

酵素源乳酸菌的益生功能及抑菌特性评价

肖仔君¹, 钟瑞敏¹, 陆伟东^{2*}, 康宇婷¹, 林丽芳³

(1. 韶关学院英东食品学院, 广东韶关 512005) (2. 韶关学院化学与土木工程学院, 广东韶关 512005)

(3. 韶关市紫背桃源生态科技有限公司, 广东韶关 512000)

摘要: 为筛选到发酵性能稳定且高效的功能性菌株, 以韶关紫背桃源生产的酵素中分离出的 12 株乳酸菌为试验菌株, 测定其益生特性。分别对 12 株乳酸菌进行了自聚集性、耐酸性, 以及对胆盐、胃蛋白酶、胰蛋白酶与抗生素的耐受性和对肠道致病菌的拮抗作用实验, 结果表明: 12 株受试乳酸菌均表现出良好的自聚集性; 除 XZJ07 外, 其他 11 株菌株在 pH 值为 2.5 的模拟胃液中培养 3 h 存活率仍达 75% 以上; 在人工模拟胃液以及肠液中对胃蛋白酶和胰蛋白酶孵育 2、3 h 存活率仍超过 75%; 在含有胆盐浓度为 3 g/L MRS 培养基中培养 3 h 后, 活菌数仍达 10^6 CFU/mL, 另外, 受试菌株对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌均有一定的抑制作用, 对大肠杆菌抑菌圈直径均大于 15 mm, 对金黄色葡萄球菌抑菌圈直径均大于 17 mm; 受试菌株对氨苄青霉素敏感, 对四环素、红霉素、土霉素较为耐受。研究结果预示着受试菌株具有作为优质益生性发酵剂的潜在能力。

关键词: 乳酸菌; 益生性; 耐受性

文章编号: 1673-9078(2023)08-62-68

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.8.0144

Evaluation of Probiotic and Antibacterial Properties of Lactic Acid Bacteria Derived from Fermented Fruit Broth

XIAO Zijun¹, ZHONG Ruimin¹, LU Weidong^{2*}, KANG Yuting¹, LIN Lifang³

(1. Ying Dong School of Food, Shaoguan University, Shaoguan 512005, China)

(2. School of Chemistry and Civil Engineering, Shaoguan University, Shaoguan 512005, China)

(3. Shaoguan Zibei Taoyuan Ecological Technology Co. Ltd., Shaoguan 512000, China)

Abstract: The probiotic properties of 12 lactic acid bacteria strains isolated from the enzymes produced in purple peaches from Shaoguan were investigated to screen efficient functional strains with stable fermentation performances. Self-aggregation; acid, bile salt, pepsin, trypsin, and antibiotic resistance; and antagonism against intestinal pathogens were tested. The results showed that the 12 lactic acid bacteria strains demonstrated notable self-aggregation. The survival rate of all strains except XZJ07 was >75% when cultured in simulated gastric juice at pH 2.5 for 3 h. The survival rate of the strains under pepsin and trypsin stresses in artificial gastric juice and intestinal juice was >75% after 2~3 h. After cultivation in 0.3% bile salt for 3 h, the viable count was up to 10^6 CFU/mL. The tested strains also had an inhibitory effect on *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. The diameter of their inhibition zone against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* was greater than 15 and 17 mm, respectively. The tested strains were sensitive to ampicillin, but tolerant to tetracycline, erythromycin, and oxytetracycline. These results indicate that the tested strains may serve as high-quality probiotic fermentation agents.

Key words: lactic acid bacteria; probiotics; tolerance

引文格式:

肖仔君, 钟瑞敏, 陆伟东, 等. 酵素源乳酸菌的益生功能及抑菌特性评价[J]. 现代食品科技, 2023, 39(8): 62-68

XIAO Zijun, ZHONG Ruimin, LU Weidong, et al. Evaluation of probiotic and antibacterial properties of lactic acid bacteria derived from fermented fruit broth [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(8): 62-68

收稿日期: 2023-02-13

基金项目: 韶关市科技计划项目 (2018sn080)

作者简介: 肖仔君 (1973-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品发酵、生物催化与生物转化, E-mail: yaoyoux2001@163.com

通讯作者: 陆伟东 (1980-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 微生物发酵、生物催化, E-mail: luwd@sgu.edu.cn

