

海藻酸钠在中性高钙乳中的应用研究

刘艳^{1,2*}, 于清涛^{1,2}, 褚少兴^{1,2}, 柳震^{1,2}, 逢锦龙^{1,2}, 范素琴^{1,2}, 陈鑫炳^{1,2}, 王晓梅^{1,2}

¹青岛明月海藻集团有限公司, 海藻活性物质国家重点实验室, 山东 青岛

²青岛海藻生物科技创新中心, 山东 青岛

Email: *yan.liu@bmsg.com

收稿日期: 2021年7月20日; 录用日期: 2021年8月20日; 发布日期: 2021年8月24日

摘要

牛奶中蛋白质含量越高或者在添加一些钙强化剂后, 产品变得不稳定, 货架期容易出现脂肪上浮、蛋白质沉淀及絮凝等现象, 海藻酸钠能够与钙离子形成稳定的盐键而提供良好的空间结构。因此, 本实验主要研究海藻酸钠对中性高钙乳的稳定效果, 结果表明, 0.06%海藻酸钠、0.05%乳钙以及0.06%三聚磷酸钠在中性高钙乳中进行复合使用, 能够产生协同增效作用, 使产品达到比较理想的乳化分散效果。

关键词

海藻酸钠, 高钙乳, 稳定性

Study on the Application of Sodium Alginate in Neutral High Calcium Milk

Yan Liu^{1,2*}, Qingtao Yu^{1,2}, Shaoxing Chu^{1,2}, Zhen Liu^{1,2}, Jinlong Pang^{1,2}, Suqin Fan^{1,2}, Xinbing Chen^{1,2}, Xiaomei Wang^{1,2}

¹Qingdao Mingyue Seaweed Group Co., Ltd., State Key Laboratory of Seaweed Active Substances, Qingdao Shandong

²Qingdao Seaweed Biotechnology Innovation Center, Qingdao Shandong

Email: *yan.liu@bmsg.com

Received: Jul. 20th, 2021; accepted: Aug. 20th, 2021; published: Aug. 24th, 2021

Abstract

The higher the protein content in milk or the addition of some calcium fortifier, the product will be unstable, and unstable phenomena such as fat floating, protein precipitation, and flocculation are likely to occur in the shelf life. Sodium alginate can provide a good spatial structure for calcium ions to form stable salt bonds. Therefore, this experiment mainly studies the stabilization effect of sodium alginate on neutral high calcium milk. The results show that the combined use of

*通讯作者。

文章引用: 刘艳, 于清涛, 褚少兴, 柳震, 逢锦龙, 范素琴, 陈鑫炳, 王晓梅. 海藻酸钠在中性高钙乳中的应用研究[J]. 食品与营养科学, 2021, 10(3): 258-267. DOI: 10.12677/hjfn.2021.103030

0.06% sodium alginate, 0.05% milk calcium, and 0.06% sodium tripolyphosphate in neutral high calcium milk can produce a synergistic effect and make the product achieve a relatively ideal emulsifying and dispersing effect.

Keywords

Sodium Alginate, High Calcium Milk, Stability

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

钙是人体中含量最多的矿物元素之一，中国营养协会推荐成人每日钙的摄入量为 800 mg，但全国第 3 次营养调查结果显示，我国日常膳食中钙的含量仅达推荐量的一半，人们缺钙现象普遍存在，尤其是中老年人和绝经后的妇女，缺钙的情况更为严重。因此，对我国居民进行普遍、合理的补钙是迫切需要而且是必要的。基于这一现象而研制出了高钙奶，中性高钙液体奶是一种强化钙奶，钙含量可达 2~5 g/L。所添加的钙剂有分子钙和离子钙两类。目前市面上的高钙奶中的钙剂普遍采用离子钙，但由于牛奶中的酪蛋白对钙离子非常敏感，离子钙会引起吸附在乳状液界面的酪蛋白之间产生桥连絮凝，因而目前市面上的高钙奶中的钙剂普遍采用分子钙剂(如碳酸钙和乳钙) [1] [2] [3] [4] [5]。

海藻酸是一种天然高分子羧酸，它与金属钠离子结合形成海藻酸钠，海藻酸钠是一种亲水性胶体，易溶于水，形成粘稠的溶液[6]。海藻酸钠的交联剂为钙离子，海藻酸钠水溶液的交联和凝胶化主要通过

