

# 可溶性大豆多糖在酸性乳饮料中的应用工艺 条件研究

杨忻怡, 舒成亮, 薛玉清, 余立意, 欧凯, 李言郡, 吴伟都, 马海然\*

(杭州娃哈哈饮料有限公司, 杭州 310018)

**摘要:** **目的** 研究不同工艺条件对含可溶性大豆多糖的酸性乳饮料的稳定性影响。**方法** 以产品离心沉淀率、粒径分布以及稳定性扫描结果为指标, 测定可溶性大豆多糖浓度、调酸温度、调酸终点 pH 和调酸前后均质工艺对产品稳定性的影响。**结果** 样品稳定性随着可溶性大豆多糖浓度增高而上升, 当大豆多糖浓度大于 0.3% 时稳定性随大豆多糖浓度升高变化不大; 样品稳定性随着调酸温度升高而降低; 样品在调酸终点 pH 为 3.75 时最稳定; 对于相同大豆多糖添加量的体系, 仅在调酸后进行均质的样品稳定性较好。**结论** 对于蛋白质含量约为 0.7% 的酸性乳饮料, 大豆多糖最优添加量为 0.3%, 调酸温度应在 20 °C 以下。如果需要在调酸前增加一道均质工艺可能需要调整大豆多糖用量。酸性乳饮料稳定性受调酸终点 pH 影响。

**关键词:** 可溶性大豆多糖; 酸性乳饮料; 稳定性

## Process conditions of soluble soybean polysaccharide in acidified milk drinks

YANG Xin-Yi, SHU Cheng-Liang, XUE Yu-Qing, YU Li-Yi, OU Kai, LI Yan-Jun,  
WU Wei-Du, MA Hai-Ran\*

(Hangzhou Wahaha of Beverage Co., Ltd., Hangzhou 310018, China)

**ABSTRACT: Objective** To study the effects of the processing technology on the stability of acidified milk drinks (AMDs) in the presence of soluble soybean polysaccharide (SSPS) as stabilizer. **Methods** With the sedimentation, particle size distribution as well as the turbiscan test results of the samples as indexes, the effects of the concentration of SSPS, acidification temperature, pH value and homogenization process before and after acidification on the stability of acidified milk drinks were determined. **Results** The stability of samples against sedimentation was improved with an increasing concentration of SSPS when the concentration was below 0.3 wt%. The stability of samples decreased as the acidification temperature increased. In addition, the acidified milk drinks showed the best stability at pH 3.75. The sample which was homogenized after the acidification process was more stable. **Conclusion** The addition of SSPS at the concentration of 0.3 wt%, acidification at temperature lower than 20 °C and homogenization process after acidification achieved the best stability of AMDs with 0.7% protein. If a homogenization process before acidification was added, the dose of soybean polysaccharides may need to be adjusted. Moreover, the stability of AMDs was affected by final pH value of products.

基金项目: 杭州市科技发展计划项目农业科技攻关专项(20140432B105)

**Fund:** Supported by Hangzhou Science and Technology Development Project (20140432B105)

\*通讯作者: 马海然, 博士, 主要研究方向为蛋白质化学, E-mail: hanran.ma@wahaha.com.cn

\*Corresponding author: MA Hai-Ran, Ph.D, Research and Development Centre, Hangzhou Wahaha Technology Co. Ltd., Hangzhou 310018, China. E-mail: hairan.ma@wahaha.com.cn

**KEY WORDS:** soluble soybean polysaccharide; acidified milk drinks; stability

## 1 引言

近年来, 清爽型酸性乳饮料由于其清爽的口感、丰富的营养和独特的风味受到广大消费者的喜爱。由于其 pH 低于酪蛋白的等电点, 会导致酪蛋白胶束间静电排斥作用减弱而导致体系失稳, 出现分层和沉淀。所以, 为了保持酸性乳饮料的稳定性, 通常通过添加稳定剂来实现<sup>[1]</sup>。而传统的稳定剂如果胶、羧甲基纤维素钠(CMC)、黄原胶等由于分子量比较大, 使产品粘度增大, 破坏了其清爽的口感, 而大豆多糖由于因其具有粘度低、热稳定性好等特点<sup>[2,3]</sup>, 在此类饮料中较为适用。

