



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 12
Український журнал природничих наук
№ 12

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 637.046.133.2

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.12.2025.11>

ВПЛИВ ТЕРМООБРОБКИ МОЛОКА НА РІВНОВАГИ ЗА УЧАСТЮ ІОННОГО КАЛЬЦІУ ТА ФОСФАТ-ІОНІВ

Н. П. Квітковська¹, В. М. Іщенко², О. В. Кочубей-Литвиненко³, М. В. Іщенко⁴

Термічна обробка молока є обов'язковою процедурою його очищення від шкідливих мікроорганізмів і продовження терміну його зберігання. Більшість методик оцінювання термічної обробки молока базуються на подальшому визначенні деяких компонентів продукту після нагрівання, наприклад, визначення активності ферментів, білків сироватки, продуктів реакції Майяра. У представленій роботі оцінено можливу кореляцію між основними мінеральними компонентами молока та ступенем його термічної обробки. Для дослідження було вибрано 17 комерційних зразків молока, серед яких: натуральне необроблене, пастеризоване, мікрофільтроване, ультрапастеризоване, стерилізоване, 2 зразка виготовленого відновленого молочного продукту та дві суміші пастеризованого та відновленого молока в різних співвідношеннях. Загальний вміст кальцію в молоці та вміст кальцію після відділення казеїну, так званий іонний, чи сироватковий, кальцій, визначали методом полуменевої атомно-абсорбційної спектроскопії. Вміст фосфат-іонів у досліджуваних зразках молока визначено методом іонної хроматографії з кондуктометричним детектором. Вміст загального фосфору визначено фотометрично з фосфоромолібденовою гетерополікислотою після сухого озолення проби.

Вміст сухого знежиреного молочного залишку, білку, жиру та лактози у зразках молока визначали за допомогою ультразвукового аналізатора "Ecomilk". Обробку всього масиву даних

¹ старший викладач кафедри харчової хімії
(Національний університет харчових технологій, м. Київ)
e-mail: suhodolska@ukr.net
ORCID: 0009-0008-3268-0510

² кандидат хімічних наук,
доцент кафедри харчової хімії
(Національний університет харчових технологій, м. Київ)
e-mail: ischenko_vn@ukr.net
ORCID: 0000-0002-0218-8516

³ доктор технічних наук,
професор кафедри технології молока і молочних продуктів
(Національний університет харчових технологій, м. Київ)
e-mail: nniht_nuft@ukr.net
ORCID: 0000-0003-0712-448X

⁴ кандидат хімічних наук,
доцент кафедри аналітичної хімії
(Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ)
e-mail: ischenko_mv@knu.ua
ORCID: 0000-0002-0851-1679

було проведено хеометрично, методом головних компонент. Установлено, що в окрему групу виділяються зразки відновленого молока та сумішей відновленого молока з пастеризованим. За графіком навантажень першої та другої компоненти відмічається, що основною відмінністю у зразках є відношення іонного фосфату до загального фосфору та вміст загального білка.

Ключові слова: молоко, мінеральний склад, термічна обробка, хеометрика.

THE EFFECT OF HEAT TREATMENT OF MILK ON EQUILIBRIA INVOLVING IONIC CALCIUM AND PHOSPHATE IONS

N. P. Kvitkovska, V. M. Ishchenko, O. V. Kochubei-Lytvynenko, M. V. Ishchenko

Heat treatment of milk is a mandatory procedure for its purification from harmful microorganisms and extension of its shelf life. Most methods for assessing the heat treatment of milk are based on the subsequent determination of some components of the product after heating, for example, determination of enzyme activity, whey proteins, Maillard reaction products. In the presented work, an assessment of the possible correlation between the main mineral components of milk and the degree of its heat treatment was carried out. 17 commercial samples of milk were selected for the study, including: natural raw, pasteurized, microfiltered, ultrapasteurized, sterilized, 2 samples of manufactured reconstituted milk product and two mixtures of pasteurized and reconstituted milk in different ratios. The total calcium content in milk and the calcium content after casein separation, the so-called ionic or serum calcium, were determined by flame atomic absorption spectroscopy. The content of phosphate ions in the studied milk samples was determined by ion chromatography with a conductometric detector. The content of total phosphorus was determined photometrically with phosphoromolybdenum heteropolyacid after dry ashing of the sample. The content of dry non-fat milk residue, protein, fat and lactose in milk samples was determined using an Ecomilk ultrasonic analyzer. The processing of the entire data set was carried out chemometrically, using the principal component method. It was established that samples of reconstituted milk and mixtures of reconstituted milk with pasteurized milk are allocated to a separate group. According to the graph of the loadings of the first and second components, it is noted that the main difference in the samples is the ratio of ionic phosphate to total phosphorus and the content of total protein.

