

# 产胞外多糖副干酪乳杆菌 HCT 对酸乳品质的影响

马世敏 吴迪宗 旭日花 李平兰\*

(中国农业大学 食品科学与营养工程学院,北京 100083)

**摘要** 在嗜热链球菌单菌发酵剂或保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌混合发酵剂 2 种常规发酵剂的基础上添加产胞外多糖(EPS)副干酪乳杆菌 HCT 共同发酵,研究 HCT 对酸乳理化、质构以及流变学特性的影响。结果表明:与不加 HCT 的对照相比,在混合发酵剂中添加质量分数为 1% 的 HCT 菌株,凝乳时间可缩短 0.5 h,酸乳成品的硬度和黏着性分别提高了 0.23 N 和 3.81 N;而在单菌发酵剂中添加则产酸较慢,延长发酵时间,酸乳成品的硬度和黏着性分别降低 0.12 N 和 1.0 N,但内聚性增加了 0.15。此外,在 2 种发酵剂中添加 HCT 均能显著提高酸乳成品的黏度,具有一定的抗剪切破坏作用,同时赋予酸乳良好的色泽、口感和组织状态,对持水力的影响也不显著。

**关键词** 副干酪乳杆菌; 胞外多糖; 酸乳品质

中图分类号 TS 201.3

文章编号 1007-4333(2011)06-0144-06

文献标志码 A

## Effect of an exopolysaccharide-producing strain of *Lactobacillus paracasei* HCT on the quality of yoghurt

MA Shi-min, WU Di-zong, XU Ri-hua, LI Ping-lan\*

(College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract** The milk was added strain HCT which produce EPS to two conventional yogurt starters consisting of *Lactobacillus Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus*, and the non-HCT milk was used as control. The physicochemical, rheological and texture properties of yogurt were measured. The results displayed that compared with non-HCT contrast, adding 1% HCT strain to the mixed starter, the time of coagulation was reduced half an hour and the hardness, adhesiveness were promoted 0.23 N and 3.81 N; however, adding single starter exhibited lowed acid producing and prolonged fermentation time, also the hardness, adhesiveness were decreased 0.12 N and 1.0 N, but the cohesion was increased by 0.15. The results showed that adding HCT strain could significantly increase the viscosity of yogurt products, and enhance shear stress resistance, and also improve the color, taste and organizational status of yogurt; however, the effect on water holding capacity was not notable.

**Key words** *Lactobacillus paracasei*; exopolysaccharide; yoghurt quality

与纯牛乳相比,酸乳保留了牛乳的全部营养成分,且含有大量乳酸及活性益生菌——乳酸菌。乳酸菌不仅使酸乳制品具有醇香、清爽的酸香味,还具备调理肠道菌群、调节免疫、促进消化和营养吸收的功能。在酸乳生产过程中,常出现黏度低、凝块破碎、乳清大量析出、组织状态粗糙等问题,使用产胞外多糖的乳酸菌作为发酵剂则可改善酸乳的质地特

性<sup>[1-2]</sup>。

乳酸菌胞外多糖(Exopolysaccharide, EPS)是乳酸菌在生长代谢过程中分泌到细胞外形成黏液或荚膜的一类糖类化合物。作为益生菌的代谢产物, EPS 可以为酸乳制品提供更好的黏度、稳定性和保水性,使产品具有良好的口感、质地和风味。EPS 可以在发酵过程中填补于凝胶网络的空隙中,形成

收稿日期: 2011-04-13

基金项目: 国家“863”计划项目(2008AA10Z324)

第一作者: 马世敏, 硕士研究生, E-mail: msm0106@163.com

通讯作者: 李平兰, 教授, 博士生导师, 主要从事食品微生物学和发酵工程研究, E-mail: lipinglan@cau.edu.cn

良好的多孔网状结构或缠绕致密、随机分布的粗纤维丝,从而改善酸乳成品的质地、口感、感官特性和稳定性,是一种天然的食品添加剂和增稠剂。另外, EPS 还可保护菌体使细胞免受环境伤害,并具有抗肿瘤、抗溃疡、提高免疫力及降低胆固醇等活性<sup>[3-5]</sup>。因此,将 EPS 作为一种新型的增稠剂和添加剂应用到酸乳生产中,具有广阔的前景。

