

酸浆水中 3 种菌株的产酸能力及抗氧化活性

Titrateable acidity and antioxidant activities of fermented Tofu whey

刘 力 李 理

LIU Li LI Li

(华南理工大学轻工与食品学院, 广东 广州 510640)

(College of Light Industry and Food Science, South China University of Technology,
Guangzhou, Guangdong 510640, China)

摘要:为了获得优质的豆腐凝固剂,应用从自然发酵的酸浆水中分离的 3 个菌株(解淀粉杆菌 L5、L6 以及阿米塞毕赤氏酵母 Y),分别进行单菌、双菌和三菌发酵试验,研究其产酸能力和抗氧化活性。结果表明:两个解淀粉乳杆菌菌株均可在豆腐黄浆水生长产酸,其中菌株 L6 发酵豆腐黄浆水产酸能力更强,35 °C 发酵 60 h 后,酸度达到 65.11 °T,而 3 个菌株进行组合发酵时也有较强的产酸能力,在发酵 60 h 后,酸度也达到 65.44 °T。经过解淀粉乳杆菌 L6 发酵后,酸浆水还原 Fe^{3+} 的能力和清除 DPPH 自由基的能力略有增加,螯合 Fe^{2+} 的能力显著增强,在发酵 48 h 时达到 54.45%;与 L6 不同,解淀粉乳杆菌 L5 发酵制备的酸浆水螯合 Fe^{2+} 的能力随着发酵时间延长而明显下降;阿米塞毕赤氏酵母 Y 发酵制备的酸浆水具有良好的还原 Fe^{3+} 的能力、清除 DPPH 自由基的能力以及螯合 Fe^{2+} 的能力;当 3 个菌株组合发酵时,其产酸能力以及酸浆水还原 Fe^{3+} 的能力、清除 DPPH 自由基的能力和螯合 Fe^{2+} 的能力均比 L6+Y 双菌株发酵制备的酸浆水强。综合得出,在发酵豆腐黄浆水产酸和抗氧化能力方面,单菌株 L6 最优,组合发酵时 L5+L6+Y 为最优。

关键词:酸浆水;解淀粉乳杆菌;阿米塞毕赤氏酵母;抗氧化活性;发酵

Abstract: In order to obtain tofu coagulator of high quality, investigated the titrateable acidity and antioxidant activities of the fermented tofu whey by 3 strains of *Lactobacillus amylolyticus* L5, L6 and *Pichia amethionina* Y, which were separated and purified from natural fermented tofu whey, with the single, double and three strains as starters. The results indicated that both of the *Lactobacillus* were able to grow and produce acid in the tofu whey, the titrateable acidity of fermented tofu whey by L6 for 60 h reached 65.11 °T at the temperature of 35 °C, displaying a better capacity in producing acids, while, it also reached 65.44 °T when the tofu whey was fermented

by the starter of L5+L6+Y under the same condition. The ability of reducing Fe^{3+} and scavenging DPPH radical of fermented tofu whey by L6 increased slightly, but the power of iron(II)-chelating significantly enhanced, with the power of 54.45%. In contrast, the power of iron(II)-chelating of fermented tofu whey by L5 decreased with the increasing fermentation time. The abilities of producing acids, reducing Fe^{3+} , iron(II)-chelating and DPPH radical scavenging of fermented tofu whey by L5+L6+Y were strong than those by L6+Y. In summary, *Lactobacillus amylolyticus* L6 was the best strain to produce acid and antioxidant activities in tofu whey among the 3 single strains, while, L5+L6+Y was the best combination among the multi-strain starters.

Keywords: fermented tofu whey; *lactobacillus amylolyticus*; *pichia amethionina*; antioxidant activity; fermentation

豆腐黄浆水为豆腐制作过程中产生的黄色沥水,含有大量水苏糖、棉子糖等低聚糖,同时还含有蛋白质、大豆异黄酮及维生素 P、K 等营养物质,非常适合微生物的生长^[1-3]。豆腐黄浆水在存贮的过程中自然发酵成为酸浆水,是一种良好的豆腐凝固剂,已在腐乳行业广泛应用^[4]。自然发酵的酸浆中含有大量的乳酸菌、酵母及其他微生物,其中也可能含有有害微生物如蜡样芽孢杆菌^[4],因此,采用纯种发酵制备有利于提高酸浆的品质及安全性。

