

Streptococcus thermophilus S10 复合 *Lactobacillus plantarum* P-8 在发酵豆乳中的应用

郭帅^{1,2}, 韩之皓^{1,2}, 黄天^{1,2}, 郑岩^{1,2}, 王月娇^{1,2}, 白梅^{1,2}, 王记成^{1,2}, 孙天松^{1,2}, 张和平^{1,2*}

1 (乳品生物技术与工程教育部重点实验室(内蒙古农业大学), 内蒙古 呼和浩特, 010018)

2 (农业农村部奶制品加工重点实验室(内蒙古农业大学), 内蒙古 呼和浩特, 010018)

摘要 以商业豆乳发酵剂 A 和 B 为对照组, *Streptococcus thermophilus* S10 和 *Lactobacillus plantarum* P-8 (S10 + P-8) 复合发酵豆乳为实验组, 对 42 °C 发酵过程及 4 °C 贮藏期间活菌数、酸度、黏度、持水性、活性大豆异黄酮含量、基本味觉特征和质构特性进行测定, 对感官进行品鉴。结果表明: 3 种样品到达发酵终点的时间、酸度、黏度和持水性差异不显著; 发酵结束后, 实验组和发酵剂 A 组样品中活性大豆异黄酮含量变化显著 ($P < 0.05$); 发酵完成到贮藏结束实验组样品益生菌 *Lactobacillus plantarum* P-8 活菌数高于 1.0×10^9 CFU/g; 贮藏结束时, 样品 pH 在 4.30 左右, 滴定酸度均低于 74.00 °T; 6 种基本滋味和 3 种回味的相对强度及差异性分析表明: 3 种样品的苦味、涩味、咸味和甜味差异显著 ($P < 0.05$); 贮藏过程中, 实验组感官得分显著高于对照组 ($P < 0.05$), 28 d 时为 93.7 分。豆乳发酵剂 S10 + P-8 在发酵豆乳制品开发中具有良好的应用潜力。

关键词 *Streptococcus thermophilus* S10; *Lactobacillus plantarum* P-8; 发酵豆乳; 大豆异黄酮

大豆中含有丰富的蛋白质、多不饱和脂肪酸、膳食纤维、矿物质和维生素^[1], 在《中国居民膳食指南(2016 版)》中建议经常食用大豆制品^[2]。发酵豆乳是豆制品的重要组成部分, 是在豆浆基础上接种乳酸菌发酵而成的植物性发酵食品。经乳酸菌发酵作用, 发酵豆乳可提高脂质代谢, 不会引起肥胖^[3]; 发酵后的大豆蛋白质更容易消化吸收, 且能提高机体免疫力并有效降低血清中总胆固醇含量^[4]; 被分解的大豆低聚糖能促进益生菌增殖, 保持肠道健康^[5]; 此外, 还可有效降解大豆中的抗营养因子和消除豆腥昧^[6]。本研究菌种 *Streptococcus thermophilus* S10 (*S. thermophilus* S10) 是在乳品生物技术与工程教育部重点实验室乳酸菌菌种资源库的 406 株 *S. thermophilus* 中筛选得到的 1 株具有良好发酵大豆乳特性和弱酸化后酸能力较好的 *S. thermophilus*^[7]。*Lactobacillus plantarum* P-8 (*L. plantarum* P-8) 是本实验室于 2005 年分离自内蒙古巴彦淖尔市乌拉特中旗草原上牧民家庭自然发酵酸牛乳样品中的 1 株具有优良益生特性的 *L. plantarum*, 在消化系统中具有优异的耐受胃酸、肠液和胆盐能力^[8-9], 在单菌发酵大豆乳实验中证

明可显著提高其活性大豆异黄酮含量^[10]。本研究应用 S10 + P-8 发酵豆乳, 为开发一款符合现代生活要求的新型产品提供理论研究基础和一定的技术参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 实验菌种及培养基

本研究所用 *S. thermophilus* S10 和 *L. plantarum* P-8 直投式发酵剂由乳品生物技术与工程教育部重点实验室乳酸菌菌种资源库提供, 商业发酵剂 A 和 B 分别购自科汉森(中国)有限公司、丹尼斯克(中国)有限公司; 所用培养基为合成 MRS-V (万古霉素 10 mg/L) 固体培养基和合成 ST 固体培养基。

1.1.2 主要实验材料

全脂大豆粉, 蛋白质含量 $\geq 39\%$, 黑龙江农垦龙王食品有限公司。

1.1.3 主要仪器与设备

NSC-II A-1200 型无菌工作台; 雷磁 PHS-3C 型 pH 计, 上海精密科学仪器有限公司; TA-XT plus 型质构仪, 英国 SMS 公司; SRH 60-70 型高压均质机, 上海申鹿均质机有限公司; Brookfield DV-1 型黏度计, 上海君翼仪器设备有限公司; SA 402B 型味觉感应系统, 日本 Insent 公司; Waters Acquity UPLC-QTOF MS 超高效液相色谱-四级杆飞行时间质谱仪, 沃特世科

