

云南建水酸浆豆腐中乳酸菌的生长特性

王嘉琪,吕铭守,涂婧,王冰,杨杨,张娜,石彦国*
(哈尔滨商业大学食品工程学院,黑龙江省普通高等学校
食品科学与工程重点实验室,黑龙江哈尔滨 150076)

摘要:为了筛选出优良的乳酸菌进行发酵制作酸浆,对分离自云南建水豆腐酸浆中的五株乳酸菌(SYG01、SYG02、SYG03、SYG04、SYG05)的生长曲线、产酸能力、耐酸能力和耐渗透压能力进行了比较。生长曲线实验表明在相同培养时间内,菌株SYG02繁殖能力最强,其次是菌株SYG03,而菌株SYG05、SYG04、SYG01的生长速率明显较慢;在产酸方面SYG02产酸能力最强,速度最快,SYG03、SYG05和SYG04次之,SYG01最弱。在耐酸方面,在pH4.0的环境下5株菌生长良好,在pH3.0的酸性环境下5株菌虽然能够存活,但活菌数的数量级仅在 $10^2 \sim 10^4$ CFU/mL,其中菌株SYG02和SYG03比其它三株菌株表现出较好的耐酸能力。在耐渗透压方面,SYG02在8% (w/V)的NaCl中依然表现出较强的耐受性,活菌数的数量级达到 10^7 CFU/mL,其余4株菌在NaCl含量大于6% (w/V)时生长受到明显抑制。并以发酵黄浆水的pH及产酸量为指标对菌株的产酸能力进行比较,发现混合菌株的产酸能力高于单菌株,其中菌株SYG02和菌株SYG03组合发酵的效果最好,在发酵72 h后黄浆水的pH为3.52,产酸量达到6.46 g/L。从而得出菌株SYG02具有良好的生长、产酸和耐渗透压能力,具有良好的应用潜力,对酸浆豆腐的工业化生产有重要的意义。

关键词:乳酸菌,生长特性,产酸,耐酸,耐渗透压

Study on growth characteristics of lactic acid bacteria from the acid slurry bean curd of Yunnan Jianshui

WANG Jia-qi, LV Ming-shou, TU Jing, WANG Bing, YANG Yang, ZHANG Na, SHI Yan-guo*

(College of Food Engineering, Harbin University of Commerce, Heilongjiang
Key Laboratory of Food Science and Engineering, Harbin 150076, China)

Abstract: To screen the suitable lactic acid bacteria fermentation acid whey, the growth curve, acid production, acid tolerance and osmotic pressure tolerance ability of five lactic acid bacteria which isolated from tofu acid whey of Yunnan Jianshui acid slurry bean curd were compared. The results of growth curve experiment showed that the strain SYG02 had the strongest reproductive capacity, followed by the strain SYG03, and the growth rates of strains SYG05, SYG04, SYG01 were significantly slower. SYG02 produced the most acid within the least time, followed by SYG03, SYG05 and SYG04, and SYG01 was the weakest. All of the five strains could well-grown at the condition of pH4.0, and could survive at the condition of pH3.0, while the total plant counts were only $10^2 \sim 10^4$ CFU/mL, SYG02 and SYG03 showed better acid resistance than other three strains. In terms of osmotic tolerance, SYG02 showed strong tolerance to 8% (w/V) NaCl, the growth of the other 4 strains was inhibited obviously when the content of NaCl was more than 6% (w/V). A conclusion was drawn from the comparison of the pH and acid production of the fermentation tofu whey that the acid producing ability of mixed strains was better than single strain that the acid producing ability of mixed strains was better than single strain, the strain SYG02 and SYG03 had the best effect on fermentation tofu whey, after 72 h fermentation tofu whey pH was 3.52, acid production reached 6.46 g/L. Accordingly, SYG02 has good abilities of producing acid and resisting osmotic pressure, the strain have a good application potential and can play an important role for the commercial process of acid slurry bean curd.