可溶性大豆多糖(soluble soybean polysaccharide, SSPS)是一种从大豆中提取的水溶性酸性多糖, 分子结构与果胶类似, 主要由半乳糖、阿拉伯糖、半乳糖醛酸、鼠李糖、木糖及葡萄糖等构成。其结构为以鼠李半乳糖醛酸和高聚半乳糖醛酸为主链、半乳糖和阿拉伯糖为侧链结合近似于球状的结构, 在溶液中呈紧密的无规线团构象, 具有酸性条件下对蛋白稳定作用、乳化作用、抗粘结性、成膜性、泡沫稳定性、抑制蛋白凝胶化及抗氧化特性等功能特性<sup>[4-6]</sup>。虽然 SSPS 与果胶结构类似, 但其与果胶对蛋白质的稳定机制不同<sup>[7]</sup>, 其在酸性乳饮料中的作用机制为: 当在低于酪蛋白等电点的酸性条件下, 酪蛋白带正电, 带负电的大豆多糖主链通过静电作用吸附在酪蛋白表面, 其支链的空间位阻作用阻止了酪蛋白的聚集, 从而提高了体系的稳定性<sup>[8]</sup>。

本研究以调配型酸性乳饮料为研究对象, 以产品的离心沉淀率、粒径分布和稳定性扫描图为主要判定指标, 讨论 SSPS 的添加浓度、调酸温度、调酸终点 pH 以及均质工艺对酸性乳饮料稳定性的影响, 从而探究 SSPS 在酸性乳饮料中的应用条件。

## 2 材料与方法

### 2.1 仪器与试剂

pH 计、分析天平(瑞士 Mettler-Toledo 公司); 均质机(德国 APV 公司); 离心机(德国 Eppendorf 公司); Mastersizer 2000 粒度分析仪(瑞士万通公司); Turbiscan AGS 全方位稳定性分析仪(法国 Formulacion 公司)。

脱脂奶粉(新西兰恒天然公司); 可溶性大豆多糖(福建味博食品有限公司); 白砂糖(北京糖业有限公司); 柠檬酸、柠檬酸钠(分析纯, 上海国药集团)。

### 2.2 实验方法

#### 2.2.1 调酸型乳饮料的生产工艺流程

脱脂粉 2%+大豆多糖+白砂糖 10%+柠檬酸钠 0.2%+

净化水→原料混合→冷却至调酸温度→调酸→定容→均质→杀菌→灌装。

操作要点: (1)配料: 将脱脂粉溶于 55 °C 净化水中, 并水合 30 min, 将大豆多糖溶解于 60 °C 净化水中, 冷却后与其他原料混合; (2)调酸: 将料液温度冷却至 20 °C, 用 30% 柠檬酸溶液调酸; (2)均质: 均质压力为 25 MPa; (3)杀菌: 杀菌温度为 95 °C, 时间为 10 min, 热灌。成品蛋白含量约为 0.7%。

#### 2.2.2 SSPS 添加量对酸性乳饮料稳定性的影响

在调酸温度为 20 °C, 调酸终点为 3.5, 仅在调酸后均质的条件下, 调整料液中 SSPS 浓度分别为 0.1%、0.2%、0.3%、0.4%和 0.5%。测定产品的离心沉淀率、粒度分布。

#### 2.2.3 调酸温度对酸性乳饮料稳定性的影响

大豆多糖添加量为 0.2%, 调酸终点为 3.5, 仅在调酸后均质的条件下, 把原料混合后, 调整调酸温度分别为 10、15、20、30 和 40 °C。测定产品的离心沉淀率和粒度分布。

#### 2.2.4 调酸终点 pH 对酸性乳饮料稳定性的影响

在大豆多糖添加量为 0.2%, 调酸温度为 20 °C, 仅在调酸后均质的条件下调整产品 pH 分别为 3.0、3.25、3.5、3.75、4、4.25 和 4.5。测定产品的离心沉淀率和粒度分布。

#### 2.2.5 调酸前后均质工艺对酸性乳饮料稳定性的影响

在大豆多糖添加量为 0.2%, 调酸温度为 20 °C, 调酸终点为 3.5 的条件下, 前道均质为在料液混合后, 调酸前增加的一道均质程序, 均质压力为 25 MPa, 均质后冷却至 20 °C 再进行调酸。后道均质为同工艺流程中在调酸之后进行的均质, 均质压力为 25 MPa。控制实验条件为: 仅进行前道均质、仅进行后道均质和同时进行前道均质和后道均质。测定产品的离心沉淀率、平均粒度分布并进行稳定性扫描。

#### 2.2.6 离心沉淀率测定

取 40 mL 离心管, 称取管重为  $W_1$ , 称取一定量样品  $W_2$ , 放入离心机在 20 °C 条件下以 3000 r/min 离心 15min, 去除上层液体, 倒置 15 min 后称其重量为  $W_3$ 。离心沉淀率  $= (W_3 - W_1) / W_2 \times 100\%$ 。离心 3 次取平均值。