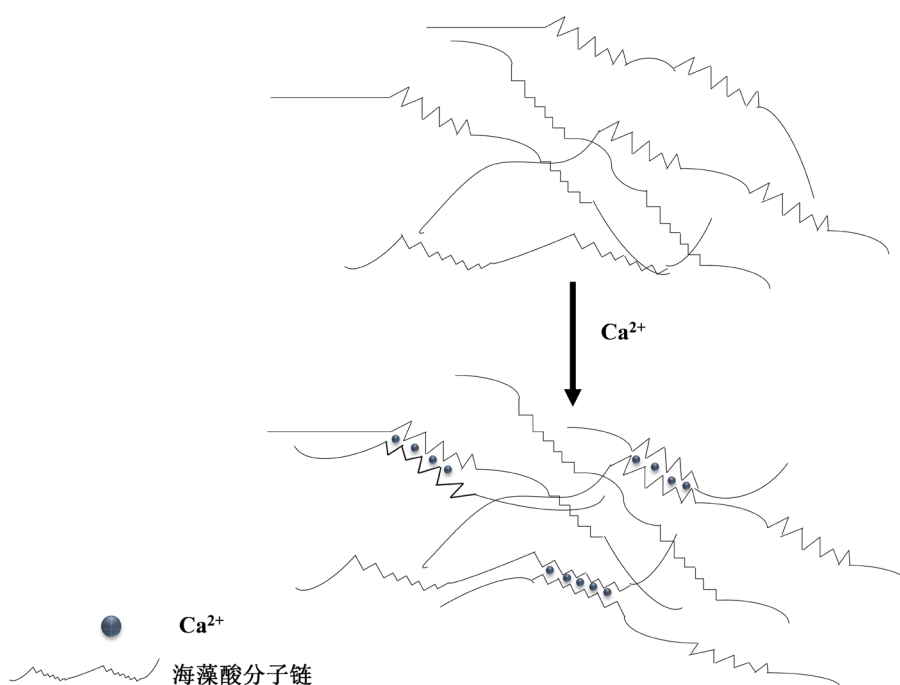


Figure 1. The structure of the “egg box” formed by the combination of alginic acid and calcium ions

图 1. 海藻酸与钙离子结合形成的“鸡蛋盒”结构

古罗糖醛酸中的钠离子与二价阳离子交换而成。如图 1 所示, 二价钙离子与两个海藻酸单体中的羧酸基结合, 形成分子间的交联结构。在与古罗糖醛酸结合时, 钙离子被包围在两个 G 单体之间形成的空穴结构中, 形成稳定的盐键。由于甘露糖醛酸的结构呈扁平状, 其与钙离子形成的盐键不稳定, M 含量高的海藻酸钠成胶能力比 G 含量高的海藻酸差。当含有大量的 G 和 M 单体的海藻酸大分子与钙离子接触后, GG 链段为钙离子提供了良好的空间结构而形成稳定的盐键, 钙离子被包裹在两个相邻 GG 链段之间的三维网络中, 形成了一个典型的“鸡蛋盒”结构[7] [8]。

牛奶中蛋白质含量越高或者添加一些钙强化剂后, 产品会不稳定, 货架期内容容易出现脂肪上浮、蛋白质沉淀以及絮凝等不稳定现象[9], 并且随着时间的延长, 这些现象可能更加严重, 因此, 我们认为高钙牛奶在制作过程中添加一定量的海藻酸钠, 有助于两者交联原位生成海藻酸盐颗粒, 生成的粒子将作为蛋白质网络的填充剂, 有助于改善高钙奶中容易出现的一些不稳定现象[10]。本次研究主要探究海藻酸钠添加到高钙奶产品中是否能够改善以上所提到的问题。

2. 材料与方法

2.1. 主要实验材料

生牛乳(新希望乳业有限公司), 海藻酸钠(粘度 546 mpa.s, 青岛明月海藻集团有限公司), 三聚磷酸钠(青岛明月海藻集团有限公司), 单、双甘油脂肪酸酯(广州嘉德乐), 乳钙(深圳乐芙生物科技有限公司)。

2.2. 主要实验仪器设备

电子天平(METTLER TOLEDO); 分散机(IKA); 悬臂搅拌器(IKA); 恒温水浴锅(优来博); 高压均质机(APV); 高温灭菌锅(ALP); 粘度计(博勒飞); 高速离心机(湘仪); 稳定性分析仪(德国 LUMI)。

3. 实验过程

3.1. 调制乳制作的工艺流程

生牛乳预热→合奶→预热、均质→灭菌→冷却、检测。

3.2. 具体实验操作过程

3.2.1. 生牛乳预热

根据产品蛋白质含量, 称取一定质量的生牛乳, 放置在水浴锅中预热至 50℃~55℃。

3.2.2. 合奶

按配方称取一定质量的海藻酸钠及其他添加剂, 在剪切机作用下(10,000 r/3 min)溶于预热好的生牛乳中, 使海藻酸钠在剪切作用下与其充分混匀。

3.2.3. 预热、均质

剪切后的牛奶定容到 500 mL, 定容完毕后在水浴锅中预热至 60℃~65℃, 进行 200 bar 冷均质, 均质后的样品倒入高温灭菌瓶中。

3.2.4. 灭菌

样品于高温灭菌锅中 121℃, 灭菌 1 min。

3.2.5. 冷却、检测

将样品置于冷水中冷却至室温后, 进行粘度、离心测试及进行稳定分析。

3.2.6. 检测指标

1) 粘度指标的检测

选取 2 号转子, 选择转速 60 RPM, 将转子调节至适合位置, 进行测量, 记录中性乳的粘度和此时中性乳的温度, 根据温度选取适合校正系数, 计算实际粘度; 计算公式(以 20℃为例): 20℃时粘度 = 实测粘度/实测温度校正系数。

