

# 聚葡萄糖对酸水牛奶贮藏品质的影响\*

## Study on Changes of Quality of Polydextrose Buffalo Milk Yogurt in Storage

黄丽<sup>1</sup>, 莫绘平<sup>2</sup>, 李玲<sup>1</sup>, 杨攀<sup>1</sup>, 曾庆坤<sup>1\*\*</sup>, 徐普<sup>1</sup>

HUANG Li<sup>1</sup>, MO Huiping<sup>2</sup>, LI Ling<sup>1</sup>, YANG Pan<sup>1</sup>, ZENG Qingkun<sup>1</sup>, XU Pu<sup>1</sup>

(1. 中国农业科学院广西水牛研究所, 广西南宁 530001; 2. 广西中医药大学药学院, 广西南宁 530001)

(1. Guangxi Buffalo Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Nanning, Guangxi, 530001, China; 2. Faculty of Pharmacy, Guangxi University of Chinese Medicine, Nanning, Guangxi, 530001, China)

**摘要:**【目的】为了提高酸水牛奶的口感和保质期, 研究聚葡萄糖对酸水牛奶贮藏期品质的影响。【方法】选择优质脱脂水牛乳为原料制作聚葡萄糖酸水牛奶, 并以同批次全脂、脱脂酸水牛奶为对照组, 在 6~7℃ 冷藏条件下贮藏 18 d, 每隔 3 d 测定滴定酸度、持水力、乳酸菌总数、感官评价、质构特性等指标。【结果】聚葡萄糖能够延缓酸奶的后酸化过程; 具有良好的持水保湿性; 能促进乳酸菌的生长, 增加产品中益生菌的数量; 显著提高凝固型酸水牛奶的表观和质地; 聚葡萄糖酸水牛奶的硬度、粘附性、咀嚼性合适。【结论】聚葡萄糖能够作为代脂益生元应用于酸奶中, 并能延长凝固型酸水牛奶的保质期。

**关键词:** 聚葡萄糖 水牛乳 酸奶 贮藏 品质

**中图分类号:** TS252. 54 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9164(2017)04-0413-06

**Abstract:** 【Objective】In order to improve the taste and the shelf life of buffalo milk yogurt, the effect of polydextrose was studied. 【Methods】The high quality buffalo skim milk was selected as raw material to produce polydextrose buffalo milk yogurt, and the same batch of full-fat and skimmed buffalo milk yogurts was used as the control group. The yogurts were stored in 6—7℃ for 18 d. The titration acidity, water-holding capacity, total number of lactobacillus, sensory evaluation, texture properties and other indicators in yogurts were determined every 3 d. 【Results】Polydextrose could slow the post-acidification process of yogurt and extend the shelf life of yogurt. Its good moisture-holding capability could keep foods quality in some degree. Polydextrose had a capability of improving the growth of lactobacillus and increasing the number of probiotics in yogurts. Polydextrose could significantly improve the appearance and texture of solid buffalo milk yogurt. Polydextrose buffalo milk yogurt fitted the need of Chinese

consumers for texture and oral feel of yogurt because of its good texture, such as hardness, gumminess and chewiness. 【Conclusion】Polydextrose was used in yogurt as a fat substitute prebiotics and extended the shelf life of solidified buffalo milk yogurt.

