

DETERMINATION OF OPTIMAL PARAMETERS OF RIPENING PROCESS IN THE PRODUCTION OF LOW-FAT SOUR MILK ICE CREAM WITH OAT B-GLUCAN

A. Mykhalevych, G. Polischuk, T. Osmak, U. Kuzmyk

National University of Food Technologies

Key words:

Whey ice cream

Mixes

Dynamic viscosity,

Ripening

β -glucan

Composition optimization

Article history:

Received 15.09.2022

Received in revised form

30.09.2022

Accepted 14.10.2022

Corresponding author:

G. Polischuk

E-mail:

milknuft@i.ua

ABSTRACT

The chemical composition of low-fat and fat-free ice cream, in particular, based on whey, is significantly different from traditional types of this product, which is associated with the low viscosity of the mixes during ripening and, as a result, the appearance of defects in the consistency and taste of the finished product.

This problem can be solved by using natural technological and functional additives of plant origin, which have moisture-binding and structuring ability, in the composition of ice cream.

The purpose of the research was to determine the optimal technological parameters of the ripening process of fat-free ice cream mixes with varying oat β -glucan content.

A significant influence on the ripening process of fat-free ice cream mixtures was determined by the temperature of the sour-milk mixes, the duration of ripening, and the mass fraction of oat β -glucan. According to the defined parameters, a full-factorial experiment was conducted. The adequacy of the obtained regression equation, which describes the dependence of the dynamic viscosity of ice cream mixes of fat-free sour-milk mix on the variable conditions of their ripening process, was proved. According to this equation, response surfaces were constructed and lines of constant values of the response function were obtained in the Mathcad 15 mathematical medium, confirming the significant influence of the determined parameters of the ripening process on the dynamic viscosity of ice cream mixes.

Using the steep ascent method, the optimal parameters of the ripening process and the composition of the ice cream mix were determined: the mass fraction of oat β -glucan — 0,5...0,6%, the temperature of the mix — 2...3 °C, the duration of ripening — 4...4,5 hours. Adherence to the specified technological parameters increases the dynamic viscosity of the non-fat ice cream mix in the given range of values, which ensures the proper structuring of the mixes and the formation of a creamy and stable ice cream structure during freezing.

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ВИЗРІВАННЯ СУМІШЕЙ НЕЖИРНОГО КИСЛОМОЛОЧНОГО МОРОЗИВА З В-ГЛЮКАНОМ ВІВСА

А. П. Михалевич, Г. Є. Поліщук, Т. Г. Осьмак, У. Г. Кузьмик

Національний університет харчових технологій

Хімічний склад низькожирного та нежирного морозива, зокрема на основі сироватки, суттєво відрізняється від традиційних видів цього продукту, що пов'язано з низькою в'язкістю сумішей під час визрівання та, як наслідок, виникненням вад консистенції і смаку готового продукту.

Вказана проблема може бути вирішена за рахунок використання у складі морозива натуральних функціонально-технологічних добавок рослинного походження, що володіють вологозв'язувальною і структуруюючою здатністю.

Мета проведеного дослідження — визначення оптимальних технологічних параметрів процесу визрівання сумішей нежирного морозива за варійованого вмісту β -глюкану вівса.

Визначено суттєвий вплив на процес визрівання сумішей нежирного морозива кислomолочного температури суміші, тривалості визрівання та масової частки β -глюкану вівса. Відповідно до визначених параметрів проведений повнофакторний експеримент. Доведено адекватність отриманого рівняння регресії, що описує залежність динамічної в'язкості сумішей морозива нежирного кислomолочного від змінних умов процесу їх визрівання. Відповідно до цього рівняння побудовано поверхні відгуку та одержано лінії постійних значень функції відгуку в математичному середовищі Mathcad 15, що підтверджують суттєвий вплив визначених параметрів процесу визрівання на динамічну в'язкість сумішей морозива.

За допомогою методу крутого сходження визначено оптимальні параметри процесу визрівання і складу суміші морозива: масова частка β -глюкану вівса — 0,5...0,6%, температура суміші — 2...3 °С, тривалість визрівання — 4...4,5 год. Дотримання визначених технологічних параметрів підвищує динамічну в'язкість суміші нежирного морозива в заданому діапазоні значень, що забезпечує належне структуроутворення сумішей і формування кремподібної та стійкої структури морозива під час фризювання.

