

赵瑾, 李建. 乳酸杆菌对水解胶原蛋白酸奶品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(20): 42–48. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023100108

ZHAO Jin, LI Jian. Effect of *Lactobacilli* on the Quality of Hydrolyzed Collagen Yogurt[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(20): 42–48. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023100108

· 研究与探讨 ·

# 乳酸杆菌对水解胶原蛋白酸奶品质的影响

赵瑾<sup>1</sup>, 李建<sup>2,\*</sup>

(1. 成都大学食品与生物工程学院, 四川成都 610106;

2. 成都大学, 四川成都 610106)

**摘要:** 为提高酸奶的品质和营养价值, 评估乳酸杆菌对猪皮水解胶原蛋白酸奶品质的影响, 以牛乳及猪皮水解胶原蛋白为原料, 通过添加植物乳杆菌、干酪乳杆菌、鼠李糖乳杆菌及短双歧杆菌, 制备胶原蛋白酸奶, 并对其 pH、酸度、色度、质构、菌落总数及感官进行测定。结果表明, 与未添加水解胶原蛋白的酸奶相比, 干酪乳杆菌发酵的胶原蛋白酸奶显著 ( $P<0.05$ ) 提高了酸奶的持水力、pH、硬度及滴定酸度, 且延长了酸奶的贮藏时间; 植物乳杆菌发酵的胶原蛋白酸奶显著 ( $P<0.05$ ) 提高了酸奶的持水力、pH、硬度及滴定酸度, 降低了酸奶的胶着性, 增加了酸奶的亮度值 ( $L^*$ ) 及黄度值 ( $b^*$ ), 降低了酸奶的红度值 ( $a^*$ ) 且酸奶制品甜度高; 鼠李糖乳杆菌发酵的胶原蛋白酸奶显著 ( $P<0.05$ ) 提高酸奶的黄度值 ( $b^*$ ) 及滴定酸度, 但是随着贮藏时间的增加细菌菌落总数减少; 短双歧杆菌发酵的胶原蛋白酸奶显著 ( $P<0.05$ ) 提高了酸奶的 pH、滴定酸度及黄度值 ( $b^*$ ), 但对酸奶质构特性无影响。综上所述, 干酪乳杆菌及植物乳杆菌适宜制作胶原蛋白酸奶。这项研究可以为酸奶的多样性增添新的活力, 而且也开发更加健康、营养丰富的酸奶产品提供了重要的理论参考。

**关键词:** 乳酸杆菌, 猪皮水解胶原蛋白, 酸奶, 品质影响

中图分类号: TS255.54

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)20-0042-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023100108

本文网刊:



## Effect of *Lactobacilli* on the Quality of Hydrolyzed Collagen Yogurt

ZHAO Jin<sup>1</sup>, LI Jian<sup>2,\*</sup>

(1. School of Food and Biotechnology, Chengdu University, Chengdu 610106, China;

2. Chengdu University, Chengdu 610106, China)

**Abstract:** In order to improve the quality and nutritional value of yogurt and evaluate the effect of *Lactobacillus* on the quality of pig skin hydrolyzed collagen yogurt, milk and pig skin hydrolyzed collagen were used as raw materials, and *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus rhamnosus* and *Bifidobacterium breve* were used to prepare collagen yogurt, and its pH, acidity, color, texture, total bacterial count and sensory properties were measured. Results showed that compared with yogurt without added hydrolyzed collagen, collagen yogurt fermented by *Lactobacillus casei* significantly ( $P<0.05$ ) improved the water holding capacity, pH, hardness and titratable acidity of the yogurt, and extended the storage time of the yogurt. Collagen yogurt fermented by *Lactobacillus plantarum* subsp. significantly ( $P<0.05$ ) improved the water-holding capacity, pH, hardness and titratable acidity of the yogurt, reduced the adhesiveness of the yogurt, and increased the brightness value ( $L^*$ ) and yellowness of the yogurt degree value ( $b^*$ ), which reduced the redness value ( $a^*$ ) of yogurt and increased the sweetness of yogurt products. Collagen yogurt fermented by *Lactobacillus rhamnosus* significantly ( $P<0.05$ ) increased the yellowness value ( $b^*$ ) and titrated acidity of the yogurt, but the total number of bacterial colonies decreased with the increase of storage time. Collagen yogurt fermented by *Bifidobacterium breve* significantly ( $P<0.05$ ) increased the pH, titrated acidity and yellowness value ( $b^*$ ) of yogurt, but had no effect on the textural properties of yogurt. In summary, *Lactobacillus casei* and *Lactobacillus plantarum* subspecies were suitable for making collagen yogurt. This research could add new vitality to the diversity of yogurt, and also provide an important theoretical reference for the development of healthier and nutritious yogurt products.

