

УДК 637.344.2:637.3.04

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.2.33>

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ОБРОБЛЕННЯ ЗГУСТКУ ТА СИРНОГО ЗЕРНА У ТЕХНОЛОГІЇ М'ЯКИХ СИРІВ З БІЛОЮ ПЛІСНЯВОЮ

Дідух Е. Г. – аспірант кафедри технології молока, олійно-жирових продуктів та індустрії краси Одеського національного технологічного університету
ORCID ID: 0009-0002-5022-8604
Researcher ID: JAX-2376-2023

Чагаровський О. П. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри технології молока, олійно-жирових продуктів та індустрії краси Одеського національного технологічного університету
ORCID ID: 0009-0001-3825-9742
Researcher ID: JAX-2719-2023

Сири м'які з білою пліснявою – найбільш популярні й традиційні французькі сири, які відзначаються м'якою консистенцією, характерною скоринкою та відмінними органолептичними властивостями. Проте, незважаючи на популярність, в технології виробництва м'яких сирів з білою пліснявою типу Камембер залишається низка невирішених питань щодо оптимальних параметрів оброблення згустку і сирного зерна для досягнення бажаних властивостей готового продукту при використанні новітніх молокозсідальних інгредієнтів та високотемпературної пастеризації молока. Метою представленого наукового дослідження стала оптимізація параметрів оброблення згустку та сирного зерна у процесі виробництва м'яких сирів з білою пліснявою.

Для оптимізації розміру сирного зерна та тривалості його вимішування використовували методологію поверхні відклику. Критерієм оптимізації було обрано масову частку вологи у м'якому сирі з білою пліснявою після самопресування за температури 22–24 °C і відносної вологості 80–85 % протягом 14–16 год. Незалежними факторами, що варіювались, в експерименті було обрано розмір сирного зерна та тривалість його вимішування. Вибір рівнів та інтервалів варіювання факторів було здійснено з урахуванням рекомендацій щодо розміру та тривалості вимішування зерна у виробництві м'яких сирів з білою пліснявою типу Камембер: розмір сирного зерна варіювали у межах 10–15 мм; тривалість вимішування сирного зерна – у межах 10–50 хв. Оброблення результатів експерименту у програмному пакеті Statistica 10 свідчать, що бажану масову частку вологи у м'якому сирі з білою пліснявою після самопресування (53–58 %) отримуємо за умови становлення сирного зерна розміром 10–11 мм і тривалості його вимішування протягом 33–44 хв. Тому саме ці параметри технологічного процесу у виробництві сирів м'яких з білою пліснявою типу Камембер із застосуванням новітніх сировинних інгредієнтів та високотемпературної пастеризації молока за температури 85° протягом 5 хв. є оптимальними.

Ключові слова: сир м'який з білою пліснявою, оброблення згустку, розмір сирного зерна, тривалість вимішування зерна, масова частка вологи у сирній масі, оптимізація, методологія поверхні відклику.

Didukh E. G., Chaharovskiy O. P. Optimization of cotton and cheese grain processing parameters in the technology of soft cheeses with white mold

Soft cheeses with white mold are the most popular and traditional French cheeses, which are characterized by a soft consistency, characteristic crust and excellent organoleptic properties. However, despite their popularity, in the technology of production of soft cheeses with white mold such as Camembert, there are a number of unresolved issues regarding the optimal parameters of processing the curd and cheese grain to achieve the desired properties of the finished product when using the latest milk-coagulating ingredients and high-temperature pasteurization of milk. The aim of the presented scientific study was to optimize the parameters of processing the curd and cheese grain in the process of production of soft cheeses with white mold.