第一作者: 硕士研究生(张和平教授为通讯作者, E-mail: heping-dd@vip.sina.com)。

基金项目: 国家自然科学基金(31471711); 国家奶牛体系建设项目(CARS-36)

收稿日期: 2018-07-12, 改回日期: 2018-08-13

文中开头已注明全称的菌株, 行文中可缩写

型号 仪器名称, 生产厂家;

技(上海)有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 发酵豆乳样品制备

将全脂豆粉(6.6%)与蔗糖(8%)混合后加入到60℃蒸馏水(85.4%)搅拌均匀,然后于65℃、30 MPa条件下均质,95℃杀菌5 min,冷却至(42±0.5)℃接种发酵剂^[6]。样品置于42℃恒温发酵至pH接近4.50后,转至4℃过夜后熟,4℃贮藏28 d。发酵过程中每隔2 h取样检测,贮藏期间每隔7 d取样检测;接种量依据商业发酵剂产品说明0.03 g%添加,实验组按照*S. thermophilus* S10:*L. plantarum* P8=1 000:1添加,其中*S. thermophilus* S10添加量为 2×10^6 CFU/mL。

1.2.2 实验组样品活菌数测定

实验组*S. thermophilus* S10采用ST固体培养基进行选择培养^[11];*L. plantarum* P8采用固体培养基MRS-V(万古霉素10 mg/L)进行选择培养^[12]。37℃恒温厌氧培养(72±6)h,记录菌落数变化。

1.2.3 发酵豆乳样品酸度测定

pH值测定:采用雷磁PHS-3C型pH计直接测定;

滴定酸度测定:发酵豆乳的滴定酸度按照国家标准GB5009.239—2016中规定的“酚酞指示剂法”进行检测^[13]。

国标中请使用“—”

1.2.4 发酵豆乳样品黏度、持水性测定

黏度测定:发酵豆乳样品放至室温后,采用Brookfield DV-1型黏度仪4#转子进行测定,转子转速为100 r/min,扭矩为10%~100%,测定时间为30 s。

持水性测定:准确称取发酵豆乳样品20.00 g,置于有滤纸的漏斗中,室温放置90 min后收集滤液并称量^[14]。计算方法如下:

$$\text{持水性}/\% = 1 - \frac{\text{滤液质量}(g)}{\text{样品质量}(g)} \times 100 \quad (1)$$

1.2.5 发酵豆乳样品游离大豆异黄酮含量测定

样品处理:取4 mL发酵豆乳上清液于10 mL EP管中,加4 mL乙醇,加HCl至浓度为1 mol/L,混匀,80℃孵育60 min,9000×g高速离心10 min,取1 mL上清液经0.22 μm膜过滤于样品瓶中备用,色谱条件按照米智慧等^[15]进行设定。

1.2.6 发酵豆乳样品质构特性测定^[16]

将样品温度恢复至室温,应用质构分析仪测定其质构特性,检测指标有坚实度、稠度、黏性、黏滞指数。TPA测定参数如下:测定前探头速度、测定时探头速度、测定后探头速度均为1.00 mm/s;测定距离20

mm;探头柱型AEC,盘径35 mm;感应力Auto-5 g;数据攫取速度200 pps。

1.2.7 发酵豆乳样品基本味觉特征评价

将后熟完成且恢复常温的样品3 000×g离心10 min后过滤上清液,所得滤液于4℃、8 000×g离心10 min,除去上层油脂后留滤液备用^[17]。样品测定具体操作以KOBAYASHI Y等^[18]进行样品的测定。

1.2.8 发酵豆乳样品感官品鉴

贮藏期间,发酵豆乳样品每7 d进行1次感官品鉴。感官品鉴小组由5名女性、5名男性共10名品鉴人员组成,10名品鉴人员经常饮用发酵乳(豆乳和牛乳),并接受2次时间为2 h的感官鉴评培训^[19]。评鉴指标有表观指标、气味指标、风味指标和质地指标,评分采用100分制^[20]。

1.2.9 数据分析

实验至少重复3次,各指标均为3组平行,结果表示为($X \pm s$)。采用SPSS 21.0软件对实验数据进行统计学分析,2组数据间的比较采用独立样本T检验(independent-samples T-test)进行分析,显著性水平设定为0.05;3组或多于3组数据间的比较采用单因素方差分析(One-way ANOVA)的Duncan's法进行两两比较分析,显著性水平同样设定为0.05。作图采用Origin lab 2017软件。

2 结果与分析

2.1 实验组样品在贮藏期间活菌数变化情况

本实验研究内容为活菌型益生菌发酵豆乳,欧盟规定在货架期内益生菌产品益生菌活菌数须保持在 10^6 CFU/mL以上^[21]。将4℃贮藏的样品进行发酵完成、后熟、7、14、21和28 d活菌数统计,作为衡量本样品贮藏稳定性的重要评定标准。连续相同单位,只需将单位放在最后。