#### 2.2.7 平均粒度大小测定

取样品用 Mastersizer 2000 粒度分析仪测定样品中粒子大小分布情况, 样品用去离子水按 1:1000(w:w)稀释后, 根据文献设定相关操作参数<sup>[9]</sup>, 即温度为 25 °C, 泵速: 2200 r/min, 颗粒折射率为 1.52, 颗粒吸收率为 0.1, 分散剂为水, 分散剂折射率为 2.33。

#### 2.2.8 稳定性扫描

用 Turbiscan 稳定分析仪进行稳定性分析, 仪器参数设置为: 温度为  $(25 \pm 0.5)$  °C, 连续性扫描程序为每 1 h 扫描一次, 连续扫描 24 h。

### 3 结果与分析

#### 3.1 SSPS 添加量对酸性乳饮料稳定性的影响

从图 1 得知, 当 SSPS 添加量介于 0.1% 到 0.5%, 成品中沉淀量随着 SSPS 增加先减少后增多。沉淀量在 SSPS 含量为 0.3% 的时候最少, 为 0.240%。当 SSPS 含量大于 0.4% 时, 沉淀量并没有随着 SSPS 含量增多而继续减少。从图 2 的粒径分布图上看出, 当 SSPS 含量大于 0.2% 时候粒径分布稳定在 0.1~0.8  $\mu\text{m}$  之间, 随着 SSPS 浓度增加变化不大, 在 SSPS 添加量为 0.3% 时候, 粒径在较小值分布稍多。说明当 SSPS 含量为 0.3% 时候, 已经能足够覆盖酪蛋白表面以稳定体系。

#### 3.2 调酸温度对酸性乳饮料稳定性的影响

从图 3 可知, 在 10~40  $^{\circ}\text{C}$  的范围内, 成品的沉淀率随着调酸温度升高和增加, 并且调酸温度在 20  $^{\circ}\text{C}$  以上时沉淀率随着温度升高的增幅增大, 样品沉淀率受温度影响变大。从粒径分布(图 4)中看出, 在调酸温度低于 20  $^{\circ}\text{C}$  时, 粒径分布主要在 0.1~1  $\mu\text{m}$  之间; 当调酸温度高于 20  $^{\circ}\text{C}$ , 粒径大于 1  $\mu\text{m}$  的比例随着调酸温度升高而增加, 粒径 k 分布变大。根据 Stocs 定律可知, 颗粒粒径减小可降低微粒沉降速率, 从而使体系稳定性提高<sup>[10]</sup>。因为 SSPS 与酪蛋白之间的作用为静电作用, 温度升高会削弱该作用, 使两者之间作用力减弱, 在高温的条件下调酸, 会导致酪蛋白胶束之间的凝聚<sup>[1]</sup>。其次, 随着温度的升高, 蛋白质的疏水作用增强, 蛋白质更易聚集<sup>[11]</sup>。温度升高, 布朗运动速率增快, 分子间碰撞的几率也增大, 也造成蛋白质凝集, 沉淀率上升。在制作该调酸型酸性乳饮料过程中, 调酸温度应该控制在 20  $^{\circ}\text{C}$  以下。

#### 3.3 调酸终点 pH 对酸性乳饮料稳定性的影响

改变调酸终点 pH 为 3~4.5, 成品沉淀率如图 5 所示, 当终点 pH 从 3 升高至 3.75 时, 离心沉淀率变化不大, 当终点 pH 升到 3.75 时, 沉淀率下降至最低值为 0.157%, 当终

点 pH 超过 3.75 时, 离心沉淀率随 pH 上升迅速增加。由图 6 粒径分布图显示, 在终点 pH 小于 3.75 时, 粒径主要分布在 0.1~0.8  $\mu\text{m}$  之间, 在终点 pH 大于 3.75 时, 粒径分布范围变大, 粒径增大。在调酸过程中, 随着 pH 降低, 酪蛋白之间静电作用降低, 但随着大豆多糖通过静电作用吸附在带正电酪蛋白表面, 通过空间位阻防止酪蛋白凝聚沉淀, 所以沉淀率降低。而随着 pH 进一步降低, 带正电的酪蛋白粒子与大豆多糖阴离子基团的作用力减弱而造成沉淀率略上升。

#### 3.4 调酸前后均质工艺对酸性乳饮料稳定性的影响

均质工艺对酸性乳饮料沉淀率的影响见图 7。由图 7 知, 调酸后均质与调酸前后两次均质的沉淀率较为接近, 分别为 0.216% 和 0.218%, 而仅进行调酸前均质的产品沉淀率较高, 为 0.266%。而粒径分布显示(见图 8), 仅进行调酸前均质的样品的粒径分布范围最广, 粒径最大。比较仅进行调酸后均质与进行调酸前后两次均质的样品, 调酸前

