

Технологические особенности нейтрализующих агентов для сбраживания творожной сыворотки

канд. техн. наук **В.В. Евелева**, v.eveleva@yandex.ru

канд. техн. наук **Т.М. Черпалова**

*ВНИИ пищевых добавок – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН
191014, Россия, Санкт-Петербург, Литейный пр., 55*

Исследовали физико-химические показатели нейтрализующих агентов на основе мела и седиментационную устойчивость их суспензий для использования в процессе сбраживания творожной сыворотки. Объектами исследования служили образцы суспензий мела химически осажденного МХО1 и мела природного технического дисперсного МТД-2 производства «МелСтром» Белгородской области на различных дисперсионных средах – питьевой воде, творожной сыворотке и растворах, полученных при сбраживании творожной сыворотки молочнокислыми бактериями. В опытах использовали творожную сыворотку «Летняя» производства ООО «Молочный завод Лосево» и молочнокислые бактерии *Lactobacillus acidophilus* AT-I. Образцы суспензий нейтрализующих агентов готовили следующим образом: дисперсионную среду нагревали до температуры 70°C, добавляли мел при интенсивном перемешивании и охлаждали до заданной температуры (25; 40°C). В них определяли плотность, динамическую вязкость, активную кислотность (рН) и седиментационную устойчивость принятыми в исследовательской практике методами. Проведены исследования по изучению технологических особенностей суспензий мела, используемых для нейтрализации молочной кислоты, образующейся при сбраживании творожной сыворотки. Выявлено технологически значимое отличие химически осажденного и технического дисперсного мела по массовой доле веществ, нерастворимых в соляной кислоте, и остатку после просева на сите с сеткой, характеризующему степень измельчения (дисперсность) мела. Установлено, что суспензии химически осажденного мела на различных дисперсионных средах (питьевая вода, сыворотка творожная свежая, сыворотка творожная сброженная) имеют щелочную реакцию среды (от 7,7 до 9,9 ед. рН). Суспензии технического дисперсного мела, приготовленные на питьевой воде, характеризуются щелочной реакцией среды с активной кислотностью от 8,4 до 8,5 ед. рН, а приготовленные на сыворотке – кислой реакцией среды от 6,0 до 6,3 ед. рН. Показано, что динамическая вязкость суспензий химически осажденного и технического дисперсного мела на питьевой воде существенно возрастает при повышении концентрации дисперсной фазы по сравнению с характеристикой этого показателя суспензий на сыворотке. Установлено, что суспензии мела, приготовленные на основе творожной сыворотки и сброженных растворов, отличаются наибольшей седиментационной устойчивостью. Констатировано, что суспензии природного технического дисперсного мела являются более эффективными нейтрализующими агентами при сбраживании творожной сыворотки по сравнению с суспензиями химически осажденного мела.

Ключевые слова: нейтрализующие агенты; суспензии, мел химически осажденный; мел природный технический дисперсный; физико-химические показатели; седиментационная устойчивость.

DOI: 10.17586/2310-1164-2019-12-4-85-94

Technological features of neutralizers in curd whey fermentation

Ph. D. Vera V. Eveleva, v.eveleva@yandex.ru

Ph. D. Tatyana M. Cherpalova

*All-Russia Research Institute of Food Additives – Branch of the V. M. Gorbатов Federal Research Centre for Food Systems of RAS
55, Liteyny ave., St. Petersburg, 191014, Russia*

Neutralizing agents based on chalk suspensions used in curd whey fermentation were screened for their physicochemical parameters and sedimentation stability. The samples of MHO1 chemically sedimented chalk and MTD-2 technical grade fine natural chalk, both by MelStorm Company, Belgorod region, were selected at the objects of the study. They were suspended in various media (potable water, curd whey, and curd whey after lactic acid fermentation). AT-I *Lactobacillus acidophilus* lactic-acid bacteria and Letnyaya whey Losevo Dairy were used for fermentation. For suspension preparation, all of three media were heated to 70°C, mixed with chalk while stirring vigorously, and cooled to 25°C or 40°C. Density, dynamic viscosity, active acidity (pH), and sedimentation stability were determined by methods accepted

in research practice. Then the analysis was carried out to study the technological peculiarities of chalk suspensions used for neutralizing lactic acid resulted from curd whey fermentation. The technological significant difference between chemically dispersed and technical grade fine natural chalk in mass fraction of substances insoluble in hydrochloric acid and particle size of the residue after sieving was found out. Chalk suspensions were then used to neutralize the lactic acid formed during whey fermentation, to the finding that two technological parameters differ between the two chalks. First, after whey fermentation the mass fraction of chalk-derived substances insoluble in hydrochloric acid varied significantly. Second, testing chalk particles by a standard sieve set revealed a difference in particle size. Suspensions of chemically precipitated chalk in all tested media (potable water, curd whey, and curd whey after lactic acid fermentation) proved to have an alkaline reaction (pH 7.7 to 9.9). Suspensions of technical grade chalk in water demonstrated alkalinity from 8.4 to 8.5 pH, while suspensions of this chalk type in whey had acidic pH (6.0 to 6.3). Dynamic viscosity in water suspensions of both chalk types proved to depend more on dispersed phase concentration than in whey suspensions. Finally, chalk suspensions in curd whey and fermented whey had the highest sedimentation stability. It can be concluded that technical grade chalk suspensions are more effective neutralizers in curd whey fermentation compared to suspensions of precipitated chalk.

Keywords: neutralizing agents; suspensions; chemically sedimented chalk; finely dispersed technical grade natural chalk; physicochemical parameters; sedimentation stability.