2) 离心沉淀率指标的检测

称量离心管的质量(m_0 , g), 取 40 mL 样品于离心管中, 称量总质量(m_1 , g)。在 2500 g 力作用下离心 20 min, 倒掉上清液后倒立放置 10 min, 称取底部沉淀重量(m_2 , g); 计算公式: 离心沉淀率 = $(m_2 - m_0)/(m_1 - m_0) \times 100\%$

3) 货架期实验

样品置于室温, 于放置第 7、15、30 天时进行观察, 并记录样品状态。

4) 稳定系数的测定

分析仪器参数: 扫描光频: 840 nm; 离心转速: 4000 R/min; 扫描光强: 1 倍; 温度: 25℃; 扫描间隔: 30 s/次; 扫描次数: 255; 扫描时间: 2 h 7 min。

3.3. 单一添加剂对蛋白 3.0% 调制乳饮料的影响

3.3.1. 不同添加量海藻酸钠在蛋白 3.0% 调制乳中的效果测试

海藻酸钠添加量为 0、0.02%、0.04%、0.06%、0.08%、0.10% 及 0.12%。

3.3.2. 不同添加量单双甘油脂肪酸酯对蛋白 3.0% 调制乳的效果测试

单双甘油脂肪酸酯添加量为 0.03%、0.05%、0.08%、0.10%、0.15% 及 0.20%。

3.3.3. 三聚磷酸钠添加在蛋白 3.0% 调制乳中的效果测试

三聚磷酸钠添加量为 0、0.02%、0.04%、0.06%、0.08% 及 0.10%。

3.3.4. 乳钙添加在蛋白 3.0% 调制乳中的效果测试

乳钙添加量为 0.05%、0.10%、0.15%、0.20% 及 0.25%。

3.4. 复配稳定剂对高钙调制乳饮料稳定性的影响

从 2.3 实验结果可以看出, 海藻酸钠对蛋白含量为 3.0% 的调制乳有很好的增稠作用, 这种效果主要是海藻酸钠和钙离子相互作用产生, 本实验继续探究海藻酸钠能否与乳钙相互作用, 用于含乳钙的高钙奶产品中。乳化剂单一作用时产品的乳化效果和稳定性都不佳, 因此从乳化剂分子的构象进行分析, 其亲水基团的结构有线性 and 环形之分, 将这两类构象不同的基团合理搭配使用可以产生优势互补。最终确定各成分添加量如下: 海藻酸钠 0.04%、0.06%、0.08%, 单双甘油脂肪酸酯 0.15%、乳钙 0.10%、0.15%、0.20%, 三聚磷酸钠 0.06%、0.08%、0.10%, 正交实验因素水平表如表 1 所示。

Table 1. Orthogonal experiment factor level table

表 1. 正交实验因素水平表

水平	添加量/%		
	海藻酸钠	乳钙	三聚磷酸钠
1	0.04	0.15	0.06
2	0.04	0.1	0.08
3	0.04	0.05	0.10
4	0.06	0.15	0.08

Continued

5	0.06	0.1	0.08
6	0.06	0.05	0.06
7	0.08	0.15	0.10
8	0.08	0.1	0.06
9	0.08	0.05	0.08

4. 实验结果

4.1. 单一添加剂对蛋白 3.0% 调制乳饮料的影响

4.1.1. 不同添加量海藻酸钠在蛋白 3.0% 调制乳中的效果测试

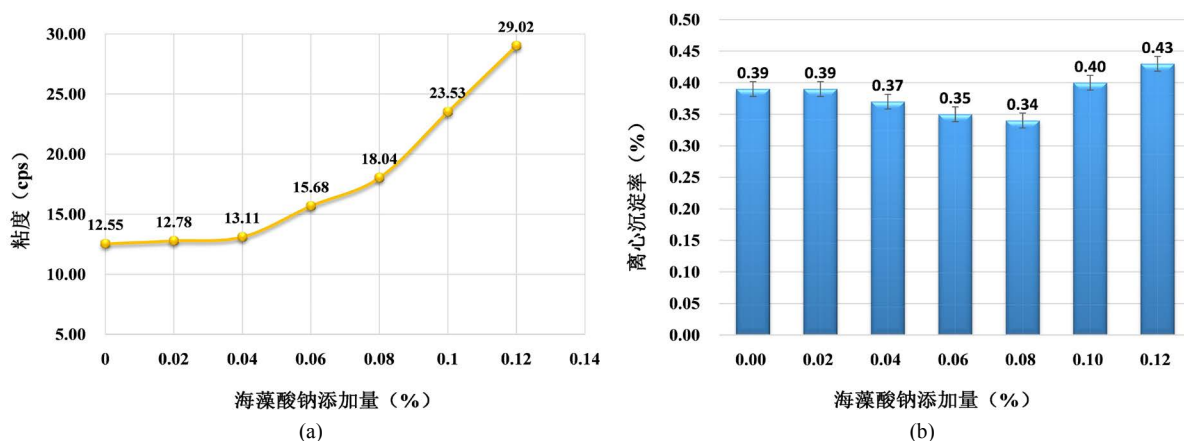


Figure 2. The results of the determination of viscosity (Figure A) and centrifugal sedimentation rate (Figure B) of different addition amounts of sodium alginate in the prepared milk with protein 3.0%

