

## ПЕНООБРАЗУЮЩИЕ СВОЙСТВА ГИДРОЛИЗАТОВ СЫВОРОТОЧНЫХ БЕЛКОВ

*E.Yu. Agarkova*

### FOAM-FORMING PROPERTIES OF WHEY PROTEINS HYDROLYSATES

**Агаркова Евгения Юрьевна** – канд. техн. наук, зав. лаб. технологии молочно-белковых концентратов, пищевых добавок и производства продуктов на их основе Всероссийского НИИ молочной промышленности, г. Москва.  
E-mail: e\_agarkova@vnimi.org

**Agarkova Evgenia Yuryevna** – Cand. Techn. Sci., Head, Lab. of Technology of Dairy and Proteinaceous Concentrates, Food additives and Production of Products on Their Basis, All-Russia Institute of Dairy Industry, Moscow.  
E-mail: e\_agarkova@vnimi.org

Цель исследований – изучить пенообразующие свойства белков молочной сыворотки, подвергнутых биокатализу, доказать их применимость при создании продуктов функциональной направленности. Задачи: установить принципы формирования пенных структур, полученных при помощи белков молочной сыворотки, подвергнутых биокатализу; определить факторы, влияющие на основные аспекты пенообразования в гидролизованных белковых пенных системах (ГБПС); установить рациональные режимы взбивания ГБПС с последующим их включением в рецептуру аэрированных молочных продуктов. Объектами исследования в данной работе служили гидролизаты сывороточных белков, стабилизированные желатином и тыквенным пектином; процесс пенообразования, структура и свойства полученных пенных масс. Пенообразующую способность оценивали в процентах как отношение разницы конечного и начального объема к начальному объему, умноженное на 100, стойкость пены оценивали визуально по времени, до начала разрушения. Микрофотографии пен получали при помощи микроскопа Levenhuk 595 с объективом 100x/1.25 OIL. В технологии аэрированных дисперсных систем получение стойких пен является решающим условием получения качественного продукта. Такие пептиды обладают наибольшей способностью образовывать пены. Также направленный гидролиз позволяет освобождать именно те пептидные последовательности, которые отвечают за функциональные свой-

ства. Установлены основные факторы, влияющие на основные аспекты пенообразования в сывороточно-белковых системах (ГБПС), подвергнутых гидролизу. Такими факторами стали температура взбивания и вид использованного пенообразователя. На основе исследования пенообразующих характеристик и микроструктуры пен разработаны рациональные режимы взбивания ГБПС. Применительно к разработанному функциональному гидролизату без ущерба пенообразующим свойствам можно использовать повышенную по сравнению с традиционной температуру взбивания – 17 °С. Полученные ГБПС в последующем будут включены в рецептуру аэрированных молочных продуктов функциональной направленности.

**Ключевые слова:** сывороточные белки, гидролиз, пенообразующая способность, аэрирование.

The aim of the research was to study foaming properties of whey proteins subjected to biocatalysis, to prove their applicability in the creation of functional products. The tasks were to establish the principles for the formation of foam structures obtained using whey proteins subjected to biocatalysis; to determine the factors affecting the main aspects of foaming in hydrolyzed protein foam systems (HPFS); rational modes of beating HPFS with their subsequent inclusion in the recipe for aerated dairy products. The objects of the research in the study were whey protein hydrolysates stabilized with gelatin and pumpkin pectin; the process

of foaming, structure and properties of the resulting foam mass. Foaming ability was evaluated in percent as the ratio of the difference between final and initial volume to the initial volume, multiplied by 100, the resistance of the foam was evaluated visually by time, before the beginning of the destruction. The micrographs of the foams were obtained using a Levenhuk 595 microscope with a 100x/1.25 OIL lens. In the technology of aerated dispersed systems, the obtaining of resistant dairy foam was a decisive condition for obtaining a quality product. Such peptides have the greatest ability to form foams. Also directed hydrolysis allows releasing exactly those peptide sequences that are responsible for functional properties. The main factors affecting the main aspects of foaming in whey-protein systems (HPFS) subjected to hydrolysis were established. Such factors were whipping temperature and the type of used foaming agent. Based on the study of foaming characteristics and microstructure of the foams, rational modes whipping of HPFS were developed. Applied to the developed functional hydrolysate, without any damage to foaming properties, one can use increased whipping temperature compared to traditional  $-17^{\circ}\text{C}$ . The resulting HPFS will subsequently be included in functional aerated dairy products.