Key words: lactic acid bacteria; growth characteristics; acid production; acid tolerance; osmotic pressure tolerance

中图分类号: TS201.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2018)08-0090-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2018.08.017

引文格式: 王嘉琪, 吕铭守, 涂婧, 等. 云南建水酸浆豆腐中乳酸菌的生长特性[J]. 食品工业科技, 2018, 39(8): 90-94.

建水豆腐是云南省特色的传统食品, 历史悠久, 早在清代中后期就享有盛名, 建水豆腐制作的独特

收稿日期: 2017-09-11

作者简介: 王嘉琪(1992-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 大豆化学与加工技术原理, E-mail: jiaqi1992312@163.com。

* 通讯作者: 石彦国(1960-), 男, 硕士, 教授, 研究方向: 大豆化学与加工技术原理, E-mail: yanguosh@163.com。

基金项目: 国家重点研发计划资助(2016YFD0400402)。

之处在于用酸浆代替传统的盐卤和石膏做凝固剂。酸浆是制作豆腐产生的黄浆水经自然发酵“变酸”形成的,并可循环利用,原料均来自豆腐本身,是绿色、安全的。酸浆点制的豆腐口感细腻、保水性好、味道甘甜、无苦涩味,深受广大消费者的喜爱^[1-3]。酸浆作为凝固剂使大豆蛋白凝固的机理为酸凝^[4],其产酸的微生物主要为乳酸菌^[5]。酸浆豆腐延续小作坊,依靠人们多年经验的制作,风味独特。因此,从云南建水酸浆豆腐生产用酸浆出主要的微生物,选育具有优良性状的乳酸菌可以丰富微生物资源,并推动酸浆豆腐工业化发展。

乳酸菌的应用非常广泛,已经被公认为安全绿色的食品添加剂^[6],不仅对发酵食品的品质和肠道健康起着关键作用,某些乳酸菌甚至具有治疗胃肠道疾病^[7-8]、降低“三高”^[9-10]、提高免疫力^[11-12]、缓解精神疾病^[13-14]等益生功能。乳酸菌在发酵黄浆水的过程中产生大量的乳酸,降低黄浆水的 pH,使酸浆的 pH 降低至 3.5~4.0^[1],乳酸菌发酵产生的酸性环境使其它杂菌难以存活,所以筛选出具有产酸速度快、耐酸能力强的乳酸菌对酸浆的生产效率和质量非常重要。酸浆豆腐的制作过程中乳酸菌由酸浆到豆腐中,其生存环境发生了变化,所以具有一定的耐渗透压能力的乳酸菌会增加其在豆腐中的存活率,进而使其继续发酵产生独特的风味。

本研究从云南建水制作酸浆豆腐所用酸浆中分离出五株乳酸菌,对其生长特性、产酸速率、耐酸能力、耐渗透压能力进行比较研究,以为酸浆工业化生产提供理论支撑,并对酸浆豆腐工业化生产提供前提保障。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

SYG01 为短乳杆菌 (*Lactobacillus brevis*), SYG02 为棒状乳杆菌 (*Lactobacillus coryniformis*), SYG03 为弯曲乳杆菌 (*Lactobacillus curvatus*), SYG04 为融合魏斯氏菌 (*Weissella confusa*), SYG05 为 *Lactobacillus concavus* 来源于哈尔滨商业大学食品工程学院实验室,分离自云南建水酸浆豆腐生产用酸浆;盐酸、氯化钠、邻苯二甲酸氢钾 均为分析纯,天津市天力化学试剂有限公司;MRS 肉汤培养基 北京奥博星生物技术有限责任公司;琼脂 北京博奥拓达科技有限公司。

HD580 型洁净工作台 北京东联哈尔仪器制造有限公司;DHP-9162B 型电热恒温培养箱 上海一恒科学仪器有限公司;LDZX-50FBS 型立式压力蒸汽灭菌器 上海申安医疗器械厂;DHG-9140A 型电热鼓风干燥箱、PHS-3C 型 pH 计 上海仪电分析仪器有限公司;移液枪 苏州艾利弗电气有限公司;PHS-3C 可见分光光度计 上海光谱仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 生长曲线测定 将预先活化好的五株乳酸菌按 5% 的接种量分别接种于 MRS 液体培养基中,37 °C 培养 48 h,每隔 2 h 取发酵液,以未接菌 MRS 液

