V) 的接种量接种于 MRS 液体培养基中, 37 °C 下培养 24 h, 每隔 2 h 测定 $OD_{600\text{nm}}$ 值、活菌数对数值。由结果(图 2)可知, 菌株 36 在 0~2 h 活菌数和 $OD_{600\text{nm}}$ 值缓慢上升, 2 h 进入对数生长期, 6 h 后进入稳定期且较长时间内保持菌株活性, 其

在 12 h 活菌数最大(9.49 lg CFU/mL), 菌株 36 的生长曲线为其在后续泡菜发酵中的应用提供了依据。

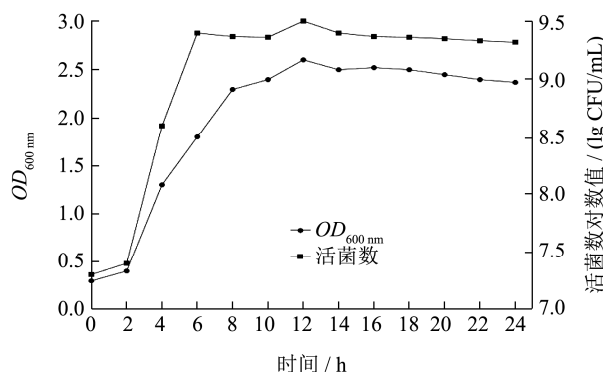


图 2 植物乳杆菌 36 的生长曲线

Fig.2 Growth curve of *L. plantarum* 36

2.1.2 耐酸性和耐盐性的测定

由菌株 36 耐酸性试验结果 (图 3a) 可知, 菌株 36 在 pH 值 4.0~6.0 的范围内, 都能较好的生长, 当 pH 值低于 4.0 时, 菌株 36 的生长能力显著下降 ($p < 0.05$), 当 pH 值降到 2.0 时, 菌株 36 仍能生长 ($OD_{600\text{ nm}}$ 值为 0.47), 可知菌株 36 具有较强的耐酸性。由菌株 36 耐盐性试验结果 (图 3b) 可知, NaCl 质量分数在 0~8% 以内, 菌株 36 能较好的生长, 当 NaCl 质量分数达 10%~14% 时生长被显著抑制, 特别是当 NaCl 质量分数达 14% 时, 菌株 36 仍能生长 ($OD_{600\text{ nm}}$ 值为 0.32), 表明菌株 36 有较强的耐盐能力, 通常发酵蔬菜所需盐浓度为 3%~5%^[31], 由此可知菌株 36 可满足后续泡菜试验。

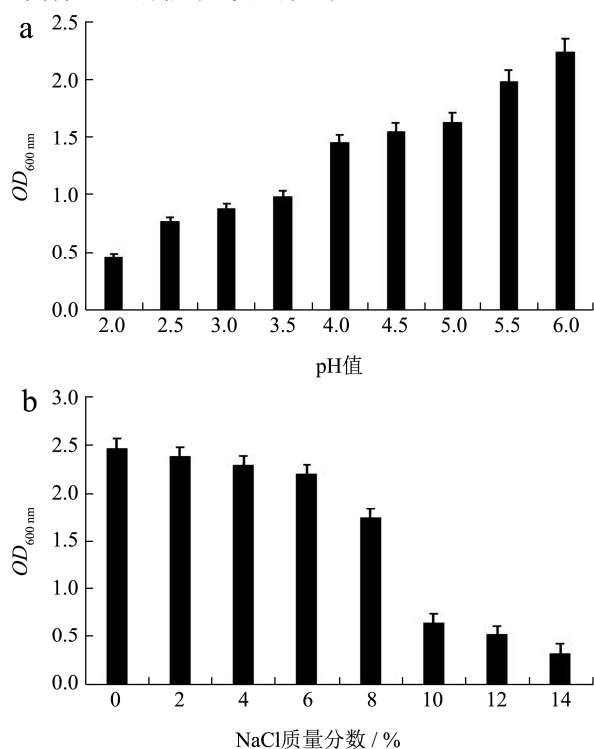


图 3 植物乳杆菌 36 耐酸性和耐盐性的测定

Fig.3 Determination of acid and salt tolerance of *L. plantarum* 36

注: a: 不同 pH 值下菌株 36 的生长情况; b: 不同盐浓度下菌株 36 的生长情况。

2.2 植物乳杆菌 36 在泡菜制作中的应用

2.2.1 泡菜中 pH 值和总酸含量的变化

为了消除初始 pH 值对泡菜后续发酵的影响, 自然发酵组和试验组初始 pH 值均调至 6.18, 由图 4 可知, 自然发酵组 pH 值从第 1 天开始显著下降, 第 7 天开始趋于平稳 (3.42), 总酸含量从第 1 天开始缓慢升高, 到第 7 天达最高值 (4.11 g/kg) 并趋于平稳; 而试验组 pH 值从第 1 天开始显著下降, 第 3 天开始