蔬菜水果酵素是以蔬菜、水果或药食同源草本类食材等为原料, 经微生物发酵制得的含有特定生物活性成分的产品。植物酵素产品由于其富含由多酚、酶、多糖多种维生素、氨基酸以及矿物质和微生物次生代谢产物等营养成分^[1-6], 因此具有抗氧化、抗菌消炎、调节肠道菌群、增强机体免疫能力等多种功能^[7-10]。

随着人们对健康意识的增强,酵素类产品因其具有较高的食用、药用及营养价值而备受青睐。韶关地处粤北山区,属于亚热带季风气候,水果资源丰富,不同的季节都有特色水果,但由于水果采后储藏期短且易腐烂变质,因此对其进行深加工提高水果的附加值显得极其重要。因此以时令水果为原料开发新型酵素产品,不仅可以最大限度保留水果固有营养物质,还可增加新的活性成分,是集营养、保健、食疗等功能于一身的产品,具有广泛的市场前景。

研究表明,植物酵素发酵过程中主要是酵母菌、醋酸菌和乳酸菌在起作用,基质中的各种微生物首先将多糖分解,然后在酵母菌作用下转化为乙醇,醋酸菌将乙醇转化为乙酸,基质中的糖浓度逐渐降低,并伴有蛋白酶、SOD 酶等酶类的释放,因此酵母菌和醋酸菌在发酵过程中具有互利共生关系^[11,12]。而乳酸菌在形成厌氧的条件下再进行发酵产生丰富的有机酸,改善酵素风味,为酵素提供更多功效起着重要的作用。

本研究从紫背桃源的酵素对乳酸菌进行分离纯化,得到 12 株乳酸菌,以这 12 株菌作为试验菌株,测定其自聚集性、耐酸性,以及对胆盐、胃蛋白酶、胰蛋白酶与抗生素的耐受性进行测定,从而验证出菌株的益生性,为其进一步分离得到后酵素的商业应用提供理论依据,对扩大乳酸菌应用范围具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 菌株

乳酸菌:从紫背桃源酵素中分离,保存在实验室中。

指示菌:大肠杆菌(*Escherichia coli* GDMCC 1.115),金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus* GDMCC 1.2442),购于广东省微生物保藏中心。

1.1.2 培养基

MRS 肉汤培养基和 MRS 琼脂培养基均购自广东环凯生物有限公司。

1.1.3 试剂

抗菌药物药敏纸片、牛胆盐等购自杭州微生物试剂有限公司。

1.1.4 仪器与设备

SM800 酶标仪,上海永创医疗器械有限公司;SW-CJ-2FD 超净工作台,上海一恒科学仪器有限公司;MJX-250B-Z 电热恒温培养箱,上海博讯实业有限公司;LC-LX-HI85C 台式高速离心机,上海力辰邦西仪器科技有限公司;MIKRO220R 752 紫外可见分光光度计,上海光学仪器一厂;S1000 Thermal Cycler

PCR 仪,北京六一生物科技有限公司;DYY-6D 电泳仪,北京六一生物科技有限公司;牛津杯;pH 计等。

1.2 试验方法

1.2.1 乳酸菌的活化

将保存在冰箱中从紫背桃源酵素在 MRS 固体培养基进行划线分离,37℃厌氧培养 1~2 d。反复活化三次,直至性状稳定,放置 4℃冰箱备用。

1.2.2 乳酸菌自聚集性的测定

根据参考文献^[8]的方法微调整,将活化后的乳酸菌接种于灭菌 MRS 培养基中,37℃下培养 24 h 后取 5 mL 于离心管中,以 6 000 r/min 离心 10 min 收集菌体,加入 5 mL 灭菌后的 PBS 缓冲液,再以 6 000 r/min 离心 2 min,重复 2 次洗涤乳酸菌,加入 5 mL 灭菌后的 PBS 缓冲液摇匀后于 600 nm 处测光密度值 OD₀ 值。以灭菌后的 PBS 缓冲液作为对照。

取 4 mL 菌悬液振荡 10 s 后静置。每隔 1 h 取 0.1 mL 上清液于 3.9 mL 灭菌后的 PBS 缓冲液中,振荡 10 s 后于 600 nm 处测吸光值 OD 值。依据下列公式进行计算每小时各自菌株的自聚集性结果,取平均值进行比较。

$$R=[(OD_0-OD)/OD_0]\times 100\% \quad (1)$$

式中:

R——自聚集性, %;

