

UDC 664.661.64.016.8

Юлія Бондаренко, Галина Андронович, Олена Білик, Оксана Кочубей-Литвиненко

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАМОЧУВАННЯ НАСІННЯ ЛЬОНУ
ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПШЕНИЧНОГО ХЛІБА

Yuliia Bondarenko, Galina Andronovich, Olena Bilyk, Oksana Kochubei-Lytvynenko

OPTIMIZING THE PARAMETERS OF SOAKING FLAX SEEDS
FOR THE PRODUCTION OF WHEAT BREAD

DOI: 10.58407/bht.3.22.9

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© Бондаренко, Ю., Андронович, Г., Білик, О., Кочубей-Литвиненко О., 2022

АНОТАЦІЯ

Збагачення хлібобулочних виробів насінням льону зумовлює покращання фізіологічних властивостей виробів, однак часто супроводжується погіршенням органолептичних та фізико-хімічних показників якості, що потребує проведення подальших досліджень щодо розроблення технологічних заходів та рекомендацій для отримання виробів з хорошими споживчими властивостями. Таким технологічним заходом є попереднє замочування насіння льону. Використовуючи методику експериментально-статистичного моделювання для вирішення задач типу «Технологія – властивість» здійснили оптимізацію параметрів замочування насіння льону.

У роботі використовували насіння жовтонасіневого сорту льону олійного «Світлозір». Дозування насіння льону у рецептурі пшеничного хліба становило 15 % до маси борошна. Контрольним був зразок тіста з додаванням сухого насіння льону, дослідний зразок тіста замішували з додаванням попередньо замоченого насіння льону. За допомогою симплекс-центроїдних планів Шеффе в середовищі математичного пакету MathCad15 встановлено оптимальні параметри замочування насіння льону, застосування яких сприяє підвищенню питомого об'єму виробів та покращанню стану їх м'якушки.

Мета статті. Встановити оптимальні параметри замочування насіння льону у технології пшенично-ляного хліба.

Методологія. Для проведення досліджень використовували органолептичні та фізико-хімічні методи досліджень. Моделювання та обробка експериментальних даних виконувалися за допомогою математичного пакету MathCad та «Аналізу даних» (ET) MS Excel.

Наукова новизна. Методом експериментально-статистичного моделювання вперше встановлено параметри операції замочування насіння льону у виготовлені пшеничного хліба: гідромодуль 3, температура води для замочування 60 °С, тривалість замочування 120 або 150 хв. Вивченням мікроструктури тіста вперше встановлено, що збільшення питомого об'єму хліба у разі застосування замоченого насіння льону досягається завдяки тому що екстраговані у рідку фазу водорозчинні полісахариди насіння льону під час замішування тіста проявляють структуроутворювальні властивості, формуючи у тістовій системі розвинену просторову структуру.

Висновки. На підставі експериментальних досліджень та оптимізації технологічного процесу було встановлено, що у разі використання насіння льону у виробництві пшеничного хліба доцільно застосовувати операцію замочування насіння льону за таких параметрів: гідромодуль – 3, температура води для замочування – 60°С, тривалість замочування – 120 або 150 хв. За результатами пробного лабораторного випікання встановлено, що застосування визначених параметрів замочування насіння льону у виробництві пшеничного хліба сприяє підвищенню питомого об'єму хліба на 36 %, порівняно зі зразком без замочування.

Ключові слова: насіння льону, хліб, замочування, тісто, водорозчинні полісахариди оптимізація, мікроструктура тіста.

ABSTRACT

Enrichment of bakery products with flax seeds improves the physiological properties of the products, but it is often accompanied by a deterioration of sensory, physical, and chemical qualities, which requires further research into the development of technological measures and recommendations for obtaining products with good consumer properties.

Pre-soaking of flax seeds is one such technological measure. Optimizing the parameters of soaking flax seeds was carried out using the experimental and statistical modeling method to solve problems of the «Technology – property» type.

In this work, the seeds of the yellow-seeded oil flax of «Svitlozir» variety were used. The dosage of flax seeds in the wheat bread recipe was 15 % to the weight of the flour. The control sample was dough with dry flax seeds, and the experimental sample was dough with pre-soaked flax seeds.

With the help of simplex-centroid Scheffe plans in MathCad15, the optimal parameters of flax seed soaking were determined, the use of which helps to increase the specific volume of products and improve the condition of bread crumb.

The purpose of this paper is to establish the optimal parameters for pre-soaking flax seeds in wheat-flax bread technology.

Methodology. Sensory, physical, and chemical research methods were used in this study. Modeling and processing the experimental data were performed using the mathematical package MathCad and «Data Analysis» (ET) MS Excel.

