

# 山楂叶多糖对发酵乳品质及抗氧化活性的影响

赵岩岩<sup>1</sup>, 赵圣明<sup>1,2,\*</sup>, 李 帅<sup>3</sup>, 康壮丽<sup>1,2</sup>, 王正荣<sup>1,2</sup>, 朱明明<sup>1,2</sup>, 赵 璐<sup>1</sup>, 马汉军<sup>1,2</sup>, 何鸿举<sup>1,2</sup>  
(1.河南科技学院食品学院, 河南 新乡 453003; 2.河南省畜禽产品精深加工与质量安全控制工程技术研究中心, 河南 新乡 453003; 3.吉林农业科技学院食品工程学院, 吉林 吉林 132101)

**摘 要:** 将不同质量分数的山楂叶多糖添加于发酵乳中, 研究山楂叶多糖对发酵乳益生菌活菌数、持水力、酸度、色泽、质构特性、流变学特性、抗氧化活性和感官特性等品质的影响。采用质构仪、流变仪、色差计等对发酵乳的品质特性进行研究, 以1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)法、水杨酸法和 $\text{Fe}^{3+}$ 还原能力评价其抗氧化活性。结果表明: 山楂叶多糖可促进益生乳酸菌的生长及发酵产酸, 当山楂叶多糖添加量为0.12%时, 发酵乳的持水力最高, 为60.24%; 当山楂叶多糖添加量为0.16%时, 发酵乳的硬度、黏性、咀嚼性最高; 添加山楂叶多糖后, 发酵乳的DPPH自由基清除率、羟自由基清除率和 $\text{Fe}^{3+}$ 还原能力最高分别达到80.7%、81.6%和0.56, 均显著高于空白对照组( $P < 0.05$ )。适量添加山楂叶多糖可以有效改善发酵乳的品质并提高其抗氧化能力, 本研究可为山楂叶多糖的应用开发提供理论依据和技术支撑。

**关键词:** 山楂叶多糖; 发酵乳; 品质; 抗氧化性

## Effect of Polysaccharides from Hawthorn Leaves on the Quality and Antioxidant Activity of Fermented Milk

ZHAO Yanyan<sup>1</sup>, ZHAO Shengming<sup>1,2,\*</sup>, LI Shuai<sup>3</sup>, KANG Zhuangli<sup>1,2</sup>, WANG Zhengrong<sup>1,2</sup>,  
ZHU Mingming<sup>1,2</sup>, ZHAO Lu<sup>1</sup>, MA Hanjun<sup>1,2</sup>, HE Hongju<sup>1,2</sup>

(1. School of Food Science and Technology, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China;  
2. Henan Province Engineering Technology Research Center of Animal Products Intensive Processing and Quality Safety Control, Xinxiang 453003, China; 3. School of Food Engineering, Jilin Agricultural Science and Technology University, Jilin 132101, China)

**Abstract:** The effects of adding different amounts of polysaccharides isolated from hawthorn leaves (HLP) on the quality parameters of fermented milk were investigated, including total viable count, water-holding capacity, titratable acidity, color, texture, rheological properties, antioxidant activity and sensory properties. The quality characteristics of fermented milk were measured with a texture analyzer, a rheometer and a color difference meter, and the antioxidant activity was evaluated by 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging method, salicylic acid method and  $\text{Fe}^{3+}$  reducing power assay. The results indicated that HLP could stimulate the growth of lactic acid bacteria and acid production during the fermentation process. When HLP was added at 0.12%, the fermented milk had the highest water-holding capacity of 60.24%; at an addition level of 0.16%, the fermented milk had the highest hardness, viscosity and chewiness. Simultaneously, the maximum DPPH and hydroxyl radical scavenging rate and  $\text{Fe}^{3+}$  reducing ability of fermented milk with added HLP were 80.7%, 81.6% and 0.56, respectively. These were significantly higher than those of the blank control group ( $P < 0.05$ ). The addition of a certain amount of HLP can effectively improve the quality and antioxidant capacity of fermented milk. This study provides a theoretical basis and technical support for the application of hawthorn leaf polysaccharides.

**Keywords:** hawthorn leaf polysaccharide; fermented milk; quality; antioxidant activity

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20181213-159

中图分类号: TS252.54

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2020)02-0073-07

收稿日期: 2018-12-13

基金项目: 河南省科技攻关计划项目(182102110423; 182102310684); 河南省高等学校重点科研项目(18B550003); 河南科技学院高层次人才科研启动项目(2016018; 2016019)

第一作者简介: 赵岩岩(1987—)(ORCID: 0000-0002-8781-6525), 女, 讲师, 博士, 研究方向为食品微生物。

E-mail: zhaoyanyan@hist.edu.cn

\*通信作者简介: 赵圣明(1985—)(ORCID: 0000-0002-4576-9871), 男, 讲师, 博士, 研究方向为食品微生物与肉品质量安全控制。E-mail: zhaoshengming2008@126.com

引文格式:

赵岩岩, 赵圣明, 李帅, 等. 山楂叶多糖对发酵乳品质及抗氧化活性的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(2): 73-79.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20181213-159. <http://www.spkx.net.cn>

ZHAO Yanyan, ZHAO Shengming, LI Shuai, et al. Effect of polysaccharides from hawthorn leaves on the quality and antioxidant activity of fermented milk[J]. Food Science, 2020, 41(2): 73-79. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20181213-159. <http://www.spkx.net.cn>