To optimize the size of the cheese grain and the duration of its mixing, the response surface methodology was used. The optimization criterion was the mass fraction of moisture in soft cheese with white mold after self-pressing at a temperature of 22–24 °C and a relative humidity of 80–85 % for 14–16 h. The size of the cheese grain and the duration of its kneading were chosen as independent factors that varied in the experiment. The selection of levels and intervals of variation of factors was carried out taking into account the recommendations for the size and duration of kneading of the grain in the production of soft cheeses with white mold such as Camembert: the size of the cheese grain varied within 10–15 mm; the duration of kneading of the cheese grain – within 10–50 min. Processing of the experimental results in the Statistica 10 software package shows that the desired mass fraction of moisture in soft cheese with white mold after self-pressing (53–58 %) is obtained provided that the cheese grain size is 10–11 mm and the duration of its kneading is 33–44 min. Therefore, it is these parameters of the technological process in the production of soft cheeses with white mold such as Camembert using the latest raw ingredients and high-temperature pasteurization of milk at a temperature of 85° for 5 min. are optimal.

Key words: soft cheese with white mold, curd processing, cheese grain size, duration of grain kneading, mass fraction of moisture in the cheese mass, optimization, response surface methodology.

Вступ. Сири м'які з білою пліснявою – найбільш популярні й традиційні французькі сири, які відзначаються м'якою консистенцією, характерною скоринкою та відмінними органолептичними властивостями. Технології їх виробництва мають специфічні вимоги до молока-сировини та параметрів технологічного процесу, таких як пастеризація молока, використання молокозсідальних інгредієнтів (заквашувальних препаратів і молокозсідальних ферментів), режими зсідання молока, оброблення згустку і сирного зерна, самопресування, соління, а також параметри визрівання і зберігання готових продуктів [1–3].

Проте, незважаючи на популярність, в технології виробництва м'яких сирів з білою пліснявою типу Камамбер залишається низка невирішених питань щодо оптимальних параметрів оброблення згустку і сирного зерна для досягнення бажаних властивостей готового продукту при використанні новітніх молокозсідальних інгредієнтів. Важливими чинниками, що впливають на кінцеву якість сиру, є саме параметри оброблення згустку та сирного зерна, які визначають структуру та консистенцію цільових продуктів [1, 4–5].

Постановка проблеми. Одним з важливих аспектів виробництва сирів з білою пліснявою типу Камамбер є оптимізація параметрів оброблення згустку та сирного зерна, зокрема розміру зерна при розрізанні згустку та тривалості вимішування сирного зерна. Ці параметри безпосередньо впливають на фізико-хімічні, органолептичні та мікробіологічні характеристики готового продукту. Правильний вибір розміру зерна та тривалості його вимішування забезпечує стабільну структуру і консистенцію сиру, а також дозволяє контролювати вологість сирної маси, що є важливим для досягнення бажаних смакових характеристик за рахунок направленої розвитку заквашувальної мікрофлори [4–8].

Недосконалість у виборі цих параметрів може призвести до нестабільної якості продукту, що негативно впливає на його конкурентоспроможність на ринку. Сири типу Камамбер – м'які сири з білою пліснявою на поверхні, які визрівають під впливом специфічних мікроорганізмів, таких як *Penicillium camemberti* або *Penicillium candidum*. Вміст води в цих сирах має становити 45–52 %, що забезпечує необхідні смакові характеристики, а також стабільні фізико-хімічні та мікробіологічні показники готових продуктів [2, 4–8].

Тому надання рекомендацій щодо оптимальних параметрів оброблення згустку та сирного зерна при виробництві м'яких сирів з білою пліснявою типу Камамбер із застосуванням новітніх молокозсідальних інгредієнтів, є актуальним завданням для сироробної галузі України.

