УДК 664.663.9

# EFFECTIVENESS OF THE APPLICATION OF FLAX SEED HYDRATION IN THE WHEAT BREAD PRODUCTION

**Yu. Bondarenko, H. Andronovych, A. Hryshchenko, A. Anych**
*National University of Food Technologies*

**Key words:**
*Flax seeds*
*Hydration*
*Dough*
*Gluten*
*Bread*

**Article history:**
Received 11.03.2020
Received in revised form 25.03.2020
Accepted 16.04.2020

**Corresponding author:**
Yu. Bondarenko
**E-mail:**
bjuly@ukr.net

**ABSTRACT**

Flax seeds are a popular type of unconventional raw material for enriching bakery products with their physiologically active substances. The work is devoted to establishing the expediency of using pre-soaking golden flax seeds in the production of wheat bread. The optimal values of the soaking parameters according to the results of laboratory baking are set. It has been proved that it is expedient to carry out hydration of flax seeds at the hydromodule of seeds and water — 1:1—1:3. The duration of the operation can last up to 150 minutes. Probably, hydration of flax seeds at such parameters contribute to deeper swelling of seeds and transition of more slime-forming polysaccharides into the liquid phase of wheat dough. The use of pre-soaked flax seeds helps to increase the specific volume of bread and the crumb porosity. At the same time, flax seeds are better wrapped in gluten and more evenly distributed in the crumb. Due to this effect, the formation of a light crumb of bread is observed in comparison with the control sample, containing dry seeds.

It was found that the addition of soaked flax seeds leads to a decrease in the amount of wet gluten in wheat dough by 32% compared to the control sample, containing dry seeds. Dissolved polysaccharides are embedded in the gluten of the dough and prevent the formation of gluten structure. Violation of the integral structure of gluten causes a decrease in the extensibility of gluten and a decrease in its elasticity.

The study of the springy-elastic properties of wheat dough using farinograph showed, that the addition of hydrated flax seeds makes it possible to reduce the duration of dough formation and improve its stability. Stabilization of wheat dough by solutions of slime-forming polysaccharides due to preliminary soaking of flax seeds helps to improve the gas-holding and form-holding abilities of the dough.

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2020-26-2-24

# ЗАСТОСУВАННЯ ОПЕРАЦІЇ ГІДРАТАЦІЇ НАСІННЯ ЛЬОНУ У ВИРОБНИЦТВІ ПШЕНИЧНОГО ХЛІБА

**Ю. В. Бондаренко, Г. М. Андронович, А. М. Грищенко, А. М. Анич**
*Національний університет харчових технологій*

*Популярним видом нетрадиційної сировини для збагачення хлібобулочних виробів її фізіологічно-активними речовинами є насіння льону золотого, яке доцільно застосовувати після попереднього замочування. За результатами пробних лабораторних випікань у статті встановлено оптимальні значення параметрів замочування. Доведено, що гідратацію насіння льону варто проводити за гідромодуля насіння та води в межах 1:1—1:3, а тривалість операції може тривати до 150 хв. Гідратація насіння льону за таких параметрів сприяє глибокому набуханню і переходу в рідку фазу тіста більшої кількості слизеутворюючих полісахаридів. Застосування попередньо гідратованого насіння льону сприяє збільшенню об'єму виробів і розпушенню структури м'якушки. При цьому насіння льону більш рівномірно розподіляється в м'якуші, краще огортається клейковинним каркасом, що візуально створює ефект світлішої м'якушки, порівняно з контролем із сухим насінням.*

*Встановлено, що внесення насіння льону в замоченому вигляді зумовлює зменшення кількості клейковини в тісті, порівняно з контролем із сухим насінням, на 32%. Розчини полісахаридів вклинюються в клейковинний каркас тіста та перешкоджають утворенню суцільної структури. Порушення цілісної структури клейковини зумовлює зменшення розтяжності клейковини та зниження її пружності.*