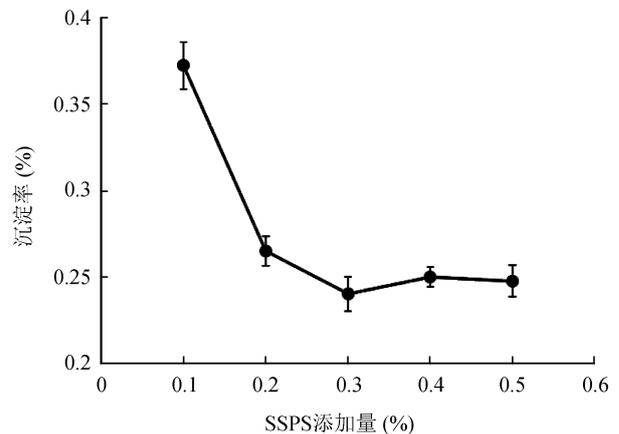


图 1 不同 SSPS 添加量对酸性乳饮料沉淀率的影响( $n=3$ )  
Fig. 1 Effect of the concentration of SSPS on the sedimentation rate of acidified milk drinks ( $n=3$ )

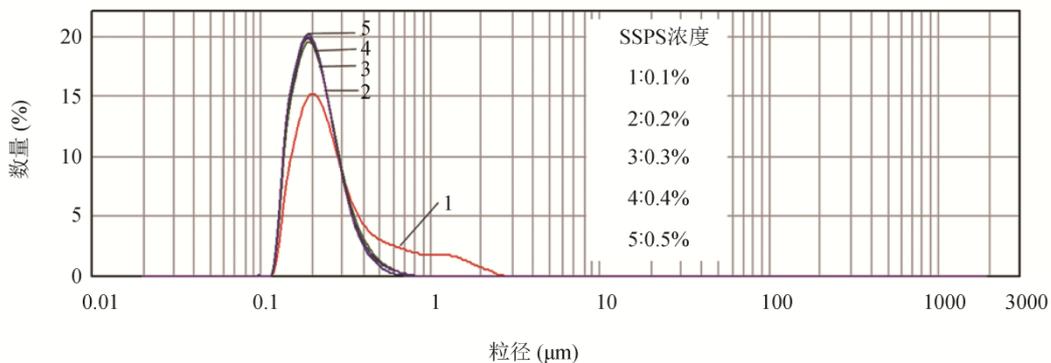


图 2 不同 SSPS 添加量对酸性乳饮料粒径分布的影响  
Fig. 2 Effect of the concentration of SSPS on the particle size distribution of acidified milk drinks

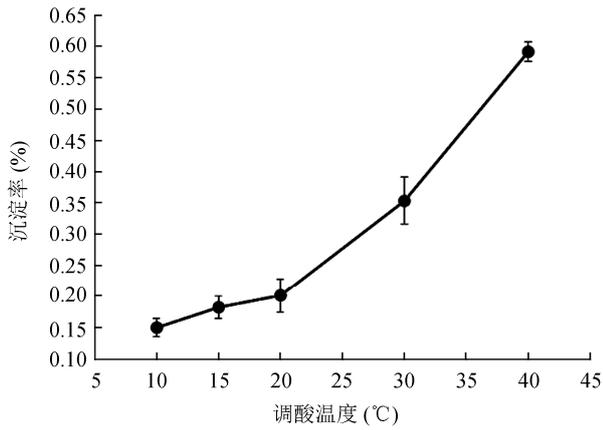


图 3 调酸温度对酸性乳饮料沉淀率的影响(n=3)

Fig. 3 Effect of the acidification temperature on the sedimentation of acidified milk drinks (n=3)

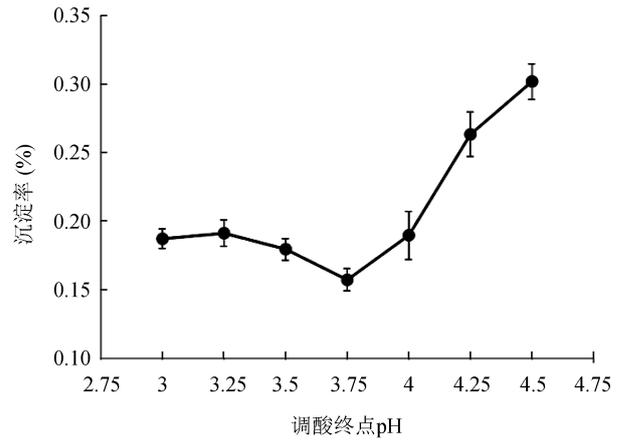


图 5 调酸终点 pH 对酸性乳饮料沉淀率的影响(n=3)