Scientific novelty. Using experimental and statistical modeling method, the parameters of pre-soaking flax seeds in wheat bread technology were determined for the first time: hydromodule 3, soaking water temperature 60 °C, soaking duration 120 or 150 min. By studying the microstructure of the dough, it was first established that an increase in the specific volume of bread using soaked flax seeds is achieved due to the fact that water-soluble flax seed polysaccharides extracted into the liquid phase during the kneading of the dough exhibit structure-forming properties, forming a developed spatial structure in the dough system.

Conclusions. Based on experimental studies and optimization of the technological process, it was established that when using flax seeds in the production of wheat bread, it is advisable to apply the operation of pre-soaking flax seeds with the following parameters: hydromodule 3, soaking water temperature 60 °C, soaking duration 120 or 150 min. According to the results of trial laboratory baking, it was established that using specified parameters of pre-soaking flax seeds in the production of wheat bread contributes to increasing specific volume of bread by 36 %, compared to the sample without soaking.

Key words: flax seeds, bread, soaking, dough, water-soluble polysaccharides, optimization, dough microstructure.

Постановка проблеми

Актуальність роботи. У структурі харчування населення всього світу, в тому числі України, спостерігаються негативні зміни зумовлені зменшенням вживання біологічно цінних продуктів при одночасно стабільно високому рівні споживання рафінованих продуктів. Це обумовлює «прихований голод» внаслідок дефіциту в харчовому раціоні людей вітамінів, макро- і мікроелементів і речовин, які мають антиоксидантні властивості [14]. Нещодавнє дослідження харчових звичок у 195 країнах показало, що неповноцінне харчування – причина 20 % передчасних смертей [10]. У зв'язку з цим, значної актуальності набуває проблема забезпечення населення не лише повноцінними та здоровими харчовими продуктами, а й функціональними. Щоденним продуктом харчування людини є хлібобулочні вироби. Включення до рецептури хлібобулочних виробів насіння льону дозволяє покращити їх функціональні властивості та харчову цінність. Унікальність насіння льону в тому, що воно є джерелом одночасно трьох груп біологічно активних речовин важливих для здоров'я людини: α -ліноленової кислоти, розчинних і нерозчинних харчових волокон [7, 6] та лігнанів [20].

В НУХТ було встановлено, що для збагачення пшеничного хліба насінням

льону, його технологічно можливе дозування становить 15 % до маси борошна [3]. При цьому відзначено, що для покращання якості готових виробів з додаванням цілого насіння льону, доцільно застосовувати технологічні заходи, наприклад, операцію попереднього замочування насіння льону.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В останнє десятиліття зростає роль льону у харчовій промисловості і це не дивно, адже попит на нього вийшов на новий виток завдяки науці, яка оцінила його значення для здоров'я людини.

Ляне насіння багате на жир і білки. Вважається, що насіння льону містить 19...33 % білка, жиру 30...50 %, вуглеводів 12...26 %, золи 3...4 %, вітаміни та інші біологічно активні речовини. Відсоток жиру в насінні льону є стійкою сортовою ознакою для одних і тих же районів вирощування [19]. До складу лляної олії входять 5 основних жирних кислот: 2 насичені – пальмітинова (5-7 %), стеаринова (3-4 %) та 3 ненасичені – олеїнова (16-20 %), лінолева (14-17 %) та ліноленова (50-60 %). Значний вміст α -ліноленової кислоти в олії є одним із факторів, що надає насінню льону функціональних властивостей [2].

Позитивний вплив α -ліноленової кислоти доведено в багатьох клінічних дослідженнях, під час проведення яких виявлено чітку залежність між рівнем

надходження цієї кислоти в організм людини та зниженням захворюваності і смертності від серцево-судинної патології, насамперед від інфаркту та інсульту [13].

Дослідженнями *in vivo* показано, що включення насіння льону в раціон, насичений промислово гідрогінезованими трансжирами, завдяки вмісту в насінні α -ліноленової кислоти, дозволяє знизити вміст «поганого» холестерину та розвиток атеросклерозу [1].

Особливістю вуглеводного складу насіння льону є те, що більшість вуглеводів представлено у вигляді розчинних харчових волокон – слизеутворюючих полісахаридів. Слизеутворюючі полісахариди характеризуються високою вологоутримуючою здатністю, що надає їм властивостей структуроутворювача та загущувача харчових систем. Крім цього, важлива медико-біологічна роль полісахаридів насіння льону в тому, що вони сприяють зниженню глікемічного індексу, вмісту холестерину в крові. Відзначено їх позитивний вплив у профілактиці діабету і зменшенні ризику коронарної недостатності. Вважається, що полісахариди насіння льону проявляють радіопротекторні та іммунозахисні властивості [6, 9]. Підвищене споживання розчинних харчових волокон може знизити ризик серцево-судинних захворювань завдяки зниженню вмісту в організмі «поганого» холестерину [15].

