

УДК 637.35 : 637.3.04 : 664.8.03
DOI: 10.15673/swonaft.v89i2.3417

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ПРЕСУВАННЯ СИРІВ ТВЕРДИХ З НАПОВНЮВАЧАМИ НА ПРИКЛАДІ СИРУ PESTO RED

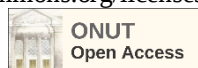
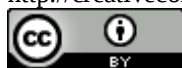
¹Ткаченко Н.А., доктор технічних наук, професор,
²Тележенко Л.М., доктор технічних наук, професор, ³Фесенко Д.О., магістрант
Одеський національний технологічний університет

ORCID: ¹<https://orcid.org/0000-0002-2557-3927>; ²<https://orcid.org/0000-0001-6675-2625>,
³<https://orcid.org/0009-0003-0897-2031>
E-mail: ¹nataliya.n2013@gmail.com, ²ltelezhenko@ukr.net, ³dimafesenko00@gmail.com

Copyright © 2025 by author and the journal «Scientific Works»

This work is licensed under Vthe Creative Commons Attribution International License (CC By).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



Анотація. У статті розроблено методологічні основи оптимізації параметрів пресування сирів твердих з наповнювачами із застосуванням методології поверхні відклику та статистичного аналізу експериментальних даних у програмному середовищі Statistica 10 (StatSoft, Inc., USA та верифіковано запропонований підхід є на прикладі сиру твердого Pesto Red.

Визначено вплив параметрів пресування (тривалості та тиску) на вологість, текстуру та активну кислотність твердих сирів з рослинними наповнювачами. Показано, що підвищення тиску від 0,9 до 1,5 кг/см² та збільшення тривалості пресування з 4 до 6 год. сприяє покращенню текстури сирної маси, зменшенню масової частки вологи у цільовому продукті від 49,8 % до 43,3 % та зниженню активної кислотності від 5,57 до 5,25 од. рН. Доведено вплив рослинних наповнювачів(сухий екстракту томатів, базилік, перцю чилі, куркумін, аннато), внесених на етапі обсушування сирного зерна, на структурно-механічні та органолептичні властивості продукту.

Встановлено, що для одержання сиру твердого Pesto Red з нормованим вмістом вологи у сирній масі необхідно застосовувати підвищений тиск пресування, оскільки дрібнодисперсні частинки екстракту томатів здатні утримувати вологу, а базилік і чилі формують мікрровключення у білковій матриці. Розроблено методологію оптимізації параметрів пресування твердих сирів з наповнювачами, яка забезпечує однорідність текстури, стабільну масову частку вологи, необхідний рівень активної кислотності та рівномірний розподіл добавок у сирній масі.

Визначено оптимальні параметри процесу пресування: тиск 1,2–1,3 кг/см², тривалість 5,5–6,0 годин, температура 18–20 °С. Застосування рекомендованих параметрів дає змогу отримати продукт після пресування з нормованою масовою часткою вологи (45,3–46,8 %), стабільною активною кислотністю (5,32–5,36 од. рН), щільною текстурою, замкнутою поверхнею, чистим кисло-молочним смаком і гармонійним ароматичним профілем із домінуванням нот томатів, базиліку та чилі, а також рівномірним розподілом включень базиліку у світло-червоній сирній масі.

Оптимальні параметри пресування забезпечують отримання сиру твердого Pesto Red із нормованими фізико-хімічними показниками та унікальним органолептичним профілем після визрівання, що підтверджує ефективність розробленої методології.

Ключові слова: сир твердий; Pesto Red; пресування; тиск пресування; тривалість пресування; масова частка вологи; активна кислотність; рослинні наповнювачі; фізико-хімічні й органолептичні показники; оптимізація; поверхня відклику.

Тверді сири є одними з найбільш споживаних молочних продуктів у світі завдяки високому вмісту білка, калорійності та тривалому терміну зберігання. Сучасні тенденції харчової промисловості спрямовані на розширення асортименту твердих сирів з функціональними добавками, включаючи трав'яні, овочеві та пряні компоненти, що дозволяє не лише урізноманітнити смакові властивості, а й підвищити харчову цінність продукції [1–3].

Особливо перспективним є розвиток сирів з рослинними наповнювачами, такими як лаванда, екстракт томатів, базилік, спеції та барвники природного походження (куркумін, аннато). Такі сири поєднують

традиційні цінності білкових молочних продуктів з функціональними характеристиками рослинних компонентів, що відповідає сучасним вимогам споживачів до здорового та збалансованого харчування [4-6]. Якість твердих сирів значною мірою визначається параметрами пресування сирної маси, які безпосередньо впливають на масову частку вологи та текстуру сиру, а також на рівномірність розподілу добавок та розвиток заквашувальної мікрофлори [7]. Невідповідні режими пресування можуть призводити до:

- нерівномірної консистенції;
- втрати вологи або надмірного ущільнення;
- локального концентрування наповнювачів та барвників;
- погіршення органолептичних характеристик сиру та порушення протікання подальших технологічних операцій при виробництві цільового продукту.

Таким чином, розроблення методології оптимізації параметрів процесу пресування твердих сирів з добавками є актуальним завданням для виробництва цільових продуктів з прогнозованими властивостями, високою якістю та стабільною структурою.