体培养基作对照,在 600 nm 波长处测定其吸光值 ($OD_{600\text{nm}}$),平行测定 3 次,绘制五株乳酸菌的生长曲线。

1.2.2 产酸能力测定 将预先活化好的乳酸菌按 5% 的接种量接种于 MRS 液体培养基中,37 °C 培养 48 h,每隔 6 h 测定发酵液的 pH 及产总酸量,平行测定 3 次。

产酸量的测定:取 5.00 mL 发酵液放入 250 mL 的锥形瓶中去用 CO_2 水适当稀释,加入 5 滴 0.1% 酚酞指示液,摇匀,用邻苯二甲酸氢钾标定的 0.1 mol/L 氢氧化钠滴定至微红色,30 s 内不褪色,记录氢氧化钠标准溶液消耗量,按如下公式计算产总酸量。

$$C_2 = \frac{C_1 \times M \times F \times (V_1 - V_2)}{V_3}$$

式中: C_2 为产酸量, g/L; C_1 为 NaOH 溶液浓度, mol/L; M 为乳酸摩尔质量, g/mol; F 为试液稀释倍数; V_1 为 NaOH 滴定发酵液消耗的体积, mL; V_2 为 NaOH 滴定空白对照消耗的体积, mL; V_3 为待测发酵液体积, mL。

1.2.3 耐酸能力测定 将预先活化好的乳酸菌按 5% 的接种量分别接种于初始 pH3.0、3.5、4.0、4.5、5.0 的 MRS 液体培养基中,以 pH6.2 的自然 MRS 培养基为空白对照,37 °C 恒温培养 24 h 后,进行活菌计数,平行测定 3 次。

活菌计数:采用平板计数法,将培养好的菌液用无菌生理盐水逐级稀释,分别稀释至 10^{-1} 、 10^{-2} 、 10^{-3} 、 10^{-4} 、 10^{-5} 、 10^{-6} 、 10^{-7} 混匀,吸取 100 μL 样品匀液于无菌平皿内,每个稀释度做两个平皿,及时将 15~20 mL 冷却至 46 °C 的 MRS 琼脂培养基倾注平皿,并转动平皿使其混合均匀。待琼脂凝固后,将平板翻转,37 °C 培养 48 h。选取菌落数 30~300 CFU 为有效计数平皿,进行计数。依照下式计算出菌体浓度 (CFU/mL):

$$\text{菌体浓度 (CFU/mL)} = (C \div V) \times M$$

式中: C 代表某一稀释度下平板上生长的平均菌落数, V 代表涂平板时所用稀释液的体积, M 代表稀释倍数。

1.2.4 耐渗透压能力测定 将预先活化好的乳酸菌按 5% 的接种量分别接种于 NaCl 浓度为 0%、2%、4%、6%、8%、10% 的液体 MRS 培养基中,37 °C 恒温培养 24 h,进行活菌计数,平行测定 3 次。

1.2.5 单菌发酵黄浆水产酸能力比较 将预先活化好的乳酸菌按 2% 的接种量分别单独接种于灭菌的黄浆水 (105 °C 高压灭菌 15 min) 中进行发酵,每隔 6 h 测其发酵液 pH,后期发酵液 pH 变化不显著时可延长 12 h 测其 pH,平行测定 3 次。

1.2.6 双菌发酵黄浆水产酸能力比较 分别按菌株 SYG02 : SYG01、SYG02 : SYG03、SYG02 : SYG04、SYG02 : SYG05 均为 1:1 的比例混合,按 2% 的接菌量接种于灭菌的黄浆水 (105 °C 高压灭菌 15 min) 中进行发酵,每隔 6 h 测其发酵液 pH,后期发酵液 pH 变化不显著时可延长 12 h 测其 pH,平行测定 3 次。