Введение

Рациональное использование сырья и получение полезных продуктов при переработке отходов промышленного производства позволяет решать проблему расширения ресурсных возможностей пищевой промышленности.

Использование молочной сыворотки вызывает интерес исследователей и производителей не только с точки зрения утилизации содержащихся в ней углеводных компонентов, но и в связи с ужесточением требований к проведению природоохранных мероприятий. К числу перспективных способов ее переработки относится создание производства продуктов биотрансформации лактозы молочнокислыми бактериями.

Известно, что молочнокислые бактерии в процессе жизнедеятельности значительно подкисляют питательную среду. Так, культуры ацидофильных бактерий активно свертывают молоко, предельная кислотность которого при этом достигает 300°Т. Увеличение рН до 9,2 также не является существенным стрессовым фактором для некоторых штаммов молочнокислых бактерий, процент их выживаемости в этих условиях составляет от 62 до 96% в зависимости от штамма [1]. Вместе с тем, оптимальная величина активной кислотности для роста палочковидных форм молочнокислых бактерий находится в пределах от 5,5 до 5,8°ед. рН [2]. Поддержание оптимальной кислотности сброживаемой среды осуществляется введением в нее нейтрализующего агента, что положительно влияет на биохимическую активность продуцентов и биосинтез молочной кислоты. Принимая во внимание эти данные, при приготовлении сред на основе агара для культивирования молочнокислых микроорганизмов добавляют мел в количестве от 2 до 3%. В качестве нейтрализующих агентов наряду с мелом возможно использование гашеной извести, углекислых солей кальция, натрия и калия, водного раствора аммиака. Однако добавление порошкообразных нейтрализующих агентов не обеспечивает поддержание оптимальных значений титруемой кислотности среды в достаточно узких пределах, а введение водных суспензий приводит к снижению эффективности процесса биосинтеза молочной кислоты [3].

Промышленные технологии получения молочной кислоты на основе микробиологического синтеза в соответствии с ГОСТ 490-2006 предусматривают использование химически осажденного мела (ГОСТ 8253-79), содержащего не менее 98,5% углекислого кальция. Считается установленным, что углекислый кальций обладает низкой растворимостью в воде ($PP = 1 \cdot 10^{-10}$), при этом не образует кристаллогидратов и химически не взаимодействует с водой [4]. Вместе с тем, при изучении кинетики растворения карбоната кальция в широком диапазоне активной кислотности (рН) растворов установлено, что скорость его растворения резко снижается при увеличении рН от 2 до 5, не зависит от активной кислотности среды в интервале рН от 5 до 10, а при рН больше 10 происходит дальнейшее снижение скорости процесса [5]. При изучении структуры и состава химически осажденного карбоната кальция с помощью сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения

с рентгенофлюоресцентной приставкой выявлено, что материал представляет собой полидисперсную смесь, включающую в себя кристаллы и шарообразные структуры с размерами меньше 10 мкм, что не способствует образованию устойчивых дисперсных систем [6].

На процесс седиментации частиц в дисперсных системах под действием гравитационного поля оказывают влияние многие факторы, в частности, масса частиц, вязкое сопротивление жидкой среды, смачиваемость частиц жидкостью и присутствие других компонентов. В реальных условиях суспензии содержат частицы, отличающиеся по форме, размерам и массе, что также оказывает воздействие на их стабильность. Результаты, полученные при исследовании характеристик дисперсных систем, учитываются при решении практических задач. Так, знания в области устойчивости коллоидов и сепарации суспензий использованы при разработке высокоэффективных методов очистки природной воды от тонкодисперсных лиофильных примесей для получения пригодной для питья воды [7]. Ограниченное использование известковой суспензии на стадии первичной обработки природной воды обусловлено высокой вязкостью и трудностью дозирования.

Для повышения текучести суспензий гидратированной извести и карбоната кальция используют такие диспергирующие и поверхностно-активные вещества, как полифосфаты и соли полиакриловой или полиметакриловой кислот [8]. Однако их использование способствует формированию тяжелых пастообразных осадков, трудно поддающихся переработке. При исследовании динамики текучести природных подземных вод установлено, что в формировании трудно транспортируемых меловых наносов определяющую роль играют мелкодисперсные осадки карбонатов [9, 10]. Установленные закономерности изменения свойств частиц дисперсного материала позволяют создать алгоритм управления процессом формирования дисперсных структур, о чем свидетельствуют результаты исследований различных типов известковых суспензий [11] и применения суспензий карбоната кальция в технологии переработки фторидсодержащих кислых отходов производства [6].

К числу важных практических задач, решаемых в химической и пищевой промышленности, относится повышение агрегативной устойчивости суспензий мела. На модельных системах суспензий мела показано, что повышение агрегативной устойчивости достигается адсорбцией суперпластификаторов на частицах дисперсной фазы [12]. При этом отмечено, что увеличение активной кислотности (рН) суспензии мела до значений, превышающих рК гидроксигрупп, приводит к возрастанию электростатического фактора устойчивости и, как следствие, к полной агрегативной устойчивости и ньютоновскому характеру их течения. По патенту [13] получение легко прокачиваемой водной суспензии природного карбонатного материала, содержащей около 60% частиц с размером эквивалентного сферического диаметра менее 2 мкм, обеспечивается введением в водную суспензию незначительного количества соединения, содержащего кальций-ионы или карбонат-ионы, и последующим дефлокулированием его диспергирующим агентом. Представляют интерес способы получения стабильных суспензий нерастворимых солей кальция путем смешивания нерастворимого кальция с белоксодержащей композицией [14] или введения в них соли щелочного металла фосфоновой кислоты [15]. В промышленности строительных материалов применяется большое количество добавок, предназначенных для улучшения технологических свойств суспензий. К числу таких добавок относится флороглюцинфурфурольный наномодификатор, введение которого в суспензию мела уменьшает среднее численный радиус наномодифицированных частиц до размера первичных частиц дисперсии с 7 до 1 мкм, способствует снижению предельного динамического напряжения сдвига практически до нуля, суспензия при этом ведет себя как ньютоновская жидкость. Выявленное уменьшение пластической вязкости суспензии мела связано, по мнению авторов, с высвобождением иммобилизованной воды и увеличением в связи с этим относительного содержания дисперсионной среды [16].