Key words: milk, mineral composition, heat treatment, chemometrics.

Вступ

Термічна обробка є основною процедурою в молочній промисловості для гарантування безпеки молока та продовження терміну його зберігання. Більшість аналітичних методів визначення інтенсивності термічної обробки (пастеризація, ультрапастеризація і стерилізація) ґрунтуються на визначенні органічних складників молока – активності ферментів, білків сироватки, продуктів реакції Майяра (Ritota et al., 2017; den Oever & Mayer, 2021), оскільки мінеральні речовини молока становлять незначну його частину. Проте мінерали, що містяться в молоці, зокрема кальцій і фосфор, зумовляють його високу біологічну цінність. Також солі, що містяться в молоці, відіграють важливу роль у процесах, які відбуваються під час його термічної обробки. Солі можуть впливати на кілька процесів, які відбуваються в результаті нагрівання молока: асоціацію денатурованих сироваткових білків із міцелами казеїну, індуковану нагріванням дисоціацію k-казеїну, зміну

pH молока та кислотно-основні рівноваги (McSweeney & Fox, 2009; Huppertz et al., 2016; Anema, 2021).

Молоко містить приблизно 1% мінералів, як-от кальцій, магній, натрій, калій, а також аніонів фосфату, цитрату, сульфату, нітрату та хлорид-іонів. Деякі із цих компонентів, як-от Cl^- , Na^+ та K^+ , існують у молоці в іонній формі, а інші – у рівновазі між розчинною та колоїдною формами, а також можуть бути у складі білків, ферментів, нуклеїнових кислот (Jensen, 1996; Gancheron, 2005). Більше половини всіх мінеральних речовин молока становлять солі кальцію і фосфору. Уважається, що від 10 до 30% кальцію міститься в молоці в іонному стані (гідратовані іони Ca^{2+}); більша його частина у формі складного комплексу казеїнату кальцію з колоїдним фосфатом кальцію, а невелика кількість зв'язана з α -лактоальбуміном (Gancheron, 2005). Розподіл фосфору в молоці більш складний, ніж розподіл кальцію, оскільки частина фосфору є неорганічною (аніони ортофосфатної кис-

лоти), а частина – органічною і етерифікованою до казеїну, вуглеводів і фосфоліпідів (Nieuwenhuijse & Huppertz, 2022).

Більшість дослідників, які вивчали вплив термічної обробки молока на іонні рівноваги, зазначають зменшення концентрації іонного кальцію в молоці під час нагрівання в основному через утворення малорозчинного $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ та гідрофобних сполук кальцію з білками. Істотного зменшення фосфору в результаті пастеризації та ультрапастеризації молока не відбувається, оскільки фосфор, що входить до складу казеїнових міцел, може під час нагрівання відщеплюватися і переходити в іонний стан (Deeth & Lewis 2017; Barone et al., 2021).

Проте робіт, присвячених використанню співвідношень концентрацій іонного та загального кальцію і фосфору як маркерів на температурну обробку молока, нами не знайдено. Водночас цікавим є питання можливого використання таких кореляцій як маркерів на фальсифікацію пастеризованого молока його сухим аналогом (відновленим молоком).

Основним методом визначення вмісту кальцію в молоці є метод полум'яної атомно-абсорбційної спектроскопії (далі – ПААС). Цей метод характеризується простотою у використанні, є відносно недорогим і має високу точність і прецизійність (Sikiric et al., 2003). Для методу ПААС як пробопідготовку використовують сухе озолення з подальшим розчиненням у концентрованій хлоридній або нітратній кислоті та розбавленням дистильованою водою. Така пробопідготовка дозволяє усунути матричні впливи й ефективно перевести пробу у зручну форму для визначення (Leo & Toldrá, 2021), але потребує значного часу і є основним джерелом похибок, саме цю стадію аналізу вважають лімітованою.