收稿日期: 2023-10-17

作者简介: 赵瑾 (1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 15756383892@163.com。

\* 通信作者: 李建 (1982-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 病原微生物检测, E-mail: 350060374@qq.com。

**Key words:** *Lactobacillus*; pig skin hydrolyzed collagen; yogurt; quality effect

水解胶原蛋白具有改善皮肤弹性<sup>[1]</sup>、恢复丢失的软骨<sup>[2]</sup>、减轻关节疼痛<sup>[3-4]</sup>、增强肌腱和韧带<sup>[5-7]</sup>及提高骨密度<sup>[8-9]</sup>等生理功能。目前,将水解胶原蛋白添加在肉丸<sup>[10]</sup>、饮料<sup>[11]</sup>、面包<sup>[12-13]</sup>等。研究发现,25岁以后,机体合成胶原蛋白的效率开始下降,但是日常需要 3~6 g 的胶原蛋白才可以满足身体所需<sup>[14]</sup>。目前,市场中水解胶原蛋白类的产品大多为粉类及液体为主。这种摄入方式生物利用率较低,无法满足人们的日常所需。经科学研究证实,酸奶具有调节肠道菌群<sup>[15]</sup>、增强免疫力等功能<sup>[16]</sup>。同时酸奶具有在发酵时将大分子的蛋白质脂肪等物质分解成小分子的多肽及短链脂肪酸的优势<sup>[17]</sup>。因此选择酸奶作为载体,可以有效解决水解胶原蛋白生物利用率低的现状。

Szopa 等<sup>[18]</sup>的研究使用羊奶、牛骨胶原蛋白、牛胶原蛋白水解物及嗜酸乳杆菌、干酪乳杆菌、副干酪乳杆菌和鼠李糖乳杆菌发酵制成酸奶。乳酸杆菌的添加提高了酸奶的 pH,并降低酸奶中乳酸含量,提高酸奶持水力。Znamirska 等<sup>[19]</sup>的研究使用 2% 脂肪乳、100% 牛胶原蛋白水解物、动物双歧杆菌和鼠李糖乳杆菌发酵制成酸奶,与未添加 100% 牛胶原蛋白水解物的酸奶相比,含有胶原蛋白水解物的酸奶的 pH 及酸度显著较高( $P<0.05$ ),增加酸奶的持水力,提高酸奶制品的硬度及胶着性,双歧杆菌和鼠李糖乳杆菌不会对发酵酸奶的感官特性产生负面影响。

植物乳杆菌在发酵过程中会产生抗菌物质,有效抑制酸奶腐败菌和病原微生物的生长<sup>[20]</sup>。鼠李糖乳杆菌具有调节机体免疫、改善脂质代谢等功能,其发酵时产生的细菌素是一种天然的食物防腐剂<sup>[21]</sup>。干酪乳杆菌及短双歧杆菌均具有降低胆固醇、促进肠道蠕动的功能。在研究中这些菌种主要用于发酵含有牛胶原蛋白及牛胶原蛋白水解物的牛奶。目前关于这四种乳酸杆菌在发酵含有猪皮水解胶原蛋白牛奶的相关研究尚未发现。基于上述事实,探究这四种菌种与猪皮水解胶原蛋白的共同作用是否对酸奶的品质会产生影响,可以为功能性酸奶的研制提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

猪皮水解胶原蛋白(蛋白质含量 $\geq 99\%$ ,分子量 800~1000 Da) 购买自湖北如天生物科技有限公司;鼠李糖乳杆菌 CICC6012、干酪乳杆菌 CICC 23185、植物乳杆菌 CICC20363、短双歧杆菌 CICC 6185 购买自中国工业微生物菌种贮藏管理中心;酚酞、氢氧化钠 分析纯,购买自上海麦克林生化科技有限公司;MRS 培养基 购买自北京索莱宝科技有限公司;乙醇(分析纯) 购买自成都金山化学试剂有限公司;鲜牛乳 购买自伊利乳业股份有限公司。

HC-3018R 高速冷冻离心机 中佳仪器有限公司;PH-140A 微生物培养箱 Bluepard 公司;LDZM-80L 立式高压蒸汽灭菌器 上海申安仪器有限公司;SW-CJ-2D 超净台 名牌之心仪器有限公司;DHP-500 电热恒温培养箱 北京市光明医疗仪器厂;PB10 pH 计 德国赛多利斯集团;TA.XT.plus 质构仪 英国 SMS 公司;ESB-500X 均质乳化机 上海易勒机电设备有限公司;HH-4 数显恒温水浴锅 常州澳华仪器有限公司;CS-220 粉末色差仪 彩谱仪器有限公司。

### 1.2 实验方法

**1.2.1 酸奶制备** 取 3 L 鲜牛乳加至 5 L 烧杯中,添加 6% 蔗糖及 3% 猪皮水解胶原蛋白粉混合均匀。将其均质处理 20 min(压力 20 MPa),随后进行巴氏杀菌处理(温度 70 °C,杀菌时间 20 min),杀菌结束后冷却至 45 °C。将上述经过处理的 100 g 牛奶分装至已消毒的酸奶杯中,加入 3% 活化后的植物乳杆菌植物亚种、鼠李糖乳杆菌、干酪乳杆菌及短双歧杆菌菌液混合均匀后放入 42±1 °C 的培养箱中发酵 10 h,待酸奶表面凝固后取出迅速冷却,4 °C 贮藏 24 h。对照组是经过前处理未添加猪皮水解胶原蛋白粉的牛奶,加入 3% 活化后实验菌种,其它条件与实验组一致。参考文献 [18-19] 及市场中巴氏杀菌酸奶一般保质期为 21 d,故分别于发酵结束后 1 d 及 21 d 对酸奶样品进行指标检测,贮藏条件为 4 °C。