乳和乳制品由于其富含蛋白质、乳糖、矿物质和维生素等营养物质, 目前已经成为人们饮食结构当中重要的组成部分<sup>[1]</sup>。许多国家人们都在大量的消费乳制品, 但是常见的鲜乳或乳粉中功能活性物质的种类较少, 已经不能满足现代消费者对于营养保健的需要。而发酵乳制品不仅保留了原乳的营养品质, 并且经过发酵后具有良好的风味以及能产生多种有益健康的功能成分, 如乳酸菌代谢产生多种人体必须的维生素, 可以满足人体的营养需要, 同时还可产生多种酶类、多肽类和多糖类等, 不仅具有清除自由基起到抗氧化延缓衰老的作用, 而且还具有提高机体免疫力、维持肠道菌群平衡、防止便秘、降低胆固醇<sup>[2]</sup>、降血压及抗癌等多种功效<sup>[3-5]</sup>。此外还能通过发酵过程中分解乳中的乳糖, 从而缓解由于乳糖不耐症所引起的腹痛、腹泻等腹部不适症状。因此, 目前发酵乳已经成为深受人们喜爱的功能保健食品<sup>[6-7]</sup>。

目前, 国内外学者已经将多种天然产物应用于功能发酵乳的开发研究中, 如沙棘<sup>[8]</sup>、蓝莓<sup>[9]</sup>、紫薯提取物<sup>[10]</sup>、螺旋藻<sup>[11]</sup>、山核桃<sup>[12]</sup>等, 用于改善发酵乳的风味和品质, 以及增加其保健功能等。同时也有许多研究将杏鲍菇多糖<sup>[13]</sup>、灵芝多糖<sup>[14]</sup>、松茸多糖<sup>[15]</sup>、红枣多糖<sup>[16]</sup>和凝胶多糖<sup>[17]</sup>等应用于发酵乳的研究开发中, 结果发现不仅可以改善发酵乳的感官品质, 还可以提供益生菌活性以及提高发酵乳的抗氧化活性等。此外由于多数多糖化合物都具有有一些特殊的生理活性, 如枸杞多糖、松茸多糖、葛头多糖和松花粉多糖等具有抗氧化、免疫调节和肿瘤等功效<sup>[18]</sup>, 因此将活性多糖用于功能性发酵乳的开发具有广阔的应用前景。山楂叶多糖是一种功能活性多糖, 具有降血压、降血脂和抗氧化等活性功能<sup>[19-20]</sup>, 目前国内对山楂叶多糖的研究仅限于提取工艺方面<sup>[20-21]</sup>, 而关于山楂叶多糖对发酵乳品质影响的研究鲜见相关报道。且河南新乡南太行山区野生山楂树资源丰富, 将山楂叶变废为宝, 开发山楂叶作为功能活性物质的新来源, 提取山楂叶多糖用于开发功能性食品, 具有广阔的市场前景。本研究以山楂叶多糖和发酵乳为研究对象, 通过测定不同添加量山楂叶多糖发酵乳的乳度、乳酸菌活菌数、持水力、质构、流变和抗氧化活性等, 研究山楂叶多糖对益生菌发酵乳的品质影响, 为新型山楂叶多糖益生保健发酵乳的开发提供理论依据和技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

#### 1.1.1 材料

山楂叶采自新乡南太行山山区; 生鲜牛乳购自河南省新乡市段村奶牛养殖场。发酵剂(保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌、鼠李糖乳杆菌)为河南科技学院食品微生物实验室保藏。

#### 1.1.2 试剂与培养基

水杨酸、铁氰化钾 国药集团化学试剂有限公司; 硫酸亚铁 天津科密欧试剂有限公司; 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH) 上海阿拉丁试剂有限公司; 三氯乙酸 上海山浦化工有限公司; 其他试剂均为市售分析纯。

乳酸菌培养基(MRS培养基) 青岛海博生物技术有限公司。

### 1.2 仪器与设备

Sartorius电子精密天平 北京赛多利斯天平有限公司; SW-CJ-IBU超净工作台 苏州苏净集团; 5418高速离心机 芬兰Eppendorf公司; Orion 3 STAR pH计 美国Thermo公司; GXZ-9240 MBE鼓风干燥箱 上海博迅实业有限公司医疗设备厂; 冷冻干燥机 德国Christ公司; TA-Xt.plus质构仪 英国Stable Micro Systems公司; TU-1810型紫外分光光度计 北京普析通用仪器有限公司; HH-42水浴锅 常州国华电器有限公司; HAAKEMARS流变仪 美国Thermo Scientific公司; CR-400色差计 日本美能达公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 山楂叶多糖提取

选取新鲜的山楂叶洗净烘干后粉碎, 参考Yuan Qingxia等<sup>[22]</sup>的方法, 取山楂叶干粉进行热水浸提, 提取条件: 温度90℃、添加量40 g/L、提取时间4 h。浸提结束后4 000 r/min离心20 min, 收集上清液。向上清液中加入3倍体积无水乙醇醇沉, 4℃放置过夜, 5 000 r/min离心10 min得沉淀物。采用蒸馏水复溶沉淀后, 真空冷冻干燥得到山楂叶粗多糖。山楂叶粗多糖的纯度为70.28%。

#### 1.3.2 山楂叶多糖发酵乳制备

100 mL的鲜牛乳经65℃预热加入5%蔗糖溶解后, 分

别加入0%、0.04%、0.08%、0.12%、0.16%、0.2%的山楂叶多糖,在95℃巴氏杀菌10 min,待冷却到室温后,分别接种1‰的保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌、鼠李糖乳杆菌复合菌粉,在42℃的恒温培养箱中发酵6 h,冷却后放入4℃冰箱后熟24 h制得山楂叶多糖益生菌发酵乳<sup>[23]</sup>,以不添加山楂叶多糖的样品为对照组。