表1 实验组样品在贮藏期间活菌数变化情况

Table 1 Changes of viable bacterial counts of fermented soymilk experimental group with storage time

贮藏阶段	S10 × 10 ⁻⁷ / (CFU · mL ⁻¹)	P-8 × 10 ⁻⁹ / (CFU · mL ⁻¹)
	发酵完成	7.29 ± 0.16 ^a
后熟	7.31 ± 0.17 ^a	1.41 ± 0.17 ^b
7 d	7.30 ± 0.11 ^a	1.54 ± 0.21 ^a
14 d	7.29 ± 0.09 ^a	1.55 ± 0.18 ^a
21 d	6.54 ± 0.24 ^b	1.53 ± 0.07 ^a
28 d	4.49 ± 0.30 ^c	1.34 ± 0.19 ^c

注:不同小写字母代表差异显著性, $P < 0.05$ 。

表格中的单位使用除“/”的形式表示

由表1可知:贮藏期间,*S. thermophilus* S10活菌

数在 14 d 后有下降趋势 ($P < 0.05$); 益生菌 *L. plantarum* P-8 活菌数在 21 d 时有下降趋势 ($P < 0.05$); 贮藏结束时, *S. thermophilus* S10 维持在 4.00×10^7 CFU/mL 以上; 益生菌 *L. plantarum* P-8 的活菌数维持在 1.0×10^9 CFU/mL 以上。本实验证明应用 S10 + P-8 发酵豆乳, 益生菌 *L. plantarum* P-8 具有很好的贮藏稳定性。

2.2 发酵豆乳在发酵、贮藏期间酸度变化情况

由图 1 可知: 添加不同发酵剂分别发酵豆乳, 发酵期间酸度均有显著变化 ($P < 0.05$)。发酵过程中, 添加发酵剂 A 的样品在 0~4 h 期间 pH 值、滴定酸度变化显著 ($P < 0.05$); 添加 S10 + P-8、发酵剂 B 的样品在 2~6 h 期间 pH 值、滴定酸度变化显著 ($P < 0.05$); 3 种样品到达发酵终点所需时间约 9 h, pH 分别是 4.48、4.48 和 4.47, 滴定酸度分别是 60.64、58.40 和 58.21 °T, 差异不显著。在贮藏期间, 3 种发酵豆乳样品酸度有显著变化 ($P < 0.05$)。贮藏结束时 pH 在 4.30 左右, 组间差异不显著, 滴定酸度在 74.00 °T 以下, S10 + P-8 组与发酵剂 A 组之间差异不显著, 分别是 68.78 °T 和 68.51 °T, 低于发酵剂 B 组, 差异显著 ($P < 0.05$)。发酵豆乳在贮藏期间酸度保持是体现高品质的重要标准, 一般商业发酵乳的 pH 值 4.2~4.4^[22]。

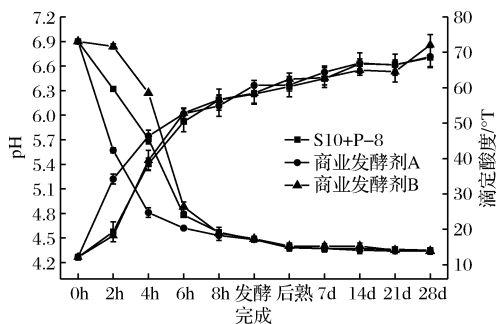


图 1 发酵过程及贮藏期间 3 种发酵豆乳样品酸度变化情况

Fig. 1 The acidity of three groups of fermented soy milk samples during fermentation and storage period

2.3 发酵豆乳在发酵、贮藏期间黏度变化情况

添加不同发酵剂分别发酵豆乳, 发酵过程和贮藏期间黏度测定结果如图 2 所示: 发酵过程中各组样品黏度均显著升高 ($P < 0.05$), 发酵剂 A 组样品约 4 h 达到凝胶状态, 与 S10 + P-8 组和发酵剂 B 组样品有显著差异 ($P < 0.05$); S10 + P-8 组和发酵剂 B 组样品约 6 h 凝乳。发酵结束时, 样品组间黏度无显著差异。有研究者认为黏度无显著差异可能是由于菌体