При рассмотрении информационных данных выявлено, что к настоящему времени имеется крайне ограниченное количество публикаций по технологическим особенностям суспензий мела применительно к пищевым производствам.

Создание промышленной технологии переработки творожной сыворотки с использованием молочнокислых бактерий предполагает обоснованный выбор параметров всех стадий процесса, включая нейтрализацию молочной кислоты, образующейся при сбраживании. К лимитирующим параметрам биотрансформации лактозы сыворотки в молочную кислоту является титруемая кислотность сбраживаемой сыворотки, регулируемая нейтрализацией продукта биосинтеза. Отсутствие

технологически оправданного решения процесса нейтрализации обусловлено недостаточной базой данных по физико-химическим показателям и седиментационной устойчивости нейтрализующих агентов.

Цель данной работы – исследование физико-химических показателей нейтрализующих агентов на основе мела и седиментационной устойчивости их суспензий для использования в процессе сбраживания творожной сыворотки.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования служили суспензии мела химически осажденного MHO_1 по ГОСТ 8253-79 (далее – мела химически осажденного) и мела природного технического дисперсного МТД-2 по ТУ 5743-008-05120542-96 (далее – мела технического дисперсного) производства «МелСтром» (Белгородская обл.) на различных дисперсионных средах – дистиллированной воде (далее – воде), творожной сыворотке и растворах, полученных при сбраживании творожной сыворотки молочнокислыми бактериями (далее – сброженной сыворотке).

В опытах использовали творожную сыворотку «Летняя» (ТУ 9224-392-00419785-05) производства ООО «Молочный завод Лосево» и молочнокислые бактерии *Lactobacillus acidophilus AT-I*.

Приготовление суспензий нейтрализующих агентов осуществляли следующим образом: дисперсионную среду (питьевую воду, творожной сыворотку и сброженную сыворотку) нагревали до температуры 70°C и добавляли мел порциями при интенсивном перемешивании, затем охлаждали при перемешивании до заданной температуры (20°C – при определении физико-химических показателей или 40°C – при введении в сбраживаемую сыворотку).

Экспериментальные исследования выполнены во ВНИИПД – филиале ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН. В опытах определяли: плотность, динамическую вязкость, pH и седиментационную устойчивость суспензий мела.

Контролируемые параметры определяли используемыми в исследовательской практике методами: плотность – ареометрическим и пикнометрическим, вязкость – вискозиметрическим, активную кислотность – потенциометрическим, седиментационную устойчивость – седиментационным по объемной доле неразрушенной суспензии.

Объемную долю неразрушенной суспензии определяли по отношению объема неразрушенной суспензии к общему объему, измеряемому через равные промежутки времени.

Результаты и обсуждение

Проведены исследования по изучению технологических особенностей суспензий мела, используемых для нейтрализации молочной кислоты, образующейся при сбраживании творожной сыворотки, и повышению их седиментационной устойчивости при варьировании вида дисперсной фазы и ее концентрации, а также вида дисперсионной среды.

В таблице 1 приведены результаты определения физико-химических показателей исследуемых образцов химически осажденного и технического дисперсного мела. Выявлено технологически значимое отличие химически осажденного и технического дисперсного мела по массовой доле веществ, нерастворимых в соляной кислоте, и остатку после просева на сите с сеткой, характеризующему степень измельчения (дисперсность) продукта. Отмеченные отличия относятся к факторам, влияющим на изменение физико-химических показателей суспензий, приготовленных из исследуемых образцов мела, и их седиментационной устойчивости.

В таблице 2 приведены физико-химические показатели испытанных дисперсионных сред. Показано ожидаемое существенное отличие дисперсионных сред на основе сыворотки от водной основы по активной кислотности, плотности и динамической вязкости.

Принимая во внимание полученные сравнительные данные, характеризующие физико-химические показатели дисперсных фаз и дисперсионных сред, проведены исследования показателей образцов суспензий, приготовленных из химически осажденного мела и технического дисперсного мела, с варьированием концентрации дисперсной фазы и вида дисперсионной среды.

Таблица 1 – Физико-химические показатели химически осажденного и технического дисперсного мела
 Table 1. Physicochemical parameters of chemically sedimented and finely dispersed technical grade chalk

| Наименование показателя | Значение показателя | | | |
|---|---|------------|----------------------------|------------|
| | Мел химически осажденный МХО ₁ | | Мел технический дисперсный | |
| | норма | фактически | норма | фактически |
| Массовая доля углекислого кальция и углекислого магния в пересчете на углекислый кальций, %, не менее | 98,5 | 99,0 | 96,0 | 96,8 |
| Массовая доля веществ, нерастворимых в соляной кислоте, %, не более | 0,1 | 0,1 | 2,0 | 1,2 |
| Массовая доля окиси железа (III), %, не более | 0,1 | 0,0 | 0,25 | 0,04 |
| Массовая доля влаги, %, не более | 0,5 | 0,2 | 0,3 | 0,2 |
| Остаток после просева на сите с сеткой № 0,014, %, не более | – | – | 0,8 | 0,1 |
| | 0,4 | 0,2 | – | – |

