

ВПЛИВ СИРОВАТКОВИХ БІЛКІВ НА АМІНОКИСЛОТНИЙ ПРОФІЛЬ  
ЗБАГАЧЕНИХ МОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ*Моїсєєва Л. О., к.т.н., с.н.с.*<https://orcid.org/0000-0001-8845-1487>*Білуха Г. М., аспірант, заступник директора*<https://orcid.org/0000-0002-4375-545X>*Романчук І. О., д.т.н., с.н.с., заст. директора з наукової роботи*<https://orcid.org/0000-0002-3988-0717>

Інститут продовольчих ресурсів НААН, Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2025-25-14>

**Предмет.** Білковий та амінокислотний склад молочних продуктів та технологічні чинники, які на них впливають. **Мета.** Визначення впливу сироваткових білків на білковий та амінокислотний профілі збагачених молочних продуктів. **Методи.** Загальноприйняті методи визначення азотовмісних фракцій модельних сумішей, що забезпечили відповідну точність та достовірність одержуваних результатів згідно зі стандартизованими методиками досліджень. **Результати.** У роботі на підставі опублікованих даних щодо позитивного впливу сироваткових білків на метаболічні ефекти, які спричиняються білком їжі, обґрунтовано актуальність проведення досліджень щодо підвищення біологічної цінності молочних продуктів за рахунок збагачення їх білками сироватки. Оцінку амінокислотного профілю проведено за вмістом таких незамінних амінокислот як валін, ізолейцин і лейцин. Досліджено технологічні підходи, що призводять до збільшення частки сироваткових білків у білковому складі продукту. На підставі аналізу азотовмісних фракцій модельних сумішей зроблено висновок про вплив термічного оброблення молока та використання продуктів переробки сироватки, як технологічних чинників, що впливають на амінокислотний склад одержуваних продуктів. Встановлено, що за рахунок утворення комплексів сироваткових білків з казеїном під час теплового оброблення молока та подальшої їх денатурації у складі кисломолочних згустків, питомий вміст незамінних амінокислот з розгалуженим ланцюгом збільшується за рахунок збільшення частки сироваткових білків. Рівноцінний ефект досягається при збагаченні продукту додатковим джерелом сироваткових білків, в якості яких можуть використовуватись продукти переробки сироватки. Обґрунтовано, що продукти переробки сироватки є повноцінними компонентами в рецептурах інших харчових продуктів, що покращують їх поживну цінність. **Сфера застосування результатів.** Розраховано на спеціалістів молочної галузі, викладачів, аспірантів, науковців. Результати досліджень мають також практичне застосування для розроблення нових видів продуктів підвищеної поживної цінності.

**Ключові слова:** білки молока, казеїн, сироваткові білки, коагуляція білка, амінокислоти з розгалуженим ланцюгом, біологічна цінність, харчові технології

INFLUENCE OF WHEY PROTEINS ON THE AMINO ACID PROFILE  
OF ENRICHED DAIRY PRODUCTS*Liudmyla Moiseieva, PhD, Senior Researcher,**Dep. Head of Department of Dairy Products and Baby Food Products*<https://orcid.org/0000-0001-8845-1487>*Genadiy Bilukha, Postgraduate, Deputy Director*<https://orcid.org/0000-0002-4375-545X>*Iryna Romanchuk, D-r of Sciences, Engineering, Senior Researcher, Deputy Director*<https://orcid.org/0000-0002-3988-0717>

Institute of Food Resources of the NAAS, Kyiv, Ukraine

**Subject.** Protein and amino acid composition of dairy products and technological factors that affect them. **Purpose.** Determination of the influence of whey proteins on the protein and amino acid profiles of enriched dairy products. **Methods.** Generally accepted methods for determining nitrogen-containing fractions of model mixtures, which ensured the appropriate accuracy and reliability of the results obtained in accordance with standardized research methods. **Results.** The paper, based on published data on the