Ключові слова: сироваткове морозиво, суміші, динамічна в'язкість, визрівання, β -глюкан, оптимізація складу.

Постановка проблеми. Одним із основних процесів у виробництві морозива є визрівання сумішей. Під час цього процесу в сумішах проходять фізико-хімічні зміни складових компонентів системи, зокрема відбувається кристалізація молочного жиру, білки молока і стабілізаційна система в процесі витримки набухають і поглинають вологу, що структурує суміші, запобігає утворенню великих кристалів льоду в процесі заморожування і підвищує збитість морозива.

β -глюкан вівса є натуральною добавкою рослинного походження з вираженими функціонально-технологічними властивостями, такими як висока піноутво-

рююча, емульгуюча, вологозв'язуюча, жиро- та вологоутримуюча здатності, що може ефективно запобігати виникненню вад низькожирного морозива. Зокрема, відомо про здатність β -глюкану вівса стримувати ріст кристалів льоду і, як наслідок, запобігати утворенню грубокристалічної структури морозива, загущувати суміші морозива під час визрівання, що безперечно впливатиме на тривалість цього процесу (Aljewicz, Majcher, & Nalepa, 2020). Саме тому введення до рецептурного складу нежирного кисломолочного морозива β -глюкану вівса вимагає додаткового дослідження його впливу на процес визрівання сумішей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. (1,3; 1,4)- β -d-глюкан відноситься до групи полісахаридів β -d-глюкози (глюканів), що зустрічаються в природі в клітинних стінках злаків (овес, ячмінь), бактерій, грибів і дріжджів (Shoukat, & Sorrentino, 2021). Їх використовують як структуроутворюючі агенти в косметичній, нутріцевтичній (Ahmad, & Ahmed, 2016) і харчовій галузях (Kaur, Sharma, Ji, Xu, & Agyei, 2019; Havrlentová et al., 2011). Хімічна структура (1,3; 1,4)- β -d-глюкану представлена на рис. 1.

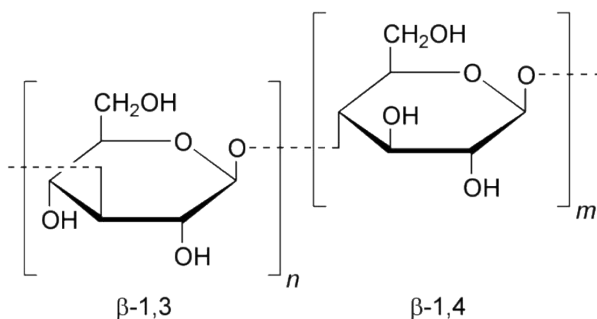


Рис. 1. Хімічна структура (1,3; 1,4)- β -d-глюкану (Du, Meenu, Liu, & Xu, 2019)

β -глюкани злаків, зокрема вівса, являють собою лінійні полісахариди, що з'єднанні 1,3- і 1,4-вуглецевими зв'язками. β -глюкани вівса здатні утворювати структуру, схожу на скупчення кластерів до моменту досягнення критичної концентрації, що робить їх пластичними (Henrion, Francey, Lê, & Lamothe, 2019; Fan, Ma, Zhou, Yuan, & Cao, 2019). Саме це явище обумовлює структуроутворюючі властивості β -глюкану вівса, що є доволі перспективними для його застосування у виробництві морозива.

Дані наукової літератури щодо рекомендованих значень динамічної в'язкості сумішей морозива досить суперечливі та коливаються в діапазоні 100...800 мПа·с (Goff, & Hartel, 2013; Amador, Hartel, & Rankin, 2017). Водночас мінімально рекомендованими величинами коефіцієнта динамічної в'язкості сумішей морозива є 140...145 мПа·с (Mykhalevych, Sapiga, Polishchuk, & Osmak, 2022).