Уміст загального фосфору в молоці в основному визначають спектрофотометрично. У дослідженні (Gliszczynska-Swigło & Rybicka, 2021) спектрофотометричний метод визначення з Молібденовим синім було застосовано для визначення вмісту фосфору в 65 молочних продуктах. Межа виявлення методу становить 0,37 мкг/мл, а його межа кількісного визначення – 1,13 мкг/мл.

Одним із сучасних методів визначення фосфат-іонів та інших основних аніонів молока є метод іонної хроматографії. В одній із перших робіт (Gaucheron et al., 1996) аніони молока були успішно визна-

чені методом іонної хроматографії з кондуктометричним детектором. Пробопідготовка включала ультрафільтрацію зразка й іноді поєднувалась із сухою мінералізацією. Цей метод дозволив одночасне визначення іонів хлориду, фосфату та цитрату з гарною відтворюваністю (відносно стандартне відхилення – приблизно 1%) і чутливістю (менше 20 мкг/кг). Було показано (Rahimi-Yazdi et al., 2010), що даний метод є перспективним у сфері дослідження впливів технологічної обробки молока на рівноваги солей у ньому.

В Україні вміст кальцію в молоці визначають за ДСТУ ISO 8070/IDF 119:2008 методом атомної абсорбції, а загального фосфору – за ДСТУ ISO 9874:2005 методом спектрометричної молекулярної абсорбції.

Проведення досліджень, які пов'язані з отриманням масиву експериментальних даних, потребують використання визначених статистичних і метрологічних процедур за їх аналізом. Такими процедурами обробки великого масиву одержаних даних є використання хемометричних інструментів (Rodionova & Pomerantsev, 2020).

Метою даної роботи було визначення вмісту основних неорганічних складників молока та таких показників якості молока, як уміст жиру, білка, лактози, сухого знежиреного молочного залишку (далі – СЗМЗ), у комерційних зразках молока та виготовлених напоїв, що містять сухе молоко, та встановлення можливої кореляції між умістом цих компонентів і ступенем термічної обробки.

Для досягнення мети необхідно було провести аналіз зразків молока та виготовлених напоїв фізико-хімічними методами й обробити одержані результати методами хемометрики.

Матеріал і методи

Для дослідження було вибрано 17 комерційних зразків молока та 4 зразки виготовленого молочного продукту. Зразкам були присвоєні відповідні позначення: натуральне необроблене (Н, один зразок), пастеризоване (П, шість зразків; позначення П1 – П6), мікрофільтроване (МФ, один зразок), ультрапастеризоване (УП, вісім зразків; позначення УП1 – УП8), стерилізоване (СТ1) та відновлений молочний напій (В, два зразки, В1 і В2). Відновлене молоко готували згідно з рецептурою, зазначеною на упаковці: 11,1 г молока розчиняли у 100 мл дистильованої води, нагрітої до $\approx 40^\circ\text{C}$. Також були виготовлені й досліджені суміші пастеризо-

ваного та відновленого молока у співвідношеннях (%) 70:30 та 80:20 відповідно (коди П5:В2-70:30 та П5:В2-80:20 відповідно). Комерційні зразки молока були українських виробників молочної продукції та придбані в супермаркетах м. Києва; один від одного вони відрізнялись за способом термічної обробки (пастеризація, ультрапастеризація, стерилізація та мікрофільтрація, яку характеризують як «лагідну» пастеризацію). Щодо виробників, то в основному це була продукція найбільших виробників молока в Україні.

Загальний уміст кальцію у зразках визначали методом ПААС згідно з ДСТУ ISO 8070/IDF 119:2008 після сухого озолення. Сироватковий (іонний) кальцій визначали методом ПААС після осадження казеїну ацетатним буфером за рН 4,8 та фільтрування розчину через мембранний фільтр 0,45 мкм. Інструментальний аналіз проводили на атомно-абсорбційному спектрометрі "Spectr AA-B50" (Varian Inc.), обладнаному пальником для полум'я ацетилен-повітря і лампою з порожнистим катодом на кальцій. Експериментальні умови визначення наведено в таблиці 1. Розрахунок умісту кальцію проводили за градувальним графіком.