Fig. 5 Effect of the pH value on the sedimentation of acidified milk drinks (n=3)

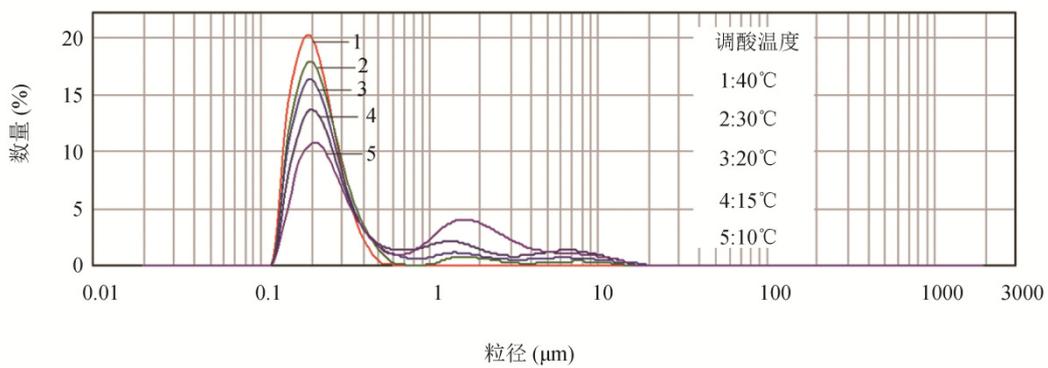


图 4 调酸温度对酸性乳饮料粒径分布的影响

Fig. 4 Effect of the acidification temperature on the particle size distribution of acidified milk drinks

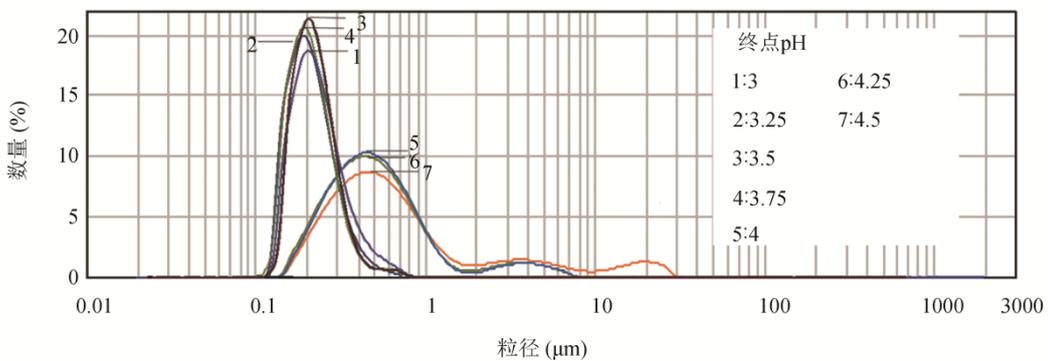


图 6 调酸终点 pH 对酸性乳饮料粒径分布的影响

Fig. 6 Effect of the pH value on the particle size distribution of acidified milk drinks

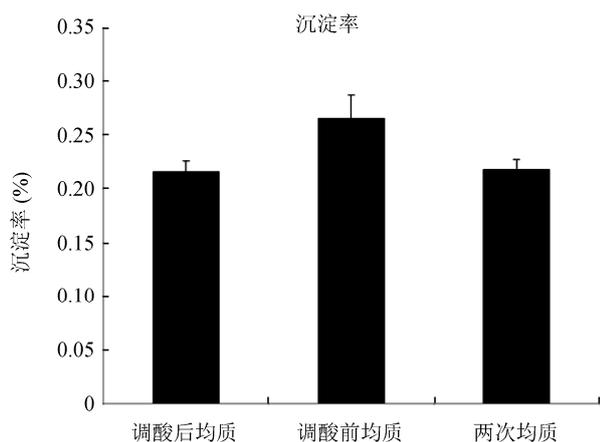


图7 均质工艺对酸性乳饮料沉淀率的影响( $n=3$ )

Fig. 7 Effect of the process of homogenization on the sedimentation of acidified milk drinks ( $n=3$ )