Густина сумішей морозива пов'язана з його хімічним складом. У виробництві нежирного кисломолочного морозива досягнення такого значення коефіцієнта динамічної в'язкості, зазвичай, є складним завданням за низького вмісту сухих речовин, зокрема білка та мінеральних солей (Polishchuk, 2021; Voronin, Roberts, Felix, Coupland, & Harte, 2020; Osmak, Mleko, Bass, Mykhalevych, & Kuzmyk, 2021;

Rolon, Bakke, Coupland, Hayes, & Roberts, 2017; Pintor, Severiano-Pérez, & Totosa-us, 2014). За результатами попередніх досліджень функціональних і технологічних властивостей β -глюкану вівса встановлено, що за вираженої стабілізуючої здатності його доцільно застосовувати в технології морозива з низьким вмістом жиру (Sapiga, Polischuk, Buniowska, Shevchenko, & Osmak, 2021). За своєю хімічною будовою β -глюкан вівса наближений до камедей (гуарової, ріжкового дерева тощо), що використовуються як стабілізатори або компоненти стабілізаційних систем у технології різних видів морозива (Wang, & Ellis, 2014; Silva et al., 2021; Anttila, Sontag-Strohm, & Salovaara, 2004). Саме тому його застосування в рецептурному складі нежирного кисломолочного морозива може зменшити потребу в традиційних стабілізаторах (Mykhalevych, Sapiga, Polischuk, & Osmak, 2022) та збагатити продукт харчовою клітковиною (Burkus, & Temelli, 2000). З метою дослідження впливу β -глюкану на процес визрівання морозива та його взаємодії з іншими показниками (температура суміші, тривалість визрівання) було вирішено провести повнофакторний експеримент, що дасть змогу найбільш якісно визначити оптимальні параметри.

Мета дослідження: визначення оптимальної дози β -глюкану вівса та вплив цього полісахариду на технологічні параметри процесу визрівання сумішей нежирного морозива.

Матеріали і методи. Склад сумішей морозива нежирного ацидофільно-сироваткового обумовлений такими характеристиками:

- масова частка сухих речовин — 39,61%, з них цукру — 9%, концентрату демінералізованої сироватки гідролізованого — 30%, у тому числі білків — 3,3%;
- масова частка β -глюкану вівса на рівні 0,1...0,9%, що співвідноситься з рекомендаціями щодо його дозування в молочних продуктах, зокрема морозиві та заморожених десертах (Shibani, Asadollahi, Eshaghi, 2021; Aljewicz, Majcher, & Nalera, 2020).

Оптимізацію технологічних параметрів визрівання сумішей нежирного морозива проводили за загальновідомим методом крутого сходження (Осьмак, Скорченко, & Касьянова, 2011; Goots, Yushchenko, & Kuzmyk, 2018).

Кількість дослідів для повнофакторного експерименту розраховували за формулою (1):

$$N = 2^n, \tag{1}$$

де N — кількість дослідів; n — число факторів.

Значення факторів для верхнього і нижнього рівнів розраховували за формулами (2), (3):

$$C_i^+ = C_{io} + \lambda_i; \tag{2}$$

$$C_i^- = C_{io} - \lambda_i, \tag{3}$$

де C_i^+ , C_i^- і C_{io} — значення фактора в натуральних величинах, відповідно, на верхньому, нижньому та нульовому рівні; λ_i — інтервал варіювання фактора; i — номер фактора.

Перевірку відтворюваності результатів експерименту проводили за допомогою оцінки дисперсій за формулою (4):

$$S_{yj}^2 = \frac{\sum_{l=1}^m (y_{jl} - y_{сep})^2}{m-1}. \quad (4)$$

Для перевірки гіпотези про однорідність оцінок дисперсій використовували критерій Кохрена, який визначається як відношення максимальної оцінки дисперсій до суми всіх дисперсій за формулою (5):

$$Gp = \frac{S_y^2 \max}{\sum_{j=1}^N S_{yj}^2}. \quad (5)$$

Коефіцієнти рівняння регресії розраховували за формулами (6), (7):

$$b_0 = \frac{\sum y_u}{N}; \quad (6)$$

$$b_i = \frac{\sum x_{iu} y_u}{N}. \quad (7)$$

Середню для всього експерименту дисперсію відтворюваності середнього значення процесу обчислювали за формулою (8):

$$S_y^2 = \frac{S_y^2}{m}. \quad (8)$$

Дисперсія коефіцієнтів рівняння регресії була визначена за формулою (9):

$$S_{bi}^2 = \frac{S_y^2}{N}. \quad (9)$$

Загальна помилка коефіцієнтів рівняння регресії була визначена за формулою (10):

$$S_{bi} = \sqrt{S_{bi}^2}. \quad (10)$$

Оцінку дисперсії адекватності знаходили за формулою (11):

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{N-d} \sum_{j=1}^N (y_{екc} - y_p)^2. \quad (11)$$

Перевірку гіпотези про адекватність проводили з використанням критерію Фішера за формулою (12):

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2}. \quad (12)$$

Статистична обробка даних і побудова графіків поверхні та контуру була проведена за допомогою інженерно-математичної програми Mathcad 15 (MathSoft, Inc.).