本课题组前期研究了鼠李糖乳杆菌和嗜酸乳杆菌发酵豆腐黄浆水并取得了良好的效果^[5],考虑到自然发酵形成的酸浆中可能包含有性能更优越的菌种,近期又研究了酸浆水中的微生物,并从中分离出 2 株解淀粉乳杆菌(*Lactobacillus amylolyticus* L5、*Lactobacillus amylolyticus* L6)^[6,7]和 1 株阿米塞毕赤氏酵母(*Pichia amethionina* Y)。本研究探讨了 3 个菌株单菌、或者组合发酵豆腐黄浆水的产酸能力,以及酸浆水的抗氧化能力。另外,考虑到豆腐黄浆水中富含异黄酮^[1,2],且乳酸菌发酵能增强食物体系的抗氧化能力^[8],本研究分别应用 FRAP 法、DPPH 法以及螯合 Fe^{2+} 相结合的方

基金项目:广州市对外科技合作项目(编号:2013J4500021)

作者简介:刘力(1989—),男,华南理工大学在读硕士研究生。

E-mail: liuli327@126.com

通讯作者:李理

收稿日期:2015-01-08

法^[9]从不同的方面研究和评价酸浆水的抗氧化活性,为综合利用豆腐黄浆水提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

改良 MRS 液体培养基:牛肉膏 10 g,蛋白胨 10 g,酵母浸粉 5 g,葡萄糖 20 g,吐温-80 1 mL,K₂HPO₄·3H₂O 2 g,NaAc·3H₂O 5 g,柠檬酸氢二铵 2 g,MgSO₄·7H₂O 0.58 g,MnSO₄·H₂O 0.25 g;加蒸馏水定容到 1 L,pH 6.4±0.2,121℃灭菌 15 min。

豆腐黄浆水:从广东某腐乳厂采集;
菌种:*Lactobacillus amylolyticus* L5 菌种保藏号为 CG-MCC NO. 9371,*Lactobacillus amylolyticus* L6 保藏号为 CGMCC NO. 9090,分离源为自然发酵的豆腐酸浆,经 16SrDNA 分子鉴定确定菌种名;*Pichia amethionina* Y,分离源为同一自然发酵的豆腐酸浆,经 26SrDNA 分子鉴定及生理生化试验确定菌种名;

TPTZ、DPPH、菲洛嗪和生育酚:美国 Sigma 公司;
其他试剂:均为国产分析纯;
pH 计:PHS-3C 型,上海精密科学仪器有限公司;
紫外分光光度计:UV230 型,上海天美科学仪器有限公司;

电子天平:AL204-IC 型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

立式压力蒸汽灭菌器:LDZX-30KBS 型,上海申安医疗器械厂;

超净工作台:SZX 型,吴江净化设备总厂;
电热恒温培养箱:DHP-9052 型,上海申贤恒温设备厂;
高速冷冻离心机:CR22G 型,日本日立公司。

1.2 试验方法

1.2.1 发酵剂的制备 在无菌环境下把活化好的解淀粉乳杆菌 *Lactobacillus amylolyticus* L5、L6 以及阿米塞毕赤氏酵母 *Pichia amethionina* Y 分别接入到 121℃灭菌 15 min 的 MRS 液体培养基中和 115℃灭菌 15 min 的麦芽汁液体培养基中,35℃培养 24 h 后即为母发酵剂。母发酵剂在豆腐黄浆水培养基(豆腐黄浆水经 8 000×g 离心 10 min 去除不溶物即得)中转接 2~3 次即可作为工作发酵剂。

1.2.2 阿米塞毕赤氏酵母、解淀粉乳杆菌及其复合模式发酵豆腐黄浆水样品的制备 豆腐黄浆水经 8 000×g 离心 10 min 去除不溶物后,分装于 1.8 cm×20 cm 试管中,使液体高度达到 18 cm,用橡胶塞紧塞,作为培养基。121℃灭菌 15 min,在无菌环境中按 6%(V/V)的添加量分别接入解淀粉乳杆菌 L5、L6 和阿米塞毕赤氏酵母 Y 的工作发酵剂,编号分别标为 L5、L6、Y。酵母菌和解淀粉乳杆菌复合发酵豆腐黄浆水的样品标号分别为 L5+Y(3% L5+3% Y)、L6+Y(3% L6+3% Y)、L5+L6+Y(2% L5+2% L6+2% Y)。在 35℃下恒温培养 0,12,24,36,48,60 h 后。放置于