OD₀——乳酸菌样品实验测得的光密度值;

OD——菌悬液样品实验测得的光密度值。

1.2.3 乳酸菌耐酸性研究

将活化后的乳酸菌接种于 pH 值 2.5 的 MRS 培养基中,放入 37℃培养箱下孵育 6 h,分别取孵育 0、3、6 h 孵育液稀释至合适梯度,进行活菌计数,计算其存活率。

1.2.4 乳酸菌的耐胆盐的研究

将活化后的乳酸菌接种于含有浓度为 3 g/L 牛胆盐的 MRS 培养基中,放入 37℃培养箱孵育 6 h。分别取孵育 0、3、6 h 的孵育液进行活菌计数。

1.2.5 乳酸菌的胃蛋白酶耐受性的研究

将活化后的乳酸菌接种于灭菌 MRS 培养基中,37℃下培养 24 h。以 10 mL 灭菌后的 pH 值 2.5 的生理盐水为基础加入胃蛋白酶得到 5 mg/mL 的模拟胃液,加入活化后的乳酸菌菌液 0.5 mL,摇匀 37℃孵育 6 h。取 0、3、6 h 孵育液测其活菌数,并计算其存活率。

1.2.6 乳酸菌的胰蛋白酶耐受性的研究

将活化后的乳酸菌接种于灭菌 MRS 培养基中,37℃下培养 24 h。以 10 mL 灭菌后的生理盐水为基础加入胰蛋白酶得到 10 mg/mL,调至 pH 值 8.0 的模拟

肠液,加入活化后的乳酸菌菌液 0.5 mL,摇匀 37 °C 孵育 6 h。3 h、6 h 后取样后进行活菌计数,并计算其存活率。

1.2.7 乳酸菌的耐抗生素的研究

将活化后的乳酸菌接种于灭菌 MRS 培养基中,37 °C 下培养 24 h。将 0.1 mL 待试乳酸菌菌株 (1×10^8 CFU/mL) 均匀涂布于 MRS 琼脂培养基,待其凝固后将待试菌株涂布在 MRS 琼脂培养基,待其凝固后,将浸染抗生素的药敏纸片贴于平板上,于 37 °C 培养 48 h,观察并测量抑菌圈直径 (mm) 大小。采用一菌一药一判断值的原则,根据说明书敏感和耐药性的最小抑菌圈直径判定菌株的药敏性^[8,13]。

1.2.8 乳酸菌对指示菌抑菌活性的测定

将已活化的 *Escherichia coli* GDMCC 1.115 和 *Staphylococcus aureus* GDMCC 1.2442 菌悬液加入到已灭菌并冷却至 40~50 °C 的平板计数培养基中 (使指示菌的浓度保持 10^6 CFU/mL),摇匀后迅速倒平板。待平板凝固后,在平板上均匀放置 3 个牛津杯,并在牛津杯中分别加入各株试验菌发酵液,加到牛津杯刚满为宜。37 °C 培养 24 h,测定抑菌圈直径大小。

1.3 数据分析

所有实验重复 3 次,数据分析采用 Graphpad 进行统计和显著性分析。

2 结果与讨论

2.1 乳酸菌自聚集性的测定

益生菌是否黏附到上皮细胞,与细胞表面的自聚集能力有关,自聚集能力确保益生菌在肠道中达到高细胞。酵素中的乳酸菌在通过人体消化道时,不仅要接受胃液的消化,还有胰液和胆汁的冲击,具有良好自聚集性的乳酸菌则不易被冲散,且容易聚拢,最终到达小肠时能有大部分乳酸菌存活并易黏附在肠道上进行增殖。

自聚集性标准^[10]如下:自聚集性 > 85% 为高度聚集,自聚集性介于 70%~80% 为中度聚集,自聚集性 < 70% 为低聚集。如图 1 所示,试验中所有菌株的自聚集性均高于 85%,均为高自聚集菌株。其中, xzj007 菌的自聚集性最强,为 93.22%; XZJ010 菌的自聚集性最弱,为 90.26%,这说明已筛选出来的菌株均具有较高的聚集性,有顺利通过上段消化道的可能性。这与李佳宇^[8]的研究的乳酸菌自聚集性稍有不同,其试验菌株 AS9、AS8、LX5 的具有较好的自聚集性,分别为: 88.55%、87.43%、85.55%。这说明受试乳杆菌具有潜在的对黏液和上皮细胞的黏附能力,这与文献对乳酸菌的聚集性研究结果相似^[14,15]。