Особливо актуально це для твердих сирів типу «Pesto», у яких комбінація рослинних компонентів та спецій потребує точного регулювання тиску, тривалості та температури пресування для забезпечення однорідності структури та кольору, стабільності смаку та нормального протіканню мікробіологічних, ферментативних та біохімічних процесів при подальшому солінні та визріванні.

Метою представленого дослідження стало розроблення методологічних основ оптимізації параметрів процесу пресування сирів твердих з наповнювачами на прикладі сиру Pesto Red.

Завдання дослідження:

- проаналізувати вплив параметрів пресування (тривалість, тиск, температура) на вологість, текстуру та активну кислотність твердих сирів з рослинними наповнювачами;
- дослідити взаємодію наповнювачів (сухого екстракту томатів, базиліку, перцю чилі та барвників) із сирною масою під час пресування та визначити їхній вплив на структурні та органолептичні властивості продукту;
- розробити методологію оптимізації параметрів процесу пресування твердих сирів з наповнювачами, які забезпечують однорідність їх текстури, стабільну вологість, необхідний рівень активної кислотності та рівномірний розподіл добавок у сирній масі;
- верифікувати розроблену методологію на прикладі сиру твердого Pesto Red.

Матеріали і методи. Усі експериментальні дослідження виконані у виробничих умовах крафтової сироварні ФОП «Фесенко Л.С.» (с Немирич, Черкаська обл.). Об'єктом дослідження став сир твердий Pesto Red з рослинними наповнювачами, до складу якого входять: сухий екстракт томатів, базилік сухий, перець чилі, натуральні барвники – куркумін та аннато. Базова масова частка жиру у сухій речовині цільового сиру – 45%, цільова вологість готового сиру після визрівання протягом 3 місяців – 42-44 %. Прототипом обраного сиру було обрано сир твердий з низькою температурою другого нагрівання Гауда.

Сухий екстракт томатів та сухий базилік, попередньо подрібнені до часточок ≤ 2 мм, вносили у кількості 0,5-0,6% та 0,2-0,4% відповідно, від маси молока нормалізованого. Порошок перцю чилі вносили у кількості 0,01-0,02 % від маси нормалізованого молока. Барвники – куркумін та аннато вносили у кількості 0,0002 % та 0,0005 % відповідно для забезпечення стійкого кольору. Наповнювачі вводили у колья після сичужного зсідання молока, розрізання згустку та оброблення сирного зерна (у кінці процесу другого вимішування (обсушування) сирного зерна).

Пресування сиру твердого Pesto Red здійснювали на вертикальному пресі у формах за температури 18–20°C, тиск при пресуванні варіювали у межах 0,9–1,5 кг/см²; тривалість пресування – у межах 4–6 год.; кількість перевертань – 2 рази.

Для оцінки впливу параметрів пресування на якість сиру проводили визначення:

- масової частки вологи у сирі методом висушування у термостаті при $t = 102 \pm 2$ °C до постійної маси;
- активну кислотність (pH) сирної маси – за допомогою pH-метра з електродом для молочних продуктів;
- текстуру – візуальна оцінка однорідності, пористості та консистенції сирної маси;
- органолептичні показники – оцінка кольору, смаку, запаху та однорідності розподілу наповнювачів за 5-бальною шкалою.

Для оптимізації параметрів процесу пресування (тиску та тривалості) використовували методологію поверхні відклику [8, 9] – це сукупність математичних і статистичних прийомів, спрямованих на моделювання та оптимізацію параметрів технологічних процесів та знаходження співвідношень експериментальних рядів предикторів з метою оптимізації функції відклику $\hat{y}(x,b)$, яка у загальному вигляді описується наступним поліномом:

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

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].

Формування сиру твердого Pesto Red здійснювали із пласта протягом 25-30 хв. безпосередньо у сироробній ванні (рис. 1) протягом 25–30 хв. за температури 18–20°C. Самопресування сиру здійснювали у формах (рис. 2) протягом 45–60 хв. за температури 18–20°C.



Рис. 1 – Формування сиру твердого Pesto Red на ФОП «Фесенко Л.С.»

Fig. 1. Molding of "Pesto Red" hard cheese at PE "Fesenko L.S."



Рис. 2 – Самопресування сиру твердого Pesto Red на ФОП «Фесенко Л.С.»

Fig. 2. Self-pressing of "Pesto Red" hard cheese at PE "Fesenko L.S."

Критеріями оптимізації тиску та тривалості пресування сиру твердого з наповнювачами було обрано масову частку води у сирі ($C_{\text{вол}}$, %) та активну кислотність сирної маси (pH, од. pH) після пресування за температури 18–20 °C і відносної вологості 80–85 %. Незалежними факторами, які варіювались, в експерименті, було обрано тиск при пресуванні сирної маси ($P_{\text{прес}}$, кг/см²) та тривалість пресування ($TP_{\text{прес}}$, год.). Для оптимізації масової частки води й активної кислотності у сирі твердому з наповнювачами було обрано функцію відклику, яка має вигляд полінома другого ступеню:

$$C_{\text{вол}} = b_0 + b_1 \times P_{\text{прес}} + b_{11} \times P_{\text{прес}}^2 + b_2 \times TP_{\text{прес}} + b_{22} \times TP_{\text{прес}}^2 + b_{12} \times P_{\text{прес}} \times TP_{\text{прес}}, \quad (2)$$

$$pH = b_0 + b_1 \times P_{\text{прес}} + b_{11} \times P_{\text{прес}}^2 + b_2 \times TP_{\text{прес}} + b_{22} \times TP_{\text{прес}}^2 + b_{12} \times P_{\text{прес}} \times TP_{\text{прес}}, \quad (3)$$

де $C_{\text{вол}}$ – масова частка води у сирі твердому Pesto Red після пресування, %; pH – активна кислотність сиру твердого Pesto Red після пресування, од. pH; $P_{\text{прес}}$ – тиск при пресуванні, кг/см²; $TP_{\text{прес}}$ – тривалість пресування, год.; b_0 – константа; b_1 , b_{11} , b_2 , b_{22} , b_{12} – коефіцієнти для кожного елемента полінома.