Таблиця 1
Інструментальні параметри визначення кальцію методом ПААС

Параметр	Значення
Полум'я	Ацетилен – повітря
Довжина хвилі	422,7 нм
Спектральна щільність	0,5 нм
Струм лампи	10 мА
Корекція фону	відсутня

Вміст іонного фосфату визначали методом іонної хроматографії з кондуктометричним детектором на приладі Dionex™ ICS-5000 (Thermo), обладнаним колоною Dionex™ IonPac™ AS19 IC. Як рухому фазу використовували КОН із градієнтом, рекомендованим виробником обладнання. Пропідготовку зразків молока проводили аналогічно, як і під час визначення сироваткового кальцію. Концентрацію іонного фосфату визначали за градувальним графіком. Уміст загального фосфору визначали фотометрично з фосфоромолібденовою гетерополікислотою на однопроменевому спектрофотометрі «Юніко 1201» згідно з ДСТУ ISO 9874:2005. Уміст сухого знежиреного молочного залишку (СЗМЗ), білка, жиру та лактози у зразках молока визначали за допомогою ультразвукового аналізатора "Ecomilk" (Болгарія). Обробку всього масиву даних було проведено хемометрично, методом головних компонент у програмному середовищі продукту "Minitab 16".

Результати та їх обговорення

Дані визначення загального та сироваткового (іонного) кальцію $Ca_{\text{сир}}$, а також відношення концентрації сироваткового кальцію до загального $Ca_{\text{заг}}$ представлені в таблиці 2.

Як видно з даних таблиці, уміст сироваткового кальцію в необробленому зразку молока суттєво вищий, ніж у зразків молока після термообробки. Також спостерігається різниця між відношенням умісту сироваткового кальцію до загального кальцію в пастеризованому й ультрапастеризованому молоці. Результати t-тесту Стюдента для двох середніх вказують на статистичну значущість такої різниці ($p = 0,03$). Одержані

Таблиця 2
Результати визначення загального та сироваткового кальцію

Тип молока	Код	$Ca_{\text{сир}}$, мг/л	$Ca_{\text{заг}}$, мг/л	$Ca_{\text{сир}}/Ca_{\text{заг}}$
1	2	3	4	5
Натуральне необроблене	Н	320,4	1142	0,28
Пастеризоване	МФ	136	863	0,16
	П1	164,4	1 174	0,14
	П2	137,5	1 299	0,11
	П3	92,3	1 073	0,09
	П4	133,5	1 114	0,12
	П5	127	1 174	0,11
	П6	104,6	1 260	0,08
Суміші пастеризованого та відновленого молока	П5-В2 70:30	111	982	0,11
	П5-В2 80:20	68,3	1 109	0,06

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5
Відновлене	B1	90,1	1 268	0,07
	B2	120,8	970	0,12
Стерилізоване	СТ1	119,6	1 215	0,1
Ультрапастеризоване	УП1	109,8	1 502	0,07
	УП2	92,9	1 321	0,07
	УП3	112,9	1 463	0,08
	УП4	104,8	876	0,12
	УП5	104,5	1 594	0,07
	УП6	113,1	1 399	0,08
	УП7	84,1	742	0,11
	УП8	141,8	1 601	0,09

в нашому дослідженні результати узгоджуються з роботою (On-Nom et al., 2010), у якій була встановлена лінійна залежність між умістом іонного (сироваткового) кальцію та підвищенням температурної обробки молока.

Результати хроматографічного визначення іонного фосфату та фотометричного визначення загального фосфору, а також їх співвідношення наведено в таблиці 3.

З одержаних даних видно, що чіткої закономірності між співвідношенням $PO_4^{3-}/P_{\text{заг}}$ та типом молока не простежується, проте подальша обробка даних хеометричними методами показала, що це відношення

є основною відмінністю між досліджуваними зразками.

Уміст СЗМЗ, білка, жиру та лактози у зразках молока визначали за допомогою ультразвукового аналізатора “Ecomilk” (Болгарія). Усі показники перебувають у регламентованих для молока межах (табл. 4).

Обробка такого великого масиву даних неможлива традиційними статистичними методами, тому для пошуку взаємозв'язків між показниками нами було вибрано хеометричні методи.