趋于平稳 (3.34), 总酸含量从第 1 天开始大幅度升高, 到第 5 天达最高值 (6.16 g/kg) 并趋于平稳。虽然两组数据中的 pH 值与总酸含量均呈负相关, 但接种菌株 36 的试验组 pH 值下降速度更快, 产酸量更高。据研究报道, 王新惠等^[32]利用植物乳杆菌接种发酵辣椒酱与对照组对比, 对照组发酵 35 h 后 pH 值和总酸含量分别达到 3.81 和 7.86 g/kg; 而实验组 pH 值和总酸含量分别达到 3.59 和 8.27 g/kg。乳酸菌在发酵过程中会代谢产生乳酸、苹果酸等物质, 对比自然发酵组, 接种植物乳杆菌发酵泡菜, 其发酵前期能产生更多的乳酸, 缩短发酵周期。

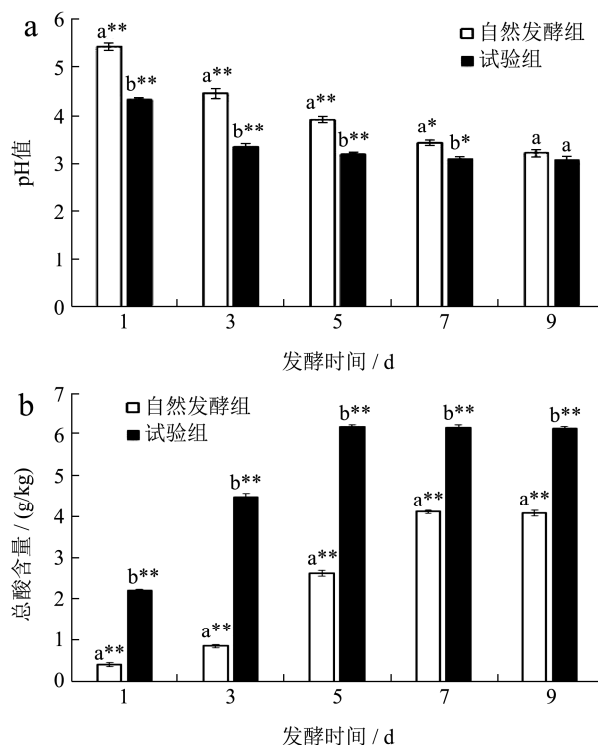


图 4 泡菜中 pH 值和总酸含量的变化 ($p < 0.05$)

Fig.4 Changes in pH and total acid content in pickle ($p < 0.05$)

注: a: 不同发酵方式 pH 值的变化; b: 不同发酵方式总酸含量的变化。

2.2.2 泡菜中亚硝酸盐含量的变化

利用盐酸萘乙二胺法测定泡菜中的亚硝酸盐含量 (图 5) 可知, 自然发酵组第 3 天达最高值, 峰值为 15.17 mg/kg, 到第 5 天显著降至 3.74 mg/kg ($p < 0.05$), 第 9 天达 2.10 mg/kg; 而试验组从第 1 天的最高值 (2.24 mg/kg) 到第 3 天显著降至 1.16 mg/kg ($p < 0.05$), 然后随着发酵时间的延长而逐渐下降, 到第 9 天亚硝酸盐含量维持在 1.13 mg/kg 左右, 显著低于自然发酵组 ($p < 0.05$)。就亚硝酸盐含量峰值而言, 自然发酵组在第 3 天, 试验组在第 1 天, 这是因为发酵初期乳酸菌处于延滞期, 泡菜表面自带的部分杂菌分泌硝酸还原酶, 将原料中的硝酸盐还原成亚硝

