

# 添加火麻仁粕蛋白肽的发酵乳品质特性分析

陈霞, 肖潇, 王鹏, 邵童, 马昕怡, 顾瑞霞

(扬州大学江苏省乳品生物技术与安全控制重点实验室, 江苏扬州 225000)

**摘要:** 本实验采用碱溶酸沉法提取火麻仁粕中的蛋白质, 经碱性蛋白酶酶解蛋白 12 h 得到水解度为 16.62% 的火麻仁粕蛋白肽 (HSMPP), 探究不同添加量的 HSMPP 对发酵乳凝乳时间、质构及贮藏期间滴定酸度、pH、持水率、活菌数和感官评价的影响。结果表明, 添加 3%~12% 的 HSMPP 能显著缩短发酵乳的凝乳时间, 降低酸度、硬度和胶黏性, 提高内聚性和弹性; 对发酵乳的贮藏特性研究表明, 添加 HSMPP 能延缓发酵乳在 4 °C 贮藏 21 d 期间的后酸化程度, 提高发酵乳的持水率和活菌数。综合各项指标, HSMPP 添加量为 6% 的发酵乳品质最佳, 在贮藏期内稳定性好, 活菌数和感官评分较高, 在第 14 d 时持水率达最高值 31.24%, 第 21 d 的活菌数为 9.23 log(CFU/g), 感官评分为 86 分。说明添加适量的火麻仁粕蛋白肽可以有效改善发酵乳的品质, 并提高其贮藏稳定性, 本研究为火麻仁粕蛋白肽的应用提供了理论依据。

**关键词:** 火麻仁粕蛋白肽; 发酵乳; 品质; 贮藏期

文章编号: 1673-9078(2021)08-160-167

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.8.0039

## Analysis of Quality Characteristics of Fermented Milk with Hemp Seed Meal Protein Peptide

CHEN Xia, XIAO Xiao, WANG Peng, SHAO Tong, MA Xin-yi, GU Rui-xia

(Jiangsu Provincial Key Laboratory of Dairy Biotechnology and Safety Control, Yangzhou University, Yangzhou 225000, China)

**Abstract:** Protein was extracted from hemp seed meal by alkali solubilization and acid precipitation. A protein peptide (HSMPP) was obtained after proteolysis by alkaline protease for 12 h. The hydrolysis degree was 16.62%. The effect of HSMPP addition amount on curd time, texture, titratable acidity, pH, water retention, viable count and sensory evaluation of the fermented milk during storage were investigated. The results showed that the addition of 3%~12% HSMPP into fermented milk significantly shortened the curd time; reduced the acidity, hardness and adhesive; and improved the cohesion and elasticity. The results on the storage characteristics of fermented milk indicated that the post-acidification degree of fermented milk during 21 days of storage at 4 °C delayed significantly; the water retention rate and the viable bacteria number were increased dramatically by adding HSMPP into the fermented milk. The highest water retention rate was 31.24% on the 14th day of storage, while the viable bacteria count was as high as 9.23 log (CFU/g) and the sensory score was reached to 86.0 on the 21st day of storage. These results suggested that the addition of protein peptide extracted from hemp meal could effectively improve the quality of fermented milk and significantly enhance its storage stability. The results in the present study provide the theoretical knowledge for the application of hemp seed meal protein peptide.

**Key words:** hemp seed meal protein peptide; yogurt; quality; storage period

引文格式:

陈霞,肖潇,王鹏,等.添加火麻仁粕蛋白肽的发酵乳品质特性分析[J].现代食品科技,2021,37(8):160-167

CHEN Xia, XIAO Xiao, WANG Peng, et al. Analysis of quality characteristics of fermented milk with hemp seed meal protein peptide [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(8): 160-167

收稿日期: 2021-01-11

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2019YFF0217602); 江苏省乳业生物工程技术研究中心开放课题 (ZK2019013); 扬州大学科技创新培育基金项目 (2019CXJ185)

作者简介: 陈霞 (1976-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品科学

通讯作者: 顾瑞霞 (1967-), 男, 博士, 研究方向: 乳品科学

火麻仁别名大麻仁、麻仁、麻子, 是一种药食同源的油料作物, 在我国的食用历史长达 3000 多年<sup>[1]</sup>。火麻仁的营养结构和含量比例较为合理, 脂肪酸含量为 25%~45%, 其中不饱和脂肪酸占 90%以上; 蛋白质含量为 20%~25%, 包含 8 种人体必需氨基酸; 此外还含有丰富的酚类物质、维生素和矿物质等有益成分

[2]。目前火麻仁主要应用于火麻油<sup>[3]</sup>、火麻蛋白提取<sup>[4]</sup>及生理活性功能开发<sup>[5]</sup>。研究发现,火麻油具有较好的抗氧化和抗衰老作用,对慢性神经炎、便秘和心脑血管等疾病也有一定的治疗作用;火麻蛋白具有抗疲劳和提高免疫等作用<sup>[6]</sup>。

