

沙棘玫瑰醋高产酸菌株的分离和筛选 及分子生物学鉴定

张海燕¹, 康三江¹, 陈志玺², 袁晶¹, 苟丽娜¹

(1. 甘肃省农业科学院农产品贮藏加工研究所, 甘肃 兰州 730070;

2. 华池县甘农生物科技有限公司, 甘肃 华池 745600)

摘要: 醋酸菌是果醋发酵过程中产生醋酸及其风味衍生物的重要微生物, 具有耐醇性或耐温性的高产酸醋酸菌对提高发酵型果醋质量意义重大。为了解决沙棘玫瑰醋风味品质差的问题, 筛选适合发酵的醋酸菌, 为促进沙棘玫瑰醋风味品质的提高及研发复合发酵菌剂提供理论支持。以浙江玫瑰醋醋醪为菌源, 筛选出适合沙棘玫瑰醋生产的高产酸专用菌种。结果表明, 根据菌落形态及生理生化试验分离筛选出4株高产酸醋酸杆菌(*Acetobacter*), 其中菌株SJC01、SJC04的产酸量均达到42.00 g/L以上, 能耐受体积分数4%乙酸溶液、体积分数0.5%氯化钠溶液、体积分数6.0%乙醇溶液, 且分别能在12~36、24~48 h内进入迅速生长期。通过16SrDNA序列分子生物学鉴定, 菌株SJC01为果实醋杆菌(*Acetobacter pomorum*), 菌株SJC04为巴氏醋杆菌(*Acetobacter pasteurians*)。

关键词: 沙棘玫瑰醋; 醋酸杆菌; 高产酸; 分离筛选; 菌种鉴定

中图分类号: TS255.4

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2025)01-0060-07

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2025.01.010

Isolation, Screening and Molecular Biological Identification of High-acid-producing Strains for Seabuckthorn Rose Vinegar

ZHANG Haiyan¹, KANG Sanjiang¹, CHEN Zhixi², YUAN Jing¹, GOU Lina¹

(1. Agricultural Product Storage and Processing Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Science, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. Huachi Gannong Biotechnology Co., Ltd., Huachi Gansu 745600, China)

Abstract: Acetic acid bacteria are key microorganisms in fruit vinegar fermentation, producing acetic acid and its flavor derivatives. High-acid producing acetic acid bacteria with ethanol or temperature tolerance are crucial for improving the quality of fermented fruit vinegar. To address the issue of poor flavor quality in seabuckthorn rose vinegar, acetic acid bacteria suitable for fermentation were screened to enhance its flavor quality and support the development of compound fermentation agents. Using Zhejiang rose vinegar mash as the bacterial source, high-acid-yielding strains specifically suited for seabuckthorn rose vinegar production were screened. Results showed that four strains were preliminarily identified as *Acetobacter* according to colony morphology and physiological and biochemical tests. Strong acid production abilities were demonstrated by strains SJC01 and SJC04, with acid production more than 42.00 g/L. Tolerance tests were carried out on strains with high acid production. Strains SJC01 and SJC04 were found to tolerate 4.0% acetic acid, 0.5% sodium chloride, and 6.0% ethanol solutions. Growth curves revealed that the logarithmic growth phase was reached within 12 to 36 hours and 24 to 45 hours by strains SJC01 and SJC04, respectively. Molecular identification using 16SrDNA sequencing revealed that strain SJC01 was *Acetobacter pomorum* and strain SJC04 was *Acetobacter pasteurians*.

Key words: Seabuckthorn rose vinegar; Acetic acid bacteria; High-acid-yielding; Isolation and screening; Identification of strain

沙棘为药食同源植物^[1], 根、茎、叶、花、果, 特别是沙棘果实含有丰富的营养物质和生物活性物质, 入药具有止咳化痰、健胃消食、活血

散瘀之功效^[2], 可以广泛应用于食品、医药、轻工、航天、农牧渔业等国民经济的许多领域^[3]。沙棘果汁占果实的65%以上, 含有丰富的水溶性

收稿日期: 2024-11-26

基金项目: 甘肃省农业科学院科研结余资金项目(2024JGS05); 庆阳市科技计划项目(QY-STK-2023A-005)。

作者简介: 张海燕(1981—), 女, 甘肃陇西人, 副研究员, 硕士, 研究方向为农产品加工及贮藏工程。Email: zh_hy208@163.com。

通信作者: 康三江(1977—), 男, 甘肃陇西人, 研究员, 研究方向为果蔬贮藏加工技术。Email: kang58503@163.com。

维生素、脂肪酸、微量元素、亚油素、糖类、有机酸等营养物质和黄酮、超氧化物等活性物质以及人体所需的各种氨基酸^[4-5], 可加工成果汁、果醋、酵素、果酒等产品, 有着广阔的发展潜力^[6]。