酸盐所致, 试验组接种发酵泡菜的亚硝酸盐峰值出现时间早且峰值低, 说明菌株 36 对亚硝酸盐具有明显的转化作用。据报道, 马艳弘等^[33]将植物乳杆菌 M1 接种发酵山药, 发酵 11 d 时, 山药接种发酵的亚硝酸盐含量达 3.4 mg/kg。发酵 14 d 时, 其亚硝酸盐含量达 0.4 mg/kg; 而山药自然发酵 11 d 时, 山药接种发酵的亚硝酸盐含量达 5.7 mg/kg。发酵 14 d 时, 其亚硝酸盐含量达 3.9 mg/kg。可见, 菌株 36 具有良好降解泡菜中亚硝酸盐的能力。在 GB 2714-2015《食品安全国家标准—酱腌菜》中规定, 腌制蔬菜中亚硝酸盐含量必须低于 20 mg/kg^[34], 虽然两种发酵方式制作的泡菜中亚硝酸盐含量均低于国家标准要求, 但试验组亚硝酸盐含量显著低于自然发酵组 ($p < 0.05$), 这有利于提高泡菜的安全性。

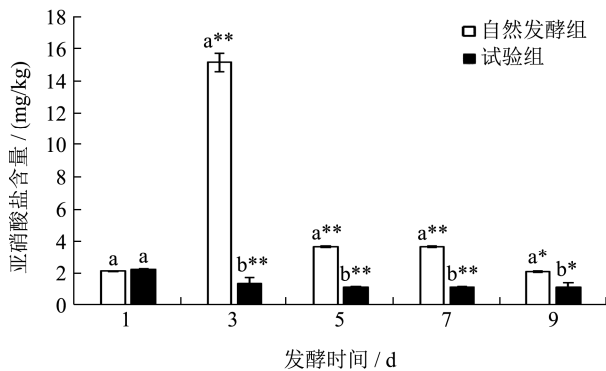


图 5 不同发酵方式亚硝酸盐含量的变化

Fig.5 Changes of nitrite content in different fermentation methods ($p < 0.05$)

2.2.3 泡菜中乳酸菌数的变化

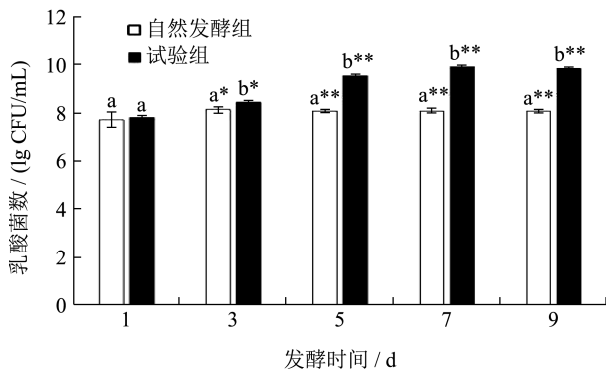


图 6 不同发酵方式乳酸菌数变化

Fig.6 Changes of lactic acid bacteria number in different fermentation methods ($p < 0.05$)

测定泡菜中的乳酸菌数(图 6)可知, 自然发酵组到第 3 天乳酸菌数达最高值(8.16 lg CFU/mL), 然后乳酸菌数量缓慢减少; 而试验组的乳酸菌数均高于自然发酵组, 到第 7 天乳酸菌数达最高值(9.95 lg CFU/mL), 而且比自然发酵组高一个数量级。这是因为发酵前期, 试验组中的菌株 36 快速发酵

而产热, 导致环境温度达到乳酸菌适宜的生长温度而大量繁殖, 试验组耐温性和耐酸性要高于自然发酵组, 因此接种菌株 36 发酵泡菜的乳酸菌数始终高于自然发酵组。金乐天等^[35]将植物乳杆菌 550 接种于朝鲜泡菜中, 与自然发酵组相比, 试验组活菌数在发酵 4 d 后达 7.10×10^7 CFU/mL 以上。

2.2.4 泡菜的感官评定

对自然发酵组及试验组泡菜进行感官评定(表 2)可知, 自然发酵组在香气和质地及滋味方面优于试验组, 而在色泽及形态方面, 试验组优于自然发酵组。总之, 自然发酵组与试验组间无显著差异 ($p > 0.05$)。