火麻榨油之后的剩余物称为火麻仁粕,其中含有约30%的蛋白质,且多为麻仁球蛋白和白蛋白,易被人体消化吸收<sup>[1]</sup>。但目前大多数火麻仁粕都被用作工业饲料,造成了大量高质量植物蛋白资源的浪费,所以如何有效利用火麻副产品资源,对于提升火麻产业发展具有重要意义。林金莺等<sup>[7]</sup>研究了从火麻仁粕中提取蛋白质,然后分步酶解蛋白质制备抗氧化肽,经分离纯化后得到了两种结构独特且具有较高抗氧化能力的多肽。魏连会等<sup>[8]</sup>通过动物实验研究了火麻籽多肽的降血脂功能,发现火麻籽多肽对高脂饮食喂养的大鼠具有一定的降脂作用;国外一些研究也证实火麻多肽具有较好的抗氧化和降血压效果<sup>[9,10]</sup>,但还未见将火麻仁粕蛋白肽添加到酸奶中的相关文献。

本研究采用碱溶酸沉法从火麻仁粕中提取蛋白,经碱性蛋白酶水解后得到火麻仁粕蛋白肽(Hemp Seed Meal Protein Peptides, HSMPP),将HSMPP添加到发酵乳中,研究不同添加量的HSMPP对发酵乳品质特性的影响,为提高火麻综合利用率和开发新型发酵乳提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料和试剂

脱脂火麻仁粕,辽宁俏牌生物科技有限公司;全脂乳粉、脱脂乳粉,扬大康源乳业有限公司;白砂糖,扬州麦德龙超市采购;*L. delbrueckii. subsp. bulgaricus* 142、*S. thermophilus* 172、*S. thermophilus* 100,江苏省乳品生物技术与安全控制重点实验室分离保藏;碱性蛋白酶,浙江一诺生物科技有限公司;NaOH、HCl、浓H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>及其他试剂均为国产分析纯。

### 1.2 主要仪器设备

ZHJH-C1209B超净工作台,上海智城分析仪器制造有限公司;SPX-150BS生化培养箱,上海新苗医疗器械制造有限公司;JF-SX-500全自动灭菌锅,日本TOMY公司;5804R型高速冷冻离心机,德国Eppendorf公司;pHS-25型数显pH计,梅特勒-托利多仪器有限公司;TMS-PRO质谱仪,美国FTC公司;全自动凯氏定氮仪,北京盈盛恒泰科技有限责任公司;GYB60-08高压均质机,上海东华高压均质机厂。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 火麻仁粕蛋白的提取

参考林金莺等<sup>[7]</sup>的方法,并略做修改。将干燥粉碎的脱脂火麻仁粕与水按1:12(W/W)混合,用1 mol/L NaOH调溶液pH为8.5,将其放于45℃,800 r/min的恒温磁力搅拌器上搅拌1 h。搅拌完成后,在8000 r/min的条件下离心20 min,取上清液,用1 mol/L HCl调节溶液pH为4.5。静置沉降,于8000 r/min下离心15 min,取沉淀物,用蒸馏水洗涤至中性,冷冻干燥,得到火麻仁粕蛋白。

#### 1.3.2 酶法水解火麻仁粕蛋白

将冷冻干燥的火麻仁粕蛋白用去离子水配制成浓度为0.05 g/mL的蛋白溶液,加入2000 U/g碱性蛋白酶,混匀,调节至最佳酶解温度和pH,放于恒温磁力搅拌器上,以200 r/min振荡反应12 h,然后于沸水中持续灭酶10 min。冷却至室温,将溶液调至中性,于8000 r/min下离心15 min,收集上清液,即为火麻仁粕蛋白肽液(Hemp seed meal protein peptide, HSMPP)。

#### 1.3.3 火麻仁粕蛋白水解度测定

采用凯氏定氮法测定原料的总氮含量,采用甲醛电位滴定法测定酶解产物氨基氮含量<sup>[11]</sup>,代入以下公式,得到肽液水解度:

$$\text{水解度}/\% = \frac{\text{酶解液中的氨基氮含量} - \text{原料中的氨基氮含量}}{\text{原料中的总氮}} \times 100\% \quad (1)$$

#### 1.3.4 火麻仁粕蛋白肽发酵乳制作工艺

12%复原乳+7%白砂糖+火麻仁粕蛋白肽液→混合→均质→灭菌(95℃,10 min)→冷却(40℃左右)→接种(3%)→发酵(42℃)→后熟(4℃,24 h)→成品

##### 1.3.4.1 操作要点

用全脂奶粉配制12%的复原乳,往复原乳中加入7%的白砂糖和火麻仁粕蛋白肽液(0%、3%、6%、9%、12%),混合均匀后在55℃,20 MPa的条件下进行均质,均质完后于95℃水浴中灭菌10 min。冷却至40℃左右,接入3%的混合菌种(*L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* 142, *S. thermophilus* 172和*S. thermophilus* 100三种菌的体积比为1:1:1),于42℃发酵箱中发酵至凝乳,然后放于4℃冰箱中24 h后熟。

##### 1.3.4.2 菌种活化

将保存在甘油管的*L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* 142接种于MRS液体培养基,37℃培养箱中培养24 h;*S. thermophilus* 172和*S. thermophilus* 100接种于M17液体培养基中,42℃培养箱中培养24 h。活化两代后,再接种于12%脱脂乳培养基中,凝乳后于4℃

冰箱保存备用。

### 1.3.5 凝乳时间测定

发酵乳滴定酸度达 75 °T 时为发酵完成,记录时长。

### 1.3.6 质构特性测定

参考 Guo 等<sup>[12]</sup>的方法,采用 TPA 法测定酸奶的硬度、内聚性、胶黏性、弹性和咀嚼性。使用 12.7 mm 圆柱形探头,起始力为 0.01 N,测试速度为 6 cm/min,形变量为 60%,压缩间隔时间 1 s。

