

泡菜盐水中植物乳杆菌的分离鉴定及发酵性能研究

何 航¹, 周月珺¹, 赵智远², 屠大伟¹, 尤琳烽¹

1. 重庆工商大学 食品科学与工程学院, 重庆 400067

2. 察右后旗检验检测中心, 内蒙古自治区 乌兰察布市 012400

摘 要:目的 筛选优良乳酸菌菌株以构建泡菜发酵菌种。方法 利用稀释涂布法和平板划线法从泡菜盐水中分离乳酸菌,通过形态学观察法(菌落观察,革兰氏染色法)、生理生化鉴定(EasyID 乳酸菌生化鉴定试剂盒)、16S rDNA 基因测序和系统发育树的构建确定细菌种类并对其耐盐、产酸和抑菌能力测试。结果 共分离得到 16 株疑似乳酸菌菌株,菌落成圆形凸起状,颜色多为乳白色或白色,菌体成短杆状或球状且均为革兰氏阳性。经过生理生化鉴定排除了 4 株菌株,最终确定了 11 株细菌为植物乳杆菌,其中菌株 4-1、4-2、5-2、5-3 的产酸能力最优,pH 值前 12 h 下降趋势显著;随着盐度的增加,植物乳杆菌生长均受到不同程度抑制,菌株 1-1 的耐渗透压能力最强;11 株植物乳杆菌的抑菌能力有差异,菌株 3-1、3-3、3-4、3-5、4-2 的抑菌能力显著,对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑制强度最大。结论 从泡菜盐水中筛选得到的植物乳杆菌发酵特性优良,可进一步作为泡菜工业生产的菌种来源。

关键词:泡菜;植物乳杆菌;鉴定;发酵

中图分类号:TS201.3 文献标识码:A doi:10.16055/j.issn.1672-058X.2025.0005.002

Isolation, Identification and Fermentation Performance Study of *Lactobacillus Plantarum* in Paocai Brine

HE Hang¹, ZHOU Yuejun¹, ZHAO Zhiyuan², TU Dawei¹, YOU Linfeng¹

1. School of Food Science and Engineering, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China

2. Chayouhouqi Inspection and Testing Center, Inner Mongolia Wulanchabu 012400, China

Abstract: Objective The study focuses on the screening of high quality *lactic acid bacteria* strains and construction of Paocai fermentation strains. **Methods** *Lactic acid bacteria* were isolated from Paocai brine using diluted spreading plate and the streak plate. The bacterial species were identified by morphological observation (colony observation, Gram's stain), physiological and biochemical identification (EasyID *Lactobacillus* biochemical identification kit), 16S rDNA gene sequencing, and construction of phylogenetic tree. The *lactic acid bacteria* were tested for salt resistance, acid production and antibacterial activity. **Results** A total of 16 strains of suspected *lactic acid bacteria* were isolated, the colonies were rounded protruding, the colours were mostly milky white or white, and the bodies were short rods or globules, all of which were Gram-positive. After physiological and biochemical identification, 4 strains were excluded and 11 strains were finally identified as *Lactiplantibacillus plantarum*. Strains 4-1, 4-2, 5-2, and 5-3 had the best acid-producing ability, and the

收稿日期:2024-01-11 修回日期:2024-03-22 文章编号:1672-058X(2025)05-0011-07

基金项目:重庆市自然科学基金项目(CSTB2022NSCQ-LZX0078,CSTC2019JCYJ-MSXMX0263);重庆市教育委员会科学技术研究项目(KJQN202200836,KJQN202200848);重庆工商大学科学研究项目(2256016,2256005)。

作者简介:何航(1997—),男,硕士研究生,从事食品微生物研究。

通信作者:尤琳烽(1987—),男,四川广元人,副教授,博士,从事食品微生物研究。Email:youlf@ctbu.edu.cn.

引用格式:何航,周月珺,赵智远,等.泡菜盐水中植物乳杆菌的分离鉴定及发酵性能研究[J].重庆工商大学学报(自然科学版),2025,42(5):11-17.

HE Hang, ZHOU Yuejun, ZHAO Zhiyuan, et al. Isolation, identification and fermentation performance study of *Lactobacillus plantarum* in Paocai brine[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2025, 42(5): 11-17.

decreasing trend of pH value in the first 12 h was significant. With the increase of salinity, the growth of *Lactobacillus plantarum* was inhibited to varying degrees, and strain 1-1 had the strongest osmotic pressure tolerance. 11 strains of *Lactobacillus plantarum* had different inhibitory abilities, and strains 3-1, 3-3, 3-4, 3-5, and 4-2 had significant abilities, with the greatest inhibitory strengths against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. **Conclusion** *Lactiplantibacillus plantarum* screened from Paocai brine has great fermentation potential and can be further used as a source of strains for the industrial production of Paocai.