Насіння льону – найбільш багате у рослинному світі джерело лігнанів (до 0,7...1,5 % від сухої маси насіння), серед яких переважає диглікозид секоїзолярици-резинолу. У роботах Prasad K. зі спів-авторами [17] показана превалююча роль лігнанів, порівняно з іншими складовими льону, в пригніченні розвитку гіперхолестеринового атеросклерозу. Лігнани насіння льону, на відміну, від лігнанів іншої рослинної сировини не розкладаються при підвищенні температури, навіть до 250°C [8].

Зважаючи на вміст в насінні льону біологічно активних речовин та клінічно доведений позитивний їх вплив на здоров'я людини, низка досліджень присвячена використанню насіння льону та продуктів його переробки у виробництві хлібо-булочних виробів як найбільш доступного продукту для харчування населення. У роботі [12] запропоновано виробництво пшеничного хліба з подрібненим насінням льону в кількості 8 % замість маси борошна.

Низкою вчених досліджено можливість включення в рецептуру хлібобулочних виробів лляного борошна, зокрема для підвищення харчової цінності булочних виробів та подовження тривалості їх зберігання авторами роботи [21] рекомендовано включати в їх рецептуру лляне борошно у кількості 3 % до маси борошна пшеничного; для збагачення іранського тосту доцільно додавати до 20 % лляного борошна [18]; у виробництві житньо-пшеничного хліба рекомендовано додавати лляне борошно від 5,0 % до 20,0 % замість житнього борошна [11].

Збагачення хлібобулочних виробів насінням льону та продуктами його переробки зумовлює покращання фізіологічних властивостей виробів, однак супроводжується формуванням виробів меншого об'єму та з не достатньо розвинутою пористістю м'якушки, що потребує проведення подальших досліджень щодо розроблення технологічних заходів та рекомендацій для отримання виробів з хорошими споживчими властивостями. В літературі існує інформація, що для покращання якості хлібобулочних виробів збагачених лляним борошном, його доцільно вносити у вигляді заварки [21], а у разі використання шроту насіння льону – рекомендовано у рецептуру хліба включати суху пшеничну клейковину та аскорбінову кислоту [5]. Особливістю цілого насіння льону є те, що на її поверхні розміщуються водорозчинні полісахариди у зневодненому стані, надаючи їй блискучого вигляду. У разі контакту насіння льону з водою найменші молекулярні фракції полісахаридів на поверхні оболонки гідратуються з утворенням більш в'язких, порівняно з водою, розчинів. Далі у гідратований стан починають переходити високомолекулярні полісахариди. Останніми гідратуються найбільш високомолекулярні полісахариди, що локалізуються у внутрішніх шарах оболонки насіння та в ендоспермі. Утворені розчини полісахаридів насіння льону характеризуються відносно низькою в'язкістю, мають високі емульгуючі та піноутворюючі властивості, завдяки чому братимуть участь у формуванні структурно-механічних властивостей тіста та покращуватимуть якість хліба [3]. Тому попереднє замочування насіння льону є ефективним технологічним

заходом покращання якості хліба збагаченого насінням льону.

Відомо, що кількість слизу, який утворюється під час контакту насіння льону з водою, залежить від параметрів замочування.

Для замочування насіння льону важливим є не лише підбір параметрів замочування насіння (гідромодуль, тривалість замочування та температура води для замочування), а й ефективне поєднання цих параметрів.

Мета роботи: встановити оптимальні параметри замочування насіння льону у технології пшенично-ляного хліба.

Методологія. Під час проведення досліджень використовували борошно пшеничне вищого сорту (ГСТУ 46.004-99); насіння льону олійного (ДСТУ 4967:2008); дріжджі хлібопекарські пресовані (ДСТУ 4812:2007); сіль кухонну харчову (ДСТУ 3583:2015); воду питну (ДСанПіН 2.2.4-171-10).

У ході досліджень замішували зразки тіста за наступною уніфікованою рецептурою: борошно пшеничне 100 кг, дріжджі пресовані 3,0 кг, сіль кухонна харчова 1,5 кг, насіння льону 15 кг. Контрольним був зразок тіста з додаванням сухого насіння льону, дослідний зразок замішували з додаванням попередньо замоченого насіння льону.

У роботі використовували жовтонасінневий сорт льону олійного «Світлозір», який отримували з Інституту олійних культур.

Тісто готували безопарним способом. Замішування тіста проводили в тістомісильній машині ESHER. Бродіння тіста відбувалося у термостаті за температури $(38 \pm 2)^\circ\text{C}$ і відносній вологості $(78 \pm 2)\%$ протягом 120 хв., після чого проводили оброблення тіста та формування тістових заготовок вручну. Остаточне вистоювання здійснювали у шафі вистоювання Sveba Dahlin AB DC-21 за температури $35-40^\circ\text{C}$ та відносній вологості 80-85% до повної готовності. Випікання виробів проводили у подовій печі марки Sveba Dahlin AB DC-21 за температури $200-220^\circ\text{C}$. Отримані зразки аналізували після повного остигання (через 4 год).

