УДК 637.072:637.344
https://doi.org/10.21603/1019-8946-2023-5-24

Влияние гидролизата сывороточных белков на поверхностно-активные и пенообразующие свойства творожной сыворотки

Алла Львовна Новокшанова, д-р техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории пищевых биотехнологий и специализированных продуктов
E-mail: novokshanova@ion.ru
ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи»

Исследованы поверхностно-активные и пенообразующие свойства систем, содержащих 100 см³ творожной сыворотки и от 1 до 3 г гидролизата сывороточных белков молока со степенью гидролиза 60 %. Контролем служили образцы сыворотки без гидролизата. Массовые доли белка, жира, лактозы и сухих веществ, активная кислотность, вязкость и поверхностное натяжение образцов изучены приборными методами. Показатели пенообразования сыворотки с гидролизатом исследовали при взбивании 100 см³ пробы со скоростью 10 000 об/мин в течение 10 с в цилиндре. При добавлении гидролизата наблюдали тенденцию снижения активной кислотности и увеличения вязкости сыворотки без ощутимого изменения поверхностного натяжения опытных образцов. Внесение в творожную сыворотку до 3 % гидролизата сывороточных белков глубокой степени гидролиза пептидных связей (60 %) положительно влияло на поверхностно-активные и пенообразующие свойства сыворотки. Наблюдаемые эффекты обусловлены, прежде всего, увеличением массовой доли сывороточных белков, выполняющих в данных системах функцию поверхностно-активных веществ.

Ключевые слова: *гидролизат сывороточных белков, творожная сыворотка, поверхностно-активные свойства, пенообразующие свойства.*

Novokshanova A. L. Influence of whey protein hydrolysate on surface-active and foaming properties of curd whey
Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety

The surface-active and foaming properties of systems containing 100 cm³ of curd whey and from 1 to 3 g of milk whey protein hydrolysate with a degree of hydrolysis of 60 % were studied. The control was whey samples without hydrolysate. The mass fractions of protein, fat, lactose and solids, active acidity, viscosity and surface tension of the samples were studied by instrument methods. The parameters of serum foaming with hydrolysate were studied by whipping 100 cm³ samples at a speed of 10,000 rpm for 10 seconds in a cylinder. When adding hydrolysate, a tendency was observed to decrease the active acidity and increase the viscosity of the whey without a noticeable change in the surface tension of the prototypes. The addition of up to 3 % hydrolysate of whey proteins to the curd whey of a deep degree of hydrolysis of peptide bonds (60 %) had a positive effect on the surfactant and foaming properties of the serum. The observed effects are primarily due to an increase in the mass fraction of whey proteins that perform the function of surfactants in these systems.
Key words: *whey protein hydrolyzate, curd whey, surfactant properties, foaming properties.*

Гидролизаты белков с высокой степенью деструкции пептидных связей используют в технологиях специализированных продуктов, поскольку по мере гидролиза белковых молекул утрачиваются их аллергенные свойства. Кроме того, внесение гидролизатов способствует повышению пищевой ценности продукта, увеличивая содержание незаменимых аминокислот.

Недостатком, который появляется при гидролизе белковых молекул, является горький вкус. Установлено, что в случае использования гидролизата сывороточных белков молока со степенью гидролиза 60 % (далее — гидролизат) его максимальное количество, которое не ухудшает вкус молочной основы, составляет 3 % [5]. Однако физико-химические и технологические свойства молочного сырья, например, поверхностно-активные, могут измениться при добавлении даже такого небольшого количества гидролизата.

На поверхностно-активные свойства белков одновременно оказывают влияние гидрофильные и гидрофобные участки в их структурах. В результате полипептидные цепи располагаются на границе раздела фаз, погружаясь гидрофобными фрагментами в воздушную фазу, а гидрофильными — в дисперсионную среду. Такое формирование пленок пенных структур с участием белковых молекул повышает прочность пены при механическом воздействии, хранении и обработке [9].

По мнению некоторых авторов, для проявления поверхностно-активных свойств белков их гидрофобность должна быть не менее 1000 кДж/моль. Этот же показатель определяет и наличие горького вкуса, который проявляется у веществ со средней гидрофобностью выше 5855 кДж/моль [9]. На основании этой информации и, учитывая наличие горького вкуса исследуемого гидролизата, можно предположить, что в нем содержатся гидрофобные пептиды, способные закрепляться на поверхности раздела воздушной и жидкой фаз [5]. Поверхностно-активные свойства молочных белков обусловлены высокой гибкостью их молекул и способностью дестабилизироваться при внешнем воздействии [6, 7].