Як розвідувальний аналіз нами було використано метод головних компонент

Таблиця 3
Результати визначення фосфат-іонів і загального фосфору в досліджуваних зразках

Тип молока	Проба	Фосфат, мг/л	$P_{\text{заг}}$, мг/л	$PO_4^{3-}/P_{\text{заг}}$
Натуральне необроблене	Н	675	734	0,92
	МФ	771	715	1,08
Пастеризоване	П1	688	2 273	0,3
	П2	724	1 064	0,68
	П3	684	693	0,99
	П4	677	745	0,91
	П5	725	769	0,94
	П6	758	761	1
Суміші пастеризованого та відновленого молока	П5-B2 70:30	447	668	0,67
	П5-B2 80:20	477	689	0,69
Відновлене	B1	578	333	1,73
	B2	620	480	1,29
Стерилізоване	СТ1	686	809	0,85
Ультрапастеризоване	УП1	627	836	0,75
	УП2	683	1 192	0,57
	УП3	691	595	1,16
	УП4	753	773	0,97
	УП5	667	1 003	0,66
	УП6	690	747	0,92
	УП7	653	323	2,02
	УП8	819	773	1,06

Таблиця 4

Результати визначення СЗМЗ, білка, жиру та лактози

Тип молока	Проба	СЗМЗ, %	Білок, %	Жир, %	Лактоза, %
Натуральне необроблене	Н	9,37	3,21	5,39	4,2
Пастеризоване	МФ	8,73	3,35	2,33	4,71
	П1	8,15	3,13	2,09	4,4
	П2	8,82	3,38	2,46	4,77
	П3	8,11	3,11	2,04	4,38
	П4	7,54	2,9	2	4,07
	П5	7,89	3,04	2,11	4,25
	П6	8,46	3,25	2,28	4,57
Суміші пастеризованого та відновленого молока	П5-В2 70:30	7,86	3,03	2,2	4,23
	П5-В2 80:20	7,85	3,02	2,27	4,23
Відновлене	В1	6,91	2,68	2,26	3,71
	В2	7,13	2,76	2,06	3,83
Стерилізоване	СТ1	8,29	3,2	2,88	4,46
Ультрапастеризоване	УП1	8,75	3,37	3,05	4,71
	УП2	8,1	3,11	2,17	4,38
	УП3	8,54	3,29	2,99	4,6
	УП4	8,19	3,15	2,38	4,42
	УП5	8,83	3,39	2,43	4,77
	УП6	7,95	3,07	2,88	4,27
	УП7	8,08	3,1	2,05	4,37
	УП8	8,58	3,29	2,23	4,64

(далі – ГК), що використовувався для компактифікації та кращої візуалізації експериментальних даних із метою пошуку кластерів або груп зразків. Обчислення проводили у програмному продукті “Minitab 19”. Метод дає можливість стиснути масив даних шляхом його зведення до масиву меншої розмірності та переведення початкових змінних до нових (головних компонент), що мають більшу інформативність.

До всіх даних для нівелювання впливу абсолютних значень була застосована стандартизація (автомасштабне перетворення на стандартні нормальні змінні). Метод головних компонент було застосовано до всього масиву даних. Загалом, перші три компоненти пояснюють приблизно 90% варіативності експериментальних даних. На рис. 1 наведено графік рахунків перших двох головних компонент, отриманих за експериментальними даними.

Зразки утворюють три групи: окремо виділяється зразок натурального необробленого молока, групи пастеризованого й ультрапастеризованого молока, важливим є те, що окремою є група відновленого молока та сумішей відновленого молока з пастеризованим. Очевидно, запропонований підхід можна використати як маркер для виявлення додавання сухого молока в пасте-

ризоване та напій, виготовлений із сухого молока. У цю групу ввійшли також два зразки, які не містили відновлене молоко (П4 і УП7). Можливо, під час їх виробництва була дещо порушена технологія; не виключена можливість і їх фальсифікації відновленим молоком. Графік навантажень головних компонент (рис. 2) вказує на те, що основною відмінністю у зразках відновленого молока та його сумішей порівняно з комерційними зразками молока є відношення іонного фосфату до загального фосфору. Також у цих зразках дещо занижений вміст загального білка. Проте не можна стверджувати, що тільки за значенням відношення іонного фосфату до загального фосфору можна однозначно ідентифікувати підробку. Видно, що на класифікацію зразків також впливає вміст лактози, білка та СЗМЗ. Такі результати узгоджуються з нашою попередньою роботою, де вдалося досягнути деякої дискримінації зразків на основі результатів, отриманих на автоматичному аналізаторі “Ecomilk” (Іщенко та ін., 2018). Також одержані результати підтверджують зроблене раніше дослідниками припущення, що жоден із маркерів сам собою не може бути використаний для ідентифікації підробок або порушення технології виробництва (Feinberg et al., 2006).