**Key words:** polydextrose, buffalo milk, yogurt, storage, quality

收稿日期: 2016-12-10

作者简介: 黄丽(1986—), 女, 助理研究员, 主要从事乳品科学方面的研究。

\* 广西水牛研究所基本科研业务费项目(水牛基 1504009)资助。

\*\* 通信作者: 曾庆坤(1968—), 男, 研究员, 主要从事食品科学与技术研究, E-mail: zqk456@163.com。

## 0 引言

**【研究意义】**近年来国内乳制品总量不断增加,尤其酸奶的消费量比重日趋增大,品种越来越丰富。将氨基酸、维生素、多糖等生物活性物质添加到酸奶中能进一步提高其营养价值和保健功能。聚葡萄糖是一种水溶性膳食纤维,不仅具备低热量、调节血糖、降低甘油三酯和胆固醇、改善肠道功能,有效增值双歧杆菌等益生菌,促进肠蠕动<sup>[1]</sup>等保健功能,还具有良好的理化特性和加工优势,改善乳品、饮料及焙烤食品等的质构和口感<sup>[2]</sup>。水牛奶乳汁本身浓厚香醇,品质优良,是制作各种高档乳制品的良好原料。而聚葡萄糖凝固型酸水牛奶富含更多有益于人体健康的功能性膳食纤维,牛奶蛋白和膳食纤维互为补充,营养和保健功能大为提升<sup>[3]</sup>。凝固型酸奶属于易腐食品,在贮藏期间,酸奶中的乳酸菌仍然具有活性,且将继续生长并分解酸奶中残存的乳糖,故酸奶的酸度随着贮藏时间的延长而逐渐上升,对应的 pH 值则持续下降,粘度随之减小,乳酸菌数在贮藏初期急速增加,达到最大值,然后呈对数性降低。酸奶在贮藏的末期会出现奶酸味过重,色泽微黄,状态不均匀的现象。因此,酸奶的保质期都较短,即使在低温下保存,通常也只有 14~21 d。酸奶中乳酸菌的含量是评价产品对于人们营养与健康作用的重要指标,而酸度直接影响成品的质量、风味与口感。发酵乳国家标准(GB 19302-2010)中规定产品中的乳酸菌数不得低于 $1 \times 10^6$  CFU/g(mL),酸度应 $\geq 70^\circ\text{T}$ 。**【前人研究进展】**研究表明,酸奶变质至无法被消费者接受时的评定指标为酸度 $\geq 120^\circ\text{T}$ ,感官评价 $\leq 60$ 分<sup>[4]</sup>。**【本研究切入点】**跟踪、监控酸奶在贮藏期的品质变化情况对酸奶货架期的估算十分必要,而聚葡萄糖对凝固型酸水牛奶理化指标的影响未见报道。**【拟解决的关键问题】**选择优质脱脂水牛奶为原料制作聚葡萄糖酸水牛奶,并以同批次全脂、脱脂酸水牛奶为对照组,测定滴定酸度、持水力、乳酸菌总数、感官评价、质构特性等指标,研究聚葡萄糖对凝固型酸水牛奶理化指标和质构品质的影响。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料

新鲜水牛奶,广西水牛研究所种畜场,原料乳及脱脂乳的理化特性见表 1;聚葡萄糖,江苏瑞多生物工程有限公 司;蔗糖,科汉森食品添加剂有限公司;菌种 YF-L922,科汉森股份有限公司;MRS 琼脂,青岛

高科园海博生物技术有公司;氢氧化钠,天津博迪化工股份有限公司;SPX-150 生化培养箱,上海昕仪仪器仪表有限公司;SW-OJ-2FD 型双人洁净工作台,苏州净化设备有限公司;YM50 立式压力蒸汽灭菌器,上海三申医疗器械有限公司;凯氏定氮仪 FOSS8400,瑞士;乳成分分析仪 FT120,瑞士。

表 1 原料乳及脱脂乳的理化特性

Table 1 Chemical index of raw milk and skim milk

原料 Raw	密度 Density ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	蛋白质 Protein (%)	脂肪 Fat (%)	全乳 固体 Total milk solid (%)	非脂乳 固体 Non-fat milk solids (%)	乳糖 Lactose (%)
原料奶 Raw milk	1.034 9	4.65	6.47	17.89	10.97	5.47
脱脂奶 Skimmed milk	1.042 7	4.73	0.64	12.10	11.42	5.79

### 1.2 方法

#### 1.2.1 聚葡萄糖酸水牛奶制备工艺及要点

生水牛乳→按需要分离脱脂→调配→杀菌→冷却接种→分装→发酵→冷藏与后熟→检测。

脱脂:将生水牛乳 300 目滤网过滤后使用乳脂分离机脱脂,脂肪含量 $\leq 0.64\%$ ;调配:将部分生水牛乳升温至 $60^\circ\text{C}$ ,按质量比添加 8%聚葡萄糖和 5%蔗糖,完全溶解后搅拌混匀;杀菌:基料在水浴锅中进行巴氏杀菌, $90^\circ\text{C}$ ,10 min;接种:基料灭菌后冷却到 $40\sim 42^\circ\text{C}$ ,接种 0.006%的直投式发酵剂,搅拌溶解均匀后在 $42^\circ\text{C}$ 条件下恒温发酵,当酸度达到 $70\sim 75^\circ\text{T}$ 时停止发酵;冷藏与后熟:将酸水牛乳于 $6\sim -7^\circ\text{C}$ 、湿度为 65%~74%条件下冷藏后熟,分别于第 3 天、第 6 天、第 9 天、第 12 天、第 15 天、第 18 天进行相关指标测定。