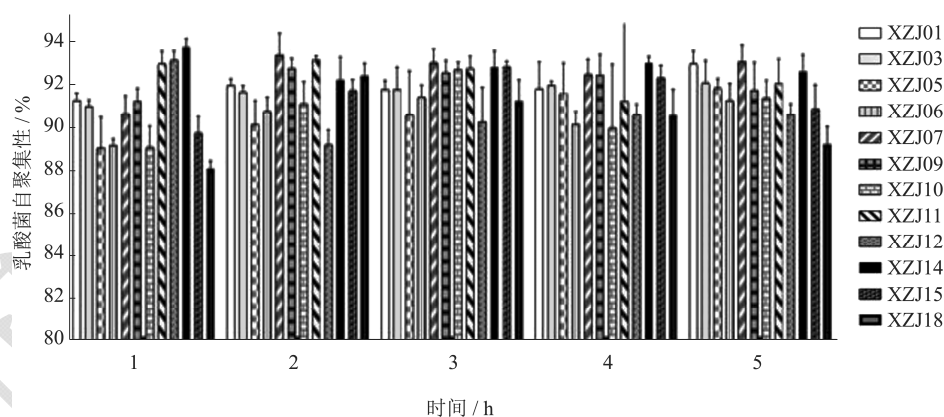


图 1 乳酸菌自聚集性分析

Fig.1 The self aggregation of the lactic acid bacteria

2.2 乳酸菌耐酸性的研究

益生菌耐受胃环境中的低 pH 值和胃蛋白酶是其进入肠道发挥功能的关键步骤,胃表面的细胞主要分泌三种重要物质:粘液、盐酸和胃蛋白酶。因此,乳酸菌的耐酸性,是鉴定乳酸菌益生性的重要指标之一。受试的菌株在 pH 值 2.5 的 MRS 培养基培养 4 h 后,结果如图 2 所示,随着酸处理时间的延长,试验菌株

对酸的耐受性均降低。菌株 XZJ15 在酸处理 2 h 与酸处理 1 h 相比,其 OD_{600} 值下降速度较缓,仍保持较高的活率,随着处理时间的延长, OD_{600} 值仍接近 1.0;而菌株 XZJ07 随着酸处理时间的延长,其 OD_{600} 值下降明显,处理 4 h 后,其 OD_{600} 值低于 0.5,说明其对酸的耐受性较其他受试菌株差;所有的受试菌株经过酸处理后,仍存在一定的活性,但酸耐受性不同,说明这些菌株对酸的耐受较好,这源于这些菌株从酵素

产品中分离出来的, 它们对酸的耐受能力较强。这与现有从泡菜以及奶疙瘩分离出来的乳酸菌耐酸性研究基本一致^[10], 这些都与受试的菌株从酸性产品中分离出相关。不同的益生菌对肠胃环境耐受能力不同, 其中普遍乳酸杆菌属具有广泛的耐受性^[16], 这一观点支持了本研究结果。

2.3 乳酸菌耐胆盐的研究

乳酸菌能在人体中定植, 其对胆盐的耐受性直接有较大的影响。乳酸菌对胆盐的耐受性, 是鉴定乳酸菌益生性的重要指标之一。由图 3 可知, 在胆盐浓度为 0.3% 的模拟人体胆汁环境中, 酵素中筛选出了 12 株耐受性良好菌株的存活率呈下降趋势, 但在测试过程中所有乳酸菌菌株均可存活。发现菌株 XZJ05、XZJ06、XZJ09、XZJ10、XZJ12、XZJ14、XZJ18 7 株

菌对胆盐耐受性较强, 在 0.3% 胆盐培养 3 h 后, 活菌数仍达到 10^6 CFU/mL, 尤其是在的菌株 XZJ6、XZJ18 在高浓度胆盐环境中培养 6 h 后, 活菌数达到 10^6 CFU/mL, 明显高于菌株 XZJ007 对胆盐的耐受性, 表现出在含 0.3% 胆盐培养环境中具有良好的生长特性, 说明这 6 株菌具有较好的胆盐耐受性, 能够在较高的胆盐浓度下存活下来。而菌株 XZJ15 在含 0.3% 胆盐环境中, 在处理 3 h 后, 其活菌数仍达到 10^6 CFU/mL, 但随着处理时间延长, 其对胆盐的耐受性急剧下降, 处理 5 h 后, 其活菌数又下降了 2 个数量级, 说明菌株 XZJ15 在含 0.3% 胆盐环境中处理时间超过 5 h 后其耐受性较差, 这可能是由于高浓度胆盐容易改变细胞膜通透性并溶解膜内蛋白质, 从而使得细胞内的物质流出, 导致细胞死亡。