1.3 数据统计

实验数据利用 Excel 软件和 SPSS 19.0 软件进行

分析处理。

2 结果与分析

2.1 生长性能比较

由图1可知,随着培养时间的延长,五株菌的生长趋势相似。0~6 h 五株菌株均处于迟缓期,6~20 h 菌株 SYG02、SYG04 和 SYG05 呈对数生长期,菌株 SYG01 和 SYG03 分别在 6~18 h 和 6~26 h 呈对数生长期,其繁殖速率最快。菌株 SYG02 和 SYG05、SYG03 和 SYG04、SYG01 分别在 20~44 h、18~36 h、26~42 h 为稳定期,菌体浓度变化趋于平稳。在相同培养时间内,其中菌株 SYG02 的菌体浓度最大、繁殖能力最强,其次是菌株 SYG03,而菌株 SYG05、SYG04、SYG01 的生长速率明显较慢。

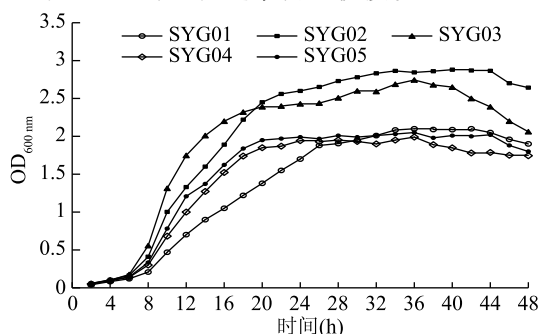


图1 五株乳酸菌的生长曲线
Fig.1 Growth curve of five strains

2.2 产酸能力比较

酸浆发酵过程中乳酸菌产生的有机酸一方面可以有效的降低酸浆的 pH,从而抑制霉菌和细菌的生长,另一方面有机酸对酸浆的风味物质形成及酸浆豆腐的风味和质构有重要的作用。分别对五株乳酸菌产酸性能进行测定,结果如图2和图3所示。

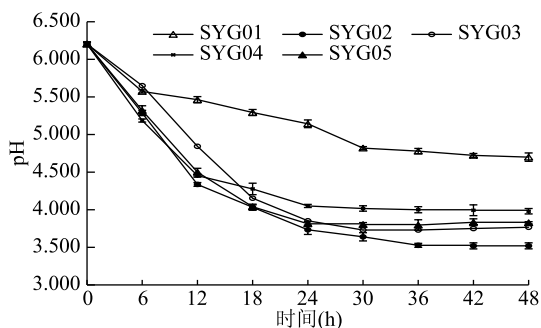


图2 五株乳酸菌发酵液 pH 变化
Fig.2 Different pH of medium during fermentation of three strains

由图2可以看出,菌株 SYG01 培养液的 pH 下降最缓慢,最终 pH 为 4.70,菌株 SYG02、SYG03、SYG05、SYG04 培养液的 pH 在 0~24 h 内迅速下降,随之缓慢降低直至趋于平稳,最终 pH 分别达到 3.52、3.76、3.83、3.98。由图3可以看出,五株菌株的产酸量在 0~18 h 迅速增加,随后菌株 SYG02 和 SYG03 呈缓慢增加的趋势,而菌株 SYG05、SYG04、SYG01 的产酸量基本变化不大,这可能是由于随着培养时间的延长,培养液的 pH 逐渐降低,在较低的