图 2. 不同添加量海藻酸钠在蛋白 3.0% 调制乳中粘度(图 A)和离心沉淀率(图 B)测定结果

根据图 2(a)粘度测定结果可知,在海藻酸钠添加量低于 0.04%时对产品的粘度几乎没有影响,当海藻酸钠添加量达到 0.04%时,粘度呈线性增长;当海藻酸钠添加量高于 0.12%时,产品出现弱凝胶现象,影响体系稳定性。即通过加入海藻酸钠能够提高水相的粘度,但高钙奶作为一种乳饮料必须在口感上黏度不易太大[2],故选取海藻酸钠添加量为 0.04、0.06、0.08%进行后续实验。图 2(b)离心沉淀率测定结果显示,海藻酸钠添加量为 0.08、0.06、0.04%时离心沉淀率分别为 0.34、0.35、0.37%,这三种添加量下离心沉淀率较小,说明此时海藻酸钠能够与蛋白质形成一个更为稳定的结构。

4.1.2. 不同添加量单双甘油脂肪酸酯对蛋白 3.0% 调制乳的效果测试

Table 2. Sensory evaluation of the effect of mono and diglyceride fatty acid esters on the emulsification of a 3.0% protein-modulated milk beverage

表 2. 感官评价单双甘油脂肪酸酯对蛋白 3.0% 调制乳饮料乳化性的影响

样品编号	添加量/%	脂肪上浮厚度/(mm, 7 d)	蛋白沉淀	组织状态	整体状况
1	0.03	2.0	无	均匀流体	一般
2	0.05	1.5	无	均匀流体	较好
3	0.08	1.8	无	均匀流体	一般
4	0.10	1.0	无	均匀流体	较好
5	0.15	0.5	无	均匀流体	良好
6	0.20	3.5	无	轻微絮凝	较差

由表 2 可知, 单双甘油脂肪酸酯添加量为 0.15% 时, 对蛋白 3.0% 调制乳的乳化效果最好, 单双甘油脂肪酸酯添加量为 0.20% 时乳化效果最差。上述数据表明, 单双甘油脂肪酸酯的乳化效果随其添加量的增加呈现先升高后降低的趋势。造成这种现象的原因可能是每种乳化剂都有一个临界胶束浓度, 超过范围, 便会使乳化剂分子在溶液内部聚集, 亲水亲油基发生相反作用, 致使乳化效果降低[8]。

4.1.3. 三聚磷酸钠添加在蛋白 3.0% 调制乳中的效果测试

Table 3. Sensory evaluation of the effect of sodium tripolyphosphate on the emulsification of 3.0% protein-modulated milk beverage

表 3. 感官评价三聚磷酸钠对蛋白 3.0% 调制乳饮料乳化性的影响

样品编号	添加量/%	脂肪上浮厚度/(mm, 7 d)	蛋白沉淀	组织状态	整体状况
1	0	2.5	无	均匀流体	一般
2	0.02	2.0	无	均匀流体	较好
3	0.04	1.5	无	均匀流体	较好
4	0.06	0.7	无	均匀流体	较好
5	0.08	1.0	无	均匀流体	较好
6	0.10	1.0	无	均匀流体	较好

三聚磷酸盐是一种聚合电解质, 具有无机表面活性剂的特性, 能使溶液中难溶物质分散、形成稳定悬浮液。能与蛋白质相互作用使其水溶胶质在脂肪球上形成一种胶膜, 从而使脂肪更有效地分散在水中, 有效防止酪蛋白与脂肪的分离, 稳定了乳化体系, 增强酪蛋白结合水能力。由表 3 可知, 在蛋白 3.0% 调制乳中, 三聚磷酸钠添加量在 0.06%、0.08%、0.10% 时, 组织状态均匀, 并且脂肪上浮较少, 说明在该添加量下三聚磷酸钠具有很好的乳化稳定作用。

4.1.4. 乳钙添加在蛋白 3.0% 调制乳中的效果测试

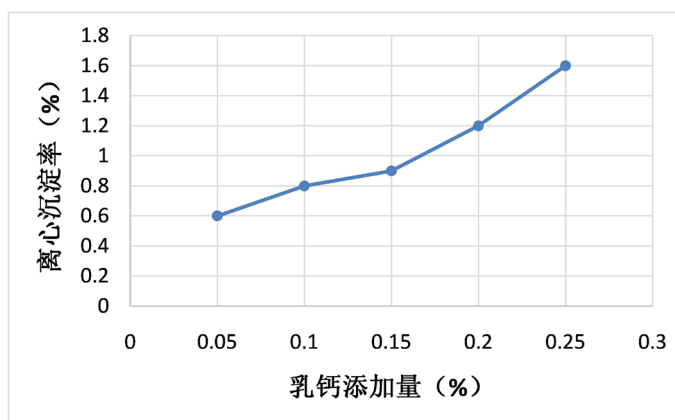


Figure 3. The results of centrifugal precipitation rate determination of milk calcium with different additions in 3.0% protein-modulated milk