**1.2.2 持水力的测定** 酸奶持水力的测定按照 Yu 等<sup>[22]</sup>的方法。取 10 g 酸奶样品于离心管中,离心管的质量记为  $M_1$ ,酸奶质量为  $M_2$ ,在 4 °C、5000 r/min 条件下离心 30 min,去除上清液后称取沉淀质量  $M_3$ ,按下式计算酸奶样品的持水力:

$$\text{WHC}(\%) = \frac{(M_2 - M_1)}{(M_3 - M_1)} \times 100$$

**1.2.3 pH 的测定** 酸奶 pH 的测定按照 Szajnar 等<sup>[23]</sup>的方法,称取 10 g 酸奶样品放置在常温下,加入灭菌去离子水,按照 1:1 的比例稀释酸奶样品,将其混合均匀置于锥形瓶中。利用 pH 计测定 pH。

**1.2.4 滴定酸度的测定** 酸奶滴定酸度的测定按照国标 GB 5009.239-2016《食品安全国家标准 食品滴定酸度的测定》的方法进行实验,以 °T 表示。

**1.2.5 质构特性的测定** 酸奶的质构特性的测定按照 Znamirska 等<sup>[24]</sup>的方法略有修改。酸奶的质构特性采用多面分析法(TPA)模式分析,在室温下测定酸奶样品硬度、黏性、弹性、胶着性、咀嚼性和内聚性。测定参数设置为: P36R 探头,测前速度 2.0 mm/s,测中速度 2.0 mm/s,测后速度 2.0 mm/s,测试形变量为 30%,感应力大小 5.0 g。

**1.2.6 色度的测定** 酸奶色度的测定按照王伟佳

等<sup>[25]</sup>的方法进行实验,通过色度计测定了以下参数:亮度( $L^*$ ),红度值( $a^*$ ),黄度值( $b^*$ )。测量前,在白色参考及黑色参考标准上对设备进行校准。每个样品取 3 个平行,在色差仪上直接读取出以上数值。

1.2.7 菌落总数的测定 酸奶菌落总数的测定按照国标 GB 4789.2-2022《食品安全国家标准 食品微生物学检验菌落总数测定》的方法进行实验。

1.2.8 感官评价 胶原蛋白酸奶感官评价按照评分检验法<sup>[26]</sup>进行实验。由 10 名接受过专业训练的人员组成感官评价小组,评分人员根据酸奶的色泽、气味、组织状态、滋味 4 个方面进行评价,满分为 100 分,根据表 1 的评价标准进行打分,取平均值作为最终结果。

表 1 胶原蛋白酸奶感官评价表  
Table 1 Sensory evaluation of collagen yogurt

| 项目           | 特征                                                    | 评价标准<br>(分)           |
|--------------|-------------------------------------------------------|-----------------------|
| 色泽<br>(20)   | 均匀一致的乳白色或微黄色,有光泽;                                     | 20~18                 |
|              | 乳白色或黄色,不均匀;<br>有其他异常颜色,或其他异物                          | 17~10<br>≤9           |
| 气味<br>(25)   | 具有酸牛乳固有的滋味和气味;                                        | 25~20                 |
|              | 具有酸牛乳固有的滋味和气味,含有极微弱的异味;<br>无酸奶固有的滋味和气味;<br>有异味        | 19~14<br>13~10<br>≤9  |
| 组织<br>状态(30) | 细腻,均匀,无气泡,允许有少量乳清析出;                                  | 30~25                 |
|              | 细腻,不均匀,有气泡,有少量乳清析出粗糙;<br>不均匀,有少量乳清析出粗糙;<br>不均匀,大量乳清析出 | 24~19<br>19~15<br>≤14 |
| 滋味<br>(25)   | 酸味及甜味适中;                                              | 25~20                 |
|              | 酸味偏重,有一定甜味;<br>酸味或甜味偏重,味道不协调                          | 19~10<br>≤9           |

1.3 数据处理

所有实验结果采用平均值±标准差表示。用 SPSS 8.1 和 prism 8.0.2 软件分析同一处理在第 1 d 和 21 d 试验数据,分析方法为单因素方差分析, $P<0.05$  表示存在显著差异。使用 Prism8.0.2 进行绘

图。所有实验采取三组平行。

2 结果与分析

2.1 不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶理化性质的影响

2.1.1 不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶持水力的影响

不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶持水力的影响如表 2 所示。在 1 d 时,样品组的持水力显著( $P<0.05$ )高于对照组,其中干酪乳杆菌发酵胶原蛋白酸奶持水性能最佳,推测干酪乳杆菌分泌的胞外多糖可以增加酸奶的持水力。在 21 d 时,植物乳杆菌发酵的酸奶持水力呈现增长趋势。推测与植物乳杆菌分泌的胞外多糖逐渐增多提高了胶原蛋白酸奶的持水力有关<sup>[27-28]</sup>。短双歧杆菌及鼠李糖乳杆菌发酵的胶原蛋白酸奶在 21 d 时的持水力与 1 d 时无明显差别,这可能与两种乳酸杆菌分泌的胞外多糖较少有关。