#### 1.2.2 指标测定

选择优质脱脂水牛奶为原料制作聚葡萄糖凝固型酸水牛奶,并以同批次全脂、脱脂酸水牛奶为对照组,每隔 3 d 测定滴定酸度、持水力、乳酸菌总数、质构特性等指标。

##### (1) 滴定酸度的测定

参照国标 GB 5413.34-2010 乳和乳制品酸度的测定方法,平行 3 次。

##### (2) 持水力的测定

称取酸水牛乳 15.0 g,于 $4^\circ\text{C}$ 条件下 4 500 r/min 的转速下离心 10 min,离心机停止转动后静置 10 min,倒出上清液并称取上清液质量,按下式计算酸水牛奶的持水力,平行 3 次。

$$\text{持水力} = (1 - \frac{m}{m_0}) \times 100\%$$

式中： $m$  为上清液质量(g)， $m_0$  为酸水牛乳质量(g)。

### (3) 乳酸菌总数的测定

参照国标 GB 4789.35-2010 乳酸菌检验方法。

### (4) 感官评价方法

由经过严格感官培训的 10 人组成评价小组，从色泽、滋味和气味、组织状态 3 方面进行酸水牛奶的感官评定，满分 100 分。具体评分标准如表 2。

表 2 酸水牛奶感官评分标准

项目 Items	感官评价 Sensory evaluation	评分 Score
色泽 (30 分) Colour (30 points)	呈均匀乳白色,颜色均匀有光泽 Milky white, uniform color and luster	25~30
	淡黄色 Canary yellow	16~24
	浅灰色或者灰白色 Light gray or gray white	8~15
	绿色,黑色斑点或有霉菌生长,异常颜色 Green, black spot or mold growth, abnormal color	0~7
滋味和气味 (30 分) Taste and odour (30 points)	具有酸水牛固有滋味和气味,酸味和甜味比例得当 With sour milk natural taste and smell, sour and sweet proportion of appropriate	25~30
	过酸或过甜 Too sour or too sweet	19~24
	略有酸涩味 Slightly sour taste	13~18
	略有苦味 Slightly bitter	7~12
组织状态 (40 分) Texture (40 points)	氧化,金属味或异常滋味和气味 Oxidation, metal or abnormal taste and odor	0~6
	组织细腻,凝块细小均匀滑爽,无气泡,有少量乳清析出 Fine texture, uniform fine clots smooth, no bubbles, a small amount of whey	32~40
	组织细腻,凝块大小不均匀,无气泡,有少量乳清析出 Fine tissue, the size of the clot is uneven, no bubbles, a small amount of whey precipitation	24~31
	组织粗糙,不均匀,无气泡,有乳清析 Tissue rough, uneven, no bubbles, there are whey	16~32
	组织粗糙,不均匀,有气泡,乳清析出严重 Tissue rough, uneven, there are bubbles, serious precipitation of whey	8~15
	组织粗糙,不均匀,有大量气泡,乳清析出严重,有颗粒 Tissue rough, uneven, there are a large number of bubbles, whey precipitation is serious, there are particles	0~7

### (5) 质构的测定

采用 TMS-Pro 型质构仪对酸水牛奶样品进行 TPA 测试。测试探头型号为 TMS-75 mm 圆盘挤压探头 P/75。测试条件:测前速率为 30 mm/min;压缩测试速率为 120 mm/min,压缩形变量为 30%,测后速率与测前速率一致;两次压缩之间的停留间隔:0 s,采样速度:10 Hz,最小触发力:0.1 N,测试重复 6 次<sup>[5]</sup>。