增殖产生乳酸, 导致发酵豆乳中乳酸的含量增加到足够浓度时, 大豆蛋白凝固形成酸凝胶使黏度迅速增加, 使菌体代谢受到抑制, 乳酸的生成速度下降, 限制了黏度继续上升, 致使最终黏度保持相对稳定状态^[23]。3 组样品经 4 °C 过夜后熟黏度显著升高, 其中 S10 + P-8 组黏度较高, 差异显著 ($P < 0.05$)。这是由于完成发酵后乳酸菌依旧保持较高活力活性, 胞外多糖继续积累, 相比之前黏度变化显著 ($P < 0.05$)。在 4 °C、28 d 贮藏期间, 组内黏度变化差异不显著, 其中 S10 + P-8 组黏度较高, 差异显著 ($P < 0.05$), 因实验组 *L. plantarum* P-8 一直保持较高活菌数, 乳酸菌代谢产生乳酸, 大豆蛋白凝固作用形成酸凝胶使黏度较高。

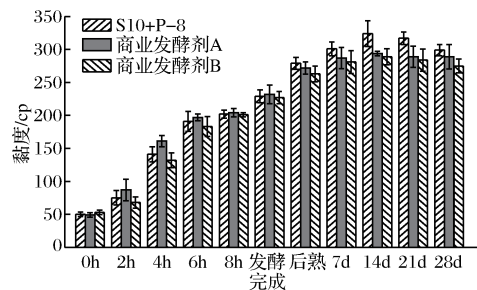


图 2 发酵过程及贮藏期间 3 种发酵豆乳样品黏度变化情况

Fig. 2 The viscosity of three groups of fermented soy milk samples during fermented and storage period

2.4 发酵豆乳样品在发酵过程、贮藏期间持水性变化情况

发酵豆乳持水性变化是由蛋白质三维网状结构的凝胶状态所形成的, 蛋白质是将流动性较好的豆乳转化为半固态发酵豆乳的微观物质基础。接种发酵剂不同, 乳酸菌代谢产物也会有差异, 致使蛋白质会发生不同程度地变性凝集, 进而影响发酵豆乳持水性^[24]。

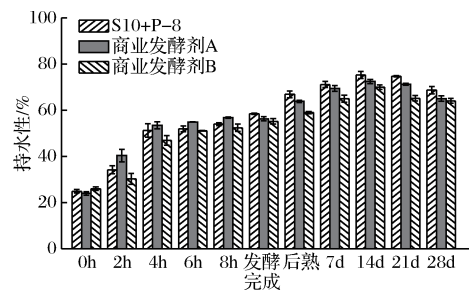


图 3 发酵过程及贮藏期间 3 种发酵豆乳样品持水性变化情况

Fig. 3 The water holding capacity of three groups of fermented soy milk samples during fermented and storage period

由图3可知:3种发酵豆乳样品在发酵过程中持水性均有显著变化($P < 0.05$)。发酵结束时持水性较低,后熟完成后持水性显著增强($P < 0.05$);3组样品在14 d前持水性呈一直上升趋势,之后有小幅下降。贮藏期间S10 + P-8组持水性较高,与对照组相比具有显著差异($P < 0.05$)。这可能与样品在贮藏期间活菌数、pH值和黏度变化有关,有利于产品贮藏及风味保留。

2.5 发酵豆乳样品大豆异黄酮含量变化情况

关于大豆异黄酮成分,一般认为大豆苷(daidzin)、大豆素(daidzein)、染料木苷(genistin)、染料木素(genistein)是大豆异黄酮的主要成分,大豆黄苷(glycitin)和染料木素(glycitein)生理活性的报道较少,其中大豆苷(daidzin)、大豆黄苷(glycitin)、染料木苷(genistin)属于糖苷型大豆异黄酮;大豆素(daidzein)、大豆黄素(glycitein)、染料木素(genistein)属于游离型大豆异黄酮^[25]。在4℃贮藏期间大豆异黄酮含量变化不显著,具有一定稳定性,所以本实验选择原豆乳、发酵结束和后熟完成进行大豆苷、大豆素、染料木苷、染料木素含量测定。

表2 三种发酵豆乳中大豆异黄酮含量变化情况

表格内所有数据单位一致,将单位放在表头

Table 2 The levels of soy isoflavone in three fermented soymilk groups

大豆异黄酮	豆乳样品	S10 + P-8	商业发酵剂 A	商业发酵剂 B
大豆苷	原豆乳	127.98 ± 0.16 ^{Aa}	127.94 ± 0.33 ^{Aa}	127.79 ± 0.47 ^{Aa}
	发酵完成	25.63 ± 0.12 ^{Cb}	55.07 ± 0.14 ^{Bb}	125.56 ± 2.11 ^{Aa}
	后熟	25.30 ± 0.41 ^{Cb}	54.83 ± 0.91 ^{Bb}	124.08 ± 0.78 ^{Aa}
染料木苷	原豆乳	152.68 ± 0.02 ^{Aa}	152.73 ± 0.53 ^{Aa}	152.65 ± 0.49 ^{Aa}
	发酵完成	96.89 ± 0.94 ^{Bb}	94.82 ± 0.43 ^{Bb}	148.72 ± 0.08 ^{Aa}
	后熟	96.77 ± 0.20 ^{Bb}	95.14 ± 0.66 ^{Bb}	148.60 ± 0.62 ^{Aa}
大豆素	原豆乳	7.32 ± 0.33 ^{Ab}	7.58 ± 0.08 ^{Ab}	7.37 ± 0.21 ^{Aa}
	发酵完成	65.91 ± 0.60 ^{Aa}	33.31 ± 0.17 ^{Ba}	9.83 ± 0.11 ^{Ca}
	后熟	66.42 ± 0.33 ^{Aa}	35.97 ± 0.07 ^{Ba}	9.15 ± 0.29 ^{Ca}
染料木素	原豆乳	6.49 ± 0.22 ^{Ab}	6.21 ± 0.21 ^{Ab}	6.58 ± 0.10 ^{Aa}
	发酵完成	63.23 ± 0.71 ^{Aa}	57.25 ± 0.24 ^{Aa}	10.66 ± 4.70 ^{Ba}
	后熟	63.79 ± 0.09 ^{Aa}	57.58 ± 0.19 ^{Aa}	10.92 ± 0.99 ^{Ba}