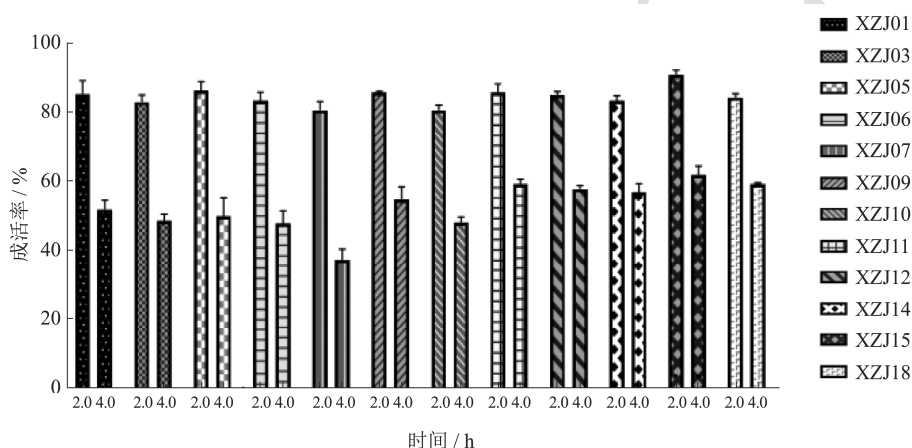


图 2 乳酸菌耐酸性分析

Fig.2 Acid resistance analysis of lactic acid bacteria

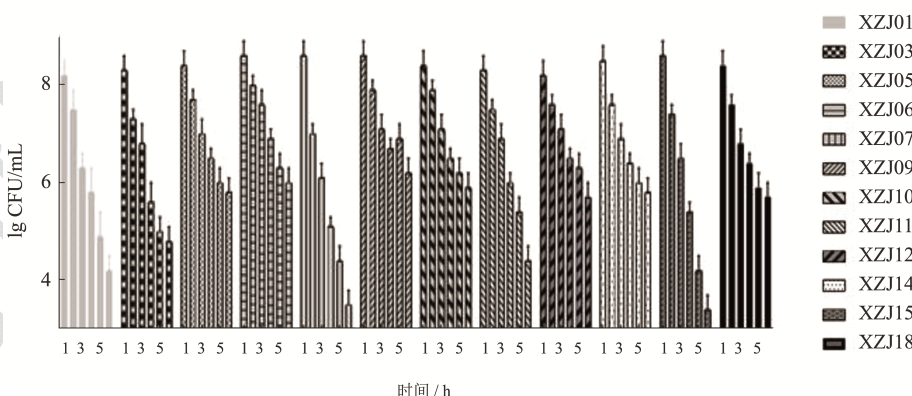


图 3 乳酸菌耐胆盐分析

Fig.3 Analysis of bile salt tolerance of lactic acid bacteria

2.4 乳酸菌的胃蛋白酶耐受性测定

乳酸菌对人体的益生性除了要耐受胆盐, 还需耐受胃蛋白酶, 才能顺利通过胃到达小肠, 因此, 乳酸

菌对胃蛋白酶的耐受性, 是鉴定乳酸菌益生性的重要指标之一。人工胃液 pH 值通常在 3.0 左右, 因此选择在 pH 值 2.5 且胃蛋白酶质量浓度为 5 mg/mL 的模拟胃液中进行乳酸菌的耐受性实验。由图 4 可知, 乳酸

菌存活率呈下降趋势，但在测试过程中所有乳酸菌菌株均可存活。其中，在人工模拟的胃液孵育 4 h 后，12 株菌株均可生长，但耐受性不同，菌株 XZJ07 存活率为 19%，说明其耐受人工胃液的能力较差；其余 11 株存活率均大于 40%，说明乳酸菌抗人工胃液