-20℃冰箱中待用。

1.2.3 pH 值和酸度值的测定 使样品恢复室温,直接用测定样品的 pH 值;采用 GB 5413.34—2010 方法测定酸度值,用湿尔度(°T)表示。

1.2.4 酸浆水对 Fe³⁺ 的还原能力(FRAP) 根据文献[10]略有改动。使用 0.04 mol/L 的 HCl 溶液配制 TPTZ 溶液(10 mmol/L)。将 2.5 mL 的 TPTZ 溶液,2.5 mL 的 FeCl₃ 溶液(20 mmol/L)和 25 mL 的乙酸盐缓冲液(300 mmol/L,pH 3.6)混合,制备得到 FRAP 溶液。取 100 μL 各类样品加入 3 mL 的 FRAP 溶液,在 37℃下静置 10 min,于 8 000×g 离心 10 min,于 593 nm 处测定吸光度值。将生育酚(Trolox)作为标准物质。通过标准曲线 $y = 0.0011x + 0.0687$, $r^2 = 0.9993$ (y : 吸光值; x : Trolox 浓度,mmol)将酸浆水还原 Fe³⁺ 的能力表示为 mmol Trolox/mL 样品。

1.2.5 酸浆水清除 DPPH·自由基能力 根据文献[11]略有改变。分别取各类样品 2 mL 与 2 mL DPPH(0.2 mmol/L,无水乙醇)溶液充分混合。在黑暗室温条件下反应 30 min 后,于 8 000×g 离心 10 min,期间注意避光。在 517 nm 处测定吸光值。去离子水作为对照,生育酚(Trolox)作为标准物质。通过标准曲线 $y = -0.0126x + 1.0962$, $r^2 = 0.9996$ (y : 吸光值; x : Trolox 浓度,μmol)将酸浆水清除 DPPH·自由基能力表示为 μmol Trolox/mL 样品。

1.2.6 酸浆水对 Fe²⁺ 的螯合作用 根据文献[12]略有改动。样品经过 8 000×g 离心 10 min,量取 3 mL 各类样品,与 50 μL 现配 FeCl₂(2 mmol/L)水溶液充分混匀,室温下静置 1 min。加入 100 μL 的非咯嗪溶液(5 mmol/L)混合均匀。去离子水作为对照,在室温下反应 20 min,562 nm 测定吸光值。样品的 Fe²⁺ 螯合能力表示为螯合率,按式(1)计算:

$$C = \left(1 - \frac{A_{Si} - A_i}{A_c}\right) \times 100\% \tag{1}$$

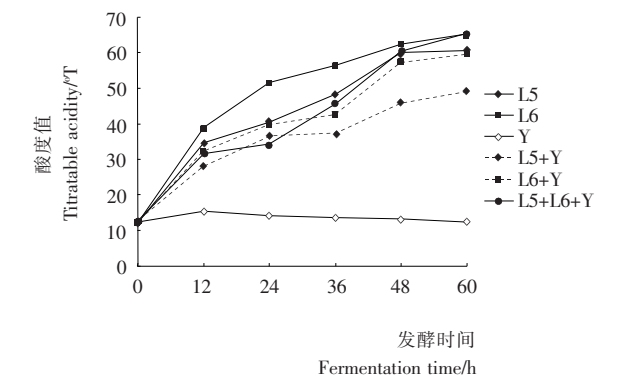
式中:
C——螯合 Fe²⁺ 能力,%;
 A_c 、 A_{Si} ——分别为对照样和各类样品的吸光值;
 A_i ——不添加非咯嗪时各类样品的吸光度值。