Верифікацію розробленої методології здійснювали на практиці на прикладі сиру твердого Pesto Red, оцінюючи її ефективність за однорідністю текстури, рівнем pH та масовою часткою води у сирі твердому Pesto Red після пресування, рівномірністю розподілу наповнювачів у продукті після пресування та після визрівання протягом 3 місяців.

Викладення основного матеріалу. Параметри пресування є одним із ключових чинників формування структурно-механічних властивостей твердих сирів та розвитку у них заквашувальної мікрофлори у подальшому (зокрема, при визріванні сиру), особливо у разі внесення до сирної маси рослинних наповнювачів – сухого екстракту томатів, сухого базиліку, перцю чилі, куркуміну та аннато. Наявність таких добавок впливає на видалення сироватки, формування текстурних характеристик, рівномірність розподілу наповнювачів, стабільність кольору та розвиток заквашувальної мікрофлори, що потребує точного контролювання технологічних параметрів при пресуванні [7, 10].

Тривалість пресування визначає інтенсивність синерезису та ступінь ущільнення сирного зерна. Коротка тривалість (менше 4 год.) призводить до недостатнього видалення вологи: вологість формується на рівні 48-50 %, структура залишається пухкою, підвищується ризик розвитку нерівномірної пористості. Оптимальна тривалість (4-6 год.) забезпечує вологість 45-47 %, що є технологічно необхідним для подальшого визрівання сирів твердих з наповнювачами. Структура формується щільною, але не надмірно твердою; утворюється рівномірна дрібнопориста структура. Надмірна тривалість пресування (понад 8 год.) призводить до пересушування сирної маси, вологість може знижуватись до 40-42 %. За таких умов спостерігається небажане ущільнення структури, можливе утворення пустот, а також підвищення ламкості [7].

Візуальний аналіз свідчить, що подовження тривалості пресування сприяє також рівномірнішому розподілу наповнювачів у сирній масі внаслідок більш інтенсивного ущільнення зерна.

Тиск під час пресування є визначальним у регулюванні темпів видалення сироватки та формуванні однорідної структури. Низький тиск (0,2–0,4 кг/см²) забезпечує м'яку дію на зерно, однак не приводить до достатньої дегідратації. Вологість сиру залишається підвищеною (48-49 %), структура – слабо сформованою. Середній тиск (0,9–1,2 кг/см²) дозволяє досягти оптимальної вологості – 45–47 %. Формується однорідна, еластична структура, без механічних дефектів. При такому тиску наповнювачі рівномірно розподіляються у сирній масі, не утворюючи зон їхнього накопичення. Високий тиск (1,5–1,6 кг/см² і більше) спричиняє інтенсивний синерезис, зменшення вологості до 40-42 %. Надмірне ущільнення поверхневих шарів може призвести до «закупорювання», що уповільнює виведення вологи з центральної частини головки. Це може обумовлювати нерівномірну структуру сиру [7].

Додатково встановлено, що високий тиск зменшує інтенсивність утворення пор, що є необхідною умовою для сирів із рослинними добавками, які можуть впливати на газоутворення та формування рисунка сиру.

Температура під час пресування стабілізує активність молочнокислих бактерій та впливає на динаміку зміни активної кислотності. Температурний діапазон 18–20 °C є оптимальним для твердих сирів, у т.ч. з наповнювачами. Він забезпечує контрольоване підвищення кислотності, стабільний синерезис та уникнення надмірного ущільнення. Зниження температури (<16 °C) уповільнює післякоагуляційне підкислення, що може призводити до підвищеної вологості та нестійкої текстури. Підвищення температури (>24 °C) активує кислотоутворення, призводячи до швидкого зниження рН, що сприяє надмірному ущільненню та появі крихкості [2, 7].

Рослинні компоненти мають власні технологічні особливості, які впливають на пресування [2, 4–6]:

- сухий екстракт томатів вносить дрібнодисперсні частинки, які утримують вологу;
- чилі та базилік утворюють мікрровключення у матриці білкової сітки, що впливає на пористість;
- аннато і куркумін виконують роль ферментативно інертних барвників, не впливають на рН та вологість сирної маси [11–2].

Наявність дрібних частинок прискорює рівномірний розподіл тиску в сирному зерні, але потребує точного вибору тривалості пресування, щоб запобігти нерівномірному ущільненню.

Отже, параметри пресування сирів твердих з наповнювачами, у т.ч. сиру твердого Pesto Red, мають вирішальний вплив на масову частку вологи, розвиток заквашувальної мікрофлори і активну кислотність, на формування текстури та органолептичних показників продукту [2, 7, 13, 14].