### 1.3.3 乳酸菌活菌数测定

将加入不同比例山楂叶多糖的发酵乳,采用MRS平板计数法进行乳酸菌活菌数的测定<sup>[13]</sup>。

### 1.3.4 持水力测定

称取50 mL离心管的质量记为 $M_0$ ,将加入10 mL山楂叶多糖发酵乳的离心管质量记为 $M_1$ 。经3 000 r/min离心10 min的样品静置10 min后弃去上清液,称量质量记为 $M_2$ ,平行测定3次取平均值。持水力计算如式(1)所示:

$$\text{持水力}/\% = \frac{M_2 - M_0}{M_1 - M_0} \times 100 \quad (1)$$

### 1.3.5 酸度测定

pH值测定:采用精密pH计测定。

滴定酸度测定:取冷却后熟后的添加不同比例山楂叶多糖发酵乳样品,分别取10 mL发酵乳样品于250 mL锥形瓶中,加入20 mL蒸馏水混匀,再加入适量酚酞指示剂,以0.1 mol/L的氢氧化钠标准溶液滴定至微红色,且30 s内不退色。记录消耗氢氧化钠标准溶液的体积,乘以10即为样品的滴定酸度(吉尔涅尔度)<sup>[24]</sup>。

### 1.3.6 色泽测定

采用CR-400色差计测定发酵乳的 $L^*$ 值、 $a^*$ 值和 $b^*$ 值<sup>[25]</sup>。采用标准比色板进行校正,标准比色板为 $L^*=97.22$ 、 $a^*=-0.14$ 、 $b^*=1.82$ 。其中 $L^*$ 表示亮度值, $a^*$ 表示红度值, $b^*$ 表示黄度值。

### 1.3.7 质构测定

参考Bedani等<sup>[26]</sup>方法,略有改进。采用质构仪选择质地剖面分析测试模式和P/0.5探头对发酵乳的凝胶结构进行测定。速率分为测前2.0 mm/s、测中1.0 mm/s和测后2.0 mm/s;下压间隔时间为1 s;最小触发力为0.3 N。

### 1.3.8 储能模量和损失模量测定

采用HAAKEMARS流变仪测定发酵乳的储能模量和损失模量<sup>[27-28]</sup>。使用50 mm实心定转子的同心圆筒,将少量经搅拌的发酵乳样品置于流变仪上进行测定,测定条件为温度5℃,缝隙1 mm,固定频率(0.1~20 Hz)。

### 1.3.9 DPPH自由基清除能力的测定

样品均用95%乙醇溶液配制成质量浓度为0.11 g/mL溶液,向2 mL样品溶液中加入2 mL 0.16 mmol/L DPPH溶液(溶解于95%乙醇溶液),于25℃水浴加热30 min后,在517 nm波长处测得试样吸光度( $A_i$ )。同时以2 mL蒸馏水代替上述体系中2 mL样品测得空白吸光度( $A_0$ )。同时以2 mL 95%乙醇溶液代替上述体系中2 mL DPPH-乙醇溶液。测得样品本底吸光度( $A_j$ ),

其中 $A_i$ 和 $A_j$ 每个样品质量浓度做3个平行,取平均值。按式(2)计算清除率<sup>[29]</sup>:

$$\text{清除率}/\% = \frac{A_0 - (A_i - A_j)}{A_0} \times 100 \quad (2)$$

### 1.3.10 羟自由基清除能力的测定

样品均用95%乙醇溶液配制成质量浓度为0.11 g/mL溶液,向4 mL样品溶液中加入8.8 mmol/L  $H_2O_2$ 溶液、9 mmol/L  $FeSO_4$ 溶液和9 mmol/L水杨酸溶液各0.5 mL,混匀,37℃水浴加热30 min,于510 nm波长处测定样品吸光度( $A_i$ ),将体系中的样品溶液改为加入4 mL蒸馏水,测得空白对照吸光度( $A_0$ ),将加入0.5 mL 8.8 mmol/L  $H_2O_2$ 溶液代替为0.5 mL蒸馏水时,测得样品本底吸光度( $A_j$ ),其中 $A_i$ 和 $A_j$ 每个质量样品浓度做3个平行,按式(3)计算羟自由基清除率<sup>[30]</sup>:

$$\text{清除率}/\% = \frac{A_0 - (A_i - A_j)}{A_0} \times 100 \quad (3)$$

### 1.3.11 $Fe^{3+}$ 还原能力的测定

样品均用95%乙醇溶液配制成质量浓度为0.11 g/mL溶液,向2 mL样品溶液中加入1%的铁氰化钾溶液和0.2 mol/L磷酸盐缓冲液(pH 6.6)各2 mL,于50℃保温20 min后加入10%三氯乙酸溶液2 mL,3 000 r/min混合离心10 min后取上清液2 mL,加入2 mL蒸馏水和0.4 mL 0.1%三氯化铁溶液,室温反应10 min后,测定其在700 nm波长处的吸光度<sup>[31]</sup>。每个样品做3个平行。

### 1.3.12 发酵乳感官评定

选取20位有发酵乳感官评价经验的食品专业教师和学生,从色泽、组织状态、风味、口感和风味等方面,对添加不同比例山楂叶多糖的发酵乳进行感官评定,根据表1所示的评分标准进行评分,满分为100分,感官评分为20人打分的平均分<sup>[32]</sup>。

表1 发酵乳感官评分标准  
Table 1 Criteria for sensory evaluation of fermented milk

项目	评分标准	总分值
色泽	颜色均匀一致(7~10分)	10
	颜色深浅不一(4~6分)	
组织状态	凝固性好、无或少量乳清析出、质地均匀(25~30分)	30
	凝固性一般、稍有乳清析出、有分层(15~24分)	
	凝固性差、大量乳清析出、有大颗粒状凝块(0~14分)	
口感	酸甜适中、口感细腻可口(25~30分)	30
	酸甜一般、口感较细腻(15~24分)	
	过酸或过甜、口感偏涩(0~14分)	
风味	风味浓郁、发酵乳特有的味道浓厚(25~30分)	30
	风味一般、发酵乳特有的味道比较淡(15~24分)	
	风味较差、失去发酵乳的滋味(0~14分)	