1.2.7 数据处理与分析 采用 SPSS 17.0 软件分析处理试验数据。试验数据表示为“平均值±标准偏差”的形式,显著性差异设置水平为 P=0.05。

2 结果与讨论

2.1 酸浆水的酸度和 pH

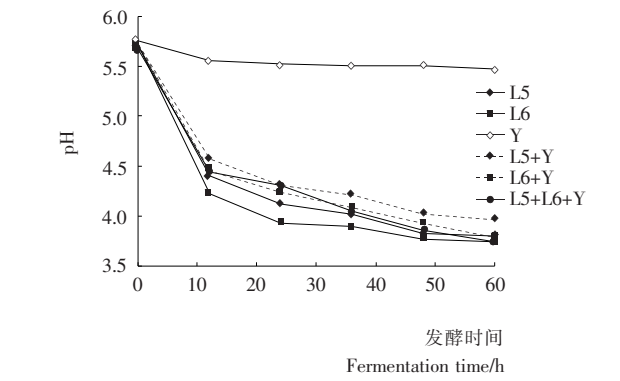
由图 1、2 可知,在单菌种发酵模式下,解淀粉乳杆菌 L5 和 L6 均可发酵豆腐黄浆水产酸,其中 L6 的产酸更强,而阿米塞毕赤氏酵母 Y 基本不产酸。解淀粉乳杆菌 L5、L6 在发酵豆腐黄浆水初期的 12 h 内(35℃),菌种处于对数生长期,产酸能力强,pH 值下降快,随着发酵时间的延长,产酸速率有所下降,L5 在发酵 48 h 时产酸量达到最大,其后趋于平稳;L6 的产酸能力更强,酸度值一直处于上升的趋势,在发



L. 5, L. 6, Y, L. 5 + Y, L6 + Y, L5 + L6 + Y 分别表示解淀粉乳杆菌 L5, L6 和阿米塞毕赤氏酵母 Y 及其复合发酵制备的酸浆水。

图 1 酸浆水的酸度值

Figure 1 The titratable acidity of fermented tofu whey



L. 5, L. 6, Y, L. 5 + Y, L6 + Y, L5 + L6 + Y 分别表示解淀粉乳杆菌 L5, L6 和阿米塞毕赤氏酵母 Y 及其复合发酵制备的酸浆水。

图 2 酸浆水的 pH 值

Figure 2 The pH of fermented tofu whey

酵 60 h 后酸浆的 pH 为 3.74, 酸度值达到 65.11 °T。由此可见, 这 2 株解淀粉乳杆菌在没有补充任何营养成分的情况下^[5], 能够在豆腐黄浆水中迅速生长产酸, 具有很好的应用前景。对于乳酸菌而言, pH 值下降可能是菌株代谢活性和生长的需要^[13], 但对于酸浆水来说, pH 值的下降可以抑制腐败菌和病原微生物的生长^[5], 对酸浆的安全性具有重要意义。

由于阿米塞毕赤氏酵母不产酸, 因此 L5 + Y 以及 L6 + Y 这样的双菌种组合发酵豆腐黄浆水的产酸能力下降是可以理解的。但值得关注的是, L5 + L6 + Y 这样 3 个菌株的组合在发酵豆腐黄浆水 48 h 时, 其产酸仍然持续增加, 接近或超过 L5 和 L6 的产酸能力, 在发酵 60 h 时其酸度值达到 65.44 °T, 超过单菌种发酵的酸度值, 表明菌种 L5 和 L6 之间可能存在一种共生作用, 需要进一步研究。

2.2 酸浆水的抗氧化活性

2.2.1 还原 Fe³⁺ 的能力(FRAP) 在低 pH 条件下, 抗氧化

物质可以把复合物 Fe³⁺—TPTZ 还原为 Fe²⁺—TPTZ, 同时会显示深蓝色, 在 593 nm 处有最大的吸收峰^[10], 该 FRAP 方法快速、简单, 结果重现性好, 与抗氧化物质的摩尔浓度有较强的线性关系。由表 1 可知, 在单菌株发酵模式下, 豆腐黄浆水经解淀粉乳杆菌以及阿米塞毕赤氏酵母发酵后, 其还原 Fe³⁺ 的能力均显著增强; 在组合发酵模式下, 酸浆水还原 Fe³⁺ 的能力优于单菌种发酵模式, 其中 L5 + L6 + Y 组合发酵制备的酸浆水拥有最强的还原 Fe³⁺ 能力, 35 °C 发酵 24 h 后达到 5.53 mmol Trolox/mL, 此后继续发酵则还原 Fe³⁺ 能力逐渐回落。由此可见, 解淀粉乳杆菌及阿米塞毕赤氏酵母发酵豆腐黄浆水均可显著增强其还原能力。