*Дослідження пружно-еластичних властивостей тіста на фариграфі підтвердили, що внесення гідратованого насіння льону дає змогу скоротити тривалість утворення тіста та покращити його стабільність. Стабілізація тістової системи розчинами слизеутворюючих полісахаридів унаслідок попереднього замочування насіння льону сприяє покращанню газоутримувальної та формоутримувальної здатності тістових заготовок.*

***Ключові слова:*** *насіння льону, гідратація, тісто, клейковина, хліб.*

**Постановка проблеми.** Основою здорового харчування населення є збалансованість раціону за всіма нутрієнтами, необхідними для належного функціонування організму. Сучасна людина споживає неповноцінні за хімічним складом продукти та не отримує достатньої кількісті незамінних компонентів унаслідок значного застосування у виробництві харчових продуктів процесів технологічного оброблення сировини [1].

Численними епідеміологічними дослідженнями доведено зв'язок між харчуванням і розвитком серцево-судинних захворювань, злоякісних новоутворень, цукрового діабету другого типу, ожиріння, остеопорозу і багатьох інших захворювань [2].

З огляду на значення харчування в розвитку хронічних захворювань, рекомендації ВООЗ і лікарів, особливе значення і актуальність мають виробництво та підвищення споживання продуктів рослинного походження як джерела перш за все харчових волокон.

Для поповнення нестачі в раціоні харчових волокон, поліненасичених жирних кислот, білка, мінеральних речовин рекомендується вживати в їжу насіння льону і продукти його переробки. Щоденним продуктом харчування людини є хлібобулочні вироби. Для покращання функціональних властивостей та харчової цінності хлібобулочних виробів до їх рецептури доцільно включати насіння.

У торговельній мережі зараз можна знайти такі хлібобулочні вироби, збагачені насінням льону: хліб прибалтійський з насінням, хліб вівсяний з льоном, хліб з льоном, хліб тостовий з льоном, багет з льоном тощо. Однак аналіз рецептур цих виробів показав, що льон додають у невеликій кількості, що не надає виробам функціональних властивостей.

У Національному університеті харчових технологій встановлено, що технологічно можливим дозуванням насіння льону золотого для збагачення пшеничного хліба є до 15% до маси борошна [3]. При цьому було відзначено, що для покращання якості готових виробів з цілим насінням доцільно застосовувати технологічні заходи. На підприємствах хлібопекарської галузі у разі використання насіння льону у виробництві хлібобулочних виробів його замочують. Однак науково обґрунтованих даних щодо ефективності застосування у хлібопеченні цієї операції для насіння льону та її параметрів обмаль.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Підвищений інтерес до лляного насіння обумовлений вмістом у ньому фізіологічно активних компонентів. Унікальність насіння льону в тому, що воно є джерелом одночасно трьох груп біологічно активних речовин, важливих для здоров'я людини: α-ліноленової кислоти (до 57% в складі олії), розчинних і нерозчинних харчових волокон [4, 5] і лігнанів [6].

Білки насіння льону представлені водорозчинними (від 46% до 65%), солерозчинними (від 16% до 28%) і лугорозчинними (від 13% до 17%) фракціями. Спирторозчинна фракція (проламіни) відсутня в складі льняного білка. Білки льону мають високу біологічну цінність, оскільки збалансовані за амінокислотним складом. За вмістом таких незамінних амінокислот, як валін, метіонін, лейцин, цистеїн, триптофан, треонін і фенілаланін вони не поступаються «ідеальному» білку. За даними бальної оцінки Всеросійського науково-дослідного інституту механізації льонарства харчова цінність білка з насіння льону становить 92 одиниці [7]. Дефіцитними для білків льняного насіння є лізин та ізолейцин [8].

Насіння льону є багатим рослинним джерелом життєво важливих ненасичених жирних кислот — лінолевої кислоти (омега-6) і α-ліноленової (омега-3). Ці есенціальні кислоти підвищують імунітет, зміцнюють еластичність стінок кровоносних судин, тому їх застосовують для лікування та профілактики атеросклерозу і кишкових захворювань [9].

Лігнани насіння льону відносяться до класу фітоестрогенів, проявляють естрогеноподібну активність в організмі людини. Наукові дані підтверджують, що лігнани насіння льону мають антиалергічну активністю та потужну антиоксидантну дію. Саме ці їхні властивості є підґрунтям для використання насіння льону в корекції атеросклерозу і коронарної серцевої недостатності [10].