### 1.3.7 pH 值和滴定酸度测定

使用 pHS-25 型数显 pH 计测定发酵乳的 pH 值;采用 GB 5009.239-2016<sup>[13]</sup>中的酚酞指示剂法测定发酵乳的滴定酸度。

### 1.3.8 持水率测定

称取一定质量的发酵乳样品置于 10 mL 离心管中,8000 r/min 下离心 20 min,倾倒出上清液,测定上清液质量。发酵乳的持水率计算公式如下:

$$\text{持水率} / \% = \frac{\text{上清液质量}}{\text{发酵乳质量}} \times 100\% \quad (2)$$

### 1.3.9 活菌数测定

参考 GB 4789.35-2016<sup>[14]</sup>中的平板计数法测定发酵乳中的活菌数。

### 1.3.10 感官评价

评分小组由接受过感官评定培训的食品科学专业的 5 位男性和 5 位女性学生组成,按照表 1 评分标准对产品进行感官评分。

## 1.4 数据分析

实验数据均采用 Spss 17.0 和 Origin 8.0 软件进行统计分析和作图。数据以“平均值±标准差”表示,以  $p < 0.05$  表示数据之间的显著性差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 火麻仁粕蛋白水解时间对水解度的影响

由图 1 所示,随着酶解时间的延长,火麻仁粕蛋白的水解度呈上升趋势,且前 12 h 上升速度较快,12 h 后趋于平缓。说明绝大多数的火麻仁粕蛋白在 12 h 内已被碱性蛋白酶酶解,12 h 后由于底物浓度和酶浓度降低,且受酶解产物的抑制,使得酶解速率降低<sup>[15]</sup>。因此,选取酶解 12 h 的火麻仁粕蛋白肽液用于制备发酵乳,此时蛋白的水解度为 16.62%。

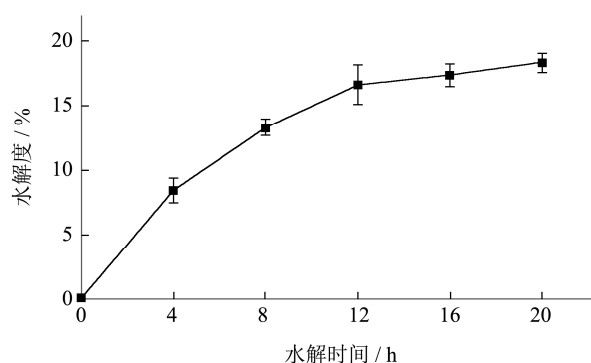


图 1 火麻仁粕蛋白水解时间和水解度关系

Fig.1 Relationship between hydrolysis time and degree of hydrolysis of hemp seed meal protein

表 1 火麻仁粕蛋白肽发酵乳感官评分表

Table 1 Sensory scoring table of hemp seed meal protein peptide fermented milk

指标	评分标准	评分区间
气味	风味协调,具有发酵乳和肽的香气	20~15
	风味协调欠缺,发酵乳和肽的香气淡,稍有异味	15~10
	风味不协调,有严重异味	10~0
色泽	呈乳白色,有光泽	20~15
	稍带黄色,有光泽	15~10
	呈灰色,色泽暗淡	10~0
滋味	酸甜适中,口感细腻,略带肽的香气	20~15
	酸甜适中,口感较细腻	15~10
	酸甜不适,带有砂砾感,发酵乳滋味不明显,肽味过重	10~0
质构	无乳清析出,均匀细腻,无气泡	20~15
	有少量乳清析出,均匀细腻,无气泡	15~10
	有大量乳清析出,分层明显,有气泡	10~0
总体可接受性	最喜欢	20~15
	比较喜欢	15~10
	最不喜欢	10~0

表2 质构参数

Table 2 Texture parameters

添加量/%	硬度/N	内聚性/Ratio	胶黏性/N	弹性/mm	咀嚼性/mJ
0	0.212±0.011 <sup>a</sup>	0.45±0.004 <sup>c</sup>	0.075±0.001 <sup>a</sup>	34.18±0.016 <sup>c</sup>	2.36±0.024 <sup>c</sup>
3	0.186±0.019 <sup>b</sup>	0.56±0.001 <sup>ab</sup>	0.062±0.003 <sup>ab</sup>	35.17±0.023 <sup>bc</sup>	5.21±0.011 <sup>a</sup>
6	0.175±0.023 <sup>b</sup>	0.60±0.002 <sup>a</sup>	0.054±0.002 <sup>c</sup>	38.52±0.048 <sup>b</sup>	5.22±0.014 <sup>a</sup>
9	0.168±0.014 <sup>b</sup>	0.51±0.002 <sup>b</sup>	0.053±0.001 <sup>c</sup>	40.09±0.017 <sup>ab</sup>	4.58±0.024 <sup>b</sup>
12	0.141±0.015 <sup>c</sup>	0.53±0.003 <sup>ab</sup>	0.048±0.001 <sup>cd</sup>	41.99±0.066 <sup>a</sup>	4.75±0.014 <sup>ab</sup>

