



## ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

УДК 637.07

DOI: 10.36718/1819-4036-2021-10-165-172

### Дарья Николаевна Калугина

Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, научный сотрудник лаборатории технохимического контроля, кандидат технических наук, Москва, Россия

E-mail: d\_meldenberg@vnimi.org

### Елена Анатольевна Юрова

Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, заведующая лабораторией технохимического контроля, кандидат технических наук, Москва, Россия

E-mail: e\_yurova@vnimi.org

### ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕЛКОВОГО СОСТАВА В ФОРМИРОВАНИИ СРОКОВ ГОДНОСТИ МОЛОКА УЛЬТРАПАСТЕРИЗОВАННОГО

Оценка срока годности пищевых продуктов является ключевым аспектом современного производства, в связи с чем появилась необходимость применения ускоренных методов оценки сроков годности молочных продуктов, особенно продуктов функциональной направленности. Цель работы заключалась в определении оценочных характеристик белкового состава молока ультрапастеризованного в процессе хранения. В качестве объектов исследований использовали ультрапастеризованное молоко (УП-молоко) с массовой долей жира 3,2 %. По полученным результатам исследований было отмечено, что изменениям подвергаются все составные компоненты белков молока, включая небелковый азот (НБА), сывороточные белки (СБ) и белки казеиновой фракции, что обусловлено процессом гидролиза, изменением структуры белка. При длительном хранении УП-молока после 9 месяцев содержание СБ увеличилось более чем на 10 %, содержание казеиновых белков снизилось более чем на 10 %, при этом содержание НБА увеличилось на 30 %. Изменениям подвергся фракционный состав белка, снижалось содержание  $\beta$ -лактоглобулина в среднем на 20 % по отношению к контрольному образцу. Значительные изменения  $\beta$ - и  $\kappa$ -казеина наблюдаются уже после 3 месяцев хранения. После 9 месяцев хранения содержание  $\beta$ -казеина снижалось на 20 %, в то время как содержание  $\kappa$ -казеина повышалось более чем на 30 %. Полученные данные позволяют сделать вывод, что в процессе хранения происходят необратимые изменения белкового состава в УП-молоке, которые влияют на качество продукта. Расширены оценочные характеристики УП-молока при хранении. Установлена необходимость определения содержания СБ и НБА, фракционного состава казеиновых белков, а именно содержание  $\beta$ - и  $\kappa$ -казеина, что позволит в дальнейшем прогнозировать хранимоспособность продукта.

**Ключевые слова:** ультрапастеризованное молоко, белок, небелковый азот, казеиновые фракции, протеолиз, хранение.

### Daria N. Kalugina

All-Russian Research Institute of the Dairy Industry, Researcher, Laboratory of Technochemical Control, Candidate of Technical Sciences, Moscow, Russia

E-mail: d\_meldenberg@vnimi.org

**Elena A. Yurova**

All-Russian Research Institute of the Dairy Industry, Head of the Laboratory of Technochemical Control, Candidate of Technical Sciences, Moscow, Russia  
E-mail: e\_yurova@vnimi.org

## THE PROTEIN COMPOSITION CHARACTERISTICS IN THE FORMATION OF ULTRA PASTEURIZED MILK SHELF LIFE

*Assessment of the shelf life of food products is a key aspect of modern production, in connection with which it became necessary to use accelerated methods for assessing the shelf life of dairy products, especially products of a functional orientation. The purpose of the work was to determine the estimated characteristics of the protein composition of UHT milk during storage. UHT milk (UH-milk) with a mass fraction of 3.2 % fat was used as the objects of research. According to the results of research, it was noted that all the constituent components of proteins are subject to changes: milk, including non-protein nitrogen (NBA), whey proteins (SB) and proteins of the casein fraction, which is due to the process of hydrolysis, a change in the structure of the protein. With long-term storage of UP-milk after 9 months, the content of SB increased by more than 10 %, the content of casein proteins decreased by more than 10 %, while the content of NBA increased by 30 %. The fractional composition of the protein was changed, the content of  $\beta$ -lactoglobulin decreased by an average of 20 % in relation to the control sample. Significant changes in  $\beta$ - and  $\kappa$ -casein are observed after 3 months of storage. After 9 months of storage, the content of  $\beta$ -casein decreased by 20 %, while the content of  $\kappa$ -casein increased by more than 30 %. The data obtained allow us to conclude that irreversible changes in the protein composition in UP-milk occur during storage which affects the quality of the product. The estimated characteristics of UP-milk during storage are expanded. The need to determine the content of SB and NBA, the fractional composition of casein proteins, namely the content of  $\beta$ - and  $\kappa$ -casein is established, which will make it possible to predict the storage capacity of the product in the future.*