2.1.2 不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶 pH 的影响

不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶 pH 的影响如表 3 所示。在 1 d 时,短双歧杆菌、鼠李糖乳杆菌及干酪乳杆菌发酵的胶原蛋白酸奶 pH 差异不显著( $P>0.05$ ),可以判断在发酵刚结束时乳酸杆菌与水解胶原蛋白作用不会影响酸奶的 pH。在 21 d 时,干酪乳杆菌发酵的胶原蛋白酸奶 pH 最低,说明干酪乳杆菌后酸化作用最强,但四种乳杆菌的差异不显著。

2.1.3 不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶滴定酸度的影响

不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶滴定酸度的影响如表 4 所示。在 1 d 时,含有鼠李糖乳杆菌及胶原蛋白发酵的酸奶其滴定酸度值显著高于对照组( $P<0.05$ ),这可能与乳酸杆菌与水解胶原蛋白共同作用会增加酸奶滴定酸度有关。在 21 d 时,与对照组相比,添加胶原蛋白的酸奶滴定酸度均呈现上升趋势,推测其原因是不同的乳酸杆菌产酸能力不同。四株乳酸杆菌产酸能力顺序为干酪乳杆菌~鼠李糖乳杆菌>短双歧杆菌~植物乳杆菌。

表 2 不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶持水力的影响

Table 2 Effects of different *Lactobacilli* on the water-holding capacity of collagen yogurt

| 贮藏时间(d) | A                        | B                          | C                         | D                         | E                        |
|---------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 1       | 0.573±0.034 <sup>c</sup> | 0.762±0.0297 <sup>ab</sup> | 0.768±0.684 <sup>ab</sup> | 0.686±0.029 <sup>b</sup>  | 0.797±0.074 <sup>a</sup> |
| 21      | 0.618±0.064 <sup>c</sup> | 0.860±0.017 <sup>a</sup>   | 0.724±0.017 <sup>b</sup>  | 0.671±0.049 <sup>bc</sup> | 0.728±0.022 <sup>b</sup> |

注: A组为对照组, B为植物乳杆菌, C为短双歧杆菌, D为鼠李糖乳杆菌, E为干酪乳杆菌; 同行标注不同小写字母代表同一指标具有显著差异( $P<0.05$ ); 表3~表7同。

表 3 不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶 pH 的影响

Table 3 Effects of different *Lactobacilli* on pH of collagen yogurt

| 贮藏时间(d) | A                         | B                        | C                         | D                         | E                         |
|---------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1       | 4.596±0.032 <sup>ab</sup> | 4.740±0.088 <sup>a</sup> | 4.520±0.087 <sup>b</sup>  | 4.513±0.100 <sup>b</sup>  | 4.47±0±0.112 <sup>b</sup> |
| 21      | 4.530±0.431 <sup>a</sup>  | 4.223±0.056 <sup>b</sup> | 4.380±0.080 <sup>bc</sup> | 4.360±0.072 <sup>bc</sup> | 4.157±0.145 <sup>c</sup>  |

表 4 不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶酸度的影响

Table 4 Effects of different *Lactobacilli* on the acidity of collagen yogurt

| 贮藏时间(d) | A                         | B                         | C                         | D                         | E                         |
|---------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1       | 70.166±2.929 <sup>b</sup> | 70.253±3.122 <sup>b</sup> | 72.666±7.767 <sup>b</sup> | 83.126±5.816 <sup>a</sup> | 79.666±4.066 <sup>b</sup> |
| 21      | 63.457±4.848 <sup>c</sup> | 75.666±1.033 <sup>b</sup> | 74.333±3.214 <sup>b</sup> | 87.666±4.509 <sup>a</sup> | 90.127±4.315 <sup>a</sup> |

2.2 不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶质构的影响

2.2.1 不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶硬度的影响

不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶硬度的影响如图 1。在 1 d 时,乳酸杆菌发酵胶原蛋白酸奶的硬度显著( $P<0.05$ ,  $P<0.001$ )高于对照组,含有干酪乳杆菌的胶原蛋白酸奶硬度最高。这可能与干酪乳杆菌具有双簇胞外多糖,胞外多糖相互作用形成成长的胞外多糖链,导致酸奶硬度增加有关<sup>[29]</sup>。在 21 d 时,添加植物乳杆菌的酸奶硬度呈现上升趋势。这可能是不同乳酸杆菌代谢的有机酸类物质通过积累进而影响酸奶的硬度<sup>[30]</sup>。鼠李糖乳酸杆菌代谢的有机酸类物质随着贮藏时间的延长,其酸类物质出现降解,进而使酸奶的硬度降低。