果醋富含多种小分子有机酸、酚类物质、维生素、氨基酸及矿物元素等营养物质, 具有缓解人体疲劳、促进肠道代谢、降血脂和预防高血压等功效^[7]。高酸度是发酵型果醋的重要品质指标, 专用醋酸菌是决定高酸度果醋质量与产量的主要因素, 是提高品质、增强风味与香气的基础^[8-9]。姬玉丹^[10]筛选出一株乙醇转化率高、产酸能力强的青梅果醋优良醋酸发酵菌种 J-27, 提高了青梅果醋的品质; 何宇宁^[11]选育出的菠萝蜜果醋发酵醋酸菌 Aa941 的耐乙醇和耐高温性能均优于商业菌株 As1.41; 周滢晴等^[12]对高产酸果醋醋酸菌的筛选鉴定及其耐醇和耐温性进行了研究, 丰富了果醋醋酸菌种库; 李华敏等^[13]筛选的苹果醋专用醋酸杆菌产酸性能及风味品质较好。然而, 有关沙棘果醋专用醋酸菌选育的研究较少。沙棘果实酸度高, 是酿造沙棘果醋的优良原料^[14], 沙棘玫瑰醋是采用浙江玫瑰醋生产工艺酿造的沙棘果醋, 因其色泽鲜艳, 具有浅玫瑰色, 故而得名。沙棘玫瑰醋不仅保留了原料中的大部分营养物质, 且提高了多肽、氨基酸、有机酸等对人体有益的物质含量^[15]。但本课题组研究发现, 由于专用酿造醋酸菌的缺乏, 使得沙棘玫瑰醋酿造过程中存在产酸能力不足、乙醇转化率低、典型性风味缺失等问题, 因而选育沙棘玫瑰醋专用高产酸醋酸菌具有重要意义。为此, 我们以浙江玫瑰醋醋醪为菌源, 分离筛选耐受性好、产酸量高的优良醋酸菌株, 同时以产酸量和菌株生长情况为指标, 对其在沙棘玫瑰醋中的发酵特性进行分析研究, 并通过 16SrDNA 对优良菌株进行菌种鉴定, 以期解决沙棘玫瑰醋存在的问题, 并为沙棘玫瑰醋的生产提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

供试浙江玫瑰醋醋醪采集自浙江五味和食品有限公司; 对照菌株为商业巴氏醋杆菌 20001, 购自中国工业微生物菌种保藏管理中心。

醋酸菌分离培养基(酵母浸粉 10 g/L、葡萄糖

10 g/L、碳酸钙 20 g/L、溴甲酚紫 0.015 g/L、琼脂 15 g/L, pH 6.8 ± 0.2, 25 ℃)、发酵培养基(葡萄糖 10 g/L、酵母粉 10 g/L, pH 5.5, 25 ℃)购自青岛高科技工业园海博生物技术有限公司; 无水乙醇购自成都市科隆化学品有限公司。

1.2 仪器与设备

B302 生物显微镜由重庆奥特光学仪器有限公司提供, LRH-70 型恒温培养箱由上海一恒科学仪器有限公司提供, YXQ-LS-75G 型立式压力蒸汽灭菌锅由上海博迅实业有限公司医疗设备厂提供, MDF-U3386S 超低温冰箱由青岛海尔集团提供, SW-CJ-2D 洁净工作台由苏州净化设备有限公司提供, PB-10 型精密 pH 计由赛多利斯科学仪器(北京)有限公司提供, QL-861 旋涡振荡器由江苏省海门市麒麟医用仪器厂提供, ABI-2720 per 仪、ABI 3730XL 测序仪由美国 Applied Biosystems 公司提供。

1.3 试验方法

1.3.1 菌株分离筛选 参照曹施静等^[16]的方法, 略有改动。称取 20 g 浙江玫瑰醋醋醪, 置于装有 80 mL 无菌生理盐水的三角瓶中, 于 30 ℃、200 r/min 充分振荡 20 min。取 2 mL 菌悬液装入含有 8 mL 无菌生理盐水的试管中进行浓度稀释。将 10⁻⁴ ~ 10⁻⁶ 梯度的溶液吸取 0.2 mL 涂布于分离培养基平板中, 于 30 ℃ 恒温培养箱中倒置培养 72 h 后, 挑选变色圈清晰且生长良好的单菌落进行 3 ~ 5 次分离纯化, 对符合条件的单菌落进行编号。

1.3.2 菌落及细胞形态研究 参照冯荆舒等^[17]的方法, 略有改动。将筛选的菌株在分离培养基平板中划线, 于 30 ℃ 培养 72 h 后, 观察并记录单菌落特征, 包括透明度、颜色、表面情况、边缘状态等; 将分离纯化的菌株进行革兰氏染色, 显微镜下观察菌体细胞形态。