后进行两次均质的样品在粒径大于  $1\ \mu\text{m}$  的分布较仅进行调酸后均质的样品少, 但粒径在较大值的比率比后者高。高压均质在使产品中物料均匀分散的同时, 也可以使蛋白质分子的结构发生改变, 分子的立体结构打开, 有利于分子间相互作用, 而且均质还可以使大豆多糖的分子结构伸展开来, 使其可以更好地起到稳定作用<sup>[12]</sup>。但两次均质会过多破坏大豆多糖与酪蛋白形成的聚集体, 并增大了酪蛋白的比表面积, 大豆多糖不足覆盖其表面, 使其稳定性降低。如果要在调酸前增加均质工艺, 则需要调整大豆多糖用量。

基于多重光散射技术的稳定性分析仪工作原理主要是根据反射物理模型和透射物理模型, 背散射光的变化率可以反映体系的均一程度、颗粒大小和浓度, 据此判断体系的稳定性<sup>[13]</sup>。曲线之间光强值变化越大表示体系越不稳定<sup>[14]</sup>。利用 Turbiscan 进行稳定性分析, 左边代表样品底部, 右边代表样品顶部, 左边曲线向上移动则代表沉淀, 向下移动则代表水析; 右边顶部曲线向上则代表脂肪上浮; 向下移动则代表水析; 曲线中间波动较大则说明体系有聚团现象<sup>[15]</sup>。

由图9稳定性扫描也可知, 仅进行调酸前均质的样品底部沉淀最严重, 顶部出现比较严重水析与脂肪上浮。扫描曲线间差异最大, 体系最不稳定。而另外两个方案对比, 仅进行调酸前均质的样品底部出现沉淀与水析, 上浮层下方有较大范围澄清, 而均质两次的样品出现底部沉淀、顶部水析与脂肪上浮。

#### 4 结论

由本研究可知, 大豆多糖能在酸性乳饮料体系中起稳定性作用, 酸性乳饮料体系的稳定性和粒径分布受到大豆多糖浓度、调酸温度、调酸终点 pH、均质工艺等因素的影响, 其中, 调酸温度影响效果最为明显。在该蛋白质含量为 0.7% 的酸性乳饮料体系中, 大豆多糖最优浓度为 0.3%, 调酸温度应在  $20\ ^\circ\text{C}$  以下。如果需要在调酸前增加均质工艺以达到更稳定、粒径更小的体系, 可能需要调整配方中大豆多糖含量等以适应新工艺。Turbiscan 稳定分析仪的结果与离心沉淀、粒径分布结果相同, 是一种快速准确判定稳定性的手段。

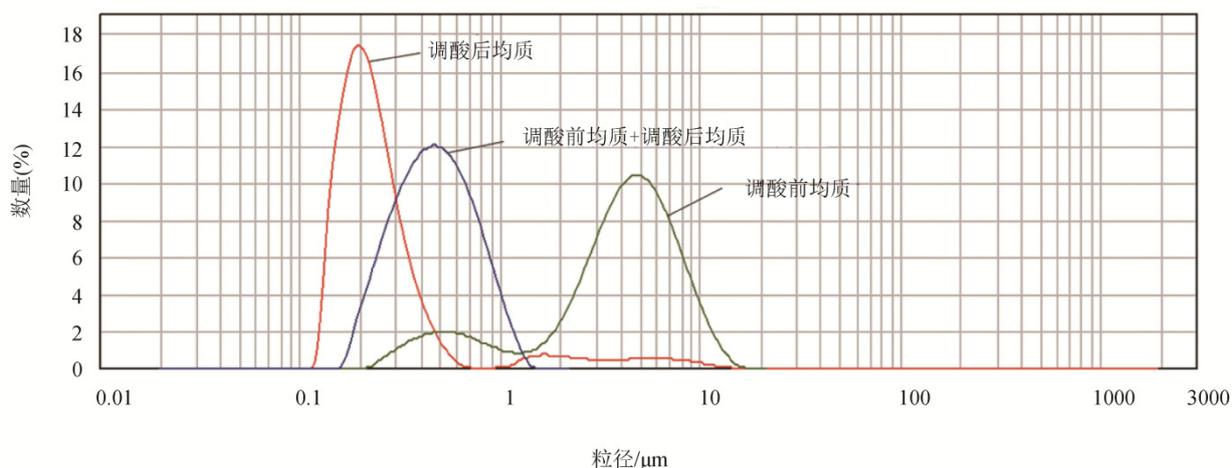


图8 均质工艺对酸性乳饮料粒径分布的影响

Fig. 8 Effect of the process of homogenization on the particle size distribution of acidified milk drinks