**Key words:** UHT milk, protein, non-protein nitrogen, casein fractions, proteolysis, storage.

**Введение.** Срок годности пищевых продуктов определяется воздействием комплекса технологических, физико-химических, биохимических и микробиологических факторов. Все факторы подразделяются на внешние (температура, свет, упаковка и др.) и внутренние (технологические свойства, значение pH, изменение концентрации основных компонентов и ингредиентов, наличие ферментов, диффузионные свойства и др.). При проведении комплекса исследований по подтверждению срока годности молочной продукции необходимо разработать критерии оценки, позволяющие учитывать влияющие факторы применительно к составу продукта и технологии его производства [1, 2].

В настоящее время ультрапастеризованное (УП) молоко занимает значительную долю рынка, поскольку обладает пролонгированными сроками годности в отличие от пастеризованного молока, сохраняя при этом вкусовые и питательные свойства продукта [3, 4].

Одним из основных критериев оценки хранения молочного сырья и молочных продуктов является белок и его составные компоненты [2, 5–8]. Установлено, что наибольшим изменениям в процессе хранения подвергаются белки ка-

зеиновой фракции, которые являются главным компонентом белков молока и находятся в нем в виде мицелл [4–10].

Термическая обработка молока является важным этапом обеспечения микробиологической безопасности продукта для потребителя [3, 11]. В зависимости от степени термической обработки белки молока могут претерпевать структурные изменения. Эти изменения характеризуются денатурацией сывороточных белков и их взаимодействием с мицеллами казеина, гидролизом и агрегацией белков [11]. Тепловое воздействие на белки молока может повлиять на органолептические и технологические свойства молока [12].

Химические реакции в процессе обработки и переработки молока происходят прежде всего при нагревании и зависят от температуры, продолжительности воздействия и уровня pH [11–13]. От протекания этих реакций в той или иной степени зависит ход технологического процесса и свойства промежуточных и конечных продуктов. Реакции SH-групп  $\beta$ -лактоглобулина с аналогичными группами  $\kappa$ -казеина с образованием дисульфидных связей затрудняют действие сычужного фермента и мешают образованию сгу-

стка. С другой стороны, они предотвращают выпадение в осадок и хлопьеобразование сывороточных белков при УП-обработке [13].

Особое значение в процессе хранения молочных продуктов имеет протеолиз – ферментативный гидролиз под действием протеаз. Протеолиз могут вызывать ферменты различного происхождения, но наибольший интерес представляет плазмин, который является комплексом сложной системы, состоящей из активного плазмина, неактивного плазминогена, активатора плазминогена и ингибитора плазмина [13, 14].

Плазмин проявляет высокую активность по отношению к  $\beta$ -казеину, вследствие чего в молоке появляются фрагменты  $\beta$ -казеина, такие как  $\gamma$ -казеины и протеозопептонные фракции.  $\alpha_{S1}$ -казеин также подвергается гидролизу, но в гораздо меньшей степени, в то время как к-казеин устойчив к воздействию плазмина так же, как и сывороточные белки [15, 16].

В процессе хранения молока могут происходить изменения в его физико-химических свойствах. Поэтому важно понять, будут ли какие-либо дальнейшие изменения свойств молока при хранении, кроме микробиологических.

Достаточно много литературных данных по влиянию термической обработки на белки молока, включая кинетику гидролиза белков; образованию пептидов в процессе хранения [12, 16]. Однако мало данных по исследованию белкового состава, особенно белков казеиновой фракции в УП-молоке в процессе хранения.