副干酪乳杆菌作为广泛使用的发酵乳制品益生菌,具有较高的安全性和良好的生理功效。本研究拟将 1 株产 EPS 副干酪乳杆菌 HCT 添加到酸乳发酵剂中,和常规酸乳发酵菌种共同生产酸乳,以探求产 EPS 乳酸菌对酸乳品质的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料及仪器

1)菌种。产 EPS 副干酪乳杆菌 HCT;常规酸乳发酵菌种为保加利亚乳杆菌 S-1 和嗜热链球菌 ST。均由中国农业大学食品科学与营养工程学院应用微生物实验室筛得。

2)试剂。全脂鲜牛乳,产自北京三元乳品公司;白砂糖,脱脂乳粉,市售;硫酸、苯酚均为分析纯。

3)仪器及设备。SCL-1300 型超净工作台,北京赛伯乐实验仪器有限公司;DNP-9162 恒温培养箱,上海精宏实验设备有限公司;Sartorius PB-10 数显 pH 计,北京赛多利斯科学仪器有限公司;TGL-20M 台式高速冷冻离心机,长沙平凡仪器仪表有限公司;DV-1 型黏度计,上海精密科学仪器有限公司;ML54/02 电子天平,梅特勒-托利多仪器有限公司;TMS-Pro 型质构仪,美国 FTC 公司;AR-1500ex 型旋转流变仪,美国 TA 公司。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 菌种活化

受试菌种以体积分数为 2% 的比例接种于 11% (质量分数)的脱脂乳培养基中,37 °C 培养 12~24 h,活化 3 代,用于后期试验。

#### 1.2.2 酸乳制备

鲜牛乳→添加质量分数为 7% 的白砂糖→灭菌(95 °C, 5 min)→冷却(43 °C)→接种→发酵(42 °C)→取出(pH 约 4.7)→冷却后熟→成品→检验。

#### 1.2.3 试验设计

目前,生产酸乳主要以嗜热链球菌作为单菌发酵剂,或者以保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌作为混合发酵剂共同发酵。因此,本试验以单菌发酵剂、混

合发酵剂为对照组,在 2 种发酵剂上分别添加产 EPS 菌株 HCT,混合后按 1.2.2 方法制备酸乳,以探求 HCT 和不同菌株共同发酵对酸乳品质的影响。经预试验结果选定的发酵剂具体配比见表 1。

表 1 4 种酸乳发酵剂菌株配比

Table 1 Strain ratio of four kinds of yoghurt

序号	酸乳	发酵剂	
		名称	体积分数/%
1	C-1	ST	2.0
2	HCT-1	ST	1.0
		HCT	1.0
3	C-2	S-1	1.5
		ST	0.5
4	HCT-2	S-1	1.5
		ST	0.5
		HCT	1.0

注:C-1 和 C-2 为单菌发酵剂和混合发酵剂所产酸乳的对照组;HCT-1 和 HCT-2 为添加 HCT 菌株所产酸乳的实验组。

#### 1.2.4 菌株 HCT 对酸乳理化性质的影响

按表 1 配比接种发酵剂,开始发酵后每隔 1.5 h 取样,分别测定其 pH、黏度和 EPS 产量;酸乳发酵结束后于 4 °C 后熟 24 h,测定其持水力。

1)酸乳发酵过程中 pH 的变化。使用数显式 pH 计,在 20 °C 下测定不同酸乳的 pH。

2)酸乳发酵过程中黏度的变化。使用 DV-1 型黏度计,在 20 °C 下测定不同酸乳的黏度。选取 2 # 转子,转速为 12 r/min,转动 60 s 取值。