图 3. 不同添加量的乳钙在蛋白 3.0% 调制乳中离心沉淀率测定结果

由图 3 可以看出, 随乳钙添加量增加, 样品实际离心沉淀率也逐渐增加。添加量为 0.05% 的样品, 在离心后能够看到有很不明显的虚沉出现, 用强光照射离心管后可见明显虚沉。并且将制备后的样品放置室温, 乳钙添加量为 0.05% 的样品底部会不断产生较松散的沉淀, 这可能由于乳钙用量在 0.05% 时, 能够与酪蛋白结合的钙离子较少, 钙离子浓度还没有达到与蛋白质形成絮凝的限度, 一些钙离子会与部分

酪蛋白结合, 形成复合物, 由于重力作用而沉降到底部, 随着底部沉降的复合物越来越多, 这些复合物之间又会相互作用, 在底部形成松散沉淀; 但当乳钙的用量高于 0.05% 时, 产生与酪蛋白结合的钙离子将越多, 且已达到形成凝胶的钙离子浓度, 那么钙离子与酪蛋白结合形成絮凝, 起到一定的悬浮作用, 不会因重力作用沉于底部。但在离心时, 由于离心力作用较大, 导致较多复合物在离心时汇集于底部。结合实际离心沉淀率和后期对样品的观察结果, 确定乳钙添加量为 0.10%、0.15% 及 0.20%。

4.2. 复配稳定剂对高钙调制乳饮料稳定性的影响

根据正交实验设计的九种条件制作的高钙奶, 产品状态、粘度及离心沉淀率测定结果如表 4 所示。可以看出, 在海藻酸钠添加量为 0.04%、0.06%、0.08%, 单双甘油脂肪酸酯添加量 0.15%、乳钙添加量 0.10%、0.15%、0.20%, 三聚磷酸钠添加量 0.06%、0.08%、0.10% 条件下, 均能后制作出高钙奶样品, 并且粘度在 25 ± 5 cps 范围内。

Table 4. Observation of state, viscosity and centrifugal sedimentation rate index results of high-calcium milk prepared under different conditions

表 4. 不同条件制作的高钙奶状态观察、粘度及离心沉淀率指标结果

水平	添加量/%		
	状态	粘度/cps	离心沉淀率/%
1	正常	22.47	0.24
2	正常	22.94	0.23
3	正常	23.66	0.23
4	上层有奶皮	25.12	0.66
5	轻微脂肪上浮	20.45	0.68
6	正常	24.24	0.15
7	上层有奶皮	24.78	0.44
8	轻微脂肪上浮	27.19	0.77
9	轻微脂肪上浮	29.61	1.08

可以看出 4、7 水平下, 当海藻酸钠添加量达到 0.06% 以上时, 乳钙添加量达到 0.15% 时, 样品表面就会出现有奶皮的现象; 5、8 和 9 水平下, 海藻酸钠添加量为 0.06% 或 0.08%, 乳钙或三聚磷酸钠添加量高时, 样品会出现轻微脂肪上浮的现象, 并且离心沉淀率也高于 0.5%, 此时蛋白状态是不稳定的; 1、2、3 和 6 水平样品状态正常, 其余水平下样品轻轻摇晃后奶皮或脂肪消失并且次日也不再出现。

4.3. 感官评价

按照正交实验表中复配稳定剂添加方案, 制作高钙奶样品, 置于室温, 放置 7、15 和 30 天后观察脂肪上浮情况。

从图 4 可以看出, 30 天后, 脂肪上浮低于 2 mm 的样品有 2、3 和 6 号样品, 其中 6 号脂肪上浮量最小, 1、2、3、5 和 6 号样品放置 7 d 无脂肪上浮, 7 d 后出现轻微脂肪上浮, 但整体优于 7~9 号样品, 说明一定含量的海藻酸钠、单双甘油脂肪酸酯及三聚磷酸钠复配添加对含高钙调制乳饮料的乳化稳定性的影响效果比较明显。储存期间, 乳脂肪上浮的主要原因是脂肪球颗粒因静置比重较轻而上浮, 在内聚力的作用下, 脂肪颗粒聚结形成油圈[11]。因此说明, 6 号样品的复配乳化剂对脂肪球颗粒的乳化分散效果是最好的。选用 0.06% 海藻酸钠、0.05% 乳钙及 0.06% 三聚磷酸钠进行复合使用, 使之能够产生协同增效作用, 达到比较理想的乳化分散效果。