Вуглеводи льону складаються з моносахаридів (від 0,04% до 0,06%), олігосахаридів (від 1,9% до 4,0%) і полісахаридів (від 6,2% до 9,5%). Особливістю вуглеводного складу насіння льону є те, що більшість вуглеводів представлено у вигляді розчинних харчових волокон — слизеутворюючих полісахаридів. В насінні льону також є нерозчинні харчові волокна. Вміст розчинних і нерозчинних волокон варіюється, зазвичай, у межах 20:80—40:60%. Донедавна вважалося, що слизі льону — це комплекс двох полісахаридів, які відрізняються один від одного за фізико-хімічними властивостями, такими як склад, молекулярна маса, структурна конформація, в'язкість. Основний слизеутворюючий полісахарид, що становить до 80% від загальної частки, є сумішшю арабіноксилана (56%) і галактоглюкана (44%). Мінорний компонент слизу (до 20%) — це гетерогенна група галактуронанів [11, 12]. Однак у 2003 р. група французьких біохіміків під керівництвом Ж. Варрау виявила в слизі насіння льону ще один полісахаридний компонент. Тож згідно із сучасними уявленнями слизі насіння льону являють собою суміш із трьох високомолекулярних полісахаридів: найбільш вузького нейтрального полісахариду з молярною масою $1{,}2 \cdot 10^6$ г/моль (75% від загальної кількості), двох кислих полісахаридів: з молекулярною масою $6{,}5 \cdot 10^5$ (3,75% від загальної кількості) та $1{,}7 \cdot 10^4$ (21,25% від загальної кількості) [13, 14].

Слизеутворюючі полісахариди характеризуються високою вологоутримуючою здатністю, що надає їм властивостей структуроутворювача та загущувача харчових систем [15]. Крім цього, важлива медико-біологічна роль полісахаридів насіння льону: вони сприяють зниженню глікемічного індексу, вмісту холестерину в крові; відзначено їх позитивний вплив у профілактиці діабету і зменшення ризику коронарної недостатності [16]. Вважається, що полісахариди насіння льону проявляють радіопротекторні та імунозахисні властивості [10].

Зважаючи на технологічні властивості полісахаридів насіння льону як структуроутворювача та їх фізіологічну важливість, вченими проводяться дослідження параметрів екстрагування слизів з насіння льону. Однак ці дослідження стосуються вилучення слизеутворюючих полісахаридів з насіння льону як сировинного інгредієнта. В умовах хлібопечення параметри, за яких відбуватиметься гідратація насіння льону для екстрагування водорозчинних полісахаридів, відрізнятимуться, адже умови проведення замочування обмежені кількістю води, що витрачається на замішування тіста. Це спонукало нас до проведення досліджень щодо встановлення оптимального гідромодуля насіння льону та води для проведення замочування й тривалості цього процесу, які були б ефективні саме для умов хлібопечення.

**Метою дослідження** є встановлення оптимальних для умов хлібопечення параметрів замочування насіння льону для використання у виробництві пшеничного хліба.

**Матеріали і методи.** У дослідженнях використовували насіння льону виробництва ТОВ «Біорозторопша» (Україна), сорт Золотий, який було внесено в реєстр сортів рослин України у 2005 році. Характерною його ознакою є жовтий колір насіння; в насінні міститься олії — 49,0…51,0% з високим вмістом ліноленової кислоти (понад 70%).

Для встановлення параметрів замочування насіння льону у виробництві пшеничного хліба проводили лабораторні випікання. Тісто готували безопарним способом з масовою часткою вологи тіста — 42%. Замішували тісто в двошвидкісній тістомісильній машині Escher. Оброблення тіста здійснювали вручну, вистоювання тістових заготовок проводили у термостаті за температури (38±2)°С і відносній вологості (78±2)% до готовності. Вироби випікали в шафовій печі Sveba-Dahlen за температури 220…240°С.