注：同列数据右肩字母不同表示差异性显著 ( $p < 0.05$ )。

## 2.2 火麻仁粕蛋白肽添加量对发酵乳凝乳特性的影响

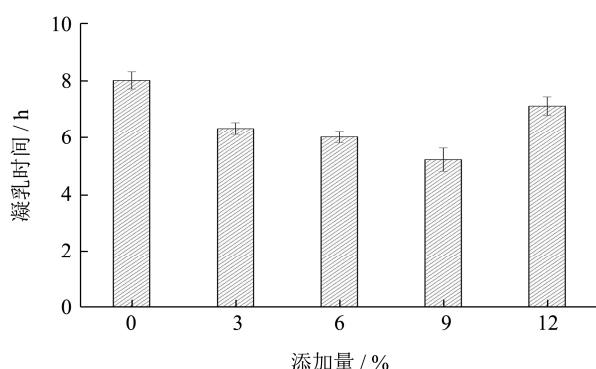


图2 肽液添加量对发酵乳凝乳特性的影响

Fig.2 The effect of added amount of peptide solution on the characteristics of fermented milk curd

由图2所示, 添加 HSMPP 的发酵乳凝乳时间均小于空白对照组, 说明添加 HSMPP 能显著缩短发酵乳发酵时间 ( $p < 0.05$ )。随着 HSMPP 添加量的增加, 发酵乳的凝乳时间呈现先降低后增加的趋势; 其中 HSMPP 添加量为 9% 时发酵乳凝乳时间最短, 为 5.2 h, 相比对照组缩短了 2.8 h。这可能是由于 HSMPP 里的小分子肽段为乳酸菌的生长繁殖提供了充足的氮源, 促进了乳酸菌的增殖, 使得发酵乳的酸度快速降低, 进而缩短了凝乳时间<sup>[16]</sup>。Lucas 等<sup>[17]</sup>研究也发现酪蛋白水解物和乳清蛋白水解物能缩短酸乳的发酵时间。适度酶解的小分子肽段有较好的促凝乳效果, 过度酶解的活性肽由于被聚合成了寡肽, 反而会抑制凝乳<sup>[18,19]</sup>。

## 2.3 不同火麻仁粕蛋白肽添加量对发酵乳质构的影响

由表2所知, 与空白对照组相比, 添加 HSMPP 显著减小了发酵乳的硬度和胶黏性 ( $p < 0.05$ ), 显著增大了发酵乳的弹性、内聚性和咀嚼性 ( $p < 0.05$ ), 说明

添加 HSMPP 改变了发酵乳的质构特性。随着 HSMPP 添加量的增加, 发酵乳的硬度和胶黏性呈下降趋势, 弹性呈增大趋势, 内聚性和咀嚼型呈先增大后降低的趋势。但包一帆<sup>[12]</sup>的研究表明, 添加全谷物酶解液的发酵乳, 其硬度、胶黏性和咀嚼型均呈下降趋势。发酵乳的质构与固形物和蛋白质的含量有关, 而蛋白质的种类、数量发生改变也会对发酵乳的凝胶结构产生影响, 造成其质构特性的变化<sup>[20]</sup>。火麻仁粕中主要含的是麻仁球蛋白和白蛋白, HSMPP 的加入改变了体系中蛋白质的组成和含量, 导致质构发生改变, 其中 HSMPP 添加量为 6% 时, 内聚性和咀嚼性最高。

## 2.4 贮藏期内火麻仁粕蛋白肽对发酵乳滴定酸度和 pH 值的影响

发酵乳在低温贮藏过程中乳酸菌会继续利用剩余的乳糖进行发酵, 过度发酵会发生乳清析出现象和出现过度酸味, 进而影响酸奶的感官, 即后酸化现象<sup>[21]</sup>。滴定酸度和 pH 是衡量酸奶品质的重要指标之一, 滴定酸度代表发酵及后酸化过程中产生乳酸的程度, pH 反映的是酸奶中处于电离状态的活性  $H^+$  浓度<sup>[22,23]</sup>。目前, 研究主要从加工工艺 (调整发酵剂的比例和组成<sup>[24]</sup>、高压处理<sup>[25]</sup>和添加防腐剂<sup>[26]</sup>等)、诱变育种 (物理诱变<sup>[27]</sup>和化学诱变<sup>[28]</sup>) 和基因工程技术<sup>[29]</sup>等方面改善酸奶的后酸化现象。如图可知, 随着储藏天数的推移, 样品组和空白对照组的滴定酸度不断上升, pH 值不断下降。由图3可知, 5组发酵乳样品在 4 °C 冷藏 21 d 期间滴定酸度呈逐渐上升趋势, pH 呈逐渐下降趋势。其中空白对照组的酸度和 pH 变化幅度较大, 滴定酸度由第 1 d 的 82.34 °T 上升到的 92.45 °T, pH 值由第 1 d 的 4.51 下降到 4.20; 添加了 HSMPP 发酵乳样品的滴定酸度和 pH 值变化幅度较小, 其中 6% 组样品的酸度和 pH 变化幅度最小。这可能是因为 HSMPP 的蛋白质和多肽对有机酸具有一定的缓冲作用<sup>[30]</sup>, 使得发酵乳在冷藏期间的酸度变化较平缓。说明添加 HSMPP 能缓解发酵乳贮藏后期的后酸化现象, 对提