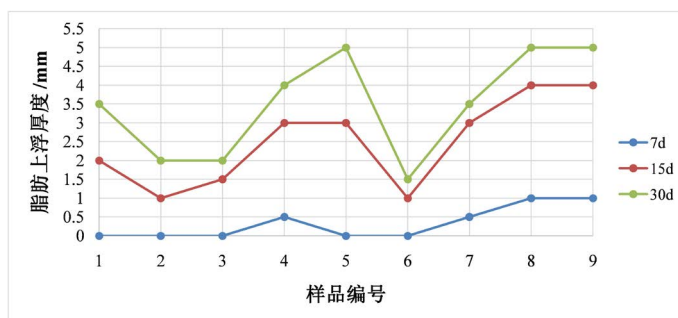


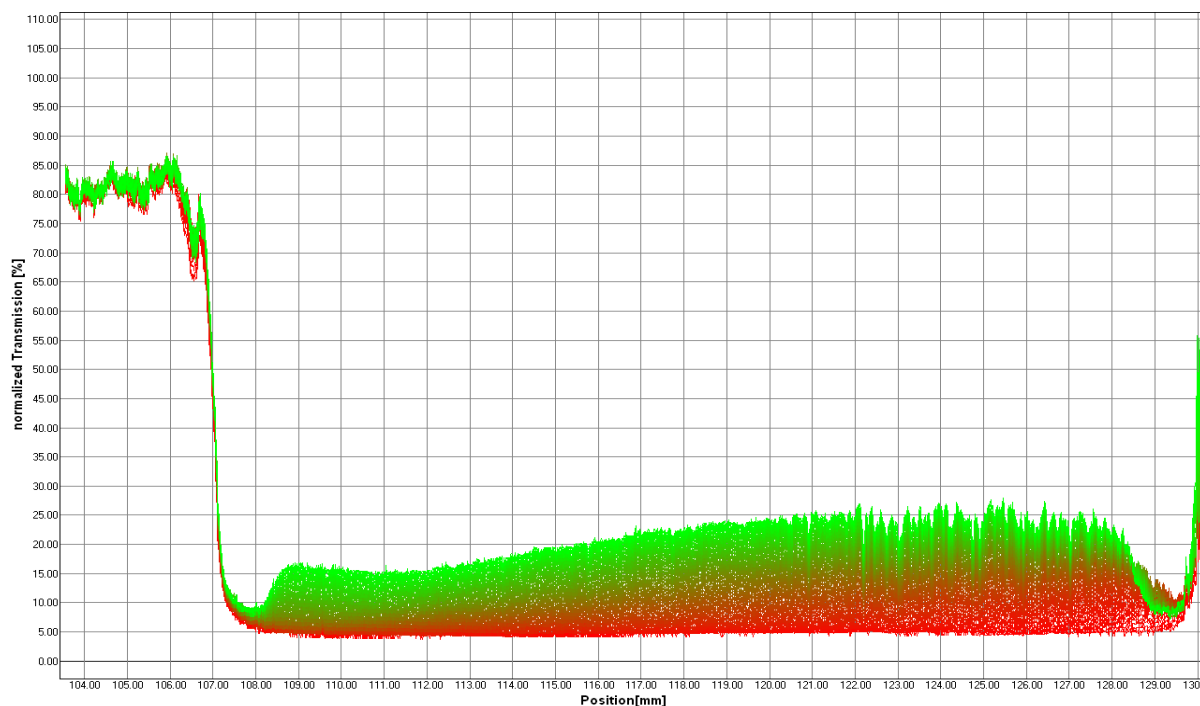
Figure 4. The fat floating of samples stored at room temperature (7, 15, 30 days)

图 4. 样品常温储存(7、15、30 d)脂肪上浮情况

总的来看, 2、3 和 6 水平下制得的样品状态正常、离心沉淀率较小、样品在货架期稳定性较好。结合以上所有指标, 最终选择 2、3 和 6 号方案进行稳定性分析。

4.4. 稳定分析仪对样品稳定性分析

根据稳定性分析图谱, 可以看出, 三个样品的稳定性有所差异。2 号样品稳定性分析图谱如图 5(a) 所示, 透光率在 15%~22%之间, 液体分布比较均匀, 在样品 129~130 mm 处透光率明显减小, 说明有一定的沉淀在此累积; 3 号样品稳定性分析图谱如图 5(b) 所示, 在样品 109~129 mm 范围内, 透光率呈现逐步变大的趋势, 说明该样品内蛋白质分布不是非常均匀, 出现了一定程度的脂肪上浮现象, 在样品 129~130 mm 处透光率明显减小, 说明有一定的沉淀在此累积; 6 号样品稳定性分析图谱如图 5(c) 所示, 该样品透光率在 5%~10% 范围内, 并且整体分布均匀, 说明该体系下胶体凝胶效果最好、乳钙的悬浮也是非常好的状态, 并且未见明显的沉淀出现, 只是在 105.5 mm 处有一定程度的脂肪上浮。由稳定性分析图谱可以看出, 6 号方案是海藻酸钠应用在中性高钙乳中的最优配方。



(a)