Замочування насіння льону проводили за різних значень температури води, тривалості замочування та гідромодулю. Оптимізацію параметрів замочування насіння льону здійснювали за методикою експериментально-статистичного

моделювання для вирішення задач типу «Технологія – властивість».

Мікроструктуру тіста визначали за допомогою електронного скануючого мікроскопу JEOL JSMM-200. Зразки тіста заморожували, висушували під вакуумом, піддавали зламу, напилували золу на ділянку зламу розміром 5 мм, після цього мікроскопіювали.

Готові вироби аналізували за органолептичними показниками (зовнішній вигляд, стан поверхні скоринки, структура пористості, смак, запах) та фізико-хімічними (питомий об'єм, формостійкість) [4].

Наукова новизна. Методом експериментально-статистичного моделювання вперше встановлено параметри операції замочування насіння льону у виготовленні пшеничного хліба: гідромодуль 3, температура води на замочування 60°C , тривалість замочування 120 або 150 хв. Вивченням мікроструктури тіста вперше встановлено, що збільшення питомого об'єму хліба у разі застосування замоченого насіння льону досягається завдяки тому що екстраговані у рідку фазу водорозчинні полісахариди насіння льону під час замішування тіста проявляють структуроутворювальні властивості, формуючи у тістовій системі розвинену просторову структуру.

Результати дослідження

Використовуючи методику експериментально-статистичного моделювання для вирішення задач типу «Технологія – властивість» здійснили оптимізацію параметрів замочування насіння льону.

В процесі моделювання досліджували залежність питомого об'єму (Y) хлібобулочних виробів від параметрів замочування насіння льону: тривалості замочування насіння льону (X_1), температури замочування насіння (X_2) та співвідношення кількості насіння та води для замочування (X_3).

Вибір діапазону факторного простору здійснювався на підставі результатів дослідження авторами [3] параметрів замочування.

Діапазон факторного простору наведений у таблиці 1.

Матриця планування експерименту і результати проведених досліджень представлені в табл. 2.

Таблиця 1

Діапазон факторного простору

Досліджувані фактори	Рівні варіювання			Інтервал варіювання
	нижній	верхній	нульовий	
X ₁ – тривалість замочування насіння льону, хв	90	150	120	30
X ₂ – температура замочування насіння льону, °С	40	80	60	20
X ₃ – гідромодуль води до маси насіння льону для замочування	1	3	2	1

Таблиця 2

Матриця планування експерименту і його результати

№ досліджу	Рівень фактору			Рівень фактору			Вихідна зміна	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	Y _{експер.} , см ³ /Г	Y _{розрахункове} , см ³ /Г
1	0	0	0	120	60	2	2,55	2,403
2	0	0	+1	120	60	3	2,73	2,490
3	0	-1	+1	120	40	3	2,53	2,410
4	+1	0	+1	150	60	3	2,71	2,490
5	+1	-1	0	150	40	2	2,52	2,323
6	+1	-1	+1	150	40	3	2,58	2,410
7	-1	0	+1	90	60	2	2,70	2,476
8	-1	+1	+1	90	80	3	2,60	2,470
9	-1	+1	0	90	80	2	2,62	2,483

Моделювання та обробка експериментальних даних виконувалися за допомогою математичного пакету MathCad та «Аналізу даних» (ET) MS Excel [16].

В процесі оптимізації отримано рівняння математичної моделі, що має наступний вигляд:

$$Y = 1,99 + 0,004 \cdot X_1 + 0,004 \cdot X_2 + 0,087 \cdot X_3$$

Відношення дисперсії неадекватності до дисперсії експерименту становить F=1,43, критична величина розподілення Фішера FФ = 3,587 дають змогу отриманому

рівнянню регресії адекватно описувати процес і воно може бути використане для вибору оптимальних параметрів виробництва хлібобулочних виробів із застосуванням замочування насіння льону.

Для встановлення за яких саме параметрів замочування досягається максимальне значення питомого об'єму було здійснено оптимізацію процесу за допомогою симплекс-центроїдних планів Шеффе в середовищі математичного пакету MathCad15.

Встановлено, що максимальне значення питомого об'єму досягається при координатах оптимуму:

В кодованому вигляді

$$X_1 = 0$$

$$X_2 = 0$$

$$X_3 = +1$$

В кодованому вигляді

$$X_1 = +1$$

$$X_2 = 0$$

$$X_3 = +1$$

В натуральному вигляді

$$X_1 = 120 \text{ хв}$$

$$X_2 = 60 \text{ °С}$$

$$X_3 = 3$$

В натуральному вигляді

$$X_1 = 150 \text{ хв}$$

$$X_2 = 60 \text{ °С}$$

$$X_3 = 3$$

Таким чином, досягнення високого значення показника питомого об'єму хліба можливе за гідромодулю 3, температури води для замочування насіння 60°C та тривалості замочування як 120 хв, так і 150 хв. В подальших дослідженнях для раціонального використання виробничого часу виготовлення хліба із застосуванням замочування насіння льону його замочування рекомендовано проводити протягом 120 хв.