1.3.3 生理生化试验 发酵葡萄糖、产葡萄糖、接触酶、氧化酶、甘油生酮、运动性、产水溶性色素、乳酸氧化、乙酸氧化、乙醇氧化等试验均参照王超敏等^[18]的方法进行。

1.3.4 定性和定量试验 参照曹施静等^[16]的方法进行。

定性试验: 将振荡培养好的菌液, 用 0.1 mol/L NaOH 溶液中和至 pH 7.0, 滴入 4 ~ 5 滴 5%

的 FeCl₃ 溶液，水浴加热 5 min 后，若出现红褐色沉淀，则为醋酸菌。

定量实验：将振荡培养好的菌液，参照 GB 12456—2021 《食品安全国家标准 食品中总酸的测定》测定产酸量。

1.3.5 醋酸菌耐受性试验 分别将体积分数为 2%、3%、4%、5%、6% 的乙酸溶液，体积分数为 0.1%、0.3%、0.5%、0.7%、0.9% 的氯化钠溶液，体积分数为 2%、4%、6%、8%、10% 的乙醇溶液接入到 100 mL 发酵培养基中，并接入 10% 的菌悬液，于 30 ℃、200 r/min 摇床培养，每隔 12 h 测定生长量(OD₆₀₀值)和产酸量，直至稳定。

1.3.6 生长曲线测定 将筛选出的优良菌株接种于液体培养基中，于 30 ℃、200 r/min 振荡培养，同时将 10⁻⁴~10⁻⁶ 梯度的菌液分别吸取 1 mL 均匀涂布至醋酸菌分离培养基平板，于 30 ℃ 恒温培养，每隔 12 h 分别测定 OD₆₀₀ 值和活菌数。

1.3.7 分子生物学鉴定 将筛选出的优良菌株进行测序，测序引物选用细菌 16SrDNA 的通用引物 27F 和 1492R。测序结果在 NCBI 中比对，并采用 MEGA 11.0 软件进行多序列比对，选择相似度最高的序列作为物种鉴定结果。

1.4 数据分析

采用 Excel 2010 和 SPSS 26.0 等软件进行数据分析处理和作图。

2 结果与分析

2.1 菌落及细胞形态

醋酸杆菌是一类能使糖类和酒精氧化成醋酸等产物的短杆菌^[19]。采用稀释平板分离法和划线分离法，从浙江玫瑰醋醋液及醋醪中分离得到 4 株具有典型醋酸菌特征的菌株，分别命名为 SJC01、SJC02、SJC03、SJC04。醋酸菌菌体生长旺盛，菌落的细胞形态主要为椭圆状、短杆状，米白色，表面平滑，边缘整齐，培养基内无色素产生。其中典型醋酸菌菌株 SJC01 和 SJC02 的菌

落及细胞形态见图 1。

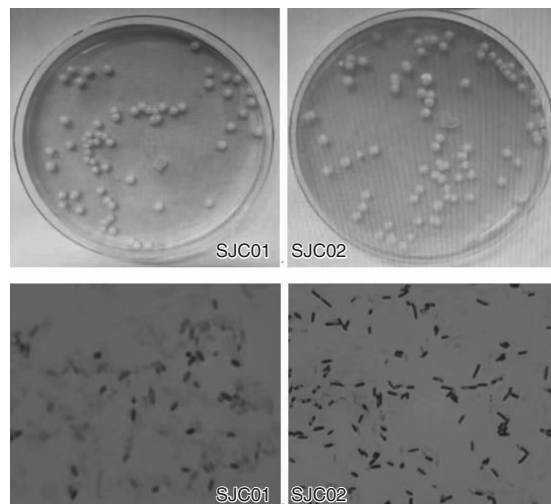


图 1 典型醋酸菌 SJC01 和 SJC02 菌落及细胞形态 (放大倍数 100×)

2.2 生理生化试验结果

从表 1 可以看出，4 株菌株在发酵葡萄糖、产葡萄糖、接触酶、甘油生酮、乳酸氧化、乙酸氧化、乙醇氧化试验中均为阳性反应，在氧化酶、产水溶性色素试验中为阴性反应；运动性试验除菌株 SJC02 为阳性反应外，其余均为阴性。综合以上生理生化试验结果，对照《伯杰细菌鉴定手册》和《常见细菌系统鉴定手册》^[20-21]，初步确定 SJC01、SJC02、SJC03、SJC04 菌株为醋酸杆菌属 (*Acetobacter*)。

2.3 定性试验结果

从表 2 可以看出，SJC01 和 SJC04 菌株均能产生明显的红褐色沉淀，SJC02 菌株红褐色较明

表 2 醋酸菌定性试验

菌株	现象	颜色 ^①
SJC01	红褐色沉淀	+++
SJC02	红褐色沉淀	++
SJC03	红褐色沉淀	+
SJC04	红褐色沉淀	+++

①“+++”表示红褐色明显，“++”表示红褐色较明显，“+”表示红褐色不太明显。

表 1 菌株生理生化试验^①

菌株	试验名称										
	发酵葡萄糖	产葡萄糖	接触酶	氧化酶	甘油生酮	运动性	产水溶性色素	乳酸氧化	乙酸氧化	乙醇氧化	
SJC01	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+	
SJC02	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	
SJC03	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+	
SJC04	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+	