**Цель исследований.** Определение оценочных характеристик белкового состава молока ультрапастеризованного в процессе хранения.

**Задачи:** расширить оценочные характеристики УП-молока для формирования сроков годности; изучить изменение белкового состава УП-молока в зависимости от продолжительности хранения; определить содержание и изменение казеиновых фракций УП-молока в процессе хранения.

Это исследование направлено на обеспечение детального понимания изменений, происходящих в белковом составе молока, их влияния на качество и хранимоспособность готового продукта. Полученные данные могут быть использованы в том числе для разработки методик ускоренного подтверждения сроков годности молочной продукции длительного хранения.

**Объекты и методы исследований.** В качестве объектов исследований были выбраны мо-

локо коровье сырое и ультрапастеризованное молоко с массовой долей жира 3,2 %, изготовленное из нормализованного молока в соответствии с требованиями ГОСТ 31450-2013. Размер партии УП-молока составлял 60 литров, его хранили при постоянной температуре  $(4 \pm 2)$  °С в течение 9 месяцев без существенных температурных колебаний. Пробы брали на анализ раз в 2 недели, определение проводили в трехкратной повторности.

Определение белкового состава осуществляли методом Кьельдаля: массовую долю белка и общего азота (ОА) определяли в соответствии с ГОСТ 23327-98; содержание небелкового азота по ГОСТ Р 55246-2012; содержание сывороточных белков по ГОСТ 34536-2019; содержание казеиновых белков (КБ) по СТБ ISO 17997-1-2012; определение казеиновой фракции, а именно  $\alpha_{S1}$ -казеина,  $\alpha_{S2}$ -казеина,  $\beta$ -казеина и к-казеина, проводили с применением метода капиллярного электрофореза по методике измерений, разработанной в лаборатории технического контроля и арбитражных методов анализа ФГАНУ «ВНИМИ» в ходе выполнения исследований.

Определение титруемой и активной кислотности в исследуемых образцах осуществляли по ГОСТ Р 54669-2011 и ГОСТ 32892-2014 соответственно.

Полученные результаты исследований были проанализированы с помощью дисперсионного анализа (ANOVA). Анализ проводился с использованием программного обеспечения Statistica 10.0.

**Результаты и их обсуждение.** Исследования УП-молока проводили по следующим показателям: массовая доля белка, содержание общего азота, небелкового азота, сывороточных и казеиновых белков. В таблице приведены результаты исследований массовой доли белка, ОА, НБА, титруемой кислотности в пересчете на молочную кислоту в УП-молоке при продолжительности хранения в течение 9 месяцев. Массовая доля белка и содержание ОА оставались неизменными на протяжении всего периода хранения УП-молока. Содержание НБА увеличилось после 3 месяцев хранения на 4 % и продолжало нарастать. В конце срока хранения УП-молока увеличение НБА составило 30 %, что можно объяснить небольшим нарастанием кислотности и процессом протеолиза в результате ферментативной активности во время хранения.

## Химический состав ультрапастеризованного молока в процессе хранения, %

Продолжительность хранения, месяц	Массовая доля белка	Содержание общего азота	Содержание небелкового азота	Титруемая кислотность в пересчете на молочную кислоту
Контроль	3,08±0,09	0,483±0,003	0,024±0,003	0,148
1	3,08±0,10	0,483±0,005	0,024±0,003	0,148
2	3,07±0,08	0,481±0,002	0,024±0,002	0,148
3	3,07±0,09	0,481±0,003	0,025±0,003	0,153
4	3,08±0,08	0,483±0,002	0,025±0,002	0,155
5	3,07±0,10	0,481±0,005	0,028±0,002	0,157
6	3,08±0,09	0,483±0,003	0,029±0,003	0,158
7	3,09±0,10	0,484±0,005	0,029±0,002	0,163
8	3,08±0,09	0,483±0,003	0,032±0,002	0,175
9	3,09±0,09	0,484±0,003	0,038±0,003	0,178

По полученным результатам исследований было отмечено, что изменениям подвергаются такие компоненты белков молока, как НБА, СБ и белки казеиновой фракции, что обусловлено процессом гидролиза, изменением структуры белка и влиянием той термической обработки, которой подверглось молоко в ходе технологического процесса. Термическая обработка молока приводит к изменениям белкового состава молока, свойств и структуры белка, что было описано нами в ранее опубликованных материалах [17, 18].