3)酸乳发酵过程中 EPS 产量的变化<sup>[6]</sup>。取 10 mL 酸乳置于离心管中,沸水浴 15 min 灭酶,加入 0.5 mL 质量分数 80 % 的三氯乙酸溶液,充分摇匀后 4 °C 下放置 1 h,离心(10 000 r/min, 4 °C)去除蛋白质,取上清液加入 3 倍体积无水乙醇,4 °C 沉淀过夜。离心(10 000 r/min, 4 °C),去离子水溶解沉淀,定容至 25 mL,硫酸苯酚法<sup>[7]</sup>测定 EPS 的产量。

4)酸乳持水力的变化<sup>[8]</sup>。准确称取 4 °C 下冷却后熟 24 h 的酸乳各 10 g,离心(4 000 r/min, 10 min, 4 °C),弃上清立即称量,按如下公式测定其持水力。

$$\text{持水力}/\% = (\text{离心后沉淀物质量} / \text{酸乳质量}) \times 100$$

### 1.2.5 菌株 HCT 对酸乳流变特性的影响

采用 AR-1500ex 型旋转流变仪测定不同酸乳的流变特性。测定条件为:选用连续斜坡步骤,温度固定为 4 °C,60 mm 转子,板间距为 1 mm,剪切速率扫描范围为 0~120 s<sup>-1</sup>,扫描时间 10 min。

### 1.2.6 菌株 HCT 对酸乳质构特性的影响

1) 感官评定<sup>[9]</sup>。由 10 名经过培训的食品专业学生组成评定小组,按照感官评定表对酸乳的色泽、气味、口感以及质地进行评价并打分。采用百分制,其中色泽 10 分、滋味气味 40 分、组织状态 50 分。

2) 质地剖面分析法(Texture Profile Analysis, TPA)。采用质构仪绘制不同酸乳的质构特征曲线图,获得表征质构状况的评价参数,即硬度、黏着性、弹性、凝聚性、胶黏性、咀嚼性、内聚性。具体参数为:检测温度 4 °C,25 mm 圆柱形探头,测前、测试和测后速度分别为 0.5、0.5 和 1.0 mm/s,下压距离 10 mm。

## 2 结果与分析

### 2.1 菌株 HCT 对酸乳理化性质的影响

#### 2.1.1 酸乳发酵过程中 pH 的变化

在发酵过程中,乳酸菌分解乳糖形成乳酸,从而使酸乳的 pH 不断下降。本试验中,不同菌株组合的产酸能力不同。随着发酵时间的延长,4 种酸乳的 pH 均迅速下降(图 1)。其中,C-1 产酸较快,在发酵开始即大量产酸,并在 4.5 h 达到发酵终点;HCT-1 的 pH 一直高于 C-1,说明添加 HCT 的酸乳产酸较慢。HCT-2 的 pH 从 3 h 起即明显低于对照组 C-2,并且在 4.5 h 即开始凝乳,凝乳时间比 C-2 缩短了 0.5 h。试验结果表明,在单菌发酵剂中添加产黏菌株 HCT 并不能促进产酸,反而会延长凝乳时间;而在混合发酵剂中添加 HCT 则可明

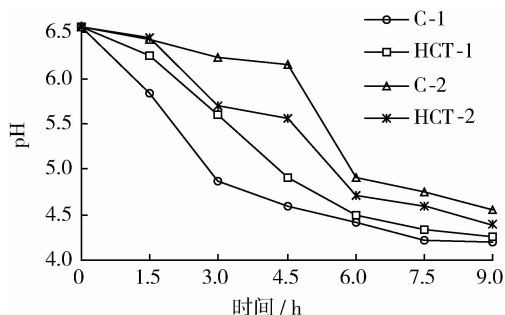


图 1 4 种酸乳发酵过程中 pH 的变化

Fig. 1 Change of pH value in four kinds of yoghurt during fermentation

显促进常规发酵菌株产酸,降低酸乳 pH,减少凝乳时间。

Maude 等<sup>[5]</sup>研究了产 EPS 乳酸乳球菌 NCC2771, NCC1971, NCC15 在发酵乳中的酸化曲线,发现产 EPS 菌种可以在较高的 pH(5.59~5.62)下凝乳,缩短凝乳时间。Marle<sup>[10]</sup>等使用动力学研究菌种的发酵过程时发现,产 EPS 菌株可以微弱降低发酵乳的 pH。本试验结果和上述报道相符,说明产黏发酵剂 HCT 可以辅助常规发酵剂产生较多的乳酸,并且可以在较高的 pH 下凝乳,减少凝乳时间,缩短发酵过程。