Вибір рівнів та інтервалів варіювання параметрів пресування було здійснено з урахуванням рекомендацій щодо пресування твердих сирів з низькою температурою другого нагрівання типу Гауда з наповнювачами: тиск при пресуванні варіювали у межах 0,9–1,5 кг/см² (тиск пресування підвищили у порівнянні з рекомендованим для цієї групи сирів (0,9–1,2 кг/см²) з врахуванням доданих наповнювачів та їх впливу на сирну масу); тривалість пресування варіювали у межах 4–6 год. [7].

Матрицю планування та експериментальні значення функцій відклику – активної кислотності та масової частки вологи у сирі твердому Pesto Red – представлено в табл. 1.

Таблиця 1 – Матриця планування та функції відклику

Номер досліджу	Тиск при пресуванні (Р _{ПРЕС})		Тривалість пресування (Т _{ПРЕС})		Активна кислотність, рН	Масова частка вологи у сирі Pesto Red (С _{ВОЛ}), %
	Кодований рівень	кг/см ²	Кодований рівень	год.		
1	–1	1,0	–1	4,3	5,50	49,0
2	–√2	1,2	0	4,0	5,52	49,2
3	–1	1,4	+1	4,3	5,42	46,5
4	0	1,5	+√2	5,0	5,32	45,0
5	+1	1,4	+1	5,7	5,34	45,0

6	$+\sqrt{2}$	1,2	0	6,0	5,31	45,5
7	+1	1,0	-1	5,7	5,40	47,0
8	0	0,9	$-\sqrt{2}$	5,0	5,45	48,5
9	0	1,2	0	5,0	5,40	48,0
10	0	1,2	0	5,0	5,40	48,0
11	0	1,2	0	5,0	5,38	47,5
12	0	1,2	0	5,0	5,39	47,5

Для перевірки значущості коефіцієнтів регресії (2) та (3) було побудовано діаграми Парето, які представлено на рис. 3 (L – лінійний ефект, K – квадратичний ефект).

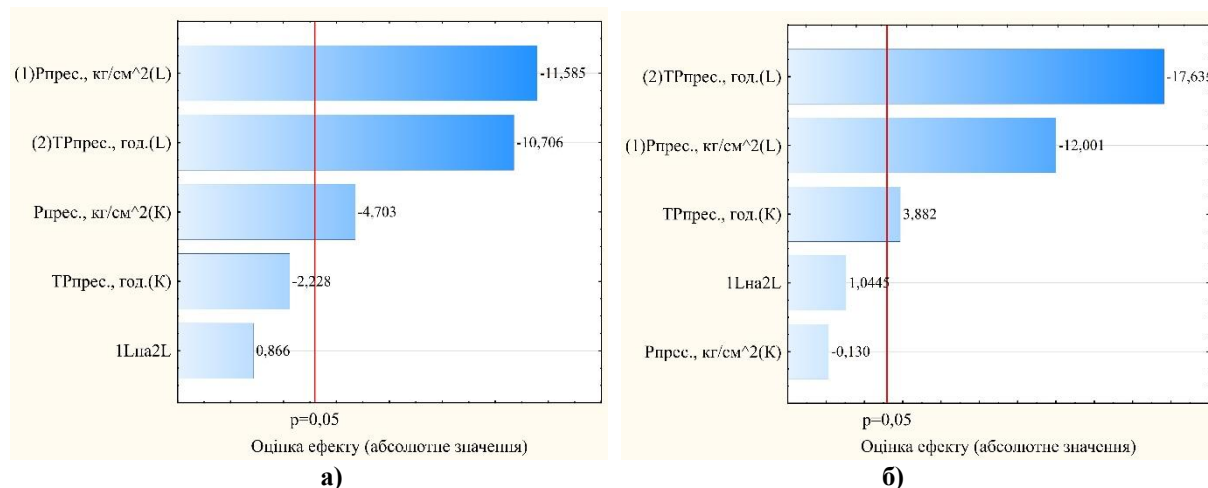


Рис. 3 – Діаграма Парето: а) – для регресії (2); б) – для регресії (3)
Fig. 3. Pareto chart: a) – for regression (2); b) – for regression (3)

На вказаних діаграмах Парето наведено стандартизовані коефіцієнти, які відсортовано за абсолютними значеннями. Аналіз даних рис. 3, а) свідчить, що тривалість пресування квадратична та добуток досліджуваних параметрів у регресії (2) є незначущими, оскільки колонки їх оцінок не перетинають вертикальну лінію, що є 95 %-вою довірчою ймовірністю, тому ці елементи було виключено з регресії (2). Отримане рівняння з розрахованими коефіцієнтами має вигляд:

$$C_{\text{ВОЛ}} = 46,468 + 20,455 \times P_{\text{ПРЕС}} - 10,913 \times P_{\text{ПРЕС}}^2 - 1,553 \times TP_{\text{ПРЕС}} \quad (4)$$

Аналіз даних рис. 3, б) свідчить, що тиск при пресуванні квадратичний та добуток досліджуваних параметрів у регресії (3) є незначущими, тому ці елементи було виключено з регресії (3). Отримане рівняння з розрахованими коефіцієнтами має вигляд:

$$pH = 6,802 - 0,197 \times P_{\text{ПРЕС}} - 0,384 \times TP_{\text{ПРЕС}} + 0,030 \times TP_{\text{ПРЕС}}^2 \quad (5)$$

Адекватність розроблених моделей (4) та (5) перевіряли методом дисперсійного аналізу. Рівень значущості утрати узгодженості для досліджуваних моделей ($p < 0,05$), значення коефіцієнтів детермінації – $R^2 = 0,94875$ і $R^2_{\text{adj}} = 0,92954$ для моделі (4) та $R^2 = 0,94258$ і $R^2_{\text{adj}} = 0,92105$ для моделі (5) – свідчать, що моделі (4) та (5) адекватно описують експеримент.