Содержание СБ в течение 2 месяцев хранения УП-молока было стабильно, но после 3 месяцев хранения было отмечено повышение их содержания на 3 %, после 9 месяцев их содер-

жание увеличилось более чем на 10 % (рис. 1). После 3 месяцев хранения также наблюдались изменения в содержании КБ, их количество снижалось в целом на 2–4 %, после 9 месяцев хранения их содержание снизились более чем на 10 % (рис. 2). При этом необходимо подчеркнуть, что изменениям подвергалось не только общее содержание СБ и КБ, но и менялся фракционный состав белка, снижалось содержание  $\beta$ -лактоглобулина в среднем на 20 % по отношению к контрольному образцу, содержание отдельных фракций казеина как повышалось на 20–30 %, так и снижалось на 2–5 %, что свидетельствует об изменении соотношений фракционного состава белка в процессе хранения.

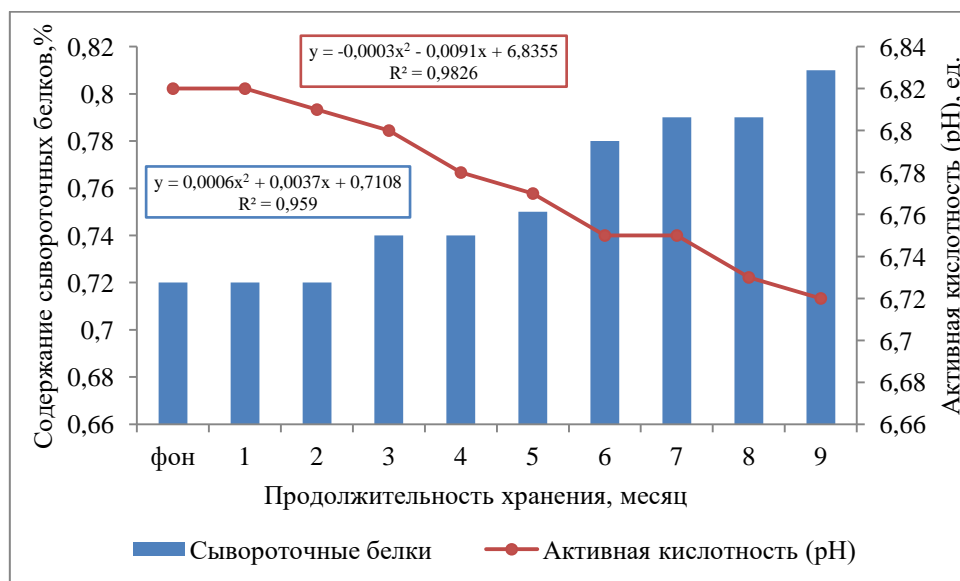


Рис. 1. Изменение содержания сывороточных белков в УП-молоке в процессе хранения

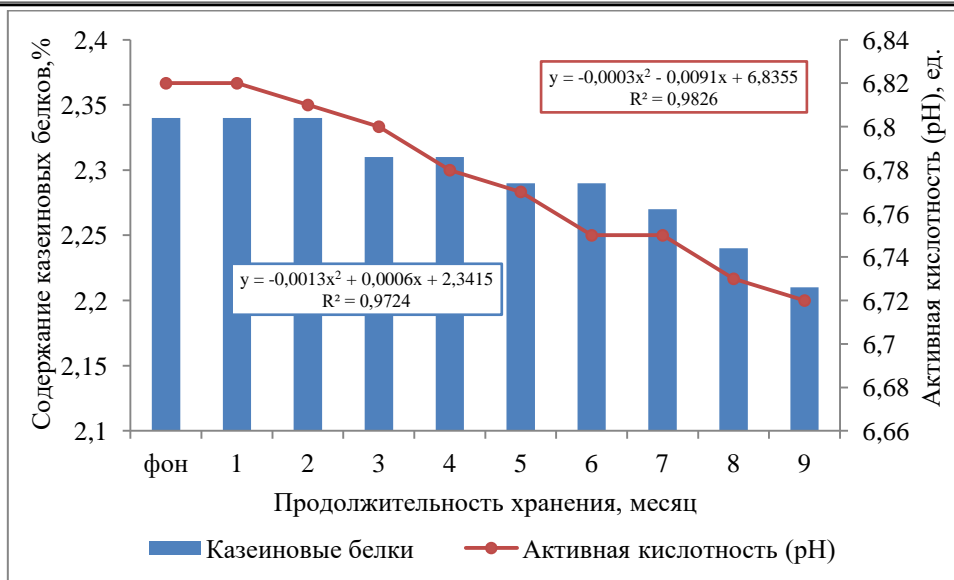


Рис. 2. Изменение содержания казеиновых белков в УП-молоке в процессе хранения

Изменение содержания казеиновых фракций в УП-молоке в процессе хранения графически представлен на рисунке 3. На графике видно, что наибольшим изменениям подвержены такие фракции, как β-казеин и κ-казеин. Содержание β-казеина снижается в процессе хранения на 20 %, в то время как содержание κ-казеина повы-