注:数据肩不同大写字母代表组间变化差异性,不同小写字母代表组内变化差异性。 $P < 0.05$ 。下同。

由表2可知:发酵剂B组样品4种大豆异黄酮含量变化不显著。S10 + P-8组和发酵剂A组样品中4种大豆异黄酮含量变化显著($P < 0.05$):大豆苷和大豆素含量测定结果表明,S10 + P-8组与发酵剂A组相比变化量更大,差异显著($P < 0.05$)。染料木苷和染料木素含量测定结果表明,S10 + P-8组与发酵剂

A组样品相比差异不显著。BAO等^[10]研究表明,接种*L. plantarum* P-8于豆乳中,经发酵作用可促使无生物活性异黄酮转化为有生物活性的异黄酮,这可能是实验组比对照组样品的活性异黄酮转化量更大原因。

2.6 发酵豆乳样品质构特性测定结果

利用质构仪检测3种样品在贮藏期间质构特性变化,结果如表3所示:在贮藏期间,对照组样品的4种质构指标变化差异不显著;S10 + P-8组样品的稠度和黏性与对照组相比具有更高的数值,差异显著($P < 0.05$),其中稠度在1~14 d略有上升,之后有小幅下降。这可能与样品活菌数和黏度变化有关;S10 + P-8组样品其余3种质构指标在贮藏期间变化不显著。

表3 贮藏期间3种发酵豆乳样品质构特性测定结果

Table 3 The texture parameters of three groups of fermented soymilk samples during fermented and storage period

质构指标	时间/d	S10 + P-8	商业发酵剂 A	商业发酵剂 B
坚实度/g	1	23.96 ± 0.20 ^{Aa}	23.87 ± 0.15 ^{Aa}	23.82 ± 0.01 ^{Aa}
	7	24.11 ± 0.21 ^{Aa}	23.85 ± 0.21 ^{Aa}	23.81 ± 0.09 ^{Aa}
	14	24.07 ± 0.11 ^{Aa}	23.94 ± 0.03 ^{Aa}	23.90 ± 0.22 ^{Aa}
	21	23.81 ± 0.15 ^{Aa}	24.01 ± 0.19 ^{Aa}	23.85 ± 0.09 ^{Aa}
	28	23.79 ± 0.16 ^{Aa}	23.80 ± 0.04 ^{Aa}	23.83 ± 0.17 ^{Aa}
稠度/(g · s)	1	578.45 ± 9.11 ^{Ab}	563.66 ± 5.45 ^{Ba}	563.21 ± 3.64 ^{Ba}
	7	579.01 ± 3.48 ^{Ab}	565.39 ± 4.68 ^{Ba}	562.33 ± 7.59 ^{Ba}
	14	589.30 ± 2.99 ^{Aa}	564.96 ± 6.55 ^{Ba}	563.01 ± 8.09 ^{Ba}
	21	580.72 ± 7.12 ^{Ab}	564.88 ± 9.31 ^{Ba}	563.27 ± 4.21 ^{Ba}
	28	569.21 ± 3.69 ^{Ab}	562.01 ± 1.59 ^{Ba}	562.91 ± 5.63 ^{Ba}
黏性/g	1	30.25 ± 0.11 ^{Aa}	17.03 ± 0.34 ^{Ba}	16.92 ± 0.33 ^{Ba}
	7	30.37 ± 0.27 ^{Aa}	17.29 ± 0.21 ^{Ba}	17.03 ± 0.09 ^{Ba}
	14	30.49 ± 0.20 ^{Aa}	17.02 ± 0.46 ^{Ba}	17.29 ± 0.21 ^{Ba}
	21	30.37 ± 0.02 ^{Aa}	16.99 ± 0.09 ^{Ba}	16.99 ± 0.17 ^{Ba}
	28	30.58 ± 0.24 ^{Aa}	17.10 ± 0.11 ^{Ba}	17.02 ± 0.16 ^{Ba}
黏滞指数/(g · s)	1	19.94 ± 0.11 ^{Aa}	19.79 ± 0.09 ^{Aa}	19.98 ± 0.27 ^{Aa}
	7	19.99 ± 0.14 ^{Aa}	19.81 ± 0.22 ^{Aa}	19.97 ± 0.07 ^{Aa}
	14	20.04 ± 0.21 ^{Aa}	19.88 ± 0.01 ^{Aa}	19.94 ± 0.28 ^{Aa}
	21	19.81 ± 0.07 ^{Aa}	19.99 ± 0.19 ^{Aa}	19.91 ± 0.19 ^{Aa}
	28	19.92 ± 0.21 ^{Aa}	19.85 ± 0.07 ^{Aa}	19.93 ± 0.24 ^{Aa}