#### 2.1.2 酸乳发酵过程中黏度的变化

发酵过程中,随着乳酸菌的大量生长,pH 不断降低,奶液中的蛋白质分子表面活性降低,形成微小的亚胶体分子团,使得液体奶黏度不断增加<sup>[11]</sup>。

4 种酸乳的黏度均随着发酵时间的延长而增大,并在 6 h 左右达到最高值,此后渐渐回落。HCT-1 的黏度在发酵前期明显高于对照组 C-1,但后期二者黏度变化趋于平缓,差别不大(图 2)。从 3 h 开始至发酵结束,HCT-2 黏度均明显高于对照组 C-2,说明在混合发酵剂中添加 HCT 可以明显地提高酸乳的黏度。霍艳荣<sup>[12]</sup>将产 EPS 乳杆菌和不产 EPS 的保加利亚乳杆菌、不产黏嗜热链球菌组合生产酸乳,结果表明添加产 EPS 菌株的酸乳在发酵过程中保持着较高的黏度值,与本试验结果一致。

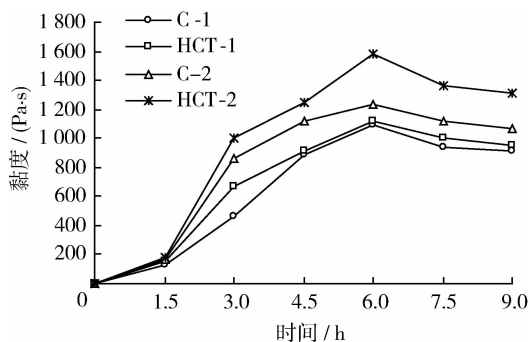


图 2 4 种酸乳发酵过程中黏度的变化

Fig. 2 Viscosity change in four kinds of yoghurt during fermentation

#### 2.1.3 酸乳发酵过程中 EPS 产量的变化

酸乳发酵过程中 EPS 产量的变化见图 3。可以看出,4 种酸乳均能产生 EPS,但其产量不同。C-1 的 EPS 产量最低,说明单菌发酵剂能产生少量的 EPS,对酸乳品质的作用不明显。HCT-1、HCT-2

的 EPS 产量均明显高于其相应对照组 C-1 和 C-2，从发酵开始一直处于上升状态，并在 6 h 达到最大值，此后迅速下降，这和上述酸乳发酵过程中黏度的变化趋势一致。Amatayakul<sup>[13]</sup> 研究表明，添加产黏菌株发酵而成的酸乳在 4 °C 贮存过程中 EPS 的产量仍持续上升，可以为贮存过程中的酸乳提供较好的黏度和组织状态。

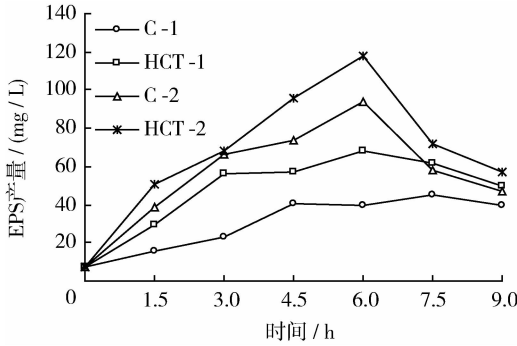


图 3 4 种酸乳发酵过程中 EPS 产量的变化  
Fig. 3 EPS yield change in four kinds of yoghurt during fermentation

2.1.4 酸乳持水力的变化

持水力是评价酸乳品质的重要指标。持水力较差，乳清大量析出，不仅会降低黏度，影响酸乳的组织状态，也会对其风味、口感造成不利影响。4 种不同酸乳的持水力测定结果见表 2。