Keywords: Paocai; *lactiplantibacillus plantarum*; identification; fermentation

1 引言

泡菜是川菜系中的传统特色发酵食品。乳酸菌是泡菜自然发酵过程的优势菌,可促进泡菜品质成熟^[1]。目前,川渝地区居民、作坊或企业多使用传统工艺,即主要利用容器及蔬菜携带的微生物进行厌氧发酵^[2]。但仅依靠原材料携带的乳酸菌进行发酵有较高的失败率,且产品风味质量存在较大差异。因此,开展适用于泡菜工业的乳酸菌资源挖掘与利用,尤其是从泡菜母水中分离优良的乳酸菌菌种,成为当下热点。

植物乳杆菌是乳酸菌的一种,具有诸多保健功能与作用,如免疫调节功能^[3]、抑制致病菌生命活动^[4]、降低胆固醇含量、减少肿瘤等风险^[5-6]、减轻乳糖不耐症^[7]等。植物乳杆菌作为泡菜中的优势微生物,其产酸能力较强,可作为泡菜发酵剂。YU 等^[8]比较了泡菜来源的发酵乳杆菌 FM 8、乳杆菌 FM 10 和植物乳杆菌 FM 17 在泡菜中的发酵特性,发现接种乳酸菌后,泡菜中的醇、酯、酸等含量增加,且接种植物乳杆菌 FM 的泡菜风味更佳,具有最高的总体可接受性得分。此外,有研究报道,乳酸菌在泡菜发酵中还具有调节 pH 值、降解亚硝酸盐、抑制有害微生物等功效^[9-10]。虽然乳酸菌已被证实具有改善泡菜品质的作用,但并非所有乳酸菌都适合泡菜工业发酵体系,不同种甚至同一种的不同菌株间特性的差异都会使产品品质产生极大的差别^[11]。

为此,本研究将从泡菜中分离鉴定出乳酸菌,比较其生理生化特性、产酸能力、耐渗透压能力以及抑菌能力,以筛选出优良发酵特性的乳酸菌,为泡菜发酵行业提供菌种。

2 材料与方法

2.1 材料与仪器

泡菜母水 1,恩施州李不馋食品有限公司;泡菜母水 2,安康山野村夫商贸有限公司;泡菜母水 3,四川王婆家食品有限公司;泡菜母水 4-6,江油蜀味山珍商贸有限公司;泡菜母水 7,四川眉山家好食品有限公司;泡

菜母水 8,峨眉山久久香食品有限公司;MRS 肉汤,北京奥博星生物技术有限公司;EasyID 乳酸菌生化鉴定盒,广东环凯微生物科技有限公司;细菌基因组 DNA 提取试剂盒,北京索莱宝科技有限公司。

JY2002 电子分析天平,上海精密科学仪器有限公司;UB102i 正置生物显微镜,重庆澳浦光电技术有限公司;XFS-280 手提式压力蒸汽灭菌器,上海尚普仪器设备有限公司;Bante210 pH 计,上海般特仪器制造有限公司;GHP-9080 隔水式恒温培养箱,上海齐欣科学仪器有限公司;VD650 净化工作台,上海尚道仪器制造有限公司;VORTEX 2 涡旋混合器,广州仪科实验室技术有限公司。

2.2 研究方法

2.2.1 乳酸菌的分离

参考林龙镇等^[12]的方法并略有修改,使用无菌生理盐水分别将 1—8 号泡菜母水样品逐级稀释,得到浓度为 1×10^{-1} 、 1×10^{-2} 的样品,分别吸取原液、 1×10^{-1} 、 1×10^{-2} 3 个浓度的样品 0.2 mL,涂布至 MRS 肉汤固体培养基中,37 °C 下静置培养 24 h,观察菌落形态,挑取单菌落接种于含液体 MRS 培养基的离心管内,37 °C 下静置培养 24 h,逐一加入浓度为 50% 的甘油,保存于 -80 °C 冰箱内,以便后续使用。

2.2.2 菌落及形态观察

观察 MRS 肉汤固体培养基中单菌落的形态、大小、颜色等,对疑似乳酸菌的菌落挑出进行革兰氏染色。在油镜下观察 G+ 菌体形态、大小和排列方式等。

2.2.3 生理生化鉴定

使用 EasyID 乳酸菌生化鉴定试剂盒对各菌株进行生理生化鉴定^[13]。菌种接入生化鉴定管后于 37 °C 下静置培养 48 h,并滴入一滴茆三酮溶液,37 °C 静置培养 10 min,对照比色标准进行颜色比对,根据阳性特征和阴性特征判断其结果。