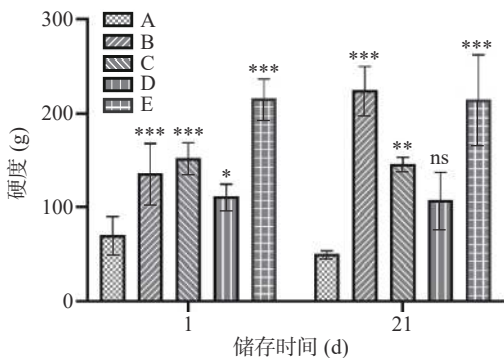


图 1 不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶硬度的影响  
Fig.1 Effects of different *Lactobacilli* on the hardness of collagen yogurt

注: A 组为对照组, B 为植物乳杆菌, C 为短双歧杆菌, D 为鼠李糖乳杆菌, E 为干酪乳杆菌; \*代表与对照组相比,  $P<0.05$ , \*\*代表  $P<0.01$ , \*\*\*代表  $P<0.001$ , ns 代表与 A 相比无差异; 图 2~图 5 同。

2.2.2 不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶胶着性的影响

不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶胶着性的影响如

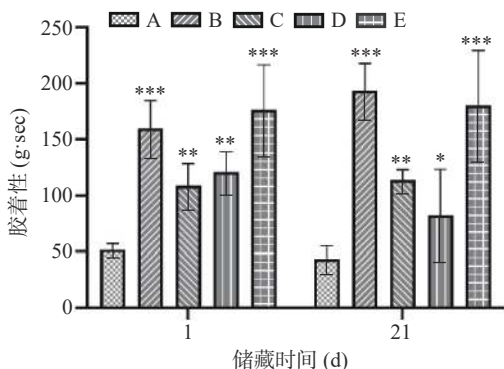


图 2 不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶胶着性的影响  
Fig.2 Effects of different *Lactobacilli* on the hardness of collagen yogurt

图 2。在 1 d 时,含有乳酸杆菌的胶原蛋白酸奶胶着性显著( $P<0.01$ ,  $P<0.001$ )高于对照组。可能是由于乳酸杆菌的次级代谢产物与水解胶原蛋白结合,增加了酸奶的胶着性和稳定性<sup>[31]</sup>。在 21 d 时,含有植物乳杆菌的胶原蛋白酸奶的胶着性呈现上升趋势,含有鼠李糖乳杆菌的胶原蛋白酸奶胶着性出现上升趋势,短双歧杆菌及干酪乳杆菌胶原蛋白酸奶差异极显著( $P<0.001$ )。出现这种现象的原因是蛋白质水解产物通过改变引物的代谢和形成牛奶蛋白凝胶来影响酸奶的质地<sup>[32]</sup>。

2.2.3 不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶弹性的影响

不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶弹性的影响如图 3。在 1 d 时,不同种类的乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶的弹性无显著性影响。这与 Dong 等<sup>[33]</sup>发现在酸奶储藏初期乳酸杆菌对酸奶弹性无影响的实验结果一致。比较 1 d 与 21 d 的弹性特征,在 21 d 时,含有胶原蛋白的酸奶的弹性保持较好。由此可见乳酸杆菌发酵的次级代谢产物与水解胶原蛋白相互作用可以保持酸奶的弹性。

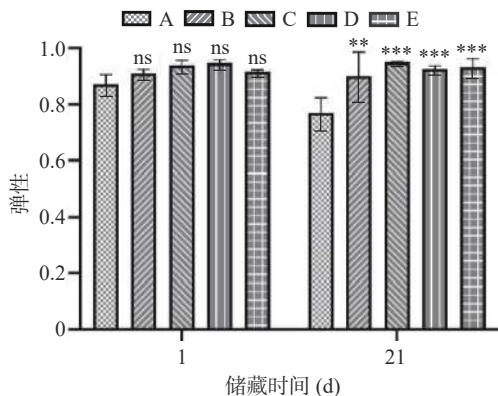


图 3 不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶弹性的影响  
Fig.3 Effects of different *Lactobacilli* on the elasticity of collagen yogurt

2.3 不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶色度的影响

2.3.1 不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶亮度的影响

不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶亮度的影响如表 5 所示。第 1 d 时,干酪乳杆菌发酵的胶原蛋白酸奶  $L^*$  值低于对照组。在 21 d 时,含有短双歧杆菌的胶原蛋白酸奶  $L^*$  值有所增加。由此说明,在贮存初期,干酪乳杆菌会降低胶原蛋白酸奶的  $L^*$ ,随着贮存时间的增加,植物乳杆菌及短双歧杆菌等乳酸杆菌可以增加胶原蛋白酸奶的  $L^*$ 。乳酸杆菌发酵后的次级代谢产物积累可能对酸奶的亮度有积极的影响。

表 5 不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶亮度的影响

Table 5 Effects of different *Lactobacilli* on the brightness of collagen yogurt

| 贮藏时间(d) | A                           | B                         | C                         | D                          | E                         |
|---------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 1       | 82.966±1.884 <sup>a</sup>   | 73.643±3.243 <sup>a</sup> | 73.750±7.315 <sup>a</sup> | 75.050±6.632 <sup>a</sup>  | 65.760±5.443 <sup>b</sup> |
| 21      | 76.393±14.977 <sup>ab</sup> | 79.583±9.148 <sup>a</sup> | 81.440±4.520 <sup>a</sup> | 76.180±0.537 <sup>ab</sup> | 62.483±4.702 <sup>c</sup> |