表 2 泡菜感官评定

类型	色泽及形态	香气	质地及滋味	总分
自然发酵组	22	27	36	85
试验组	27	23	32	82

3 结论

本研究将具有降解亚硝酸盐作用的植物乳杆菌 36 作为对象, 研究其生长特性及在泡菜制作中的应用, 探索其降低泡菜中亚硝酸盐含量, 提高泡菜的食用安全性提供依据。研究发现菌株 36 具有较强的耐酸性和耐盐能力; 在泡菜发酵初期, pH 值 > 4.5 , 亚硝酸盐的降解主要通过乳酸菌的亚硝酸盐还原酶来实现; 当 pH 值 < 4.0 , 则通过大量积累的乳酸来降解亚硝酸盐。通过将菌株 36 应用于泡菜制作中得知, 试验组中的 pH 值发酵至第 3 d 开始就降至 4.0 以下, 且总酸含量和亚硝酸盐降解率随之升高。而自然发酵组的 pH 值发酵至第 5 d 才降至 4.0 以下, 且总酸含量和亚硝酸盐降解率也随之升高。可见试验组中 pH 值下降速度、总酸含量、亚硝酸盐降解率显著高于自然发酵组, 表明接种菌株 36 发酵泡菜产酸能力更强、亚硝酸盐降解率更高、发酵周期更短, 这主要是因为乳酸菌在培养过程中不断产生乳酸, 导致发酵泡菜中 H^+ 浓度的升高(即 pH 值的降低和总酸的升高), 较高的酸度可以分解破坏亚硝酸盐, 从而使亚硝酸盐降解率升高, 且试验组(9.95 lg CFU/mL)的乳酸菌数显著高于自然发酵组(8.16 lg CFU/mL)。总之, 自然发酵组和试验组的感官评定无显著差异 ($p > 0.05$)。由此可见, 接种菌株 36 发酵泡菜具有很大的优越性, 其具有较高的产酸能力, 能够缩短发酵周期、提高亚硝酸盐降解率和泡菜的食用安全性。本试验结果为植物乳杆菌 36 的益生作用研究和在泡菜中的应用研究提供理论依据和实验数据。

参考文献

- [1] 李恒,陈功,伍亚龙,等.高通量测序方法研究传统四川泡菜母水中微生物群落的动态变化[J].食品科学,2018,39(24): 131-138
LI Heng, CHEN Gong, WU Yalong, et al. High-throughput sequencing methods to study the dynamic changes of microbial communities in traditional Sichuan pickle mother water [J]. Food Science, 2018, 39(24): 131-138
- [2] Jialu Cao, Jixia Yang, Qiangchuan Hou, et al. Assessment of bacterial profiles in aged, home-made Sichuan paocai brine with varying titratable acidity by PacBio SMRT sequencing technology [J]. Food Control, 2017, 78: 14-23
- [3] 陈功.试论中国泡菜历史与发展[J].食品与发酵科技,2010, 46(3):1-5
CHEN Gong. The history and development of Chinese pickle [J]. Food and Fermentation Technology, 2010, 46(3): 1-5
- [4] 荆雪娇,李艳琴,燕平梅,等.传统发酵蔬菜微生物群落结构分析[J].食品与发酵科技,2016,52(1):28-32
JING Xuejiao, LI Yanqin, YAN Pingmei, et al. Analysis of the microbial community structure of traditional fermented vegetables [J]. Food and Fermentation Technology, 2016, 52(1): 28-32
- [5] Jeong S H, Lee H J, Jung J Y, et al. Effects of red pepper powder on microbial communities and metabolites during kimchi fermentation [J]. International Journal of Food Microbiology, 2013, 160(3): 252-259
- [6] 陈仲翔,董英.泡菜工业化生产的研究进展[J].食品科技, 2004,4:33-35
CHEN Zhongxiang, DONG Ying. Research progress on the industrial production of pickles [J]. Food Science and Technology, 2004, 4: 33-35
- [7] 云俊岗,王俊生,沈珺.白砂糖生产过程中亚硝酸盐的控制[J].现代食品,2021,7:30-32
YUN Jungang, WANG Junsheng, SHEN Jun. Control of nitrite in sugar production [J]. Modern Food, 2021, 7: 30-32
- [8] 黄燕燕,刘冬梅,邝嘉华,等.植物乳杆菌 DMDL 9010 降解亚硝酸盐特性及其相关基因挖掘[J].现代食品科技,2021,37 (11):14-24,184
HUANG Yanyan, LIU Dongmei, KUANG Jiahua, et al. Nitrite degradation characteristics of *Lactobacillus plantarum* DMDL 9010 and related gene mining [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(11): 14-24, 184