的能力因菌株的不同而有显著的差异。菌株 XZJ15、XZJ18 存活率最高，人工胃液处理 4 h 后，其存活率高达 50%以上。考虑食物在胃液中停留时间大致为 1~2 h，孵育 2 h 后的 12 株乳酸菌其存活率均大于 75%，由此看见，受试的 12 株菌对人工胃液有一定的耐受力。

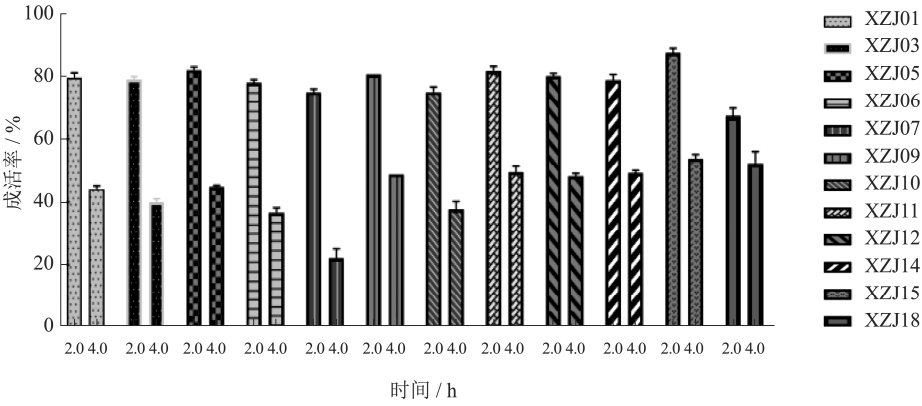


图 4 乳酸菌对胃蛋白酶耐受性分析
Fig.4 Analysis of pepsin tolerance of lactic acid bacteria

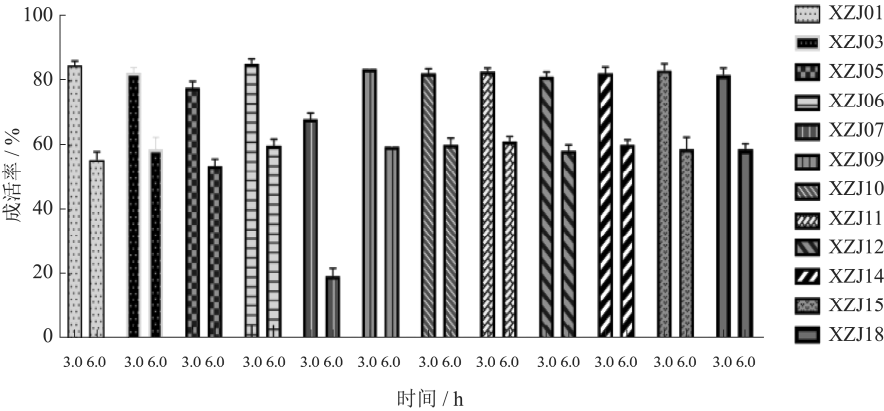


图 5 乳酸菌对胰蛋白酶耐受性分析
Fig.5 Analysis of trypsin tolerance of lactic acid bacteria

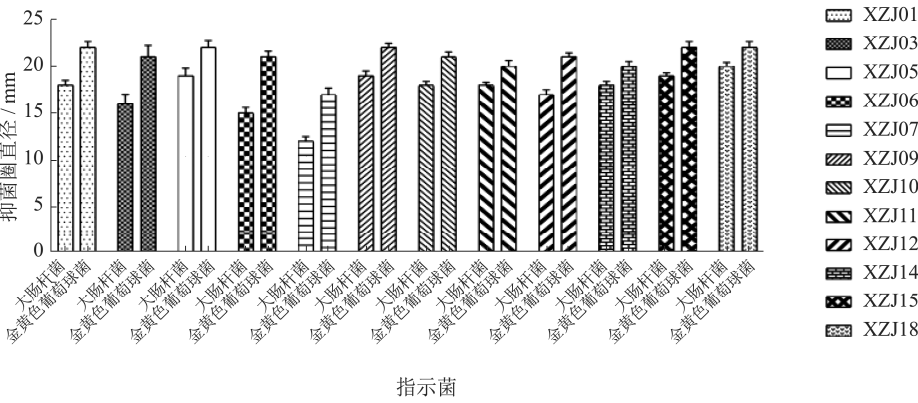


图 6 乳酸菌对指示菌的抑制作用
Fig.6 The inhibitory effect of lactic acid bacteria on indicator bacteria