2.2.4 16S rRNA 基因序列分析

将乳酸菌株分别接种到 MRS 肉汤中,37 °C 静止培养 24 h 后,于 4 °C、12 000 r/min 离心 1 min,收集沉淀。

采用细菌基因组 DNA 提取试剂盒提取各菌株基因组 DNA,用通用引物 27F(5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3')和 1492R(5'-GGTTACCTTGTACGACTT-3')进行 PCR 扩增,扩增条件为 94 ℃ 3 min,94 ℃ 1 min,60 ℃ 1 min,72 ℃ 1 min,33 个循环。扩增产物送至上海生物工程有限公司测序,经 NCBI 数据库同源性比对后,使用 MEGA7 软件将鉴定比对后的乳酸菌基因序列与 GenBank 数据库中选出的基因序列通过最大似然法构建发育树^[14]。

2.2.5 乳酸菌产酸能力测定

按 2% 接种量将菌株接种于 MRS 培养基中,置于 37 ℃ 恒温培养,0~12 h 期间每两小时使用 pH 计测定各时间点发酵液 pH 值,再次培养 12 h 使用 pH 计测定最终发酵液 pH 值,每次取样 10 ml^[15]。每个样品平行测定 3 次,绘制乳酸菌产酸曲线。

2.2.6 乳酸菌耐渗透压能力测定

将各菌株分别接种于 NaCl 浓度为 0%、2%、4%、6%、8% 的 MRS 培养基中,置于 37 ℃ 下恒温静置培养 24 h,利用酶标仪测定各菌在不同盐浓度下的 OD_{600 nm} 值^[16]。每个样品平行测定 3 次,绘制耐渗透压曲线。

2.2.7 抑菌能力测定

以大肠杆菌和金黄色葡萄球菌分别为指示菌,采用牛津杯琼脂扩散法测定发酵上清液抑菌活性^[17]。通过抑菌直径评价各菌株的抑菌活性,每种指示菌设置 3 个重复。

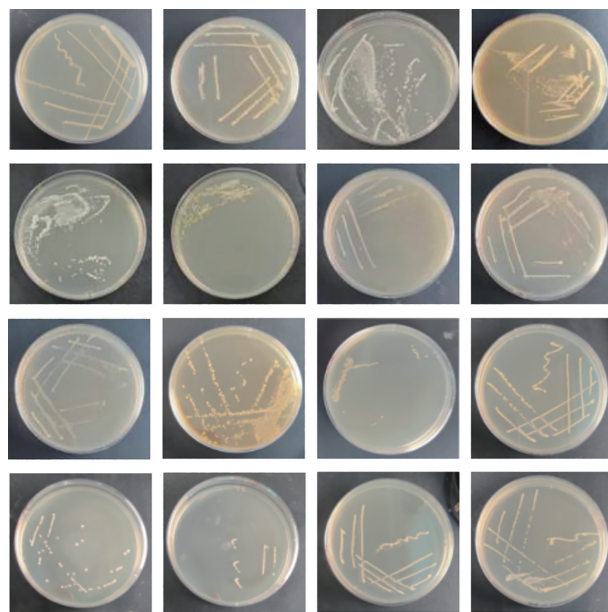
2.2.8 统计与分析

实验均重复 3 次。使用 SPSS 26.0 软件进行数据处理,在当 $p < 0.05$ 时,使用方差分析和 Duncan 多重比较来确定显著性差异。使用 Office 2022 制作表格,使用 Origin 2022 和 Adobe Illustrator 2023 进行绘图。

3 结果与分析

3.1 菌落形态及菌体特征

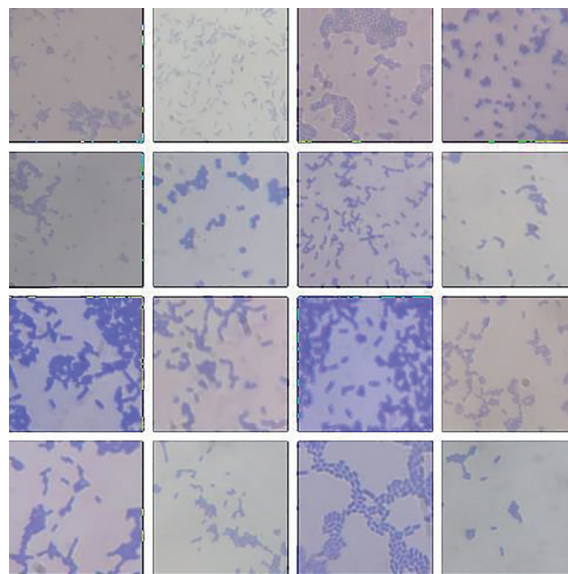
从泡菜母水样品中分离出 16 个菌株,并进行菌落形态观察和革兰氏染色。根据图 1、图 2 和表 1 所示:16 株菌的菌落均为圆形;除了 1-2 菌落表面干燥外,其他 15 株菌菌落表面均光滑;1-2、2-1 菌落呈淡黄色,其他 14 株菌落均呈乳白色。镜检显示 1-1、1-3、1-4、1-5、2-1 的菌体呈球状,其余 11 株菌体呈短杆状;16 株菌革兰氏染色结果均为阳性。因此,16 株分离出的菌株初步满足乳酸菌特征,为疑似乳酸菌。