positive influence of whey proteins on metabolic effects caused by food protein, substantiates the relevance of conducting research on increasing the biological value of dairy products by enriching them with whey proteins. The amino acid profile was assessed by the content of such essential amino acids as valine, isoleucine and leucine. Technological approaches that lead to an increase in the share of whey proteins in the protein composition of the product are investigated. Based on the analysis of nitrogen-containing fractions of model mixtures, a conclusion was made about the influence of heat treatment of milk and the use of whey processing products as technological factors affecting the amino acid composition of the resulting products. It was established that due to the formation of complexes of whey proteins with casein during heat treatment of milk and their subsequent denaturation in the composition of fermented milk clots, the specific content of essential branched-chain amino acids increases due to an increase in the proportion of whey proteins. An equivalent effect is achieved when enriching the product with an additional source of whey proteins, which can be used as whey processing products. It is substantiated that whey processing products are full-fledged components in the formulations of other food products, improving their nutritional value. **Scope of results.** It is intended for dairy industry specialists, teachers, graduate students, and scientists. The research results also have practical application for the development of new types of products with increased nutritional value.

**Key words:** milk proteins, casein, whey proteins, protein coagulation, branched-chain amino acids, biological value, food technologies

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день значний сегмент ринку харчової продукції характеризується збільшенням частки продуктів з високою поживною та біологічною цінністю, збагачених макро- та мікронутрієнтами. Такі продукти повинні бути не тільки джерелом енергії та поживних речовин, але й мають володіти вираженими профілактичними або оздоровчими властивостями.

Значну зацікавленість представляють наукові дані щодо впливу молочних продуктів на покращення метаболічних функцій людей, що страждають на порушення обміну речовин та серцево-судинні захворювання [1]. Серед основних чинників такого впливу розглядають такі складові молока як сироваткові білки, казеїн, мінерали та пептиди. Тому, виробництво молочних продуктів з використанням корисних білкових складових молочної сировини, здатних поповнити дефіцит необхідних речовин та виступати в якості профілактичного засобу аліментарно-залежних захворювань, також набуває актуальності. Серед таких видів сировини представляють інтерес білоквисні продукти переробки молока і сироватки. Зокрема, ультрафільтрацією знежиреного молока одержують концентрат молочного білка, який містить казеїн і сироваткові білки без зміни їх співвідношення, характерного для молока; концентрати сироваткових білків одержують методами мембранної фільтрації із молочної сироватки. Такі технології виділення та очищення білка набувають широкого поширення, зокрема для перероблення сироватки, з огляду на утворення значних її обсягів в сироварстві [2]. Білки сироватки мають хороші функціонально-технологічні властивості завдяки чому вони використовуються під час виробництва інших харчових продуктів [3, 4].

За своєю біологічною цінністю молочні білки – високоякісні білки за амінокислотним складом, перетравлюваністю та біодоступністю, але вони відрізняються способом перетравлення та всмоктування. Сироваткові білки швидше засвоюються в шлунково-кишковому тракті ніж казеїн. Концепцію «повільних» та «швидких» білків було введено Буар'є та ін. [5]. Казеїн, на відміну від сироватки, коагулює в кислому середовищі шлунку, що затримує його спорожнення та викликає повільне збільшення амінокислот у плазмі. Сироватка, навпаки, викликає швидке, високе та тимчасове збільшення амінокислот у плазмі [5]. Клінічні дослідження вказують на те, що амінокислотний склад, швидкість засвоєння та текстура білка можуть бути важливими чинниками метаболічних ефектів, які спричиняються білком їжі [6]. Деякі дослідження показують, що саме сироваткові білки відіграють важливу роль у регуляції синтезу білка при діабеті другого типу, на підставі чого автори роблять висновки про важливий вплив сироваткових білків на покращення метаболічного здоров'я людини [6, 7]. Сироваткові білки у порівнянні з казеїном містять більше амінокислот з розгалуженими ланцюжками. Саме з ними пов'язують вплив на зниження маси тіла, підвищення синтезу м'язового білка та покращення метаболічних функцій скелетних м'язів

[1].

Білки молока є гетерогенною системою. Казеїн представлений  $\alpha$ -s1,  $\alpha$ -s2,  $\beta$ - та  $\gamma$ -фракціями, а молочна сироватка переважно містить глобулярні білки, представлені  $\alpha$ -лактоальбуміном,  $\beta$ -лактоглобуліном, лактоферином, імуноглобулінами, сироватковим альбуміном, глікомакропептидом та ферментами. Термічне оброблення сировини забезпечує якість і безпечність одержуваної молочної продукції, при цьому викликаючи фізичні та хімічні зміни в структурі та функціональних властивостях білків молока [8, 9].