- [9] 王奇,王传明,周雨,等.泡菜中微生物菌群的研究进展[J].中国调味品,2021,46(9):197-200
WANG Qi, WANG Chuanming, ZHOU Yu, et al. Research progress of microbial flora in pickles [J]. Chinese Seasoning, 2021, 46(9): 197-200
- [10] 黄道梅,孙娟,刘书亮,等.直投式复合菌剂泡菜循环发酵中辅料配方的优化及品质分析[J].食品工业科技,2015,36(8): 191-195
HUANG Daomei, SUN Juan, LIU Shuliang, et al. Optimization and quality analysis of auxiliary material formulations in the direct-injection compound inoculum pickle cyclic fermentation [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(8): 191-195
- [11] Ji Young Jung, Se Hee Lee, Hyo Jung Lee, et al. Effects of *Leuconostoc mesenteroides* starter cultures on microbial communities and metabolites during kimchi fermentation [J]. International Journal of Food Microbiology, 2012, 153(3): 378-387
- [12] 张庆峰,吴祖芳,张鑫,等.复合乳酸菌接种发酵对浙东腌冬瓜发酵品质的影响[J].核农学报,2017,31(3):500-507
ZHANG Qingfeng, WU Zufang, ZHANG Xin, et al. The effect of compound lactic acid bacteria inoculation fermentation on the fermentation quality of pickled winter melon in eastern Zhejiang [J]. Journal of Nuclear Agriculture, 2017, 31(3): 500-507
- [13] Xia Y, Liu X, Wang G, et al. Characterization and selection of *Lactobacillus brevis* starter for nitrite degradation of Chinese pickle [J]. Food Control, 2017, 78: 126-131
- [14] Park Kun Young, Jeong Ji Kang, Lee Young-Eun, et al. Health benefits of kimchi (Korean fermented vegetables) as a probiotic food [J]. Journal of Medicinal Food, 2014, 17(1): 6-20
- [15] Young J J, Hee L S, Ok J C. Kimchi microflora: history, current status, and perspectives for industrial kimchi production [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2014, 98(6): 2385-2393
- [16] 卫玲玲,应铁进,陈延,等.甘蓝泡菜发酵菌种的复配研究[J].中国食品学报,2012,12(8):93-97
WEI Lingling, YING Tiejing, CHEN Yan, et al. Study on the compound fermentation of cabbage pickle fermentation strains [J]. Chinese Journal of Food Science, 2012, 12(8): 93-97
- [17] Rempeng Du, Gang Song, Dan Zhao, et al. *Lactobacillus casei* starter culture improves vitamin content, increases acidity and decreases nitrite concentration during sauerkraut fermentation [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2018, 53(8): 1925-1931
- [18] 皮佳婷,刘冬敏,王建辉,等.乳酸菌降解泡菜中亚硝酸盐的机制及应用研究现状[J].食品与发酵工业,2021,47(24): 301-307
PI Jiating, LIU Dongmin, WANG Jianhui, et al. The mechanism and application research status of lactic acid bacteria degrading nitrite in pickle [J]. Food and Fermentation Industry, 2021, 47(24): 301-307