表 1 酸浆水还原 Fe³⁺ 的能力[†]

Table 1 Iron (III)-reducing power of fermented tofu whey (mmol Trolox · mL⁻¹)

样品	时间		
	0 h	24 h	48 h
L5	4.56±0.05 ^{Ca}	4.68±0.04 ^{Bd}	4.99±0.06 ^{Ad}
L6	4.76±0.11 ^{Ba}	4.93±0.05 ^{Ac}	5.02±0.05 ^{Ad}
Y	4.71±0.08 ^{Ba}	4.84±0.05 ^{Bc}	5.14±0.10 ^{Ac}
L5+Y	4.58±0.01 ^{Ca}	5.21±0.04 ^{Ab}	5.10±0.04 ^{Bc}
L6+Y	4.70±0.08 ^{Ba}	5.29±0.07 ^{Ab}	5.22±0.05 ^{Ab}
L5+L6+Y	4.66±0.11 ^{Ba}	5.53±0.06 ^{Aa}	5.44±0.06 ^{Aa}

[†] 不同大写字母表示同行数据之间差异显著 (P<0.05); 不同小写字母表示同列数据之间差异显著 (P<0.05)。

从已有的报道^[13-16]来看, 很多菌种都可以通过发酵作用增强豆类制品的抗氧化能力, 如黑豆经过曲霉、芽孢杆菌和酵母发酵后其还原 Fe³⁺ 的能力明显提高^[14], 鹰嘴豆经冬虫夏草发酵后其还原 Fe³⁺ 的能力也明显提高^[15]。Vadivel 等^[16]认为还原 Fe³⁺ 能力的增加与总的游离多酚物质含量增加有关, 游离多酚含量越高, 生成的 Fe²⁺—TPTZ 复合物越多。Xiao 等^[13]的研究发现, 当应用植物乳杆菌发酵豆腐黄浆水时, 酸浆水中苷元型异黄酮含量以及总酚明显增加, 且其还原 Fe³⁺ 的能力也明显增强。由此可见, 解淀粉乳杆菌和阿米塞毕赤氏酵母可能都有释放游离酚的能力。

2.2.2 酸浆水清除 DPPH 自由基能力 由表 2 可知, 在单菌种发酵模式下, 解淀粉乳杆菌发酵豆腐黄浆水对增强清除 DPPH 自由基能力没有显著效果, 但豆腐黄浆水经过阿米塞毕赤氏酵母 Y 发酵以后, 清除 DPPH 自由基能力显著提高, 拥有最强的清除 DPPH 自由基能力, 35 °C 发酵 48 h 后, 达到 38.49 μmol Trolox/mL; 在多菌种组合发酵模式下, 酸浆水清除 DPPH 自由基的能力均有所增强, 且随着发酵时间的延长, 清除能力增强, 其中, L5 + Y 组合发酵制备的酸浆水拥有较强的清除 DPPH 自由基的能力。综合比较, 解淀粉乳杆菌对提高豆腐黄浆水清除 DPPH 自由基的能力不显著, 阿米塞毕赤氏酵母发酵豆腐黄浆水能够显著提高其清除 DPPH 自由基的能力, 多菌种组合发酵模式下清除能力有所下降。

表 2 酸浆水清除 DPPH 自由基的能力[†]

Table 2 DPPH radical scavenging activities of fermented
tofu whey (μmol Trolox · mL⁻¹)

样品	时间		
	0 h	24 h	48 h
L5	32.38±0.10 ^{Ac}	32.22±0.18 ^{Ac}	31.84±0.06 ^{Bf}
L6	32.64±0.05 ^{Bc}	32.80±0.10 ^{ABd}	32.95±0.13 ^{Ac}
Y	34.19±0.08 ^{Ca}	36.65±0.14 ^{Ba}	38.49±0.14 ^{Aa}
L5+Y	34.03±0.15 ^{Ba}	34.20±0.18 ^{Bb}	36.54±0.20 ^{Ab}
L6+Y	33.31±0.14 ^{Cb}	33.82±0.14 ^{Bc}	34.94±0.17 ^{Ad}
L5+L6+Y	33.49±0.08 ^{Cb}	34.11±0.14 ^{Bb}	35.87±0.08 ^{Ac}