шается более чем на 30 %. Значительные изменения β- и κ-казеина наблюдаются после 3 месяцев хранения. Фракции α<sub>1</sub>- и α<sub>2</sub>-казеина изменяются незначительно, что говорит о стабильности данной фракции. Их содержание снижается на 2 и 5 % соответственно по истечении срока годности относительно контрольного значения.

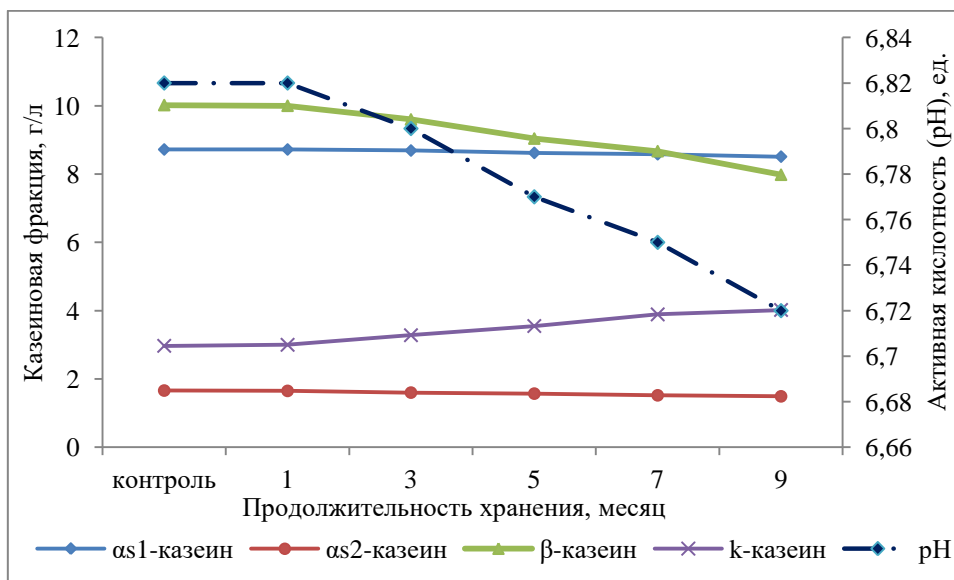


Рис. 3. Изменение содержания казеиновых фракций в УП-молоке в процессе хранения при 4 °C в течение 9 месяцев

Оценивая полученные результаты, установили, что изменения белкового состава в УП-молоке в процессе хранения обусловлены многими факторами, в том числе кислотностью мо-

лока, температурными режимами хранения и качеством молока сырья. Так как в процессе хранения УП-молока разрушаются мицеллы β-казеина, это в дальнейшем приводит к увеличению

концентрации аммиака в свободной форме и появляются продукты гидролиза белка (свободные аминокислоты, пептиды).

**Заключение.** Расширены оценочные характеристики УП-молока при хранении, к которым относятся небелковый азот, сывороточные и казеиновые белки.