Оцінку якості напівфабрикатів і готових виробів проводили за загальноприйнятими методиками [17].

Кількість та якість клейковини визначали за стандартними методиками [17]. Пружно-еластичні характеристики тіста вивчали на фаринографі фірми «Brabender» (Німеччина).

Для встановлення оптимальних параметрів замочування насіння льону для покращання якості пшеничного хліба, збагаченого насінням льону, готували дослідні зразки, в яких замочування проводили за гідромодулів насіння та води: 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, та зразки, в яких замочування проводили за різної тривалості — 60, 90, 120, 150, 180 та 210 хв.

**Викладення основних результатів дослідження.** Під час замочування насіння льону в рідку фазу переходять водорозчинні харчові волокна, які мають структуроутворюючі властивості та впливатимуть на формування якості хліба з додаванням замоченого насіння льону.

Відомо, що кількість слизів, яка утворюється під час контакту насіння льону з водою, залежить від параметрів замочування. За даними науковців, процес екстрагування відбувається ефективно за співвідношення насіння та води 1:20. Однак в наших дослідах кількість води, що витрачається для замочування насіння, залежить від загальної кількості води для замішування тіста. Тому для встановлення оптимального гідромодуля для замочування насіння льону були запропоновані такі співвідношення насіння та води: 1:1, 1:2, 1:3 та 1:4. Замочування насіння льону відбувалося протягом 60 хв, температура води для замочування становила 40°С. Дозування насіння льону у всіх зразках становило 15% до маси борошна.

Результати аналізу готових виробів, які випікали з тіста, замішаного з додаванням насіння льону, замоченого за різного гідромодуля, наведено в табл. 1.

Встановлено, що належну якість виробів отримано за умов замочування насіння та води у співвідношення 1:1—1:3. При цьому спостерігається збільшення об'єму хліба, покращання його формостійкості. Через розвинення об'єму виробів і розпушення структури м'якушки насіння льону більш рівномірно розподіляється в м'якушці. Відзначається, що в зразках із замочуванням насіння в структурі м'якушки виробу більше огортається клейковинним каркасом і краще утримується в ній, ніж у контролі. Внаслідок цього спостерігається формування більш світлої м'якушки, порівняно з контролем. Зі зростанням гідромодуля при

замочуванні насіння льону відзначається утворення більш тонкостінної пористості м'якушки.

*Таблиця 1.* **Показники якості готових виробів,** $n$=3, $p \leq 0{,}05$

| Показник | Результати вимірювання дослідних зразків | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Контроль із сухим насінням льону | Гідромодуль | | | |
| | | 1:1 | 1:2 | 1:3 | 1:4 |
| Питомий об'єм хліба, $см^3/г$ | 2,40 | 2,46 | 2,52 | 2,67 | 2,92 |
| Н/Д подового хліба | 0,42 | 0,52 | 0,58 | 0,49 | 0,45 |
| Стан поверхні | Правильна, гладка із включенням насіння льону, без тріщин і підривів | | | | |
| Колір скоринки | Світло-жовтий | Більш виражений, яскравий світло-жовтий порівняно з контролем | | Світло-жовтий, наближений до золотистого | |
| Стан м'якушки | Колір кремовий, забарвлення рівномірне, насіння льону розподілене по м'якушці нерівномірно, недостатній зв'язок насінин з м'якушкою | Колір світлий, забарвлення рівномірне, насіння льону розподілене по м'якушці рівномірно, спостерігається міцний зв'язок насінин з м'якушкою | | Колір світлий, забарвлення рівномірне, насіння льону розподілене по м'якушці рівномірно, дуже тонкостінна, недостатній зв'язок насінин з м'якушкою | |
| Смак і аромат | Властивий хлібу, під час розжовування відчувається насіння льону, притаманний горіховий аромат, відчувається олійний присмак | | | | |

У разі застосування гідромодуля насіння та води 1:4 отримують вироби найбільшого об'єму, однак м'якушка цих виробів має дуже тонкостінну пористість, що погіршує утримання нею насінин. Структура пористості нерівномірна.