**Метою** роботи було дослідження впливу сироваткових білків на амінокислотний профіль збагачених молочних продуктів за вмістом амінокислот з розгалуженим ланцюгом.

Основні характеристики молока визначали за загальноприйнятими стандартизованими методиками досліджень. Дослідження проводили на молоці однієї партії. Сире молоко сепарували для отримання знежиреного молока. Для виділення білків казеїнового комплексу відповідні зразки сирого знежиреного або термізованого молока обробляли водним розчином гідроген хлориду до досягнення рН 4,6 та відокремлювали утворений згусток фільтруванням. Дослідні зразки сироватки отримували після ізоелектричного осадження казеїну.

Масову частку загального білка в дослідних зразках визначали відповідно до ДСТУ EN ISO 8968-1:2022 (EN ISO 8968-1:2014, IDT; ISO 8968-1:2014, IDT) «Молоко та молочні продукти. Визначення вмісту азоту. Частина 1. Принцип К'ельдаля та розрахунок сирого протеїну» [10], масову частку казеїнового азоту та казеїну за ДСТУ ISO 17997-1/IDF 29-1:2009 «Молоко. Визначення вмісту казеїнового азоту. Частина 1. Непрямий метод (контрольний метод)» [11] та ДСТУ EN ISO 8968-4:2022 (EN ISO 8968-4:2016, IDT; ISO 8968-4:2016, IDT) «Молоко та молочні продукти. Визначення вмісту азоту. Частина 4. Визначення вмісту білкового та небілкового азоту та обчислення справжнього вмісту білка (еталонний метод)» [12]. Значення коефіцієнту перерахунку масової частки загального азоту на масову частку загального білка складала 6,38. Амінокислотний склад зразків визначали за допомогою кислотного гідролізу на амінокислотному аналізаторі LC-2000 (Biotronik, Німеччина). Суть методу визначення амінокислотного складу полягає в гідролізі білків продукту до амінокислот з подальшою їх ідентифікацією методом вискоєфективної рідинної хроматографії. Гідроліз сухого зразка здійснювали розчином 6 н соляної кислоти, при  $(108 \pm 2)^\circ\text{C}$  протягом 24 год. Біологічну цінність білкової частини оцінювали за порівнянням із амінокислотним складом білка, який визначали за рекомендаціями експертного комітету ФАО/ВООЗ.

Вимірювання інших показників здійснювалось відповідно до методик та з використанням засобів, що забезпечували відповідну точність та достовірність.

**Результати та обговорення.** Технологічними способами підвищення вмісту сироваткових білків в одержуваних продуктах є їх здатність до денатурації за високих температур теплового оброблення, а також додаткове збагачення продуктів білковими компонентами, одержаними із сироватки. Зокрема, за рахунок ультрависокотемпературного оброблення молока у виробництві дієтичного сиру кисломолочного підвищується вихід продукту та забезпечується м'яка текстура продукту [13]. Використання сироваткових білків як додаткових компонентів у складі ферментованих молочних продуктів та десертів допомагає покращити текстуру та запобігає виділенню сироватки.

Нами було досліджено вплив нагрівання в діапазоні температур від  $75 \pm 1$  до  $95 \pm 1^\circ\text{C}$  на денатурацію сироваткових білків за даними вмісту азоту в сироватці термізованого молока. Дослідні зразки сироватки отримували після ізоелектричного осадження казеїну. Про денатурацію сироваткових білків судили за зменшенням вмісту загального азоту в сироватці. На підставі отриманих даних розраховували питомий вміст сироваткових білків у денатурованих білкових осадах (табл. 1).

Очевидно, що з підвищенням температури теплового оброблення вихідного молока частка азотовмісних сполук в дослідних зразках сироватки зменшується порівняно з контролем, що є непрямым доказом денатурації сироваткових білків з казеїном. Підтвердження таких змін були опубліковані в роботах [13, 14]. Під час нагрівання

$\beta$ -лактоглобуліни утворюють комплекси з казеїном, а у подальшому – при рН 4,6 середовища, денатуровані сироваткові білки коагулюють разом з казеїном. Термічна денатурація  $\beta$ -лактоглобуліну протікає на різних стадіях і вважається незворотною за температури вище 75°C [15, 16]. Одним із найбільш термолабільних білків сироватки є лактоферин з температурою денатурації близько 65°C [17].