结果表明，C-1 持水力最低，为 60.89%；HCT-1 和 HCT-2 的持水力均高于 C-1 和 C-2，分别达到了

表 2 4 种酸乳持水力测定结果  
Table 2 Water hold capacity of four kinds of yoghurt

酸乳	持水力/%
C-1	60.89±0.42
HCT-1	65.36±0.26
C-2	62.46±0.35
HCT-2	65.88±0.19

65.36% 和 65.88%，但各组间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。说明 EPS 可以提高酸乳持水力，但作用效果不大，这与 Hassan 等<sup>[14]</sup> 的研究结果相反，可能是由于测定持水力的方法不同而造成。Amatayakul<sup>[15]</sup> 选用离心法测定产黏菌株和不产黏菌株所产酸乳的持水力，差异也并不明显 ( $P > 0.05$ )。李全阳<sup>[16]</sup> 对黏性和非黏性酸乳的胶体脱水收缩作用敏感性 (susceptibility to syneresis, STS) 和持水力进行了比较，发现 2 种酸乳的 STS 存在显著差异，但持水力差异不显著，初步推测 EPS 可以增强酸乳结合自由水的能力，但增强酸乳和结合水的作用效果不大。

2.2 菌株 HCT 对酸乳流变学特性的影响

乳酸菌产生的 EPS 可对酸乳的流变学特性产生一定的影响，不同的产 EPS 菌株可产生不同的流变学特性。在 4 °C 条件下，采用升速、降速 2 种剪切速率扫描方式对不同酸乳的流变学特性进行考察，结果见图 4。

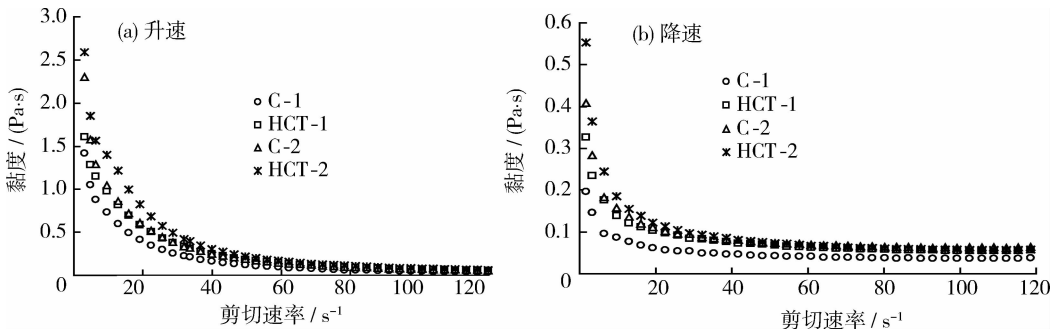


图 4 升速和降速过程中酸乳黏度的变化

Fig. 4 Viscosity change during shear acceleration process and deceleration process

李全阳等<sup>[17]</sup> 研究发现，酸乳的黏度随剪切速率、温度和时间而变化，为触变性流体。因此，本试验采用相同的参数对 4 种酸乳进行流变特性扫描，以排除其他因素的影响。结果表明，4 种酸乳在剪切应力的作用下，随着剪切速率的增长，黏度

均呈现线性的下降趋势，表现为剪切变稀。对 4 种酸乳黏度变化曲线添加趋势线发现，均符合幂律方程，这与李全阳<sup>[17]</sup> 的研究结果相同，说明酸乳为触变性流体。

升速过程中，添加产 EPS 菌株 HCT 的酸乳在

初始剪切时的黏度均大于各相应对照组,此后趋于一致。在较低的剪切速率下,HCT-2的黏度最大;发酵过程中4种酸乳的EPS产量测定结果表明,HCT-2的EPS产量最大(图3),说明EPS产量与酸乳的黏度成正比。降速剪切时,酸乳黏度随剪切速率的降低而增大,但明显低于升速过程中的黏度值;另外,添加HCT菌株的酸乳黏度仍高于对照组。这说明EPS不仅能较好地增加酸乳的黏度,并且可以在一定的剪切速率下维持黏度值。在大规模机械生产搅拌型酸乳时,该EPS可在一定程度上降低应力对酸乳凝胶结构的破坏。Ayala-Hernández等<sup>[18]</sup>在4℃下研究产黏菌株和不产黏菌株生产的酸乳流变特性,也发现EPS可显著增加酸乳的表观黏度和黏弹性。