Мета дослідження. Метою представленого наукового дослідження стала оптимізація параметрів оброблення згустку та сирного зерна у процесі виробництва м'яких сирів з білою пліснявою. Зокрема, дослідження були спрямовані на визначення оптимального розміру сирного зерна та тривалості його вимішування для досягнення бажаної масової частки вологи у м'якому сирі після самопресування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Якість м'яких сирів з білою пліснявою значною мірою залежить від масової частки вологи у сирній масі після самопресування, соління та у процесі визрівання, яка, у свою чергу, впливає на розвиток заквашувальної мікрофлори, органолептичні та фізико-хімічні показники кінцевого продукту. Масова частка вологи у сирній масі є важливим параметром, оскільки від неї залежить не лише текстура м'якого сиру, але й розвиток специфічних мікроорганізмів, таких як *Penicillium camemberti* та *Penicillium candidum*, які відповідають за формування характерної скоринки і визрівання сиру [1–8].

Масова частка вологи у м'яких сирах з білою пліснявою, в свою чергу, визначається такими технологічними параметрами, як режим пастеризації молока, розмір сирного зерна та тривалість його вимішування. Параметри оброблення згустку, включаючи контроль за розміром зерна та тривалістю його вимішування, є критичними для досягнення необхідної вологості сирної маси і забезпечення стабільних фізико-хімічних та заданих сенсорних характеристик готового продукту [4–8].

У попередніх дослідженнях [1, 9] авторами уже відпрацьовано кілька важливих параметрів, які характеризують технологію виробництва м'яких сирів з білою пліснявою типу Камамбер, зокрема:

- застосування заквасок безпосереднього внесення данської компанії *Chr. Hansen: Lactococcus lactis ssp. lactis* + *Lactococcus lactis ssp. diacetylactis* + *Lactococcus lactis ssp. cremoris* + *Leuconostoc dextranicum* у складі бакконцентрату *FD-DVS CHN-22* (або *FD-DVS CHN-11*, або *FD-DVS CHN-19*, або *FD-DVS Flora danica*) та плісень *Penicillium candidum* у складі *FD PCA-3*, що забезпечує стабільну та високу якість цільового продукту [1];

- використання рідкого 100%-вого хімозину данської компанії *Chr. Hansen «CHY-MAX Extra 600»* для зсідання молока, що забезпечує максимальний вихід сиру (порівняно з іншими молокозсідальними інгредієнтами) та забезпечує високі сенсорні характеристики [1];

- використання високотемпературної пастеризації молока коров'ячого – температура 85 °С, витримання 5 хв. [9], яка забезпечує підвищення виходу сиру та вмісту білків у сирі м'якому з білою пліснявою типу Камамбер на $(6,3 \pm 0,1) \%$ у порівнянні з контрольним зразком, при цьому масова частка білків у сироватці знижується до $(0,20 \pm 0,05) \%$. Ефективність пастеризації обраного режиму висока – 99,99 %.

Пастеризація молока є критичним етапом у виробництві м'яких сирів з білою пліснявою типу Камамбер, оскільки вона впливає на вміст білків та жиру у сирі, на ефективність теплового оброблення, а також на масову частку вологи у сирній масі і, відповідно, на сенсорні, фізико-хімічні та мікробіологічні показники готового продукту. Підвищення температури пастеризації (особливо з 76–80 °С до 85 °С) призводить до денатурації сироваткових білків, зокрема α -лактальбуміну та β -лактоглобуліну. Це змінює структуру казеїну, оскільки денатуровані сироваткові білки приєднуються дисульфідними містками до казеїнових міцел, що збільшує вологоутримувальну здатність білків, впливає на здатність молока до зсідання при виробництві сирів, може змінити структуру згустку та призвести до отримання цільових продуктів зі зниженим вмістом вологи [4, 9].

Розмір сирного зерна є ключовим фактором, що визначає вміст води у сирі. Чим менший розмір зерна, тим більша поверхня для відведення сироватки, що обумовлює меншу вологість у готовому продукті. Для м'яких сирів з білою пліснявою типу Камамбер, які виробляють за класичною технологією, рекомендується ставити зерно розміром 10–15 мм, щоб зберегти необхідну вологість та забезпечити кремову текстуру [00]. Підвищення температури пастеризації молока з 76–80 °С до 85 °С обумовлює необхідність визначення розміру сирного зерна, яке сприятиме отриманню сиру із заданим вмістом води – у готовому продукті після визрівання 45–52 %, у сирі м'якому після самопресування – 53–58 % [4–8].