Для підтвердження ефективності застосування встановлених параметрів цесу

гідратації насіння льону проведено пробне лабораторне випікання, за якого дозування насіння льону становило 15 %, гідромодуль 3, тривалість гідратації 120 хв, температура води 60 °C. Контрольним був зразок із внесенням сухого насіння льону за такого ж дозування. Кількість води для замішування тіста вносились однакова в обох зразках. Результати аналізу готових виробів наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Показники якості готових виробів (n=3, p≥0,95, σ=3...5 %)

Показники	Результати вимірювань дослідних зразків хліба	
	Контроль з сухим насінням льону	Дослідний зразок із гідратованим насінням льону
Питомий об'єм хліба, см ³ /100 г	1,82	2,47
H/D подового хліба	0,40	0,45
Стан поверхні	Правильна, гладка із включеннями насіння льону, без тріщин і підривів.	Правильна, гладка із включеннями насіння льону на поверхні, без тріщин і підривів.
Колір скоринки	Світло-жовтий	Золотистий
Стан м'якушки	Колір кремовий, забарвлення рівномірне, насіння льону включене в м'якушку; в розрізі насінини – сухі. М'якушка дрібнопориста, еластична, швидко відновлюється після натискання.	Колір світлий, забарвлення рівномірне, насіння льону рівномірно розподілене по всій структурі м'якушки. М'якушка пружна, еластична, швидко відновлюється після натискання. Пористість тонкостінна. Насіння міцно включене в структуру м'якушки.
Смак і аромат	Властивий хлібу, характерний, горіховий, відчувається характерний олійний присмак. Насіння льону трохи жорсткувате під час розжовування.	Властивий хлібу, характерний, горіховий, відчувається характерний олійний присмак. Насіння льону легко розжовується.

Встановлено, що у разі застосування замочування насіння льону за обраних параметрів, питомий об'єм хліба підвищується на 36 %, покращується формостійкість виробів.

Внесення насіння льону у замоченому стані сприяє більшому розпушенню м'якушки та формуванню тонкостінної пористості. При цьому спостерігається більш рівномірний розподіл насіння в структурі м'якушки. Кожна насінинка наче огортається тонкою плівочкою денатурованої клейковини, що сприяє міцному її утриманні в структурі м'якушки дослідного зразка, на відміну від контрольного. М'якушка в дослідному зразку в порівнянні з контролем більш еластична та пружна. Крім цього було

відзначено, що м'якушка виробу з замоченим насінням мала більш світлий колір, ніж у контролі. Це, напевно, зумовлено тим, що під час перебігу процесів тістоприготування, полісахариди насіння льону взаємодіючи зі складовими борошна утворюють комплекси, вклинюються у структуру клейковинного каркасу і приймають участь у формуванні стінки пор під час випікання. При цьому під дією температури ці полісахариди зневоднюються і формують блискучу поверхню на стінках пор. Завдяки такій блискучій поверхні збільшується їх відбивальна здатність і візуально м'якушка стає світлішою.

Під час органолептичної оцінки було встановлено, що насіння льону в дослідному зразку легко розжовується завдяки його набухлості. Скоринка дослідного виробу набуває золотистого кольору, насіння льону рівномірно розподілялося на поверхні виробу, на відміну від контролю, в якому насіння було розташоване досить хаотично.

Для пояснення позитивного впливу операції замочування насіння льону на формування якості пшенично-лляного хліба було проведено дослідження мікроструктури модельних зразків тіста за допомогою скануючого мікроскопу JEOL JSMM-200.

Для дослідження готували модельні зразки тіста: з 15 % до маси борошна насіння льону у сухому (СНЛ) і замоченому стані (НЛЗ) та зразок тіста без додавання насіння льону, але з внесенням для замішування тіста замість води розчину слизів, екстрагованих з насіння льону. Останній зразок тіста готували для встановлення безпосереднього впливу слизів насіння льону на формування структури тіста.

Фотографії мікроструктури тіста у збільшенні 1000 наведено на рис. 1.