† 不同大写字母表示同行数据之间差异显著(P<0.05);不同小写字母表示同列数据之间差异显著(P<0.05)。

有研究^[17]指出,清除 DPPH 自由基的能力与化学物质自身的组成和结构有很大关系,分子大小合适、含有羟基基团、能够提供电子的抗氧化物质,可以快速地清除 DPPH 自由基。陈历水等^[18]的研究表明,毕赤氏酵母细胞具有较好的清除 DPPH 自由基能力;酵母细胞本身所含有的抗氧化物质(如 SOD 酶和 CAT 酶等)、分泌的一些能抑制氧化的物质以及其细胞壁上的多糖蛋白均具有较好的抗氧化能力^[19]。

2.2.3 螯合 Fe²⁺ 的能力 有研究^[20]表明,过渡金属参与生物体内的多种氧化反应,如 Fe²⁺ 可以诱导超氧阴离子形成危害更大的羟基自由基,通过抗氧化物质螯合金属离子被认为是清除羟基自由基最有效的方式。由表 3 可知,在单菌种发酵模式下,L6 和 Y 发酵制备的酸浆水对 Fe²⁺ 的螯合能力随着发酵时间的延长而增强,其中 L6 发酵制备的酸浆水表现出最强的螯合 Fe²⁺ 能力,螯合率达到 54.45%。值得关注的是,L5 虽然也是解淀粉乳杆菌,但其发酵制备的酸浆水螯合 Fe²⁺ 的能力却随着发酵时间的延长而降低,表现出与 L6 完全不同的结果。在多菌种组合发酵模式条件下,L5+

表 3 酸浆水螯合 Fe²⁺ 的能力[†]

Table 3 Iron (II) -chelating power of fermented tofu
whey Chelation rate %

样品	时间		
	0 h	24 h	48 h
L5	35.33±1.53 ^{Aa}	21.54±0.25 ^{Bf}	15.11±0.21 ^{Ce}
L6	34.95±0.30 ^{Cab}	51.21±0.18 ^{Ba}	54.45±0.36 ^{Aa}
Y	34.72±0.86 ^{Bab}	38.72±0.45 ^{Ac}	39.00±0.25 ^{Ac}
L5+Y	35.46±0.32 ^{Aab}	31.35±0.30 ^{Be}	24.56±0.43 ^{Cd}
L6+Y	34.32±1.02 ^{Cb}	36.44±0.60 ^{Bd}	44.75±0.85 ^{Ab}
L5+L6+Y	34.31±0.18 ^{Bb}	44.33±0.23 ^{Ab}	44.17±0.24 ^{Ab}

† 不同大写字母表示同行数据之间差异显著(P<0.05);不同小写字母表示同列数据之间差异显著(P<0.05)。

L6+Y 发酵制备的酸浆水的螯合力并不比 L6+Y 发酵制备的酸浆水螯合力差,表明 L6 和 L5 之间可能有某种共生或互生关系。螯合 Fe²⁺ 能力的强弱与化合物的结构有很大的关系,结构中含有两个或多个羟基、羰基、巯基、羧基等官能团时,螯合金属离子的能力会显著增强^[17],解淀粉乳杆菌 L6 和 L5 在螯合 Fe²⁺ 方面表现出的截然不同的能力有待进一步的研究,可能与这两个菌种对豆腐黄浆水中抗氧化物质的生物转换能力不同有关。

综合抗氧化试验结果,豆腐黄浆水本身就具有抗氧化能力,这主要是由于豆腐黄浆水中富含异黄酮、小分子蛋白、低聚糖等抗氧化成分,而发酵作用可促进糖苷型大豆异黄酮转化为活性更强的游离苷元型大豆异黄酮,从而提高酸浆水的抗氧化活性^[13],不过,不同的菌种在抗氧化能力方面表现出较大的差异。