### 2.3 菌株HCT对酸乳质构的影响

采用感官评定和质地剖面分析法相结合对酸乳的质构进行评定。

#### 2.3.1 菌株HCT对酸乳感官的影响

对酸乳的品质从色泽、气味和滋味、组织状态3个方面进行评定(表3)。C-1酸乳具有较差的感官状态,这可能是由于嗜热链球菌产香能力较差<sup>[19]</sup>,不能大量合成赋予酸乳独特风味物质的乙醛。HCT-1和HCT-2的感官综合评分较高,表明添加HCT菌株可以明显提高酸乳的色泽和组织状态,提高表面光滑感,减少乳清析出和颗粒感,并赋予酸乳合适的酸甜比例和较为醇香的气味和滋味。这说明HCT不仅可以合成大量EPS,并且可在和常规发酵剂菌种混合发酵时形成特有的风味物质,增加酸乳风味和滋味。霍艳荣<sup>[11]</sup>等的研究也表明,乳酸菌产生的黏性物质对产品的风味起着重要的作用。

表4 4种酸乳的质构分析结果

Table 4 Textural characteristics of four kinds of yogurt

酸乳	硬度/N	黏着性/N	弹性	凝聚性	胶黏性	咀嚼性	内聚性
C-1	0.80	11.12	0.94	0.24	0.20	0.30	0.65
HCT-1	0.68	10.12	0.76	0.25	0.17	0.13	0.80
C-2	0.59	9.02	0.98	0.45	0.27	0.26	0.74
HCT-2	0.82	12.83	0.94	0.43	0.35	0.33	0.75

注:弹性、凝聚性、胶黏性、咀嚼性以及内聚性均为质地剖面曲线中面积参数之比。

这可能是由于产黏菌株比常规菌株产生更多的EPS填充于酪蛋白之间,使空隙更致密,增加了一定的凝聚力。

表3 4种酸乳的感官评定结果

Table 3 Results of sensory evaluation of four kinds of yoghurt

酸乳	综合评分	评定结果
C-1	70.6	淡黄色,酸甜比例失调,有较重乳脂味和苦涩味,乳清析出严重,颗粒感较强。
HCT-1	88.8	乳白色,酸甜比例较适当,有较强的醇香气味,无苦涩味,表面光滑均匀,无乳清析出,组织细腻,无颗粒感。
C-2	83.2	淡黄色,酸甜比例较适当,有较轻苦涩味,表面有轻微裂纹,有较少乳清析出。组织较细腻,有一定的颗粒感。
HCT-2	90.9	乳白色,酸甜比例适当,具有较强的醇香气味,无苦涩味,表面光滑均匀,无乳清析出,组织细腻,无颗粒感。

#### 2.3.2 菌株HCT对酸乳质地的影响

采用TPA质地剖面分析法对不同菌株组合发酵酸乳的质构特性参数进行分析,结果表明:HCT-1除凝聚性和内聚性之外,其他指标均低于C-1;而HCT-2的硬度和黏着性均明显高于C-2,其他指标变化不大(表4)。这说明在单菌发酵剂中添加HCT菌株对酸乳的内部质构特性并无明显的改善,但在混合发酵剂中添加则能显著增加酸乳的硬度、黏着性以及咀嚼性。一般来说,产EPS菌株生产的酸乳,其硬度、黏附凝乳的强度和应力值随EPS产量的增加而下降<sup>[2]</sup>,但其固体系数却高于不产黏酸乳<sup>[14]</sup>,

对感官评定和质构参数的综合分析表明,添加产黏菌株HCT可以赋予酸乳良好的色泽和风味,使组织状态更加均匀细腻,颗粒感减少。虽然,在单

菌发酵剂基础上添加 HCT 菌株会降低酸乳的硬度、黏着性和弹性,但在混合发酵剂基础上添加则可以在很大程度上改善酸乳质地,提高酸乳黏度、硬度和胶黏性、咀嚼性,赋予其良好的感官特质。