## 1.4 数据处理

数据采用SPSS 20.0软件进行分析,所有实验重复3次,结果以 $\bar{x} \pm s$ 表示,显著性分析采用Duncan检验。



## 2 结果与分析

### 2.1 山楂叶多糖对发酵乳中乳酸菌活菌数的影响

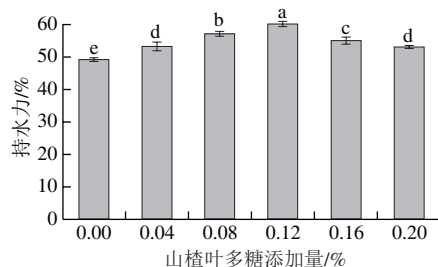
表2 山楂叶多糖对发酵乳中乳酸菌活菌数的影响  
Table 2 Effects of HLP on viable cell count of fermented milk

山楂叶多糖添加量/%	活菌数/(CFU/mL)
0	$(4.42 \pm 0.64) \times 10^{8d}$
0.04	$(5.24 \pm 0.39) \times 10^{8d}$
0.08	$(6.96 \pm 0.87) \times 10^{8cd}$
0.12	$(8.83 \pm 0.26) \times 10^{8c}$
0.16	$(1.56 \pm 0.52) \times 10^9b$
0.20	$(4.51 \pm 1.07) \times 10^9a$

注：同列字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )，下表同。

由表2可知，随着山楂叶多糖添加量的增加，益生乳酸菌的活菌数量呈递增趋势，从 $4.42 \times 10^8$  CFU/mL增加至 $4.51 \times 10^9$  CFU/mL，且当山楂叶多糖添加量高于0.12%时，其益生菌活菌数显著高于对照组 ( $P < 0.05$ )，至添加量为0.16%时，乳酸菌活菌数达到 $10^9$  CFU/mL以上，说明山楂叶多糖可以有效促进益生乳酸菌的增殖，提高发酵乳中益生乳酸菌的数量。已有研究报道天然植物多糖可以作为益生元，促进益生乳酸菌的生长<sup>[33-34]</sup>，而益生乳酸菌可以通过代谢产生维生素、多肽等功能成分，提高发酵乳的营养价值，还可抑制有害微生物的生长。因此，在发酵乳中添加山楂叶多糖可以增加益生乳酸菌的数量，提高发酵乳的益生效果。

### 2.2 山楂叶多糖对发酵乳持水力的影响



字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )，下图同。

图1 山楂叶多糖对发酵乳持水力的影响

Fig. 1 Effect of HLP on water-holding capacity of fermented milk

由图1可知，随着山楂叶多糖添加量的增加，发酵乳的持水力呈先升高后降低的变化，不同山楂叶多糖添加量发酵乳的持水力均显著高于对照组 ( $P < 0.05$ )，且当山楂叶多糖添加量为0.12%时，发酵乳的持水力达到最高为60.24%。发酵乳由于其含有大量的酪蛋白，蛋白分子之间可以形成网状空间胶体结构，该结构可以容纳水分和其他小分子物质。当添加一定量多糖后，可能进一步促进了酪蛋白之间的相互作用，因此提高了持水性<sup>[35-36]</sup>。但是当山楂叶多糖添加量高于0.16%后，可能由于过量的多糖破坏了蛋白质之间的互相聚集作用，导致乳清析出

增多，从而导致持水力下降<sup>[37]</sup>。本研究与已研究报道的松茸多糖和红枣多糖的研究结果基本一致，添加适量的天然多糖可以改善发酵乳的持水性，改善其组织状态，提高发酵乳的品质。

### 2.3 山楂叶多糖对发酵乳酸度的影响

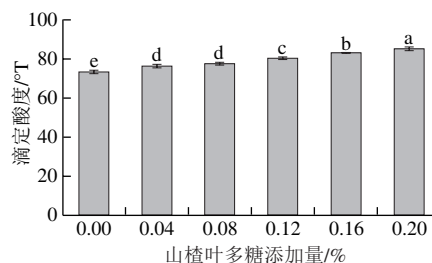


图2 山楂叶多糖对发酵乳滴定酸度的影响

Fig. 2 Effect of HLP on titratable acidity of fermented milk

由图2可知，随着山楂叶多糖添加量的增加，发酵乳的滴定酸度呈持续升高的趋势，且不同山楂叶多糖添加量发酵乳的滴定酸度均显著高于对照组 ( $P < 0.05$ )。由于山楂叶多糖的添加可以促进发酵乳中益生乳酸菌的生长，而乳酸菌的生长过程中会利用多糖类物质进行发酵产生乳酸及其他有机酸类<sup>[38]</sup>。

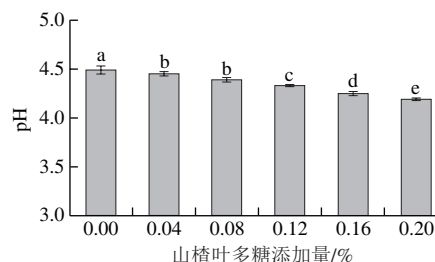


图3 山楂叶多糖对发酵乳pH值的影响

Fig. 3 Effect of HLP on pH value of fermented milk

由图3可知，随着山楂叶多糖添加量的增加，发酵乳的pH值呈持续降低的趋势，且不同山楂叶多糖添加量发酵乳的pH值均显著低于对照组 ( $P < 0.05$ )，这与滴定酸度的测定结果一致。发酵乳pH值的降低主要由乳酸菌生长发酵糖类物质产生有机酸引起的<sup>[39]</sup>，pH值不仅与发酵乳的风味和凝胶特性相关，还影响到食品安全<sup>[40]</sup>。适当降低发酵乳的pH值，可以改善发酵乳的风味和组织状态，而且较低的pH值可以抑制有害微生物的生长，提高发酵乳贮藏期间安全性。

### 2.4 山楂叶多糖对发酵乳色泽的影响

由表3可知，与对照组相比，随着山楂叶多糖添加量的增加，发酵乳的 $L^*$ 值逐渐降低，而 $a^*$ 值和 $b^*$ 值却逐渐升高，且添加不同质量分数山楂叶多糖发酵乳的 $L^*$ 、 $a^*$ 和 $b^*$ 值与对照组之间具有显著性差异 ( $P < 0.05$ )。这主要因为山楂叶多糖本身具有褐色，多糖提取中掺杂了一