**Keywords:** whey proteins, hydrolysis, foaming capacity, aeration.

**Введение.** В сложившейся неблагоприятной экологической ситуации в нашей стране возросла значимость обеспечения населения сбалансированными продуктами питания, обогащенными жизненно необходимыми ингредиентами, в том числе такими, как белки [1]. Актуальность разработки продуктов с высоким содержанием полноценного белка обусловлена его общей нехваткой в питании населения РФ [2, 3]. В пищевой промышленности в большей степени речь идет о молочной, активно развивается направление переработки молочной сыворотки, которая перестала рассматриваться как нежелательный отход молочного производства, во многом благодаря содержанию биологически ценных белков. В зависимости от вида сыворотки массовая доля белка в ней может колебаться от 0,4 до 0,8 %, и переработка ее на пищевые цели экономически оправдана только с использованием инновационных технологий, таких как

мембранное концентрирование и биокаталитические технологии [4]. Направленный протеолиз с предварительной баромембранной обработкой позволит получить пептиды определенной длины, обладающие прогнозируемыми функциональными свойствами. На основе функциональных гидролизованных сывороточных пептидов могут быть созданы продукты, способствующие коррекции и профилактике различных патологий организма [5, 6]. Наиболее актуально включение сывороточных гидролизатов в продукты массового спроса, например в аэрированные, которые благодаря повышенным потребительским характеристикам набирают всю большую популярность в нашей стране. При этом для получения продуктов гарантированного качества необходимо исследование пенообразующих свойств гидролизатов сывороточных белков, возможности получения стабильных пенных масс.

**Цель исследований.** Изучить пенообразующие свойства белков молочной сыворотки, подвергнутых биокатализу, и доказать их применимость при создании продуктов функциональной направленности.

**Задачи исследований:**

- установить принципы формирования пенных структур, полученных при помощи белков молочной сыворотки, подвергнутых биокатализу;
- определить факторы, влияющие на основные аспекты пенообразования в гидролизованных белковых пенных системах (ГБПС);
- установить рациональные режимы взбивания ГБПС с последующим их включением в рецептуру аэрированных молочных продуктов.

**Объекты и методы исследований.** Объектами исследования в данной работе служили гидролизаты сывороточных белков, стабилизированные желатином пищевым свиным мелкодисперсным и тыквенным пектином; процесс пенообразования, структура и свойства полученных пенных масс. Пенообразующую способность оценивали в процентах по формуле

$$S = \frac{V_1 - V_0}{V_0} \cdot 100,$$

где  $V_0$  – начальный объем смеси, мл;

$V_1$  – объем смеси после взбивания, мл;

$S$  – пенообразующая способность, %.

Стойкость пены оценивали визуально по времени, до начала разрушения.

Микрофотографии пен получали при помощи микроскопа Levenhuk 595 с объективом 100x/1.25 OIL.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Фундаментальные принципы образования аэрированной структуры с использованием пенообразующих свойств молочного белка для последующего создания на их основе стойких в хранении продуктов и аспекты, связанные с формированием молочно-белковых пенных масс, представлены в работах многих исследователей [7]. Но если говорить о прикладной сфере, данная область исследована недостаточно, особенно открытыми остаются вопросы, связанные с механизмами формирования пенных пленок и физико-химической сущностью этого процесса. Фундаментальные исследования в аспекте получения молочных пенообразующих дисперсных систем раскрывают главным образом технологические особенности производства мороженого [8, 9].

При выработке основной массы молочных продуктов пенообразование является негативным явлением, поскольку на границе образующихся фаз более активно возникают микробиологические и окислительно-восстановительные процессы. Вместе с тем в технологии аэрированных дисперсных систем получение стойких пен является решающим условием получения качественного продукта. Молочные десертные продукты с воздушной структурой весьма популярны во многих странах мира. Это обусловлено высокими потребительскими характеристиками, широким ассортиментным рядом, в основном представленным коктейлями, муссами и замороженными десертами [10].