В условиях недостатка молочного сырья целесообразно максимально использовать все побочные продукты на пищевые цели. Исследование возможности сочетания молочной сыворотки с различными ингредиентами может способствовать расширению сферы использования как ее самой, так и сывороточных белков молока. Данные о влиянии гидролизата на поверхностно-активные и пенообразующие свойства сыворотки применимы при разработке технологии коктейлей, взбитых десертов, мороженого, кондитерских изделий и другой продукции.

Экспериментальные образцы готовили с использованием сыворотки, получаемой в производстве творога традиционным кислотным способом на Учебно-опытном молочном заводе ВГМХА им. Н. В. Верещагина, и гидролизата производства ВНИИМС. В пробы сыворотки объемом 100 см³ вносили навески 1, 2 и 3 г сухого гидролизата при температуре 20±2 °С. Образцы осторожно перемешивали до растворения гидролизата. Контролем служила сыворотка без гидролизата.

Массовые доли белка, жира, лактозы и сухих веществ определяли экспресс-методом с применением инфракрасного анализатора MilkoScan FT 120 и спектрометра Bruker MPA. Активную кислотность образцов анализировали потенциометрическим методом. Для оценки влияния гидролизата на физико-химические свойства сыворотки определяли условную вязкость методом капиллярной вискозиметрии и поверхностное натяжение сталогмометрическим методом [8].

Основные способы получения пены — это насыщение газом и механическое воздействие. Нарушение поверхности раздела жидкой фазы механическим воздействием или насыщением газом создают градиенты поверхностного натяжения, необходимые для образования пены. В пищевых технологиях наиболее распространен способ взбивания.

Показатели пенообразования сыворотки с гидролизатом исследовали при взбивании 100 см^3 пробы со скоростью 10000 об/мин в течение 10 с в цилиндре. Пенообразующие свойства и устойчивость полученных пен характеризовали рядом показателей.

Показатель вспенивания (%) определяли как объемную долю газообразной фазы в пене по формуле:

$$П_{всп} = \frac{V_{гф}}{V_{дс}} \cdot 100 ,$$

где $V_{гф}$ и $V_{дс}$ — соответственно объем газообразной фазы и дисперсионной среды пены, см^3.

Стабильность пены, характеризующую прочность и продолжительность существования (время жизни) пены, определяли временем (мин), в течение которого она теряет 50 % жидкой фазы. Отношение конечного столба пены к начальному (%) вычисляли по формуле:

$$СП = \frac{V_к}{V_н} \cdot 100,$$

где $V_к$ и $V_н$ — соответственно объем пены по завершении гашения и начальный объем после взбивания, см^3 [5].

Исследования выполнены в трехкратной повторности. Для построения диаграмм и расчета статистических показателей экспериментальных данных использовано программное обеспечение Microsoft Excel 2016.

Изучена взаимосвязь между содержанием гидролизата, активной кислотностью и содержанием белка в образцах творожной сыворотки:

Содержание гидролизата, г в 100 г сыворотки	1	2	3	4
Активная кислотность, ед. pH	4,39	4,33	4,30	4,24
Массовая доля белка, %	0,5	1,3	2,4	3,5

При добавлении гидролизата наблюдали тенденцию снижения активной кислотности сыворотки. Это объяснимо наличием в гидролизате большого количества свободных аминокислот, в том числе кислых.

Указанные значения активной кислотности соответствуют приемлемому диапазону pH 4,2–4,8, в котором наиболее устойчивы кислородные пены, полученные на основе молочной сыворотки [4]. Однако, как отмечено в том же исследовании, «малые концентрации сывороточного белка 0,4 % в сыворотке не позволяют достигнуть высокой устойчивости (время жизни) кислородных пен без дополнительной стабилизации системы с помощью камедей» [4] или путем добавления белка.