Описаний поліномами (4) та (5) сукупний вплив тиску та тривалості пресування сиру твердого Pesto Red на масову частку вологи у сирі після пресування та його активну кислотність наведений на рис. 4 та рис. 5 відповідно.

Аналіз даних, наведених на рис. 4, свідчить, що масова частка вологи у сирі твердому Pesto Red зменшується від 49,8 % при тиску 0,9 кг/см² та тривалості пресування 4 год. до 43,3 % при тиску 1,5 кг/см² та тривалості пресування 6 год. Оброблення полінома (4) у програмному пакеті Statistica 10 [8] свідчить, що бажану масову частку вологи у сирі твердому Pesto Red після пресування (45,3–46,8 %) отримуємо за умови пресування сирної маси протягом 5,5–6,0 год. при тиску 1,2–1,3 кг/см².

У процесі пресування в сирній масі продовжується процес розвитку молочнокислої мікрофлори закваски, про що свідчить зниження активної кислотності сирної маси: від 5,73–5,74 од. pH до 5,57 од. pH при пресуванні сиру за тиску 0,9 кг/см² протягом 4 год. та до 5,25 од. pH – при пресування сиру за тиску 1,5 кг/см² протягом 6 год. (рис. 5).

Пресування сиру твердого Pesto Red протягом 5,5–6,0 год. при тиску 1,2–1,3 кг/см² обумовлює досягнення рекомендованого рівня активної кислотності сирної маси – 5,32–5,36 од. рН (рис. 5), що свідчить про нормальне протікання мікробіологічних, ферментативних та біохімічних процесів при пресуванні сиру, тому дані параметри пресування рекомендовано як оптимальні для технології сиру твердого Pesto Red.

Оцінка органолептичних показників сиру твердого Pesto Red після пресування за рекомендованим оптимальним режимом свідчить про отримання продукту з замкнутою поверхнею, щільною текстурою, чистим кисломолочним смаком і ароматом з органічним, збалансованим присмаком та ароматом томатів, базиліку і перцю чилі, світло-червоного кольору з рівномірно розподіленими у сирній масі включеннями базиліку.

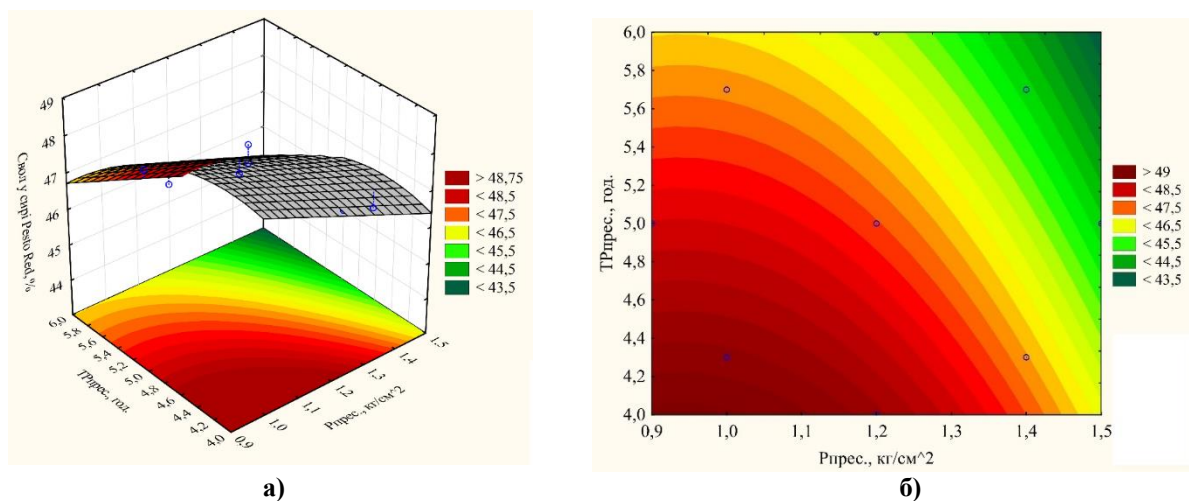


Рис. 4 – Вплив тиску та тривалості пресування сиру твердого Pesto Red на масову частку води у ньому: а) – поверхня відклику; б) – контурних графік

Fig. 4. Influence of pressure and pressing duration of "Pesto Red" hard cheese on its moisture content: а) – response surface; б) – contour plot