高发酵乳贮藏性有积极作用。赵强忠等<sup>[31]</sup>研究也表明,添加大豆分离蛋白酶解产物能缓解酸奶贮藏期的后酸化。

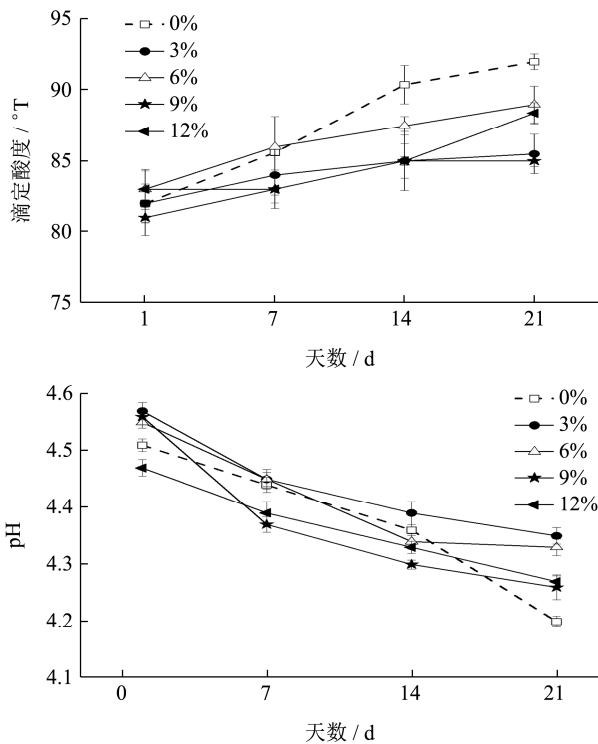


图3 贮藏期内发酵乳滴定酸度和 pH 值变化

Fig.3 Changes of titration acidity and pH value of fermented milk during storage

### 2.5 贮藏期内火麻仁粕蛋白肽对发酵乳持水力的影响

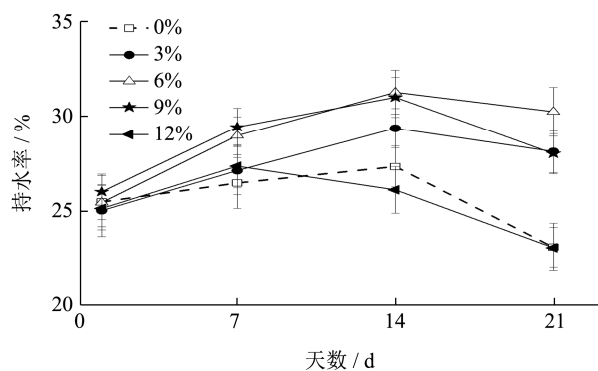


图4 贮藏期内发酵乳持水率的变化

Fig.4 Changes in the water holding rate of fermented milk during storage

持水率是评价发酵乳贮藏稳定性的关键指标之一,它可以从侧面反映发酵乳的蛋白凝胶网络对水份的保持能力。持水率越高,凝胶网络越致密,乳清越不容易析出,发酵乳在运输及销售过程中的稳定性越强。由图4可知,对照组的持水率在前14d都比较稳

定,14d后显著下降,说明在贮藏后期其稳定性下降。相比之下,HSMPP添加量为3%、6%和9%的发酵乳的持水率较稳定,第21d的持水率显著高于对照组和添加量为12%的样品组( $p<0.05$ ),其中添加量为6%的发酵乳的稳定性最好。说明添加适量的HSMPP可以增强蛋白胶粒网络结构,增强体系稳定性,这可能是因为HSMPP里的游离氨基酸增强了发酵乳体系的极性基团,极性氨基酸分子与水分子稳定结合,进而提高静电作用,所以持水能力也随之增强;但添加过多的HSMPP反而会破坏了发酵乳体系中分子之间的静电作用而导致发酵乳品质下降<sup>[32]</sup>。董世荣等<sup>[33]</sup>研究也表明,胶原蛋白肽的添加可显著提高酸奶持水率。

### 2.6 贮藏期内火麻仁粕蛋白肽对发酵乳活菌数的影响

数的影响

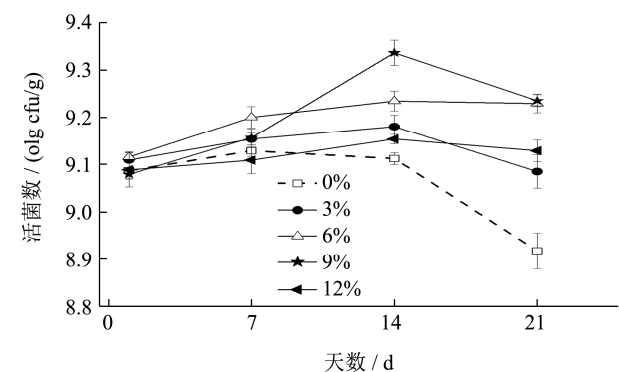


图5 贮藏期发酵乳活菌数的变化

Fig.5 Changes in the number of viable cells of fermented milk during storage

由图5可知,5组发酵乳在贮藏期内的活菌数呈先上升后下降的趋势,对照组第1d的活菌数为9.09 log cfu/g,第21d时活菌数降到8.92 log cfu/g。这是因为乳酸菌代谢产酸使体系的酸度持续上升,抑制了乳酸菌的生长。另一方面由于储藏后期体系中营养物质消耗殆尽,菌体开始衰老死亡,所以活菌数下降<sup>[34]</sup>。添加了HSMPP的4组样品在冷藏的前14d活菌数呈缓慢增加趋势,在第14d后活菌数开始下降,但均显著高于对照组( $p<0.05$ ),其中添加量为6%和9%的样品显著高于对照组( $p<0.01$ )。说明HSMPP中的一些游离氨基酸可以促进乳酸菌生长,为乳酸菌生长提供了对照组所没有的营养基质,所以在储藏期内,样品组的活菌数一直保持在较高的状态。张清丽等<sup>[19]</sup>研究也表明,将酪蛋白水解物添加到酸乳中能够明显提高其贮藏期内的活菌数。