①阳性用“+”表示，阴性用“-”表示。

显, SJC03 菌株红褐色不太明显, 说明 4 株菌株均属于醋酸杆菌属。

2.4 定量试验结果

产酸量是反应醋酸菌品质的重要指标, 筛选产酸能力较强的醋酸菌对提高沙棘玫瑰醋酸度, 改善其酿造工艺具有重要作用^[22]。从图 2 可以看出, 菌株 SJC01、SJC04 的产酸能力较强, 产酸量分别为 43.50、42.63 g/L, 显著高于对照菌株商业巴氏醋杆菌 20001 ($P < 0.05$); 菌株 SJC02 产酸能力与对照菌株商业巴氏醋杆菌 20001 (35.45 g/L) 差异不显著 ($P > 0.05$), 产酸量为 35.22 g/L; 菌株 SJC03 的产酸量为 21.05 g/L, 显著低于对照菌株 ($P < 0.05$)。说明菌株 SJC01、SJC04 产酸能力明显优于 SJC02、SJC03。

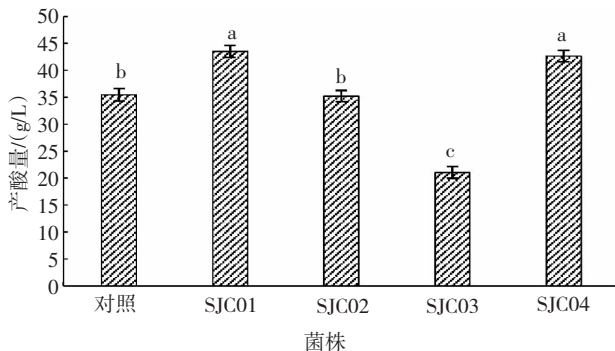
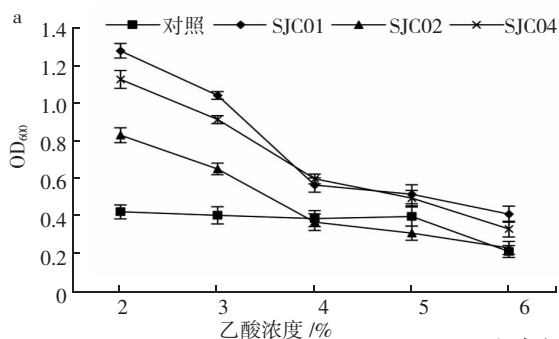


图 2 醋酸菌产酸能力

2.5 醋酸菌耐受性试验结果

通过产酸定量试验, 确定菌株 SJC01、SJC02 和 SJC04 为优良菌株, 对其分别进行耐乙酸、耐氯化钠、耐乙醇能力分析。

2.5.1 耐乙酸能力 从图 3 可以看出, 随着乙酸浓度不断增加, 4 株菌株产酸量均呈现先上升后下降的趋势。当乙酸浓度为 3% 时, 菌株 SJC02 和对照菌株商业巴氏醋杆菌 20001 产酸量均达到最大值, 分别为 36.22、33.67 g/L; 当乙酸浓度为 4%



(a 为生长量, b 为产酸量)

时, 菌株 SJC01、SJC04 的产酸量均达到最大值, 产酸量分别为 41.19、40.01 g/L, 显著高于对照菌株 ($P < 0.05$); 当乙酸浓度从 2% 增至 3% 时, 所有菌株生长量及产酸量受到影响较小; 当乙酸浓度为 4% 时, 菌株 SJC02 及对照菌株商业巴氏醋杆菌 20001 的生长量受到明显抑制, 而菌株 SJC01、SJC04 生长量较高, 分别为 0.565 和 0.598; 当乙酸浓度继续升高至 6% 时, 菌株 SJC01 和 SJC04 的产酸量均低于 30.00 g/L, 与对照菌株和 SJC02 相比差异均达显著水平 ($P < 0.05$), 而菌株 SJC02 和对照菌株的产酸量低于 20.00 g/L, 说明过酸或碱性的环境均会影响醋酸菌生长, 这可能与醋酸菌机体内的酶有关, 不适宜的环境会导致相关酶活性降低, 从而影响醋酸菌产酸能力^[23]。通过对比可知, 菌种 SJC01 和 SJC04 在乙酸浓度下生长量及产酸量优于其他菌株, 拥有较好的耐乙酸能力。