Викладення основних результатів дослідження. Для визначення оптимальних параметрів визрівання суміші нежирного кисломолочного морозива було проведено системний аналіз досліджуваної технології морозива, що дало змогу розробити параметричну схему підсистеми визрівання суміші морозива (рис. 2).

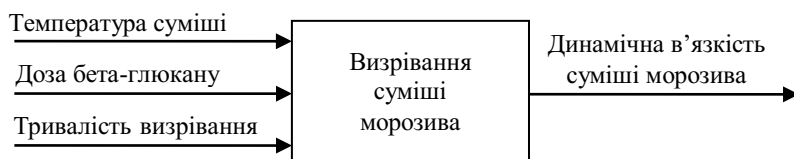


Рис. 2. Параметрична схема підсистеми визрівання суміші морозива

Факторами, що мають суттєвий вплив на процес визрівання суміші морозива, були прийняті: температура визрівання (X_1), тривалість визрівання (X_2) та масова частка бета-глюкану (X_3) (табл. 1). Як критерії оптимальності було прийнято діапазон значень динамічної в'язкості на рівні 144...146 мПа·с.

Таблиця 1. Фактори, що суттєво впливають на процес визрівання морозива

Фактор	Одиниці вимірювання	Нульовий рівень	Інтервал варіювання	Верхній рівень «+»	Нижній рівень «-»
X_1 (t)	°C	5	2	10	0
X_2 (τ)	год	5	1	8	2
X_3 (мч)	%	0,5	0,2	0,9	0,1

Для полегшення оцінювання даних трифакторного експерименту дійсні значення змінних були переведені в кодовані. Результати перевірки відтворюваності результатів експерименту наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Матриця планування експерименту в кодованих змінних та отримані результати

№ досліду	Значення фактора (X)			Середнє значення оптимізації ($v_{сер}$)	Оцінка дисперсії ($S_{y_j}^2$)	Критерій Кохрена	Загальна дисперсія відтворюваності (S_y^2)
	X_1	X_2	X_3				
1	-	-	-	141,2	1,33	0,31	1,62
2	+	-	-	143,1	0,45		
3	-	+	-	141,9	0,44		
4	+	+	-	148,5	1,79		
5	-	-	+	143,1	3,12		
6	+	-	+	144,2	0,45		
7	-	+	+	150,4	1,33		
8	+	+	+	149,3	4,01		

Оскільки обчислене значення Кохрена (табл. 2) є меншим за табличне ($G_{табл.} = 0,516$), то виконується рівність $G_p < G_{табл.}$, а отже, гіпотеза про однорідність дисперсій підтверджується. Це означає, що відмінність між дисперсіями відсутня.

Для руху до точки оптимуму за результатами факторного експерименту можна одержати опис досліджуваної системи чи процесу у вигляді поліноміального рівняння регресій (Guo, & Mettas, 2010). Відповідно до матриці експерименту вво-

дяться додаткові допоміжні стовпчики, що дає змогу розрахувати коефіцієнти рівняння регресії (табл. 3).

Таблиця 3. Обчислені коефіцієнти рівняння регресії

Коефіцієнт	Значення коефіцієнта	Значимість
b_0	145,207	Значущий
b_1	1,061	Значущий
b_2	2,314	Значущий
b_3	1,543	Значущий
b_{12}	0,290	Незначущий
b_{23}	0,771	Значущий
b_{13}	-1,061	Значущий
b_{123}	-0,868	Значущий

Коефіцієнти рівняння регресії (табл. 3) вважають значимими, якщо виконується така нерівність:

$$|b_i| > t \sqrt{S_{bi}^2}, \quad (13)$$

де t – критерій Стьюдента, що визначається за довідковими таблицями ($t = 2,2$). Це дає змогу знехтувати факторами X_{12} . Рівняння регресії в кодованій формі має такий вигляд:

$$y = 145,207 + 1,061_{x1} + 2,314_{x2} + 1,543_{x3} + 0,771_{x2x3} - 1,061_{x1x3} - 0,868_{x1x2x3}.$$

Перевірку гіпотези про адекватність рівняння регресії проводять з використанням критерію Фішера. Розраховане значення становить 1,25, тобто виконується нерівність $F_p < F_{табл.}$, що підтверджує адекватність отриманого рівняння регресії досліджуваного процесу.