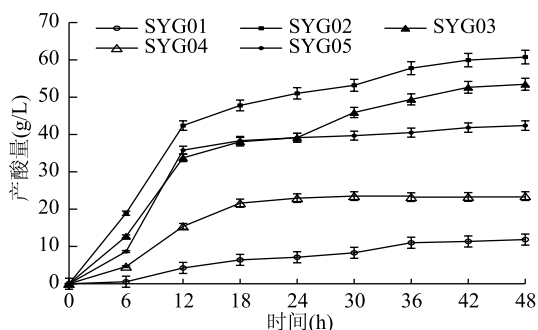


图3 五株乳酸菌的产酸能力

Fig.3 Lactic acid production capacity of five strains

pH 环境下使乳酸菌的生长受到抑制甚至死亡,而菌株 SYG02 和 SYG03 的耐酸能力强于其它三株菌株,所以 18 h 以后的产酸量高于其它三株菌株。在五株菌株中 SYG02 产酸速度最快,最终乳酸浓度为 60.75 g/L,菌株 SYG03 的产酸速度仅次于 SYG02,最终乳酸浓度为 53.46 g/L,菌株 SYG05、SYG04、SYG01 次之。由图2、图3可得出,菌株 SYG02 和 SYG03 的产酸能力明显高于其它三株菌株。

2.3 耐酸能力比较

制作酸浆豆腐所用的酸浆 pH 为 3.5~4.0^[3],乳酸菌应具有一定的耐酸能力才能保证酸浆发酵的顺利进行。由图4可知,五株乳酸菌的生长均随 pH 的降低而减小,但减小幅度不同,同一菌株在不同 pH 环境下也表现出了不同的生存能力,表明各菌株对酸的耐受能力不同(各菌株的初始活菌数在 $1.5 \times 10^9 \sim 2.7 \times 10^9$ CFU/mL)。菌株 SYG01 耐酸能力最弱,在 pH3.5、3.0 时培养 24 h 活菌数远小于 pH6.2,这可能是由于 pH 过低的环境导致乳酸菌无法维持自身细胞内的 pH 稳定,从而导致生长受到抑制,甚至部分死亡。菌株 SYG04 和 SYG05 在 pH 大于 4.0 的环境中可以良好生长,当 pH 降至 3.5 时,培养 24 h 后菌体浓度下降迅速,当 pH3.0 时活菌数的数量级仅为 10^2 CFU/mL。对于菌株 SYG02 和 SYG03 而言,在 pH3.5 和 pH3.0 条件下,培养 24 h 后活菌数达到 10^5 CFU/mL 和 10^4 CFU/mL 以上,活菌数均高于其它三株菌株,故菌株 SYG02 和 SYG03 具有较好的耐酸能力。

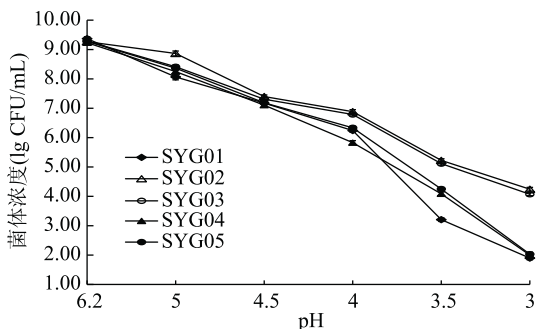


图4 五株乳酸菌对不同 pH 的耐受力

Fig.4 Tolerance of five strains to different pH values

2.4 耐渗透压能力比较

不同的微生物对渗透压的抵抗力有所不同,但

是任何一种微生物对渗透压的抵抗力都有一定的限度,超过一定的渗透压,微生物的生长会受到抑制甚至死亡^[15]。如图5可知,五株乳酸菌在不同质量分数 NaCl 下表现出了各不相同的耐受能力。菌株 SYG01 和 SYG04 的耐渗透压能力最弱,在 NaCl 质量分数为 6%、8% 时,培养 24 h 活菌数远小于不含 NaCl 培养基内的活菌数,说明其生长受到抑制,当 NaCl 质量分数增大至 10% 时,菌株 SYG01 和 SYG04 基本不能生产而死亡。菌株 SYG03 和 SYG05 在 NaCl 质量分数为在 6% 生长良好,培养 24 h 后,活菌数在 10^6 CFU/mL 以上,当 NaCl 质量分数大于 6% 时生长受到明显抑制。而菌株 SYG02 在所有 NaCl 质量分数下均表现出良好的生存能力,培养 24 h 后,NaCl 质量分数为 8% 和 10% 时活菌数分别达到 10^7 CFU/mL 和 10^5 CFU/mL 以上。在 NaCl 质量分数逐渐增大时,相同质量分数下菌株 SYG02 比其余四株表现出较好的耐受性,因此菌株 SYG02 的耐渗透压能力最佳。