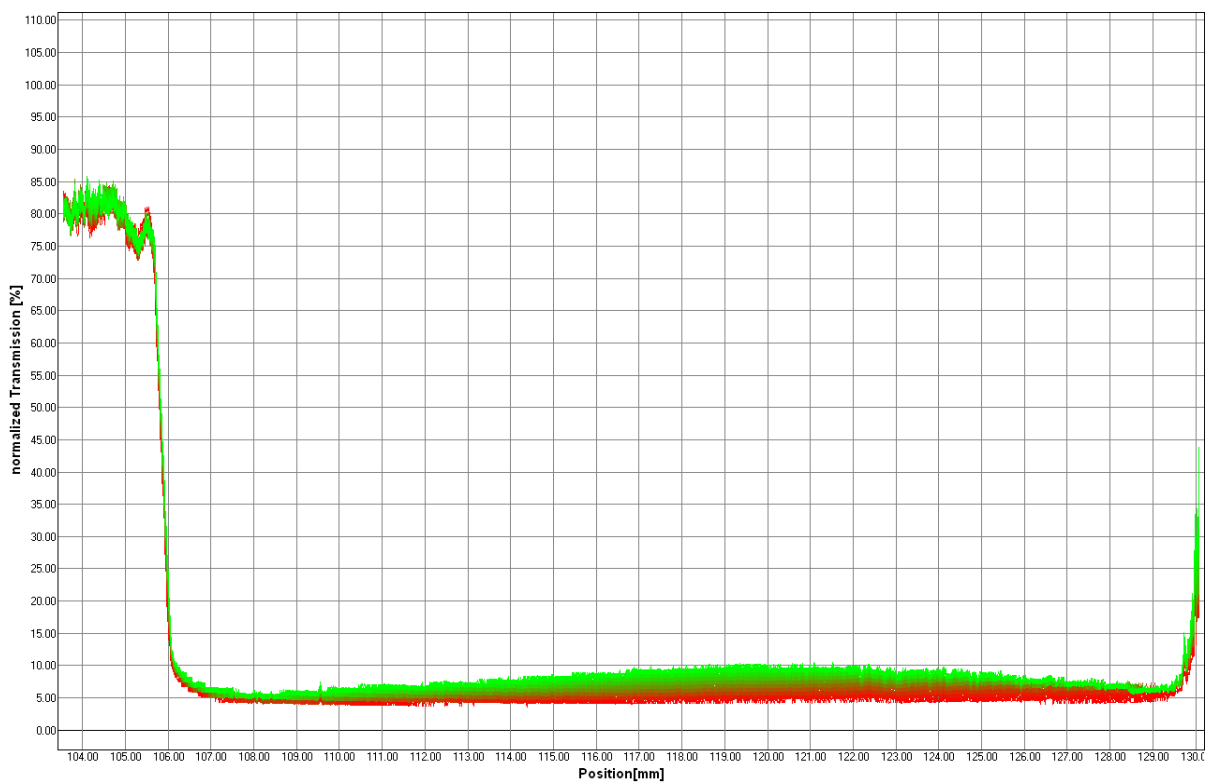
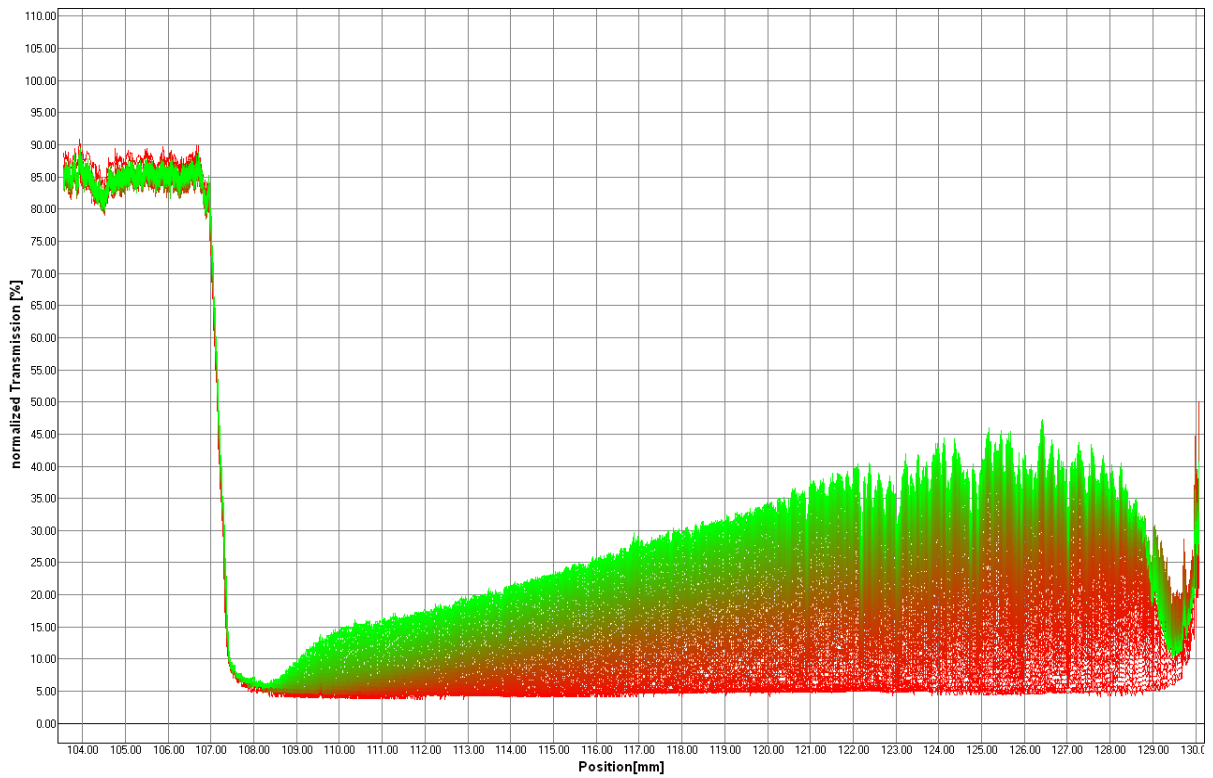