注:第一排从左到右依次为 1-1、1-2、1-3、1-4;第二排从左到右依次为 1-5、2-1、3-1、3-2;第三排从左到右依次为 3-3、3-4、3-5、4-1;第四排从左到右依次为 4-2、5-1、5-2、5-3。

图 1 各菌株的菌落形态

Fig. 1 Colony morphologies of 16 strains



注:第一排从左到右依次为 1-1、1-2、1-3、1-4;第二排从左到右依次为 1-5、2-1、3-1、3-2;第三排从左到右依次为 3-3、3-4、3-5、4-1;第四排从左到右依次为 4-2、5-1、5-2、5-3。

图 2 革兰氏染色后的菌体形态

Fig. 2 Morphologies of 16 strains after Gram staining

3.2 疑似乳酸菌的生理生化鉴定

参照冯全文等^[18]的方法,利用乳酸菌生化鉴定盒对 16 株疑似乳酸菌进行生理生化鉴定,如表 2 所示。16 株疑似乳酸菌在马尿酸钠中的生化反应均呈阴性;其中菌株 1-1、2-1、3-1、3-2、3-3、3-4、3-5、4-1、4-2、5-1、5-2、5-3 在鉴定管中均呈阳性,生理生化性质与植物乳杆菌一致,因此初步鉴定这 12 株菌为植物乳杆

菌,1-2、1-3、1-4、1-5 在七叶苷中呈阴性,初步鉴定排除这 4 株菌为植物乳杆菌。

表 1 16 株菌菌落形态及菌体特征
Table 1 Colony morphologies and body characteristics of 16 strains

菌株编号	菌落形态及颜色	菌体特征
1-1	圆形凸起,表面光滑,乳白色	球状,成对或成链状排列
1-2	圆形凸起,表面干燥,淡黄色	短杆状,成对或成链状排列
1-3	圆形凸起,表面光滑,乳白色	球状,成对或成链状排列
1-4	圆形凸起,表面光滑,乳白色	球状,成对或成链状排列
1-5	圆形凸起,表面光滑,乳白色	球状,成对或成链状排列
2-1	圆形凸起,表面光滑,淡黄色	球状,成对或成链状排列
3-1	圆形凸起,表面光滑,乳白色	短杆状,成对或成链状排列
3-2	圆形凸起,表面光滑,乳白色	短杆状,成对或成链状排列
3-3	圆形凸起,表面光滑,乳白色	短杆状,成对或成链状排列
3-4	圆形凸起,表面光滑,乳白色	短杆状,成对或成链状排列
3-5	圆形凸起,表面光滑,乳白色	短杆状,成对或成链状排列
4-1	圆形凸起,表面光滑,乳白色	短杆状,成对或成链状排列
4-2	圆形凸起,表面光滑,乳白色	短杆状,成对或成链状排列
5-1	圆形凸起,表面光滑,乳白色	短杆状,成对或成链状排列
5-2	圆形凸起,表面光滑,乳白色	短杆状,成对或成链状排列
5-3	圆形凸起,表面光滑,乳白色	短杆状,成对或成链状排列

表 2 各菌生理生化鉴定结果
Table 2 Physical and biochemical test results of 16 strains

序号	菌株	七叶苷	纤维二糖	麦芽糖	甘露醇	水杨苷	山梨醇	蔗糖	棉子糖	菊糖	乳糖	马尿酸钠
1	1-1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
2	1-2	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
3	1-3	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
4	1-4	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
5	1-5	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
6	2-1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
7	3-1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
8	3-2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
9	3-3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
10	3-4	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
11	3-6	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
12	4-1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
13	4-2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
14	5-1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
15	5-2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
16	5-3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-

3.3 16S rDNA 基因序列分析

根据 Fernando Cobo 等^[19]的论述,当 16S rRNA 的序列 ≥ 99%的鉴定被认为是正确的。菌株 1-2、1-3、1-4、1-5 与 *Staphylococcus epidermidis* 的同源性大于 99%,故这 4 株菌鉴定为表皮葡萄球菌;菌株 2-1 与 *Staphylococcus haemolyticus* 的同源性大于 99%,故鉴定为溶血性葡萄球菌;其余菌株与 *Lactiplantibacillus*

plantarum 的同源性大于 99%,故这 11 株菌鉴定为植物乳杆菌。进一步利用 MEGA 7.0 构建系统发育树,如图 3 所示,菌株 1-1、3-1、3-2、3-3、3-4、3-5、4-1、5-1、5-2、5-3 与 *L. plantarum* 8301、*L. plantarum* 8193 从同一个结分支出,菌株 4-2 与 *L. plantarum* M-6 从同一个结分支出,具有很近的亲缘关系,结合前述鉴定结果,这 11 株菌鉴定为植物乳杆菌(表 3)。

