

# 西藏灵菇中产胞外多糖嗜热链球菌的 分离筛选及其发酵性能测定

李 达<sup>1</sup>, 张 雪<sup>1</sup>, 张 莉<sup>1</sup>, 赵玉娟<sup>1</sup>, 牛春华<sup>1</sup>, 丛 培<sup>2</sup>, 杨贞耐<sup>1,\*</sup>

(1. 吉林省农业科学院农产品加工研究中心, 吉林 长春 130033; 2. 吉林省天景食品有限公司, 吉林 长春 130123)

**摘 要:** 从西藏灵菇中分离筛选、鉴定高产胞外多糖的乳酸菌菌株, 并对其发酵性能和流变学参数进行测试。筛选的 9 株菌, 菌种鉴定结果均为嗜热链球菌, 其中菌株 KC<sub>1</sub>、KC<sub>2</sub>、KC<sub>6</sub>、KC<sub>17</sub> 产胞外多糖, 菌株 KC<sub>5</sub>、KC<sub>7</sub>、KC<sub>15</sub>、KC<sub>16</sub>、KC<sub>22</sub> 不产胞外多糖。产胞外多糖菌株发酵乳发酵性能、黏度和黏附性指标均明显高于不产胞外多糖的嗜热链球菌, 进一步证实了嗜热链球菌产生的胞外多糖可以赋予发酵乳良好的质地。

**关键词:** 西藏灵菇; 乳酸球菌; 胞外多糖

## Isolation, Screening and Fermentation Performance of Exopolysaccharide-producing *Streptococcus thermophilus* from Tibetan Kefir

LI Da<sup>1</sup>, ZHANG Xue<sup>1</sup>, ZHANG Li<sup>1</sup>, ZHAO Yu-juan<sup>1</sup>, NIU Chun-hua<sup>1</sup>, CONG Pei<sup>2</sup>, YANG Zhen-nai<sup>1,\*</sup>

(1. Center for Agro-food Technology, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China;

2. Jilin Sky-Scenery Food Co. Ltd., Changchun 130123, China)

**Abstract:** In this study, 9 strains, KC<sub>1</sub>, KC<sub>2</sub>, KC<sub>5</sub>, KC<sub>6</sub>, KC<sub>7</sub>, KC<sub>15</sub>, KC<sub>16</sub>, KC<sub>17</sub> and KC<sub>22</sub>, were isolated and screened out from Tibetan kefir. All of the strains were identified as *Streptococcus thermophilus*. KC<sub>1</sub>, KC<sub>2</sub>, KC<sub>6</sub> and KC<sub>17</sub> were found to be capable of producing exopolysaccharides, while KC<sub>5</sub>, KC<sub>7</sub>, KC<sub>15</sub>, KC<sub>16</sub> and KC<sub>22</sub> had no such ability. The exopolysaccharide-producing strains presented better fermentation performance and fermented milks obtained with each of them had higher viscosity and adhesiveness when compared to the non-exopolysaccharide-producing strains, thus further demonstrating that exopolysaccharides from *Streptococcus thermophilus* can provide fermented milk with excellent texture.

**Key words:** Tibetan kefir; *Streptococcus thermophilus*; exopolysaccharide

中图分类号: TS252.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2011)13-0225-04

西藏灵菇是由多种微生物共生形成的一种不规则的、含有黏性多糖的粒状混合物<sup>[1]</sup>, 此混合物中栖息的多种乳酸菌、酵母菌、醋酸菌, 形成一个稳定的共生体系<sup>[2]</sup>。其中, 嗜热链球菌在食品工业中应用广泛, 被公认为安全的(generally regards as safe, GRAS)食品级微生物<sup>[3]</sup>。其培养发酵的乳酸饮品能补充人体内的有益菌群, 维持肠道菌群的平衡, 达到预防疾病和调节胃肠功能的目的<sup>[4]</sup>。并能为乳制品提供芳香风味和良好的质地<sup>[5]</sup>, 因此嗜热链球菌的研究已成为广大学者的研究热点。