Таблица 2 – Физико-химические показатели дисперсионных сред
 Table 2. Physicochemical parameters of dispersion media

| Дисперсионная среда | Активная кислотность, ед. рН | Плотность, г·см ⁻³ | Динамическая вязкость, мПа·с |
|-----------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| вода | 6,8 ± 0,1 | 0,998 ± 0,001 | 0,98 ± 0,02 |
| сыворотка творожная | 4,6 ± 0,1 | 1,021 ± 0,001 | 1,34 ± 0,02 |
| сыворотка сброженная | 4,1 ± 0,1 | 1,030 ± 0,001 | 1,52 ± 0,02 |
| сыворотка сброженная: | | | |
| ▪ неосветленная | 4,2 ± 0,1 | 1,035 ± 0,001 | 1,48 ± 0,02 |
| ▪ осветленная | 5,7 ± 0,1 | 1,026 ± 0,001 | 1,60 ± 0,02 |

Установлено, что все образцы суспензий химически осажденного мела на различных дисперсионных средах (воде, сыворотке творожной и сыворотке сброженной) имеют щелочную реакцию среды с достаточно широким интервалом варьирования от 7,7 до 9,9 ед. рН. Образцы суспензий технического дисперсного мела, приготовленные на питьевой воде, так же характеризуются щелочной реакцией среды от 8,4 до 8,5 ед. рН, а приготовленные на сыворотке творожной или сброженной – от слабокислой до нейтральной реакции среды от 6,0 до 7,0 ед. рН (таблицы 3–5). С увеличением концентрации дисперсной фазы ожидаемо возрастают значения плотности и динамической вязкости суспензий. При этом обнаружено, что значения динамической вязкости суспензий и химически осажденного, и технического дисперсного мела, приготовленные на питьевой воде, при концентрации от 25% и более существенно выше по сравнению с образцами суспензий на сыворотке. Сравнивая характеристики вязкости образцов суспензий, приготовленных из химически осажденного мела и технического дисперсного мела на сыворотке, можно отметить, что суспензии технического дисперсного мела обладают меньшей вязкостью и, соответственно, большей текучестью. Выявлено существенное отличие по величине динамической вязкости образцов суспензии технического дисперсного мела, приготовленных на сброженной сыворотке, от образцов суспензий, приготовленных на питьевой воде и творожной сыворотке. Величина этого показателя для образцов суспензий технического дисперсного мела с концентрацией дисперсной фазы 50%, приготовленных на сброженной сыворотке, составляет (38,0 ± 0,6) мПа·с, что практически соответствует величине вязкости образцов суспензий с концентрацией дисперсной фазы 35%, приготовленных на питьевой воде, равной 34,3 ± 0,6 мПа·с. Отмечено также, что образцы суспензии химически осажденного мела, приготовленные на сброженной сыворотке, при концентрации дисперсной фазы 35% приобретают свойства пасты.

Таким образом, на основе результатов сравнительного анализа физико-химических показателей суспензий мела, можно констатировать, что с технологической точки зрения в качестве нейтрализующего

агента в процессе сбраживания сыворотки целесообразно использовать суспензии технического дисперсного мела на основе сброженной сыворотки.

Таблица 3 – Физико-химические показатели суспензий химически осажденного мела в зависимости от природы дисперсионной среды и концентрации дисперсной фазы

Table 3. Physicochemical parameters of chemically sedimented chalk suspensions depending on the nature of the dispersion medium and the concentration of the dispersed phase

| Наименование показателя | Значение показателя при концентрации дисперсной фазы, % | | |
|---------------------------------------|---|---------------|------------------------------------|
| | 25 | 30 | 35 |
| Суспензия: мел – вода | | | |
| активная кислотность, ед. рН | 9,9 ± 0,1 | 9,7 ± 0,1 | 9,7 ± 0,1 |
| плотность, г · см ⁻³ | 1,190 ± 0,002 | 1,225 ± 0,003 | 1,260 ± 0,005 |
| динамическая вязкость, мПа·с | 7,0 ± 0,2 | 23,5 ± 0,5 | 291,2 ± 9,7 |
| Суспензия: мел – сыворотка творожная | | | |
| активная кислотность, ед. рН | 8,2 ± 0,1 | 8,3 ± 0,1 | 8,3 ± 0,1 |
| плотность, г · см ⁻³ | 1,215 ± 0,002 | 1,271 ± 0,003 | 1,321 ± 0,005 |
| динамическая вязкость, мПа·с | 6,0 ± 0,2 | 12,5 ± 0,4 | 171,0 ± 6,0 |
| Суспензия: мел – сыворотка сброженная | | | |
| активная кислотность, ед. рН | 7,7 ± 0,1 | 8,0 ± 0,1 | образцы имеют характеристики пасты |
| плотность, г · см ⁻³ | 1,230 ± 0,002 | 1,285 ± 0,003 | |
| динамическая вязкость, мПа·с | 6,9 ± 0,2 | 36,4 ± 0,9 | |

Таблица 4 – Физико-химические показатели суспензий мела технического дисперсного в зависимости от природы дисперсионной среды и концентрации дисперсной фазы