由于解淀粉乳杆菌 L5 和 L6 发酵豆腐黄浆水具有优越的产酸能力,同时 L5+L6+Y 组合发酵制备的酸浆水具有良好的抗氧化活性,因此,不仅可以利用解淀粉乳杆菌和阿米塞毕赤氏酵母发酵制备豆腐凝固剂,也可以利用这种发酵作用制备风味良好的功能性饮料。

3 结论

(1) 解淀粉乳杆菌 L5 和 L6 均可在天然的豆腐黄浆水中生长产酸,其中菌株 L6 的发酵产酸能力更强,35℃ 发酵 60 h 后,酸度达到 65.11 °T,此外,3 个菌株组合发酵时也有较强的产酸能力,在发酵 60 h 后,酸度也达到 65.44 °T,可根据生产实际选择不同的菌种来制备豆腐凝固剂。

(2) 豆腐黄浆水经过解淀粉乳杆菌 L6 发酵后,还原 Fe³⁺ 的能力和清除 DPPH 自由基的能力略有增加,但螯合 Fe²⁺ 的能力显著增强,在发酵 48 h 时达到 54.45%;与 L6 不同,解淀粉乳杆菌 L5 发酵制备的酸浆水螯合 Fe²⁺ 的能力随着发酵时间延长而明显下降;阿米塞毕赤氏酵母 Y 发酵制备的酸浆水具有良好的还原 Fe³⁺ 的能力、清除 DPPH 自由基的能力以及螯合 Fe²⁺ 的能力;当 3 个菌株组合发酵时,其产酸能力以及酸浆水还原 Fe³⁺ 的能力、清除 DPPH 自由基的能力和螯合 Fe²⁺ 的能力均比 L6+Y 双菌株发酵制备的酸浆水强,菌株之间可能有一定的相互促进作用。

参考文献

1 Fung W Y, Woo Y P, Long M T. Optimization of growth of *Lactobacillus acidophilus* FTCC 0291 and evaluation of growth characteristics in soy whey medium: a response surface methodology approach [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(17): 7 910~7 918.

2 Nguyen Thi L, Champagne C P, Lee B H, et al. Growth of *Lactobacillus paracasei* ssp. *paracasei* on tofu whey[J]. International Journal of Food Microbiology, 2003, 89(1): 67~75.

3 Fung W, Liong M. Evaluation of proteolytic and ACE-inhibitory activity of *Lactobacillus acidophilus* in soy whey growth medium

via response surface methodology [J]. LWT - Food Science and Technology, 2010, 43(3): 563~567.

4 周婷婷, 易敏英, 相大鹏, 等. 白腐乳及其生产过程中蜡样芽孢杆菌的污染及防治[J]. 中国酿造, 2014, 33(5): 77~80.

5 杜欣, 李理, 刘冬梅. 碳源对益生菌发酵黄浆水抗氧化和抑菌活性的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 30(2): 129~133.

6 李理, 刘力. 一种解淀粉乳杆菌 L5 及其在发酵豆腐黄浆水中应用: 中国, 201410419335. 7[P]. 2014—08—22.

7 李理, 刘力. 解淀粉乳杆菌 L6 及其在发酵黄浆水中的应用: 中国, 201410277246. 3[P]. 2014—06—19.

8 Torino M I, Limón R I, Martínez-Villaluenga, et al. Antioxidant and antihypertensive properties of liquid and solid state fermented lentils[J]. Food Chemistry, 2013, 136(2): 1 030~1 037.

9 Marazza J A, Nazareno M A, de Giori G S, et al. Enhancement of the antioxidant capacity of soymilk by fermentation with *Lactobacillus rhamnosus* [J]. Journal of Functional Foods, 2012, 4(3): 594~601.

10 Benzie I F, Strain J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay [J]. Analytical Biochemistry, 1996, 239(1): 70~76.

11 Brand-Williams W, Cuvelier M, Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity [J]. LWT-Food Science and Technology, 1995, 28(1): 25~30.

12 Hwang J-Y, Shyu Y-S, Wang Y-T, et al. Antioxidative properties of protein hydrolysate from defatted peanut kernels treated with esperase [J]. LWT-Food Science and Technology, 2010, 43(2): 285~290.