#### 1.2.3 数据处理

采用 Excel2010 处理原始数据,IBM SPSS20.0 软件进行单因素方差分析,Oridin8.6 软件制作相关图表。

## 2 结果与分析

### 2.1 酸水牛奶贮藏期间滴定酸度的变化

由图 1 可知,3 种酸奶的滴定酸度总体呈上升趋势,这是因为乳酸菌在低温环境下依旧具有微弱的生长繁殖能力,在  $\beta$ -半乳糖苷酶和其他酶的催化下,乳糖继续被分解为乳酸,从而导致酸奶的总酸度上升<sup>[6]</sup>。还可以看出,聚葡萄糖脱脂酸奶的酸度变化比较缓慢,而且酸度也比另外两种酸奶低,说明聚葡萄糖在一定程度上能够促进菌种中嗜热链球菌的增长,使嗜热链球菌的数量大于保加利亚乳杆菌<sup>[7]</sup>,产酸速度有所下降,抑制酸奶的后酸化,对延长产品的货架期有一定帮助。

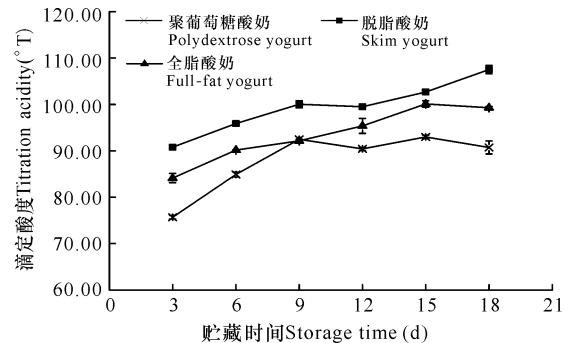


图 1 酸水牛奶贮藏期间滴定酸度变化

Fig. 1 Changes in titration acidity of buffalo milk yogurt during storage

### 2.2 酸水牛奶贮藏期间持水力的变化

持水性是考察酸奶凝胶对水分子结合能力的指标,由图 2 可知,3 种酸奶的持水力总体呈先上升后下降趋势,这是因为酸奶经过冷藏后熟阶段, pH 值下降,有利于酸奶凝胶的形成,而凝胶体系内的大分子对酸奶结构中的自由水束缚力较强<sup>[7]</sup>;但随着冷藏时间的延长,微生物分泌的蛋白水解酶增加,酸奶中微小蛋白质亚胶体分子团改变,使得它们之间的亲和连接作用减弱,引起酸奶蛋白质胶体结合水含量相应

减少,从而影响酸奶的持水性。由于全脂酸奶中脂肪的锁水性,所以持水力最高,但聚葡萄糖脱脂酸奶的持水力变化规律与全脂酸奶很接近,并且高于脱脂酸奶,说明聚葡萄糖有良好的持水保湿性,它可以防止或减缓含湿食品的不良变化,有一定维持食品性质稳定的作用<sup>[8]</sup>。说明聚葡萄糖能够代替脂肪的功能,使酸奶具有类似脂肪的口感与品质,另外该物质还具有低热量、减肥的功效。

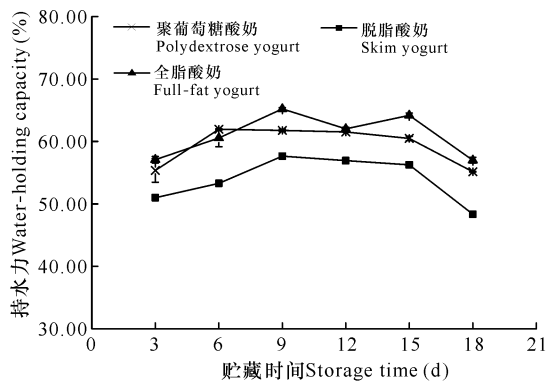


图2 酸水牛奶贮藏期间持水力变化

Fig. 2 Changes in water-holding capacity of buffalo milk yogurt during storage

### 2.3 酸水牛奶贮藏期间乳酸菌数的变化

由表3可知,在6℃条件下贮藏3 d、6 d、9 d、15 d、18 d,3种酸奶中乳酸菌数呈递减状态,在第3天聚葡萄糖脱脂酸奶中菌数均高于普通酸奶。这是由于第3天时乳酸菌生长环境最适于其生长,而聚葡萄糖具有益生元的作用,聚葡萄糖被乳酸菌发酵利用,促进乳酸菌的生长,故乳酸菌数最多;当酸水牛奶储存到一定的时间,其pH值已降到较低水平,酸度过高,抑制了乳酸菌的生长,同时菌体老化,死亡数目增加。第15天时3组酸奶的乳酸菌数均大于 $1 \times 10^6$  CFU/g,符合GB 19302-2010关于乳酸菌的规定,故均在货架期内,而聚葡萄糖脱脂酸奶的乳酸菌数大于脱脂酸奶,说明聚葡萄糖能延长酸奶的货架期。