表 6 不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶红度的影响

Table 6 Effects of different *Lactobacilli* on the redness of collagen yogurt

| 贮藏时间(d) | A                         | B                          | C                         | D                          | E                         |
|---------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 1       | -0.943±0.494 <sup>a</sup> | -1.540±0.860 <sup>ab</sup> | -2.557±0.827 <sup>b</sup> | -2.516±0.737 <sup>b</sup>  | -2.463±0.778 <sup>b</sup> |
| 21      | -0.406±0.245 <sup>a</sup> | -1.656±0.628 <sup>a</sup>  | -1.430±1.593 <sup>a</sup> | -2.766±0.358 <sup>ab</sup> | -4.883±1.102 <sup>b</sup> |

表 7 不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶黄度的影响

Table 7 Effects of different *Lactobacilli* on the yellowness of collagen yogurt

| 贮藏时间(d) | A                         | B                        | C                         | D                         | E                         |
|---------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1       | 1.690±2.615 <sup>ab</sup> | 0.988±0.157 <sup>b</sup> | 2.146±0.621 <sup>a</sup>  | 2.423±0.680 <sup>a</sup>  | 1.716±0.545 <sup>ab</sup> |
| 21      | 2.214±0.777 <sup>ab</sup> | 1.676±0.260 <sup>c</sup> | 1.830±0.977 <sup>bc</sup> | 1.689±0.880 <sup>bc</sup> | 3.443±0.854 <sup>a</sup>  |

### 2.3.2 不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶红度值的影响

不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶红度值的影响如表 6。1 d 时,与对照组相比,含有短双歧杆菌、鼠李糖乳杆菌及干酪乳杆菌的胶原蛋白酸奶  $a^*$  数值呈下降趋势。在 21 d 时对照组的  $a^*$  数值增加,添加干酪乳杆菌的胶原蛋白酸奶的  $a^*$  数值持续呈现下降趋势。由此可见,这可能与乳酸杆菌与多肽类的物质相互作用降低了酸奶的红度值有关<sup>[34]</sup>。

### 2.3.3 不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶黄度值的影响

不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶黄度值的影响如表 7。在 1 d 时 4 种乳酸杆菌的胶原蛋白酸奶的  $b^*$  值均与对照组无显著差异。在 21 d 时,含有干酪乳杆菌的胶原蛋白酸奶  $b^*$  值呈现出上升趋势,但差异不显著。植物乳杆菌发酵的胶原蛋白酸奶  $b^*$  值差异显著( $P<0.05$ )呈下降趋势。短双歧杆菌及鼠李糖乳杆菌发酵的酸奶其  $b^*$  较 1 d 有所下降,但差异不显著。这种现象可能与乳酸杆菌在发酵过程中产生了一些次级代谢产物有关<sup>[34]</sup>。

### 2.4 不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶菌落总数的影响

不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶菌落总数的影响如图 4。在 1 d 时,植物乳杆菌、短双歧杆菌及鼠李糖乳杆菌发酵胶原蛋白酸奶的菌落总数显著( $P<0.05$ )高于对照组,干酪乳杆菌发酵胶原蛋白酸奶的菌落总数显著( $P<0.05$ )低于对照组。比较 1 d 及 21 d,植物乳杆菌、短双歧杆菌及鼠李糖乳杆菌发酵的胶

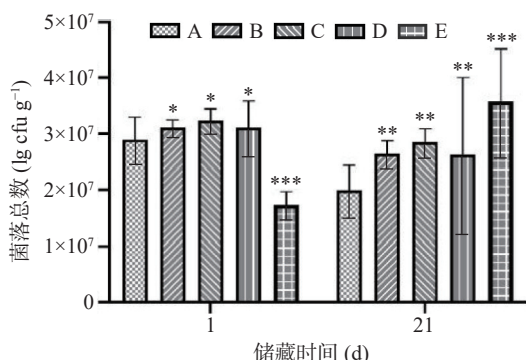


图 4 不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶菌落总数的影响

Fig.4 Effects of different *Lactobacilli* on the total number of colonies in collagen yogurt

原蛋白酸奶的菌落总数下降。这可能与水解胶原蛋白不利于鼠李糖乳杆菌生长有关。干酪乳杆菌的菌落总数呈现增加趋势,可以说明含有水解胶原蛋白可能有利于干酪乳杆菌的生长<sup>[35]</sup>。

### 2.5 不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶感官评价的影响

不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶感官评价的影响如图 5 所示。在感官评价过程中,加入乳酸杆菌会对胶原蛋白酸奶感官有积极影响。植物乳杆菌及干酪乳杆菌发酵的胶原蛋白酸奶甜度高,这是由于发酵会产生很多甘氨酸、丙氨酸和苏氨酸这几种带有甜味的氨基酸<sup>[35]</sup>。