Тривалість вимішування сирного зерна також безпосередньо впливає на вміст води у сирі, оскільки механічне перемішування сприяє зменшенню вологості сирного зерна і, відповідно, сирної маси після самопресування, соління та у процесі визрівання. Традиційно, у технології м'яких сирів з білою пліснявою типу Камамбер тривалість вимішування становить 10–30 хв. Але використання високотемпературного режиму пастеризації молока обумовлює підвищення гідрофільних властивостей казеїну, що сприяє збільшенню волого утримуючої здатності сирного зерна та сирної маси. Тому для досягнення оптимального вмісту води у цільовому продукті доцільно оптимізувати також тривалість вимішування сирного зерна. З огляду на підвищення вологоутримуючої здатності сирного зерна, тривалість вимішування його має бути подовжена, тому в експерименті використовували тривалість вимішування у межах 10–50 хв [4–8].

Виклад основного матеріалу. Для оптимізації розміру сирного зерна ($PЗ$, мм) та тривалості його вимішування ($ТВЗ$, хв.) використовували методологію поверхні відклику [10]. Вказаний метод – це сукупність математичних і статистичних прийомів, які спрямовані на моделювання і оптимізацію параметрів технологічних процесів та знаходження співвідношень експериментальних рядів предикторів з метою оптимізації функції відклику $\hat{y}(x, b)$, яка у загальному вигляді описується таким поліномом:

$$\hat{y}(x, b) = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{k=1}^n b_k x_k^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n b_{ij} x_i x_j, \quad (1)$$

де $x \in R^n$ – вектор змінних, b – вектор параметрів.

Моделювання та обробку експериментальних даних виконували у середовищі програмного пакета *Statistica 10* (StatSoft, Inc., USA) [8].

Критерієм оптимізації розміру сирного зерна та тривалості його вимішування було обрано масову частку води у м'якому сирі з білою пліснявою після самопресування ($C_{\text{вол}}$, %) за температури 22–24 °С і відносної вологості 80–85 % протягом 14–16 год. Незалежними факторами, що варіювались, в експерименті було обрано розмір сирного зерна ($PЗ$, мм) та тривалість його вимішування ($ТВЗ$, хв.). Для оптимізації масової частки води у цільовому продукті було обрано функцію відклику, яка має вигляд полінома другого ступеню:

$$C_{\text{вол}} = b_0 + b_1 \cdot PЗ + b_{11} \cdot PЗ^2 + b_2 \cdot ТВЗ + b_{22} \cdot ТВЗ^2 + b_{12} \cdot PЗ \cdot ТВЗ, \quad (2)$$

де $C_{\text{вол}}$ – масова частка води у м'якому сирі з білою пліснявою після самопресування, %;

$PЗ$ – розмір сирного зерна, мм;

$ТВЗ$ – тривалість вимішування зерна, хв.;

b_0 – константа;

$b_1, b_{11}, b_2, b_{22}, b_{12}$ – коефіцієнти для кожного елемента полінома.

Вибір рівнів та інтервалів варіювання факторів було здійснено з урахуванням рекомендацій щодо розміру та тривалості вимішування зерна у виробництві м'яких сирів з білою пліснявою типу Камамбер: розмір сирного зерна варіювали у межах 10–15 мм; тривалість вимішування сирного зерна – у межах 10–50 хв. [4–9].

Матрицю планування та експериментальні значення функції відклику представлено в табл. 1.

Для перевірки значущості коефіцієнтів регресії (2) було побудовано діаграму Парето, яку представлено на рис. 1 (L – лінійний ефект, K – квадратичний ефект).