Table 4. Physicochemical parameters of finely dispersed technical grade chalk suspensions depending on the nature of the dispersion medium and the concentration of the dispersed phase

| Наименование показателя | Значение показателя при концентрации дисперсной фазы, % | | | |
|--------------------------------------|---|---------------|---------------|---------------|
| | 25 | 30 | 35 | 40 |
| Суспензия: мел – вода | | | | |
| активная кислотность, ед. рН | 8,5 ± 0,1 | 8,5 ± 0,1 | 8,4 ± 0,1 | 8,4 ± 0,1 |
| плотность, г · см ⁻³ | 1,200 ± 0,002 | 1,235 ± 0,002 | 1,282 ± 0,003 | 1,327 ± 0,005 |
| динамическая вязкость, мПа·с | 4,3 ± 0,1 | 7,8 ± 0,2 | 34,3 ± 0,6 | 396,8 ± 7,8 |
| Суспензия: мел – сыворотка творожная | | | | |
| активная кислотность, ед. рН | 6,0 ± 0,1 | 6,2 ± 0,1 | 6,3 ± 0,1 | 6,1 ± 0,1 |
| плотность, г · см ⁻³ | 1,220 ± 0,002 | 1,270 ± 0,002 | 1,325 ± 0,002 | 1,352 ± 0,003 |
| динамическая вязкость, мПа·с | 3,1 ± 0,1 | 4,0 ± 0,2 | 7,9 ± 0,2 | 15,4 ± 2,5 |

Таблица 5 – Физико-химические показатели образцов суспензии технического дисперсного мела, приготовленных на сброженной сыворотке, при варьировании концентрации дисперсной фазы

Table 5. Physicochemical parameters of finely dispersed technical grade chalk suspensions samples based on fermented whey with varying concentration of the dispersed phase

| Наименование показателя | Значение показателя при концентрации дисперсной фазы, % | | | |
|---------------------------------------|---|---------------|---------------|---------------|
| | 40 | 45 | 50 | 55 |
| Суспензия: мел – сброженная сыворотка | | | | |
| активная кислотность, ед. рН | 6,9 ± 0,1 | 7,0 ± 0,1 | 6,9 ± 0,1 | 6,9 ± 0,1 |
| плотность, г · см ⁻³ | 1,376 ± 0,002 | 1,445 ± 0,002 | 1,475 ± 0,003 | 1,530 ± 0,005 |
| динамическая вязкость, мПа·с | 10,9 ± 0,1 | 13,4 ± 0,2 | 38,0 ± 0,6 | 694,7 ± 8,9 |

Для обоснованного выбора нейтрализующего агента для сбраживания творожной сыворотки молочнокислыми бактериями проведены сравнительные исследования изменения седиментационной устойчивости суспензий химически осажденного и технического дисперсного мела при варьировании природы дисперсионной среды, вида и концентрации дисперсной фазы и рН суспензии.

На рисунке 1 приведены данные, характеризующие изменение седиментационной устойчивости суспензии химически осажденного мела с массовой долей 25%, в зависимости от природы дисперсионной

среды. Показано, что суспензии мела, приготовленные на основе творожной сыворотки и сброженных растворов, отличаются наибольшей седиментационной устойчивостью.

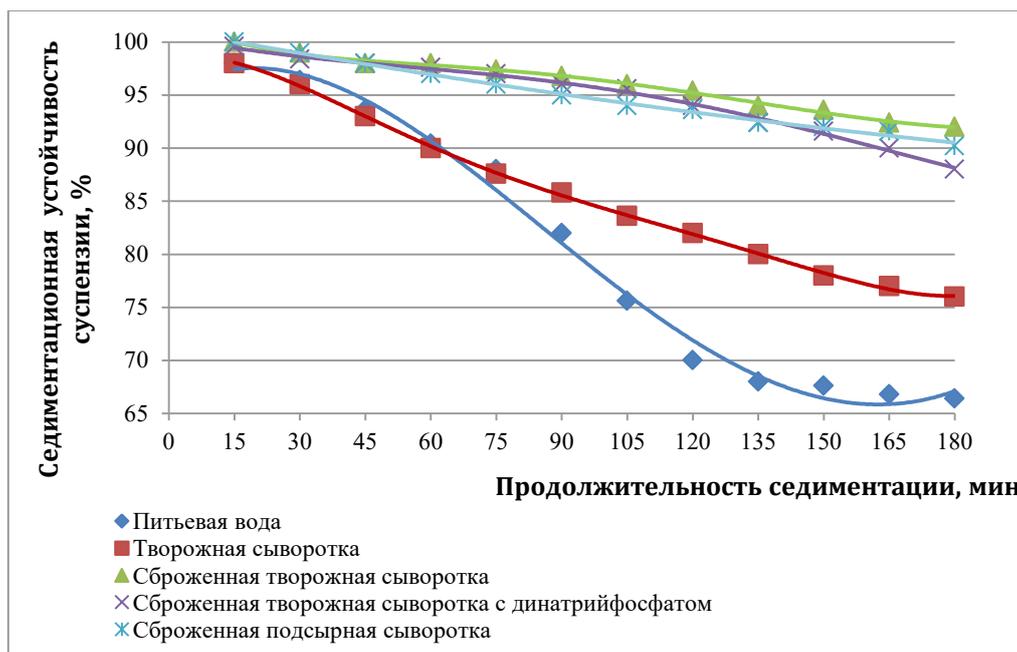


Рисунок 1 – Изменение седиментационной устойчивости суспензии химически осажденного мела в зависимости от природы дисперсионной среды

Figure 1. Change of sedimentation stability of chemically sedimented chalk suspension depending on the nature of the dispersion medium

На рисунке 2 представлены данные, отражающие влияние pH суспензии и концентрации суспензии химически осажденного мела на изменение устойчивости частиц дисперсной фазы к оседанию под действием гравитационного поля в процессе седиментации. Установлено, что увеличение массовой доли дисперсной фазы от 20 до 30% и величины активной кислотности от 7,6 до 8,0 ед. pH суспензии химически осажденного мела на основе сброженной сыворотки способствует повышению ее седиментационной устойчивости. Дальнейшее увеличение концентрации суспензии химически осажденного мела от 30 до 35% приводит к образованию пастообразной структуры и вязкого осадка, трудно поддающегося обработке.