Відповідно до отриманого рівняння регресії було отримано поверхні і лінії рівня в математичному середовищі Mathcad 15 (рис. 3—5).

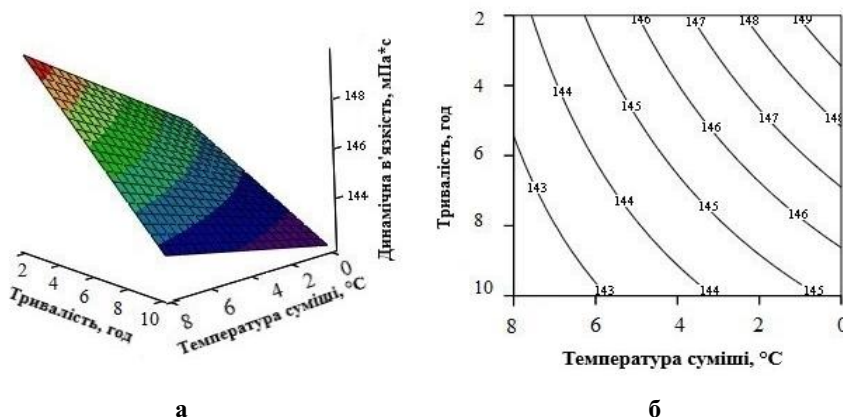


Рис. 3. Вплив тривалості і температури визрівання на в'язкість суміші морозива:
а — графік поверхні; б — графік контуру

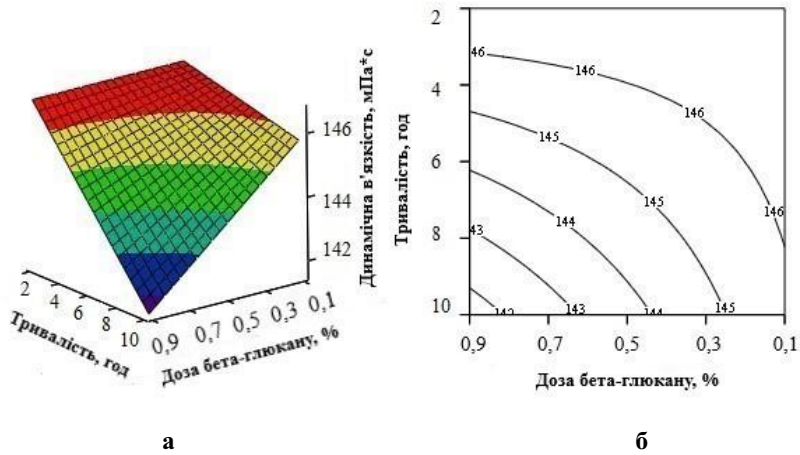


Рис. 4. Вплив дози β -глюкану вівса і температури визрівання на в'язкість суміші морозива: а — графік поверхні, б — графік контуру

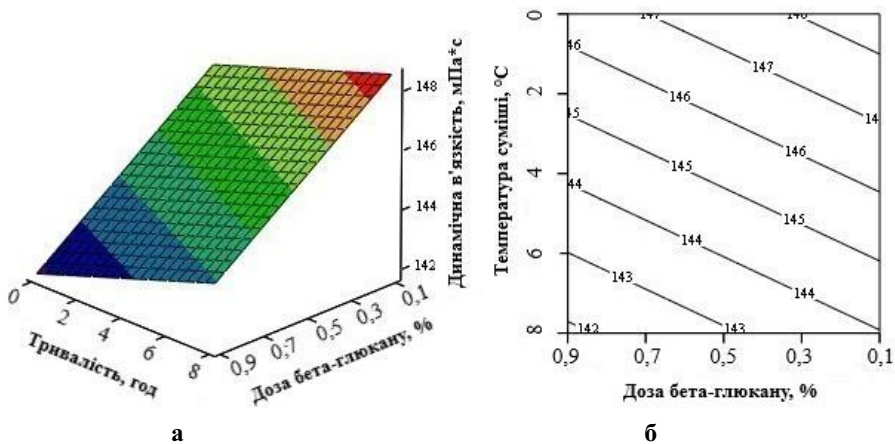


Рис. 5. Вплив дози β -глюкану вівса і температури визрівання на в'язкість сумішей морозива: а — графік поверхні, б — графік контуру

Для встановлення оптимальних параметрів процесу визрівання складаємо програму крутого сходження за методом Бокса-Вілсона (табл. 4).