Таблиця 1

**Зміни білкового складу дослідних зразків за різних режимів теплового оброблення вихідного молока**

| Показники                                                     | Сире молоко | Температура оброблення молока, °C |             |             |
|---------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------|-------------|
|                                                               |             | 75±1                              | 85±1        | 95±1        |
| М.ч. заг. азоту (N <sub>заг</sub> ), %                        | 0,527±0,005 | 0,528±0,004                       | 0,531±0,004 | 0,536±0,003 |
| М.ч. азоту в сироватці, %                                     | 0,065±0,001 | 0,056±0,001                       | 0,031±0,001 | 0,023±0,001 |
| Частка сироваткових білків в денатурованих білкових осадах, % | 14,5        | 28,7                              | 38,5        | 36,5        |

Відомо, що сироваткові білки більш збалансовані за амінокислотним скором по відношенню до еталону ФАО/ВООЗ. Зокрема, коефіцієнт утилітарності амінокислотного складу концентрату сироваткових білків становить 0,87, а коефіцієнти утилітарності білкового складу молока незбираного та сиру кисломолочного становлять 0,6 та 0,65, відповідно. Як вже зазначалося вище, за даними клінічних досліджень незамінні амінокислоти з розгалуженим ланцюгом (валін, ізолейцин і лейцин) здатні стимулювати синтез білка в м'язах та позитивно впливати на покращення метаболічного здоров'я людини [5–7].

Зразки білкових осадів, отриманих із молока обробленого за температур 75°C, 85°C та 95°C після відокремлення сироватки, були проаналізовані за вмістом валіну, ізолейцину і лейцину (табл. 2).

Таблиця 2

**Вміст амінокислот у дослідних зразках, одержаних із молока за різних режимів теплового оброблення**

| Амінокислота | Вміст амінокислот, г/100 г білка |           |           |
|--------------|----------------------------------|-----------|-----------|
|              | 75±1°C                           | 85±1°C    | 95±1°C    |
| Валін        | 2,94±0,02                        | 5,15±0,02 | 5,48±0,01 |
| Ізолейцин    | 2,17±0,03                        | 4,25±0,03 | 4,58±0,02 |
| Лейцин       | 4,38±0,01                        | 8,17±0,02 | 8,59±0,03 |

Як свідчать наведені результати, вміст валіну, ізолейцину та лейцину в дослідних зразках зростає з підвищенням температури оброблення вихідного молока. Така закономірність цілком узгоджується з даними щодо зменшення вмісту білка в сироватці (табл. 1). Це може означати, що в результаті підвищення режимів теплового оброблення молока від 75°C до 95°C збільшення вмісту незамінних амінокислот в денатурованій

білковій фракції пов'язано із збільшенням в ній частки сироваткових білків.

Про відмінності білкового складу казеїнових сироваток зазначалося в публікації [18]. За даними електрофорезу авторами відзначено подібність відносного вмісту імуноглобуліну та  $\alpha$ -лактальбуміну в неденатурованій казеїновій сироватці, в той час, коли за таких же умов оброблення  $\beta$ -лактоглобулін практично відсутній. На підставі аналізу фракційного складу денатурованих і неденатурованих автори припускають, що під час низькотемпературного нагрівання відбуваються як оборотні, так і необоротні зміни в структурі білків молочної сироватки. Зворотні зміни не впливають на стійкість сироваткових білків до високотемпературної денатурації. Необоротні зміни у структурі сироваткових білків відбуваються вже у випадку попереднього низькотемпературного нагрівання до температур нижче 50°C [18].

Слід зазначити, що методи виявлення і кількісного визначення денатурації сироваткових білків досить складні [19, 20]. Сучасні тенденції полягають в розробці швидких аналітичних методів, які могли б застосовуватися для визначення та кількісної оцінки термічної денатурації сироваткових білків [20].

Альтернативним способом збільшення вмісту незамінних амінокислот в продукті є додаткове збагачення його білоквмісними продуктами переробки сироватки, зокрема сироваткою

демінералізованою або концентратами сироваткових білків.