2.7 发酵豆乳样品基本味觉特征总体评价

国外已开始应用电子舌技术进行酸奶品质评价及在线生产监测,国内相关研究仍处于起步阶段^[26]。本实验应用电子舌系统检测经4℃过夜后熟的发酵豆乳样品的6种基本滋味和3种回味,各滋味指标相对强度分析结果如图4所示:3种发酵豆乳样品的基本滋味差异较小,KOBAYASHI等^[27]研究发现,使用SA 402B电子舌对食品进行测定时,若2个样品在某1个滋味指标的相对强度值之差 < 1 ,则其差异通过

文中引用英文文献人名,只写姓,并大写

感官品鉴方法不能识别。方差分析结果如表 4 所示: 3 种发酵豆乳样品的鲜味和 3 个回味无显著差异; 发酵剂 B 组样品苦味与其余 2 组有显著差异 ($P < 0.05$), 有更高滋味强度; S10 + P-8 组样品涩味和咸味与对照组相比有显著差异 ($P < 0.05$), 滋味强度更弱; S10 + P-8 组样品酸味和甜味与对照组相比有显著差异 ($P < 0.05$), 有更高滋味强度。

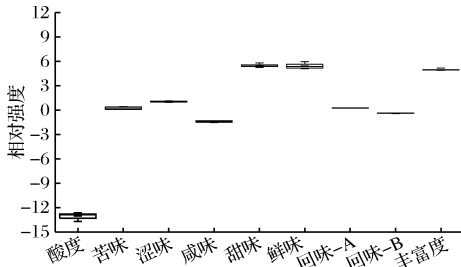


图 4 三种发酵豆乳样品各滋味指标相对强度值的箱形图 ($n = 18$)

Fig. 4 The box plot of relative intensity of each taste index in three groups of fermented soy milk samples ($n = 18$)

表 4 三种发酵豆乳样品各滋味指标相对强度差异性分析
Table 4 Significant analysis of each index of three groups of fermented soy milk samples with storage time

项目	S10 + P-8	商业发酵剂 A	商业发酵剂 B
酸味	-12.38 ± 0.04 ^a	-12.91 ± 0.23 ^b	-12.83 ± 0.11 ^b
苦味	0.10 ± 0.01 ^a	0.10 ± 0.01 ^a	0.40 ± 0.03 ^b
涩味	0.77 ± 0.01 ^b	1.01 ± 0.01 ^a	1.04 ± 0.01 ^a
咸味	-1.29 ± 0.01 ^a	-1.49 ± 0.01 ^b	-1.48 ± 0.00 ^b
甜味	5.51 ± 0.07 ^a	5.35 ± 0.07 ^b	4.09 ± 0.01 ^c
鲜味	5.71 ± 0.01 ^a	5.76 ± 0.01 ^a	5.73 ± 0.00 ^a
回味-A	0.26 ± 0.01 ^a	0.24 ± 0.01 ^a	0.25 ± 0.01 ^a
回味-B	-0.34 ± 0.01 ^a	-0.36 ± 0.01 ^a	-0.33 ± 0.01 ^a
丰富度	5.01 ± 0.03 ^a	5.08 ± 0.01 ^a	5.04 ± 0.01 ^a

注: 同行不同字母表示差异显著, $P < 0.05$ 。

2.8 发酵豆乳样品感官品鉴

取发酵完成、后熟、7、14、21、28 d 时的 3 种发酵豆乳样品, 进行感官品鉴, 评分结果如图 5 所示。

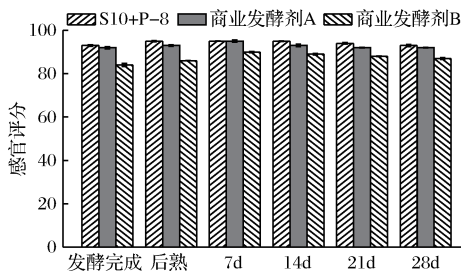


图 5 贮藏期间 3 种发酵豆乳样品感官品鉴得分情况

Fig. 5 The comprehensive score of three fermented soy milk samples in sensory quality evaluated during storage period