Таблиця 4. Програма крутого сходження

Назва	Фактори	
	$x_1, ^\circ\text{C}$	$x_2, \%$
Інтервал варіювання, λ_i	2	0,2
Коефіцієнт, β_i	3,803	4,667
Добуток, $\lambda_i\beta_i$	7,606	0,933
Інтервал, α_i	1	2,045
Крок крутого сходження, h_i	1	2

За програмою кругого сходження були проведені додаткові дослідження, в результаті яких вдалося отримати оптимальні значення процесу визрівання (табл. 5).

Таблиця 5. Матриця планування експерименту

Номер досліджу	Фактори оптимізації		Критерій оптимізації, динамічна в'язкість, мПа·с
	x ₂ , °C	x ₃ , %	
1	2	0,3	144
2	4	0,5	145
3	6	0,7	146

Отже, оптимальні значення такі: температура — 2...3 °C, кількість бета-глюкану — 0,5...0,6%. Відомо, що максимальна тривалість визрівання сумішей морозива за температури 0...6 °C не повинна перевищувати 24 год, в той час як мінімальною є 2 год, а рекомендованою — 4 год, що узгоджується з отриманими даними (табл. 5). Водночас зменшення тривалості визрівання до двох годин можливе за збільшення дози β-глюкану, що залежить від ступеня очищення добавки (Ahmad, & Ahmed, 2016) та може суттєво впливати на якісні показники морозива, а тому потребує додаткових наукових досліджень.

Висновки

За допомогою математичного методу моделювання одержано рівняння регресії, що описує закономірності процесу визрівання суміші низькожирного кисломолочного морозива та є адекватним, оскільки виконується умова $F_p < F_{табл}$ ($1,25 < 3,01$).

Аналіз математичної моделі підтвердив вплив дози внесення β-глюкану вівса, температури суміші й тривалості визрівання на динамічну в'язкість морозива.

Визначено оптимальні параметри процесу визрівання і складу суміші: масова частка β-глюкану вівса — 0,5...0,6 %, температура суміші — 2...3 °C, тривалість визрівання — 4...4,5 год.

Література

- Осьмак, Т. Г., Скорченко, Т. А., Касьянова Н. О. (2011). Оптимізація рецептурного складу морозива «Сирок». *Харчова промисловість*, 10—11, 96—101.
- Ahmad, A., Ahmed, Z. (2016). 11 — Nutraceutical aspects of β-glucan with application in food products. *Nanotechnology in the Agri-Food Industry*, 2016, 387—425. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804305-9.00011-7>.
- Aljewicz, M., Majcher, M., Nalepa, B. (2020). A Comprehensive Study of the Impacts of Oat β-Glucan and Bacterial Curdlan on the Activity of Commercial Starter Culture in Yogurt. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 25 (22), 5411. <https://doi.org/10.3390/molecules25225411>.
- Amador, J., Hartel, R., Rankin, S. (2017). The Effects of Fat Structures and Ice Cream Mix Viscosity on Physical and Sensory Properties of Ice Cream. *J. Food Sci.*, 82, 1851—1860.
- Anttila, H., Sontag-Strohm, T., Salovaara, H. (2004). Viscosity of beta-glucan in oat products. *Agricultural and Food Science*, 13 (1—2), 80—87. <https://doi.org/10.2137/1239099041838012>.
- Burkus, Z., Temelli, F. (2000). Stabilization of emulsions and foams using barley β-glucan. *Food Research International*, 33, 27—33. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00020-X](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00020-X).