2.5 乳酸菌的胰蛋白酶耐受性测定

胰液中会分泌胰蛋白酶进入肠液,肠液呈微碱性,对乳酸菌有胁迫作用。所以除了胃酸和胆盐外,乳酸菌对胰蛋白酶的耐受性,也是鉴定乳酸菌益生性的重要指标之一。如图 5 所示,在胰蛋白酶质量浓度为 10 mg/mL 的模拟肠液中,受试 12 株菌株在人工肠液中均可生长,且呈现不同的差异性。在孵育 3 h 后,12 株受试菌株仍保留 80% 的存活率,随着孵育处理时间延长,乳酸菌存活率呈下降趋势,仍保持有 50% 的存活率(XZJ07 耐受胰蛋白酶能力差,处理 6 h 后,其存活率只有 20%),但在测试过程中所有乳酸菌菌株均可存活。这与张悦等^[17]研究乳酸菌在人工肠液中报道的基本一致。

2.6 乳酸菌的耐抗生素测定

表 1 12 株乳酸菌菌株对不同抗生素的抑菌圈直径(mm)和敏感度

Table 1 The sensitivity and diameter of inhibition zone of 12 strains LAB to different antibiotics

菌株	抗生素			
	土霉素	红霉素	四环素	氨苄西林
XZJ01	0/R	0/R	0/R	15 mm/S
XZJ03	0/R	0/R	0/R	15 mm/S
XZJ05	0/R	0/R	0/R	10 mm/I
XZJ06	0/R	0/R	0/R	11 mm/I
XZJ07	0/R	0/R	0/R	16 mm/S
XZJ09	0/R	0/R	0/R	18 mm/S
XZJ10	0/R	0/R	0/R	15 mm/S
XZJ11	0/R	0/R	0/R	16 mm/S
XZJ12	0/R	0/R	0/R	14 mm/S
XZJ14	0/R	0/R	0/R	16 mm/S
XZJ15	0/R	0/R	0/R	18 mm/S
XZJ18	0/R	0/R	0/R	12 mm/I

注: S-敏感 I-中性 R-耐受。土霉素(10 μg/mL),红霉素(10 μg/mL),四环素(10 μg/mL),氨苄西林(20 μg/mL),土霉素(R: ≤14 mm, I: 15~18 mm, S: ≥19 mm);红霉素(R: ≤13 mm, I: 14~17 mm, S: ≥23 mm);四环素(R: ≤14 mm, I: 15~18 mm, S: ≥19 mm);氨苄西林(R: ≤9 mm, I: 10~13 mm, S: ≥14 mm),敏感性参考文献^[13]。

药敏试验是目前国际上作为益生菌耐药性评价方法,也是判定是鉴定乳酸菌益生性的重要指标之一^[18]。许多研究表明,乳酸菌对各种抗生素的敏感性因物种而异,且不同物种之间的敏感性相差可达数倍。根据抗菌药物敏感试验标准,本研究对受试菌株的抗生素敏感性进行了分析,由表 1 可知,受试 12 株菌株

对土霉素、红霉素、四环素具有较高的耐药性,其抑菌圈的直径为 0 mm,对氨苄西林的耐药性敏感,这可能是由于在这些酵素各组分在种植过程中,乳酸菌被抗生素治疗的人和动物所携带的抗药性菌株所污染所致。

2.7 乳酸菌对指示菌抑菌活性的测定

乳酸菌发酵过程中能产生有机酸、抗菌肽等物质,对肠道有害菌有拮抗作用,抑制它们的增殖。因此,研究受试菌株对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌指示菌的抑制作用。图 6 结果表明受试 12 株菌株均对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌均有明显的抑制效果,除了 XZJ07 对大肠杆菌的抑菌效果稍弱一点外,其他菌株抑菌直径大于 15.00 mm,而受试 12 株菌株对金黄色葡萄球菌的抑菌圈直径达到 20.00 mm,这与文献报道的研究结果一致^[8]。