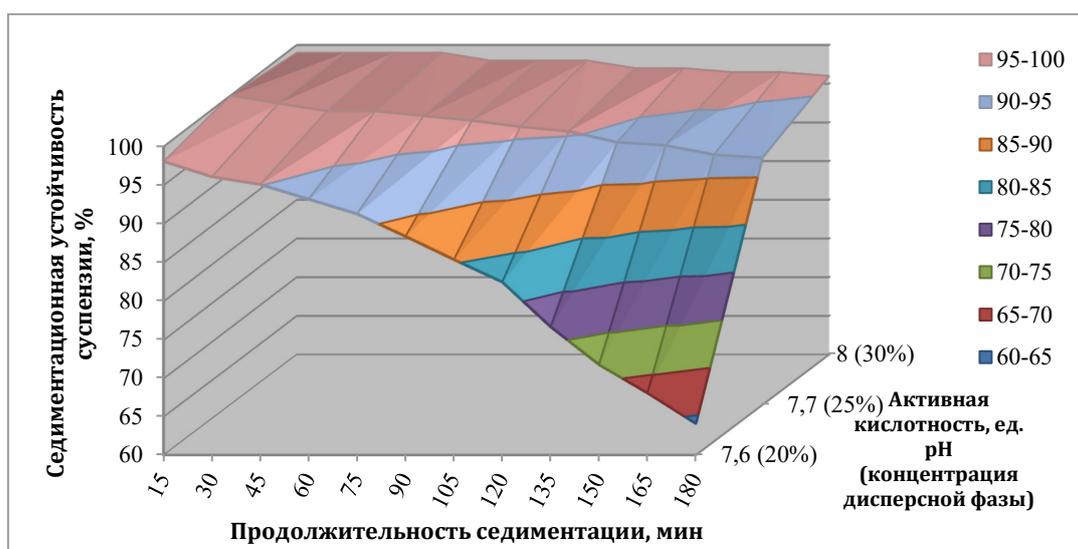


Рисунок 2 – Изменение седиментационной устойчивости суспензии химически осажденного мела на основе сброженной сыворотки в зависимости от pH суспензии и концентрации дисперсной фазы

Figure 2. Change of sedimentation stability of the chemically sedimented chalk suspensions based on fermented whey depending on pH of the suspension and the concentration of the dispersed phase

Результаты определения седиментационной устойчивости суспензий технического дисперсного мела на основе творожной сыворотки в процессе выдерживания их при 20°C при варьировании концентрации дисперсной фазы приведены на рисунке 3. Показано, что увеличение концентрации суспензии технического дисперсного мела от 25 до 40% способствует повышению ее седиментационной устойчивости.

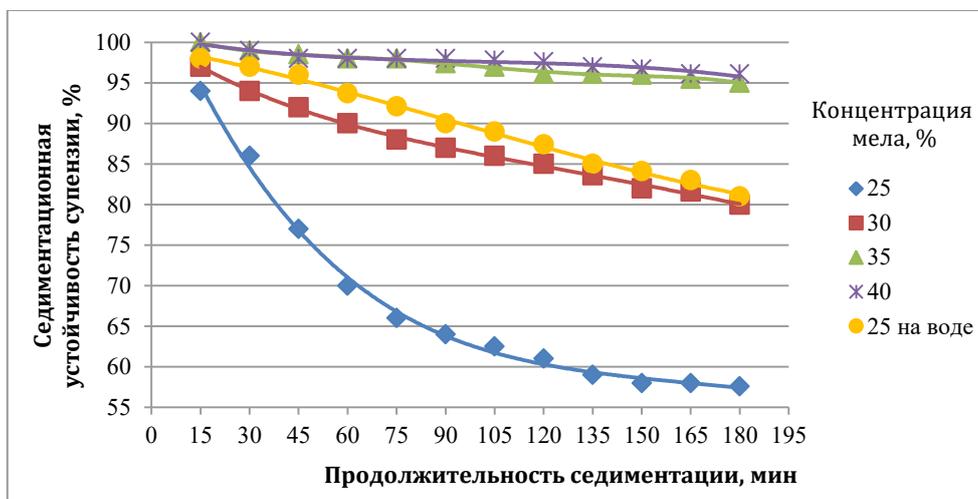


Рисунок 3 – Изменение седиментационной устойчивости суспензий технического дисперсного мела на основе творожной сыворотки в зависимости от концентрации дисперсной фазы
 Figure 3. Change of sedimentation stability of the finely dispersed technical grade chalk suspensions based on curd whey depending on the concentration of the dispersed phase

Проведенными опытами по определению стабильности суспензий технического дисперсного мела, приготовленных на сброженной сыворотке, с повышенной концентрацией дисперсной фазы (50, 55 и 60%) показано, что образцы обладают устойчивостью к седиментации как при 20°C (температуре определения физико-химических показателей), так и при 40°C (температуре введения в сбраживаемую сыворотку) (таблица 6). При этом установлено, что концентрация дисперсной фазы 60% является предельной, при которой суспензия технического дисперсного мела на сброженной сыворотке приобретает свойства текучей пасты. Можно предположить, что улучшение такого технологического свойства суспензии мела, как седиментационная устойчивость, по-видимому, обусловлено адсорбцией присутствующих в сброженной сыворотке компонентов (соли щелочного металла фосфорновой кислоты, белоксодержащих композиций и др.) на частицах дисперсной фазы.