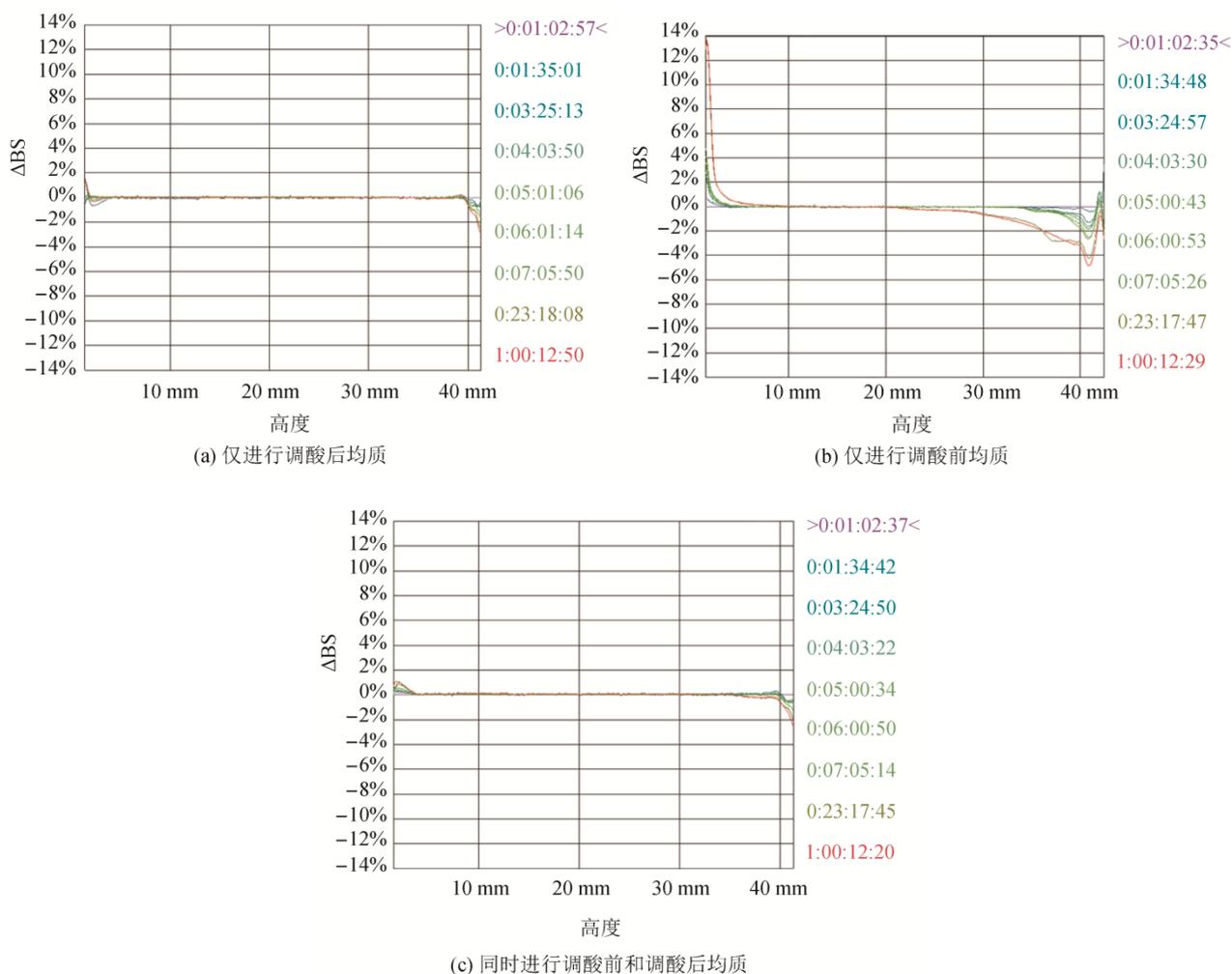


图 9 不同均质工艺所得酸性乳饮料稳定性的扫描图

Fig. 9 Turbiscan test results of acidified milk drinks using different homogenization processes