乳酸菌胞外多糖是天然的生物增稠剂, 它可以替代

其他目前正在应用的、来源于非食品级微生物的稳定剂或增稠剂<sup>[6]</sup>。由于这类多糖具有对机体无毒副作用<sup>[7]</sup>, 来源安全可靠等优点, 已成为近年来研究的焦点。乳酸菌胞外多糖能提高酸乳的品质, 能有效地保持凝胶结构, 防止乳清析出<sup>[8]</sup>, 提高黏稠度、凝乳强度, 防止凝乳断裂<sup>[9]</sup>。本实验从西藏灵菇中分离嗜热链球菌, 利用物性分析仪分析由嗜热链球菌制备的发酵乳的质构特性, 通过对发酵时间、组织状态、风味、发酵乳黏度和黏附性等参数进行分析比较, 重点研究嗜热链球菌所产生的胞外多糖对发酵乳品质的影响。

收稿日期: 2010-10-25

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项(nycytx-0502); 国家自然科学基金项目(30600575); 吉林省科技厅重点项目(20080228)

作者简介: 李达(1980—), 男, 助理研究员, 本科, 研究方向为乳品微生物与乳品工艺。E-mail: jacken0000@163.com

\* 通信作者: 杨贞耐(1965—), 男, 研究员, 博士, 研究方向为乳品加工。E-mail: zyang@cjaas.com

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 西藏灵菇

西藏灵菇由吉林省农业科学院农产品加工中心实验室保存。

#### 1.1.2 培养基及试剂

还原脱脂乳培养基(Reconstituted skim milk, RSM)<sup>[10]</sup>: 将脱脂乳粉(购于新西兰恒天然乳业集团)按照 11g/100mL 用水还原制成脱脂乳培养基, 115℃灭菌 15min; M17 固体培养基、M17 液体培养基 青岛海博生物技术有限公司。

API 50 CH 培养基 生物梅里埃中国有限公司; 其他试剂均为市售分析纯。

#### 1.1.3 仪器与设备

Thermo CR3i 高速冷冻离心机 美国 Thermo Fisher Scientific 公司; TA.XT Plus 物性测定仪 英国 Stable Micro System 公司; OLYMPUS 生物显微系统 日本 Olympus 公司; PB-10 型酸度计 德国赛多利斯公司; MLS-3780 高压灭菌器 日本 Sanyo 公司; Cary 300 UV-VIS 分光光度计 美国 Varian 公司; BCN-1360B 型无菌超净工作台 哈尔滨市东联电子技术开发有限公司。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 乳酸球菌的分离筛选<sup>[11]</sup>

将西藏灵菇按 5g/100mL 的比例接种至 RSM 中, 于 37℃ 培养 18h 至牛乳凝固。取凝乳逐级稀释涂布于 M17 培养基平板, 37℃ 培养 24~48h, 待菌落形成后, 用接种环或接种针挑取可疑菌落, 接种于 M17 培养液中, 置 37℃ 培养 24~48h。待分离菌株生长良好后, 再次划线接种于 M17 培养基平板, 置 37℃ 培养 24~48h, 仔细观察菌落形态进行记录。接种 M17 液体培养基纯化增菌培养的同时进行涂片、革兰氏染色观察菌体形态和进行过氧化氢酶实验。记录总结以上实验结果, 并将革兰氏阳性、过氧化氢酶实验阴性双球状或链状排列的球菌暂定为乳酸菌。