在 4 °C、28 d 贮藏期间, 各组样品得分变化差异不显著, 但样品组间得分存在差异 ($P < 0.05$)。其中 S10 + P-8 组和发酵剂 A 组样品差异不显著, 高于发酵剂 B 组。S10 + P-8 组样品在贮藏期间黏度较高, 有良好的拉丝性, 且表面光滑、无臭味及不良异味, 酸甜适中, 口感平滑细腻。本研究表明: 与对照组相比, 添加益生菌 *L. plantarum* P8 后对发酵产品外观、气味、质地等指标有所改善, SAARELA 等^[28] 研究也表明在产品中添加益生菌有助于提高产品感官品质, 这与本研究结果相吻合。

3 结论

“黏度”, 非“粘度”

本研究对复合发酵剂 S10 + P-8 在豆乳发酵期间及贮藏过程的时间、活菌数、酸度、黏度、持水性、活性大豆异黄酮转化量、质构特性、基本味觉特性进行测定, 对感官进行品鉴。与 2 种商业豆乳发酵剂相比, 发酵剂 S10 + P-8 具有良好的发酵特性及贮藏稳定性, 且具有更好的活性大豆异黄酮转化能力, 在贮藏期间能提供较高的益生菌活菌数, 在发酵豆乳制品开发中具有良好应用潜力。

参 考 文 献

- [1] CEDERROTH C R, ZIMMERMANN C, NEF S. Soy, phytoestrogens and their impact on reproductive health[J]. *Molecular & Cellular Endocrinology*, 2012, 355 (2): 192 - 200.
- [2] 史信. 《中国居民膳食指南(2016)》发布[J]. *中国妇幼健康研究*, 2016, 27(5): 30 - 30.
- [3] LEE B H, LO Y H, PAN T M. Anti-obesity activity of *Lactobacillus*, fermented soy milk products[J]. *Journal of Functional Foods*, 2013, 5(2): 905 - 913.
- [4] SIRTORI C R, GALLI C, ANDERSON J W, et al. Functional foods for dyslipidaemia and cardiovascular risk prevention[J]. *Nutrition Research Reviews*, 2009, 22(2): 244 - 261.
- [5] MIN M, BUNT C R, MASON S L, et al. Non-dairy probiotic food products: an emerging group of functional foods [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2018 (4): 1 - 16.
- [6] WANG Y C, YU R C, CHOU C C. Growth and survival of bifidobacteria and lactic acid bacteria during the fermentation and storage of cultured soy milk drinks[J]. *Food Microbiology*, 2002, 19(5): 501 - 508.
- [7] JINJU B, SUJUNG Y, WOOJOON P, et al. Production of