2.5.2 耐氯化钠能力 由图 4 可以看出, 氯化钠浓度从 0.1% 增加至 0.5% 时, 对菌株生长及产酸量的影响较小。氯化钠浓度为 0.5% 时, 对照菌株商业巴氏醋杆菌 20001 生长量及产酸量呈现明显下降趋势, 在浓度为 0.9% 时产酸量仅为 5.24 g/L; 氯化钠浓度从 0.5% 增至 0.9% 时, 菌株 SJC01、SJC04 生长量和产酸量呈现明显下降趋势, 在浓度为 0.9% 时, 生长量分别为 0.677、0.525, 产酸量分别为 20.96、16.23 g/L, 与对照菌株和菌株 SJC02 相比差异显著 ($P < 0.05$)。说明醋酸菌在氯化钠浓度较低时仍可以生长, 但随着浓度增加生长会受到严重抑制, 影响其产酸能力^[24]。综上所述, 氯化钠对菌株 SJC01 和 SJC04 生长影响较大, 因此在培养时氯化钠浓度尽量控制在 0.5% 以内, 保证菌株较好的产酸及生长, 且在不同浓度的氯化钠溶液中, 菌株 SJC01 和 SJC04 生长量和产酸

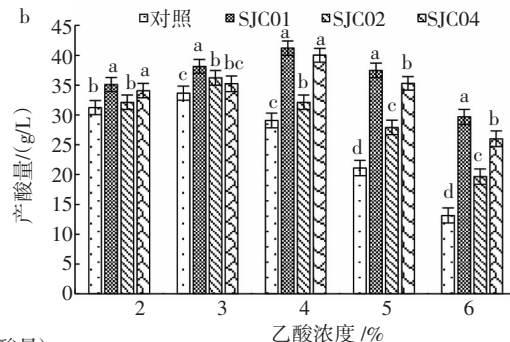


图 3 不同醋酸菌菌株的耐乙酸能力

量优于其他菌株，拥有较好的氯化钠耐受性。

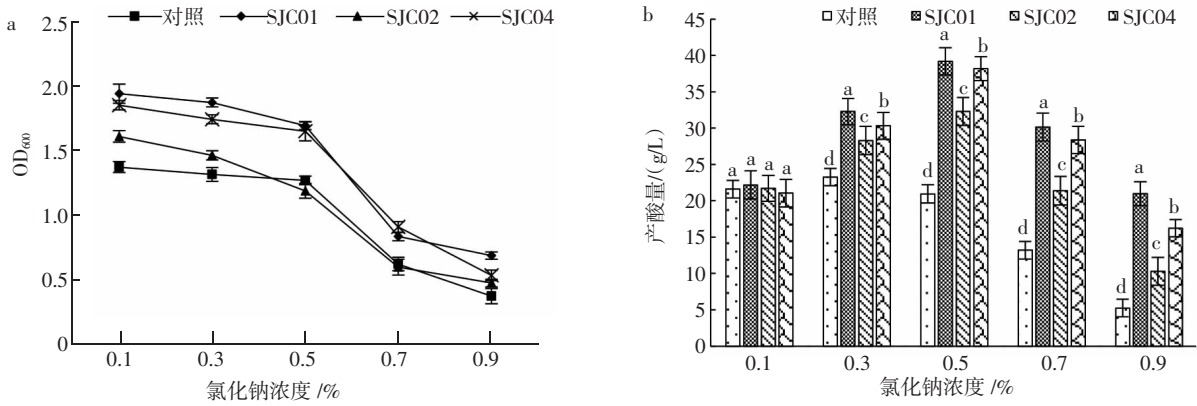
2.5.3 耐乙醇能力 从图 5 可以看出，随着乙醇浓度的增加，各菌株生长量呈逐渐下降趋势，产酸量先增加后降低。对照菌株商业巴氏醋杆菌 20001 在乙醇浓度为 4% 时达到最大产酸量，菌株 SJC01、SJC02、SJC04 均在乙醇浓度为 6% 时产酸量最高，分别为 40.01、35.01、41.21 g/L，显著高于对照菌株 ($P < 0.05$)；随着乙醇浓度的持续升高，所有菌株的生长量及产酸量呈下降趋势，当乙醇浓度增至 10% 时，对照菌株和菌株 SJC01、SJC02、SJC04 的生长量分别为 0.401、0.913、0.775、0.824，产酸量分别为 12.70、25.28、20.01、23.86 g/L。因此，适宜浓度的乙醇有促进醋酸菌生长的作用，当初始乙醇添加量达到醋酸菌耐受临界点时，菌株的生长变化慢，导致其产酸量下降 [25]。综合对比，菌株 SJC01 和 SJC04 在高乙醇浓度下生长量及产酸量优于其他菌株，拥有较好的乙醇耐受性。