Многими учеными описано, что сывороточные белки обладают высокой пенообразующей способностью, которая может быть усилена различными способами, например ферментативным гидролизом, так как наибольшей способностью образовывать пены обладают пептиды средней длины. Важным аспектом при получении пен с участием сывороточных белков является эффект «непробиваемости», то есть пенную массу из сывороточных белков можно продолжать взбивать после достижения максимального объема, не опасаясь разрушить ее

структуру [7, 11]. В контексте разработки не только стойких в хранении аэрированных продуктов, но и обладающих усиленными функциональными свойствами, также неоспорима роль биокаталитической конверсии белков молочной сыворотки. Направленный протеолиз позволяет освободить именно те пептидные последовательности, которые отвечают за антиоксидантные, иммуномоделирующую, антигипертензивные и другие активности.

Во ВГАНУ ВНИМИ был разработан гидролизат белков подсырной сыворотки, по результатам исследования биофункциональных свойств полученного гидролизата *in vitro* и *in vivo* доказан антиоксидантный, гипотензивный и гипохолестеремический эффект. Поскольку данный гидролизат будет являться основой нового аэрированного продукта, необходимо установить рациональные режимы взбивания и исследовать его пенообразующие свойства. Очевидно, что несмотря на высокую способность полученного гидролизата, необходимо введение в систему дополнительных пенообразующих агентов, которые обеспечат получение устойчивой пенной эмульсии. Различные пенообразующие агенты способны ускорять процесс формирования пенных структур и обеспечивать равномерное распределение пузырьков воздуха или газа в процессе аэрирования смеси [12].

В данной работе в качестве пенообразующих агентов была использована композиция, состоящая из мелкодисперсного свиного желатина пищевого, способного образовывать стойкие гели, и тыквенного высокоэтерифицированного (ВЭ) пектина в соотношении 3:1; сама система вносилась в гидролизат в дозе 1,5 %. Несмотря на то что яблочный ВЭ пектин также проявлял хорошие пенообразующие способности, предпочтение было отдано тыквенному пектину для дополнительного придания разрабатываемому продукту биофункциональных свойств, поскольку он в большей степени обладает доказанной антиоксидантной активностью [13].

Основную роль при разработке аэрированных функциональных продуктов играет температура взбивания, которая обеспечивают получение стойких в хранении пенных масс. Для определения наиболее рациональной температуры взбивания разработанного гидролизата с пенообразователями (пектин тыквенный и же-

латин) было приготовлено 9 эмульсионных систем, которые были подвергнуты тепловой обработке ( $85 \pm 2$ ) °С, охлаждению и взбиванию при различных температурах. Данные системы оце-

нивались по пенообразующей способности (S) и стойкости пены (Ст) при комнатной температуре, результаты представлены в таблице.

### Пенообразующая способность стабилизированных сывороточных гидролизатов при различных температурах

| Температура взбивания, °С | Ст, мин | S, % |
|---------------------------|---------|------|
| 7                         | 86,6    | 99,0 |
| 10                        | 79,6    | 98,0 |
| 12                        | 80,3    | 97,5 |
| 15                        | 85,2    | 97,4 |
| 17                        | 81,4    | 98,3 |
| 20                        | 55,8    | 85,7 |
| 22                        | 32,0    | 76,5 |
| 25                        | 21,5    | 55,9 |
| 30                        | 11,0    | 41,4 |

Результаты, представленные в таблице, демонстрируют прогнозируемую тенденцию снижения пенообразующих характеристик ГБПС с увеличением температуры. Интересным является тот факт, что при увеличении температуры взбивания до 17 °С заметных различий в пенообразующих свойствах не зафиксировано, значения как пенообразующей способности, так и стойкости пены находились на достаточно высоком уровне. При дальнейшем увеличении температуры до 30 °С происходило более ощутимое падение исследуемых характеристик, S снизилась более чем в 2 раза, а стойкость пены более чем в 8 раз.

Далее было проведено исследование полученных пен, с тем чтобы по структуре пен дополнительно судить об изменении свойств пен в зависимости от температуры взбивания, результаты проиллюстрированы на рисунке.