Таблица 1

Поверхностно-активные свойства творожной сыворотки

Источник данных	Условная вязкость, мПа·с	Поверхностное натяжение, мН/м
Литературные [9]	1,10	51–52
Экспериментальные	1,30–1,45	48,94–53,21

Таблица 2

Влияние гидролизата на вязкость и поверхностное натяжение творожной сыворотки

Массовая доля ГСБ, %	Условная вязкость, мПа·с	Поверхностное натяжение, мН/м
0,0	1,38±0,04	51,37±0,75
1,0	1,39±0,03	51,04±0,84
2,0	1,42±0,02	50,87±0,91
3,0	1,41±0,01	51,07±0,82

Повышение массовой доли сывороточного белка в системах путем внесения гидролизата должно способствовать улучшению показателей стабильности пен, поскольку устойчивость пены имеет положительную корреляцию с молярной концентрацией поверхностно-активных веществ [9].

В отличие от низкомолекулярных поверхностно-активных веществ поверхностная активность белков обусловлена не только наличием разноименно заряженных участков в их молекулах. В частности, влияние белков на вязкость и поверхностное натяжение систем — это те критерии, по которым можно судить о таких технологических свойствах, как пенообразование и стойкость пены [1–3]. С повышением вязкости и поверхностного натяжения дисперсионной среды обычно наблюдается увеличение стойкости пены.

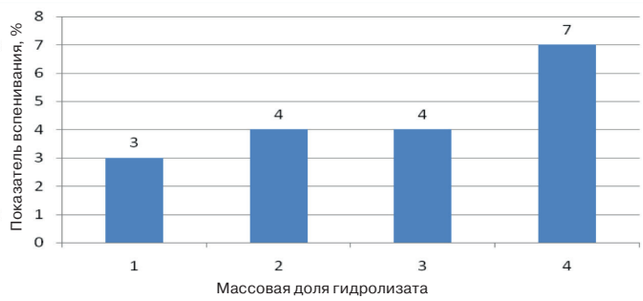
Условная вязкость (η) и поверхностное натяжение (σ) исходной сыворотки были сопоставимы с литературными данными (табл. 1).

После внесения гидролизата наблюдали тенденцию увеличения вязкости сыворотки, что обусловлено общим повышением содержания сухих веществ в образцах. При этом ощутимого изменения поверхностного натяжения опытных образцов не обнаружено (табл. 2).

Термодинамическая неустойчивость пен осложняет исследование процесса пенообразования, а также изучение свойств самой дисперсной системы и не имеет единой методологии. В условиях эксперимента использованы как органолептические, так и физико-химические критерии оценки.

Визуально все образцы пен имели однородную и крупнодисперсную консистенцию. Однако, в отличие от мгновенно опадающей пены контрольного образца, скорость оседания пены опытных образцов была меньше. Это согласуется с мнением других авторов о том, что повышение содержания сывороточного белка в системе способствует продлению жизненного цикла пены в сравнении с исходной сывороткой [1, 4].

В сыворотке без гидролизата «быстрое гашение пены происходило из-за того, что дисперсионная среда между воздушными пузырьками быстро стекала вниз вместе с поверхностью раздела вследствие недостаточной поверхностной активности белков» [5]. В образцах с гидро-



Влияние гидролизата на показатель вспенивания сыворотки

Таблица 3

Показатели пенообразующих свойств сыворотки с добавками гидролизата

Содержание гидролизата, г в 100 мл сыворотки	Время разрушения пены, мин	Стабильность пены, мин	Отношение конечного столба пены к начальному, %
0,0	1,0±0,5	0,11±0,01	0,00±0,00
1,0	5,0±0,5	2,98±0,02	1,00±0,01
2,0	4,5±0,5	3,01±0,01	1,00±0,01
3,0	4,5±0,5	2,99±0,01	0,75±0,02

лизатом пена разрушалась медленнее, чем в контроле, что обусловлено увеличением молярной концентрации поверхностно-активных веществ за счет добавления гидролизата. Хотя устойчивость пены в опытных образцах была недостаточной, способность к образованию пены в них заметно выше, чем в контрольном варианте.

Анализ результатов показал, что гидролизат улучшает пенообразующие способности сыворотки, поскольку объем образованной пены в присутствии гидролизата явно больше, чем в контроле. Как видно из рисунка, показатель вспенивания сыворотки с гидролизатом колеблется от 4,0 до 7,0 и выше, чем в контрольных образцах. Данные о пенообразовании сыворотки с гидролизатом представлены в таблице 3.