- [19] 潘冬梅,吴怡瑾,王玉露,等.茶多酚辅助植物乳杆菌 FQR 降解亚硝酸盐效应的研究[J].中国酿造,2020,39(5):131-134
PAN Dongmei, WU Yijin, WANG Yulu, et al. Study on the effect of tea polyphenols in assisting *Lactobacillus plantarum* FQR to degrade nitrite [J]. China Brewing, 2020, 39(5): 131-134
- [20] 姚荷,谭兴和,张春艳,等.发酵蔬菜中乳酸菌降解亚硝酸盐的研究进展[J].中国酿造,2018,37(7):22-25
YAO He, TAN Xinghe, ZHANG Chunyan, et al. Research progress on degradation of nitrite by lactic acid bacteria in fermented vegetables [J]. China Brewing, 2018, 37(7): 22-25
- [21] 邹辉,刘晓英,陈义伦,等.泡菜(白菜)腌制过程中有机酸对亚硝酸盐含量的影响[J].食品与发酵工业,2013,39(11):29-32
ZOU Hui, LIU Xiaoying, CHEN Yilun, et al. The effect of organic acids on the content of nitrite in the pickling process of pickle (cabbage) [J]. Food and Fermentation Industries, 2013, 39(11): 29-32
- [22] 林浩,林伟锋,陈中.2 株乳酸菌对亚硝酸盐的降解作用及其降解机理的初步分析[J].食品与发酵工业,2013,39(7):65-68
LIN Hao, LIN Weifeng, CHEN Zhong. Preliminary analysis on the degradation of nitrite by two lactic acid bacteria and its degradation mechanism [J]. Food and Fermentation Industry, 2013, 39(7): 65-68
- [23] 李文婷,车振明,雷激,等.乳酸菌制剂发酵泡菜品质及安全性研究[J].西华大学学报(自然科学版),2011,30(3):97-100, 112
LI Wenting, CHE Zhenming, LEI Ji, et al. Study on the quality and safety of lactic acid bacteria fermented pickle [J]. Journal of Xihua University (Natural Science Edition), 2011, 30(3): 97-100, 112
- [24] 张庆芳,迟乃玉,郑学仿,等.短乳杆菌(*Lactobacillus brevis*)去除亚硝酸盐的研究[J].微生物学通报,2004,31(2):55-60
ZHANG Qingfang, CHI Naiyu, ZHENG Xuefang, et al. Research on the removal of nitrite by *Lactobacillus brevis* [J]. Microbiology Bulletin, 2004, 31(2): 55-60
- [25] 邱崇顺.降解亚硝酸盐乳酸菌的筛选鉴定、应用和NiRs酶学性质研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2020
QIU Chongshun. Screening, identification and application of nitrite-degrading lactic acid bacteria and research on the enzymatic properties of NiRs [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2020
- [26] 郭云仙.乳酸菌在泡菜发酵工艺中的应用研究[J].中国调味品,2014,39(11):50-52
GUO Yunxian. Study on the application of lactic acid bacteria in pickle fermentation [J]. Chinese Seasoning, 2014, 39(11): 50-52
- [27] 朱娜娜,张燕,程伟,等.食品中总酸的测定及不确定度评定[J].酿酒,2020,47(5):35-37
ZHU Nana, ZHANG Yan, CHENG Wei, et al. Determination of total acid in food and its uncertainty evaluation [J]. Liquor-making, 2020, 47(5): 35-37
- [28] 奎梦漪,薛桥丽,康娇,等.云南自然发酵酸菜液中乳酸菌的分离鉴定及其发酵性能研究[J].安徽农业科学,2017,45(8):107-109
KUI Mengyi, XUE Qiaoli, KANG Jiao, et al. Isolation and identification of lactic acid bacteria in Yunnan naturally fermented sauerkraut liquid and its fermentation performance [J]. Anhui Agricultural Sciences, 2017, 45(8): 107-109
- [29] 刘艳容,舒永红,杨佳玮,等.食品中乳酸菌定量检测方法研究进展[J].食品工业科技,2020,41(12):358-365
LIU Yanrong, SHU Yonghong, YANG Jiawei, et al. Research progress in quantitative detection methods of lactic acid bacteria in food [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(12): 358-365
- [30] 敖军.四川泡菜强化发酵工艺初探[J].中国调味品,2021,46(1):91-94
AO Jun. Preliminary study on the intensified fermentation technology of Sichuan pickles [J]. Chinese Seasoning, 2021, 46(1): 91-94
- [31] 李幼筠,周邈.泡菜酿造剖析[J].中国酿造,2013,32(3):1-7
LI Youyun, ZHOU Li. Analysis of pickle brewing [J]. China Brewing, 2013, 32(3): 1-7
- [32] 王新惠,夏艳丽,张雅琳,等.植物乳酸杆菌对辣椒酱品质的影响[J].中国调味品,2020,45(4):44-46,54
WANG Xinhui, XIA Yanli, ZHANG Yalin, et al. The effect of *Lactobacillus plantarum* on the quality of chili sauce [J]. Chinese Condiments, 2020, 45(4): 44-46, 54
- [33] 马艳弘,魏建明,侯红萍,等.发酵方式对山药泡菜理化特性及微生物变化的影响[J].食品科学,2016,37(17):179-184
MA Yanhong, WEI Jianming, HOU Hongping, et al. Effects of fermentation methods on physical and chemical properties and microbial changes of yam pickle [J]. Food Science, 2016, 37(17): 179-184
- [34] 褚路路,杨丽聪,郑国栋.响应面法优化大白菜腌制条件[J].食品工业科技,2018,39(14):147-151
CHU Lulu, YANG Licong, ZHENG Guodong. Response surface methodology to optimize pickling conditions of Chinese cabbage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(14): 147-151
- [35] 金乐天,吴诗榕,刘同杰,等.植物乳杆菌接种发酵对朝鲜泡菜品质的影响[J].食品工业科技,2014,35(23):195-198
JIN Letian, WU Shirong, LIU Tongjie, et al. The effect of *Lactobacillus plantarum* inoculation and fermentation on the quality of kimchi [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(23): 195-198