2.6 生长曲线测定分析

对筛选的 2 株耐受性较强的菌株 SJC01、SJC04 进行活菌数和生长曲线测定分析，由结果 (图 6) 可以看出，菌株 SJC01 在 12 ~ 36 h 生长繁殖速度快，处于对数期，OD₆₀₀ 值为最大为 1.643，活菌数最大浓度为 8.31 log CFU/mL；36 ~ 60 h 处于稳定期，随后逐渐进入衰亡期。菌株 SJC04 在 24 ~ 48 h 生长繁殖速度快，处于对数期，OD₆₀₀ 值为最大为 1.931，活菌数最大浓度为 8.90 log CFU/mL；48 ~ 72 h 处于稳定期，之后逐渐进入衰亡期。综上所述，醋酸菌菌株 SJC01、SJC04 能在较短时间内进入对数期，在此阶段菌株的菌体以几何数量级增长，对发酵环境具有强大的抵抗力。

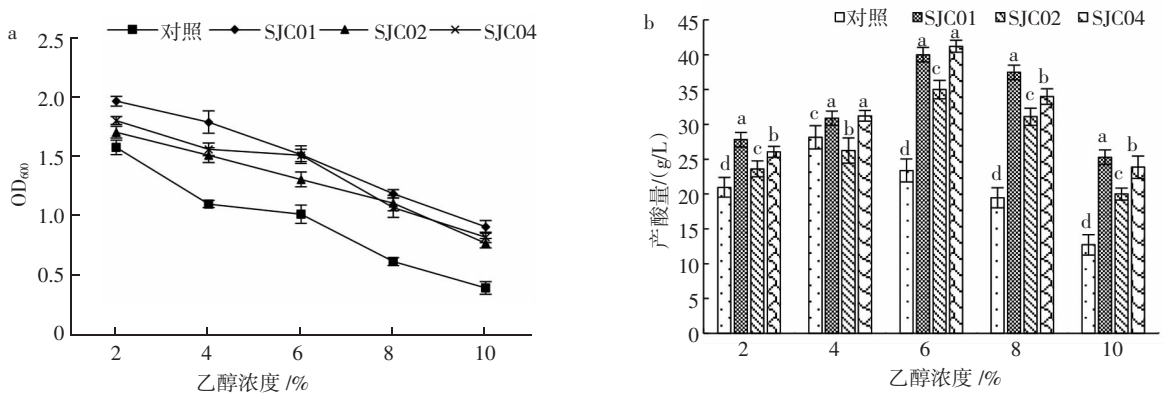
2.7 分子生物学鉴定

将菌株 SJC01 和 SJC04 的 16S rDNA 序列上传到 NCBI 数据库 (www.ncbi.nlm.nih.gov) 进行对比发现，SJC01 与序列号为 MW928433.1 的 *Acetobacter pomorum* 的同源性最高，相似度为 99.86%；



(a 为生长量, b 为产酸量)

图 4 不同醋酸菌菌株的耐氯化钠能力



(a 为生长量, b 为产酸量)

图 5 不同醋酸菌菌株的耐乙醇能力

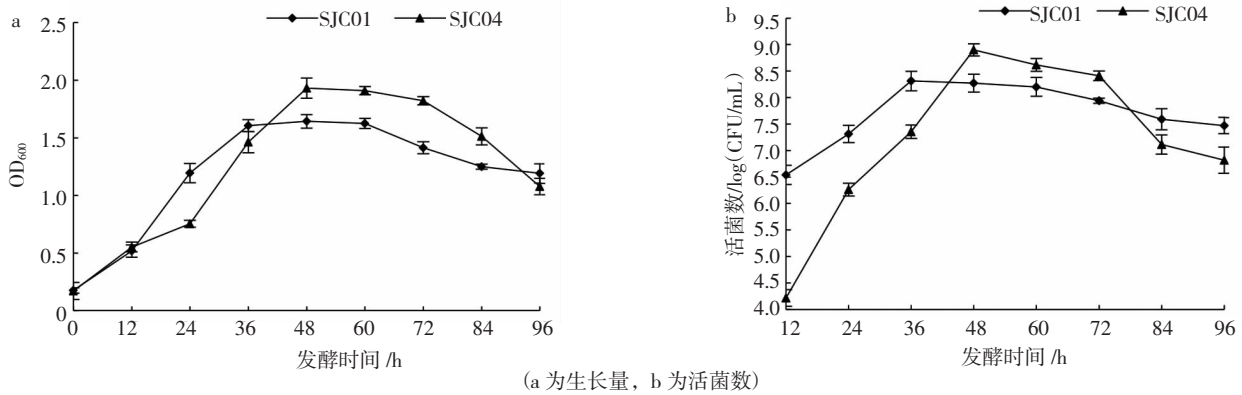


图6 醋酸菌菌株 SJC01 和 SJC04 的生长曲线及活菌数

SJC04 与序列号为 NR_178820.1 的 *Acetobacter pasteurianus* 同源性最高, 相似度 99.84% (表 3)。因此可确定筛选出的 SJC01 为果实醋杆菌 (*Acetobacter pomorum*), SJC04 为巴氏醋杆菌 (*Acetobacter pasteurians*)。