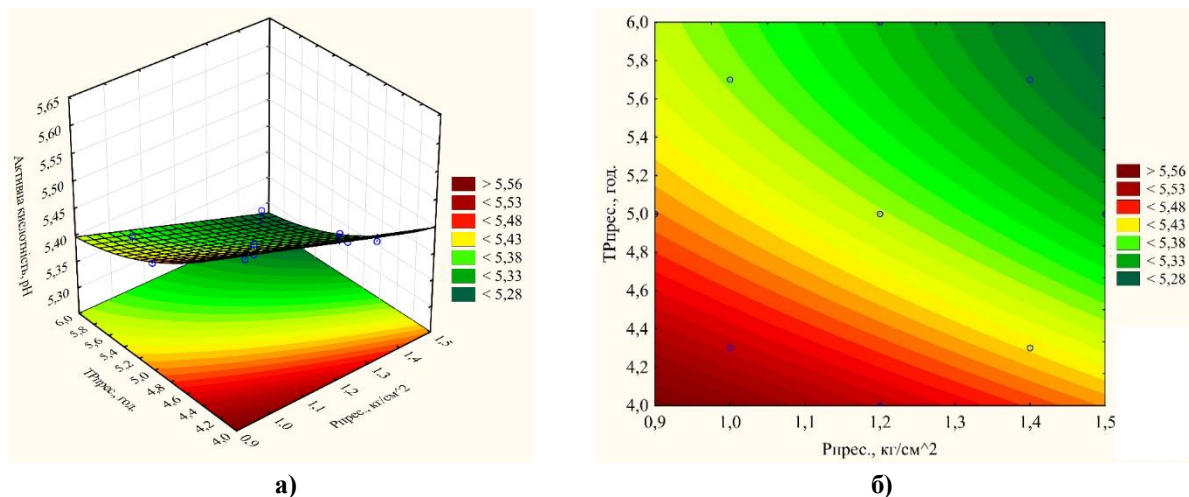


Рис. 5 – Вплив тиску та тривалості пресування сиру твердого Pesto Red на активну кислотність сирної маси: а) – поверхня відклику; б) – контурних графік

Fig. 5. Influence of pressure and pressing duration of "Pesto Red" hard cheese on the pH value of the cheese mass: а) – response surface; б) – contour plot

Важливою технологічною операцією, яка формує органолептичні властивості зрілих сирів, є визрівання [7, 13, 14], тому для оцінки впливу рекомендованих параметрів пресування було визначено показники якості сиру твердого Pesto Red після визрівання. Визрівання сиру здійснювали протягом 2 місяців за ступеневим режимом. Сир твердий Pesto Red після визрівання (рис. 6) характеризувався щільною текстурою з природною тоненькою кірочкою, пластичною консистенцією, виразним сирним

смаком з характерним присмаком і ароматом томатів, базиліку та перцю чилі. Продукт мав інтенсивний червоний колір з рівномірно розподіленими у сирній масі включеннями базиліку та відсутністю рисунка. Масова частка вологи у готовому сирі складала 41,8–42,0 %, активна кислотність – 5,36–5,38 од. рН, масова частка солі кухонної – 1,9–2,0 %, масова частка жиру у сухій речовині сиру – 45,0–45,5 %.



Рис. 6 – Сир твердий Pesto Red після визрівання

Fig. 6. "Pesto Red" hard cheese after ripening

Отримані результати підтвердили коректність обраного режиму пресування сирної маси у технології сиру твердого Pesto Red, оскільки такі параметри забезпечили отримання готового продукту з нормованими фізико-хімічними показниками та унікальними органолептичними характеристиками.

Висновки

1. Визначено вплив параметрів пресування (тривалості та тиску) на вологість, текстуру та активну кислотність твердих сирів з рослинними наповнювачами на прикладі сиру твердого Pesto Red. Показано, що підвищення тиску пресування від 0,9 кг/см² до 1,5 кг/см² та тривалості пресування від 4 год. до 6 год. сприяє покращенню текстури сирної маси, зменшенню масової частки вологи у цільовому продукті від 49,8 % до 43,3 %, а також активної кислотності від 5,57 од. рН до 5,25 од. рН.

2. Доведено вплив рослинних наповнювачів, доданих на етапі обсушування сирного зерна (сухий екстракту томатів, базилік, перцю чилі, куркумін, аннато), на структурно-механічні та органолептичні властивості продукту. Зокрема, дрібнодисперсні частинки сухого екстракту томатів підвищують вологоутримувальну здатність сирної маси, чилі та базилік утворюють мікровключення у матриці білкової сітки, впливаючи на пористість, барвники куркумін та аннато забезпечують характерний колір та специфічні органолептичні властивості продукту. Для одержання сиру твердого Pesto Red з нормованим вмістом вологи у сирній масі необхідно застосовувати підвищений тиск пресування.

3. Розроблено методологію оптимізації параметрів процесу пресування твердих сирів з наповнювачами, які забезпечують однорідність текстури, стабільну вологість, необхідний рівень активної кислотності та рівномірний розподіл добавок у сирній масі та у готовому продукті після визрівання. Оптимізацію тиску та тривалості пресування сирної маси рекомендовано проводити із застосуванням методології поверхні відклику та статистичного аналізу експериментальних даних у програмному середовищі *Statistica 10* (StatSoft, Inc., USA).

4. Верифіковано розроблену методологію на прикладі сиру твердого Pesto Red та визначено оптимальні технологічні параметри: тиск пресування 1,2–1,3 кг/см², тривалість 5,5–6,0 годин, температура 18–20 °С. Зазначені параметри забезпечують отримання цільового продукту після пресування з нормативною масовою часткою вологи (45,3–46,8 %), стабільною активною кислотністю (5,32–5,36 од. рН), щільною текстурою, замкнутою поверхнею, чистим кисломолочним смаком та збалансованим ароматичним профілем із домінуванням нот томатів, базиліку та чилі, а також рівномірним розподілом включень базиліку у світло-червоній сирній масі. Оптимальні параметри пресування забезпечують отримання сиру твердого Pesto Red з нормованими фізико-хімічними показниками та унікальними органолептичними характеристиками після визрівання. Отримані показники підтверджують ефективність розробленої методології.

