

Г.В. Менх, И.С. Разумникова

## ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВИЙ ГЕЛЕОБРАЗОВАНИЯ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ

Рассмотрены вопросы определения условий получения устойчивых дисперсий с различными гелеобразователями. Изучено влияние величины параметра заряда на прочностные характеристики гелей, а также скорость набухания гелеобразователя (изменений массы) при различных температурных режимах.

Молочная сыворотка, гелеобразователи, коллоиды, параметры, скорость набухания, молекула.

### Введение

В обеспечении качества жизни питание всегда имело важнейшее значение. Особая роль в организации питания принадлежит продуктам на молочной основе, что объясняется уникальным составом и свойствами молочных продуктов, а также возможностью вырабатывать большое количество разнообразных продуктов. В последние годы во многих странах мира ведутся исследования по созданию комбинированных продуктов на молочной основе. Разработка новых видов комбинированных продуктов не может быть эффективной без владения полным объемом информации о существующих образцах [1].

Важным направлением развития отечественной пищевой промышленности является максимальное использование вторичных ресурсов, а также местного растительного сырья с целью разработки продуктов, обладающих защитными, профилактическими и лечебными свойствами. Это положение закреплено концепцией государственной политики в области здорового питания населения [2].

Пища человека является источником регуляторных и защитных факторов, необходимых для согласованной деятельности всех систем организма, приспособления к разным условиям среды, борьбы против внешних негативных воздействий. Для защиты организма человека от неблагоприятных воздействий необходимо включать в рацион продукты профилактического и лечебного назначения. Особую роль в этом играют различные ингредиенты, выполняющие технологические функции в формировании качества готовых продуктов: незаменимые аминокислоты, пектиновые вещества, клетчатка, белки и другие. В связи с этим необходимо разрабатывать такие продукты, которые могли бы не только удовлетворять потребности организма человека в пищевых веществах и энергии, но и придавали продуктам питания функциональные свойства.

Одним из резервов увеличения эффективности производства в централизованных условиях является более рациональная переработка сырья с использованием всех составных частей. Из вторичного сырья молочной промышленности особое место занимает молочная сыворотка, ресурсы которой увеличиваются в связи с возрастанием объектов производства творога, сыра и казеина. В настоящее время ее выпуск в России по разным источникам достигает 3,0 млн т в год [3].

Молочная сыворотка – ценное углеводсодержащее сырье. Многочисленными исследованиями уста-

новлено, что основные компоненты сыворотки, такие как сывороточные белки и лактоза, а также их производные, обладают рядом ценных лечебных и профилактических свойств. Среди потенциально активных компонентов наиболее интересными в пищевом плане считаются те, которые содержатся в сыворотке даже в незначительной концентрации. Доказано, что антимикробными и противовоспалительными свойствами обладают биоактивные пептиды, антитела (иммуноглобулины), а лактоза и ее производные обладают пребиотическими свойствами.

Современная наука о питании особое внимание уделяет вопросам создания продуктов функционального назначения, в составе которых используют биологически активные комплексы из компонентов животного и растительного происхождения. Они обладают хорошими потребительскими качествами, высокой биологической и пищевой ценностью, а также имеют невысокую себестоимость. В связи с широким ассортиментом структурирующих добавок, вкусовых наполнителей, ароматизаторов, применяемых в производстве продуктов, получают продукцию с различными свойствами и структурой [4, 5].

Разработка технологии производства продуктов из молочной сыворотки с разнообразными наполнителями позволяет расширить ассортимент молочных продуктов и удовлетворить растущие потребности в недорогих молочных продуктах, а также использовать все составные части молока. В качестве обогащающих компонентов в основном используют растительные наполнители (плоды, овощи, ягоды и продукты их переработки), что позволяет обогатить молочные продукты витаминами, клетчаткой, пектином, которые являются компонентами функционального питания.

Ассортимент гелеобразных продуктов до настоящего времени был достаточно узок из-за высокой стоимости желирующих веществ, лишь в последние восемь-десять лет отмечено насыщение рынка десертной продукцией. В качестве гелеобразователей наиболее часто используют желатин, агар, картофельный крахмал и другие вещества различной химической природы. Для получения продуктов питания с лечебно-профилактическими свойствами используется растительное сырье, в качестве которого могут выступать продукты переработки злаковых (пшеничные зародышевые хлопья и пшеничные отруби), овощные, фруктовые и ягодные наполнители. Эти полифункциональные растительные добавки содержат комплекс разнообразных витаминов, по-

линенасыщенных жирных кислот, железо, фосфор и кальций. Известно, что процесс получения гелеобразователей достаточно трудоемкий, энергозатратный и небезопасный, а внесение наполнителя в продукт в некоторой степени понижает массовую долю гелеобразователей, тем самым экономится дорогостоящее сырье [6].