表 3 菌株序列对比结果

菌种编号	菌种名称	序列号	相似度/%
SJC01	<i>Acetobacter pomorum</i>	MW928433.1	99.86
SJC01	<i>Acetobacter pomorum</i>	MW019625.1	99.35
SJC01	<i>Acetobacter pomorum</i>	MW928432.1	98.64
SJC04	<i>Acetobacter pasteurianus</i>	NR_180390.1	99.57
SJC04	<i>Acetobacter pasteurianus</i>	NR_104959.1	99.64
SJC04	<i>Acetobacter pasteurianus</i>	NR_178820.1	99.84

3 讨论与结论

沙棘是兼具生态和营养保健作用以及药用价值的植物, 因此, 随着沙棘在食品学、营养学、医学、农林学、运动科学等方面的深入研究, 沙棘被认为是一种高级营养保健品的重要原料, 开发沙棘加工产品已经成为新的研究方向^[26]。沙棘玫瑰醋具有杀菌消炎的功效, 且能有效改善动脉血压、总血浆胆固醇对心血管脏器产生的不良影响, 能够刺激肠道微生物菌群, 改善其生长活动环境。随着现代生物发酵加工技术的逐步推广应用, 沙棘精深加工水平得到进一步提升^[27]。沙棘玫瑰醋的成功开发, 不仅能提高沙棘资源的利用率及其商品价值, 进一步加强生态建设和促进农民增收, 还能充分发挥沙棘特殊的保健功效, 满足人们对高品质生活的需求^[28]。解决沙棘玫瑰醋酿造过程中存在的适宜菌株缺乏的关键技术问题具有紧迫的现实意义。醋酸菌是果醋发酵过程中产生醋酸及其风味衍生物的重要微生物, 具有耐醇性或耐温性的高产酸醋酸菌对提高我国发酵型

果醋质量具有重要意义^[12]。目前醋酸菌的选育主要集中在提高醋酸产量方面, 而果醋的研究开发对醋酸菌的要求是发酵过程中较好地保持水果中原有的风味物质、营养物质与功能性成分, 使果醋中各物质配比均衡达到营养保健的目的^[29]。而在本研究中, 未开展接种强化发酵应用试验研究, 后期可将筛选出来的优良菌株 SJC01 和 SJC04 强化应用到沙棘玫瑰醋的实际生产中, 研究其在沙棘玫瑰醋酿造过程中微生物群落变化及对风味形成机制的影响等。因此, 有关筛选出的醋酸菌菌株 SJC01、SJC04 对沙棘玫瑰醋代谢产物的影响有待于进一步研究。

本试验以浙江玫瑰醋醋醪为菌源, 筛选得到 4 株醋酸杆菌菌株, 经定性试验、耐受性试验等筛选出 2 株产酸能力达到 42.00 g/L 以上, 能耐受体积分数 4% 乙酸溶液、体积分数 0.5% 氯化钠溶液、体积分数 6% 乙醇溶液的优良醋酸菌菌株 SJC01、SJC04, 进一步对活菌数和生长曲线进行分析, 发现菌株 SJC01 在 12~36 h、菌株 SJC04 在 24~48 h 生长繁殖速度快, 具有在短时间内进入迅速生长期的特性。经 16S rDNA 序列分子生物学鉴定, 菌株 SJC01 为果实醋杆菌, 菌株 SJC04 为巴氏醋杆菌。

参考文献:

- [1] 熊青山, 卫丁一, 温娅娅, 等. 沙棘果实化学成分及其药理作用研究进展[J]. 北方农业学报, 2024, 52(3): 57-63.
- [2] 朱浩铭, 芦琳琳, 郭丽君, 等. 沙棘活性成分以及抗肿瘤和抗衰老活性[J]. 南通大学学报(医学版), 2024, 44(4): 367-374.
- [3] CHEN K, ZHOU F F, ZHANG J, et al. Dietary supplementation with sea buckthorn berry puree alters plasma metabolomic profile and gut microbiota composition in hy-