Таблиця 1

Матриця планування та функція відклику

Номер досліджу	Розмір сирного зерна (РЗ)		Тривалість вимішування сирного зерна (ТВЗ)		Масова частка вологи у м'якому сирі з білою пліснявою, %
	Кодований рівень	мм	Кодований рівень	хв.	
1	-1	10,7	-1	16,0	59,5
2	$-\sqrt{2}$	10,0	0	30,0	57,0
3	-1	10,7	+1	44,0	54,0
4	0	12,5	$+\sqrt{2}$	50,0	59,5
5	+1	14,3	+1	44,0	62,0
6	$+\sqrt{2}$	15,0	0	30,0	63,0
7	+1	14,3	-1	16,0	67,0
8	0	12,5	$-\sqrt{2}$	10,0	63,0
9	0	12,5	0	30,0	62,0
10	0	12,5	0	30,0	62,5
11	0	12,5	0	30,0	62,5
12	0	12,5	0	30,0	62,0

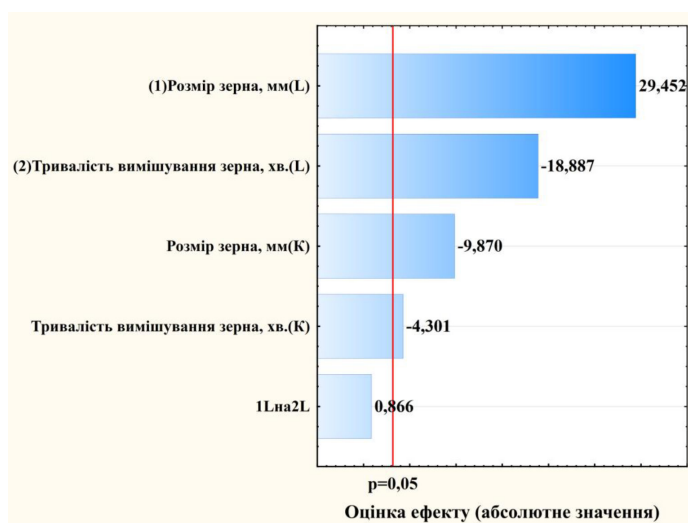
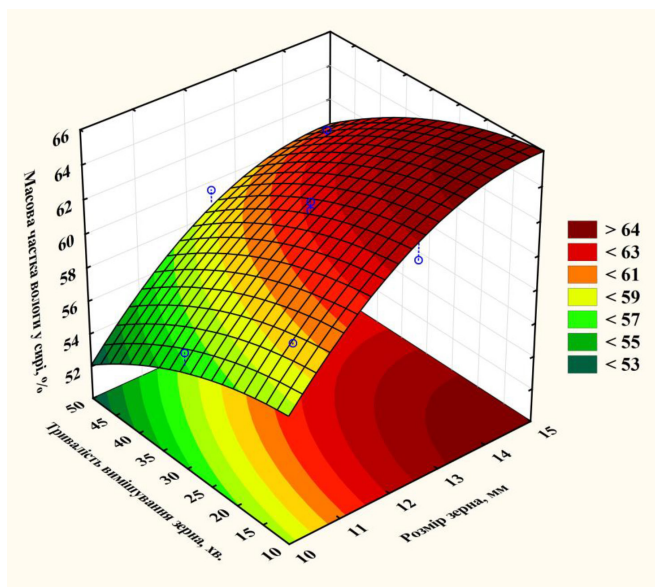
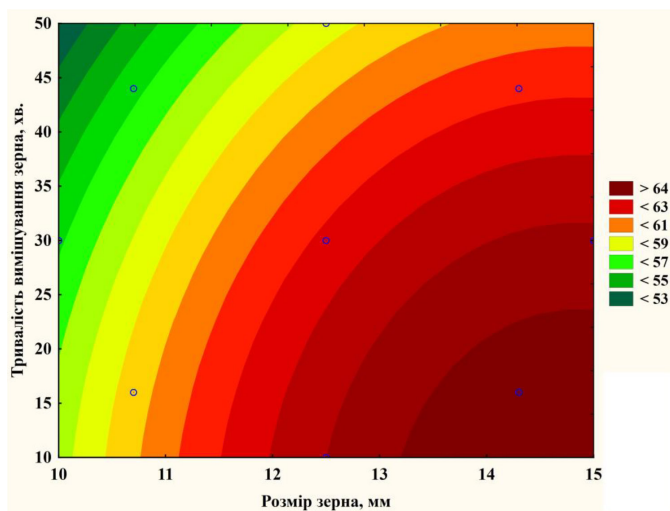