### 2.7 贮藏期间火麻仁粕蛋白肽添加量对发酵

## 乳感官评价的影响

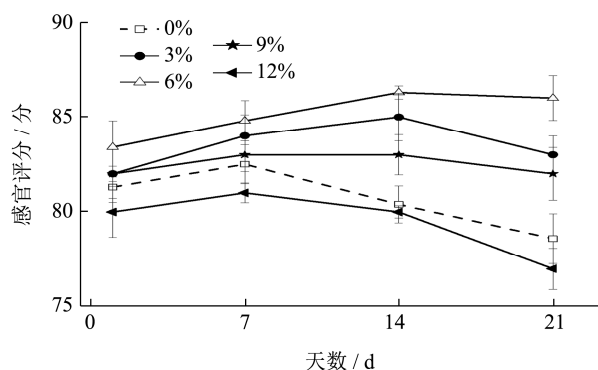


图6 感官评分

Fig.6 Sensory score

由图6可知,在4℃贮藏21d期间,5组发酵乳样品的感官评分呈先上升后下降的趋势,其中对照组和添加量为12%的发酵乳的感官评分在第7d后便开始下降,其他3组在14d后才开始下降,说明在贮藏后期随着酸度上升和持水率下降,发酵乳的品质开始下降。其中HSMPP添加量为6%的样品的感官评分最高,在21d的贮藏期内,该发酵乳风味和质地较为稳定,呈乳白色,具有发酵乳和火麻仁粕肽液特有的香气,到贮藏后期组织较均匀细腻,无乳清析出;HSMPP添加量为3%的发酵乳样品肽液香气不明显;添加量为9%和12%的发酵乳样品肽液味较重,略带苦味,到贮藏后期乳清析出较多,对发酵乳品质产生不良影响。

## 3 结论

采用碱溶酸沉法从火麻仁粕中提取蛋白,经碱性蛋白酶水解12h后制得水解度为16.62%的HSMPP。利用HSMPP、复原乳和白砂糖制备具有火麻蛋白肽香气,高蛋白含量的保健发酵乳,研究发现添加不同质量分数的HSMPP后能缩短发酵乳的凝乳时间,降低发酵乳的酸度、硬度和胶黏性,提高发酵乳的内聚性和弹性;添加HSMPP能延缓发酵乳在4℃贮藏21d期间的后酸化程度,提高发酵乳的持水性和活菌数,其中HSMPP添加量为6%的火麻仁粕蛋白肽发酵乳综合各项指标品质最优,且在贮藏期内保持了较高的活菌数和感官品质,第14d时持水率达最高值31.24%,第21d时活菌数为9.23 log cfu/g,感官评分为86分,为火麻仁粕蛋白肽发酵乳的最佳添加量。

## 参考文献

[1] 卫萍,游向荣,张雅媛,等.响应面法优化火麻蛋白提取工艺研究[J].中国油脂,2016,41(5):24-29

WEI Ping, YOU Xiang-rong, ZHANG Ya-yuan, et al. Optimization of extraction process of hemp protein by response surface methodology [J]. China Oils and Fats, 2016, 41(5): 24-29

[2] 田兆飞,刘诗涵,李立佳,等.火麻仁及其制品研究进展[J].农业科技与装备,2017,12:53-54

TIAN Zhao-fei, LIU Shi-han, LI Li-jia, et al. Research progress of hemp seed and its products [J]. Agricultural Science and Equipment, 2017, 12: 53-54

[3] 张芸芸.响应面优化火麻油及有氧运动对骨质疏松大鼠骨密度的影响[J].食品研究与开发,2020,41(15):17-22

ZHANG Yun-yun. Effects of response surface optimization on bone mineral density of hemp oil and aerobic exercise in rats with osteoporosis [J]. Food Research and Development, 2020, 41(15): 17-22

[4] 李晓君,韩飞燕,寇君,等.酶辅助火麻蛋白提取工艺的研究[J].粮食与油脂,2019,32(9):17-21

LI Xiao-jun, HAN Fei-yan, KOU Jun, et al. Study on enzyme-assisted extraction technology of hemp protein [J]. Grain and Oils, 2019, 32(9): 17-21

[5] 孟妍.汉麻籽分离蛋白提取技术及功能特性研究[D].哈尔滨:哈尔滨商业大学,2020

MENG Yan. Extraction technology and functional characteristics of hemp seed protein isolate [D]. Harbin: Harbin University of Commerce, 2020

[6] 唐健民,韦霄,邹蓉,等.食药同源植物火麻的研究进展及开发策略[J].广西科学院学报,2019,35(1):1-5,83

TANG Jian-min, WEI Xiao, ZOU Rong, et al. Research progress and development strategy of edible and medicinal homologous plant *Cannabis sativa* L. subsp. *sativa* [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2019, 35(1): 1-5, 83

[7] 林金莺.火麻仁蛋白水解及其抗氧化肽的研究[D].广州:华南理工大学,2010

LIN Jin-ying. Study on proteolysis and antioxidant peptide of hemp seed [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2010

[8] 魏连会,宋淑敏,董艳,等.火麻籽多肽对高脂饮食喂养大鼠血脂的影响[J/OL].食品科学:1-11[2021-01-09]