表3 酸水牛奶贮藏期间乳酸菌数变化

Table 3 Changes in counts of lactobacillus of buffalo milk yogurt during storage

贮藏时间 Storage time (d)	聚葡萄糖脱脂酸奶 Polydextrose skim yogurt ( $\times 10^8$ CFU/g)	脱脂酸奶 Skim yogurt ( $\times 10^8$ CFU/ g)	全脂酸奶 Full-fat yogurt ( $\times 10^8$ CFU/ g)
3	111.00 ± 1.41	28.00 ± 2.83	29.00 ± 1.41
6	21.25 ± 0.35	0.14 ± 0.15	20.50 ± 0.71
9	0.20 ± 0.03	0.14 ± 0.10	22.00 ± 1.41
15	0.89 ± 0.13	0.40 ± 0.01	5.10 ± 0.14
18	0.53 ± 0.11	0.00 ± 0.00	1.55 ± 0.64

### 2.4 酸水牛奶贮藏期间感官评价

由图3可看出,3种酸奶的感官得分都是随着贮藏

时间的延长逐渐下降。全脂酸奶中有脂肪,所以口感最好,但聚葡萄糖脱脂酸奶的感官变化规律与全脂酸奶几乎重合,并且优于脱脂酸奶,说明聚葡萄糖脱脂酸奶在口感上很好。说明聚葡萄糖能够作为脂肪的替代物,显著提高酸奶的表观和质地,其部分水解产生的短链脂肪酸能丰富酸奶的风味,使其呈现均匀乳白色,酸甜比例得当,柔顺滑爽。

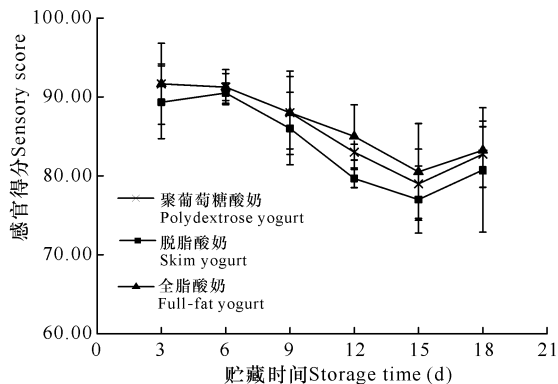


图3 酸水牛奶贮藏期间感官评价结果

Fig. 3 Results in sensory evaluation of buffalo milk yogurt during storage

### 2.5 酸水牛奶贮藏期间质构品质的变化

#### 2.5.1 硬度变化

由图4可知,酸奶的硬度随着贮藏时间的延长总体呈上升趋势,可能是因为酸奶中乳酸菌继续生长代谢,生成二硫化物等代谢产物,与蛋白质连接形成细小的网络结构,使酸奶的凝胶特性更稳定,故硬度增大。还可以看出硬度特性排序:全脂酸奶>聚葡萄糖脱脂酸奶>脱脂酸奶。Xu等<sup>[9]</sup>认为增加原料乳中脂肪的质量分数能够增加酸奶的硬度,这是由脂肪球和蛋白质基质的交互作用引起,故全脂酸奶的硬度最大<sup>[10]</sup>;而聚葡萄糖的添加一方面使原料乳的总干物质含量增加,另一方面根据陈新建<sup>[11]</sup>的观点:多糖能与酪蛋白形成共聚物对酸奶起良好的稳定作用,使其硬度大于脱脂酸奶,故产生此效果。