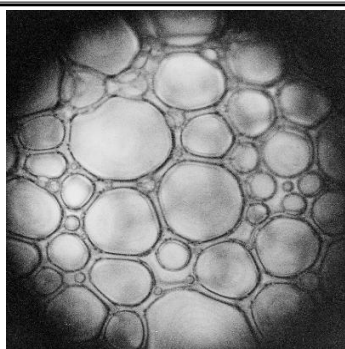
Как видно из данных рисунка, пены, полученные при 7 и 17 °С, имеют сходную ячеистость, что говорит о том, что увеличение температуры аэрирования до 17 °С не оказывает ощутимого влияния на структуру ГБПС, стабилизированных тыквенным пектином и желатином.

При дальнейшем увеличении температуры аэрирования можно наблюдать укрупнение отдельных пузырьков, вместе с этим, как видно из данных таблицы, снижается взбитость, также

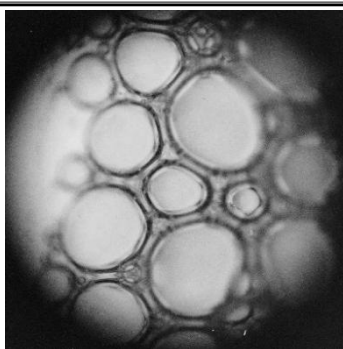
отмечено сокращение стойкости пены на 35,0 %. С дальнейшим увеличением температуры прослеживается тенденция увеличения пузырьков воздуха, самая крупноячеистая и неоднородная пена у образца, температура взбивания которого была максимальной – 30 °С, на фоне этого резко падают и пенообразующие характеристики (см. табл.).

Резюмируя результаты исследований для разработанных и стабилизированных ГБПС, можно рекомендовать температуру аэрирования 17 °С. Данное значение является достаточно высоким по сравнению с используемым при производстве традиционных аэрированных продуктов (от 7 до 10 °С). Увеличенная температура аэрирования позволит удешевить процесс производства аэрированного продукта на основе ГБПС, так как отпадает необходимость охлаждения продукта до низких температур.

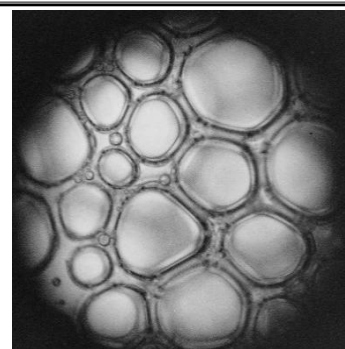
Проведенные исследования показали, что одним из перспективных направлений исследований является создание нового поколения аэрированных продуктов, обладающих прогнозируемым комплексом функциональных и пенообразующих свойств. При этом возможна реализация технологий безотходной и глубокой переработки молока за счет использования в качестве функциональных ингредиентов белков молочной сыворотки.