Согласно полученным результатам исследований, установлено, что в процессе хранения даже при низких положительных температурах происходят необратимые изменения белковой фракции в молоке, которые влияют на качество продукта. Выявлено, что при длительном хранении УП-молока после 9 месяцев содержание СБ увеличилось более чем на 10 %, а содержание казеиновых белков снизилось более чем на 10 %. Отмечено влияние активной кислотности на белковый состав УП-молока, при снижении которой происходила инактивация протеаз, что приводило к увеличению содержания НБА на 30 %.

Установлена зависимость изменений соотношений фракционного состава белка от продолжительности хранения. После 9 месяцев хранения содержание  $\beta$ -казеина снижалось на 20 %, а содержание  $\kappa$ -казеина повышалось более чем на 30 %. При этом содержание  $\beta$ -лактоглобулина снижалось в среднем на 20 %.

Полученные данные об изменении содержания сывороточных белков и небелкового азота, а также фракционного состава казеиновых белков, а именно содержания  $\beta$ - и  $\kappa$ -казеина, можно в дальнейшем использовать для прогнозирования хранимоспособности молочной продукции.

#### Список источников

1. Федотова О.Б. Хранимоспособность молочной продукции и упаковка // Актуальные проблемы молочной отрасли: сб. мат-лов междунар. науч.-практ. конф. Углич: ВНИИМС, 2016. С. 257–262.
2. Разработка комплексной оценки белкового состава молока сырья различных сельскохозяйственных животных для выработки продуктов функциональной направленности / Д.Н. Мельденберг, О.С. Полякова, Е.С. Семенова [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. 2020. № 3. С. 118–133. DOI: 10.36107/spfp.2020.352.
3. Influence of pasteurization and storage on dynamic in vitro gastric digestion of milk proteins: quantitative insights based on peptidomics / L. Xing, G. Yuxiang, H. Shudong, E.D. Olayemi, L. Qiming, L. Haiyan, M. Ying // Foods. 2020. № 9(8). P. 998. DOI: 10.3390/foods9080998.
4. High-throughput quantitation of bovine milk proteins and discrimination of commercial milk types by external cavity-quantum cascade laser spectroscopy and chemometrics / M. Montemurro, A. Schwaighofer, A. Schmidt, M.J. Culzoni, H.K. Mayerc, B. Lendl // Analyst. 2019. № 144. P. 5571–5579. DOI: 10.1039/C9AN00746F.
5. Фильчакова С.А., Юрова Е.А., Кобзева Т.В. Особенность разработки экспресс-методов определения сроков годности функциональных продуктов на молочной основе длительного хранения // Пищевая промышленность. 2021. № 3. С. 36–39. DOI: 10.24412/0235-2486-2021-3-0026.
6. Кручинин А.Г., Бигаева А.В., Гильманов Х.Х. Влияние фракционного состава казеина на технологические свойства сырого молока // Актуальные вопросы молочной промышленности, межотраслевые технологии и системы управления качеством. 2020. № 1. С. 292–297. DOI: 10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-292-297.
7. Остроумов Л.А., Шахматов Р.А., Курбанова М.Г. Исследование сезонных изменений фракционного состава белков молока // Техника и технология пищевых производств. 2011. № 1. С. 36–41.
8. Исследование фракционного состава белков молока методом электрофореза в полиакриламидном геле / А.Ю. Просеков, О.О. Бабич, О.В. Мудрикова [и др.] // Современные технологии продуктов питания: теория и практика производства: МНПС. Омск, 2010. С. 329–331.
9. Просеков А.Ю., Курбанова М.Г. Анализ состава и свойств белков молока с целью использования в различных отраслях пищевой промышленности // Техника и технология пищевых производств. 2009. № 4. С. 68–71.
10. Ассоциация полиморфизмов в биокластере генов казеина и сывороточных белков с технологическими свойствами молочного сырья / Е.Е. Иппарионова, А.Г. Кручинин,