Решение вопросов разработки и совершенствования технологических процессов получения гелеобразных продуктов на базе теоретических и экспериментальных исследований в данной области является актуальным, что представляет научный и практический интерес в производственной и хозяйственной деятельности. Кроме того, опыт развития молочной промышленности показывает, что вопросы переработки молочной сыворотки нуждаются в дальнейшем развитии, что указывает на актуальность поиска новых способов ее переработки. А именно она является ценнейшим сырьем для производства продуктов с диетическими и лечебными свойствами и должна полностью использоваться в народном хозяйстве [1].

В связи с этим изучение технологических особенностей создания гелеобразных продуктов в условиях молочной отрасли позволяет выделить в отдельную группу продукты, вырабатываемые на основе молочной сыворотки, являющейся уникальным сырьем для производства структурированных продуктов. Все вышеизложенное указывает на актуальность исследований, связанных с изучением структурно-механических свойств гелей на основе молочной сыворотки.

#### Материалы и методы исследования

Объектами исследования явились сыворотка молочная (ОСТ 4992), гелеобразователи (агар, агароид, пектин, желатин, целлюлоза, крахмал).

При выполнении работы использовали общепринятые, стандартные и оригинальные методы исследования. Учет и обработку результатов проводили методами статистического и регрессионного анализа.

Отбор и подготовку проб к анализу проводили по ГОСТ 5904-82; ГОСТ 3622-68; ГОСТ 9225-84; ГОСТ 26668-85.

Параметр заряда гелеобразователя оценивали по методикам, приведенным в [7].

Реологические характеристики гелей на основе молочной сыворотки и образцов продукции определяли вискозиметрически на ротационном вискозиметре «Реотест-2». Для проведения исследования испытуемое вещество помещали в цилиндр, приво-

димый в равномерное вращательное движение. Подвешенный на упругой нити второй цилиндр находится коаксиально с первым. Вязкость вычисляется по величине скорости вращения первого цилиндра и по углу поворота второго цилиндра от его первоначального положения.

Напряжение сдвига ( $\theta$ , Па) вычисляли по формуле

$$\theta = Z \cdot \alpha, \quad (1)$$

где  $Z$  – константы цилиндров ( $S_1/S$ , или  $S_2/S$ , или  $H/h$ );  $\alpha$  – показания вискозиметра.

Эффективную вязкость ( $\eta_{эф}$ , Па·с) вычисляли по формуле

$$\eta_{эф} = \theta \dot{\gamma}, \quad (2)$$

где  $\dot{\gamma}$  – скорость сдвига,  $c^{-1}$ .

Скорость набухания гелеобразователей определяли по формуле

$$v = \frac{dQ}{dt} = K(Q_{max} - Q_t), \quad (3)$$

где  $K$  – константа скорости набухания;  $Q_{max}$  – предельное набухание;  $Q_t$  – набухание к данному моменту времени.

#### Результаты и их обсуждение

Для изучения особенностей процесса гелеобразования молочной сыворотки предприняты попытки определения условий получения устойчивых дисперсий с различными гелеобразователями. В настоящее время наиболее распространенными гелеобразователями являются агар, агароид, пектин, желатин, целлюлоза и ее производные, а также крахмал и его производные. При этом количество гелеобразователя было выбрано с учетом результатов предварительно проведенных экспериментов (массовая доля сывороточных белков 0,5 %, значение предельного напряжения геля не менее 100 Па) – для агара 0,8 %; пектина – 0,9 %; агароида – 2,5 %; желатина – 2,2 %; метилцеллюлозы – 1,8 %; крахмала – 2,9 %.

В ходе проведения исследований нами получены кривые течения при различных скоростях сдвига для различных видов использованных гелеобразователей.

В табл. 1 показано влияние величины параметра заряда на прочностные характеристики гелей на основе бинарных композиций «молочная сыворотка – гелеобразователь».

Таблица 1

Влияние параметра заряда гелеобразователя на предельное напряжение сдвига в молочной сыворотке

Гелеобразователь	Предельное напряжение сдвига, Па, с параметром заряда молекулы гелеобразователя, мВ						
	0,28	0,45	0,62	0,79	0,96	1,13	1,30
Агар	142	148	155	190	193	–	–
Агароид	70	83	92	104	–	–	–
Метилцеллюлоза	95	115	134	151	169	–	–
Пектин	115	238	246	258	–	–	–
Желатин	–	–	–	257	312	342	395
Крахмал	–	77	95	112	–	–	–

Анализ полученных данных позволяет заключить, что прочностные характеристики системы изменяются в зависимости от параметра электрического заряда молекулы гелеобразователя. С увеличением параметра заряда происходит повышение значений предельного напряжения сдвига. Данный факт объясняет те особенности, которые определены в гелях в зависимости от концентрации ионов водорода.