些色素, 而随着添加量的增加, 导致发酵乳的颜色逐渐变暗, 赋予发酵乳咖啡色的色泽。

表3 发酵乳的色泽  
Table 3 Effect of HLP on color parameter of fermented milk

山楂叶多糖添加量/%	L*值	a*值	b*值
0	91.49±0.41 <sup>a</sup>	-2.32±0.05 <sup>f</sup>	6.72±0.07 <sup>f</sup>
0.04	89.43±0.70 <sup>b</sup>	-1.61±0.07 <sup>e</sup>	8.21±0.24 <sup>e</sup>
0.08	86.73±0.71 <sup>c</sup>	-1.24±0.26 <sup>d</sup>	9.39±0.15 <sup>d</sup>
0.12	84.16±0.37 <sup>d</sup>	-0.59±0.06 <sup>c</sup>	10.41±0.09 <sup>c</sup>
0.16	81.65±0.41 <sup>e</sup>	0.76±0.12 <sup>b</sup>	11.38±0.16 <sup>b</sup>
0.20	78.66±0.42 <sup>f</sup>	1.35±0.07 <sup>a</sup>	12.12±0.14 <sup>a</sup>

## 2.5 山楂叶多糖对发酵乳质构的影响

表4 发酵乳的质构特性  
Table 4 Effect of HLP on textural properties of fermented milk

山楂叶多糖添加量/%	硬度/g	咀嚼性	黏性	内聚性
0	154.12±3.61 <sup>d</sup>	91.04±3.02 <sup>d</sup>	89.12±2.55 <sup>d</sup>	0.41±0.02 <sup>c</sup>
0.04	173.72±5.12 <sup>c</sup>	94.41±4.26 <sup>d</sup>	84.42±1.08 <sup>e</sup>	0.44±0.01 <sup>b</sup>
0.08	167.54±3.87 <sup>c</sup>	102.53±4.46 <sup>c</sup>	97.31±2.14 <sup>c</sup>	0.43±0.01 <sup>b</sup>
0.12	185.07±3.99 <sup>b</sup>	115.57±2.96 <sup>b</sup>	110.89±3.03 <sup>b</sup>	0.45±0.02 <sup>b</sup>
0.16	204.91±4.09 <sup>a</sup>	139.50±4.33 <sup>a</sup>	119.33±2.73 <sup>a</sup>	0.47±0.01 <sup>a</sup>
0.20	141.34±6.40 <sup>e</sup>	94.73±5.64 <sup>d</sup>	84.46±2.62 <sup>e</sup>	0.43±0.01 <sup>b</sup>

由表4可知, 随着山楂叶多糖添加量的增加, 发酵乳的硬度、咀嚼性、黏性和内聚性呈现先增大后减小的变化, 除0.20%添加量组, 添加山楂叶多糖组的硬度均显著高于空白对照组 ( $P<0.05$ ), 当添加量为0.16%时, 其硬度达到最大值204.91 g; 同时发酵乳的咀嚼性和黏性随着硬度的变化而变化, 当添加量为0.16%时, 其咀嚼性、黏性和内聚性均达到最大值, 分别为达到139.50、119.33和0.47。当山楂叶多糖添加量超过0.20%后, 其硬度、咀嚼性、黏性和内聚性均呈现显著下降 ( $P<0.05$ )。

添加山楂叶多糖导致发酵乳质构发生变化, 可能由于适量的多糖添加, 有利于增强发酵乳的凝胶状态, 导致其内部分子间相互作用力增强, 相互聚集形成的网状结构更加稳定, 增强发酵乳的硬度<sup>[41]</sup>; 黏性可以使发酵乳具有更黏稠的口感, 在一定的范围内, 硬度和黏性高的发酵乳具有更好的口感<sup>[42]</sup>; 而咀嚼性高的发酵乳会使吞咽状态的能力需求更多, 赋予发酵乳一定的黏稠口感。但是添加过量的多糖后, 可能会破坏分子间的相互作用, 导致形成的网络结构变得不稳定, 发酵乳质构变差<sup>[43]</sup>。

## 2.6 山楂叶多糖对发酵乳储能模量和损失模量影响

储能模量 $G'$ 和损失模量 $G''$ 与凝胶中作用力的大小呈正相关,  $G'$ 主要表示能量高的相互作用力, 而 $G''$ 主要反映能量低的相互作用力。此外二者主要与发酵乳中的总固形物有关, 尤其是发酵乳中蛋白质的数量和类型。如图4所示, 所有的发酵乳样品在频率的变化下 $G'$ 和 $G''$ 都具有相似的变化趋势, 可能因为样品中的总固形物含量接近, 但所有发酵乳样品的 $G'$ 都明显高于 $G''$ , 这是凝胶

网状结构所具有的典型特征, 表明发酵乳形成了弱凝胶网状结构, 具有黏弹性的性质<sup>[44]</sup>。添加山楂叶多糖后, 发酵乳的 $G'$ 和 $G''$ 都发生明显的变化, 随着山楂叶多糖添加量的增加,  $G'$ 和 $G''$ 呈递增的趋势, 变化曲线逐渐高于空白对照组。 $G'$ 和 $G''$ 在开始阶段(频率0~1 Hz)时均快速增加, 随后才呈现缓慢增加的趋势, 这与Sah<sup>[27]</sup>和Haque<sup>[45]</sup>等的研究结果一致。 $G'$ 主要表示每个频率变化周期贮存的能量, 变高说明发酵乳体系中的相互作用力强度较高, 凝胶的贮存稳定性变好。因此, 添加适量的山楂叶多糖, 可有效改善发酵乳的凝胶品质。