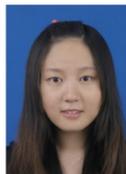
## 参考文献

- [1] 姚晶, 孟祥晨. 羧甲基纤维素钠及酸性乳饮料加工工艺对其稳定性及粒径分布的影响[J]. 中国乳品工业, 2008, (7): 40-43.  
Yao J, Meng XC. Effect of CMC and processing technology of acid milk drink on its stability and particle size distribution [J]. Chin Dairy Ind, 2008, (7): 40-43.
- [2] Maeda H, Nakamura A. Soluble soybean polysaccharide. Handbook of Hydrocolloids [M]. UK: Woodhead Publishing Limited, 2009
- [3] 张晓华, 任晨刚, 郭顺堂. 可溶性大豆多糖的提取工艺及其应用研究[J]. 大豆科学, 2006, 25(1): 28-31.  
Zhang XH, Ren CG, Guo ST. Research on the extraction process of soybean soluble polysaccharide and its application [J]. Soybean Sci, 2006, 25(1): 28-31.
- [4] 杨晓泉, 齐军茹, 司华静, 等. 大豆多糖的研究进展及在含乳饮料、米面等食品上的应用[J]. 中国食品添加剂, 2008, (3): 135-139.  
Yang XQ, Qi JR, Si HJ, et al. Research on soybean soluble polysaccharide and its application in food industry [J]. Chin Food Addit, 2008, (3): 135-139.
- [5] 杨慧娇, 蔡志祥, 张洪斌, 等. 水溶性大豆多糖的分子表征和溶液流变学性质[J]. 食品科学, 2016, 37(1): 1-5.  
Yang HJ, Cai ZX, Zhang HB, et al. Molecular characterization of soluble soybean polysaccharide and rheological properties of its aqueous solution [J]. Food Sci, 2016, 37 (1): 1-5.
- [6] 赵国志, 刘喜亮, 刘智锋. 水溶性大豆多糖类开发与应用[J]. 粮食与油脂, 2006, (8): 15-17.  
Zhao GZ, Liu XL, Liu ZF. Development and application of soybean polysaccharides [J]. J Cereals Oils, 2006, (8): 15-17.
- [7] Nakamura A, Furut H, Kato M, et al. Effect of soybean soluble polysaccharides on the stability of milk protein under acidic conditions [J]. Food Hydrocolloid, 2003, 17(3): 333-343.
- [8] Nakamura A, Yoshida R, Maeda H, et al. The stabilizing behaviour of soybean soluble polysaccharide and pectin in acidified milk beverages [J]. Int Dairy J, 2006, 16(4): 361-369

- [9] Chen JS, Dickson E. Protein/surfactant interfacial interactions Part 1. Flocculation of emulsions containing mixed protein surfactant [J]. *Colloid Surfaces A*, 1995, 100: 255–265.
- [10] 李静, 杜柏桥, 黄龙, 等. 羧甲基纤维素钠溶液的流变性质及其在酸性乳饮料中的应用[J]. *食品科学*, 2007, 28(11): 56–59.  
Li J, Du BQ, Huang L, *et al.* Rheological properties of CMC aqueous solution and its application in stabilization on acidified milk drinks [J]. *Food Sci*, 2007, 28(11): 56–59.
- [11] 谢笔钧. *食品化学*[M]. 北京: 科学出版社, 2011  
Xie BJ. *Food chemistry* [M]. Beijing: Science Press, 2011
- [12] 张亦澜. 可溶性大豆多糖在酸性蛋白饮料中的应用研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2013.  
Zhang YL. Application research on soluble soybean polysaccharides in acidic protein drink [D]. Shanghai: East China Normal University, 2013.
- [13] 杭锋, 艾连中, 郭本恒, 等. 多重光散射技术在乳体系稳定性分析中应用[J]. *中国乳品工业*, 2012, (10): 36–41.  
Hang F, Ai LZ, Guo BH *et al.* Application of multiple lightscattering on stuy the stabilization of milk system [J]. *Chin Dairy Ind*, 2012, (10): 36–41
- [14] 吕长鑫, 李萌萌, 徐晓明, 等. 利用 Turbiscan 稳定性分析仪检测紫苏酸性乳饮料乳化稳定性[J]. *中国食品学报*, 2016, (2): 239–245.  
Lv CX, Li MM, Xu XM *et al.* Analysis of stability of acid purple perilla beverage by the Turbiscan Lab dispersion stability analyzer [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2016, 14(4): 239–245
- [15] 王蔚瑜, 周雪松, 钟秀娟, 等. 利用 Turbiscan Lab 分散稳定性分析仪研究灭菌型褐色饮料稳定性[J]. *中国食品添加剂*, 2016, (2): 137–140.  
Wang WY, Zhou XS, Zhong XJ, *et al.* Study on the stability of sterilized brown beverage by the turbiscan lab dispersion stability analyzer [J]. *Chin Food Addit*, 2016, (2): 137–140.

(责任编辑: 姚菲)

## 作者简介



杨忻怡, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品技术。

E-mail: yangxinyinj@126.com



马海然, 博士, 主要研究方向为蛋白质化学。

E-mail: hairan.ma@wahaha.com.cn