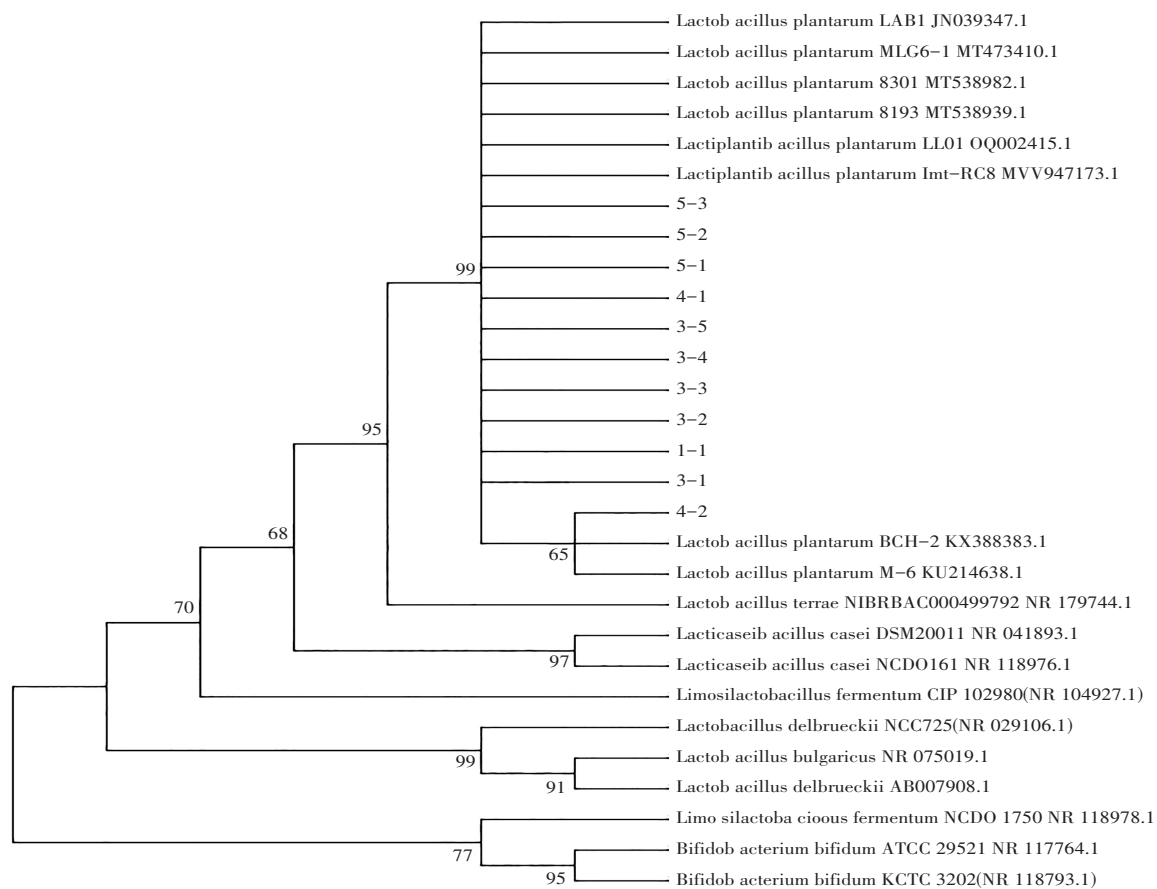


图 3 基于 16S rDNA 基因的系统发育树

Fig. 3 A phylogenetic tree of 11 strains based on the 16S rDNA gene sequences

表 3 11 株乳酸菌 16S rDNA 比对结果

Table 3 Comparison results of 16S rDNA for 11 strains

菌株编号	种属鉴定	相似度	GenBank 登录号
1-1	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	1384/1392 (99%)	MW947173.1
1-2	<i>Staphylococcus epidermidis</i>	1420/1423 (99%)	LC484765.1
1-3	<i>Staphylococcus epidermidis</i>	1421/1422 (99%)	LC648436.1
1-4	<i>Staphylococcus epidermidis</i>	1419/1422 (99%)	LC648436.1
1-5	<i>Staphylococcus epidermidis</i>	1403/1409 (99%)	CP121529.1
2-1	<i>Staphylococcus haemolyticus</i>	1441/1444 (99%)	KU179371.1
3-1	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	1354/1357 (99%)	MT473410.1
3-2	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	1375/1383 (99%)	OP107893.1
3-3	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	1415/1432 (99%)	MN493118.1
3-4	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	1411/1412 (99%)	MW090367.1
3-5	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	1463/1463 (100%)	MT604731.1
4-1	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	1436/1441 (99%)	MT538598.1
4-2	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	1443/1443 (100%)	MH111537.1
5-1	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	1444/1447 (99%)	MT544853.1
5-2	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	1433/1433 (100%)	MT538527.1
5-3	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	1432/1432 (100%)	MT545027.1