Положительным моментом можно считать отсутствие отрицательного влияния гидролизата на способность к пенообразованию, поскольку есть информация, что «обширный гидролиз ухудшает пенообразующие свойства белков из-за неспособности низкомолекулярных пептидов образовывать на границе раздела фаз когезионные пленки» [9]. В случае данного гидролизата, несмотря на значительную глубину гидролиза, преобладающим фактором в плане пенообразующих свойств, вероятно, стала гидрофобность пептидов, благодаря которой обеспечивается высокая скорость адсорбции пептидов к границе раздела фаз, на что указывает показатель вспенивания.

По отношению конечного столба пены к начальному очевидно, что в сыворотке без добавок происходило полное гашение образованной пены, в то время как в опытных образцах, несмотря на значительное осушение, часть пенного слоя оставалась не погашенной.

Нестабильность пен в условиях эксперимента может быть «вызвана несколькими причинами, такими как созревание Оствальда (диспропорционирование), дренирование жидкости через слой пены под воздействием силы тяжести и коалесценция пузырьков вследствие нестабильности пленки между ними. Такое предположение можно сделать потому, что основные поверхностно-активные вещества в этих системах — белки, которые десорбируются с трудом. В отсутствие десорбции роль поверхностного натяжения снижается и соответственно уменьшается давление Лапласа, а это означает, что движущая сила созревания Оствальда становится меньше. Следовательно, для повышения устойчивости пены в присутствии сывороточных белков требуются дополнительные стабилизаторы» [9].

Полученные данные убеждают, что внесение в творожную сыворотку от 1 до 3 % гидролизата сывороточных белков глубокой степени гидролиза пептидных связей (60 %) не оказывает отрицательного воздействия на способность сыворотки к насыщению воздухом. В условиях эксперимента наблюдаемые эффекты обусловлены, прежде всего, увеличением массовой доли сывороточных белков, выполняющих в данных системах функцию поверхностно-активных веществ.

Материал подготовлен в рамках Государственного задания № FGMF-2022-0002.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ***Масленникова, С. М.*** *Исследование и разработка технологии взбитых молочных десертов на основе гидролизата казеина: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04/ Масленникова Светлана Михайловна. – Кемерово, 2015. – 145 с.*

2. ***Неповинных, Н. В.*** *Применение гидролизата сывороточных белков молока в технологии продуктов специального назначения/Н.В.Неповинных, А. Л. Новокшанова, Н. П. Лямина [и др.]// Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2015. Т. 14. № 52. С.86.*

3. ***Неповинных, Н. В.*** *Продукты здорового питания – ключ к лечению и профилактике неинфекционных заболеваний/ Н. В. Неповинных, Н. П. Лямина, А. Л. Новокшанова [и др.]// Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2016. № 53 (15). С. 112–113.*

4. ***Неповинных, Н. В.*** *Теоретическое обоснование и практические аспекты использования пищевых волокон в технологиях молокосодержащих продуктов диетического профилактического питания: дис. ... д-ра техн. наук: 05:18:04/ Неповинных Наталия Владимировна. – Саратов, 2016. – 448 с.*

5. ***Новокшанова, А. Л.*** *Разработка научных принципов создания продуктов спортивного питания на основе молочного сырья: специальность 05.18.15 «Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания»: дис. …д-ра техн. наук/ Новокшанова Алла Львовна; ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени К. Г. Разумовского». – Москва, 2019. – 487 с.*

6. ***Просеков, А.Ю.*** *Гелеобразные продукты с использованием сыворотки и растительного сырья/ А. Ю. Просеков, И. С. Разумникова, Г.В.Менх// Молочная промышленность. 2011. № 7. С. 78.*

7. ***Просеков, А. Ю.*** *Молочно-белковые концентраты в продуктах с пенообразной структурой/ А. Ю. Просеков, С. А. Иванова, В. С. Сметанин// Молочная промышленность. 2011. № 5. С. 64–65.*

8. ***Тепел, А.*** *Химия и физика молока/ А. Тепел. – Пер. с нем. под ред. канд. техн. наук, доц. С. А. Фильчаковой. – СПб.: Профессия, 2012. – 832 с., табл., ил.*

9. ***Химия пищевых продуктов: научное издание****/ ред., сост.: Ш. Дамодаран, К. Л. Паркин, О. Р. Феннема. – СПб.: ИД «Профессия», 2012. – 1040 с. – Пер. с англ. – ISBN 978-5-904757-24-3.*