Рис. 1. Діаграма Парето

На вказаній діаграмі Парето наведено стандартизовані коефіцієнти, які відсортовано за абсолютними значеннями. Аналіз даних рис. 1 свідчить, що усі коефіцієнти регресії (2), за виключенням добутку досліджуваних параметрів, є значущими, оскільки колонки їх оцінок перетинають вертикальну лінію, що є 95%-вою довірчою ймовірністю (добуток досліджуваних параметрів було виключено з регресії (2)). Отримане рівняння з розрахованими коефіцієнтами має вигляд:



а



б

Рис. 2. Залежність масової частки володи у м'якому білому сирі з пліснявою після самопресування від розміру зерна та тривалості його вимішування: а – поверхня відклику; б – контурний графік

$$C_{\text{вол}} = -12,762 + 10,620 \cdot P3 - 0,357 \cdot P3^2 + 0,011b_2 \cdot TB3 - 0,003 \cdot TB3^2. \quad (3)$$

Адекватність розробленої моделі (3) перевіряли методом дисперсійного аналізу. Рівень значущості утрати узгодженості для досліджуваної моделі ($p > 0,05$) та значення коефіцієнтів детермінації ($R^2 = 0,91671$ та $R^2_{\text{adj}} = 0,86912$) свідчать, що модель (3) адекватно описує експеримент.

Описаний поліномом (3) сукупний вплив розміру сирного зерна та тривалості його вимішування на масову частку води у м'якому сирі з білою пліснявою після самопресування наведений на рис. 2. Аналіз наведених даних та оброблення полінома (3) у програмному пакеті *Statistica 10* [10] свідчать, що бажану масову частку води у м'якому сирі з білою пліснявою після самопресування (53–58 %) отримуємо за умови становлення сирного зерна розміром 10–11 мм і тривалості його вимішування протягом 33–44 хв. Тому саме ці параметри технологічного процесу є оптимальними у виробництві сирів м'яких з білою пліснявою типу Камамбер із застосуванням новітніх сировинних інгредієнтів та високотемпературної пастеризації молока за температури 85 ° протягом 5 хв.

Висновки. Визначено оптимальні параметри оброблення сичужного згустку та сирного зерна у технології м'якого сиру з білою пліснявою типу Камамбер – розмір сирного зерна – 10–11 мм, тривалість його вимішування – 33–44 хв., які забезпечують отримання цільового продукту з необхідною масовою часткою води після самопресування – 53–58 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Чагаровський О., Дідух Е., Кондрацький С. Перспективи виробництва м'яких білих сирів в Україні. *Scientific Works*. 2024. № 87(2). С. 92–102. <https://doi.org/10.15673/swonaft.v87i2.2869>
2. Hamdaoui N., Mouncif M., Mennane Z., Omari A., Meziane M. Development of the Technology of Soft Camemberttype Cheese with Flowery rind in Morocco. *Preprint from Research Square*. 2021. 20 p. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-200936/v1>
3. Сливка І. М., Цісарик О. Й., Мусій Л. Я. Технологія м'якого сиру тип Камамбер з різними бактеріальними препаратами. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З.Гжицького. Серія: Харчові технології*. 2020, Т. 22. № 94. С. 71–79. DOI: <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f941>
4. Поліщук Г. Є., Бовкун А. О., Колесникова С. С. Технологія сиру. Навчальний посібник. К. : НУХТ, 2008. 187 с.
5. Shaw M. B. The manufacture of soft, surface mould, ripened cheese in France with particular reference to Camembert. *Dairy Technology*. Vol.34, Issue 4. 1981. P. 131–138. DOI:10.1111/j.1471-0307.1981.tb01510.x
6. Johnson M. A., Lucey B. A., Steele J. L. Influence of cheese-making recipes on the composition and characteristics of Camembert-type cheese. *Journal of Dairy Science*, 2018. P. 9332–9338. DOI: 10.3168/jds.2018-14759
7. Liu, S., Puri, V. M. Spatial moisture content distribution during ripening of Camembertcheese. *Transactions of the ASABE*. 2007. Vol. 50/2. P. 567-571. <https://doi.org/10.13031/2013.22644>
8. Schlessner J. E., Schmidt S. J., Speckman R. Characterization of Chemical and Physical Changes in Camembert Cheese During Ripening. *Journal of Dairy Science*. 1992, T. 75/7. P. 1753–1760. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(92)77934-X Illinois Experts
9. Чагаровський О., Ткаченко Н., Дідух Е., Анічін В. Обґрунтування параметрів пастеризації молока у технології сиру м'якого Камамбер. *Scientific Works*. 2024. № 87(2). С. 58–65. <https://doi.org/10.15673/swonaft.v87i2.283>