- percholesterolemia population[J]. *Foods*, 2022, 11(16): 2481.
- [4] 任婧楠, 贾 潇, 张智锋, 等. 新鲜沙棘果汁和沙棘原浆的风味和营养品质分析[J]. *食品科学*, 2024, 45(4): 164–170.
- [5] SYTAROVA I, ORSAVOVA J, SNOPEK L, et al. Impact of phenolic compounds and vitamins C and E on antioxidant activity of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries and leaves of diverse ripening times[J]. *Food Chemistry*, 2020, 310: 125784.
- [6] 王 璇, 张志伟, 陈志奎, 等. 沙棘果食品开发利用研究进展与发展对策[J]. *保鲜与加工*, 2024, 24(1): 75–82.
- [7] BRAIN J D, HSU Y, VASANTHAKUMAR A, et al. Effects of a vinegar based multi-micronutrient supplement in rats: A multi-pronged assessment of dietary impact [J]. *Journal of Functional Foods*, 2018, 42: 371–379.
- [8] MUNDARAGI A, THANGADURAI D. Process optimization, physicochemical characterization and antioxidant potential of novel wine from an underutilized fruit *Carissa spinarum* L.(Apocynaceae)[J]. *Food Science and Technology*, 2018, 38(3): 428–433.
- [9] 邱晓曼, 陈程鹏, 洪厚胜. 果醋风味改良研究进展[J]. *中国酿造*, 2020, 39(1): 12–16.
- [10] 姬玉丹. 青梅果醋优良醋酸发酵菌种筛选及工艺优化[D]. 无锡: 江南大学, 2022.
- [11] 何宇宁. 菠萝蜜果醋发酵醋酸菌选育与发酵工艺研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2020.
- [12] 周滢晴, 刘 婷, 周婉婷, 等. 高产酸果醋醋酸菌的筛选鉴定及其耐醇和耐温性探究[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(10): 72–78.
- [13] 李华敏, 李 林, 黄萍萍, 等. 苹果醋发酵用醋酸杆菌的筛选与鉴定[J]. *中国调味品*, 2018, 43(10): 22–25; 36.
- [14] 张莉莉, 张 军, 蔡永国, 等. 沙棘果醋发酵工艺对其食用品质影响的研究[J]. *中国调味品*, 2021, 46(9): 86–89.
- [15] 张林祥. 浙江玫瑰醋多菌种发酵工艺及特征风味物质研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2023.
- [16] 曹施静, 胡海霞, 楠 极. 小米醋发酵过程中醋酸菌的筛选鉴定及发酵特性研究[J/OL]. *食品与发酵工业*, 1–11(2024-08-20). <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.040158>.
- [17] 冯荆舒, 张 荣, 高献礼, 等. 醋醅中优良醋酸菌的分离筛选及性能研究[J]. *食品与发酵工业*, 2023, 49(1): 95–100.
- [18] 王超敏, 李雅茹, 魏莎莎, 等. 山西老陈醋醋醅中醋酸菌的分离、ERIC 分型及发酵特性研究[J]. *中国酿造*, 2021, 40(11): 37–42.
- [19] LYNCH M K, ZANNINI E, WILKINSON S, et al. Physiology of acetic acid bacteria and their role in vinegar and fermented beverages[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2019, 18(3): 587–625.
- [20] R. E 布坎南, N. E 吉本斯. 伯杰细菌鉴定手册[M]. 8 版, 中国科学院微生物研究所《伯杰细菌鉴定手册》翻译组, 译. 北京: 科学出版社, 1984.
- [21] 东秀珠, 蔡妙英. 常见细菌系统鉴定手册[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [22] YAKUSHI T, FUKUNARI S, KODAMA T, et al. Role of a membrane-bound aldehyde dehydrogenase complex AldFGH in acetic acid fermentation with *Acetobacter pasteurianus* SKU1108[J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2018, 102(10): 4549–4561.
- [23] IKRAM M, ALI N, JAN G, et al. Endophytic fungal diversity and their interaction with plants for agriculture sustainability under stressful condition[J]. *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture*, 2020, 11(2):115–123.
- [24] 帖 余, 肖宇婷, 刘 军, 等. 高产酸菌株的筛选、鉴定及其混菌发酵对菜籽粕营养价值的影响[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(10): 146–150; 156.
- [25] JOÃO M, ALICE V. Exploring microbial dynamics: the interaction between yeasts and acetic acid bacteria in port wine vinegar and its implications on chemical composition and sensory acceptance[J]. *Fermentation*, 2024, 10(8): 421.
- [26] 李曦光, 李萧婷, 王 蕾, 等. 基于空间差异的新疆沙棘资源果实品质及营养成分分析[J]. *农业工程学报*, 2023, 39(23): 268–275.
- [27] 康三江, 慕钰文, 曾朝珍. 苹果蒸馏酒(白兰地)发酵酿造中挥发性香气成分研究进展[J]. *寒旱农业科学*, 2023, 2(11): 990–995.
- [28] URSACHE F M, GHINCA I O, TURTURIC M, et al. Phytochemicals content and antioxidant properties of seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides*) as affected by heat treatment—quantitative spectroscopic and kinetic approaches[J]. *Food Chemistry*, 2017, 23(3): 442–449.
- [29] LIU Q, LI X, SUN C, et al. Effects of mixed cultures of *Candida tropicalis* and aromatizing yeast in alcoholic fermentation on the quality of apple vinegar[J]. *3 Biotech*, 2019, 9(4): 128.