Для визначення впливу сироваткових білків на зміну амінокислотного складу збагачених продуктів було проведено дослідження на модельних сумішах на основі молока, до яких додатково була уведена сироватка демінералізована з рівнем демінералізації 80%. Масова частка сухих речовин в модельних сумішах становила 15,5%, 17,0%, 18,0%, 19,5%. Зміни складу білкових фракцій сумішей проводили за вмістом казеїнового ( $N_k$ ) і неказеїнового азоту ( $N_{нк}$ ) та їх співвідношенням до загального азоту ( $N_{заг}$ ). В табл. 3 наведено характеристики азотовмісних фракцій молока та модельних сумішей збагачених сироваткою. Отримані дані вказують на те, що за рахунок уведення до складу сумішей додаткового джерела сироваткових білків, співвідношення між казеїном і сироватковими білками змінюються. Попри зменшення вмісту загального азоту в дослідних зразках, питома частка сироваткових білків збільшується, про що свідчить зміна співвідношення казеїнового та неказеїнового азоту до загального азоту. Так, для контрольного зразку ( $N_{нк}$ )/( $N_{заг}$ ) становить 7,8%, а для дослідних цей показник зростає від 9,7% до 14,7%.

Таблиця 3

#### Характеристики азотовмісних фракцій збагачених сумішей на основі молока

| Показники                                               | Молоко<br>(контроль) | Модельні суміші збагачені сироватковими білками |             |             |             |
|---------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                                                         |                      | №1                                              | №2          | №3          | №4          |
| Масова частка загального азоту ( $N_{заг}$ ), г/100 г   | 0,524±0,011          | 0,521±0,020                                     | 0,517±0,013 | 0,502±0,002 | 0,497±0,003 |
| Масова частка казеїнового азоту ( $N_k$ ), г/100 г      | 0,459±0,015          | 0,420±0,010                                     | 0,398±0,018 | 0,381±0,011 | 0,335±0,015 |
| Масова частка неказеїнового азоту ( $N_{нк}$ ), г/100 г | 0,041±0,001          | 0,050±0,002                                     | 0,059±0,003 | 0,065±0,003 | 0,073±0,003 |
| $(N_k)/(N_{заг}) \times 100, \%$                        | 87,6                 | 80,7                                            | 76,9        | 75,9        | 67,4        |
| $(N_{нк})/(N_{заг}) \times 100, \%$                     | 7,8                  | 9,7                                             | 11,6        | 12,9        | 14,7        |

Цілком очевидним є припущення про те, що зміна співвідношення білкових фракцій має супроводжуватися змінами амінокислотного профілю. Результати досліджень вмісту амінокислот валіну, ізолейцину і лейцину в модельних сумішах з різним питомим вмістом сироваткових білків його підтверджують (табл. 4).

Таблиця 4

#### Вміст незамінних амінокислот (г/100 г білка) в сумішах з різним питомим вмістом сироваткових білків

| Показник                                                        | Модельні суміші збагачені сироватковими білками |           |            |            |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------|------------|------------|
|                                                                 | №1                                              | №2        | №3         | №4         |
| Незамінні амінокислоти з розгалуженим ланцюгом (г/100 г білка): |                                                 |           |            |            |
| Валін                                                           | 5,02±0,01                                       | 5,23±0,02 | 5,82±0,01  | 6,20±0,01  |
| Ізолейцин                                                       | 3,01±0,01                                       | 3,81±0,01 | 4,32±0,03  | 4,50±0,03  |
| Лейцин                                                          | 9,23±0,02                                       | 9,40±0,01 | 10,62±0,01 | 11,14±0,02 |

Як свідчать отримані результати, вміст амінокислот з розгалуженим ланцюгом у всіх досліджених варіантах сумішей зростає зі збільшенням співвідношення неказеїнового азоту до загального азоту.

Таким чином, зміна компонентного складу продуктів за рахунок їх збагачення додатковими джерелами сироваткових білків призводять до збільшення вмісту незамінних амінокислот, а отже підвищення поживної та біологічної цінності цільових продуктів.