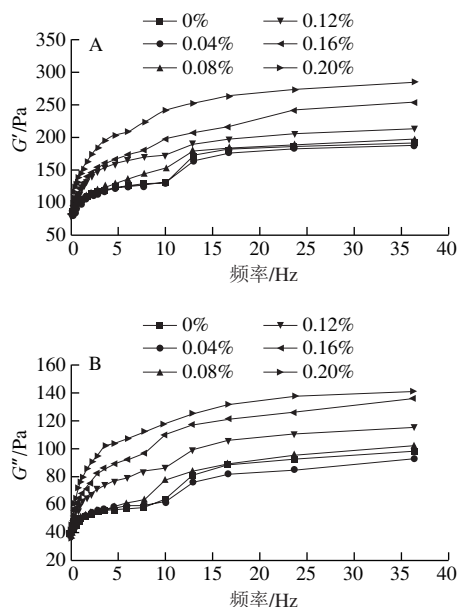
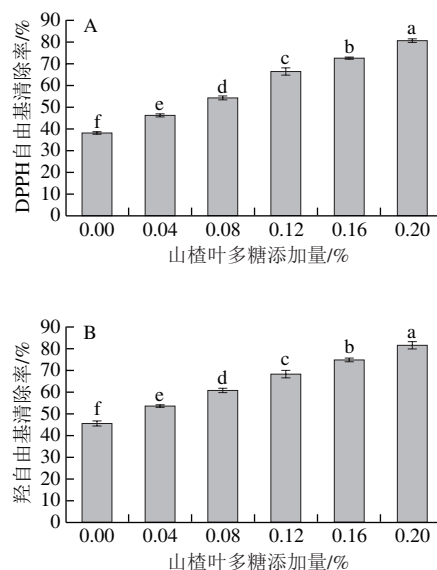


图4 发酵乳 $G'$  (A) 和 $G''$  (B) 随频率变化曲线

Fig. 4 Changes in storage modulus (A) and loss modulus (B) with frequency for fermented milk

## 2.7 山楂叶多糖对发酵乳抗氧化性的影响



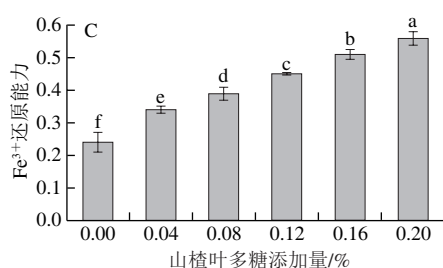


图5 山楂叶多糖对发酵乳DPPH自由基(A)、羟自由基(B)清除能力和Fe³⁺还原能力(C)的影响

Fig. 5 Effect of HLP on DPPH (A) and hydroxyl (B) free radical scavenging ability and Fe³⁺ reducing power (C) of fermented milk

由图5A可知,与对照组发酵乳的DPPH自由基清除率38.4%相比,随着山楂叶多糖添加量的增加,发酵乳的DPPH自由基清除能力呈现逐渐递增的趋势,清除率最高可达到80.7%,且各处理组均显著高于空白对照组( $P<0.05$ )。结果表明添加一定量的山楂叶多糖可以有效提高发酵乳的DPPH自由基清除能力。山楂叶多糖可能作为一种供氢物质,能够与自由基反应形成稳定的物质,从而阻止了DPPH自由基链式反应<sup>[46]</sup>。

由图5B可知,与对照组发酵乳的羟自由基清除率45.6%相比,随着山楂叶多糖添加量的增加,发酵乳清除羟自由基的能力呈现逐渐升高的趋势,清除率最高可达到81.6%,且各处理组和空白对照组之间羟自由基清除率具有显著差异( $P<0.05$ )。说明添加一定量的山楂叶多糖可以有效提高发酵乳的羟自由基清除能力。山楂叶多糖可能是一种良好的电子供体,提供给羟自由基后将其还原为OH⁻,从而导致羟自由基被清除。

由图5C可知,随着山楂叶多糖添加量的增加,发酵乳对Fe³⁺的还原能力不断提高,且添加不同量山楂叶多糖的发酵乳的Fe³⁺还原能力均显著高于对照组( $P<0.05$ )。空白对照组吸光度仅为0.24,而添加山楂叶多糖的发酵乳吸光度最高达到0.56,吸光度越高,则说明发酵乳将更多的Fe³⁺还原成为Fe²⁺。山楂叶多糖可能为一种良好的电子供体,所提供的电子不仅可以使Fe³⁺还原为Fe²⁺,还可能直接与自由基物质反应生成更稳定的物质。因此山楂叶多糖的添加可以在一定程度上提高发酵乳的抗氧化能力。

## 2.8 山楂叶多糖对发酵乳感官品质的影响

表5 发酵乳的感官评分

Table 5 Effect of HLP on sensory evaluation of fermented milk

山楂叶多糖添加量/%	色泽	组织状态	口感	风味	总分
0	8.5	26.4	24.5	25.3	84.7
0.04	8.7	26.7	24.7	25.5	85.6
0.08	8.8	26.8	24.6	25.6	85.8
0.12	9.1	27.2	24.9	26.4	87.6
0.16	8.9	27.3	25.3	26.8	88.3
0.20	8.2	25.6	23.2	23.7	80.7

由表5可知,当山楂叶多糖在0.04%~0.16%范围时,随添加量的增加,发酵乳的感官评分呈升高趋势,且发酵乳的感官评价分数高于空白对照组,当山楂叶多糖添加量为0.16%时,发酵乳的感官评分最高,说明添加山楂叶多糖可以改善发酵乳的色泽、组织状态、风味和口感。但当山楂叶多糖添加量为0.20%时,感官评分开始下降且低于空白对照组。可能由于添加过量的山楂叶多糖会部分破坏发酵乳的组织凝胶结构,导致乳清析出过多,且发酵酸度过高,影响发酵乳的感官品质。因此,适量添加量的山楂叶多糖可以增加发酵乳的风味,改善发酵乳的组织状态,提高发酵乳的口感。