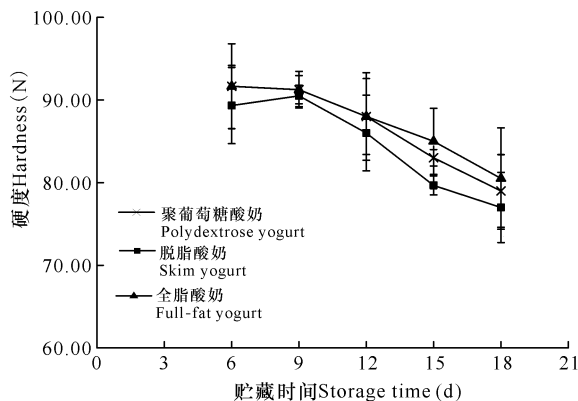


图4 酸水牛奶贮藏期间硬度变化

Fig. 4 Changes in hardness of buffalo milk yogurt during storage

### 2.5.2 粘附性变化

由图 5 可知,酸奶的粘附性随着贮藏时间的延长总体呈上升趋势,这可能是因为添加的蔗糖在适宜的 pH 值下促进了乳酸菌代谢,生成代谢产物,如粘性多糖,有利于酸奶凝胶的形成,故粘附性上升<sup>[12]</sup>。由图 5 还可知,聚葡萄糖脱脂酸奶的粘附性高于脱脂酸奶而低于全脂酸奶。主要原因是全脂酸奶中脂肪的粘度大,具有良好的涂抹性及滑腻的口感,使酸奶的粘附性最大;而聚葡萄糖的黏度高,同时以糖苷键相互连结的亲水性高分子,有助于提高酸奶的粘附性,且对成品的质地无不良影响,故其粘附性大于脱脂酸奶。

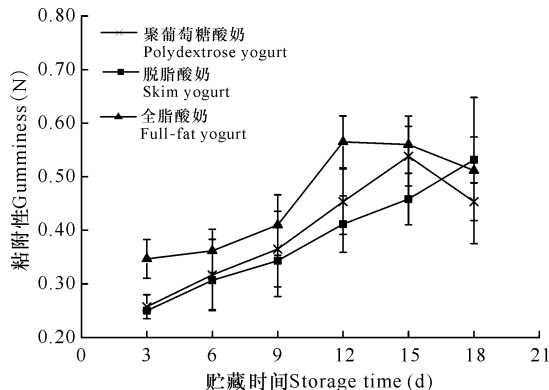


图 5 酸水牛奶贮藏期间粘附性变化

Fig. 5 Changes in gumminess of buffalo milk yogurt during storage

### 2.5.3 咀嚼性的变化

表 4 不同酸水牛奶的主要品质指标对比

Table 4 Contrast on the important characteristics of different buffalo milk yogurt

酸奶种类 Types of yogurt	脂肪 Fat (%)		蛋白质 Protein (%)		滴定酸度 Titration acidity(°T)	
	测定值 Measurement value	国标规定 International regulations	测定值 Measurement value	国标规定 International regulations	测定值 Measurement value	国标规定 International regulations
聚葡萄糖脱脂酸奶 Polydextrose skim yogurt	0.58	未规定 Not provided	4.29		≥75	
脱脂酸奶 Skim yogurt	0.87	未规定 Not provided	4.70	≥2.9	≥90	≥70
全脂酸奶 Full-fat yogurt	4.90	≥3.1	3.16		≥83	

## 3 结论

经分析可知,贮存期内聚葡萄糖能够显著提高酸水牛奶的感官、理化和质构品质,聚葡萄糖能够延缓酸奶的后酸化过程,从而延长酸奶货架期,同时具有良好的持水保湿性,有一定维持食品性质稳定的作用。聚葡萄糖还能促进乳酸菌的生长,增加产品中益生菌的数量,显著提高凝固型酸水牛奶的表观和质地。聚葡萄糖脱脂酸奶硬度、口感适宜,符合我国消

由图 6 可知,酸奶的咀嚼性总体呈现先递增后递减的趋势。这是因为贮藏初期酸奶中的物质能量能够满足乳酸菌的繁殖条件,酸度适宜,有利于酸奶中蛋白质附聚和粘性多糖的生成<sup>[12]</sup>;但随着时间的增加,酸度不断上升,乳清析出,酸奶的贮藏稳定性有所减弱,凝胶体系被破坏,整体质量下降。从图 6 还可知,聚葡萄糖脱脂酸奶的咀嚼性高于其余两种酸奶。主要原因是聚葡萄糖作为水溶性膳食纤维,以其高水溶性和高黏度保证了酸奶良好的咀嚼性。