Література

1. Чагаровський В. Продовольча безпека і молочна галузь України [Електронний ресурс] – Режим посилання <https://uadairy.com/prodovolcha-bezpeka-i-molochna-galuz-ukrayiny/>. Дата звернення 10.11.2025 р.
2. Sergiu Paduret. Textural Evaluation of Milk Products: Instrumental Techniques, Parameters, and Challenges. 2025. *Dairy*. Vol. 6. № 5. 58 p. DOI:[10.3390/dairy6050058](https://doi.org/10.3390/dairy6050058)
3. Protein in Cheese and Cheese Products: Structure-Function Relationships. *Springer*. pp 347–415. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4939-2800-2_14
4. Cristina Anamaria Semeniuc, Mara Mandrioli, Matilde Tura, Beatrice Sabrina Socaci. Impact of Lavender Flower Powder as a Flavoring Ingredient on Volatile Composition and Quality Characteristics of Gouda-Type Cheese during Ripening. *MDPI. Foods*. 2023. Vol. 12. № 8. DOI:[10.3390/foods12081703](https://doi.org/10.3390/foods12081703)
5. Usman Mir Khan, Aysha Sameen, Eric Andrew Decker, Muhammad Asim Shabbir. Implementation of plant extracts for cheddar-type cheese production in conjunction with FTIR and Raman spectroscopy comparison. *Food Chemistry: X*. 2024. Vol. 22. № 3. 13 p. DOI:[10.1016/j.fochx.2024.101256](https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101256)
6. Isabelle Andriot, Chantal Septier, Caroline Peltier, Elodie Noirot. Influence of Cheese Composition on Aroma Content, Release, and Perception. *MDPI. Molecules*. 2024. Vol. 29. № 14. 19 p. DOI:[10.3390/molecules29143412](https://doi.org/10.3390/molecules29143412)
7. Поліщук Г.С., Бовкун А.О., Колесникова С.С. Технологія сиру. Навчальний посібник. К.: НУХТ, 2008. 187 с.
8. 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.
9. Mehmet Çelebi, Bedia Şimşek. Optimization of stretching process for improve the textural characteristics of Kashar cheese. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*. 2023. Vol. 74. № 2. P. 5760-5770. DOI:[10.12681/jhvms.30233](https://doi.org/10.12681/jhvms.30233)
10. Khaled Hassan Abu-Alruz. Effects of milk type, pasteurization, and in-container heating on Nabulsi cheese yield, chemical composition, and texture. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2024. Vol. 18. 19 p. DOI:[10.5219/1909](https://doi.org/10.5219/1909)
11. Samar Shawir, Tesby Lotfy, Reham Kamel, Ahmed E. Khater. Potential Application of Curcumin Nanoemulsions to Preserve Properties of Refrigerated Cheese. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2024. Vol. 59. DOI:[10.1016/j.bcab.2024.103243](https://doi.org/10.1016/j.bcab.2024.103243)
12. Prateek Sharma, Annalisa Segat, Alan L. Kelly, Jeremiah J. Sheehan. Colorants in cheese manufacture: Production, chemistry, interactions, and regulation. *Food Science and Food Safety*. 2019. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12519>
13. Raid Ibrahim El-Metwally, Reham Kamal El-Menawy, Magdy Mohamed Ismail. Correlation between free fatty acids content and textural properties of Gouda cheese supplemented with denatured whey protein paste. *Journal of Food Science and Technology*. 2022. Vol. 60. P. 590-599. DOI:[10.1007/s13197-022-05643-6](https://doi.org/10.1007/s13197-022-05643-6)
14. Lambros Sakkas, Ekaterini Moschopoulou, Golfo Moatsou. Influence of Salting and Ripening Conditions on the Characteristics of a Reduced-Fat, Semi-Hard, Sheep Milk Cheese. *MDPI. Foods*. 2023. Vol. 12. № 24. 15 p. DOI:[10.3390/foods12244501](https://doi.org/10.3390/foods12244501)

METHODOLOGICAL BASIS OF OPTIMIZATION OF PRESSING PARAMETERS OF HARD CHEESES WITH FILLERS ON THE EXAMPLE OF PESTO RED CHEESE

Tkachenko N.A., Doctor of Sciences (Dr. Hab.) in Engineering, Professor,
Telegenko L.M., Doctor of Sciences (Dr. Hab.) in Engineering, Professor, Fesenko D.O., graduate student
Odesa National University of Technology

Abstract. The article develops methodological bases for optimization of pressing parameters of hard cheeses with fillers using response surface methodology and statistical analysis of experimental data in the Statistica 10 software environment (StatSoft, Inc., USA) and verifies the proposed approach on the example of hard cheese Pesto Red.

The influence of pressing parameters (duration and pressure) on moisture, texture and active acidity of hard cheeses with vegetable fillers is determined. It is shown that increasing the pressure from 0.9 to 1.5 kg/cm² and increasing the pressing duration from 4 to 6 hours contributes to improving the texture of the cheese mass, reducing the mass fraction of moisture in the target product from 49.8% to 43.3% and a decrease in active acidity from 5.57 to 5.25 units. pH. The effect of vegetable fillers (dry tomato extract, basil, chili pepper, curcumin, annatto), introduced at the stage of drying the cheese grain, on the structural, mechanical and organoleptic

properties of the product has been proven.