WEI Lian-hui, SONG Shu-min, DONG Yan, et al. Effects of hemp seed peptides on blood lipid in rats fed high fat diet [J/OL]. Food Science: 1-11[2021-01-09]

[9] Vassiliou R, Garry D, Viren R. Denaturation and oxidative stability of hemp seed (*Cannabis sativa* L.) protein isolate as affected by heat treatment [J]. Plant Foods for Human

- Nutrition, 2015, 70(3): 304-309
- [10] Girgih A T, Alashi A, He R, et al. Preventive and treatment effect sofa hemp seed (*Cannabis sativa* L.) meal protein hydrolysate against high blood pressure in spontaneously hypertensive rats [J]. *European Journal of Nutrition*, 2014, 53(5): 1237-1246
- [11] 王永华. 食品分析[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2011: 119-140  
WANG Yong-hua. *Food Analysis* [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2011: 119-140
- [12] Guo X L, Xie Z J, Wang G Z, et al. Effect on nutritional, sensory, textural and microbiological properties of low-fat yoghurt supplemented with Jerusalem artichoke powder [J]. *International Journal of Dairy Technology*, 2017, 70: 1-8
- [13] GB 5009.239-2016, 食品安全国家标准食品酸度的测定[S]  
GB 5009.239-2016, Determination of food acidity of national standard for food safety [S]
- [14] GB 4789.35-2016, 食品安全国家标准食品微生物学检验菌落总数测定[S]  
GB 4789.35-2016, Determination of total number of bacterial colonies in food microbiological inspection of national standard for food safety [S]
- [15] Dong X H, Zhao M M, Shi J, et al. Effects of combined high pressure homogenization and enzymatic treatment on extraction yield, hydrolysis and function properties of peanut proteins [J]. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 2011, 12(4): 478-483
- [16] Sodini I, Lucas A, Tissier J P, et al. Physical properties and microstructure of yoghurts supplemented with milk protein hydrolysates [J]. *International Dairy Journal*, 2005, 15(1): 29-35
- [17] Lucas A, Sodinia I, Monnet C, et al. Probiotic cell counts and acidification in fermented milks supplemented with milk protein hydrolysates [J]. *International Dairy Journal*, 2004, 14: 47-53
- [18] 赵强忠, 曾羲, 赵谋明. 大豆分离蛋白胰酶酶解液对酸乳促发酵作用及增黏作用[J]. *中国食品学报*, 2016, 16(4): 88-95  
ZHAO Qiang-zhong, ZENG Xi, ZHAO Mu-ming. Effects of enzymatic hydrolysate of soybean protein trypsin isolate on promoting fermentation and increasing viscosity of sour milk [J]. *Chinese Journal of Food Science and Technology*, 2016, 16(4): 88-95
- [19] 张清丽. 酪蛋白活性肽对乳酸菌生长代谢及酸乳发酵影响的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011  
Zhang Qing-li. Effects of casein active peptide on growth and metabolism of lactic acid bacteria and yoghurt fermentation [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2011
- [20] 范宇, 陈历俊, 赵常新. 酸奶质构影响因素研究进展[J]. *中国乳品工业*, 2009, 37(7): 30-33  
FAN Yu, CHEN Li-jun, ZHAO Chang-xin. Research progress on influencing factors of yogurt texture [J]. *China Dairy Industry*, 2009, 37(7): 30-33
- [21] 杨慧, 步雨珊, 刘奥, 等. 产细菌素植物乳杆菌 Q7 对酸奶后酸化及品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(3): 30-35  
YANG Hui, BU Yu-shan, LIU Ao, et al. Effects of bacteriocin-producing *Lactobacillus plantarum* Q7 on yogurt acidification and quality [J]. *Food and Fermentation Industry*, 2020, 46(3): 30-35
- [22] Robert W H, Nancy L N. pH homeostasis in lactic acid bacteria [J]. *J Dairy Sci*, 1993, 76(8): 354-365
- [23] 蒋明利. 酸奶和发酵乳饮料生产工艺与配方[M]. 北京: 中国乳业出版社, 2005  
JIANG Ming-li. *Production Technology and Formula of Yoghurt and Fermented Milk Beverage* [M]. Beijing: China Dairy Press, 2005
- [24] Sam Settachaimongkon, Hein J F van Valenberg, Inge Gazi M J Robert Nout, et al. Influence of *Lactobacillus plantarum* WCFS1 on post-acidification, metabolite formation and survival of starter bacteria in set-yoghurt [J]. *Food Microbiology*, 2016
- [25] 杨新尧, 康志远. 后热处理工艺对酸奶贮藏过程中后酸化控制的影响[J]. *中国乳品工业*, 2019, 47(8): 58-60, 64  
YANG Xin-yao, KANG Zhi-yuan. Effect of post-heat treatment on control of post-acidification in yogurt storage [J]. *China Dairy Industry*, 2019, 47(8): 58-60, 64
- [26] 纪小敏, 王婷婷, 王宗继, 等. 壳寡糖对酸乳后酸化及贮藏稳定性的影响[J]. *中国乳品工业*, 2016, 44(6): 4-7  
JI Xiao-min, WANG Ting-ting, WANG Zong-ji, et al. Effects of chito-oligosaccharides on post-acidification and storage stability of yoghurts [J]. *China Dairy Industry*, 2016, 44(6): 4-7
- [27] 车黎猛, 任发政, 张恒涛, 等. 抗后酸化保加利亚乳杆菌的亚硝基胍诱变选育[J]. *食品工业科技*, 2006, 12: 80-83  
CHE Li-meng, REN Fa-zheng, ZHANG Heng-tao, et al. Breeding of nitrosoguanidine mutagenesis against post-acidified *Lactobacillus bulgaricus* [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2006, 12: 80-83
- [28] 王雪妮, 陈明, 孙春玲, 等. 保加利亚乳杆菌 H<sup>+</sup>-ATPase 弱化菌株的诱变选育[J]. *中国乳品工业*, 2013, 41(8): 8-11, 28