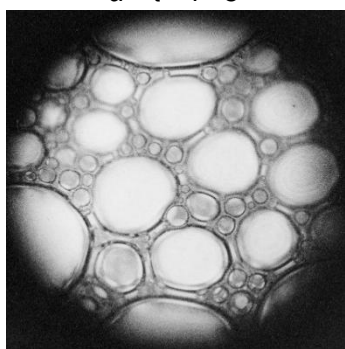
а – t = 7 °C



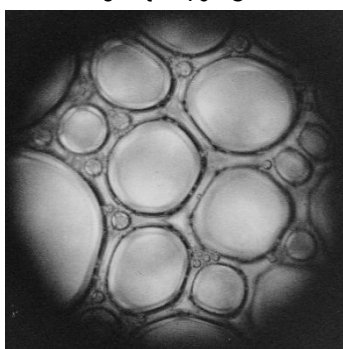
б – t = 10 °C



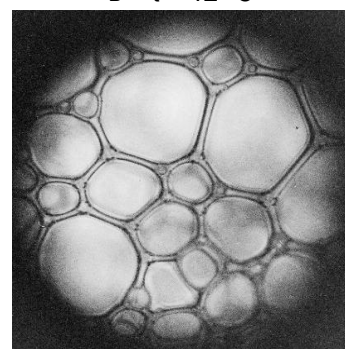
в – t = 12 °C



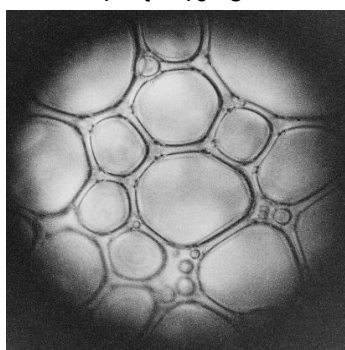
г – t = 15 °C



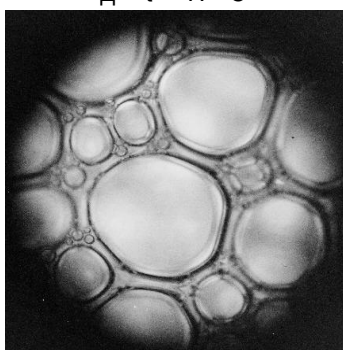
д – t = 17 °C



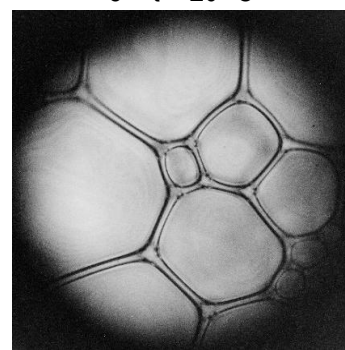
е – t = 20 °C



ж – t = 22 °C



з – t = 25 °C



и – t = 30 °C

*Микрофотографии пен при увеличении 100х,  
полученных при различных температурах взбивания*

**Выводы.** Определены принципы формирования пенных структур, полученных при помощи гидролизованных белков молочной сыворотки, подвергнутых гидролизу, показано, что наилучшей пенообразующей способностью обладают пептиды средней длины, которые также ответственны за придание гидролизатам функциональных свойств.

Установлены основные факторы, влияющие на основные аспекты пенообразования в сывороточно-белковых системах (ГБПС), подвергнутых гидролизу, а именно температура взбивания и вид использованного пенообразователя.

На основе исследования пенообразующих характеристик и микроструктуры пен разработа-

ны рациональные режимы взбивания ГБПС с последующим их включением в рецептуру аэрированных молочных продуктов. Показано, что применительно к разработанному функциональному гидролизату без ущерба пенообразующим свойствам можно использовать повышенную по сравнению с традиционной температурой взбивания – 17 °C.

#### Литература

1. Кайзер А.А., Кайзер Г.А. Способ получения биологически активного продукта функциональной направленности из сырья расти-

- тельного и животного происхождения // Вестник КрасГАУ. 2019. № 11. С. 106–112.
2. Зобкова З.С. Страничка технолога. Инновационные функциональные молочные продукты // Молочная промышленность. 2019. № 2. С. 63–64.
  3. Омаров Р.С., Антипова Л.В., Шлыков С.Н. Получение сухой белковой композиции на основе модифицированной плазмы крови // Вестник КрасГАУ. 2019. № 1. С. 149–156.
  4. Донская Г.А., Щекочихина А.С., Дрожжин В.М. Продукты долголетия // Молочная промышленность. 2019. № 11. С. 43–44.
  5. Jeewanthi R.K.C., Lee N.K., Paik H.D. Improved functional characteristics of whey protein hydrolysates in food industry // Korean journal for food science of animal resources. 2015. Т. 35. № 3. С. 350.
  6. Федотова О.Б., Макаркин Д.В., Соколова О.В. [и др.]. Разработка и исследования пищевой и биологической ценности и потребительских свойств кисломолочного продукта с мукой, не содержащего глютен // Вопросы питания. 2019. Т. 88. № 2. С. 101–110.
  7. Агаркова Е.Ю. Разработка технологии функциональных эмульсионных аэрированных продуктов на основе трансформации полипептидных комплексов: дис. ... канд. техн. наук. М., 2014.
  8. Иванова С.А., Просеков А.Ю. Интенсификация технологий аэрированных молочных продуктов: монография / М-во образования и науки Российской Федерации, Кемеровский технологический ин-т пищевой промышленности. Кемерово, 2011. 243 с.
  9. Просеков А.Ю., Позднякова А.В. Исследование состава и свойств белков животного происхождения биологических объектов и молочных продуктов многокомпонентного состава // Вестник КрасГАУ. 2014. № 8. С. 101–107.
  10. Лабоцкая Д.С., Мирошникова Е.Л., Вебер А.Л. Создание аэрированных продуктов // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. (26–28 мая 2009 г.). Ульяновск: УГСХА, 2009. С. 188–189.
  11. Van der Ven C. et al. Correlations between biochemical characteristics and foam-forming and stabilizing ability of whey and casein hydrolysates // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2002. Т. 50. № 10. С. 2938–2946.
  12. Туганова Б.С. Технология аэрированных десертных продуктов из вторичного молочного сырья // Научные инновации – аграрному производству. Омск, 2018. С. 1450–1454.
  13. Лисицкая К.В. [и др.]. Сравнительный анализ антиоксидантных свойств пектинов из различного растительного сырья // Пищевая промышленность. 2012. Т. 12. С. 64–67.