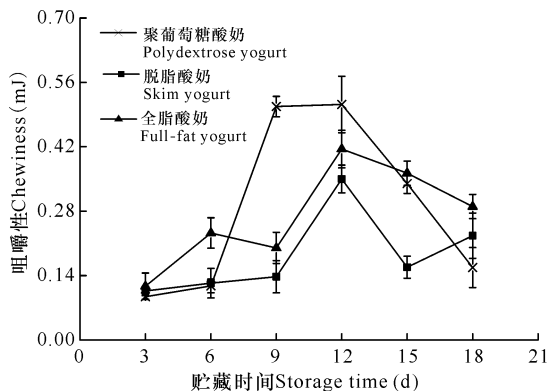


图 6 酸水牛奶贮藏期间咀嚼性变化

Fig. 6 Changes in chewiness of buffalo milk yogurt during storage

### 2.6 不同酸水牛奶的主要品质指标对比

由表 4 可知,贮藏期酸水牛奶的乳脂肪、乳蛋白、酸度等重要品质指标均大于国家标准,故酸水牛奶的品质符合国际要求。

费者对酸奶质地口感的需求。贮存第 6 天时,酸奶的感官评分值最高,此时食用最佳。上述结果表明,聚葡萄糖能够作为代脂益生元应用于酸奶中,在获得全脂酸奶品质的同时,延长了凝固型酸水牛奶的保质期。

#### 参考文献:

[1] 朱丹,许杰.聚葡萄糖作为水溶性膳食纤维的发展及法规现状[J].中国食品添加剂,2009(S1):48-51.

- ZHU D, XU J. The development and regulations of Polydextrose as soluble dietary fiber[J]. *China Food Additive*, 2009(S1):48-51.
- [2] 万里. 聚葡萄糖的合成及工业化研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2010.
- WAN L. Synthesis and industrial production research of polydextrose[D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2010.
- [3] 张清丽, 赵强忠, 赵谋明. 酪蛋白水解物对乳酸菌的促生长作用[J]. *现代食品科技*, 2011, 27(6):622-625.
- ZHANG Q L, ZHAO Q Z, ZHAO M M. Growth-promoting activity of casein hydrolysate for lactic acid bacteria[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2011, 27(6):622-625.
- [4] 蔡超. 酸奶在贮存期间参数的变化和对货架寿命预测模型的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2012.
- CAI C. Prediction model of shelf life of yoghurt to various parameters during storage[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010.
- [5] TAMIME A Y, ROBINSON R K. *Yoghurt: Science and technology*[M]. 2nd edition. New York: CRC Press, 1999.
- [6] 刘萍. 大豆膳食纤维酸乳的研制[D]. 济南: 山东师范大学, 2010.
- LIU P. Research and development of soybean dietary fiber yogurt[D]. Jinan: Shandong Normal University, 2010.
- [7] 夏慧玲, 余勃, 王水兴, 等. 红薯酸奶的制备及其在贮藏期间理化变化[J]. *南昌大学学报: 理科版*, 2013, 37(4): 391-395.
- XIA H L, XU B, WANG S X, et al. Physical and chemical changes of the sweet potato yougurrh during its storage[J]. *Journal of Nanchang University: Natural Science*, 2013, 37(4):391-395.
- [8] 刘军军. 聚葡萄糖对凝固型酸奶品质的影响及贮存期间参数变化的研究[D]. 烟台: 烟台大学, 2013.
- LIU J J. Effect of polydextrose on quality of set-style yoghurt and research in various parameters during storage[D]. Yantai: Yantai University, 2013.
- [9] XU Z M, EMMANOUELIDOU D G, RAPHAELIDES S N, et al. Effects of heating temperature and fat content on the structure development of set yogurt[J]. *Journal of Food Engineering*, 2008, 85(4):590-597.
- [10] SANDOVAL-CASTILLA O, LOBATO-CALLEROS C, AGUIRRE-MANDUJANO E, et al. Microstructure and texture of yogurt as influenced by fat replacers[J]. *International Dairy Journal*, 2004, 14(2):151-159.
- [11] 陈新建. 大豆酸奶的质构性能及机理研究[J]. *广东工业大学学报*, 2001, 18(2):76-80.
- CHEN X J. Research on texture properties and mechanism of soy-milk yogurt[J]. *Journal of Guangdong University of Technology*, 2001, 18(2):76-80.
- [12] 杨莹莹. 凝固型紫甘薯酸奶发酵工艺优化及质构特性和风味的研究[D]. 烟台: 烟台大学, 2013.
- YANG Y Y. Study on fermentation technology and textural properties and flavor components of purple sweet potato set-style yoghurt[D]. Yantai: Yantai University, 2013.

(责任编辑: 尹 闯)