- sesaminol and antioxidative activity of fermented sesame with *Lactobacillus plantarum* P8, *Lactobacillus acidophilus* ATCC 4356, *Streptococcus thermophilus* S10[J]. Food Science & Biotechnology, 2016, 25(1):199–204.
- [8] WANG L, ZHANG J, GUO Z, et al. Effect of oral consumption of probiotic *Lactobacillus plantarum* P-8 on fecal microbiota, SIgA, SCFAs, and TBAs of adults of different ages[J]. Nutrition, 2014, 30(7–8):776–783.
- [9] KWOK L Y, GUO Z, ZHANG J, et al. The impact of oral consumption of *Lactobacillus plantarum* P-8 on faecal bacteria revealed by pyrosequencing[J]. Beneficial Microbes, 2015, 6(4):405–413.
- [10] BAO Y, ZHANG Y, LI H, et al. *In vitro* screen of *Lactobacillus plantarum*, as probiotic bacteria and their fermented characteristics in soymilk[J]. Annals of Microbiology, 2012, 62(3):1 311–1 320.
- [11] ASHRAF R, SHAH N P. Selective and differential enumerations of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei* and *Bifidobacterium* spp. in yoghurt—a review[J]. International Journal of Food Microbiology, 2011, 149(3):194–208.
- [12] THARMARAJ N, SHAH N P. Selective enumeration of *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacteria*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus rhamnosus*, and *Propionibacteria*[J]. Journal of Dairy Science, 2003, 86(7):2 288–2 296.
- [13] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009. 239—2016 食品安全国家标准食品酸度的测定[S]. 2016–08–31.
- [14] SAHAN N, YASAR K, HAYALOGLU A A. Physical, chemical and flavour quality of non-fat yogurt as affected by α -glucan hydrocolloidal composite during storage[J]. Food Hydrocolloids, 2008, 22(7):1 291–1 297.
- [15] 米智慧,胡日查,陈永福. 超高效液相色谱质谱联用仪在发酵豆乳中异黄酮分析的应用[J]. 食品科技, 2018(1):302–305.
- [16] ZHANG L, ZHANG L, YI H, et al. Enzymatic characterization of transglutaminase from *Streptomyces mobaraensis* DSM 40587 in high salt and effect of enzymatic cross-linking of yak milk proteins on functional properties of stirred yogurt[J]. Journal of Dairy Science, 2012, 95(7):3 559–3 568.
- [17] HRUŠKAR M, MAJOR N, KR PAN M, et al. Evaluation of milk and dairy products by electronic tongue[J]. Mljekarstvo, 2009, 59(3):193–200.
- [18] KOBAYASHI Y, HABARA M, IKEZAZKI H, et al. Advanced taste sensors based on artificial lipids with global selectivity to basic taste qualities and high correlation to sensory scores[J]. Sensors, 2010, 10(4):3 411–3 443.
- [19] 鲁英,路勇. 食品感官检验[M]. 北京:中国劳动社会保障出版社, 2013.
- [20] SAINTEEVE A, KORA E P, MARTIN N. Impact of the olfactory quality and chemical complexity of the flavouring agent on the texture of low fat stirred yogurts assessed by three different sensory methodologies[J]. Food Quality & Preference, 2004, 15(7–8):655–668.
- [21] AKALIN A S, GÖNÇ S, AKBAŞ Y. Variation in organic acids content during ripening of pickled white cheese[J]. Journal of Dairy Science, 2002, 85(7):1 670–1 676.
- [22] PINTHONG R, MACRAE R, ROTHWELL J. The development of a soya-based yoghurt[J]. International Journal of Food Science & Technology, 1980, 15(6):653–659.
- [23] 范瑞,林伟锋,顾宗珠,等. 乳酸菌活菌数对酸乳理化特性的影响[J]. 中国乳品工业, 2008, 36(1):16–18.
- [24] 赵新淮. 乳品化学[M]. 北京:科学出版社, 2007.
- [25] NAKATSU C H, ARMSTRONG A, CLAVIJO A P, et al. Fecal bacterial community changes associated with isoflavone metabolites in postmenopausal women after soy bar consumption[J]. Plos One, 2014, 9(10):e108 924.
- [26] HRUŠKAR M, MAJOR N, KR PAN M, et al. Evaluation of milk and dairy products by electronic tongue[J]. Mljekarstvo, 2009, 59(3):193–200.
- [27] KOBAYASHI Y, HABARA M, IKEZAZKI H, et al. Advanced taste sensors based on artificial lipids with global selectivity to basic taste qualities and high correlation to sensory scores[J]. Sensors, 2010, 10(4):3 411–3 443.
- [28] SAARELA M, MOGENSEN G, FONDÉN R, et al. Probiotic bacteria: safety, functional and technological properties[J]. Journal of Biotechnology, 2000, 84(3):197–215.

Application of *Streptococcus thermophilus* S10 compounded with *Lactobacillus plantarum* P-8 in fermented soybean milk

GUO Shuai^{1,2}, HAN Zhihao^{1,2}, HUANG Tian^{1,2}, ZHENG Yan^{1,2},
WANG Yuejiao^{1,2}, BAI Mei^{1,2}, WANG Jicheng^{1,2}, SUN Tiansong^{1,2},
ZHANG Heping^{1,2*}

1 (Key Laboratory of Dairy Biotechnology and Engineering, Ministry of Education (Inner Mongolia Agricultural University), Huhhot 010018, China)

2 (Key Laboratory of Dairy Products Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs (Inner Mongolia Agricultural University), Huhhot 010018, China)

ABSTRACT Soymilk fermented by compounded *Streptococcus thermophilus* S10 and probiotics *Lactobacillus plantarum* P-8 (S10 + P-8) was compared against commercial starter culture A and B. Their viable bacterial counts, acidity, viscosity, water holding capacity, proportion of active soybean isoflavones, taste characteristics, texture parameters, and sensory evaluation during fermentation at 42 °C and storing at 4 °C were investigated. The results showed that time of reaching the fermentation end point, acidity, viscosity, and water holding capacity of these three fermented soymilk samples were not significantly different when they reached their fermentation end points. After fermentation, the active isoflavone content changed significantly ($P < 0.05$) in the experimental group and commercial starter culture A. The number of probiotic *L. plantarum* P-8 in the experimental group was higher than 1.0×10^9 CFU/g from the completion of fermentation to the end of storage. At the end of storage, the pH of all three samples were about 4.30, and their titration acidity were lower than 74.00 °T. The relative intensity analysis and variation analysis of six basic tastes and three aftertastes indicated that bitterness, astringency, saltiness, and sweetness of these three samples were significantly different ($P < 0.05$). During storage, the sensory score of S10 + P-8 group (93.7 on day 28) was distinctly higher than those of the control groups ($P < 0.05$). Therefore, S10 + P-8 as a starter has a great potential in developing fermented soymilk products.

Key words *Streptococcus thermophilus* S10; *Lactobacillus plantarum* P-8; fermented soymilk; soybean isoflavone