Наибольшая способность изменения прочности структуры геля в результате изменения параметра заряда молекулы гелеобразователя установлена для желатина и пектина. Это можно объяснить тем, что ионы водорода блокируют заряды на поверхности молекулы гелеобразователя с последующей сменой знака заряда молекулы при одновременном усилении гелеобразующих свойств. В реальных условиях состояние, при котором параметр заряда молекулы гелеобразователя оказывается равен нулю, получить практически невозможно, а можно лишь произвести смену знака заряда полимерной цепи гелеобразователя. Этот фактор можно расценить как положительное условие гелеобразования.

При смене знака заряда изменение гелеобразующих свойств не является пропорциональным, поскольку заряды у функциональных групп не тождественны. Данный факт указывает на то, что подбор реальных значений pH среды необходимо проводить с учетом особенностей свойств компонентов, входящих в рецептуру.

Являясь по своей природе гидрофильными коллоидами, рассмотренные гелеобразователи обладают различной способностью к гидратации. В дальнейшем эта способность определяет технологические свойства коллоидов при гелеобразовании сыворок, например, такое свойство, как набухание. На основании изучения скорости набухания гелеобразователей при различных температурах нами был проведен ряд исследований, представленных на рис. 1. Установлено, что при прочих равных условиях скорость набухания в значительной степени зависит от температуры. При визуальном анализе выявлено, что до определенной температуры гелеобразователь сохраняет четкую границу раздела фаз при взаимодействии с молочной сывороткой. В момент достижения определенной температуры наблюдается исчезновение резкой границы раздела между набухающим материалом и дисперсионной средой. В этом случае гелеобразователь можно рассмотреть как необратимо набухающую субстанцию с ее переходом в состояние коллоидного раствора.

Среди изученных гелеобразователей качественный скачок в скорости набухания в зависимости от температуры отмечен у агароида и пектина на температурном уровне 20–40 °С. Молекулы желатина и крахмала характеризуются примерно пропорциональным изменением степени гидратации при температуре 80 °С. Для метилцеллюлозы уже при температуре 10 °С характерна по сравнению с другими гелеобразователями максимальная скорость набухания (полное окончание изучаемого процесса отмечается при температуре более 70 °С). Из рассмотренных гелеобразователей минимальной скоростью

набухания характеризуется агар, окончание этого процесса отмечается при температуре 100 °С.

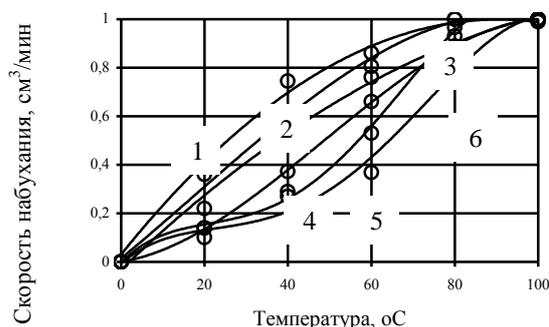


Рис. 1. Скорость набухания гелеобразователей при различных температурах: 1 – агар; 2 – пектин; 3 – агароид; 4 – желатин; 5 – метилцеллюлоза; 6 – крахмал

Естественно предположить, что температура не только увеличивает число активных контактов молекул гелеобразователя путем уменьшения энергии активации, но и изменяет вязкостные свойства системы в целом. По реологическим кривым предельного напряжения сдвига определяли эффективную вязкость гелеобразных систем при различных температурах. Результаты исследований приведены на рис. 2.

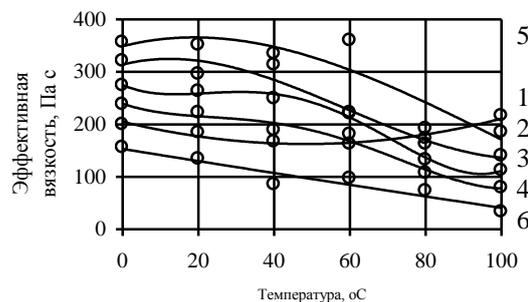


Рис. 2. Влияние температуры на изменение эффективной вязкости гелей: 1 – агар; 2 – пектин; 3 – агароид; 4 – желатин; 5 – метилцеллюлоза; 6 – крахмал