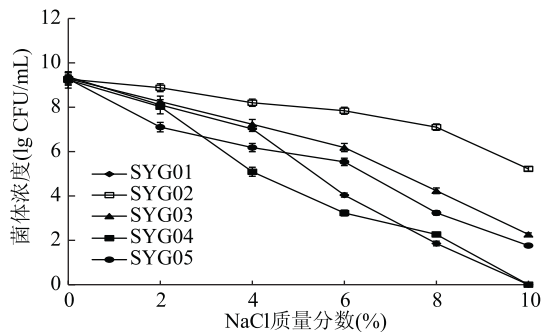


图5 五株乳酸菌对不同质量分数 NaCl 的耐受性
Fig.5 Tolerance of five strains to different NaCl concentrations

2.5 单菌发酵黄浆水及双菌混合发酵黄浆水比较

由图6可知,在单菌种发酵模式下五株乳酸菌均可发酵豆腐黄浆水产酸,五株乳酸菌在发酵豆腐黄浆水初期的 24 h 内,菌株处于对数生长期,产酸能力强,pH 下降快,随着发酵时间的延长,产酸速率有所下降,48 h 后产酸量趋于平稳;菌株 SYG02 产酸能力最强,产酸量一直处于上升的趋势,在发酵 72 h 后黄浆水的 pH 为 3.66,产酸量达到 5.2 g/L。由此可见,这五株乳酸菌在没有补充任何营养成分前提下,能够在黄浆水中迅速生长产酸,其中菌株 SYG02 效果最好,具有很好的应用前景。

由图7与图6对比可以看出,菌株 SYG02 与其它四株菌株复配发酵豆腐黄浆水的效果要优于各菌株单独发酵,这可能是由于五株菌株均分离自云南建水酸浆豆腐生产所用的酸浆,在经过长期的自然驯化过程中,自然酸浆中已经形成了共生乳酸菌群,双菌混合的共生作用促进其生长,进而使其产酸效果增强,其中菌株 SYG02 和菌株 SYG03 组合发酵的效果最好,在发酵 72 h 后黄浆水的 pH 为 3.52,产酸量达到 6.46 g/L。

3 结论与讨论

通过对五株乳酸菌的生长曲线、产酸能力、耐酸

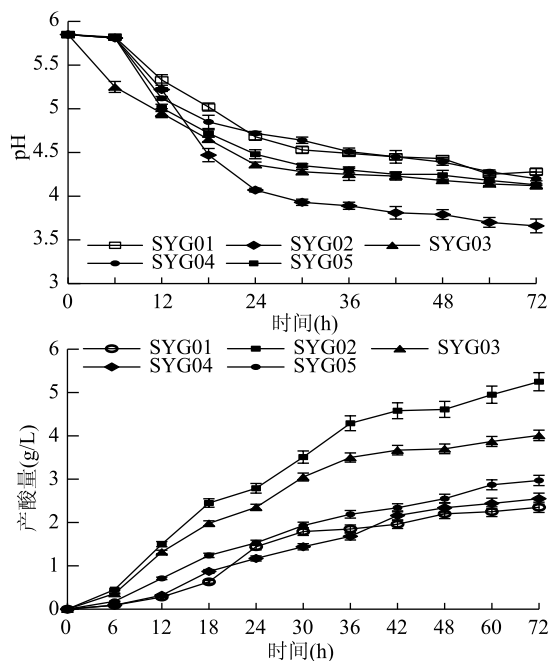


图6 单菌发酵黄浆水 pH 和产酸量的变化
Fig.6 Changes of pH and acid production for yellow serofluid fermented by single lactobacilli