#### 1.2.2 乳酸球菌属的鉴定

采用 API50CH 试条测定分析嗜热链球菌的碳水化合物发酵特性, 按 Snart<sup>[12]</sup>的方法操作。乳酸菌于 M17 琼脂平板上 37℃ 培养 48h, 用无菌牙签挑起部分菌落加入装有 2mL 无菌生理盐水的试管中, 制成浓的菌悬液(S); 打开悬液基物(5mL 无菌生理盐水)的试管, 加入少量上述浓菌(S)制得相当于 OD<sub>600nm</sub> ≈ 0.35 的菌悬液, 记录体积(V); 打开 API50CH 培养基的安瓿瓶, 加 2 倍该菌液接种。将已接种的 API50CH 培养基加入反应管中, 并用灭菌的液体石蜡油覆盖, 于 37℃ 厌氧培养 48h 后读取结

果。发酵结果提交到生物梅里埃中国有限公司, 根据 Analytic Products Inc.(API)数据库现存的数据判定实验结果。

#### 1.2.3 乳酸菌胞外多糖的提取及产量测定

乳酸菌胞外多糖的提取参照文献[13]方法进行。将筛选的乳酸菌分别接种于 RSM, 37℃ 培养 18h 活化 3 次, 再以 2% 接种量分别转接入 10mL RSM, 每菌株做 3 个重复, 37℃ 培养 18h, 于 100℃ 水浴加热 15min, 冷却。加入 80g/100mL 三氯乙酸溶液至终质量浓度为 4g/100mL, 室温搅拌 2h 后, 4℃、10000r/min 离心 30min 去除蛋白沉淀。取上清液加 20mL 冷无水乙醇, 4℃ 放置 12h, 4℃、10000r/min 离心 30min, 收集沉淀用 10mL 蒸馏水溶解, 4℃、10000r/min 离心 30min, 上清液加入 20mL 冷无水乙醇, 4℃ 放置 12h 后, 4℃、10000r/min 离心 30min, 沉淀用蒸馏水溶解定容至 10mL。

采用苯酚-硫酸法<sup>[14]</sup>测定多糖产量, 以葡萄糖为标准品制作标准曲线。葡萄糖标准曲线公式为:  $Y=0.8677X+0.0028$ , 式中:  $Y$  为样品吸光度  $A$ ;  $X$  为样品中胞外多糖质量浓度/(mg/L)。

#### 1.2.4 乳酸菌发酵性能测定

将筛选的菌株按体积分数 2% 接种于 RSM 中, 于 37℃ 水浴发酵。进行发酵性能(酸度、凝乳时间)测定, 同时对发酵培养物从组织状态和风味两方面进行感官评定。

##### 1.2.4.1 酸度测定<sup>[15]</sup>

测定时取 100mL 样品, 用蒸馏水稀释两倍, 以酚酞为指示剂, 用 0.1mol/L NaOH 溶液滴定, 按所消耗的氢氧化钠的毫升数表示, 消耗 1mL 为 1 吉尔涅尔度(°T)。

##### 1.2.4.2 发酵剂凝乳时间的测定<sup>[16]</sup>

以酸度达到 pH4.5 左右, 肉眼观察乳变黏稠, 呈凝胶状, 即已达到发酵终点, 记录培养至牛乳凝固的时间。

##### 1.2.4.3 感官评定

组织本实验室有酸奶品尝经验人员 20 名, 按表 1 样品感官评定标准进行定性评价。

表 1 样品感官评定标准  
Table 1 Criteria for sensory evaluation of fermented milk

项目	特征	评定等级
组织状态	组织细腻、均匀, 允许有少量乳清析出	好
	凝乳不均匀也不结实, 有乳清析出	一般
	凝乳不良, 有气泡, 乳清析出严重或乳清分离。	差
风味	有纯正的酸牛乳味, 酸甜适口, 有清香、纯正的酸乳味	好
	酸味过度或有其他不良滋味, 酸牛乳香气平淡或有轻微异味 有苦味、涩味, 有腐败味、霉变味、酒精发酵及其他不良气味	一般 差