3 结论

将从紫背桃源酵素中分离的 12 株乳酸菌对其自聚集性、酸耐受性试验以及在模拟的人工胃液人工肠液对胃蛋白酶、胰蛋白酶的耐受性试验中,所选用的 12 株乳酸菌均为高聚集的菌株。在乳酸菌的耐酸性测定中,除了 XZJ07 对酸的耐受性较差,其他 11 株均具有较强的耐受性。除了 XZJ07 以外,其他 11 株菌株在 pH 值为 2.5 的模拟胃液中培养 2 h 存活率仍达 75% 以上;在 0.3% 胆盐中培养 3 h 后,受试菌株的活菌数仍可达 10⁶ CFU/mL;受试菌株对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌均有一定的抑制作用,除了 XZJ07 对大肠杆菌抑菌圈直径 12 mm 外,其他 11 株菌株的抑菌圈直径均超过 15.00 mm,且受试菌株对金黄色葡萄球菌的抑菌效果较好,其抑菌圈直径约 20.00 mm;受试菌株对氨苄青霉素敏感,对四环素、红霉素、土霉素较为耐受。综上所述,分离得到的乳酸菌在体外试验中表现出潜在益生性为其在益生性发酵剂及其在相关领域的应用提供了理论依据。

参考文献

- [1] Yanjun Feng, Min Zhang, Arun S Mujumdar, et al. Recent research process of fermented plant extract: A review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 65: 40-48.
- [2] Jing Dai, Ruyi Sha, Zhenzhen Wang, et al. Edible plant Jiaosu: Manufacturing, bioactive compounds, potential health benefits, and safety aspects [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2020, 100(15): 5313-5323.
- [3] 关倩倩,熊涛,谢明勇.益生菌发酵果蔬对人体健康的影响

- 及其产业化发展趋势[J].Engineering,2021,7(2):174-188.
- [4] Suwen Liu, Xuedong Chang, Xiufeng Liu, et al. Effects of pretreatments on anthocyanin composition, phenolics contents and antioxidant capacities during fermentation of hawthorn (*Crataegus pinnatifida*) drink [J]. Food Chemistry, 2016, 212: 87-95.
- [5] 晏殊.水果酵素自然发酵中优势菌株的分离鉴定及其代谢产物功效特性的研究[D].长沙:中南林业科技大学,2019.
- [6] Raffaella Di Cagno, Pasquale Filannino, Marco Gobbetti. Lactic acid fermentation drives the optimal volatile flavor-aroma profile of pomegranate juice [J]. International Journal of Food Microbiology, 2017, 248: 56-62.
- [7] 石超.传统发酵牦牛酸奶中降胆固醇乳酸菌的筛选及其对高脂模型大鼠的益生作用[D].兰州:兰州大学,2014.
- [8] 李佳宇.共轭亚油酸产生菌的益生性及安全性研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2016.
- [9] 崔美岩,张蓓,岳靖,等.青海茶卡盐湖附近 8 株土壤分离乳酸菌益生性的初步研究[J].河南工业大学学报(自然科学版),2016,37(4):79-83,90.
- [10] 热米拉·阿扎提.新疆传统乳制品奶疙瘩中乳酸菌的筛选及其抗衰老活性的研究[D].杭州:浙江大学,2016.
- [11] 任大勇,宫圣洁,周亭亭,等.朝鲜族辣白菜中益生性乳酸菌的筛选及其功能特性[J].中国食品学报,2018,18(7):76-82.
- [12] Lu Wang, You Luo, Yanan Wu, et al. Fermentation and complex enzyme hydrolysis for improving the total soluble phenolic contents, flavonoid aglycones contents and bioactivities of guava leaves tea [J]. Food Chemistry, 2018, 264: 189-198.
- [13] 李平兰,潘伟好,吕艳妮,等.微生态制剂中常用乳酸菌对抗生素的药敏性研究[J].中国农业大学学报,2004,9(1):16-20.
- [14] 孙群,易华西,张冬,等.潜在益生菌的筛选及抑菌功能特性评价[J].食品科技,2019,44(12):1-5.
- [15] 加勒哈斯别克·塞力克,孙昕,阿曼古丽·杰木斯,等.新疆传统发酵乳品中益生菌的益生特性[J].中国微生态学杂志,2019,31(5):502-508.
- [16] 杨旭洲,陈佩瑶,张富新.抗氧化乳酸菌的筛选及其益生特性评价[J].食品与发酵工业,2023,49(10):17-23.
- [17] 张悦,贺银凤,顾悦,等.高产生物膜乳酸菌抗逆性及其抗氧化特性[J].农业工程学报,2021,37(6):282-288.
- [18] 曾小群,潘道东,郭宇星,等.不同来源乳酸菌的药敏试验[J].中国食品学报,2012,12(9):179-185.