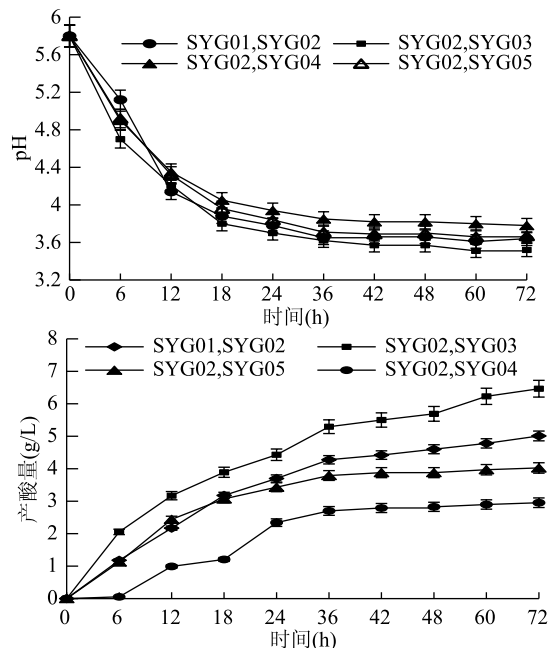


图7 双菌发酵黄浆水 pH 和产酸量的变化
Fig.7 Changes of pH and acid production for yellow serofluid fermented by double lactobacilli

能力、耐渗透压能力进行比较研究,结果表明,在相同培养时间内,菌株 SYG02 繁殖能力最强;在产酸能力方面,菌株 SYG02 产酸能力最强,速度最快,培养至 24 h 时其 pH 降低至 3.73,42 h 时其 pH 低至 3.52;在耐酸能力方面,菌株 SYG02 和 SYG03 具有较好的耐酸能力;在耐渗透压方面,SYG02 在 8% (w/v) 的 NaCl 中依然表现出较强的耐受性,活菌数的数量级达到 10^7 CFU/mL,其余 4 株菌在 NaCl 含量大于 6% (w/v) 时生长受到明显抑制。通过对五株乳酸菌单独发酵黄浆的研究,结果表明五株乳酸菌均可在黄

浆水中生长产酸,使发酵液的 pH 降低,对于酸浆来说 pH 的下降可抑制其它微生物的生长,对酸浆的安全性具有重要意义。在对双菌发酵黄浆水与单菌发酵黄浆水的比较研究中,结果发现双菌发酵的效果要优于单菌发酵,其中菌株 SYG02 和菌株 SYG03 组合发酵的效果最好。

实验证实云南建水酸浆豆腐生产所用酸浆中的乳酸菌能够发酵豆腐黄浆水制作酸浆,因此我们可以进一步充分利用这些乳酸菌发酵制作豆腐。张影等^[16]用豆腐黄浆水发酵制备酸浆凝固剂,所得酸浆豆腐感官性能和力学性能均优于市售卤水豆腐;乔之红等^[17-18]将不同的乳酸菌混合发酵制得布丁豆腐,改善了以往盐卤和石膏豆腐的苦涩味。这为我们利用酸浆中的乳酸菌提供了依据,我们可以应用其制作酸浆豆腐,既可以保留建水豆腐的特殊风味,又可以改善豆腐的质地,去除盐卤和石膏豆腐的苦涩味。在优化豆腐生产工艺的同时,又使得黄浆水得以循环利用。