1.2.5 发酵乳质构剖面测定<sup>[17]</sup>

将筛选的9株嗜热链球菌菌株分别接种于20mL RSM, 37℃培养6h。每株菌设3个重复。用TA.XT Plus物性测定仪进行测定<sup>[12]</sup>。测定探头: P/0.5, 测定参数: 测试前速度1.0mm/s, 测试速度1.0mm/s, 测试后速度10.0mm/s, 穿入距离15mm。选取发酵乳黏度和黏附性两个参数进行比较。

2 结果与分析

2.1 西藏灵菇中乳酸菌的分离和鉴定

本实验从西藏灵菇分离的9株菌, 镜检个体形态大小均一、呈球形或卵圆形、成对或链状排列, 其他生理生化实验结果如下: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>酶实验阴性, 革兰氏染色阳性, 硝酸盐还原实验阴性、无运动性、需氧或兼性厌氧生长、不液化明胶、不产生硫化氢和吲哚实验阴性, 并同时能在pH4.5和pH5.4乙酸盐琼脂培养基上生长, 因此初步鉴定为乳酸球菌<sup>[18-19]</sup>。结合表2 API 50 CH菌种鉴定系统结果进行属种鉴定, 9株乳酸球菌都能利用葡萄糖、蔗糖发酵, 而不能利用麦芽糖, 生化反应谱与嗜热链球菌最为接近, 因此将9株乳酸球菌鉴定为嗜热链球菌(*Streptococcus thermophilus*)。

表2 9株分离菌株API鉴定结果

Table 2 Identification results of nine strains by API

菌株编号	鉴定率/%	T值	菌株名称
KC <sub>1</sub>	99.1	0.89	嗜热链球菌
KC <sub>2</sub>	99.9	0.88	嗜热链球菌
KC <sub>5</sub>	99.9	0.83	嗜热链球菌
KC <sub>6</sub>	99.9	0.91	嗜热链球菌
KC <sub>7</sub>	77.5	0.77	嗜热链球菌
KC <sub>15</sub>	99.9	0.91	嗜热链球菌
KC <sub>16</sub>	99.9	0.91	嗜热链球菌
KC <sub>17</sub>	99.9	0.93	嗜热链球菌
KC <sub>22</sub>	99.9	0.93	嗜热链球菌

注: 鉴定百分率. 细菌鉴定百分率≥80%为可信结果; T值. 个体细菌反应模式与最典型的反应模式之比值。

2.2 乳酸菌胞外多糖产量的测定

表3 9株分离菌株胞外多糖产量测定结果

Table 3 Exopolysaccharide production by nine strains

菌株编号	胞外多糖产量/(mg/L)	菌株编号	胞外多糖产量/(mg/L)
KC <sub>1</sub>	133	KC <sub>15</sub>	—
KC <sub>2</sub>	129	KC <sub>16</sub>	—
KC <sub>5</sub>	—	KC <sub>17</sub>	111
KC <sub>6</sub>	162	KC <sub>22</sub>	—
KC <sub>7</sub>	—		

注: —. 胞外多糖产量无法测出。

由表3可知, 在RSM培养基中9株菌胞外多糖的产量差别较大, 其中菌株KC<sub>6</sub>胞外多糖的产量最高, 为162mg/L。KC<sub>1</sub>、KC<sub>2</sub>和KC<sub>17</sub>菌株胞外多糖的产量在110~140mg/L之间, 属于产胞外多糖能力较强的菌株。其余5株菌不产胞外多糖。

培养后进行拉丝实验, 其中黏性菌株4株, 分别为KC<sub>1</sub>、KC<sub>2</sub>、KC<sub>6</sub>、KC<sub>17</sub>。非黏性菌株5株, 分别为KC<sub>5</sub>、KC<sub>7</sub>、KC<sub>15</sub>、KC<sub>16</sub>、KC<sub>22</sub>。拉丝实验结果和各菌株产胞外多糖量相符合, 说明胞外多糖对发酵乳成品具有良好的拉丝性有着重要的作用<sup>[20]</sup>。