- С.Н. Туровская [и др.] // Молочная промышленность. 2021. № 3. С. 60–62. DOI: 10.31515/1019-8946-2021-03-60-62.
11. Heat-induced denaturation, aggregation and gelation of whey proteins / A. Brodkorb, T. Croguennec, S. Bouhallab & J.J. Kehoe // *Advanced dairy chemistry*. New York: Springer. 2016. P. 156–166. DOI: 10.1007/978-1-4939-2800-2\_6.
  12. Coagulation behaviour of milk under gastric digestion: Effect of pasteurization and ultra-high temperature treatment / A. Ye, W. Liu, J. Cui, X. Kong, D. Roy, Y. Kong, J. Han, H. Singh // *Food Chemistry*. 2019. 286 (6). P. 216–225. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.02.010.
  13. Deeth H., Lewis M. Protein stability in sterilised milk and milk products // *Advanced dairy chemistry*. New York: Springer. 2016. P. 269–274. DOI: 10.1007/978-1-4939-2800-2\_10.
  14. Effects of storage on some physico-chemical characteristics of UHT milk stored at different temperature / T.A.W. Aldubhany, E. Gouda, A. Khattab, N. Dabour // *Alexandria science exchange journal*. 2014. Vol. 35. № 2. P. 107–114. DOI: 10.21608/asejaiqjsae.2014.2584.
  15. Мироненко И.М. Влияние низких температур на сыропригодность молока // *Сыроделие и маслоделие*. 2020. № 2. С. 48–51. DOI: 10.31515/2073-4018-2020-2-46-49.
  16. Impact of pasteurization of human milk on pre-term newborn in vitro digestion: Gastrointestinal disintegration, lipolysis and proteolysis / S. De Oliveira, C. Bourlieu, O. Ménard, A. Bellanger, G. Henry, F. Rousseau et al. // *Food Chemistry*. 2016. 211. P. 171–179. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.05.028.
  17. Юрова Е.А., Парфенова Е.Ю., Мельденберг Д.Н. Разработка критериев оценки белкового состава молока // *Научное обеспечение молочной промышленности (микробиология, биотехнология, технология, контроль качества и безопасности): сб. науч. тр. М.: Франтера, 2015. С. 272–277.*
  18. Азаркова Е.Ю., Кручинин А.Г. Исследование процесса концентрирования различных видов подсырной сыворотки // *Переработка молока*. 2019. № 3 (233). С. 20–22. DOI: 10.33465/2222-5455-2019-3-20-22.
- ### References
1. Fedotova O.B. Hranimosposobnost' molochnoj produkcii i upakovka // *Aktual'nye problemy molochnoj otrasli: sb. mat-lov mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Uglich: VNIIMS, 2016. S. 257–262.*
  2. Razrabotka kompleksnoj ocenki belkovogo sostava moloka syr'ya razlichnyh sel'skohozyajstvennyh zhivotnyh dlya vyrabotki produktov funkcional'noj napravlenosti / D.N. Mel'denberg, O.S. Polyakova, E.S. Semenova [i dr.] // *Hranenie i pererabotka sell'hozsyr'ya*. 2020. № 3. S. 118–133. DOI: 10.36107/spfp.2020.352.
  3. Influence of pasteurization and storage on dynamic in vitro gastric digestion of milk proteins: quantitative insights based on peptidomics / L. Xing, G. Yuxiang, H. Shudong, E.D. Olayemi, L. Qiming, L. Haiyan, M. Ying // *Foods*. 2020. № 9(8). P. 998. DOI: 10.3390/foods9080998.
  4. High-throughput quantitation of bovine milk proteins and discrimination of commercial milk types by external cavity-quantum cascade laser spectroscopy and chemometrics / M. Montemurro, A. Schwaighofer, A. Schmidt, M.J. Culzoni, H.K. Mayerc, B. Lendl // *Analyst*. 2019. № 144. P. 5571–5579. DOI: 10.1039/C9AN00746F.
  5. Fil'chakova S.A., Yurova E.A., Kobzeva T.V. Osobennost' razrabotki `ekspress-metodov opredeleniya srokov godnosti funkcional'nyh produktov na molochnoj osnove dlitel'nogo hraneniya // *Pischevaya promyshlennost'*. 2021. № 3. S. 36–39. DOI: 10.24412/0235-2486-2021-3-0026.
  6. Kruchinin A.G., Bigaeva A.V., Gil'manov H.H. Vliyanie frakcionnogo sostava kazeina na tehnologicheskie svoystva syrogo moloka // *Aktual'nye voprosy molochnoj promyshlennosti, mezhotraslevye tehnologii i sistemy upravleniya kachestvom*. 2020. № 1. S. 292–297. DOI: 10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-292-297.
  7. Ostroumov L.A., Shahmatov R.A., Kurbanova M.G. Issledovanie sezonnyh izmenenij frakcionnogo sostava belkov moloka // *Tehnika i tehnologiya pischevyh proizvodstv*. 2011. № 1. S. 36–41.