- Catalkaya, E. C., Sengül, F. (2006). Application of Box-Wilson experimental design method for the photodegradation of bakery's yeast industry with UV/H₂O₂ and UV/H₂O₂/Fe(II) process. *Journal of hazardous materials*, 128 (2—3), 201—207. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.07.052>.
- Du, B., Meenu, M., Liu, H., Xu, B. (2019). A Concise Review on the Molecular Structure and Function Relationship of β -Glucan. *International journal of molecular sciences*, 20 (16), 4032. <https://doi.org/10.3390/ijms20164032>.
- Fan, R., Ma, P., Zhou, D., Yuan, F., Cao, X. (2019). The properties and formation mechanism of oat β -glucan mixed gels with different molecular weight composition induced by high-pressure processing. *PLOS ONE*, 14 (12), e0225208. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225208>.
- Goff, H. D., Hartel, R. W. (2013). *Ice Cream*. Springer: Boston, MA, USA.
- Goots, V., Yushchenko, N., Kuzmyk U. (2018). Development of mathematic model of spiced sour-milk pastas quality. *Food and Environment Safety*, 2, 224—232.
- Guo, H., Mettas, A. (2010). Design of experiments and data analysis. In *2012 Annual Reliability and Maintainability Symposium*.
- Havrlentová, M., Petruláková, Z., Burgárová, A., Gago, F., Hlinková, A., Šturdík, E. (2011). β -glucans and their significance for the preparation of functional foods — a review. *Czech J. Food Sci.*, 29, 1—14.
- Henrion, M., Francey, C., Lê, K. A., Lamothe, L. (2019). Cereal B-Glucans: The Impact of Processing and How It Affects Physiological Responses. *Nutrients*, 11 (8), 1729. <https://doi.org/10.3390/nu11081729>.
- Kaur, R., Sharma, M., Ji, D., Xu, M., Agyei, D. (2019). Structural Features, Modification, and Functionalities of Beta-Glucan. *Fibers*, 8 (1), 1. <https://doi.org/10.3390/fib8010001>.
- Mykhalevych, A., Sapiga, V., Polischuk, G., Osmak, T. (2022). Functional and technological properties of oat beta-glucan in acidophilic-whey ice cream. *Food and Environment Safety*, 21 (2), 116—128. <https://doi.org/10.4316/fens.2022.012>.
- Osmak, T., Mleko, S., Bass, O., Mykhalevych, A., Kuzmyk, U. (2021). Enzymatic hydrolysis of lactose in concentrates of reconstituted demineralized whey, intended for ice cream production. *Ukrainian Food Journal*, 10 (2), 277—288. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2021-10-2-6>.
- Pintor, A., Severiano-Pérez, P., Totosaus, A. (2014). Optimization of fat-reduced ice cream formulation employing inulin as fat replacer via response surface methodology. *Food science and technology international. Ciencia y tecnología de los alimentos internacional*, 20 (7), 489—500. <https://doi.org/10.1177/1082013213493100>.
- Polishchuk, G., Kochubei-Lytvynenko, O., Osmak, T., Kuzmyk, U., Bass, O., Mykhalevych, A., Sapiga, V. (2021). Scientific explanation of composition of acidophilic-whey ice cream, enriched with protein. *Food and Environment Safety Journal*, 20 (1), 13—20. <https://doi.org/10.4316/fens.2021.002>.
- Rolon, M. L., Bakke, A. J., Coupland, J. N., Hayes, J. E., Roberts, R. F. (2017). Effect of fat content on the physical properties and consumer acceptability of vanilla ice cream. *Journal of dairy science*, 100 (7), 5217—5227. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12379>.
- Sapiga, V., Polischuk, G., Buniowska, M., Shevchenko, I., Osmak, T. (2021). Polyfunctional properties of oat β -glucan in the composition of milk-vegetable ice cream. *Ukrainian Food Journal*, 691. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2021-10-4-5>.
- Shibani, F., Asadollahi, S., Eshaghi, M. (2021). The effect of beta-glucan as a fat substitute on the sensory and physico-chemical properties of low-fat ice cream, *Journal of Food Safety and Processing*, 1 (1), 71—84.
- Shoukat, M., Sorrentino, A. (2021). Cereal β -glucan: a promising prebiotic polysaccharide and its impact on the gut health. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 56, 2088—2097. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14971>.
- Silva, I. M. V., Machado, F., Moreno, M. J., Nunes, C., Coimbra, M. A., Coreta-Gomes, F. (2021). Polysaccharide Structures and Their Hypocholesterolemic Potential. *Molecules*, 26 (15), 4559. <https://doi.org/10.3390/molecules26154559>.

Voronin, G. L., Roberts, R., Felix, T. L., Coupland, J. N., Harte, F. M. (2020). Effect of high-pressure-jet processing on the physiochemical properties of low-fat ice cream mix. *Journal of dairy science*, 103 (7), 6003—6014. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17814>.

Wang, Q., Ellis, P. (2014). Oat β -glucan: Physico-chemical characteristics in relation to its blood-glucose and cholesterol-lowering properties. *British Journal of Nutrition*, 112 (S2), 4—13. <https://doi.org/10.1017/S0007114514002256>.