Исходя из анализа полученных данных, констатируется, что суспензии технического дисперсного мела концентрацией (50–55%) на сброженной сыворотке являются устойчивыми к седиментации и могут быть рекомендованы для использования в качестве нейтрализующих агентов в процессе сбраживания творожной сыворотки.

Таблица 6 – Седиментационная устойчивость суспензий мела технического дисперсного на основе сброженной сыворотки в зависимости от концентрации дисперсной фазы и температуры
 Table 6. Sedimentation stability of finely dispersed technical grade chalk suspensions based on fermented whey depending on the concentration of the dispersed phase and temperature

| Продолжительность, мин. | Седиментационная устойчивость, % | | | | | | | | Образцы имеют характеристики пасты | |
|-------------------------|----------------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------------------------------|----|
| | Концентрация суспензии, % | | | | | | | | | |
| | 40 | | 45 | | 50 | | 55 | | | 60 |
| | Температура суспензии, °C | | | | | | | | | |
| | 20 | 40 | 20 | 40 | 20 | 40 | 20 | 40 | | |
| 0 | 100 | 98 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | | |
| 30 | 99 | 98 | 100 | 10 | 100 | 100 | 100 | 100 | | |
| 60 | 98 | 95 | 99 | 99 | 100 | 100 | 100 | 100 | | |
| 90 | 97 | 92 | 98 | 97 | 99 | 99 | 100 | 100 | | |
| 120 | 94 | 88 | 96 | 96 | 98 | 99 | 100 | 100 | | |
| 150 | 92 | 86 | 95 | 95 | 98 | 99 | 99 | 99 | | |
| 180 | 87 | 82 | 94 | 93 | 98 | 98 | 98 | 98 | | |

Сравнивая результаты определения характеристик суспензий исследуемых видов мела на сброженной сыворотке, можно отметить, что суспензии технического дисперсного мела приобретают свойства текучей пасты при концентрации дисперсной фазы 60% в то время, как суспензии химически осажденного мела – при значительно меньшей концентрации, равной 35%, что свидетельствует о технологической предпочтительности использования суспензии технического дисперсного мела в технологическом процессе переработки творожной сыворотки.

Заключение

Выявлено технологически значимое отличие химически осажденного и технического дисперсного мела по массовой доле веществ, нерастворимых в соляной кислоте, и остатку после просева на сите с сеткой, характеризующему степень измельчения (дисперсность) продукта.

Показано, что образцы суспензий химически осажденного мела на различных дисперсионных средах (вода питьевая, сыворотка творожная, сыворотка сброженная) имеют щелочную реакцию среды с достаточно широким интервалом варьирования от 7,7 до 9,9 ед. рН. Образцы суспензий технического дисперсного мела, приготовленные на питьевой воде, характеризуются щелочной реакцией среды (от 8,4 до 8,5 ед. рН), а приготовленные на сыворотке творожной или сброженной – от слабокислой до нейтральной реакции среды (от 6,0 до 7,0 ед. рН).

Отмечено, что суспензии технического дисперсного мела обладают меньшей вязкостью и, соответственно, большей текучестью по сравнению с суспензиями химически осажденного мела.

Показано, что суспензии мела, приготовленные на основе творожной сыворотки и сброженных растворов, отличаются наибольшей седиментационной устойчивостью. Седиментационная устойчивость суспензий мела технического дисперсного на сброженной сыворотке при концентрации дисперсной фазы (50–55)% достигает 100%.

Констатировано, что с технологической точки зрения в качестве нейтрализующего агента в процессе сбраживания сыворотки целесообразно использовать суспензии технического дисперсного мела на основе сброженной сыворотки.

Материалы подготовлены в рамках выполнения Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы [Программа X 10.10. Научные основы управления биохимическими и технологическими процессами хранения (№ 0660-2017-0018)].

Литература

1. Китаевская С.В. Современные тенденции отбора и идентификации пробиотических штаммов молочнокислых бактерий // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 17. С. 184–188.
2. Красникова Л.В., Гунькова П.И., Маркелова В.В. Микробиология молока и молочных продуктов: Лабораторный практикум. СПб.: Изд-во Университета ИТМО, 2013. 130 с.
3. Евелева В.В., Черпалова Т.М., Шиповская А.А. Исследование биотрансформации молочной сыворотки в лактатсодержащие продукты // Молочная промышленность. 2018. № 7. С. 40–42.
4. Полуэктова В.А., Ломаченко В.А., Столярова З.В., Ломаченко С.М., Малиновкер В.М. Коллоидно-химические свойства водных дисперсий мела и мрамора // Фундаментальные исследования. 2014. № 9. Ч. 6. С. 1205–1209.
5. Артамонова И.В., Горичев И.Г., Крамер С.М. Сравнительный анализ кинетики растворения карбонатов Ca, Mg, Fe, Mn // Вестник Новгородского государственного университета. 2017. № 5(103). С. 57–61.
6. Саулин Д.В., Рожкова А.В. Исследование эффективности использования осажденного карбоната кальция для технологии утилизации фторид-иона из растворов // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. 2016. № 1. С. 88–102.
7. Рулев Н.Н. Новые направления в развитии технологии очистки природной воды от тонкодисперсных лиофильных примесей флокуляцией и флотацией // Химия и технология воды. 2008. Т. 30, № 4. С. 401–428.
8. Beckett C.A., Davidson R.R., Matthews K.B., Smith D.E. Compositions comprising mineral particles in suspension and method of treating aqueous systems therewith. *Patent United States* 4610801. 1986.
9. Heywood M.J.T. & Walling D.E. Suspended sediment fluxes in chalk streams in the Hampshire Avon catchment, U.K. *Hydrobiologia*. 2003, V. 494, Is. 1–3, pp. 111–117.
10. Grabowski R.C., Wharton G., Davies G.R., et al. Spatial and temporal variations in the erosion threshold of fine riverbed sediments. *Journal of Soils and Sediments*. 2012, V. 12, Is. 7, pp. 1174–1188.