8. Issledovanie frakcionnogo sostava belkov moloka metodom `elektroforeza v poliakrilamidnom gele / A.Yu. Prosekov, O.O. Babich, O.V. Mudrikova [i dr.] // *Sovremennye tehnologii produktov pitaniya: teoriya i praktika proizvodstva*: MNPS. Omsk, 2010. S. 329–331.
9. Prosekov A.Yu., Kurbanova M.G. Analiz sostava i svojstv belkov moloka s cel'yu ispol'zovaniya v razlichnyh otraslyah pischevoj promyshlennosti // *Tehnika i tehnologiya pischevyh proizvodstv*. 2009. № 4. S. 68–71.
10. Associaciya polimorfizmov v bioklastere genov kazeina i syvorotochnyh belkov s tehnologicheskimi svojstvami molochnogo syr'ya / E.E. Illarionova, A.G. Kruchinin, S.N. Turovskaya [i dr.] // *Molochnaya promyshlennost'*. 2021. № 3. S. 60–62. DOI: 10.31515/1019-8946-2021-03-60-62.
11. Heat-induced denaturation, aggregation and gelation of whey proteins / A. Brodkorb, T. Croguennec, S. Bouhallab & J.J. Kehoe // *Advanced dairy chemistry*. New York: Springer. 2016. P. 156–166. DOI: 10.1007/978-1-4939-2800-2\_6.
12. Coagulation behaviour of milk under gastric digestion: Effect of pasteurization and ultra-high temperature treatment / A. Ye, W. Liu, J. Cui, X. Kong, D. Roy, Y. Kong, J. Han, H. Singh // *Food Chemistry*. 2019. 286 (6). P. 216–225. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.02.010.
13. Deeth H., Lewis M. Protein stability in sterilised milk and milk products // *Advanced dairy chemistry*. New York: Springer. 2016. P. 269–274. DOI: 10.1007/978-1-4939-2800-2\_10.
14. Effects of storage on some physico-chemical characteristics of UHT milk stored at different temperature / T.A.W. Aldubhany, E. Gouda, A. Khattab, N. Dabour // *Alexandria science exchange journal*. 2014. Vol. 35. № 2. P. 107–114. DOI: 10.21608/asejaiqsae.2014.2584.
15. Mironenko I.M. Vliyanie nizkih temperatur na syroprigodnost' moloka // *Syrodelie i maslo-delie*. 2020. № 2. S. 48–51. DOI: 10.31515/2073-4018-2020-2-46-49.
16. Impact of pasteurization of human milk on pre-term newborn in vitro digestion: Gastrointestinal disintegration, lipolysis and proteolysis / S. De Oliveira, C. Bourlieu, O. Ménard, A. Bellanger, G. Henry, F. Rousseau et al. // *Food Chemistry*. 2016. 211. P. 171–179. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.05.028.
17. Yurova E.A., Parfenova E.Yu., Mel'denberg D.N. Razrabotka kriteriev ocenki belkovogo sostava moloka // *Nauchnoe obespechenie molochnoj promyshlennosti (mikrobiologiya, biotehnologiya, tehnologiya, kontrol' kachestva i bezopasnosti)*: sb. nauch. tr. M.: Frantera, 2015. S. 272–277.
18. Agarkova E.Yu., Kruchinin A.G. Issledovaniya processa koncentrirovaniya razlichnyh vidov podsyrnoj syvorotki // *Pererabotka moloka*. 2019. № 3 (233). S. 20–22. DOI: 10.33465/2222-5455-2019-3-20-22.