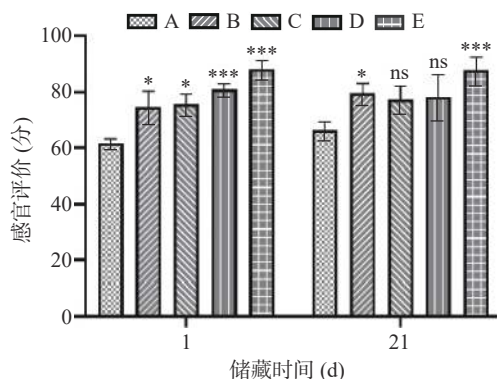


图 5 不同乳酸杆菌对胶原蛋白酸奶感官的影响

Fig.5 Effects of different *Lactobacilli* on the sensory properties of collagen yogurt

## 3 结论

本研究发现,酸奶贮藏过程中,干酪乳杆菌活菌数最多,其次为短双歧杆菌、植物乳杆菌、鼠李糖乳杆菌。各组滴定酸度在贮藏期均呈上升趋势。植物乳杆菌及干酪乳杆菌可以增强酸奶的持水性。在测定 pH 时发现酸奶后酸化作用各有差异,这四种乳酸杆菌产酸能力顺序为干酪乳杆菌~鼠李糖乳杆菌>短双歧杆菌~植物乳杆菌。在质构方面,植物乳杆菌及干酪乳杆菌对酸奶的质构产生积极影响。综合酸奶的理化性质、质构、微生物菌落总数及色度分析,在这四种乳酸杆菌中植物乳杆菌及干酪乳杆菌适合制作猪皮水解胶原蛋白酸奶。本研究为畜产品副产品的加工提供了新的思路,为研究出新型的功能性食品提供新的可能。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