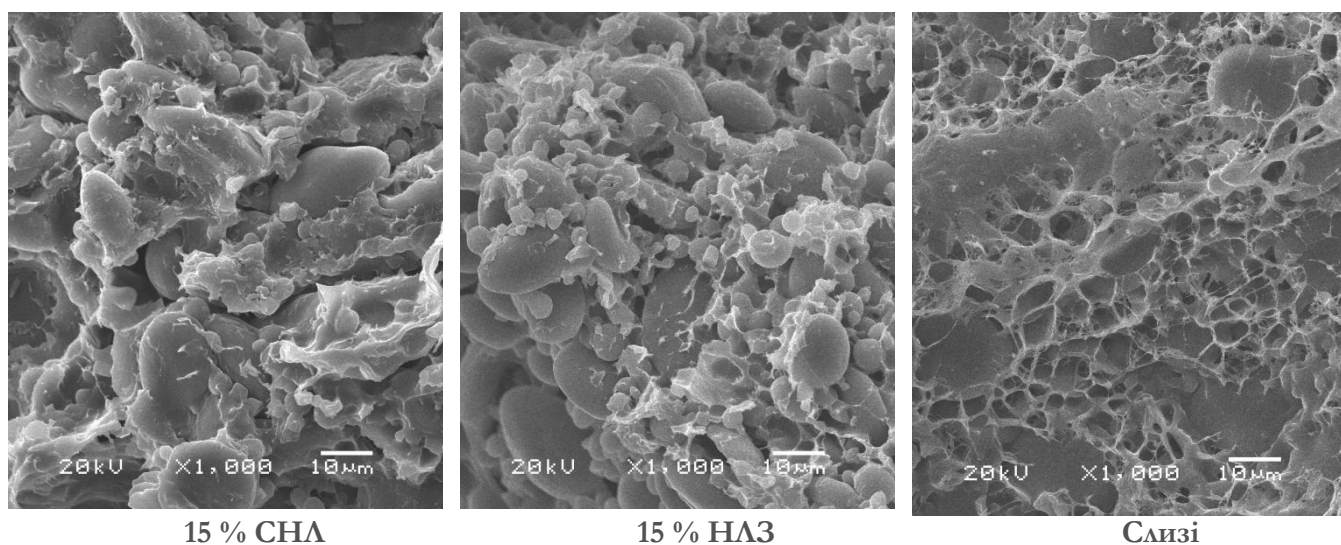


Рис. 1. Мікроструктура тіста

Аналіз мікроструктури показав, що внесення сухого та замоченого насіння льону здійснює відмінний вплив на складові борошна. У випадку з сухим насінням льону у структурі тіста спостерігаються згустки в'язких гелів, які не рівномірно розподілені по масі. Тобто у разі внесення цілого сухого насіння льону при його контакті з водою з поверхні насінин виділяються водорозчинні полісахариди, які у вигляді в'язкого геля знаходяться у структурі тіста і тим самим загущують тістову систему. Не рівномірність його розміщення зумовлена, ймовірно, тим, що в'язкий розчин виділяючись з поверхні насінини, розміщується у ділянках тіста, що навколо насінини.

Під час операції замочування насіння льону водорозчинні полісахариди екстрагуються, а при замішуванні тіста відразу приймають участь в утворенні тіста, внаслідок цього вони відразу взаємодіють з клейковинними білками, утворюючи білково-

полісахаридні комплекси. Це чітко можна спостерігати на фото, адже білкові речовини набули стану дрібних фракцій в тістовому просторі. Напевне, тут проявляються структуроутворювальні властивості розчинів, а не тільки здатність загущувати у вигляді в'язких гелів. Відомо, що під час збивання розчини полісахаридів насіння льону мають здатність набувати піноподібного стану [3, 21]. Напевне, ця властивість в певній мірі проявляється під час замішування тіста. Підтвердженням цього є мікроструктура тіста, замішаного на розчині слизів. Для цього зразка ми спостерігаємо відсутність чітко окреслених білкових речовин. В структурі тіста знаходиться розгалужена сітка, в якій утримуються зерна крохмалю. Ця сітка, напевне, є білково-полісахаридним комплексом, який проявив свої структуроутворювальні властивості у вигляді формування піноподібної розгалуженої системи.

Висновки

На підставі експериментальних досліджень та оптимізації технологічного процесу було встановлено, що у разі використання насіння льону у виробництві пшеничного хліба доцільно застосовувати операцію замочування насіння льону за таких параметрів: гідромодуль – 3, температура води для замочування – 60°C, тривалість замочування – 120 або 150 хв. Застосування обраних параметрів замочування насіння льону у виготовленні пшенично-ляного хліба сприяє збільшенню питомого об'єму

хліба на 36 %, порівняно зі зразком без замочування. Дослідженням мікроструктури тіста було встановлено, що покращення питомого об'єму та структури м'якушки хліба у разі застосування попереднього замочування насіння льону зумовлено ймовірним утворенням білково-полісахаридних комплексів та прояву ними структуроутворювальних властивостей, зокрема піноутворюючих властивостей полісахаридів, що розпушують структуру тіста.