**Висновки.** Отримані результати свідчать про те, що загальний підхід до підвищення біологічної цінності продукту, зокрема за вмістом незамінних амінокислот валіну, ізолейцину і лейцину, може полягати у збільшенні частки сироваткових білків. За рахунок утворення комплексів сироваткових білків з казеїном під час теплового оброблення молока та подальшої їх денатурації у складі кисломолочних згустків, вміст незамінних амінокислот з розгалуженим ланцюгом збільшується за рахунок збільшення частки сироваткових білків. Такого ж ефекту можна досягти при зміні компонентного складу цільових продуктів за рахунок їх збагачення додатковим джерелом сироваткових білків. Продукти переробки сироватки, зокрема сироватка демінералізована, є повноцінною заміною сухого знежиреного молока в рецептурах інших харчових продуктів, що покращує їх споживчі та функціонально-технологічні властивості. При цьому, варто зважати на те, що навіть за високого вмісту сироваткових білків, вагомий вплив на біологічну цінність одержуваних продуктів можуть мати температура та тривалість оброблення, тривалість зберігання.

### Бібліографія

1. McGregor R., Poppitt S. Milk protein for improved metabolic health: a review of the evidence. *Nutrition & Metabolism*. 2013. 10 (1):46. <https://doi.org/10.1186/1743-7075-10-46>.
2. Sychevskyi M., Romanchuk I., Minorova A. Milk whey processing: prospects in Ukraine. *Food science and technology*. 2019. V. 13 (4). P. 58-68. <https://doi.org/10.15673/fst.v13i4.1557>.
3. Minorova A. V., Romanchuk I. O., Zhukova Ya. F., Krushelnyska N. L., Vezhlytseva S. P. Protein composition and technological properties of milk whey concentrates. *Agric. Sci. Pract.* 2017. 4 (2). P. 52–58. <https://doi.org/10.15407/agrisp4.02.052>.
4. Verbytskyi S., Moiseieva L., Voitsekhivska L., Patsera N., Bilukha G. Evaluation of the use of milk proteins in sausage production, in particular for the formation of textured protein structures. *Food Resources*. 2025. V. 13. № 24. P. 119–129. <https://doi.org/10.31073/foodresources2025-24-13>.
5. Boirie Y., Dangin M., Gachon P., Vasson M.P., Maubois J.L., Beaufrere B. Slow and fast dietary proteins differently modulate postprandial protein accretion. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 1997. 94. P. 14930–14935.
6. Hall W. L., Millward D. J., Long S. J., Morgan L. M. Casein and whey exert different effects on plasma amino acid profiles, gastrointestinal hormone secretion and appetite. *Br J Nutr.* 2003. 89(2). P. 239–248. <https://doi.org/10.1079/BJN2002760>.
7. Bendtsen L.Q., Lorenzen J. K., Bendtsen L.Q., Rasmussen C., Astrup A. Effect of Dairy Proteins on Appetite, Energy Expenditure, Body Weight, and Composition: a Review of the Evidence from Controlled Clinical Trials. *Advances in Nutrition*. 2013. V. 4, (4), July, P. 418–438. <https://doi.org/10.3945/an.113.003723>.
8. Considine T., Patel H. A., Anema S. G., Singh H., Creamer L.K. Interactions of Milk Proteins during Heat and High Hydrostatic Pressure Treatments – A Review. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 2007. 8. P. 1–23.
9. Qi P. X., Ren D., Xiao Y., Tomasula P. M. Effect of Homogenization and Pasteurization on the Structure and Stability of Whey Protein in Milk1. *J. Dairy Sci.* 2015. 98. P. 2884–2897.
10. ДСТУ EN ISO 8968-1:2022 (EN ISO 8968-1:2014, IDT; ISO 8968-1:2014, IDT). Молоко та молочні продукти. Визначення вмісту азоту. Частина 1. Принцип К'ельдаля та розрахунок сирового протеїну. [Чинний від 2023-12-31]. Вид. офіц. Київ. ДП УкрНДНЦ. 2022. 28 с.
11. ДСТУ ISO 17997-1/IDF 29-1:2009. Молоко. Визначення вмісту казеїнового азоту. Частина 1. Непрямий метод (контрольний метод). [Чинний від 2011-01-01]. Вид. офіц. Київ. ДП УкрНДНЦ. 2009. 11 с.
12. ДСТУ EN ISO 8968-4:2022 (EN ISO 8968-4:2016, IDT; ISO 8968-4:2016, IDT). Молоко та молочні продукти. Визначення вмісту азоту. Частина 4. Визначення вмісту білкового та небілкового азоту та обчислення справжнього вмісту білка (еталонний метод). [Чинний від 2023-12-31]. Вид. офіц. Київ. ДП УкрНДНЦ. 2022. 22 с.
13. Романчук І. О., Кострицька О. О. УВТ-обробка у технології кисломолочного сиру. *Продовольча індустрія АПК*. 2011. 3. С. 28 J. N. 29.
14. Романчук І. О., Жукова Я. Ф., Кострицька О. О. Білковий склад кислотнo-сичужних згустків та сироватки при виробництві сиру. *Вісник аграрної науки*. 2008. 4. С. 70–72.
15. de Wit, J. N. Thermal behaviour of bovine b-lactoglobulin at temperatures up to 150°C: a review. *Trends Food Sci. Technol.* 2009. 20. P. 27–34. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.09.012>.