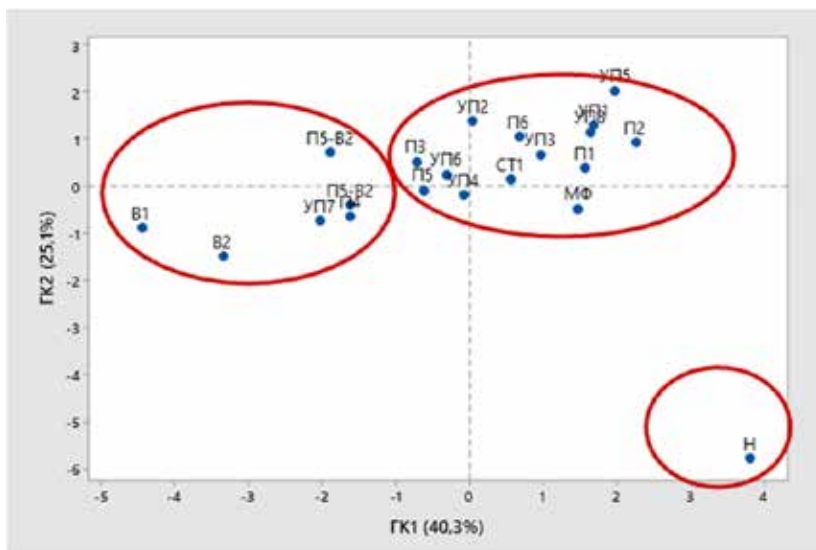


Рис. 1. Графік рахунків перших двох головних компонент

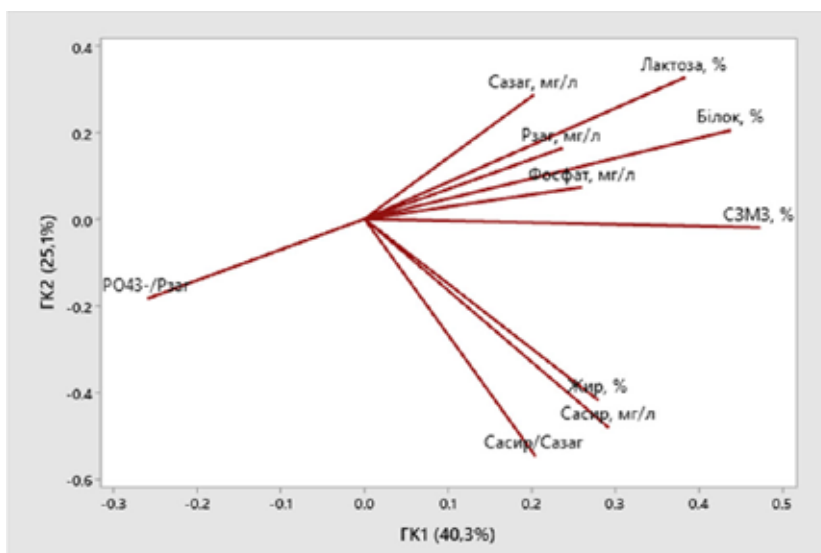


Рис. 2. Графік навантажень перших двох головних компонент

Висновки

У роботі проаналізовано партію комерційних зразків молока різного ступеня термічної обробки та виготовлених молочних напоїв із сухого молока на вміст основних неорганічних компонентів. У досліджуваних зразках молочної продукції також визначали вміст сухого знежиреного молочного залишку, лактози, білка та жиру. За допомогою методу головних компонент досліджено вплив термообробки на основні компоненти

молока та встановлено, що в окрему групу виділяються зразки відновленого молока та сумішей відновленого молока з пастеризованим. За графіком навантажень першої та другої компоненти встановлено, що основною відмінністю у зразках є відношення фосфат-іонів до загального фосфору та вміст загального білка. Проте деякі зразки молока не потрапляють в основну групу, що може свідчити про те, що ці зразки зроблені з порушеннями технології виробництва.

Список використаної літератури

Іщенко В.М., Квітківська Н.П., Кочубей-Литвиненко О.В., Іщенко М.В. Використання флуоресцентної спектроскопії та ультразвукового аналізу для ідентифікації молочної продукції. *Методи і об'єкти хімічного аналізу*. 2018. № 13 (3). С. 131–135. <https://doi.org/10.17721/mosa.2018.131-135>.