Выявлено, что связи, образованные в сывороточном геле с крахмалом, являются наименее прочными из всех, которые получены при гелеобразовании молочной сыворотки независимо от использованного гелеобразователя и скорости сдвигающей деформации. Данный факт связан, вероятно, с изменением прочности сольватных оболочек, которые формируются под действием внешних факторов, первостепенным из которых является температура. Энергия активации, необходимая для прочного контакта между молекулами гелеобразователя через гидратные оболочки, подчиняется уравнению Аррениуса – в коллоидах, содержащих повышенное количество метильных групп, устойчивость адсорбционных гидратных слоев под воздействием температуры более высокая (например, в агаре и пектине). Этим же объясняется аномальное поведение вязкости гелей с метилцеллюлозой: с повышением температуры отмечается увеличение значений эффективной вязко-

сти на 6,4–25,0 % по сравнению с минимальным значением, полученным при температуре 40–45 °С.

Конечным результатом гелеобразования является переход состояния золь молочной сыворотки в устойчивый гель.

Приведенные результаты поисковых исследований позволяют объективно оценить возможность перехода молочной сыворотки в твердое состояние под воздействием различных гелеобразователей. Формирование новой фазы связано с протеканием конкурирующих процессов, происходящих на различных этапах технологического цикла. Ускоренные режимы теплового воздействия и охлаждения позволяют получить менее структурированные системы с более выраженными тиксотропными свойствами. Круг допустимых воздействий (технологических факторов) ограничен значительным нарушением нативного состояния гелеобразователя и его функциональных групп. Тем не менее исследования структурно-механических характеристик при различных условиях сдвигающей деформации позволяют определить такие параметры, которые должны учитываться в реальных технологических процессах (комбинируя соотношение гелеобразователей при их совместном использовании, можно получить гели

с требуемыми структурно-механическими показателями). Высокая пластичность периферийного слоя на границе «молочная сыворотка – гелеобразователь» способна выдержать значительные деформации до тех пор, пока не произошло формирование единой сплошной фазы. Это свойство, несомненно, связано с наличием слабых связей между мономолекулярным слоем воды и коллоида.

Полученные результаты позволяют прогнозировать наличие изменений у гелеобразных систем на основе молочной сыворотки.

#### Выводы

Изучено влияние величины параметра заряда на прочностные характеристики гелей на основе бинарных композиций «молочная сыворотка – гелеобразователь». При этом ионы водорода в некоторых случаях являются причиной частичного гидролиза гелеобразователей, что ухудшает (ослабляет) их технологические свойства.

Изучена способность, определяющая технологические свойства коллоидов при гелеобразовании сыворотки (скорость набухания гелеобразователей), которая зависит от температурных параметров процесса гелеобразования.

#### Список литературы

1. Большаков, О.В. Государственная политика в области здорового питания / О.В. Большаков // Молочная промышленность. – 1999. – № 6. – С. 5–6.
2. Остроумов, Л.А. Методические принципы разработки технологии комбинированных молочных продуктов / Л.А. Остроумов, В.В. Бобылин // Кемеровскому технологическому институту пищевой промышленности 25 лет: достижения, проблемы, перспективы: сб. науч. тр. – Ч. 1. – Кемерово, 1998. – С. 7–12.
3. Сизенко, Е.И. Проблемы комплексной переработки сельскохозяйственного сырья и производства высококачественных пищевых продуктов / Е.И. Сизенко // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1999. – № 10. – С. 12–16.
4. Козлов, С.Г. Продукты функционального назначения на основе молочной сыворотки / С.Г. Козлов // Молочная промышленность. – 2003. – № 6. – С. 57–58.
5. Касьянов, Г.И. Биотехнология получения и применения экстрактов и структурообразователей / Г.И. Касьянов, М.Ю. Тамова. – Краснодар: Экоинвест, 2002. – 229 с.
6. Дунченко, Н.И. Структурированные молочные продукты: монография / Н.И. Дунченко. – М.; Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2002. – 164 с.
7. Мачихин, Ю.А. Инженерная реология пищевых материалов / Ю.А. Мачихин, С.А. Мачихин. – М.: Легкая промышленность, 1981. – 207 с.

ГОУ ВПО «Кемеровский технологический институт  
пищевой промышленности»,  
650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47.  
Тел./факс: (3842) 73-40-40  
e-mail: office@kemtipp.ru

#### SUMMARY

G.V. Menh, I.S. Razumnikova

#### Study of Gelation Factors of Whey

The problems of determining the factors for obtaining stable dispersions with different gelling agents have been considered. The influence of the charge value on the gels mechanical properties as well as gelling agent swelling rate (mass changes) at different temperatures has been studied.

Whey, gelling agents, colloids, parameters, swelling rate, molecule.

Kemerovo Institute of Food Science and Technology  
47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia

