

УДК 637.03: 637.146

# Улучшение структурных свойств кисломолочного продукта внесением модифицированных сывороточных белков

<sup>1</sup> ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности»

К. А. Рязанцева<sup>1</sup>, Н. Е. Шерстнева<sup>1</sup>, Н. А. Жижин<sup>1</sup>

## КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Рязанцева Ксения Александровна

Адрес: 115093, Россия, г. Москва, ул. Люсиновская 35, корп. 7

E-mail: k\_riazantseva@vniimi.org

**ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:**  
данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Рязанцева К. А., Шерстнева Н. Е., Жижин Н. А. (2022). Улучшение структурных свойств кисломолочного продукта внесением модифицированных сывороточных белков. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (2), 52–66. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.342>

ПОСТУПИЛА: 04.05.2022

ПРИНЯТА: 12.06.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 30.06.2022

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



## АННОТАЦИЯ

**Введение.** Помимо продления сроков годности молочной продукции ультрафиолетовое (УФ) облучение находит применение как катализатор денатурации и полимеризации сывороточных белков молока. Однако область использования в технологии кисломолочных продуктов УФ полимеризованных сывороточных белков остается недостаточно изученной.

**Цель.** Определение закономерностей воздействия УФ облучения на физико-химические изменения сывороточных белков и их влияние на показатели кисломолочных модельных систем.

**Материалы и методы.** В исследовании был использован пилотный УФ реактор проточного типа (254 нм, поток излучения 7,3 Вт, зазор 400 мкм, скорость потока 6,67 мл/с). В качестве индикаторов УФ денатурации белков оценивали растворимость белка и степень денатурации β-лактоглобулина методом ВЭЖХ. В кисломолочных продуктах оценивали влагоудерживающую способность и структурно-механические показатели.

**Результаты.** Наибольший эффект агрегации белков с возрастанием дозы УФ облучения с 0 до 185 Дж/мл был достигнут в растворе концентрата сывороточных белков (КСБ) с м.д. белка 3%, выражающийся снижением растворимости белка с  $(92 \pm 1,67)$  до  $(31 \pm 2,1)$  % и повышением степени денатурации β-лактоглобулина с  $(20 \pm 2,4)$  до  $(94 \pm 2,7)$  %. Образец кисломолочного продукта, содержащий 60% облученного раствора КСБ (37 Дж/мл), по сравнению с контрольным показал повышение в три раза прочностных характеристик до  $(5,7 \pm 0,1)$  кПа, а также снижение в два раза степени потери вязкости (33,3%).

**Выводы.** Полученные результаты работы будут положены в основу дальнейших исследований по оптимизации УФ облучения растворов сывороточных белков для их применения в технологии кисломолочных продуктов.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ультрафиолетовая обработка, сывороточные белки, кисломолочный продукт, денатурация и полимеризация белков

# Improvement of the Structural Properties of a Ferrous Milk Product by Introducing Modified Whey Proteins

<sup>1</sup> All-Russian Dairy Research Institute

Ksenia A. Riazantseva<sup>1</sup>, Natalia E. Sherstneva<sup>1</sup>, Nikolay A. Zhizhin<sup>1</sup>

## CORRESPONDENCE:

**Ksenia A. Riazantseva**

35-7, Lyusinovskaya str., Moscow,  
115093, Russian Federation  
E-mail: k\_riazantseva@vnimi.org

## FOR CITATIONS:

Riazantseva K. A., Sherstneva N. E.,  
& Zhizhin N. A. (2022). Improvement  
of the structural properties of a ferrous  
milk product by introducing modified  
Whey proteins. *Storage and processing of  
Farm Products*, (2), 52–66.  
<https://doi.org/10.36107/spfp.2022.342>

RECEIVED: 04.05.2022

ACCEPTED: 12.06.2022

PUBLISHED: 30.06.2022

## DECLARATION OF COMPETING

### INTEREST:

none declared.



## ABSTRACT

**Background.** Ultraviolet (UV) irradiation is used as a catalyst for the denaturation and polymerization of whey proteins in milk. However, the area of using UV polymerized whey proteins in the technology of fermented milk products remains little studied.

**Purpose.** The aim of the study was to determine the regularities of the impact of UV irradiation on the physicochemical changes in whey proteins and their effect on the parameters of fermented milk model systems.

**Materials and Methods.** In the study, a flow type UV pilot reactor was used (254 nm, radiation flux 7.3 W, gap 400 μm, flow rate 6.67 ml/s). Protein solubility and the degree of β-lactoglobulin denaturation by HPLC were evaluated as indicators of protein UV denaturation. In fermented milk products, the water-retaining capacity was evaluated and structural and mechanical parameters.

**Results.** The greatest effect of protein aggregation with increasing UV dose from 0 to 185 J/mL was achieved in a solution of whey protein concentrate (WPC) with ppm. protein 3.0%, expressed by a decrease in protein solubility from  $(92 \pm 1.67)$  to  $(31 \pm 2.1)\%$  and an increase in the degree of β-lactoglobulin denaturation from  $(20 \pm 2.4)$  to  $(94 \pm 2.7)\%$ . A sample of a fermented milk product containing a 60% irradiated WPC solution (37 J/ml) showed a threefold increase in strength characteristics to  $(5.7 \pm 0.1)$  kPa, as well as a twofold decrease in the degree of viscosity loss (33.3%).

**Conclusions.** The obtained results of the work will be the basis for further research on the optimization of UV irradiation of whey protein solutions for their use in the technology of fermented milk products.

## KEYWORDS

ultraviolet treatment, whey proteins, fermented milk product, protein denaturation and polymerization

## ВВЕДЕНИЕ

В мировой практике ультрафиолетовое (УФ) облучение, как метод обработки пищевого сырья, с точки зрения бактерицидной эффективности является одной из перспективных недорогих и энергоэффективных технологий (Delorme et al., 2020). Данный метод успешно применяется для дезинфекции воды и фруктовых соков (Ochoa-Velasco et al., 2018; Peng et al., 2020), продления более чем в 2 раза сроков годности некоторых видов сыров (Lacivita et al., 2016; Singh et al., 2021), в качестве альтернативы термической стерилизации молока (Ansari et al., 2019; Carrozzo et al., 2015), а также для обеззараживания пищевых упаковочных материалов (Мяленко & Головань, 2020; Федотова, 2021; Федотова & Мяленко, 2020; Федотова & Мяленко, 2021; Федотова & Пряничникова, 2021). Результаты подобных исследований привели к тому, что Европейское агентство по безопасности продуктов питания (European Food Safety Authority, EFSA) в 2016 году одобрило применение данной технологической операции в качестве дополнительной обработки пастеризованного молока (Bresson et al., 2016). Помимо стран ЕС, применение УФ обработки в отношении пищевых продуктов, в том числе молока в отдельности или в комплексе с термической пастеризацией<sup>1</sup>, разрешено в США, Великобритании, Австралии, Израиле, Новой Зеландии, Китае и Индии (Alberini et al., 2015; Blázquez et al., 2019; Pisanello & Caruso, 2018). В то же время в Российской Федерации для обработки молочного сырья данная технология не применяется (Донская, 2021; Юрова, 2017; Юрова 2019). Согласно п. 10 ТР ТС 033/2013<sup>2</sup>, молоко (непромышленного изготовления), термически не обработанное, является сырым и в случае его реализации на рынках, включая сельскохозяйственные рынки, потребитель должен быть проинформирован о необходимости его обязательного кипячения.

В молочной отрасли на сегодняшний день можно выделить два направления применения УФ облучения, одно из которых получило больший

научный интерес и сосредоточено на сохранение микробиологической безопасности молока и молочных продуктов (Ansari et al., 2019; Keklik et al., 2019). Второе направление было сформировано относительно недавно и направлено на улучшение функциональных свойств молочных белков (de Castro et al., 2017; Díaz et al., 2016). В рамках первого направления для достижения бактерицидной эффективности от УФ обработки молока Ansari J.A. и Hariono B. использовали оборудование, предусматривающее возможность его обработки в тонком зазоре до 4 мм (Ansari et al., 2019; Hariono et al., 2020) вследствие ограниченной способности УФ света проникать в непрозрачные жидкости (Kristo et al., 2012). Ricciardi E.F. и Keklik N.M. для обработки поверхности головок свежего сыра (Keklik et al., 2019; Ricciardi et al., 2020) использовали УФ камеры. По различным данным, для достижения требуемого эффекта продукт в камере должен находиться на расстоянии от 3 до 13 см от источника УФ излучения (Keklik et al., 2019; Singh et al., 2021). Например, в исследовании Lacivita V. в результате УФ обработки итальянского сыра «Fiordilatte» (доза облучения 6,0 мДж/м<sup>2</sup>) срок годности продукта, как отмечает автор, увеличился на 80% (Lacivita et al., 2016). Аналогичное исследование (доза облучения 6,54 Дж/см<sup>2</sup>) было проведено Ricciardi E.F. на сыре «Рикотта», искусственно инокулированном *Pseudomonas fluorescens* (Ricciardi et al., 2020). Результаты автора свидетельствовали, что обработанные УФ излучением образцы сыра, в отличие от контрольного образца, сохранялись более 6 дней (Ricciardi et al., 2020).

Исследователи, работавшие в рамках второго подхода, применяли УФ обработку как катализатор денатурации и полимеризации сывороточных белков молока путем их ковалентного сшивания (de Castro et al., 2017; Díaz et al., 2016). Подобный способ модификации нашел отражение в улучшении прочностных характеристик съедобных пленочных покрытий (Schmid et al., 2015). Кроме того, различные исследователи сходятся во мнении, что в модифицированных УФ светом белках снижается аллергенность (Hu et al., 2016), повышаются эмульгирующие и пенообразующие свойства (Kuan et al., 2011). Также нам удалось обнаружить три значимых исследования на данную проблематику (Cilliers et al., 2014; Engin & Karagul, 2012; Vásquez-Mazo et al., 2019), в которых учеными было доказано, что УФ технология вследствие модификации белков молока при

<sup>1</sup> Koutchma, T. (2019). *Advances in UV-C light technology improve safety and quality attributes of juices, beverages, and milk products*. <https://www.food-safety.com/articles/6125-advances-in-uv-c-light-technology-improve-safety-and-quality-attributes-of-juices-beverages-and-milk-products>

<sup>2</sup> ТР ТС 033/2013. (2020). *О безопасности молока и молочной продукции*. <https://docs.cntd.ru/document/499050562>

последующем сквашивании оказывает влияние на качество кисломолочных продуктов, способствуя улучшению их физико-химических и реологических характеристик. Из немногочисленных исследований известно, что УФ обработка молока способствует улучшению физико-химических и реологических характеристик кисломолочных продуктов (Cilliers et al., 2014; Engin & Karagul Yuceer, 2012; Vásquez-Mazo et al., 2019).

В проанализированных исследованиях, несмотря на их значимый вклад в науку, недостаточно изучено влияние условий УФ обработки молочного сырья в потоке на структурные модификации сывороточных белков. Большинство описанных исследований подобного рода базируются либо на использовании УФ камеры (Hu et al., 2016; Kuan et al., 2011) при различных условиях обработки, таких как расстояние от источника излучения, продолжительности и толщины обрабатываемого слоя (в чашках Петри). В случае исследований поточного УФ облучения растворов сывороточных белков (Ansari et al., 2019; Kristo et al., 2012) отсутствует четкое разграничение доз, при которых белки денатурируют и полимеризуются без нежелательных продуктов окисления. Кроме того, исследования по улучшению технологических, структурных и физико-химических показателей кисломолочных продуктов, как нам известно, немногочисленны и сосредоточены на УФ обработке молока и последующем получении сыров и йогуртов (Cilliers et al., 2014; Engin & Karagul, 2012; Vásquez-Mazo et al., 2019). В этой связи представляет интерес исследование влияния УФ полимеризованных сывороточных белков как пищевых ингредиентов на показатели качества широкой линейки кисломолочных продуктов.

Целью текущего исследования являлось изучение влияния УФ облучения на физико-химические изменения сывороточных белков, а также структурные показатели и влагоудерживающую способность кисломолочных модельных систем с их использованием.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

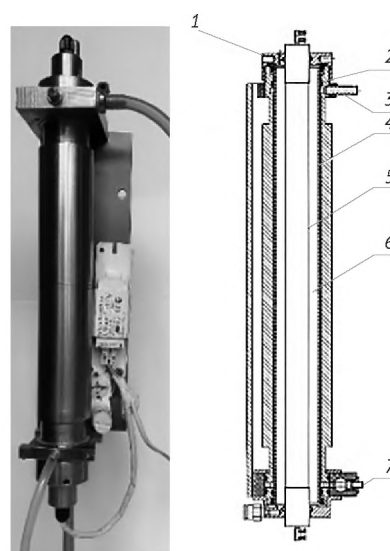
### Объекты

Объектами исследований являлись модифицированные УФ воздействием растворы концентрата сывороточных белков (КСБ), для приготовления которых использовали КСБ 80, изготовленный по СТО ВНИИМС 922973-045-2019; кисломолочные продукты, изготовленные с УФ модифицированными растворами КСБ.

### Методы

#### Описание УФ реактора

Для проведения исследований по УФ обработке растворов КСБ в работе был использован пилотный УФ реактор проточного типа (длина волны 254 нм, зазор для потока молочного сырья 400 мкм, поток излучения 7,3 Вт), сконструированный в лаборатории технологии молочно-белковых концентратов ФГАНУ «ВНИМИ». При УФ обработке скорость потока молочного сырья составляла 6,67 мл/с. Обработку сырья проводили в трех повторностях. Внешний вид и схема УФ реактора представлены на Рисунке 1.



**Рисунок 1**

Параметры УФ реактора проточного типа

1 — крышка; 2 — внешний металлический корпус модуля; 3 — выходной патрубок; 4 — кольцевое пространство; 5 — УФ лампа; 6 — внутренний кварцевый цилиндр; 7 — входной патрубок

Объемная доза УФ излучения за один проход через реактор была рассчитана на основе скорости потока молочного сырья ( $v$ ) и потока излучения ( $W$ ) УФ лампы:

$$D = \frac{W}{v} = \frac{7,3}{6,67} = 1,095 \frac{\text{Дж}}{\text{мл}}. \quad (1)$$

Более подробные расчеты доз облучения представлены в раннем исследовании (Рязанцева и др., 2022).

### **Приготовление УФ обработанных растворов КСБ**

Исходные растворы КСБ с расчетной массовой долей белка 3,0; 5,0 и 7,0 % готовили путем диспергирования сухого КСБ в дистиллированной воде ((40 ± 2) °C; 5 мин; 1200 об/мин) и последующего медленного перемешивания ((21 ± 1) °C; 60 мин; 100 об/мин) с помощью прибора Thermomix TM 31. В полученных растворах регулировали уровень pH 30% раствором NaOH до активной кислотности 7,0 ед. pH. Далее растворы были подвергнуты УФ обработке в расчетных дозах облучения 37, 74, 111, 148, 185 Дж/мл.

### **Определение растворимости белка и степени денатурации**

В качестве индикаторов УФ денатурации и частичной агрегации сывороточных белков оценивали растворимость белка и степень денатурации β-лактоглобулина. Растворимость белка определяли по методике Sindayikengera S., рассчитывая процент растворимости по отношению массовой доли белка (по методу Кьельдаля) в надосадочной жидкости после центрифугирования (RCF = 10 000 g, 30 мин, 20 °C, центрифуга SuperVario-N, Германия) к белку в исходном образце (Sindayikengera & Xia, 2006).

Степень денатурации (СД) растворов КСБ рассчитывали по методу Zhang X. с небольшими изменениями как процент денатурированного β-лактоглобулина в УФ облученных растворах КСБ по отношению к нативному β-лактоглобулину в исходных растворах (Zhang et al., 2019). Концентрацию нативного β-лактоглобулина в исходных и обработанных растворах КСБ оценивали с использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии при 214 нм на колонке ReproSil-Pur 300 ODS-3.5мкм, 250 x 4,6 мм (Жижин, 2022).

Степень денатурации рассчитывали по следующему уравнению (2):

$$\text{СД} = (K1 - K2)/K1 \times 100, \quad (2)$$

где  $K1$  — концентрация β-лактоглобулина в исходном растворе,  $K2$  — концентрация β-лактоглобулина в обработанном растворе

### **Оценка профиля запаха растворов КСБ**

Органолептические исследования осуществлялись комиссией из 5-ти человек согласно ГОСТ Р ISO 22935-2011 на основе пятибальной шкалы: 1 балл — признак отсутствует; 2 балла — интенсивность характеристики очень слабая (на грани порога распознавания); 3 балла — интенсивность характеристики слабая, но хорошо распознаваемая; 4 балла — интенсивность характеристики умеренная; 5 баллов — интенсивность характеристики очень сильная. При описании дескрипторов использовали термины, изложенные в ГОСТ 28283-2015.

### **Определение влагоудерживающей способности и структурно-механических показателей кисломолочных сгустков**

Для оценки качества кисломолочных модельных систем (МС) оценивали влагоудерживающую способность (ВУС) и структурно-механические показатели. Определение ВУС оценивали по методу Vásquez-Mazo P. путем измерения разницы в массе супернатанта исследуемых образцов объемом 10 мл до и после центрифугирования (RCF = 1200 g; 10 мин; 4 °C; центрифуга Sigma 3-30KHS, Германия) (Vásquez-Mazo et al., 2019). При оценке структурных изменений оценивали динамическую вязкость на ротационном вискозиметре «Реотест-2», а также предельное напряжение сдвига (ПНС) на пенетрометре PNR 10. Для расчета ПНС определяли степень пенетрации с использованием конуса массой 15 г в течение 5 сек. По найденному значению глубины погружения рассчитывали предельное напряжение сдвига, используя формулу Ребиндера 1:

$$\tau_0 = K_x \cdot F/h^2, \quad (3)$$

где  $\tau_0$  — предельное напряжение сдвига, Па;  $K_x$  — константа конуса, зависящая от величины угла при его

Таблица 1

Показатели растворов КСБ

| № | М.д. белка, % | Содержание СВ, % | Доза УФ облучения, Дж/мл | №  | М.д. белка, % | Содержание СВ, % | Доза УФ облучения, Дж/мл |
|---|---------------|------------------|--------------------------|----|---------------|------------------|--------------------------|
| 1 | 3,21 ± 0,12   | 3,85 ± 0,4       | 0                        | 10 | 5,11 ± 0,12   | 6,32 ± 0,4       | 111                      |
| 2 | 3,19 ± 0,12   | 3,92 ± 0,4       | 37                       | 11 | 5,26 ± 0,12   | 6,31 ± 0,4       | 148                      |
| 3 | 3,22 ± 0,12   | 3,95 ± 0,4       | 74                       | 12 | 5,24 ± 0,12   | 6,37 ± 0,4       | 185                      |
| 4 | 3,20 ± 0,12   | 3,98 ± 0,4       | 111                      | 13 | 7,29 ± 0,12   | 8,87 ± 0,4       | 0                        |
| 5 | 3,22 ± 0,12   | 3,87 ± 0,4       | 148                      | 14 | 7,24 ± 0,12   | 8,79 ± 0,4       | 37                       |
| 6 | 3,19 ± 0,12   | 3,88 ± 0,4       | 185                      | 15 | 7,15 ± 0,12   | 8,75 ± 0,4       | 74                       |
| 7 | 5,28 ± 0,12   | 6,38 ± 0,4       | 0                        | 16 | 7,18 ± 0,12   | 8,81 ± 0,4       | 111                      |
| 8 | 5,27 ± 0,12   | 6,32 ± 0,4       | 37                       | 17 | 7,22 ± 0,12   | 8,90 ± 0,4       | 148                      |
| 9 | 5,26 ± 0,12   | 6,35 ± 0,4       | 74                       | 18 | 7,21 ± 0,12   | 8,89 ± 0,4       | 185                      |

вершине (1,109);  $F$  — величина вертикальной внедряющей силы, Н;  $h$  — глубина погружения конуса, м.

Величину вертикальной внедряющей силы определяли по формуле 2:

$$F = m \cdot g, \quad (4)$$

где  $m$  — масса конуса и груза, кг;  $g$  — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Для оценки устойчивости структуры кисломолочных МС к механическому воздействию определяли следующие показатели<sup>3</sup>:

Степень потери вязкости (СП<sub>η</sub>), %:

$$СП_{\eta} = (\eta_n - \eta_p) 100 / \eta_n, \quad (5)$$

где  $\eta_n$  — первоначальная вязкость неразрушенной структуры (вязкость в момент включения прибора);  $\eta_p$  — вязкость максимально разрушенной структуры (последнее измерение).

Коэффициент механической стабильности, характеризующий устойчивость продукта к разрушению (КМС):

$$КМС = \frac{\eta_n}{\eta_p}, \quad (6)$$

<sup>3</sup> Забодалова, Л. А., & Белозерова, М. С. (2016). *Инженерная реология: Учебно-методическое пособие*. СПб.: Университет ИТМО.

Расчет степени тиксотропности (СТ) основывался на вычислении определенного интеграла разности функций прямого и обратного хода кривых гистерезиса. Определенный интеграл численно равен площади фигуры, ограниченной осью абсцисс, прямыми  $x = a$ ,  $x = b$  и графиком функции  $f(x)$ :

$$СТ = \int_{нг}^{вг} f(x) dx, \quad (7)$$

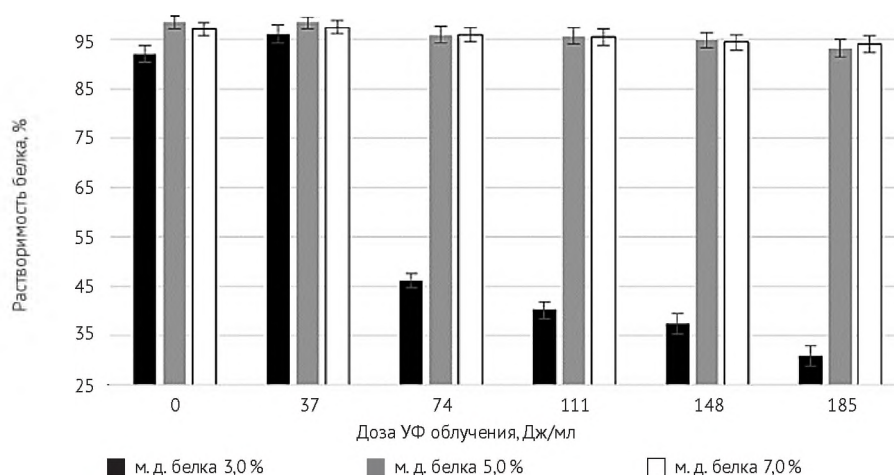
где нг — нижняя граница, вг — верхняя граница исследуемого интервала.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

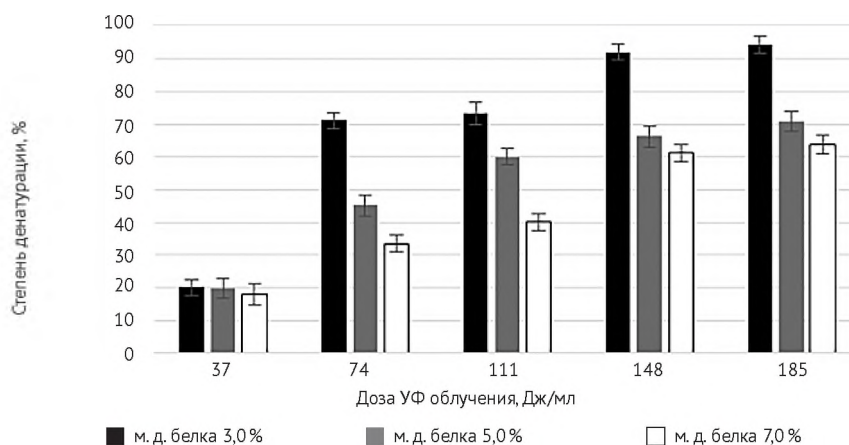
### Оценка растворимости белка и степени денатурации β-лактоглобулина

С целью оценки влияния УФ обработки на изменения белков в растворах КСБ мы варьировали дозы УФ облучения (0, 37...185 Дж/мл) и концентрацию белка (м.д. белка 3,0; 5,0; 7,0%). Показатели м.д. белка и сухих веществ исследуемых растворов КСБ представлены в Таблице 1.

Поскольку известно, что в результате денатурации снижается растворимость образующихся белковых агрегатов (de Castro et al., 2017), осуществлена соответствующая оценка УФ облученных растворов КСБ (Рисунок 2). Кроме того, по содержанию



**Рисунок 2**  
Профиль растворимости исследуемых растворов КСБ



**Рисунок 3**  
Степень денатурации

нативного  $\beta$ -лактоглобулина, как основного сы-  
вороточного белка, способного формировать по-  
лимеризованные структуры (Schmid et al., 2015),  
оценивали степень денатурации (Рисунок 3).

Наибольшее воздействие на снижение раствори-  
мости белка (Рисунок 2) в диапазоне исследуемых  
доз УФ облучения было выявлено при обработке  
раствора КСБ с наименьшим содержанием сухих  
веществ (м.д. белка 3,0%). При этом в других иссле-  
дуемых растворах КСБ с м.д. белка 5,0 и 7,0% сни-  
жение растворимости белка с 0 до 185 Дж/мл про-  
ходило незначительно примерно на 3–5 %.

Степень денатурации  $\beta$ -лактоглобулина (Рису-  
нок 3) повышалась с возрастанием дозы УФ облу-  
чения, практически не меняясь после 148 Дж/мл во

всех исследуемых растворах КСБ. При этом, как и  
в случае оценки растворимости белка (Рисунок 2),  
наибольший эффект повышения степени денату-  
рации наблюдался в растворах КСБ с наименьшим  
содержанием сухих веществ (м.д. белка 3 %).

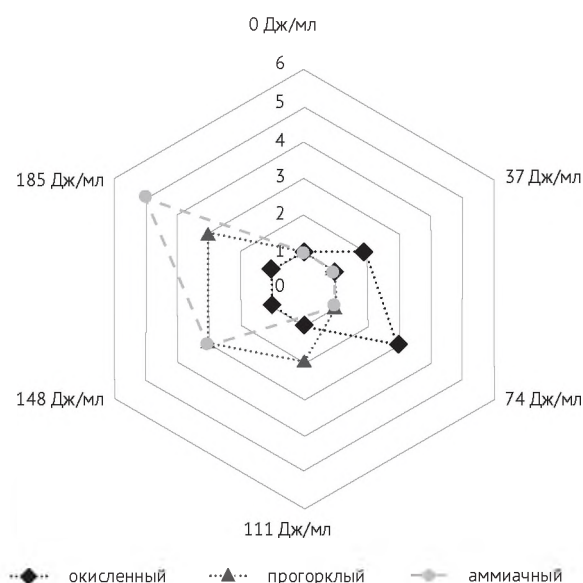
На основании проведенных исследований по рас-  
творимости белка (Рисунок 2) и степени денатура-  
ции (Рисунок 3) можно заключить, что в результате  
УФ обработки в исследуемых растворах КСБ с м.д.  
белка 5,0 и 7,0% были сформированы небольшие  
фракции растворимых агрегатов белка, поскольку  
значения растворимости белка не опускались ниже  
93 %. В случае растворов КСБ с м.д. белка 3,0% мож-  
но предположить, что размер белковых агрегатов с  
увеличением дозы УФ облучения от 74 Дж/мл был  
больше относительно исследуемых растворов КСБ с

большей концентрацией белка ввиду более низких значений растворимости в диапазоне доз излучения 74–185 Дж/мл от 46 до 30% (Рисунок 2) и большей степени денатурации (Рисунок 3). Подобные различия можно объяснить затруднением УФ света проникать в жидкости с повышением концентрации растворимых веществ.

Полученные нами результаты согласуются с исследованием Díaz O., в котором авторы работы объясняют повышение степени денатурации сывороточных белков при УФ обработки (4 и 12 Дж/см<sup>2</sup>) разрывом дисульфидных (ковалентных) связей в результате фотовозбуждения триптофана (Díaz et al., 2016). Кроме того, различные авторы сходятся во мнении, что при образовании агрегатов сывороточных белков в результате УФ обработки играют важную роль как ковалентные, так и нековалентные связи. В своей работе Kumar A. также ссылается на исследования, подтверждающие, что УФ-С (253,7 нм) свет может вызывать фотохимические реакции в пищевых продуктах (Kumar et al., 2021). Как отмечает автор, фотон, связанный с УФ-С излучением, имеет лучистую энергию 112,8 ккал/моль фотонов, что делает это излучение способным разорвать как ковалентные, так и нековалентные связи: О–Н, С–С, С–Н, С–N, Н–N и S–S (Kumar et al., 2021). В обзорной научной статье Nicolai T. приводит заключение о способности сывороточных белков полимеризоваться в результате разрыва нековалентных связей внутри молекулы белка и последующего высвобождения гидрофобных центров, что влечет за собой разворачивание белковой молекулы. Дальнейшая агрегация, согласно выводам автора, происходит за счет формирования дисульфидных (ковалентных) связей между мономерами белка (Nicolai et al., 2011). Формирование межмолекулярных ковалентных связей (сшивание белков) в результате УФ излучения (0,324 кДж/см<sup>2</sup> в течение 180 минут) растворов сывороточных белков также было доказано в работе Ustunol Z. из-за образования, как утверждали авторы исследования, свободных радикалов ароматических аминокислот, таких как тирозин и фенилаланин (Ustunol & Mert, 2004).

## Оценка профиля запаха растворов КСБ

В УФ обработанных растворах КСБ были идентифицированы нехарактерные для молочного сырья запахи. Для характеристики профиля запаха было



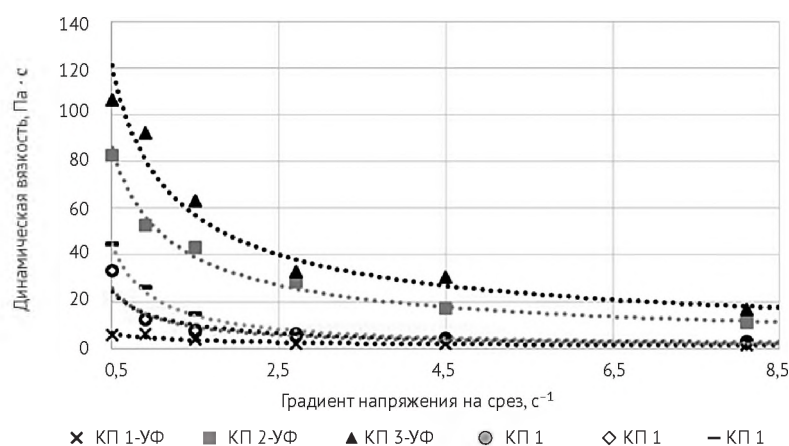
**Рисунок 4**

Профиль запаха исследуемых образцов растворов КСБ

предложено три термина дескрипторов: окисленный, прогорклый, аммиачный. Поскольку растворы КСБ с м.д. белка 5,0 и 7,0% характеризовались довольно интенсивными предложенными дескрипторами, профиль запаха оценивали в растворах КСБ с м.д. белка 3,0%. Анализ профилограммы (Рисунок 4) показал, что при дозе 37 Дж/мл в растворе КСБ слабо распознавался окисленный запах, исчезающий через  $(15 \pm 2)$  минут после обработки. При дозе 74 Дж/мл окисленный запах хорошо распознавался и не исчезал с течением времени. При дозе 111 Дж/мл и больше окисленный запах менялся на прогорклый и аммиачный. Исходя из анализа профилограммы, дальнейшие исследования проводили с использованием раствора КСБ с массовой долей белка 3,0% и дозой УФ облучения 37 Дж/мл.

## Определение влагоудерживающей способности и структурно-механических показателей кисломолочных сгустков

Модифицированный раствор КСБ вносили в рецептуру кисломолочной МС в количестве 20,0; 40,0 и 60,0% к массе молока и обозначали как КП 1-УФ, КП 2-УФ и КП 3-УФ соответственно. В качестве контрольных образцов выступали аналогичные смеси без УФ обработки (КП 1, КП 2



**Рисунок 5.**

Зависимость изменения динамической вязкости от дозы УФ облучения и дозы внесения в продукт раствора КСБ в МС

и КП 3 соответственно). Полученные смеси после диспергирования пастеризовали при  $(86 \pm 1)^\circ\text{C}$  в течение 10 мин, охлаждали и сквашивали термостатным способом при температуре  $(37 \pm 2)^\circ\text{C}$  производственной бактериальной закваской АТС (ТУ 9229-369-00419785-04) до значения активной кислотности 4,7 ед. рН. Наибольшие показатели динамической вязкости соответствовали опытным образцам с содержанием КСБ 40 и 60 % (Рисунок 5). Уравнения, описывающие полученные зависимости, представлены в Таблице 2.

Полученные результаты согласуются со схожими исследованиями о положительном влиянии агрегированных сывороточных белков под воздействием тепла на вязкость и влагоудерживающую способность ферментированных молочных продуктов (Fang & Guo, 2019).

**Таблица 2**

Уравнения, описывающие зависимости динамической вязкости от градиента напряжения на срез

| Кисломолочная МС | Уравнение                            |
|------------------|--------------------------------------|
| КП 1             | $y = 13,89x^{-0,819}; R^2 = 0,938$   |
| КП 1-УФ          | $y = 4,4519x^{-0,578}; R^2 = 0,9247$ |
| КП 2             | $y = 13,501x^{-0,927}; R^2 = 0,9645$ |
| КП 2-УФ          | $y = 52,396x^{-0,719}; R^2 = 0,988$  |
| КП 3             | $y = 21,66x^{-1,043}; R^2 = 0,9881$  |
| КП 3-УФ          | $y = 75,361x^{-0,684}; R^2 = 0,9677$ |

Показатели, характеризующие устойчивость структуры исследуемых МС к механическому воздействию, представлены в Таблице 3. Каждая МС подразделяется на опытный кисломолочный продукт (КП-УФ) и контрольный КП.

Несмотря на высокую степень тиксотропности контрольного КП 1 ( $\text{СТ} = 89\%$ ), данный образец характеризовался высокой степенью потери вязкости ( $\text{СП}\eta = 66,7\%$ ). При тех же условиях (20% внесения раствора КСБ) в КП 1-УФ ( $\text{СТ} = 76\%$ ) потери вязкости не было. С увеличением доли внесения раствора КСБ (40 и 60%) степень тиксотропности снижалась как в контрольных (КП 2, КП 3), так и в опытных образцах (КП 2-УФ, КП 3-УФ) (Таблица 3), однако при этом в отличие от контрольных КП степень потери вязкости в опытных КП-УФ снижалась. В качестве количественного показателя устойчивости продукта к механическому разрушению оценивали коэффициент механической стабильности (КМС). Чем больше данный коэффициент стремится к 1, тем продукт характеризуется большей устойчивостью к разрушению. В нашем исследовании наилучшие показатели КМС кисломолочных МС соответствовали опытным образцам, подвергнутым УФ облучению (Таблица 3).

Показатели ПНС (Рисунок 6, а) в контрольных образцах практически не изменялись, в то время как в опытных МС с увеличением доли внесения модифицированного раствора КСБ возрастали до значений свыше 5 кПа. Данные изменения свидетельствуют о повышении прочности кисломолочного сгустка. В то же время показатели ВУС (Рису-

Таблица 3

Исследуемые параметры кисломолочных МС

| Кисломолочная МС | Доза внесения р-ра КСБ, % | СП <sub>п</sub> , % | КМС  | СТ, % |
|------------------|---------------------------|---------------------|------|-------|
| МС 1             | КП 1                      | 66,7                | 3,0  | 89    |
|                  | КП 1-УФ                   | —                   | 1,0  | 76    |
| МС 2             | КП 2                      | 70                  | 3,3  | 79    |
|                  | КП 2-УФ                   | 42,8                | 1,75 | 60    |
| МС 3             | КП 3                      | 77,5                | 4,4  | 54    |
|                  | КП 3-УФ                   | 33,3                | 1,5  | 44    |

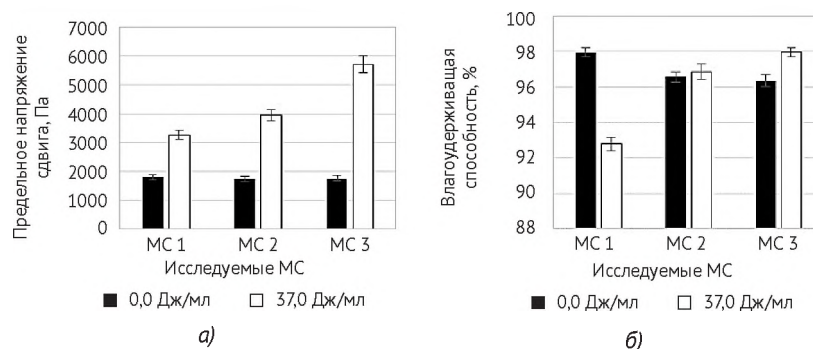


Рисунок 6

Значения а) ПНС и б) ВУС модельных кисломолочных систем

нок 6, б) существенно различались только в МС 1, причем значение ВУС опытного образца (92,8%) было меньше контрольного (97,9%). Данный результат можно объяснить нехваткой частично агрегированных сывороточных белков для формирования прочного сгустка.

На Рисунке 6, б видно, что с увеличением доли внесения модифицированного раствора КСБ в МС 2 и МС 3 показатели ВУС опытных образцов возрастали и наравне с контрольными имели высокие значения свыше 96%.

Исходя из полученных результатов исследований можно заключить, что внесение в МС модифицированного раствора КСБ (37 Дж/мл) с м.д. белка 3% в количестве от 20 до 60% оказывает существенное влияние на улучшение структурно-механических показателей кисломолочных продуктов. Полученные данные согласуются с выводами обзорной научной статьи Nicolai Т. о способности полимеризованных сывороточных белков повышать пре-

дельное напряжение сдвига, модуль упругости, влагоудерживающую способность и гелеобразование белковых растворов (Nicolai et al., 2011).

Анализируя совокупность полученных результатов можно заключить, что структура опытных и контрольных кисломолочных МС принципиально отличается. Тип структуры контрольных МС 1 и 2 можно охарактеризовать как коагуляционную, поскольку она имеет высокую степень тиксотропности более 79% (Таблица 1), но при этом обладает пониженной прочностью (Рисунок 6, а). В то же время тип структуры опытных образцов кисломолочных МС можно охарактеризовать как конденсационно-кристаллизационные, поскольку с повышением дозы УФ облучения структура продукта необратимо разрушается (снижение СТ с увеличением дозы внесения КСБ, Таблица 1) в результате деформации, проявляя повышенную прочность (Рисунок 6, а), но имея упруго-хрупкие свойства из-за жесткости скелета структуры.

## ВЫВОДЫ

В нашем исследовании мы оценивали влияние на качество кисломолочных продуктов модифицированных сывороточных белков, подвергнутых УФ обработке. Кроме того, исследовались условия УФ обработки сывороточных белков в потоке на их структурную модификацию.

Использование воздействия УФ облучения в дозе 74 Дж/мл и выше приводит к появлению ароматических соединений, негативно влияющих на сенсорное восприятие обрабатываемого молочного сырья. Внесение модифицированного раствора КСБ (37 Дж/мл, 3% белка) способствует усилению структурно-механических характеристик, включая динамическую вязкость, не влияя при этом на органолептические показатели продукта.

## ЛИТЕРАТУРА

- Донская, Г. А. (2021). Инновационные технологии обработки молока. *Пищевая Промышленность*, 7, 55–58. <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.7.7.017>
- Жижин, Н. А. (2022). ВЭЖХ анализ фуросина, В-лактоглобулина и лактулозы как критерий оценки тепловой нагрузки на молоко. *Зоотехния*, 3, 32–36. <https://doi.org/10.25708/ZT.2022.16.19.010>
- Мяленко, Д. М., & Головань, Н. С. (2020). Влияние ультрафиолетового излучения на санитарно-гигиенические показатели полиэтиленовой пленки, наполненной неорганическими компонентами, для молочной продукции. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, 11, 205–212. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-11-205-212>
- Рязанцева, К. А., Шерстнева, Н. Е., & Агаркова, Е. Ю. (2022). Использование ультрафиолетовой обработки для улучшения консистенции ферментированных сывороточных напитков. *Молочная промышленность*, 4, 42–45. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2022-04-42-45>
- Федотова, О. Б. (2021). Роль упаковки в хранении молочной продукции увеличенных сроков годности. *Молочная промышленность*, 9, 6–8. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-09-6-8>
- Федотова, О. Б., & Мяленко, Д. М. (2020). Исследование физико-механических показателей наполненной пищевой сажей полиэтиленовой пленки для молочной и пищевой продукции после воздействия на нее импульсным ультрафиолетовым излучением. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, 7, 166–172. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-7-166-172>
- Федотова, О. Б., & Мяленко, Д. М. (2021). Безопасность упаковки, формируемой в процессе производства молочной продукции. *Молочная промышленность*, 2, 11–13. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-02-11-13>
- Федотова, О. Б., & Пряничникова, Н. С. (2021). Исследование изменения структуры полиэтиленового слоя упаковки, контактирующего с пищевым продуктом при воздействии ультрафиолетового излучения. *Пищевые системы*, 4(1), 56–61. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-1-56-61>
- Юрова, Е. А. (2017). Идентификация молока-сырья подтверждение соответствия требованиям ТР ТС 033/2013. *Молочная промышленность*, 1, 16–18.
- Юрова, Е. А. (2019). Особенности контроля молочной продукции по показателям качества и безопасности. *Переработка молока*, 4, 6–9. <https://doi.org/10.33465/2222-5455-2019-4-6-8>
- Alberini, F., Simmons, M. J. H., Parker, D. J., & Koutchma, T. (2015). Validation of hydrodynamic and microbial inactivation models for UV-C treatment of milk in a swirl-tube 'SurePure TurbulatorTM'. *Journal of Food Engineering*, 162, 63–69. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.04.009>
- Ansari, J. A., Ismail, M., & Farid, M. (2019). Investigate the efficacy of UV pretreatment on thermal inactivation of *Bacillus subtilis* spores in different types of milk. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 52, 387–393. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.02.002>
- Blázquez, E., Rodríguez, C., Ródenas, J., Navarro, N., Riquelme, C., Rosell, R., Campbell, J., Crenshaw, J., Segales, J., Pujols, J., & Polo, J. (2019). Evaluation of the effectiveness of the SurePure Turbulator ultraviolet-C irradiation equipment on inactivation of different enveloped

- and non-enveloped viruses inoculated in commercially collected liquid animal plasma. *PLOS One*, 14(2), Article e0212332. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212332>
- Bresson, L. J., Burlingame, B., Dean, T., Fairweather-Tait, S., Heinonen, M., Hirsch-Ernst, I. K., Mangelsdorf, I., McArdle, H., Naska, A., Berthold, N., Nowicka, G., Pentieva, K., Sanz, Y., Siani, A., Sjin, A., Stern, M., Tome, D., Turck, D., van Loveren, H., Viece, M., & Schlatter, J. (2016). Safety of UV-treated milk as a novel food pursuant to Regulation (EC) No 258/97 EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA) Panel members. *EFSA Journal*, 14(1), 4370. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4370>
- Cappozzo, J. C., Koutchma, T., & Barnes, G. (2015). Chemical characterization of milk after treatment with thermal (HTST and UHT) and nonthermal (turbulent flow ultraviolet) processing technologies. *Journal of Dairy Science*, 98(8), 5068–5079. <https://doi.org/10.3168/JDS.2014-9190>
- Cilliers, F. P., Gouws, P. A., Koutchma, T., Engelbrecht, Y., Adriaanse, C., & Swart, P. (2014). A microbiological, biochemical and sensory characterisation of bovine milk treated by heat and ultraviolet (UV) light for manufacturing Cheddar cheese. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 23, 94–106. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.03.005>
- De Castro, R. J. S., Domingues, M. A. F., Ohara, A., Okuro, P. K., dos Santos, J. G., Brexó, R. P., & Sato, H. H. (2017). Whey protein as a key component in food systems: Physicochemical properties, production technologies and applications. *Food Structure*, 14, 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2017.05.004>
- Delorme, M. M., Guimarães, J. T., Coutinho, N. M., Balthazar, C. F., Rocha, R. S., Silva, R., Margalho, L. P., Pimentel, T. C., Silva, M. C., Freitas, M. Q., Granato, D., Sant'Ana, A. S., Duarte, M. C. K. H., & Cruz, A. G. (2020). Ultraviolet radiation: An interesting technology to preserve quality and safety of milk and dairy foods. *Trends in Food Science and Technology*, 102, 146–154. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.06.001>
- Díaz, O., Candia, D., & Cobos, Á. (2016). Effects of ultraviolet radiation on properties of films from whey protein concentrate treated before or after film formation. *Food Hydrocolloids*, 55, 189–199. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.11.019>
- Engin, B., & Karagul, Y. (2012). Effects of ultraviolet light and ultrasound on microbial quality and aroma-active components of milk. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(6), 1245–1252. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4689>
- Fang, T., & Guo, M. (2019). Physicochemical, texture properties, and microstructure of yogurt using polymerized whey protein directly prepared from cheese whey as a thickening agent. *Journal of Dairy Science*, 102(9), 7884–7894. <https://doi.org/10.3168/JDS.2018-16188>
- Hariono, B., Wijaya, R., & Bakri, A. (2020). Comparative study on the chemical and microbiological properties of goat milk pasteurization through serial and circulation systems of ultraviolet method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1450(1), Article 012005. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1450/1/012005>
- Hu, G., Zheng, Y., Liu, Z., Deng, Y., & Zhao, Y. (2016). Structure and IgE-binding properties of  $\alpha$ -casein treated by high hydrostatic pressure, UV-C, and far-IR radiations. *Food Chemistry*, 204, 46–55. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.113>
- Keklik, N. M., Elik, A., Salgin, U., Demirci, A., & Koçer, G. (2019). Inactivation of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* O157:H7 on fresh kashar cheese with pulsed ultraviolet light. *Food Science and Technology International*, 25(8), 680–691. <https://doi.org/10.1177/1082013219860925>
- Kristo, E., Hazizaj, A., & Corredig, M. (2012). Structural changes imposed on whey proteins by UV irradiation in a continuous UV light reactor. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(24), 6204–6209. <https://doi.org/10.1021/jf300278k>
- Kuan, Y. H., Bhat, R., & Karim, A. A. (2011). Emulsifying and foaming properties of ultraviolet-irradiated egg white protein and sodium caseinate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(8), 4111–4118. <https://doi.org/10.1021/jf104050k>
- Kumar, A., Nayak, R., Purohit, S. R., & Rao, P. S. (2021). Impact of UV-C irradiation on solubility of Osborne protein fractions in wheat flour. *Food Hydrocolloids*, 110, Article 105845. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2020.105845>
- Lacivita, V., Conte, A., Manzocco, L., Plazzotta, S., Zambrini, V. A., del Nobile, M. A., & Nicoli, M. C. (2016). Surface UV-C light treatments to prolong the shelf-life of Fiordilatte cheese. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 36, 150–155. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2016.06.010>
- Nicolai, T., Britten, M., & Schmitt, C. (2011).  $\beta$ -Lactoglobulin and WPI aggregates: Formation, structure and applications. *Food Hydrocolloids*, 25(8), 1945–1962. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2011.02.006>
- Ochoa-Velasco, C. E., Díaz-Lima, M. C., Ávila-Sosa, R., Ruiz-López, I. I., Corona-Jiménez, E., Hernández-Carranza, P., Lopez-Malo, A., & Guerrero-Beltrán, J. A. (2018). Effect of UV-C light on *Lactobacillus rhamnosus*, *Salmonella Typhimurium*, and *Saccharomyces cerevisiae* kinetics in inoculated coconut water: Survival and residual effect. *Journal of Food Engineering*, 223, 255–261. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2017.10.010>
- Peng, K., Koubaa, M., Bals, O., & Vorobiev, E. (2020). Recent insights in the impact of emerging technologies on lactic acid bacteria: A review. *Food Research International*, 137, Article 109544. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2020.109544>
- Pisanello, D., & Caruso, G. (2018). *Novel foods in the European Union*. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-93620-8>
- Ricciardi, F. E., Pedros-Garrido, S., Papoutsis, K., Lyng, J. G., Conte, A., & Nobile, M. A. Del. (2020). Novel technologies for preserving ricotta cheese: Effects of ultraviolet and near-ultraviolet-visible light. *Foods*, 9(5), Article 9050580. <https://doi.org/10.3390/foods9050580>
- Schmid, M., Held, J., Hammann, F., Schlemmer, D., & Noller, K. (2015). Effect of UV-radiation on the packaging-related properties of whey protein isolate based films and

- coatings. *Packaging Technology and Science*, 28(10), 883–899. <https://doi.org/10.1002/PTS.2150>
- Sindayikengera, S., & Xia, W. (2006). Nutritional evaluation of caseins and whey proteins and their hydrolysates from Protamex. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, 7(2), 90–98. <https://doi.org/10.1631/jzus.2006.B0090>
- Singh, H., Bhardwaj, S. K., Khatri, M., Kim, K. H., & Bhardwaj, N. (2021). UVC radiation for food safety: An emerging technology for the microbial disinfection of food products. *Chemical Engineering Journal*, 417, Article 128084. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.128084>
- Ustunol, Z., & Mert, B. (2004). Water solubility, mechanical, barrier, and thermal properties of cross-linked whey protein isolate-based films. *Journal of Food Science*, 69(3), 129–133. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2004.TB13365.X>
- Vásquez-Mazo, P., Loredó, A. G., Ferrario, M., & Guerrero, S. (2019). Development of a novel milk processing to produce yogurt with improved quality. *Food and Bioprocess Technology*, 12(6), 964–975. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02269-z>
- Zhang, X., Sun, X., Gao, F., Wang, J., & Wang, C. (2019). Systematical characterization of physiochemical and rheological properties of thermal-induced polymerized whey protein. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(2), 923–932. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9264>
- ## REFERENCES
- Donskaya, G. A. (2021). Innovatsionnye tekhnologii obrabotki moloka [Innovative technologies of dairy processing]. *Pishchevaya Promyshlennost'* [Food Industry], 7, 55–58. <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.7.7.017>
- Fedotova, O. B. (2021). Rol' upakovki v khraneni molochnoi produktsii uvelichennykh srokov godnosti [The role of packaging in determining the expiration date of dairy products with extended shelf life]. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy Industry], 9, 6–8. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-09-6-8>
- Fedotova, O. B., & Myalenko, D. M. (2020). Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh pokazatelei napolnennoi pishchevoi sazhei polietilenovoi plenki dlya molochnoi i pishchevoi produktsii posle vozdetsviya na nee impul'snym ul'traioletovym izlucheniem [The research of physical and mechanical indicators of filled food soot of polyethylene film for dairy and food products after exposing to its pulse uv radiation]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University], 7, 166–172. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-7-166-172>
- Fedotova, O. B., & Myalenko, D. M. (2021). Bezopasnost' upakovki, formiruemoi v protsesse proizvodstva molochnoi produktsii [Safety of packaging formed during the production of dairy products]. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy Industry], 2, 11–13. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-02-11-13>
- Fedotova, O. B., & Pryanichnikova, N. S. (2021). Issledovanie izmeneniya struktury polietilenovogo sloya upakovki, kontaktiruyushchego s pishchevym produktom pri vozdetsvii ul'traioletovogo izlucheniya [Research of the polyethylene packaging layer structure change in contact with a food product at exposure to ultraviolet radiation]. *Pishchevye sistemy* [Food Systems], 4(1), 56–61. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-1-56-61>
- Myalenko, D. M., & Golovan', N. S. (2020). Vliyanie ul'traioletovogo izlucheniya na sanitarno-gigienicheskie pokazateli polietilenovoi plenki, napolnennoi neorganicheskimi komponentami, dlya molochnoi produktsii [The influence of ultraviolet radiation on sanitary and hygiene indicators of polyethylene film for dairy products filled with inorganic components]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University], 11, 205–212. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-11-205-212>
- Ryazantseva, K. A., Sherstneva, N. E., & Agarkova, E. Yu. (2022). Ispol'zovanie ul'traioletovoi obrabotki dlya uluchsheniya konsistentsii fermentirovannykh syvorotochnykh napitkov [Using ultraviolet treatment to improve the consistency of fermented whey drinks]. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy Industry], 4, 42–45. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2022-04-42-45>
- Yurova, E. A. (2017). Identifikatsiya moloka-syr'ya podtverzhdenie sootvetstviya trebovaniyam TR TS 033/2013 [Identification of raw milk. confirmation of the compliance with the requirements of the TP TC 033/2013]. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy Industry], 1, 16–18.
- Yurova, E. A. (2019). Osobennost' kontrolya molochnoi produktsii po pokazatelyam kachestva i bezopasnosti [Features of control of dairy products in terms of quality and safety]. *Pererabotka moloka* [Milk Processing], 4, 6–9. <https://doi.org/10.33465/2222-5455-2019-4-6-8>
- Zhizhin, N. A. (2022). VEZhKh analiz furozina, B-laktoglobulina i laktulozy kak kriterii otsenki teplovoi nagruzki na moloko [HPLC analysis of furosin,  $\beta$ -lactoglobulin and lactulose as a criterion for assessing the heat load on milk]. *Zootekhniya* [Zootechnics], 3, 32–36. <https://doi.org/10.25708/ZT.2022.16.19.010>
- Alberini, F., Simmons, M. J. H., Parker, D. J., & Koutchma, T. (2015). Validation of hydrodynamic and microbial inactivation models for UV-C treatment of milk in a swirl-tube 'SurePure TurbulatorTM'. *Journal of Food Engineering*, 162, 63–69. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.04.009>
- Ansari, J. A., Ismail, M., & Farid, M. (2019). Investigate the efficacy of UV pretreatment on thermal inactivation of *Bacillus subtilis* spores in different types of milk. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 52, 387–393. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.02.002>
- Blázquez, E., Rodríguez, C., Ródenas, J., Navarro, N., Riquelme, C., Rosell, R., Campbell, J., Crenshaw, J., Se-