11. Шапорев В.П., Путах И.В., Васильев М.И., Путах О.Я. Исследование физико-химических закономерностей процесса взаимодействия оксида кальция с водой // Восточно-Европейский журнал передовым технологий. 2015. № 6/6(78). С. 4–15.
12. Косухин М.М., Хахалева Е.Н., Богачева М.А., Косухин А.М., Чайкина Е.Е. Изучение влияния природы гидрофильных групп индивидуальных компонентов полифункциональных модификаторов на их пластифицирующую активность и синергетическую эффективность // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 11. С. 143–152.
13. Falcon-Steward H.R. Production of aqueous calcium carbonate suspensions. *Patent United States* 3989195. 1976.
14. Ralph J., Lynne M. Method of suspending insoluble calcium in protein composition. *Patent WO* 98/28367. 1998.
15. Gane P.A.C., Gantebbein D. Dispersed calcium carbonate containing material for an improved stability under alkaline conditions. *Patent United States* 9394428. 2016.
16. Шаповалов Н.А., Полуэктова В.А. Некоторые аспекты наномодифицирования минеральных дисперсий олигоимерами на основе трифункциональных оксифенолов // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2016. Т. 8. № 6. С. 43–57.

References

1. Kitayevskaya S.V. Current trends in selection and identification of probiotic strains of lactic acid bacteria. *Bulletin of Kazan technological University*. 2012, V. 15, no. 17, pp. 184–188 (In Russian).
2. Krasnikova L.V., Gunykova, P.I., Markelova V.V. *Microbiology of milk and dairy products: Laboratory workshop: Educational and methodical manual*. St. Petersburg: ITMO University Publ., 2013. 130 p. (In Russian).
3. Eveleva V.V., Cherpalova T.M., Shipovskaya E.A. Whey biotransformation into lactate-containing products. *Dairy industry*. 2018, no. 7, pp. 40–42 (In Russian).
4. Poluektova V.A., Lomachenko V.A., Stolyarova Z.V., Lomachenko S.M., Malinovker V.M. Colloidal-chemical properties of aqueous dispersions of chalk and marble. *Fundamental exploration*. 2014, no. 9, Part 6. pp. 1205–1209 (In Russian).
5. Artamonova I.V., Gorichev I.G., Kramer S.M. Comparative analysis of dissolution kinetics of Ca, Mg, Fe, Mn carbonates. *Bulletin of Novgorod state University*. 2017, no. 5(103), pp. 57–61 (In Russian).
6. Saulin D.V., Rozhkova A.V. Investigation of efficiency of use precipitated calcium carbonate for technology of utilization of fluoride ion from solutions. *Bulletin of Perm national research Polytechnic University. Chemical technology and biotechnology*. 2016, no. 1, pp. 88–102 (In Russian).
7. Rulev N.N. New trends in the development of natural water purification technology from fine lyophilic impurities by flocculation and flotation. *Chemistry and technology of water*. 2008, V. 30, no. 4, pp. 401–428 (In Russian).
8. Beckett C.A., Davidson R.R., Matthews K.B., Smith D.E. Compositions comprising mineral particles in suspension and method of treating aqueous systems therewith. *Patent United States* 4610801. 1986.
9. Heywood M. J. T. & Walling D. E. Suspended sediment fluxes in chalk streams in the Hampshire Avon catchment, U.K. *Hydrobiologia*. 2003, V. 494, Is. 1, pp. 111–117.
10. Grabowski R.C., Wharton G., Davies G.R., et al. Spatial and temporal variations in the erosion threshold of fine riverbed sediments. *Journal of Soils and Sediments*. August 2012, V. 12, Is. 7, pp. 1174–1188
11. Шапорев В.П., Путах И.В., Васильев М.И., Путах О.Я. Investigation of physico-chemical regularities of interaction of calcium oxide with water. *Eastern European Journal of Advanced Technology*. 2015, no. 6/6(78), pp. 4–15 (In Russian).
12. Kosukhin M.M., Khakhaleva E.N., Bogacheva M.A., Kosukhin A.M., Chaykina E.E. Study of the influence of the nature of hydrophilic groups of individual components of polyfunctional modifiers on their plasticizing activity and synergistic efficiency. *Bulletin of Belgorod state technological University V.G. Shukhov*. 2016, no. 1, pp. 143–152 (In Russian).
13. Falcon-Steward H.R. Production of aqueous calcium carbonate suspensions. *Patent United States* 3989195. 1976.
14. Ralph J., Lynne M. Method of suspending insoluble calcium in protein composition. *Patent WO* 98/28367. 1998.
15. Gane P.A.C., Gantebbein D. Dispersed calcium carbonate containing material for an improved stability under alkaline conditions. *Patent United States* 9394428. 2016.
16. Shapovalov N.A., Poluektova V.A. Some aspects of nanomodification of mineral dispersions by oligomers based on trifunctional oxyphenols. *Nanotechnology in Construction: Scientific Internet Journal*. 2016, V. 8, no. 6. pp. 43–57 (In Russian).

Статья поступила в редакцию 11.10.2019