3.4 乳酸菌产酸能力测定

乳酸菌产酸能力跟发酵活性相关^[20]。如图 4 所示,植物乳杆菌在 24 h 的发酵过程中,发酵液 pH 值呈逐渐下降趋势。在前 6 h,除菌株 4-1 外的 pH 值显著下降外($P<0.05$),其他细菌的下降趋势不明显;在

8~12 h 之间,菌株 3-2、3-3、3-4、4-1、4-2、5-2、5-3 的 pH 值显著下降($P<0.05$),菌株 1-1、3-1 和 3-5 的 pH 值无明显变化,此外菌株 4-1、4-2、5-2、5-3 的 pH 值显著低于其他细菌($P<0.01$)。当时间达 24 h 时,菌株 1-1、3-1、3-2、3-3、3-4、4-1、4-2、5-1、5-2、5-3 的

pH 值均降至 4.00 以下,而菌株 5-1 的 pH 值(5.48)却显著高于其他细菌($P < 0.01$),其产酸能力较差。

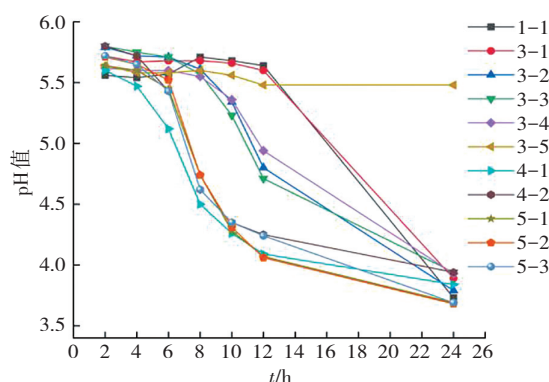


图 4 11 株乳酸菌发酵液 pH 值的变化

Fig. 4 Change of pH values of 11 Lactobacillus strains

3.5 乳酸菌耐渗透压能力测定

耐渗透压能力可作为筛选优良乳酸菌的重要指标之一,能否在高盐环境下生存并成为优势菌群,一定程度上决定了泡菜的风味及质量^[21]。如图 5 所示,随着 NaCl 浓度增加,植物乳杆菌的生长均受到不同程度的抑制。当 NaCl 浓度为 6% 时,菌株 1-1 和 3-2 的 OD_{600} 值下降趋势较为平缓,且菌株 1-1 的 OD_{600} 值(0.651)显著高于其他细菌($P < 0.05$),菌株 4-2 的 OD_{600} 值(0.022)显著低于其他细菌($P < 0.05$);当盐浓度为 8% 时,所有细菌的生长菌受到严重抑制,几乎不生长,这可能是由于细胞外渗透压过高导致细胞大量失水造成的。此外,菌株 5-1、5-2、5-3 的最适生长 NaCl 浓度在 2%~4%,当盐浓度达到 6% 时, OD_{600} 值大幅下降。综上所述,菌株 1-1 和 3-2 的耐渗透压能力较好,菌株 4-2 的耐渗透压能力最差。

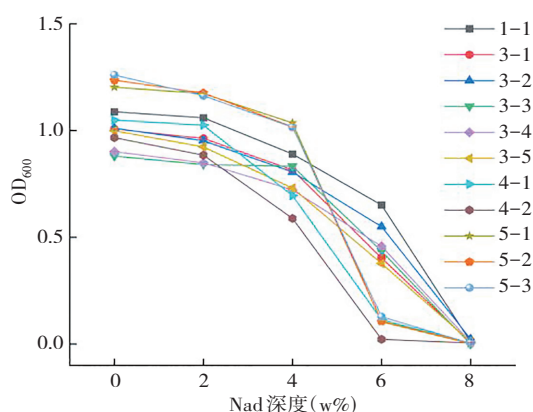


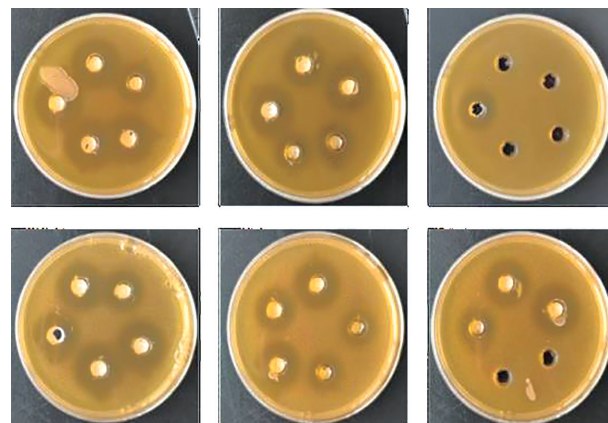
图 5 乳酸菌耐盐试验结果

Fig. 5 Salt resistance test of lactic acid bacteria

3.6 乳酸菌抑菌能力测定

在泡菜生产过程中加入乳酸菌可以缩短发酵周期并提高产品品质^[22],其抑菌能力与食品安全息息相关。11 株植物乳杆菌发酵液的抑菌情况见图 6。11 株植物乳杆菌对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌均有不同程度的抑制效果。对于大肠杆菌,3-1、3-3、3-4、3-5、4-2 抑菌