- gales, J., Pujols, J., & Polo, J. (2019). Evaluation of the effectiveness of the SurePure Turbulator ultraviolet-C irradiation equipment on inactivation of different enveloped and non-enveloped viruses inoculated in commercially collected liquid animal plasma. *PLOS One*, 14(2), Article e0212332. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212332>
- Bresson, L. J., Burlingame, B., Dean, T., Fairweather-Tait, S., Heinonen, M., Hirsch-Ernst, I. K., Mangelsdorf, I., McArdle, H., Naska, A., Berthold, N., Nowicka, G., Pentieva, K., Sanz, Y., Siani, A., Sjin, A., Stern, M., Tome, D., Turck, D., van Loveren, H., Viece, M., & Schlatter, J. (2016). Safety of UV-treated milk as a novel food pursuant to Regulation (EC) No 258/97 EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA) Panel members. *EFSA Journal*, 14(1), 4370. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4370>
- Cappozzo, J. C., Koutchma, T., & Barnes, G. (2015). Chemical characterization of milk after treatment with thermal (HTST and UHT) and nonthermal (turbulent flow ultraviolet) processing technologies. *Journal of Dairy Science*, 98(8), 5068–5079. <https://doi.org/10.3168/JDS.2014-9190>
- Cilliers, F. P., Gouws, P. A., Koutchma, T., Engelbrecht, Y., Adriaanse, C., & Swart, P. (2014). A microbiological, biochemical and sensory characterisation of bovine milk treated by heat and ultraviolet (UV) light for manufacturing Cheddar cheese. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 23, 94–106. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.03.005>
- De Castro, R. J. S., Domingues, M. A. F., Ohara, A., Okuro, P. K., dos Santos, J. G., Brexó, R. P., & Sato, H. H. (2017). Whey protein as a key component in food systems: Physicochemical properties, production technologies and applications. *Food Structure*, 14, 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2017.05.004>
- Delorme, M. M., Guimarães, J. T., Coutinho, N. M., Balthazar, C. F., Rocha, R. S., Silva, R., Margalho, L. P., Pimentel, T. C., Silva, M. C., Freitas, M. Q., Granato, D., Sant'Ana, A. S., Duarte, M. C. K. H., & Cruz, A. G. (2020). Ultraviolet radiation: An interesting technology to preserve quality and safety of milk and dairy foods. *Trends in Food Science and Technology*, 102, 146–154. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.06.001>
- Díaz, O., Candia, D., & Cobos, Á. (2016). Effects of ultraviolet radiation on properties of films from whey protein concentrate treated before or after film formation. *Food Hydrocolloids*, 55, 189–199. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.11.019>
- Engin, B., & Karagul, Y. (2012). Effects of ultraviolet light and ultrasound on microbial quality and aroma-active components of milk. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(6), 1245–1252. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4689>
- Fang, T., & Guo, M. (2019). Physicochemical, texture properties, and microstructure of yogurt using polymerized whey protein directly prepared from cheese whey as a thickening agent. *Journal of Dairy Science*, 102(9), 7884–7894. <https://doi.org/10.3168/JDS.2018-16188>
- Hariono, B., Wijaya, R., & Bakri, A. (2020). Comparative study on the chemical and microbiological properties of goat milk pasteurization through serial and circulation systems of ultraviolet method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1450(1), Article 012005. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1450/1/012005>
- Hu, G., Zheng, Y., Liu, Z., Deng, Y., & Zhao, Y. (2016). Structure and IgE-binding properties of  $\alpha$ -casein treated by high hydrostatic pressure, UV-C, and far-IR radiations. *Food Chemistry*, 204, 46–55. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.113>
- Keklik, N. M., Elik, A., Salgin, U., Demirci, A., & Koçer, G. (2019). Inactivation of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* O157:H7 on fresh kashar cheese with pulsed ultraviolet light. *Food Science and Technology International*, 25(8), 680–691. <https://doi.org/10.1177/1082013219860925>
- Kristo, E., Hazizaj, A., & Corredig, M. (2012). Structural changes imposed on whey proteins by UV irradiation in a continuous UV light reactor. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(24), 6204–6209. <https://doi.org/10.1021/jf300278k>
- Kuan, Y. H., Bhat, R., & Karim, A. A. (2011). Emulsifying and foaming properties of ultraviolet-irradiated egg white protein and sodium caseinate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(8), 4111–4118. <https://doi.org/10.1021/jf104050k>
- Kumar, A., Nayak, R., Purohit, S. R., & Rao, P. S. (2021). Impact of UV-C irradiation on solubility of Osborne protein fractions in wheat flour. *Food Hydrocolloids*, 110, Article 105845. <https://doi.org/10.1016/j.FOODHYD.2020.105845>
- Lacivita, V., Conte, A., Manzocco, L., Plazzotta, S., Zambini, V. A., del Nobile, M. A., & Nicoli, M. C. (2016). Surface UV-C light treatments to prolong the shelf-life of Fiordilatte cheese. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 36, 150–155. <https://doi.org/10.1016/J.FIFSET.2016.06.010>
- Nicolai, T., Britten, M., & Schmitt, C. (2011).  $\beta$ -Lactoglobulin and WPI aggregates: Formation, structure and applications. *Food Hydrocolloids*, 25(8), 1945–1962. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2011.02.006>
- Ochoa-Velasco, C. E., Díaz-Lima, M. C., Ávila-Sosa, R., Ruiz-López, I. I., Corona-Jiménez, E., Hernández-Carranza, P., Lopez-Malo, A., & Guerrero-Beltrán, J. A. (2018). Effect of UV-C light on *Lactobacillus rhamnosus*, *Salmonella Typhimurium*, and *Saccharomyces cerevisiae* kinetics in inoculated coconut water: Survival and residual effect. *Journal of Food Engineering*, 223, 255–261. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2017.10.010>
- Peng, K., Koubaa, M., Bals, O., & Vorobiev, E. (2020). Recent insights in the impact of emerging technologies on lactic acid bacteria: A review. *Food Research International*, 137, Article 109544. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2020.109544>
- Pisanello, D., & Caruso, G. (2018). *Novel foods in the European Union*. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-93620-8>
- Ricciardi, F. E., Pedros-Garrido, S., Papoutsis, K., Lyng, J. G., Conte, A., & Nobile, M. A. Del. (2020). Novel technologies for preserving ricotta cheese: Effects of ultraviolet and near-ultraviolet-visible light. *Foods*, 9(5), Article 9050580. <https://doi.org/10.3390/foods9050580>

- Schmid, M., Held, J., Hammann, F., Schlemmer, D., & Noller, K. (2015). Effect of UV-radiation on the packaging-related properties of whey protein isolate based films and coatings. *Packaging Technology and Science*, 28(10), 883–899. <https://doi.org/10.1002/PTS.2150>
- Sindayikengera, S., & Xia, W. (2006). Nutritional evaluation of caseins and whey proteins and their hydrolysates from Protamex. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, 7(2), 90–98. <https://doi.org/10.1631/jzus.2006.B0090>
- Singh, H., Bhardwaj, S. K., Khatri, M., Kim, K. H., & Bhardwaj, N. (2021). UVC radiation for food safety: An emerging technology for the microbial disinfection of food products. *Chemical Engineering Journal*, 417, Article 128084. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2020.128084>
- Ustunol, Z., & Mert, B. (2004). Water solubility, mechanical, barrier, and thermal properties of cross-linked whey protein isolate-based films. *Journal of Food Science*, 69(3), 129–133. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2004.TB13365.X>
- Vásquez-Mazo, P., Loredó, A. G., Ferrario, M., & Guerrero, S. (2019). Development of a novel milk processing to produce yogurt with improved quality. *Food and Bioprocess Technology*, 12(6), 964–975. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02269-z>
- Zhang, X., Sun, X., Gao, F., Wang, J., & Wang, C. (2019). Systematical characterization of physiochemical and rheological properties of thermal-induced polymerized whey protein. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(2), 923–932. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9264>