Figure 5. Sample stability analysis chart (picture A is sample No. 2, picture B is sample No. 3, picture C is sample No. 6)
图 5. 样品稳定性分析图谱(A 图为 2 号样品, B 图为 3 号样品, C 图为 6 号样品)

5. 结论

单因素实验中,海藻酸钠梯度实验发现,其添加量低于 0.04%时起不到很好的增稠作用,高于 0.12%时出现弱凝胶现象,确定其添加量在 0.04%~0.12%范围内,对蛋白含量为 3.0%的调制乳具有很好的增稠作用,并且离心沉淀率均在 0.5%以下,最终结合粘度和离心沉淀率两种指标结果,选取海藻酸钠添加量为 0.04、0.06 及 0.08%进行后续实验;观察样品组织状态发现,单双甘油脂肪酸酯添加量过低或过高均不能起到很好的乳化作用,其添加量为 0.15%时乳化效果最好;三聚磷酸钠添加量在 0.06%、0.08%及 0.10%时,样品组织状态均匀,并且脂肪上浮较少,添加量高于 0.10%时并不能很好的防止脂肪上浮;乳钙添加量为 0.10、0.15 及 0.20%时,能够与酪蛋白较好的结合,产品稳定性较好,添加量过高易出现沉淀。

根据单因素实验测定结果,探究海藻酸钠复配在中性高钙乳中的最适配方。选取海藻酸钠添加量 0.04%、0.06%及 0.08%,单双甘油脂肪酸酯添加量 0.15%,乳钙添加量 0.1%、0.15%及 0.2%,三聚磷酸钠添加量 0.06%、0.08%及 0.10%条件设计正交实验,最终通过粘度、离心沉淀率、感官评价以及稳定性分析等指标,排除离心沉淀率较高、脂肪上浮严重的配方,确定 0.06%海藻酸钠、0.05%乳钙及 0.06%三聚磷酸钠复合使用,海藻酸钠与钙离子在此条件下有更好的螯合作用,能够形成稳定的三维结构,使产品达到比较理想的乳化分散效果,从而一定程度上改善产品脂肪上浮、蛋白质沉淀以及絮凝等不稳定现象,延长产品货架期。

基金项目

项目名称:可控凝胶性食材的研究与开发;项目类别:青岛西海岸新区 2020 年度科技计划专项;项目编号:2020-3-5。

参考文献

- [1] 成坚, 谢鹏. 中性高钙液体奶的钙剂筛选及稳定性研究[J]. 食品工业科技, 2001, 22(1): 27-28.
- [2] 赵强忠, 赵谋明, 杨晓泉, 等. 不同钙剂对高钙奶稳定性的影响[J]. 中国乳品工业, 2004, 32(12): 9-12.
- [3] 贾建波, 李东, 王益东. 高钙酸奶的研制[J]. 食品工业, 2000, 21(1): 31-32.
- [4] Siddhanta, A.K., Sanandiya, N.D., Chejara, D.R. and Kondaveeti, S. (2015) Functional Modification Mediated Value Addition of Seaweed Polysaccharides—A Perspective. *RSC Advances*, **5**, 59226-59239. <https://doi.org/10.1039/C5RA09027J>
- [5] Khan, F. and Ahmad, S.R. (2013) Polysaccharides and Their Derivatives for Versatile Tissue Engineering Application. *Macromolecular Bioscience*, **13**, 395-421. <https://doi.org/10.1002/mabi.201200409>
- [6] Khanal, B., Bhandari, B., Prakash, S., et al. (2017) Effect of Sodium Alginate Addition on Physical Properties of Renet Milk Gels. *Food Biophysics*, **12**, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s11483-017-9470-y>
- [7] Bajdik, J., Makai, Z., Berkesi, O., et al. (2009) Study of the Effect of Lactose on the Structure of Sodium Alginate Films. *Carbohydrate Polymers*, **77**, 530-535. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.01.022>
- [8] Yue, Y., Han, J., Han, G., et al. (2016) Cellulose Nanofibers Reinforced Sodium Alginate-Polyvinyl Alcohol Hydrogels: Core-Shell Structure Formation and Property Characterization. *Carbohydrate Polymers*, **147**, 155-164. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.005>
- [9] 钟秀娟, 张多敏, 周雪松, 等. 食品胶体对高蛋白调酸乳饮料稳定性的影响[J]. 现代食品科技, 2010(7): 709-711.
- [10] 赵红玲, 李全阳, 王婷婷, 等. 乳化剂对乳体系稳定性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2009(8): 160-163.
- [11] Johansson, I., Korkman, N. and Nelson, N.J. (1952) Studies on Adder Evacuation in Dairy Cows. I. The Rise in Fat Percentage during Milking. *Acta Agriculturae Scandinavica*, **2**, 43-81. <https://doi.org/10.1080/00015125209433244>