圈最大,1-1、4-1 次之,3-2、5-1、5-2、5-3 抑菌圈最小。对于金黄色葡萄球菌,1-1、3-1、3-3、3-4、3-5、4-2 抑菌圈最大,3-2、4-1 次之,5-1、5-2、5-3 抑菌圈最小。



注:第一排以大肠杆菌为指示菌,第二排以金黄色葡萄球菌为指示菌

图 6 11 株植物乳杆菌发酵液的抑菌圈

Fig. 6 Inhibition effect on 11 strains of lactic acid bacteria against *E. coli* and *S. aureus*

4 结 论

试验从四川泡菜母水中分离乳酸菌,经形态学观察、生理生化试验及分子生物学鉴定,筛选得到 11 株植物乳杆菌,并已上传至 GenBank 数据库。将鉴定出的植物乳杆菌分别进行了耐盐、产酸和抑菌 3 项指标的试验,表明菌株 1-1 的耐渗透压能力最优,4-1、4-2、5-2、5-3 的产酸能力较优,3-1、3-3、3-4、3-5、4-2 的抑菌能力较优。表型和理化性质上的不同,可能是由于其基因表达情况的差异,这种差异具体表现在哪些基因上尚未知晓,可在后续进行深入研究。研究中筛选得到的乳酸菌,是否能应用于泡菜生产,还需要深入了解各菌株在真实生产条件下的产香特性、发酵稳定性、遗传稳定性等。

参考文献(References):

- [1] 黄和升,王海平,王庆权. 发酵方式对牛蒡泡菜理化特性及微生物数量变化的影响[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(14): 112-117.
HUANG He-sheng, WANG Hai-ping, WANG Qing-quan. Effects of fermentation methods on physicochemical characteristics and microbiological quantity of pickled burdock[J]. Food Research and Development, 2022, 43(14): 112-117.
- [2] 李玉德,黄庆才. 四川传统泡菜中乳酸菌分离与鉴定[J]. 绵阳师范学院学报, 2020, 39(11): 61-65.
LI Yu-de, HUANG Qing-cai. Isolation and identification of lactic acid bacteria from Sichuan traditional Paocai[J]. Journal of Mianyang Teachers' College, 2020, 39(11): 61-65.
- [3] MASTUBA Y, OKAMOTO K, KATO Y, et al. Fermented ethnic medicine (*Pueraria mirifica*) designed by lactobacillus regulated leukocyte subsets via activation of complement components[J]. Open Journal of Rheumatology and Autoimmune Diseases, 2017, 7(1): 65-79.