It has been established that to obtain hard Pesto Red cheese with a normalized moisture content in the cheese mass, it is necessary to apply increased pressing pressure, since finely dispersed particles of tomato extract are able to retain moisture, and basil and chili form microinclusions in the protein matrix. A methodology for optimizing the pressing parameters of hard cheeses with fillers has been developed, which ensures a uniform texture, a stable mass fraction of moisture, the required level of active acidity and a uniform distribution of additives in the cheese mass.

The optimal parameters of the pressing process have been determined: pressure 1.2–1.3 kg/cm², duration 5.5–6.0 hours, temperature 18–20 °C. The use of the recommended parameters allows to obtain a product after pressing with a normalized mass fraction of moisture (45.3–46.8%), stable active acidity (5.32–5.36 pH units), dense texture, closed surface, pure sour milk taste and harmonious aromatic profile with the dominance of notes of tomatoes, basil and chili, as well as uniform distribution of basil inclusions in the light red cheese mass.

Optimal pressing parameters ensure the production of hard cheese Pesto Red with normalized physicochemical parameters and a unique organoleptic profile after ripening, which confirms the effectiveness of the developed methodology.

Keywords: hard cheese; Pesto Red; pressing; pressing pressure; pressing duration; mass fraction of moisture; active acidity; vegetable fillers; physicochemical and organoleptic parameters; optimization; response surface.

References

1. Chagarovs'kyj, V. Prodovol'cha bezpeka i molochna galuz` Ukrainy` [Elektronnyj resurs]. Rezhy'm po-sy'lan'nya <https://uadairy.com/prodovolcha-bezpeka-i-molochna-galuz-ukrayiny/>. Data zvernennya 10.11.2025 r.
2. Sergiu Paduret. (2025) Textural Evaluation of Milk Products: Instrumental Techniques, Parameters, and Challenges. *Dairy*. 6(5). 58. DOI:[10.3390/dairy6050058](https://doi.org/10.3390/dairy6050058)
3. Protein in Cheese and Cheese Products: Structure-Function Relationships. *Springer*. pp 347–415. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4939-2800-2_14
4. Cristina Anamaria Semeniuc, Mara Mandrioli, Matilde Tura, Beatrice Sabrina Socaci. (2023). Impact of Lavender Flower Powder as a Flavoring Ingredient on Volatile Composition and Quality Characteristics of Gouda-Type Cheese during Ripening. *MDPI. Foods*. 12(8). DOI:[10.3390/foods12081703](https://doi.org/10.3390/foods12081703)
5. Usman Mir Khan, Aysha Sameen, Eric Andrew Decker, Muhammad Asim Shabbir. (2024). Implementation of plant extracts for cheddar-type cheese production in conjunction with FTIR and Raman spectroscopy comparison. *Food Chemistry: X*. 22(3). 13. DOI:[10.1016/j.fochx.2024.101256](https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101256)
6. Isabelle Andriot, Chantal Septier, Caroline Peltier, Elodie Noirot. (2024). Influence of Cheese Composition on Aroma Content, Release, and Perception. *MDPI. Molecules*. 29(14). 19. DOI:[10.3390/molecules29143412](https://doi.org/10.3390/molecules29143412)
7. Polishhuk, G.Ye., Bovkun, A.O., Kolesnykova, S.S. (2008). *Texnologiya sy`ru. Navchal'nyj posibny`k. K.: NUXT*. 187.
8. 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.
9. Mehmet Çelebi, Bedia Şimşek. (2023). Optimization of stretching process for improve the textural characteristics of Kasha cheese. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*. 74(2). 5760-5770. DOI:[10.12681/jhvms.30233](https://doi.org/10.12681/jhvms.30233)
10. Khaled Hassan Abu-Alruz. (2024). Effects of milk type, pasteurization, and in-container heating on Nabulsi cheese yield, chemical composition, and texture. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 18. 19. DOI:[10.5219/1909](https://doi.org/10.5219/1909)
11. Samar Shawir, Tesby Lotfy, Reham Kamel, Ahmed E. Khater. (2024). Potential Application of Curcumin Nanoemulsions to Preserve Properties of Refrigerated Cheese. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 59. DOI:[10.1016/j.bcab.2024.103243](https://doi.org/10.1016/j.bcab.2024.103243)
12. Prateek Sharma, Annalisa Segat, Alan L. Kelly, Jeremiah J. Sheehan. (2019). Colorants in cheese manufacture: Production, chemistry, interactions, and regulation. *Food Science and Food Safety*. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12519>
13. Raid Ibrahim El-Metwally, Reham Kamal El-Menawy, Magdy Mohamed Ismail. (2022). Correlation between free fatty acids content and textural properties of Gouda cheese supplemented with denatured whey protein paste. *Journal of Food Science and Technology*. 60. 590-599. DOI:[10.1007/s13197-022-05643-6](https://doi.org/10.1007/s13197-022-05643-6)
14. Lambros Sakkas, Ekaterini Moschopoulou, Golfo Moatsou. (2023). Influence of Salting and Ripening Conditions on the Characteristics of a Reduced-Fat, Semi-Hard, Sheep Milk Cheese. *MDPI. Foods*. 12(24). 15. DOI:[10.3390/foods12244501](https://doi.org/10.3390/foods12244501)

Отримано в редакцію 22.07.2025

Прийнято до друку 02.09.2025

Розміщено в інтернеті 29.12.2025

Received 22.07.2025

Approved 02.09.2025

Available in Internet 29.12.2025