13 Xiao Yu, Wang Li-xia, Rui Xin, et al. Enhancement of the antioxidant capacity of soy whey by fermentation with *Lactobacillus plantarum* B1 - 6 [J]. Journal of Functional Foods, 2015, 7(12): 33~44.

14 Qin Yao, Jin Xiao-nan, Park Heui Dong. Comparison of antioxidant activities in black soybean preparations fermented with various microorganisms [J]. Agricultural Sciences in China, 2010, 9(7): 1 065~1 071.

15 Xiao Yu, Xing Guang-liang, Rui Xin, et al. Enhancement of the antioxidant capacity of chickpeas by solid state fermentation with *Cordyceps militaris* SN-18 [J]. Journal of Functional Foods, 2014, 6(10): 210~222.

16 Vadivel V, Stuetz W, Scherbaum V, et al. Total free phenolic content and health relevant functionality of Indian wild legume grains: Effect of indigenous processing methods[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2011, 24(7): 935~943.

17 Gülçin İ Antioxidant properties of resveratrol: A structure - activity insight [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2010, 11(1): 210~218.

18 陈历水, 马莺, Jean-louis Maubois, 等. 乳源酵母 *Pichia fermentans* 的抗氧化特性[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2010, 42(2): 292~296.

19 Jehrig S C, Rohn S, Kroh L W, et al. Antioxidative activity of (1→3), (1→6)-β-D-glucan from *Saccharomyces cerevisiae* grown on different media [J]. LWT - Food Science and Technology, 2008, 41(5): 868~877.

20 Xie Zheng-jun, Huang Jun-rong, Xu Xue-ming, et al. Antioxidant activity of peptides isolated from alfalfa leaf protein hydrolysate [J]. Food Chemistry, 2008, 111(2): 370~376.

(上接第 2 页)

3 培训班:提升企业一线人员食品安全执行力

3.1 大中型食品企业的必修课:食品安全可追溯体系建设培训班

食品安全可追溯体系是一种旨在加强食品安全信息传递、控制食源性疾病、保障消费者健康利益的食品安全全过程信息管理体系。其主要通过对食品供应链的全过程各节点进行有效识别,实现对食品原料、加工、包装、贮藏、运输、销售等环节的全程质量控制和跟踪溯源。一旦发现有害健康的问题,可根据生产和销售全过程中各环节所记载的信息追踪流向,以便采取食品召回或撤销上市等应急措施,以确保食品安全。

“食品安全可追溯体系建设培训班”邀请来自美国、欧洲、加拿大等食品安全可追溯领域的国际专家亲自授课。通过此次培训,充分借鉴发达国家技术和管理制度建设的经验,结合中国食品行业的现状,一方面注重解决可追溯系统建设中的技术问题,另一方面注重建立并完善相应的管理制度,为建立可追溯系统提供一个良好的软环境,以全面推进

中国食品安全追溯管理的发展。

3.2 食品企业如何直面微生物污染问题

近年来,中国加强了对食品中微生物污染的监测与检验力度,取得了一定成效。然而,纵观全球 2014 年的食品安全事件,从丹麦问题香肠致死、恒天然奶油污染,到台湾咖啡检出棕曲霉毒素 A,再到国家食药总局通报的肉制品和饮用桶装水中微生物指标不合格情况,可以看出:食品中微生物污染问题依然存在,并将长期成为全球业界关注的热点问题。

“食品生产经营过程的微生物安全控制培训班”,将邀请国内外知名专家亲自授课,包括食品产业界质量安全控制部门、法规专家;食品安全标准审评委员会规范分委员会专家;食品生产经营规范起草工作组专家;食品安全监管专家等。主要内容涵盖:对熟肉、乳制品、加工蔬菜及其他即食食品的微生物预防;控制禽肉中沙门氏菌、空肠弯曲菌相关技术指南;食品安全国家标准:食品生产通用卫生规范解读;食品生产过程中 HACCP 体系与微生物指标的设定与应用;食品中致病菌限量的解读;新的食品微生物检验标准化方法详解;重要微生物风险评估、风险监测中的相关问题研讨等。

(中国食品科学技术学会秘书处 供稿)