References

1. Bassett, C. M., McCullough, R. S., Edel, A. L., Patenaude, A., LaVallee, R.K., & Pierce, G.N. (2011). The α -linolenic acid content of flaxseed can prevent the atherogenic effects of dietary trans fat. *American journal of physiology. Heart and circulatory physiology*, 301(6), 2220-2226.
2. Berezovskyi, Yu.V. (2017). Tekhnichni rishennia protsesu pererobky llianoi syrovyny [Technical solutions for the processing of raw linen.]. *Nauka ta inovatsiia [Science and innovation]*. 13(3), 25-37.
Березовський Ю.В. Технічні рішення процесу переробки лляної сировини. *Наука та інновації*. 2017, 13(3). С. 25-37.
3. Bondarenko, Yu. V., Andronovych, H. M., Hryshchenko, A. M., & Anych, A. M. (2020). Zastosuvannia operatsii hidratatsii nasinnia lonu u vyrobnytstvi pshenichnoho khliba [Application of flax seed hydration operation in wheat bread production]. *Naukovi pratsi Natsionalnogo universytetu kharchovykh tekhnologii [Scientific papers of the National University of Food Technologies]*, 26 (2). 232-243.
Бондаренко Ю. В., Андронович Г. М., Грищенко А. М., Анич А. М. Застосування операції гідратації насіння льону у виробництві пшеничного хліба. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2020. 26 (2). С. 232-243.
4. Drobot, V. I., Arsenieva, L. Yu., Bilyk, O. A. et al. (2006). Laboratornyi praktykum z tekhnologii khlibopekarskoho ta makaronnoho vyrobnytstv [Laboratory workshop on the technology of baking and pasta production]. Kyiv, Ukraine: Tsentr navchalnoi literatury.
Дробот В. І., Арсенєва Л. Ю., Білик О. А. та ін. Лабораторний практикум з технології хлібопекарського та макаронного виробництва. Київ: Центр навч. літ., 2006. 341 с.
5. Drobot, V.I., Bondarenko, Yu.V., & Izhevskaya, O.P. (2016). Shrot nasinnia lonu v tekhnologii khlibobulochnykh vyrobiv [Flax seed meal in the technology of bakery products]. *Kharchova nauka i tekhnologii [Food science and technology]*, 10(3), 76-81.
Дробот В.І., Бондаренко Ю.В., Іжевська О.П. Шрот насіння льону в технології хлібобулочних виробів. *Харчова наука і технологія*. 2016, 10(3). С. 76-81.
6. Enzifst, L. E., & Vveo, M. E. (2014). Flaxseed (Linseed) fibre – nutritional and culinary uses – a review. *Food New Zealand*, April/May, 26–28.
7. Ganorkar, P. M., & Jain, R.K. (2013). Flaxseed – a nutritional punch. *International Food Research Journal*, 20(2), 519–525.
8. Gerstenmeyer, E., Reimer, S., Berghofer, E., Schwartz, H., & Sontag, G. (2013). Effect of thermal heating on some lignans in flax seeds, sesame seeds and rye. *Food Chemistry*, 138(2–3), 1847-1855.
9. Gutte, K. B., Sahoo, A. K., & Ranveer, R. C. (2015). Bioactive Components of Flaxseed and its Health Benefits. *Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res.*, 31(1), 42–51.