2.3 乳酸菌发酵性能测定

表4 乳酸菌发酵性能测定结果

Table 4 Fermentation performance of nine strains

项目	菌株编号								
	KC <sub>1</sub>	KC <sub>2</sub>	KC <sub>5</sub>	KC <sub>6</sub>	KC <sub>7</sub>	KC <sub>15</sub>	KC <sub>16</sub>	KC <sub>17</sub>	KC <sub>22</sub>
发酵乳酸度/(°T)	42.9	43.6	33.1	43.6	37.2	32.9	40.2	41.8	39.8
凝乳时间/min	210	210	260	200	260	200	260	200	260
组织状态	好	好	差	好	差	一般	一般	好	一般
风味	好	好	一般	一般	差	一般	一般	好	一般

从表4可以看出, 产胞外多糖菌株普遍比不产胞外多糖菌株凝乳时间短, 酸度高, 凝乳速度平均提高了34%左右, 菌株发酵性能强。组织状态方面, 产胞外多糖菌株凝乳状态细腻均匀, 乳清析出较少, 无气泡产生, 而不产胞外多糖菌株凝乳状态不理想, 质地松散, 乳清析出, 并产生大量气泡。胞外多糖对良好风味的产生有促进作用, 对风味物质起到保护作用, 能使其乳香物质损失降低。胞外多糖对菌株有一定保护能力, 对维持菌种活力有着很大的作用, 可以缩短发酵时间, 使其产香能力提高<sup>[21]</sup>, 因而有利于菌株在实际生产中的推广。Hassan等<sup>[22]</sup>研究表明, 用产胞外多糖的乳酸菌发酵制备的发酵乳, 其内部体系中所束缚水的质量分数均大于不产胞外多糖菌株制备的酸奶, 使脱水作用对乳固形物的影响降低。乳清析出是发酵乳内部凝胶网络的颗粒过度重排所造成的, 胞外多糖的产生起到了加快发酵乳凝胶重排速度, 增强凝胶结构的作用<sup>[5]</sup>。从而可以减少稳定剂的使用, 这对节约生产成本, 增加经济效益有着至关重要的作用。

2.4 发酵乳质构剖面分析

表5 分离菌株凝乳黏度和黏附性测试结果

Table 5 Viscosity and adhesiveness of fermented milks obtained with nine strains

项目	菌株编号								
	KC <sub>1</sub>	KC <sub>2</sub>	KC <sub>5</sub>	KC <sub>6</sub>	KC <sub>7</sub>	KC <sub>15</sub>	KC <sub>16</sub>	KC <sub>17</sub>	KC <sub>22</sub>
黏度/N	29.41	31.49	6.87	37.32	6.09	8.39	14.83	34.31	11.09
黏附性/(N·S)	19.12	22.69	3.15	28.95	2.69	4.59	10.44	25.93	8.78

如表5所示,产胞外多糖菌株KC<sub>1</sub>、KC<sub>2</sub>、KC<sub>6</sub>、KC<sub>17</sub>发酵乳的黏度和黏附性指标均高于不产胞外多糖菌株的发酵乳。黏度是发酵乳制品的重要性能指标,产胞外多糖菌株黏度平均比不产胞外多糖菌株提高了250%,在黏附性方面,产胞外多糖菌株平均比不产胞外多糖菌株提高了307%。产胞外多糖各菌株之间的黏度和黏附性也有一定差异,菌株KC<sub>6</sub>比KC<sub>1</sub>的黏附性提高了51%左右。

综合表4和表5可以看出,产胞外多糖菌株对发酵乳凝乳结构有很大改善,可增加发酵乳的黏稠度,使其凝乳结实、细腻、无乳清析出,在一定程度上可以替代酸奶增稠剂或稳定剂。产胞外多糖菌株胞外多糖产量提高,其发酵乳的质构指标如黏度和黏附性也提高。最近研究表明,产胞外多糖乳酸球菌在发酵乳酪蛋白网状结构形成时,胞外多糖填充到网状空隙中,形成支撑骨架的一部分,从而使凝胶结构更加牢固<sup>[23]</sup>。