### 参考文献

- [1] PROKSCH E, SEGGER D, DEGWERT J, et al. Oral supplementation of specific collagen peptides has beneficial effects on human skin physiology: A double-blind, placebo-controlled study[J]. *Skin Pharmacology and Physiology*, 2013, 27(1): 47–55.
- [2] MCALINDON T E, NUIE M, KRISHNAN N, et al. Change in knee osteoarthritis cartilage detected by delayed gadolinium enhanced magnetic resonance imaging following treatment with collagen hydrolysate: A pilot randomized controlled trial[J]. *Osteoarthritis and Cartilage*, 2011, 19(4): 399–405.
- [3] ZDZIEBLIK D, OESSER S, GOLLHOFER A, et al. Improvement of activity-related knee joint discomfort following supplementation of specific collagen peptides[J]. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 2017, 42(6): 588–595.
- [4] CLARK K L, SEBASTIANELLI W, FLECHSENHAR K R, et al. 24-week study on the use of collagen hydrolysate as a dietary supplement in athletes with activity-related joint pain[J]. *Current Medical Research and Opinion*, 2008, 24(5): 1485–1496.
- [5] PRAET S F E, PURDAM C R, WELVAERT M, et al. Oral supplementation of specific collagen peptides combined with calf-strengthening exercises enhances function and reduces pain in achilles tendinopathy patients[J]. *Nutrients*, 2019, 11(1): 76.
- [6] DRESSLER P, GEHRING D, ZDZIEBLIK D, et al. Improvement of functional ankle properties following supplementation with specific collagen peptides in athletes with chronic ankle instability[J]. *Journal of Sports Science & Medicine*, 2018, 17(2): 298.
- [7] BAAR K. Stress relaxation and targeted nutrition to treat patellar tendinopathy[J]. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 2019, 29(4): 453–457.
- [8] ZDZIEBLIK D, OESSER S, BAUMSTARK M W, et al. Collagen peptide supplementation in combination with resistance training improves body composition and increases muscle strength in elderly sarcopenic men: A randomised controlled trial[J]. *British Journal of Nutrition*, 2015, 114(8): 1237–1245.
- [9] KÖNIG D, OESSER S, SCHARLA S, et al. Specific collagen peptides improve bone mineral density and bone markers in postmenopausal women—a randomized controlled study[J]. *Nutrients*, 2018, 10(1): 97.
- [10] PALAMUTOĞLU R, KASNAK C. Antioxidant effect of fish collagen hydrolysate addition to meatballs[J]. *Mugla Journal of Science and Technology*, 2019, 5(2): 56–61.
- [11] LEÓN-LÓPEZ A, PÉREZ-MARROQUÍN X A, CAMPOS-LOZADA G, et al. Characterization of whey-based fermented beverages supplemented with hydrolyzed collagen: Antioxidant activity and bioavailability[J]. *Foods*, 2020, 9(8): 1106.
- [12] KUMAR A, ELAVARASAN K, HANJABAM M D, et al. Marine collagen peptide as a fortificant for biscuit: Effects on biscuit attributes[J]. *LWT*, 2019, 109: 450–456.
- [13] ABE N, ITO T, KOBAYASHI T, et al. A case of anaphylaxis due to fish collagen in a gummy candy[J]. *Allergology International*, 2020, 69(1): 146–147.
- [14] 武建新, 苏东海, 刘成玉, 等. 胶原蛋白酸奶的研制[J]. *中国乳品工业*, 2011, 39(12): 41–43. [WU Jianxin, SU Donghai, LIU Chengyu, et al. Development of collagen yogurt[J]. *China Dairy Industry*, 2011, 39(12): 41–43.]
- [15] PIMENTEL G, BURTON K J, VON AH U, et al. Metabolic footprinting of fermented milk consumption in serum of healthy men[J]. *The Journal of Nutrition*, 2018, 148(6): 851–860.
- [16] SAVAIANO D A, HUTKINS R W. Yogurt, cultured fermented milk, and health: A systematic review[J]. *Nutrition Reviews*, 2021, 79(5): 599–614.
- [17] RIZZOLI R, BIVER E. Effects of fermented milk products on bone[J]. *Calcified Tissue International*, 2018, 102: 489–500.
- [18] SZOPA K, ZNAMIROWSKA-PIOTROWSKA A, SZAJNAR K, et al. Effect of collagen types, bacterial strains and storage duration on the quality of probiotic fermented sheep's milk[J]. *Molecules*, 2022, 27(9): 3028.
- [19] ZNAMIROWSKA A, SZAJNAR K, PAWLOS M. Probiotic fermented milk with collagen[J]. *Dairy*, 2020, 1(2): 126–134.
- [20] SARIKHANI M, KERMANSHAHI R K, GHADAM P, et al. The role of probiotic *Lactobacillus acidophilus* ATCC 4356 bacteriocin on effect of HBSu on planktonic cells and biofilm formation of *Bacillus subtilis*[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, 115: 762–766.
- [21] SU J Q, GUO Q, CHEN Y L, et al. Characterization and formation mechanism of lutein pickering emulsion gels stabilized by  $\beta$ -lactoglobulin-gum arabic composite colloidal nanoparticles[J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 98: 105276.
- [22] YU H Y, LIU H, WANG L, et al. Effect of poly- $\gamma$ -glutamic acid on the stability of set yoghurts[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2018, 55: 4634–4641.
- [23] SZAJNAR K, ZNAMIROWSKA A, KALICKA D, et al. Fortification of yoghurts with various magnesium compounds[J]. *Journal of Elementology*, 2017, 22(2).
- [24] ZNAMIROWSKA A, SZAJNAR K, PAWLOS M. Organic magnesium salts fortification in fermented goat's milk[J]. *International Journal of Food Properties*, 2019, 22(1): 1615–1625.
- [25] 王伟佳, 高晓夏月, 刘爱国, 等. 不同热处理无乳糖酸奶与普通酸奶品质的比较[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(5): 99–104. [WANG Weijia, GAO Xiaoxiayue, LIU Aiguo, et al. Comparison of the quality of lactose-free yogurt and ordinary yogurt with different heat treatments[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2021, 47(5): 99–104.]
- [26] 沈明浩, 谢主兰. 食品感官评定[M]. 郑州: 郑州大学出版社, 2017: 167–168. [SHEN Minghao, XIE Zhulan. Food sensory evaluation[M]. Zhengzhou: Zhengzhou University Press, 2017: 167–168.]
- [27] 罗玲泉, 刘成国, 黄永锋. 乳酸菌胞外多糖及其对酸奶品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2007, 75(6): 233–236. [LUO Lingquan, LIU Chengguo, HUANG Yongfeng. Lactic acid bacteria extracellular polysaccharide and its effect on yogurt quality[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2007, 75(6): 233–236.]
- [28] 董世荣, 徐微, 李欣, 等. 胶原蛋白肽对酸奶品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(16): 1–6. [DONG Shirong, XU Wei, LI Xin, et al. Effect of collagen peptides on the quality of solidified yogurt[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2020, 41(16): 1–6.]
- [29] BADEL S, BERNARDI T, MICHAUD P. New perspectives for *Lactobacilli* exopolysaccharides[J]. *Biotechnology Advances*, 2011, 29(1): 54–66.
- [30] LI C K, SONG J H, KWOK L Y, et al. Influence of *Lactobacillus plantarum* on yogurt fermentation properties and subsequent changes during postfermentation storage[J]. *Journal of Dairy*

Science, 2017, 100(4): 2512–2525.

[ 31 ] ZHAO Q Z, WANG J S, ZHAO M M, et al. Effect of casein hydrolysates on yogurt fermentation and texture properties during storage[J]. Food Technology & Biotechnology, 2006, 44(3): 429–434.

[ 32 ] OLIVEIRA M N, SODINI I, REMEUF F, et al. Effect of milk supplementation and culture composition on acidification, textural properties and microbiological stability of fermented milks containing probiotic bacteria[J]. International Dairy Journal, 2001, 11(11–12): 935–942.

[ 33 ] DONG S R, LI X, ZHANG C, et al. Research on the texture

characteristics of college peptide yoghurt influenced by fermentation conditions[J]. China Dairy Industry, 2019, 47(5): 14–18.

[ 34 ] SHORI A B, MING K S, BABA A S. The effects of Lycium barbarum water extract and fish collagen on milk proteolysis and *in vitro* angiotensin I-converting enzyme inhibitory activity of yogurt[J]. Biotechnology and Applied Biochemistry, 2021, 68(2): 221–229.

[ 35 ] RAZAK M A, BEGUM P S, VISWANATH B, et al. Multifarious beneficial effect of nonessential amino acid, glycine: A review[J]. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2017, 2017: 1716701.