16. Brodtkorb A., Croguennec T., Bouhallab S., Kehoe J. J., McSweeney P. L. H., O'Mahony J. A. (Eds.) Heat-induced denaturation, aggregation and gelation of whey proteins. *Advanced Dairy Chemistry: V. 1B: Proteins: Applied Aspects*. Springer, New York. 2016. P. 155–178.
17. Brisson G., Britten M., Pouliot Y. Heat-induced aggregation of bovine lactoferrin at neutral pH: Effect of iron saturation. *International Dairy Journal*. 2007. 17. P. 617–624. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2006.09.002>.
18. Yukalo V., Datsyshyn K., Storozh L. The effect of low heating temperatures on casein whey proteins. *Food science and technology*. 2024. 18 (1). P. 51–57. <https://doi.org/10.15673/fst.v18i1.2847>.
19. Bruno Leite, Thomas Croguennec, Amira Halabi, Esly Ferreira Da Costa Junior. Comparing different methods for estimating kinetic parameters of whey protein heat-induced denaturation in infant milk formulas. *Journal of Food Engineering, Elsevier*. 2021. 292. P. 110272. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110272>.
20. Freire P, Zambrano A, Zamora A, Castillo M. Thermal Denaturation of Milk Whey Proteins: A Comprehensive Review on Rapid Quantification Methods Being Studied. Developed and Implemented. *Dairy*. 2022. 3 (3). P. 500–512. <https://doi.org/10.3390/dairy3030036>.

## References

1. McGregor, R., Poppitt, S. (2013). Milk protein for improved metabolic health: a review of the evidence. *Nutrition & Metabolism*. 10 (1):46. <https://doi.org/10.1186/1743-7075-10-46>.
2. Sychevskyi, M., Romanchuk, I., Minorova, A. (2019). Milk whey processing: prospects in Ukraine. *Food science and technology*. V. 13 (4). P. 58–68. <https://doi.org/10.15673/fst.v13i4.1557>.
3. Minorova, A. V., Romanchuk, I. O., Zhukova, Ya. F., Krushelnytska, N. L., Vezhlytseva, S. P. (2017). Protein composition and technological properties of milk whey concentrates. *Agric. Sci. Pract.* 4 (2). P. 52–58. <https://doi.org/10.15407/agrisp4.02.052>.
4. Verbytskyi, S., Moiseieva, L., Voitsekhivska, L., Patsera, N., Bilukha, G. (2025). Evaluation of the use of milk proteins in sausage production, in particular for the formation of textured protein structures. *Food Resources*. V. 13. № 24. P. 119–129. <https://doi.org/10.31073/foodresources2025-24-13>.
5. Boirie Y., Dangin M., Gachon P., Vasson M.P., Maubois J.L., Beaufrere B. (1997). Slow and fast dietary proteins differently modulate postprandial protein accretion. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 94. P. 14930–14935.
6. Hall, W. L., Millward D. J., Long S. J., Morgan, L. M. (2003). Casein and whey exert different effects on plasma amino acid profiles, gastrointestinal hormone secretion and appetite. *Br J Nutr*. 89 (2). P. 239–248. <https://doi.org/10.1079/BJN2002760>.
7. Bendtsen, L. Q., Lorenzen, J. K., Bendtsen, L. Q., Rasmussen, C., Astrup, A. (2013). Effect of Dairy Proteins on Appetite, Energy Expenditure, Body Weight, and Composition: a Review of the Evidence from Controlled Clinical Trials. *Advances in Nutrition*. V. 4, (4), July, P. 418–438. <https://doi.org/10.3945/an.113.003723>.
8. Considine, T., Patel, H. A., Anema, S. G., Singh, H., Creamer, L. K. (2007). Interactions of Milk Proteins during Heat and High Hydrostatic Pressure Treatments – A Review. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 8. P. 1–23.
9. Qi, P. X., Ren, D., Xiao, Y., Tomasula, P. M. (2015). Effect of Homogenization and Pasteurization on the Structure and Stability of Whey Protein in Milk1. *J. Dairy Sci*. 98. P. 2884–2897.
10. DSTU EN ISO 8968-1:2022 (EN ISO 8968-1:2014, IDT; ISO 8968-1:2014, IDT) Moloko ta molochni produkty. Vyznachennia vmistu azotu. Chastyna 1. Pryntsyp Kieldalia ta rozrakhunok syroho proteinu. [Milk and milk products. Determination of nitrogen content. Part 1. Kjeldahl principle and calculation of crude protein]. DP «UkrNDNTs». [SE «UkrNDNC»]. Kyiv, 2022. 28 p.
11. DSTU ISO 17997-1/IDF 29-1:2009 Moloko. Vyznachennia vmistu kazeinovo azotu. Chastyna 1. Oposeredkovanyi metod (kontrolnyi). [Milk. Determination of casein nitrogen content. Part 1. Indirect method (control)]. DP «UkrNDNTs». [SE «UkrNDNC»]. Kyiv, 2009. 11 p.
12. DSTU EN ISO 8968-4:2022 (EN ISO 8968-4:2016, IDT; ISO 8968-4:2016, IDT) Moloko ta molochni produkty. Vyznachennia vmistu azotu. Chastyna 4. Vyznachennia vmistu bilkovoho ta nebilkovoho azotu ta obchyslennia spravzhnoho vmistu bilka (etalonnyi metod). [Milk and milk products – Determination of nitrogen content – Part 4: Determination of protein and non-protein nitrogen content and calculation of the true protein content (reference method)]. DP «UkrNDNTs». [SE «UkrNDNC»]. Kyiv, 2022. 22 p.
13. Romanchuk I. O., Kostytska O. O. (2011). UVT-obrobka u tekhnolohii kyslomolochnoho syru. [UVT treatment in fermented milk cheese technology]. *Prodovolcha industriia APK*. [Food industry, agro-