另外,综合表3和表5可以看出,KC<sub>1</sub>、KC<sub>2</sub>、KC<sub>6</sub>、KC<sub>17</sub>胞外多糖产量各有差异,但产胞外多糖各菌株发酵乳之间的黏度和黏附性质构指标并不是随着多糖产量增加而越高。KC<sub>17</sub>多糖产量要低于KC<sub>1</sub>、KC<sub>2</sub>,但黏度和黏附性明显高于KC<sub>1</sub>、KC<sub>2</sub>。KC<sub>1</sub>和KC<sub>2</sub>多糖产量与质构指标之间也存在相同的关系。KC<sub>17</sub>产多糖量最多,发酵乳的黏度和黏附性指标也最高。这进一步说明胞外多糖产量多少并不是影响发酵乳质构的绝对因素。乳酸球菌可以合成分子质量、分子组成和结构不同的胞外多糖。Tuinier等<sup>[24]</sup>研究表明了乳酸球菌产胞外多糖的物理特性,其黏度由摩尔分子质量和聚合物大小决定。有相同的胞外多糖重复单元结构,但二者具有不同的摩尔分子质量,在发酵乳中具有不同的黏度表现。菌株胞外多糖分子链的刚度、带电情况和分子链分支情况与其发酵乳黏性特征有着密切的关系<sup>[25]</sup>。发酵乳中胞外多糖和质构之间的关系还有待于进一步研究证明。

### 3 结 论

3.1 以西藏灵菇为筛选材料,分离筛选得到9株典型菌株,进行生理生化实验并结合API 50 CH菌种鉴定系统,鉴定这9株菌均为嗜热链球菌。

3.2 采用苯酚-硫酸法测定,9株嗜热链球菌产胞外多糖的能力差别较大,菌株KC<sub>1</sub>、KC<sub>2</sub>和KC<sub>17</sub>胞外多糖的产量在110~140mg/L之间,菌株KC<sub>6</sub>胞外多糖的产量最高为162mg/L。其余5株菌不产胞外多糖。