## 3 结论

添加山楂叶多糖可以提高发酵乳中益生乳酸菌的活菌数、滴定酸度、持水力和抗氧化活性以及改善发酵乳色泽、储能模量、损失模量和质构特性等,当山楂叶多糖添加量为0.16%时,其硬度、黏性和咀嚼性达到最大。添加山楂叶多糖可以有效改善发酵乳的组织状态,增强发酵乳的风味,提高发酵乳的品质。

## 参考文献:

- [1] OZTURKOGLU-BUDAK S, AKAL C, YETISEMIYEN A. Effect of dried nut fortification on functional, physicochemical, textural, and microbiological properties of yogurt[J]. Journal of Dairy Science, 2016, 99(11): 8511-8523. DOI:10.3168/jds.2016-11217.
- [2] 刘瑞芳, 赵华, 李建华, 等. 益生菌酸奶对机体血脂水平影响的Meta分析[J]. 中国全科医学, 2016, 19(32): 3973-3978. DOI:10.3969/j.issn.1007-9572.2016.32.015.
- [3] FARVIN K H S, BARON C P, NIELSEN N S, et al. Antioxidant activity of yoghurt peptides: part 2-characterisation of peptide fractions[J]. Food Chemistry, 2010, 123(4): 1090-1097.
- [4] CORMIER H, THIFAUT É, GARNEAU V, et al. Association between yogurt consumption, dietary patterns, and cardio-metabolic risk factors[J]. European Journal of Nutrition, 2016, 55(2): 577-587. DOI:10.1016/j.foodchem.2010.05.029.
- [5] MICHAEL M, PHEBUS R K, SCHMIDT K A. Impact of a plant extract on the viability of *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* in nonfat yogurt[J]. International Dairy Journal, 2010, 20(10): 665-672. DOI:10.1016/j.idairyj.2010.03.005.
- [6] SHERMAK M A, SAAVEDRA J M, JACKSON T L, et al. Effect of yogurt on symptoms and kinetics of hydrogen production in lactose-malabsorbing children[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 1995, 62(5): 1003-1006. DOI:10.1016/0163-7827(95)00013-5.
- [7] 岳佳. 传统发酵酸马奶中血管紧张素转换酶抑制肽的分离纯化及结构鉴定[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2011: 4-11.
- [8] 闫波, 林宇红, 刘晓红, 等. 新型保健沙棘枸杞果肉酸奶的研制[J]. 中国乳品工业, 2015, 43(8): 53-56. DOI:10.3969/j.issn.1001-2230.2015.08.014.
- [9] 赵永波, 杜玲玲, 刘璐, 等. 贮藏及消化对蓝莓酸奶中酚类物质稳定性及抗氧化活性影响[J]. 食品科学, 2018, 39(9): 53-59. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201809009.