参考文献

- [1] 乔支红,闫佳,陈虹,等.酸浆标准化生产工艺的研究[J].食品工业科技,2015(12):162-164,169.
- [2] 于章龙,刘楚怡,李永歌,等.酸浆豆腐中菌种抗高温损伤保护剂的研究[J].食品科技,2010,35(7):5-8.
- [3] 叶青,许云贺,张莉力.利用干酪乳杆菌 YQ336 制备酸浆豆腐凝固剂的发酵条件优化[J].食品工业科技,2017,38(14):106-110,115.
- [4] 宋俊梅,曲静然,李燕,等.脆豆腐老浆液点浆机理的研究[J].食品科技,2002(4):14-15.
- [5] 孟克毕力格,陈平,王锂韞,等.一种豆腐凝固剂酸汤中乳酸菌的分离及其生物学特性的研究[J].内蒙古农业大学学报:自然科学版,2000,21(3):89-93.
- [6] Schrezenmeir J, De V M. Probiotics, prebiotics, and synbiotics - approaching a definition [J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2001, 73(2):361s-364s.
- [7] Saez-Lara M J, Gomez-Llorente C, Plaza-Diaz J, et al. The role of probiotic *Lactic acid bacteria* and *Bifidobacteria* in the prevention and treatment of inflammatory bowel disease and other related diseases: a systematic review of randomized human clinical trials [J]. Biomed Research International, 2015, 2015:1-15.
- [8] 崔燕丽,徐晓芬,吴正钧,等.乳酸菌胞外多糖对人类肠道菌群的影响[J].中国微生态学杂志,2016,28(7):851-856.
- [9] Hulston C J, Churnside A A, Venables M C. Probiotic supplementation prevents high-fat, overfeeding-induced insulin resistance in human subjects [J]. British Journal of Nutrition, 2015, 113(4):596-602.
- [10] 吕秀红,陈凯飞,朱祺,等.降胆固醇乳酸菌的筛选与鉴定[J].中国食品学报,2016,16(3):198-204.
- [11] Fong F L Y, Shah N P, Kirjavainen P, et al. Mechanism of action of probiotic bacteria on intestinal and systemic immunities and antigen-presenting cells [J]. International Reviews of Immunology, 2016, 35(3):179.
- [12] Bastani P, Homayouni A, Norouzi-Panahi L, et al. The mechanisms of immune system regulation by probiotics in immune-related diseases [J]. Journal of Pharmacy and Nutrition Sciences, 2016, 6(3):105-111.
- [13] Pärtty A, Kalliomäki M, Wacklin P, et al. A possible link between early probiotic intervention and the risk of neuropsychiatric disorders later in childhood: A randomized trial [J]. Pediatric Research, 2015, 77(6):823-828.
- [14] 骆鹏飞,俞兰秀,钟霞,等.乳酸菌对精神性疾病作用的研究进展[J].食品工业科技,2017,38(16):347-351.
- [15] 熊涛,宋苏华,黄锦卿,等.植物乳杆菌 NCU116 在模拟人体消化环境中的耐受力[J].食品科学,2011,32(11):114-117.
- [16] 张影,刘志明,刘卫,等.酸浆豆腐的工艺研究[J].农产品加工·学刊,2014(4):21-23,26.
- [17] 刘恩岐,乔支红.发酵布丁豆腐生产工艺的研究[J].食品科学,2006(6):128-130.
- [18] 乔支红.乳酸菌发酵布丁豆腐生产工艺及其品质的研究[D].晋中:山西农业大学,2005.
- [19] 高忠江,施树良,李钰,等.SPSS 方差分析在生物统计的应用[J].现代生物医学进展,2008,8(11):2116-2120.
- [20] 李小红,陈珍珍.如何正确应用 SPSS 软件做主成分分析[J].统计研究,2010,27(8):105-108.
- [21] 刘娣,秸秆纤维素高效降解真菌的筛选、鉴定及其纤维素酶基因克隆[D].北京:中国农业科学院,2008.
- [22] 马悦培,高红亮,常忠义,等.不同初始 pH 对丙酸杆菌细菌素发酵的影响[J].食品工业科技,2010(5):215-217.
- [23] 韩梅,北京豆汁优势菌群分析及豆汁发酵饮料的研制[D].锦州:锦州医科大学,2017.
- [24] 熊得王,刘晴,姚瑞莲,等.crp 基因突变对大肠杆菌利用混合碳源的影响[J].高校化学工程学报,2015,29(6):1390-1398.

(上接第 89 页)

Biol R, 2006, 70(4):939-1031.

权威·核心·领先·实用·全面