10. Iak kharchuvatysia zbalansovano. Sait Ministerstva okhorony zdorovia. [How to eat a balanced diet. Website of the Ministry of Health]. URL: <https://moz.gov.ua/article/health/jak-harchuvatisja-zbalansovano>
Як харчуватися збалансовано. Сайт Міністерства охорони здоров'я. URL: <https://moz.gov.ua/article/health/jak-harchuvatisja-zbalansovano>.
11. Koneva, S.Y. (2016). Osobennosti yspolzovanyia produktov pererabotky semian lna pry proyzvodstve khlebobulochnykh yzdelyi [Peculiarities of using flax seed processing products in the production of bakery products]. *Polzunovskiy vestnyk [Polzunovsky Vestnik]*, 3, 35-38.
Конева С. И. Особенности использования продуктов переработки семян льна при производстве хлебо-булочных изделий. *Ползуновский вестник*. 2016, № 3. С. 35-38.
12. Kuznetsova, E. A., & Mordvynkyn, S. A. (2019). Vozmozhnost yspolzovanyia yzmelchenykh semian lna pry proyzvodstve pshenychnoho khleba [The possibility of using crushed flax seeds in the production of wheat bread.]. *Nauchno-abronomycheskyi zhurnal [Scientific and agronomic journal]*, 2(105), 18-20.
Кузнецова Е. А., Мордвинкин С. А. Возможность использования измельченных семян льна при производстве пшеничного хлеба. *Научно-агронамический журнал*. 2019. 2(105). С. 18-20.
13. Leon, H., Shibata, M., Sivakumaran, S., Dorgan, M., Chatterley, T., & Tsuyuki, R. (2008). Effect of fish oil on arrhythmias and mortality: systematic review. *BMJ*, 337(2931). URL: http://www.bmj.com/content/337/dec23_2/a2931
14. Malakhova, L.V. (2013). Shliakhy podolannia «prykhovanoho» holodu yak skladovoi hlobalnoi prodovolchoi problem [Ways to overcome «hidden» hunger as a component of the global food problem]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnogo universytetu imeni V. N. Karazina [Bulletin of Kharkiv National University named after V. N. Karazin]*, 1086(2), 86-89.
Малахова Л.В. Шляхи подолання «прихованого» голоду як складової глобальної продовольчої проблеми. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна*. 2013. № 1086(2). С. 86-89.
15. Makhonina, M., Rashevskaya, T., & Vasheka, O. (2009). Perspektivy vykorystannia nasinnia lonu yak bahatokomponentnoi systemy dlia kharchuvannia i ozdorovlennia [Prospects for the use of flax seeds as a multicomponent system for nutrition and health]. *Molokopererobka [Milk processing]*, 3(42), 24-27.
Махоніна М., Рашевська Т., Вашека О. Перспективи використання насіння льону як багатокomпонентної системи для харчування і оздоровлення. *Молокопереробка*. 2009. №3(42). С. 24-27.
16. Paranchuk, Ya. S., & Moroz, V. I. (2012). Alhorytmizatsiia ta prohramuvannia. MathCAD [Algorithmization and programming. MathCAD]: navch. posib. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki.
Паранчук Я.С., Мороз В.І. Алгоритмізація та програмування. MathCAD: навч. посіб. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 312 с.
17. Prasad, K., & Jadhav, A. (2016). Prevention and treatment of atherosclerosis with flaxseed-derived compound secoisolariciresinol diglucoside. *Current pharmaceutical design*, 22(2), 214–220.
18. Pourabedin, M., Aarabi, A., & Rahbaran, S. (2017). Effect of flaxseed flour on rheological properties, staling and total phenol of Iranian toast. *Journal of Cereal Science*, 76, 173-178.
19. Rubilar, M., Gutierrez, C., Verdugo, M., & Shene, C. (2010). Flaxseed as a source of functional ingredients. *Journal of soil science and plant nutrition*, 3, 373-377.
20. Touré, A., & Xueming, X. (2010). Flaxseed lignans: source, biosynthesis, metabolism, antioxidant activity, bio-active components, and health benefits. *Comprehensive Reviews in Food Sciences and Food Safety. Institute of Food Technologists*, 9(3), 261–269.
21. Typsyna, N. N., & Selezneva, H. K. (2010). Yspolzovanye lnianoi muky v proyzvodstve khlebobulochnykh y muchnykh kondyterskykh yzdelyi [The use of linseed flour in the production of bakery and flour confectionery products]. *Vestnyk Kras HAU [Herald of Kras GAU]*, 4, 178-181.
Типсіна Н. Н., Селезнева Г. К. Использование льняной муки в производстве хлебобулочных и мучных кондитерських изделий. *Вестник Крас ГАУ*. 2010. № 4. С. 178-181.

Cite this article in APA Style as:

Бондаренко, Ю., Андронович, Г., Білик, О., Кочубей-Литвиненко, О. (2022). Оптимізація параметрів замочування насіння льону для виробництва пшеничного хліба [Optimizing the parameters of soaking flax seeds for the production of wheat bread]. *BHT: Biota. Human. Technology*, 3, 100–109. (in Ukrainian)

Information about the authors:

Bondarenko Yu. [*in Ukrainian: Бондаренко Ю.*] ¹, PhD in Tech. Sc., Associate Professor, e-mail: bjuly@ukr.net
ORCID: 0000-0002-3781-5604

Department of Technology of bakery and confectionery products, National University of food technologies
68 Volodymyrska str., Kyiv, 0160, Ukraine

Andronovich G. [*in Ukrainian: Андронович Г.*] ², PhD in Tech. Sc., Associate Professor, e-mail: 1gryb1@ukr.net
ORCID: 0000-0002-9522-4925

Department of food technologies, Cherkasy State Technological University
460 Shevchenko blvd., Cherkasy, 18000, Ukraine

Bilyk O. [*in Ukrainian: Білик О.*] ³, PhD in Tech. Sc., Associate Professor, e-mail: bilyklena@gmail.com
ORCID: 0000-0003-3606-1254

Department of Technology of bakery and confectionery products, National University of food technologies
68 Volodymyrska str., Kyiv, 01601, Ukraine

Kochubei-Lytvynenko O. [*in Ukrainian: Кочубей-Литвиненко О.*] ⁴, Dr. of Tech. Sc., Professor, e-mail: okolit@email.ua
ORCID: 0000-0003-0712-448X

Department of Milk and Dairy Technology, National University of food technologies
68 Volodymyrska str., Kyiv, 01601, Ukraine

¹ Study design, manuscript preparation.

² Data collection.

³ Manuscript preparation.

⁴ Statistical analysis.