- [10] 胡志和, 夏磊, 李艳军, 等. 添加紫薯提取物和酪蛋白水解物酸奶降血压和护肝功能评价[J]. 食品科学, 2018, 39(7): 207-214. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201807031.
- [11] BARKALLAH M, DAMMAK M, LOUATI I, et al. Effect of *Spirulina platensis* fortification on physicochemical, textural, antioxidant and sensory properties of yogurt during fermentation and storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 84: 323-330. DOI:10.1016/j.lwt.2017.05.071.
- [12] SU N, REN L, YE H, et al. Antioxidant activity and flavor compounds of hickory yogurt[J]. International Journal of Food Properties, 2017, 20(8): 1894-1903. DOI:10.1080/10942912.2016.1223126.
- [13] LI S, SHAH N P. Effects of *Pleurotus eryngii* polysaccharides on bacterial growth, texture properties, proteolytic capacity, and angiotensin-I-converting enzyme-inhibitory activities of fermented milk[J]. Journal of Dairy Science, 2015, 98(5): 2949-2961. DOI:10.3168/jds.2014-9116.
- [14] 丁宝鼎. 真菌多糖酸奶的工艺优化及功能性的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2017: 6-13.
- [15] 张岩, 李键, 刘鲁蜀, 等. 松茸多糖对乳酸菌发酵及酸奶品质的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(1): 156-160. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2016.01.024.
- [16] 崔国庭, 李沁沛, 王缀, 等. 红枣多糖对乳酸菌发酵及酸奶品质的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(19): 203-207. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2017.19.037.
- [17] PANG Z, DEETH H, PRAKASH S, et al. Development of rheological and sensory properties of combinations of milk proteins and gelling polysaccharides as potential gelatin replacements in the manufacture of stirred acid milk gels and yogurt[J]. Journal of Food Engineering, 2016, 169(5): 27-37. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2015.08.007.
- [18] 许英伟. 藎头多糖的分离纯化及活性研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2013: 4-9.
- [19] 黄飞. 山楂叶多糖的功能活性测定研究[J]. 轻工科技, 2001(2): 47-49. DOI:10.3969/j.issn.1003-2673.2001.02.016.
- [20] 程永学, 赵丹, 郭绍芬. 超声提取山楂叶中多糖工艺优化及抗氧化性研究[J]. 药学研究, 2018, 37(7): 377-380. DOI:10.13506/j.cnki.jpr.2018.07.002.
- [21] 许瑞波, 刘炜玮, 马卫兴, 等. 山楂叶多糖的提取工艺研究[J]. 食品科技, 2008, 33(10): 149-151. DOI:10.3969/j.issn.1005-9989.2008.10.043.
- [22] YUAN Q X, XIE Y F, WANG W, et al. Extraction optimization, characterization and antioxidant activity *in vitro* of polysaccharides from mulberry (*Morus alba* L.) leaves[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 128(9): 52-62. DOI:10.1016/j.carbpol.2015.04.028.
- [23] 石矛, 陈丽娜, 马杰. 红松松针功能酸奶生产工艺优化及质构分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(1): 116-121. DOI:10.3969/j.issn.2095-0381.2017.01.019.
- [24] 胡凯丽, 唐俊妮, 龙虎, 等. 牦牛、牛酸乳发酵过程中品质特性的变化规律[J]. 食品工业科技, 2018, 39(3): 17-21. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2018.03.004.
- [25] 解冰心, 唐善虎, 李思宁, 等. 添加不同植物油对益生菌酸奶品质、风味及发酵特性的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(10): 151-157. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2017.10.021.
- [26] BEDANI R, CAMPOS M M, CASTRO I A, et al. Incorporation of soybean by-product okara and inulin in a probiotic soy yoghurt: texture profile and sensory acceptance[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2013, 94(1): 119-125. DOI:10.1002/jsfa.6212.
- [27] SAH B N P, VASILJEVIC T, MCKECHNIE S, et al. Physicochemical, textural and rheological properties of probiotic yogurt fortified with fibre-rich pineapple peel powder during refrigerated storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 65: 978-986. DOI:10.1016/j.lwt.2015.09.027.
- [28] YUAN S, CHANG S K C. Texture profile of tofu as affected by instron parameters and sample preparation, and correlations of instron hardness and springiness with sensory scores[J]. Journal of Food Science, 2010, 72(2): S136-S145. DOI:10.1111/j.1750-3841.2006.00263.x.
- [29] DAOU C, ZHANG H, LAGNIKA C, et al. *In-vitro* fermentation by human fecal bacteria and bile salts binding capacity of physical modified defatted rice bran dietary fiber[J]. Food & Nutrition Sciences, 2014, 5(12): 1114-1120. DOI:10.4236/fns.2014.512121.
- [30] SUN Y, LI X, YANG J, et al. Water-soluble polysaccharide from the fruiting bodies of *Chroogomphus rutilus* (Schaeff.: Fr.) O. K. Miller: isolation, structural features and its scavenging effect on hydroxyl radical[J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 80(3): 720-724. DOI:10.1016/j.carbpol.2009.12.015.
- [31] 沈小璐, 吴兰芳, 郭善广, 等. 豆豉糖蛋白在酸乳中的应用研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(6): 185-189. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2015.06.033.
- [32] 米叶, 刘肖庆, 冯隼野, 等. 蛋清蛋白对酸奶品质的影响及工艺优化[J]. 食品工业科技, 2016, 37(21): 228-232. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2016.21.035.
- [33] 刘春红, 王晓慧, 高磊, 等. 植物乳杆菌C88联合人参多糖的免疫调节作用[J]. 食品科学, 2016, 37(11): 202-207. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201611035.
- [34] YANG L C, LIN W C, LU T J. Characterization and prebiotic activity of aqueous extract and indigestible polysaccharide from *Anoectochilus formosanus*[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2012, 60(35): 85-90. DOI:10.1021/jf3018832.
- [35] PANG Z, DEETH H, BANSAL N. Effect of polysaccharides with different ionic charge on the rheological, microstructural and textural properties of acid milk gels[J]. Food Research International, 2015, 72: 62-73. DOI:10.1016/j.foodres.2015.02.009.
- [36] KERMICHE F, BOULEKBACHE-MAKHLOUF L, FELIX M, et al. Effects of the incorporation of cantaloupe pulp in yogurt: physicochemical, phytochemical and rheological properties[J]. Food Science & Technology International, 2018, 24(7): 585-597. DOI:10.1177/1082013218776701.
- [37] HASSAN A N, IPSENSEN R, JANZEN T, et al. Microstructure and rheology of yogurt made with cultures differing only in their ability to produce exopolysaccharides[J]. Journal of Dairy Science, 2003, 86(5): 1632-1638. DOI:10.3168/jds.S0022-0302(03)73748-5.
- [38] JUNG J, PAIK H D, YOON H J, et al. Physicochemical characteristics and antioxidant capacity in yogurt fortified with red ginseng extract[J]. Korean Journal for Food Science of Animal Resources, 2016, 36(3): 412-420. DOI:10.5851/kosfa.2016.36.3.412.
- [39] JAYA L, MANOHARAN A P, BALASUNDARAM B, et al. Formulation of value enriched yoghurt with soy milk and mango pulp[J]. Journal of Nutrition & Food Sciences, 2015, 5(6): 4271-4275. DOI:10.4172/2155-9600.1000427.
- [40] JAYASINGHEAYASINGHE O, FERNANDO S, JAYAMANNE V, et al. Production of a novel fruit-yoghurt using dragon fruit (*Hylocereus undatus* L.)[J]. European Scientific Journal, 2015, 11(3): 208-215.
- [41] 汪丽.  $\gamma$ -聚谷氨酸对凝固型酸奶的稳定作用机理研究[D]. 上海: 上海应用技术大学, 2016: 10-12.
- [42] DELIKANLI B, OZCAN T. Effects of various whey proteins on the physicochemical and textural properties of set type nonfat yoghurt[J]. International Journal of Dairy Technology, 2015, 67(4): 495-503. DOI:10.1111/1471-0307.12142.
- [43] 徐鑫, 赫君菲, 何佳易, 等. 测试条件对凝固型酸奶质构实验参数的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(24): 263-267. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201324055.
- [44] RAMCHANDRAN L, SHAH N P. Characterization of functional, biochemical and textural properties of synbiotic low-fat yogurts during refrigerated storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2010, 43(5): 819-827. DOI:10.1016/j.lwt.2010.01.012.
- [45] HAQUE A, RICHARDSON R K, MORRIS E R. Effect of fermentation temperature on the rheology of set and stirred yogurt[J]. Food Hydrocolloids, 2001, 15(4): 593-602. DOI:10.1016/s0268-005x(01)00090-x.
- [46] SAH B N, VASILJEVIC T, MCKECHNIE S, et al. Effect of refrigerated storage on probiotic viability and the production and stability of antimutagenic and antioxidant peptides in yogurt supplemented with pineapple peel[J]. Journal of Dairy Science, 2015, 98(9): 5905-5916. DOI:10.3168/jds.2015-9450.