- Anema S.G. Heat-induced changes in caseins and casein micelles, including interactions with denatured whey proteins. *International Dairy Journal*. 2021. Vol. 122. P. 105136. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105136>.
- Barone G., Yazdi S., Lillevang S., Ahrne L. Calcium: A comprehensive review on quantification, interaction with milk proteins and implications for processing of dairy products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2021. Vol. 20. № 5. P. 5616–5640. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12844>.
- Deeth H.C., Lewis M.J. High Temperature Processing of Milk and Milkroducts. 2017. UK, Chichester : John Wiley & Sons. 556 p. <https://doi.org/10.1002/9781118460467>.
- den Oever S.P., Mayer H.K. Analytical assessment of the intensity of heat treatment of milk and dairy products. *International Dairy Journal*. 2021. Vol. 121. P. 105097. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105097>.
- Feinberg M., Dupont D., Efstathiou T., Louâpre V., Guyonnet J.-P. Evaluation of tracers for the authentication of thermal treatments of milks. *Food Chemistry*. 2006. Vol. 98. P. 188–194. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.052>.
- Gancheron F. The mineral of milk. *Reproduction Nutrition Development*. 2005. Vol. 45. № 4. P. 473–483. <https://doi.org/10.1051/rnd:2005030>.
- Gaucheron F., Graet Y., Piot M., Boyaval E. Determination of anions of milk by ion chromatography. *Le Lait*. 1996. Vol. 76. № 5. P. 433–443. <https://doi.org/10.1051/lait:1996533>.
- Gliszczynska-Świgło A., Rybicka I. Fast and sensitive method for phosphorus determination in dairy products. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*. 2021. Vol. 16. № 3. P. 213–218. <https://doi.org/10.1007/s00003-021-01329-x>.
- Huppertz T., Gazi I., Luyten H., Nieuwenhuijse H., Alting A., Schokker E. Hydration of casein micelles and caseinates: Implications for casein micelle structure. *International Dairy Journal*. 2017. Vol. 74. P. 1–11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.idairyj.2017.03.006>.
- Jensen R.J. Handbook of Milk Composition. A volume in Food Science and Technology. Book. University of Connecticut, Storrs, Connecticut, 1995. P. 577–592. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384430-9.X5000-8>.
- Leo, M.L., Nollet Toldra F. Handbook of dairy foods analysis. 2nd Edition. CRC Press, 2021. P. 543–581. <https://doi.org/10.1201/9780429342967>.
- McSweeney P., Fox P.F. Advanced Dairy Chemistry. Volume 3 : Lactose, Water, Salts and Minor Constituents. Book. Springer New York, 2009. P. 351–389. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-84865-5>.
- Nieuwenhuijse H., Huppertz T. Heat-induced changes in milk salts : A review. *International Dairy Journal*. 2022. Vol. 126. P. 105220. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105220>.
- On-Nom N., Grandison A.S., Lewis M.J. Measurement of ionic calcium, pH, and soluble divalent cations in milk at high temperature. *Journal of Dairy Science*. 2010. Vol. 93. № 2. P. 515–523. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2634>.
- Rodionova O.Ye, Pomerantsev A.L. Chemometric tools for food fraud detection: The role of target class in non-targeted analysis. *Food Chemistry*. 2020. Vol. 317. P. 126448. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126448>.
- Rahimi-Yazdi S., Ferrer M., Corredig M. Nonsuppressed ion chromatographic determination of total calcium in milk. *Journal of Dairy Science*. 2010. Vol. 93. № 5. P. 1788–1793. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2446>.
- Ritota M., Di Costanzo M., Mattera M., Manzi P. New Trends for the Evaluation of Heat Treatments of Milk. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*. 2017. Vol. 2017. P. 1864832. <https://doi.org/10.1155/2017/1864832>.
- Sikirić M., Brajenović N., Pavlović I., Havranek J. Determination of metals in cow's milk by flame atomic absorption spectrophotometry. *Czech Journal of Animal Science*. 2003. Vol. 48. № 11. P. 481–486.