- [4] PARK S E, SEO S H, KIM E J, et al. Changes of microbial community and metabolite in kimchi inoculated with different microbial community starters[J]. Food Chemistry, 2019, 274: 558–565.
- [5] CASCELLA M, BIMONTE S, BARBIERI A, et al. Dissecting the mechanisms and molecules underlying the potential carcinogenicity of red and processed meat in colorectal cancer (CRC): An overview on the current state of knowledge[J]. Infectious Agents and Cancer, 2018, 13(1): 2–8.
- [6] 唐京, 陈明, 柯文灿, 等. 乳酸菌在疾病防治和人体保健中的应用研究进展[J]. 微生物学杂志, 2017, 37(4): 98–107.
- [7] TANG Jing, CHEN Ming, KE Wen-can, et al. Advances in lacto-bacteria in disease control, prevention and health care[J]. Journal of Microbiology, 2017, 37(4): 98–107.
- [8] 徐丹萍, 蒲彪, 卓志航. 传统泡菜中乳酸菌对风味的影响[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(2): 170–173.
- [9] XU Dan-ping, PU Biao, ZHUO Zhi-hang. Effects of lactic acid bacteria on flavor of traditional Paocai[J]. Food and Fermentation Industries, 2014, 40(2): 170–173.
- [10] YU Y, XU Y, LI L, et al. Isolation of lactic acid bacteria from Chinese pickle and evaluation of fermentation characteristics[J]. LWT, 2023, 180(1): 114627.
- [11] CHOI S J, YANG S Y, YOON K S. Lactic acid bacteria starter in combination with sodium chloride controls pathogenic Escherichia coli (EPEC, ETEC, and EHEC) in kimchi[J]. Food Microbiology, 2021, 100(4): 1–10.
- [12] MOON S H, KIM C R, CHANG H C. Heterofermentative lactic acid bacteria as a starter culture to control kimchi fermentation[J]. LWT, 2018, 88(2): 181–188.
- [13] CHOI Y J, YONG S, LEE M J, et al. Changes in volatile and non-volatile compounds of model kimchi through fermentation by lactic acid bacteria[J]. LWT, 2019, 105(6): 118–126.
- [14] 林龙镇, 邹卫玲, 李安章, 等. 产酸、耐酸乳酸菌的分离鉴定及益生特性[J]. 华南农业大学学报, 2018, 39(2): 95–102.
- [15] LIN Long-zhen, ZOU Wei-ling, LI An-zhang, et al. Isolation, identification and probiotic characteristics of acid-producing and acid-resistant Lactobacillus strains[J]. Journal of South China Agricultural University, 2018, 39(2): 95–102.
- [16] 陈芝兰, 田发益, 何建清, 等. 西藏地区发酵牛乳中产细菌素乳酸菌的筛选及鉴定[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(10): 6–11.
- [17] CHEN Zhi-lan, TIAN Fa-yi, HE Jian-qing, et al. Screening and identification of bacteriocin-producing lactic acid bacteria from Tibet fermented milk products[J]. Food and Fermentation Industries, 2012, 38(10): 6–11.
- [18] IMADE E E, OMONIGHO S E, BABALOLA O O, et al. Dataset of 16S ribosomal DNA sequence-based identification of bacteriocinogenic lactic acid bacteria isolated from fermented food samples[J]. Data in Brief, 2023, 52(5): 1–9.
- [19] 罗强, 李幸洋, 陈炼红, 等. 传统发酵泡菜中乳酸菌种群组成及优良菌株产酸耐酸特性分析[J]. 食品科学, 2021, 42(2): 158–163.
- [20] LUO Qiang, LI Xing-yang, CHEN Lian-hong, et al. Composition of lactic acid bacteria in traditional Chinese pickles and analysis of acid production and acid tolerance characteristics of excellent strains[J]. Food Science, 2021, 42(2): 158–163.
- [21] 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.
- [22] LIU Wei, QIU Chong-shun, HE Yu-xing, 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.
- [23] 黄晓英. 传统发酵食品中具有抑菌特性乳酸菌的筛选, 抑菌机理及其在泡菜发酵中的应用[J]. 西南民族大学学报(自然科学版), 2022, 2023(3): 158–163.
- [24] HUANG Xiao-ying. Screening of lactic acid bacteria with bacteriostatic properties in traditional fermented foods, bacteriostatic mechanism and its application in kimchi fermentation[J]. Journal of Southwest University for Nationalities (Natural Science Edition), 2022, 2023(3): 158–163.
- [25] 冯全文, 王菲, 战立聪, 等. 西藏源牦牛肠道乳酸菌的生化鉴定及 16srRNA 基因序列分析[J]. 高原农业, 2018, 2(2): 101–106.
- [26] FENG Quan-wen, WANG Fei, ZHAN Li-cong, et al. Biochemical identification of lactobacillus from Tibet yak and sequence analysis of 16S rRNA gene[J]. Journal of Plateau Agriculture, 2018, 2(2): 101–106.
- [27] COBO F, PÉREZ-CARRASCO V, MARTÍN-HITA L, et al. Comparative evaluation of MALDI-TOF MS and 16S rRNA gene sequencing for the identification of clinically relevant anaerobic bacteria: critical evaluation of discrepant results[J]. Anaerobe, 2023, 82(10): 1–7.
- [28] 王磊, 张洁, 赵国忠. 东北酸菜优良乳酸菌筛选及其抑菌特性研究[J]. 中国酿造, 2017, 36(7): 48–52.
- [29] WANG Lei, ZHANG Jie, ZHAO Guo-zhong. Screening and antibacterial property of superior lactic acid bacteria from pickled Chinese cabbage in Northeast of China[J]. China Brewing, 2017, 36(7): 48–52.
- [30] 张其圣, 陈功, 申文熹, 等. 低盐泡菜乳酸菌群落演变及其优势菌群的探讨[J]. 中国食品学报, 2018, 18(9): 109–119.
- [31] ZHANG Qi-sheng, CHEN Gong, SHEN Wen-xi, et al. Evolution of lactic acid bacteria communities from low salt Paocai and discussion of the dominant communities[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2018, 18(9): 109–119.
- [32] MOHAMAD N I, MANAN M A, SANI N A. Isolation and identification of lactic acid bacteria from local pickled mango with antibacterial potential[C]//Proceedings of the THE 2018 UKM FST POSTGRADUATE COLLOQUIUM: Proceedings of the Universiti Kebangsaan Malaysia, Faculty of Science and Technology 2018 Postgraduate Colloquium, AIP Conference Proceedings. 2019: 1–7.

责任编辑:陈芳