10. Myers R., Montgomery D., Anderson-Cook C. Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments. 4th ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons. 2016. 825 p.

REFERENCES:

1. Chagarovs'kyj, O., Didux, E., Kondracz'kyj, S. Perspektyvy vy'robny'cztva m'yaky'x bily'x sy'riv v Ukrayini. (2024) *Scientific Works*. 87(2). 92–102. <https://doi.org/10.15673/swonaft.v87i2.2869> [in Ukrainian].
2. Hamdaoui, N., Mouncif, M., Mennane, Z., Omari, A., Meziane, M. (2021). Development of the Technology of Soft Camemberttype Cheese with Flowery rind in Morocco. *Preprint from Research Square*. 20. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-200936/v1>
3. Slyvka, I. M., Tsisaryk, O. Y., Musiy, L. Y. (2020) The technology of soft Camembert cheese with the usage of different bacterial preparations: *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies*. 22(94). 71–79. [in Ukrainian].
4. Polishhuk, G. Ye., Bovkun, A. O., Kolesny'kova, S. S. (2008). *Texnologiya sy'ru. Navchal'ny'j posibny'k. K. : NUXT*. 187. [in Ukrainian].
5. Shaw, M. B. (1981). The manufacture of soft, surface mould, ripened cheese in France with particular reference to Camembert. *Dairy Technology*. 34(4). 131–138. DOI:10.1111/j.1471-0307.1981.tb01510.x
6. Johnson, M. A., Lucey, B. A., & Steele, J. L. (2018). Influence of cheese-making recipes on the composition and characteristics of Camembert-type cheese. *Journal of Dairy Science*. 9332–9338. DOI: 10.3168/jds.2018-14759
7. Liu, S., & Puri, V. M. (2007). Spatial moisture content distribution during ripening of Camembert cheese. *Transactions of the ASABE*, 50(2), 567–571. <https://doi.org/10.13031/2013.22644>
8. Schlessner J. E., Schmidt S. J., & Speckman R. (1992). Characterization of Chemical and Physical Changes in Camembert Cheese During Ripening. *Journal of Dairy Science*. 75(7). 1753–1760. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(92)77934-X Illinois Experts
9. Chagarovs'kyj, O., Tkachenko, N., Didux, E., Anichin, V. (2024) Obg'runtuvannya parametriv pastery'zacyi moloka u texnologiyi sy'ru m'yakogo Kamamber. *Scientific Works*. 87(2). 58–65. <https://doi.org/10.15673/swonaft.v87i2.283> [in Ukrainian].
10. Myers, R., Montgomery, D., & Anderson-Cook, C. (2016). Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments. 4th ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons. 825.