References

- Ishchenko, V.M., Kvitkovska, N.P., Kochubei-Lytvynenko, O.V., & Ishchenko, M.V. (2018). Vykorystannia fluorestsentnoi spektroskopii ta ultrazvukovoho analizu dlia identyfikatsii molochnoi produktsii [Using fluorescence spectroscopy and ultrasonic analysis for dairy product identification]. *Metody i obiekty khimichnoho analizu [Methods and objects of chemical analysis]*, 13 (3), 131–135. <https://doi.org/10.17721/moca.2018.131-135> [in Ukrainian].

- Anema, S.G. (2021). Heat-induced changes in caseins and casein micelles, including interactions with denatured whey proteins. *International Dairy Journal*, 122, 105136. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105136> [in English].
- Barone, G., Yazdi, S., Lillevang, S., & Ahrne, L. (2021). Calcium: A comprehensive review on quantification, interaction with milk proteins and implications for processing of dairy products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20 (5), 5616–5640. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12844> [in English].
- Deeth, H.C., & Lewis, M.J. (2017). High Temperature Processing of Milk and Milkroducts. UK, Chichester: John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118460467> [in English].
- den Oever, S.P., & Mayer, H.K. (2021). Analytical assessment of the intensity of heat treatment of milk and dairy products. *International Dairy Journal*, 121, 105097. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105097> [in English].
- Feinberg, M., Dupont, D., Efstathiou, T., Louâpre, V., & Guyonnet J.-P. (2006). Evaluation of tracers for the authentication of thermal treatments of milks. *Food Chemistry*, 98, 188–194. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.052> [in English].
- Gancheron, F. (2005). The mineral of milk. *Reproduction Nutrition Development*, 45 (4), 473–483. <https://doi.org/10.1051/rnd:2005030> [in English].
- Gaucheron, F., Graet, Y., Piot, M., & Boyaval, E. (1996). Determination of anions of milk by ion chromatography. *Le Lait*, 76 (5), 433–443. <https://doi.org/10.1051/lait:1996533> [in English].
- Gliszczynska-Świgło, A., & Rybicka, I. (2021). Fast and sensitive method for phosphorus determination in dairy products. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 16 (3), 213–218. <https://doi.org/10.1007/s00003-021-01329-x> [in English].
- Huppertz, T., Gazi, I., Luyten, H., Nieuwenhuijse, H., Altling, A., & Schokker E. (2017). Hydration of casein micelles and caseinates: Implications for casein micelle structure. *International Dairy Journal*, 74, 1–11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.idairyj.2017.03.006> [in English].
- Jensen, R.J. (1995). Handbook of Milk Composition. A volume in Food Science and Technology. Connecticut: University of Connecticut, Storrs. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384430-9.X5000-8> [in English].
- Leo, M.L., & Nollet Toldra, F. (2021). Handbook of dairy foods analysis. (2nd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429342967> [in English].
- McSweeney, P., & Fox, P.F. (2009). Advanced Dairy Chemistry. Volume 3: Lactose, Water, Salts and Minor Constituents. Book. New York: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-84865-5> [in English].
- Nieuwenhuijse, H., & Huppertz, T. (2022). Heat-induced changes in milk salts: A review. *International Dairy Journal*, 126, 105220. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105220> [in English].
- On-Nom, N., Grandison, A.S., & Lewis, M.J. (2010). Measurement of ionic calcium, pH, and soluble divalent cations in milk at high temperature. *Journal of Dairy Science*, 93, (2), 515–523. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2634> [in English].
- Rodionova, O.Ye., & Pomerantsev, A.L. (2020). Chemometric tools for food fraud detection: The role of target class in non-targeted analysis. *Food Chemistry*, 317, 126448. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126448> [in English].
- Rahimi-Yazdi, S., Ferrer, M., & Corredig, M. (2010). Nonsuppressed ion chromatographic determination of total calcium in milk. *Journal of Dairy Science*, 93 (5), 1788–1793. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2446> [in English].
- Ritota, M., Di Costanzo, M., Mattera, M., Manzi P. (2017). New Trends for the Evaluation of Heat Treatments of Milk. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 2017, 1864832. <https://doi.org/10.1155/2017/1864832> [in English].
- Sikircic, M., Brajenovic, N., Pavlovic, I., & Havranek J. (2003). Determination of metals in cow's milk by flame atomic absorption spectrophotometry. *Czech Journal of Animal Science*, 48 (11), 481–486 [in English].

Отримано: 25.04.2025
Прийнято: 15.05.2025