#### Literatura

1. Kajzer A.A., Kajzer G.A. Sposob poluchenija biologicheskij aktivnogo produkta funkcional'noj napravlenosti iz syr'ja rastitel'nogo i zhivotnogo proishozhdenija // Vestnik KrasGAU. 2019. № 11. S. 106–112.
2. Zobkova Z.S. Stranichka tehnologa. Innovacionnye funkcional'nye molochnye produkty // Molochnaja promyshlennost'. 2019. № 2. S. 63–64.
3. Omarov R.S., Antipova L.V., Shlykov S.N. Poluchenie suhoj belkovej kompozicii na osnove modifitsirovannoj plazmy krovi // Vestnik KrasGAU. 2019. № 1. S. 149–156.
4. Donskaja G.A., Shhekochihina A.S., Drozhzhin V.M. Produkty dolgoletija // Molochnaja promyshlennost'. 2019. № 11. S. 43–44.
5. Jeewanthi R.K.C., Lee N.K., Paik H.D. Improved functional characteristics of whey protein hydrolysates in food industry // Korean journal for food science of animal resources. 2015. Т. 35. № 3. S. 350.
6. Fedotova O.B., Makarkin D.V., Sokolova O.V. [i dr.]. Razrabotka i issledovaniya pishhevoj i biologicheskij cennosti i potrebitel'skih svojstv kislomolochnogo produkta s mukoj, ne soderzhashhego gljuten // Voprosy pitaniya. 2019. Т. 88. № 2. S. 101–110.
7. Agarkova E.Ju. Razrabotka tehnologij funkcional'nyh jemul'sionnyh ajerirovannyh produktov na osnove transformacii polipeptidnyh kompleksov: dis. ... kand. tehn. nauk. M., 2014.
8. Ivanova S.A., Prosekov A.Ju. Intensifikacija tehnologij ajerirovannyh molochnyh produktov: monografiya / M-vo obrazovaniya i nauki Rossii-

- skoj Federacii, Kemerovskij tehnologicheskij in-t pishhevoj prom-sti. Kemerovo, 2011. 243 s.
9. *Prosekov A.Ju., Pozdnjakova A.V.* Issledovanie sostava i svojstv belkov zhivotnogo proishozhdenija biologicheskikh ob'ektov i molochnyh produktov mnogokomponentnogo sostava // *Vestnik KrasGAU*. 2014. № 8. S. 101–107.
  10. *Labockaja D.S., Miroshnikova E.L., Veber A.L.* Sozdanie ajerirovannyh produktov // *Agrarnaja nauka i obrazovanie na sovremennom jetape razvitija: opyt, problemy i puti ih reshenija: mat-ly Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (26–28 maja 2009 g.)*. Ul'janovsk: UGSHA, 2009. S. 188–189.
  11. *Van der Ven C. et al.* Correlations between biochemical characteristics and foam-forming and stabilizing ability of whey and casein hydrolysates // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2002. T. 50. № 10. S. 2938–2946.
  12. *Tuganova B.S.* Tehnologija ajerirovannyh desertnyh produktov iz vtorichnogo molochnogo syr'ja // *Nauchnye innovacii – agramomu proizvodstvu*. Omsk, 2018. S. 1450–1454.
  13. *Lisickaja K.V. [i dr.]*. Sravnitel'nyj analiz antioksidantnyh svojstv pektinov iz razlichnogo rastitel'nogo syr'ja // *Pishhevaja promyshlennost'*. 2012. T. 12. S. 64–67.