industrial complex]. 3. 28–29. [in Ukrainian].

14. Romanchuk I. O., Zhukova Ya. F., Kostytska O. O. (2008). Bilkovy sklad kyslotno-sychuzhnykh zghustkiv ta syrovatky pry vyrobnytstvi syru. [Protein composition of acid-rennet clots and whey in cheese production]. *Visnyk ahrarynoi nauky. [Bulletin of Agricultural Science]*. 4. 70–72. [in Ukrainian].

15. J.N. de Wit. (2009). Thermal behaviour of bovine b-lactoglobulin at temperatures up to 150°C: a review. *Trends Food Sci. Technol.* 20. P. 27–34. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.09.012>.

16. Brodtkorb A., Croguennec T., Bouhallab S., Kehoe J. J., McSweeney P. L. H., O'Mahony J. A. (Eds.) (2016). Heat-induced denaturation, aggregation and gelation of whey proteins. *Advanced Dairy Chemistry: V. 1B: Proteins: Applied Aspects*. Springer, New York. P. 155–178.

17. Brisson G., Britten M., Pouliot Y. (2007). Heat-induced aggregation of bovine lactoferrin at neutral pH: Effect of iron saturation. *International Dairy Journal*. 17. P. 617–624. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2006.09.002>.

18. Yukalo V., Datsyshyn K., Storozh L. (2024). The effect of low heating temperatures on casein whey proteins. *Food science and technology*. 18 (1). P. 51–57. <https://doi.org/10.15673/fst.v18i1.2847>.

19. Bruno Leite, Thomas Croguennec, Amira Halabi, Esly Ferreira Da Costa Junior. (2021). Comparing different methods for estimating kinetic parameters of whey protein heat-induced denaturation in infant milk formulas. *Journal of Food Engineering, Elsevier*. 292. P. 110272. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110272>.

20. Freire P, Zambrano A, Zamora A, Castillo M. (2022). Thermal Denaturation of Milk Whey Proteins: A Comprehensive Review on Rapid Quantification Methods Being Studied. Developed and Implemented. *Dairy*. 3(3). P. 500–512. <https://doi.org/10.3390/dairy3030036>.