3.3 产胞外多糖菌株发酵乳比不产胞外多糖菌株发酵乳凝乳时间短,菌株发酵活力强。同时组织状态细腻均匀,乳清析出较少,不产生气泡,风味更佳。

3.4 产胞外多糖菌株发酵乳的黏度和黏附性指标均高于不产胞外多糖菌株的发酵乳。菌株胞外多糖产量大小并不是影响发酵乳质构的绝对因素,同时还受不同的胞外

多糖分子链的刚度、带电情况和分子链分支等因素的影响。二者之间的关系仍需进一步探讨。

### 参考文献:

- [1] 刘宇峰,王金英,曲小军,等. 西藏灵菇菌的菌相菌学研究[J]. 中国乳品工业, 2005, 33(9): 35-39.
- [2] 杨宝兰,郑明珠. 开菲尔粒在牛乳中发酵特性的研究[J]. 中国医学检验杂志, 2004, 5(4): 308-309.
- [3] 孙强正,徐建国. 乳酸乳球菌食品级表达载体的研究进展[J]. 中国微生物学杂志, 2006, 18(3): 260-261.
- [4] 马成杰,华宝珍,杜昭平,等. 嗜热链球菌噬菌体对酸奶质量的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(21): 328-331.
- [5] CHAVES A, FERNANDEZ M, LERAYER A, et al. Metabolic engineering of acetaldehyde production by *Streptococcus thermophilus*[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2002, 68(11): 5656-5662.
- [6] DURLU-ÖZKAYA F, ASLIM B, ÖZKAYA M T. Effect of exopolysaccharides (EPSs) produced by *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* strains to bacteriophage and nisin sensitivity of the bacteria[J]. LWT-Food Science and Technology, 2007, 40(3): 564-568.
- [7] LEE J S, LEE K C, AHN J S, et al. *Weissella koreensis* sp., isolated from kimchi[J]. Int J Syst Evol Microbiol, 2002, 52(4): 1257-1261.
- [8] RUAS-MADIEDOX S, HUGENHOLTZ J, ZOON P. An overview of the functionality of exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria[J]. International Dairy Journal, 2002, 12(2/3): 163-171.
- [9] 刘慧,熊利霞,易欣欣,等. 藏灵菇中高产胞外多糖乳酸菌的筛选及其发酵性能的研究[J]. 食品科学, 2007, 28(5): 211-215.
- [10] TORINO M I, TARANTO M P, SESMA F, et al. Heterofermentative pattern and exopolysaccharide production by *Lactobacillus helveticus* ATCC 15807 in response to environmental pH[J]. Journal of Applied Microbiology, 2001, 91(5): 846-852.
- [11] 杨洁彬. 乳酸菌:生物学基础及应用[M]. 北京:中国轻工业出版社, 1996: 218-240.
- [12] SNART J E. Screening methods of probiotic *Lactobacilli* isolated from the pig intestine[D]. Edmonton: University of Alberta, 2001.
- [13] RIMADA P S, ABRAHAM A G. Comparative study of different methodologies to determine the exopolysaccharide produced by kefir grains in milk and whey[J]. Lait, 2003, 83(1): 79-87.
- [14] DUBOIS M, GILLES K A, HAMILTON H K, et al. Colorimetric method for determination of sugars and related substances[J]. Analytical Chemistry, 1956, 28(3): 350-356.
- [15] 中华人民共和国卫生部中国国家标准化管理委员会. GB/T 5009.4—2003 乳与乳制品卫生标准的分析方法[S]. 北京:中国标准出版社, 2003.
- [16] 刘慧,李兰平,熊利霞,等. 功能性开菲尔酸奶复合发酵剂的研制[J]. 食品科学, 2005, 26(12): 139-143.
- [17] YOON W, MCCARTHY K. Rheology of yoghurt during pipe flow as characterised by magnetic resonance imaging[J]. Journal of Texture Studies, 2003, 33: 431-444.
- [18] 东秀珠,蔡妙英. 常见细菌系统鉴定手册[M]. 北京:科学出版社, 2001: 453-500.
- [19] 凌代文. 乳酸菌分类鉴定及试验方法[M]. 北京:中国轻工业出版社, 1999: 130-131.
- [20] BROADBENT J R, MCMAHON D J, WELKER D L, et al. Biochemistry, genetics and applications of exopolysaccharide production in *Streptococcus thermophilus*: a review [J]. J Dairy Sci, 2003, 86(2): 407-423.
- [21] DUBOC P, MOLLET B. Applications of exopolysaccharides in dairy industry[J]. International Dairy Journal, 2001, 11(9): 759-768.
- [22] HASSAN A N, FRANK F J, SCHMIDT K A, et al. Rheological properties of yogurt made with encapsulated nonropy lactic cultures[J]. Journal of Dairy Science, 1996, 79(12): 2091-2097.
- [23] 杨贞耐,张雪. 乳酸菌胞外多糖的流变学特性和分子结构修饰[J]. 食品科学, 2007, 28(12): 535-538.
- [24] TUINIER R, ZOON P, COHEN-STUART M A, et al. Concentration and shear-rate dependence of an exocellular polysaccharide[J]. J Biopolymers, 1999, 50: 641-646.
- [25] TUINIER R, van CASTEREN W H M, LOOIJESTEIJN P, et al. Effects of structural modifications on some physical characteristics of exopolysaccharides from *Lactococcus lactis*[J]. J Biopolymers, 2001, 59(3): 160-166.