### 3 结 论

HCT 和混合发酵剂配伍共同发酵生产酸乳时,不仅能促进菌株产酸,缩短发酵时间,而且菌株大量产生的 EPS 还可明显改善酸乳的质地特性;而在单菌发酵剂中添加 HCT 可使酸乳产酸变慢,延长发酵时间,对酸乳的质构特性参数无明显的改善。但添加 HCT 均能显著提高单菌和混合菌发酵酸乳的黏度,具有一定的抗剪切破坏作用,并赋予酸乳良好的色泽、口感和组织状态。

### 参 考 文 献

- [1] 朱峻岭,王磊,王建鑫. 2004 年国际酸奶市场发展及展望[J]. 中国乳业,2004(10):12-14
- [2] 罗玲泉,刘成国,黄永锋. 乳酸菌胞外多糖及其对酸乳品质的影响[J]. 食品工业科技,2007,28(6):233-236
- [3] 孟利,张兰威. 乳酸菌胞外多糖的生理功能及其在食品中的应用[J]. 现代食品科技,2005,21(4):133-136
- [4] Forsén R, Heiska E, Herva E, et al. Immunobiological effects of *Streptococcus cremoris* from cultured milk 'viili'; application of human lymphocyte culture techniques [J]. International Journal of Food Microbiology,1987,5(1):41-47
- [5] Girard M, Schaffer-Lequart C. Gelation and resistance to shearing of fermented milk: role of exopolysaccharides [J]. International Dairy Journal,2007,17:666-673
- [6] Yang Zhennai, Huttunen E, Staaf M, et al. Separation, purification and characterisation of extracellular polysaccharides produced by slime-forming *Lactococcus lactis* ssp. *cremoris* strains[J]. International Dairy Journal,1999,9:631-638
- [7] 刘依,韩鲁佳. 微波技术在板蓝根多糖提取中的应用[J]. 中国农业大学学报,2002,7(2):27-30
- [8] 李伟欣,程静,李平兰. 双歧杆菌 22-5 胞外多糖对酸乳品质的影响[J]. 食品科学,2006,27(12):118-122
- [9] 朱俊平. 乳及乳制品检验[M]. 北京:中国计量出版社,2006:141-142
- [10] van Marle M E, Zoon P. Permeability and rheological properties of microbially and chemically acidified skim-milk gels [J]. Netherlands Milk and Dairy Journal,1995,49:47-65
- [11] 沈辉,Subumuka C,Nzeyimana E,等. 酸乳发酵凝乳过程中的理化性质和生物活性[J]. 无锡轻工大学学报,2000,19(5):443-44
- [12] 霍艳荣,张兰威,高前欣. 产黏乳酸菌对酸奶品质的影响[J]. 食品研究和开发,2003,24(6):123-124
- [13] Amatayakul T, Halmos A L, Sherkat F, et al. Physical characteristics of yoghurts made using exopolysaccharide-producing starter cultures and varying casein to whey protein ratios[J]. International Dairy Journal,2006,16:40-51
- [14] Hassan A N, Ipsen 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
- [15] Amatayakul T, Sherkat F, Shah N P. Syneresis in set yogurt as affected by EPS starter cultures and levels of solids[J]. Society of Dairy Technology,2006,59(3):216-221
- [16] 李全阳. 酸乳质量及其胞外多糖的研究[D]. 无锡:江南大学,2004
- [17] 李全阳,夏水文. 酸乳流变学特性的初步研究[J]. 食品发酵和工业,2003,29(12):35-28
- [18] Ayala-Hernández I, Hassan A N, Goff H D, et al. Effect of protein supplementation on the rheological characteristics of milk permeates fermented with exopolysaccharide-producing *Lactococcus lactis* subsp. *Cremoris* [J]. Food Hydrocolloids,2009,23:1299-1304
- [19] 刘海霞,唐国民,姜中航,等. 几种直投发酵剂的使用比较[J]. 中国乳品工业,2001,29(5):45-47

(责任编辑:刘迎春)