- WANG Xue-ni, CHEN Ming, SUN Chun-ling, et al. Mutagenic breeding of H<sup>+</sup>-ATPase weakened *Lactobacillus bulgaricus* [J]. China Dairy Industry, 2013, 41(8): 8-11, 28
- [29] 孙懿琳.弱后酸化保加利亚乳杆菌菌株的筛选及其后酸化机制[D].哈尔滨:东北农业大学,2013
- SUN Yi-lin. Isolation of *Lactobacillus bulgaricus* after weak acidification and its post-acidification mechanism [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2013
- [30] Shori A B, Baba A S, Chuah P F. The effects of fish collagen on the proteolysis of milk proteins, ACE inhibitory activity and sensory evaluation of plain and *Allium sativum*-yogurt [J]. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 2013, 44(5): 701-706
- [31] 赵强忠,黄丽华,陈碧芬,等.大豆分离蛋白酶解产物对自制酸奶品质的影响[J].华南理工大学学报(自然科学版),2019, 47(3):91-98
- ZHAO Qiang-zhong, HUANG Li-hua, CHEN Bi-fen, et al. Influences of Soybean Protein Isolate Hydrolysate on the Quality of Laboratory Prepared Yoghurt [J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science), 2019, 47(3): 91-98
- [32] Jongjareonrak A, Benjakul S, Visessanguan W, et al. Isolation and characterisation of acid and pepsin-solubilised collagens from the skin of brownstripe red snapper (*Lutjanus vitta*) [J]. Food Chemistry, 2005, 93(3): 475-484
- [33] 董世荣,徐微,李欣,等.胶原蛋白肽对凝固型酸奶品质的影响[J].食品工业科技,2020,41(16):1-6
- DONG Shi-rong, XU Wei, LI Xin, et al. Effect of collagen peptide on quality of coagulated yoghurt [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(16): 1-6
- [34] 任然,唐善虎,李思宁,等.四株益生菌对发酵酸奶保质期理化特性和益生菌数的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(18): 85-90
- REN Ran, TANG Shan-hu, LI Si-ning, et al. Effects of four strains of probiotics on physicochemical properties and probiotics count of fermented yoghurt during shelf life [J]. Food and Fermentation Industry, 2020, 46(18): 85-90

---

(上接第 265 页)

- [18] 李嘉欣,朱凯.微波无溶剂法提取樟叶精油[J].中南林业科技大学学报,2019,39(7):136-142
- LI Jia-xin, ZHU Kai. Microwave solvent-free extraction of *Cinnamomum camphora* leaves essential oil [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2019, 39(7): 136-142
- [19] 林艺青.肉桂精油提取工艺、抑菌活性及防腐保鲜的应用[J].食品工业,2020,41(9):254-256
- LIN Yi-qing. The extraction process, antibacterial activity and preservation effect of cinnamon essential oil [J]. The Food Industry, 2020, 41(9): 254-256
- [20] YU Fei, HONG Yi-ling, CAI Ji-hao, et al. Antimicrobial effect and mechanism of cinnamon oil and gamma radiation on *Shewanella putrefaciens* [J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 55(9): 3353-3361
- [21] 曾琼瑶,张文静,张昱,等.肉桂油活性成分(E)-肉桂醛对结肠癌细胞增殖与凋亡的影响[J].中国临床药理学与治疗学, 2019,24(9):997-1001
- ZENG Qiong-yao, ZHANG Wen-jing, ZHANG Yu, et al. Effects of trans-cinnamaldehyde on proliferation and apoptosis of LO-VO cells of colon cancer [J]. Chinese Journal of Clinical Pharmacology and Therapeutics, 2019, 24(9): 997-1001
- [22] Marwa E, Abdelmageed, Georges, et al. Cinnamaldehyde ameliorates STZ-induced rat diabetes through modulation of IRS1/PI3K/AKT2 pathway and AGEs/RAGE interaction [J]. Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology, 2019, 392(2): 243-258
- [23] HAN Ying-jie, SUN Zhi-chang, CHEN Wen-xue. Antimicrobial susceptibility and antibacterial mechanism of limonene against *Listeria monocytogenes* [J]. Molecules, 2019, 25(1): 33-34
- [24] 王雪梅,谌徽,李雪姣,等.天然活性单萜-柠檬烯的抑菌性能研究[J].吉林农业大学学报,2010,32(1):24-28
- WANG Xue-mei, SHEN Hui, LI Xue-jiao, et al. Antimicrobial ability of limonene, a natural and active monoterpene [J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2010, 32(1): 24-28
- [25] LI Xiao-Juan, WANG Wei, LUO Meng, et al. Solvent-free microwave extraction of essential oil from *Dryopteris fragrans* and evaluation of antioxidant activity [J]. Food Chemistry, 2012, 133(2): 437-444