Наступним етапом було встановлення тривалості замочування насіння льону. За літературними джерелами відомо, що на кількість екстрагованого слизу з насіння льону і його якість суттєво впливає тривалість замочування.

У проведених дослідженнях замочування насіння льону проводили протягом 60, 90, 120, 150, 180 та 210 хв. Дозування насіння льону у всіх зразках становило 15% до маси борошна. Результати аналізу готових виробів наведено в табл. 2.

Встановлено, що зі зростанням тривалості замочування до 150 хв якість виробів з додаванням замоченого насіння льону покращується, порівняно з контролем. Найкращу якість готових виробів отримано за тривалості замочування 150 хв, оскільки цей зразок має найбільший об'єм, формостійкість і задовільну структуру м'якушки. У разі подовження тривалості замочування об'єм виробів знижується, порівняно зі зразком із замочуванням 150 хв, хоча все ж залишається більшим за контрольний зразок. Однак у разі подовження тривалості замочування понад 150 хв спостерігається погіршання формування структури м'якушки, зокрема нерівномірний розподіл у ній насіння льону та її ущільнення.

*Таблиця 2.* **Показники якості готових виробів,** $n$=3, $p$≤0,05

| Показник | Результати вимірювання дослідних зразків | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Контроль із сухим насінням льону | Тривалість замочування, хв | | | | | |
| | | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 |
| Питомий об'єм хліба, см$^3$/г | 2,41 | 2,62 | 2,65 | 2,69 | 2,71 | 2,65 | 2,66 |
| Н/Д подового хліба | 0,35 | 0,40 | 0,43 | 0,46 | 0,46 | 0,50 | 0,46 |
| Стан поверхні | Правильна, гладка із включенням насіння льону, без тріщин і підривів | | | | | | |
| Колір скоринки | Світло-жовтий | Більш виражений, яскравий світло-жовтий | | | Золотистий | | |
| Стан м'якушки | Колір кремовий, забарвлення рівномірне, насіння льону розподілене по м'якушці нерівномірно, недостатній зв'язок насінин з м'якушкою | Колір світлий, забарвлення рівномірне, насіння льону розподілене по м'якушці рівномірно, спостерігається міцний зв'язок насінин з м'якушкою | | | Колір світлий, забарвлення рівномірне, насіння льону розподілене по м'якушці нерівномірно, недостатній зв'язок насінин з м'якушкою | | |
| Смак і аромат | Властивий хлібу, під час розжовування відчувається насіння льону, притаманний горіховий аромат, відчувається олійний присмак | | | | | | |

Для підтвердження ефективності обраних параметрів процесу гідратації насіння льону було проведено пробне лабораторне випікання, за якого дозування насіння льону становило 15%, гідромодуль 1:3, тривалість гідратації 150 хв. Для порівняння паралельно випікали контроль із внесенням сухого насіння льону за такого ж дозування. Кількість води вносилась однакова в обох зразках.

Результати аналізу готових виробів наведено в табл. 3.

*Таблиця 3.* **Показники якості готових виробів,** $n$=3, $p$≤0,05

| Показники | Результати вимірювань дослідних зразків хліба | |
|---|---|---|
| | Контроль із сухим насінням льону | Дослідний зразок із гідратованим насінням льону |
| 1 | 2 | 3 |
| Питомий об'єм хліба, см$^3$/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 поверхні, без тріщин і підривів |
| Колір скоринки | Світло-жовтий | Золотистий |
| Стан м'якушки | Колір кремовий, забарвлення рівномірне, насіння льону грубо включене; 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 |

*Продовження таблиці 3*

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| 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 обраних параметрів питомий об'єм хліба підвищується на 36%, покращується формостійкість виробів. Скоринка виробу набуває золотистого кольору, насіння льону рівномірно розташувалося на поверхні виробу, на відміну від контролю, в якому насіння було розташоване досить хаотично. М'якушка в дослідному зразку, порівняно з контролем, більш еластична та пружна, насіння льону краще з'єднане з тістовою системою. Під час органолептичної оцінки було встановлено, що насіння льону в дослідному зразку набагато приємніше розжовуються за рахунок набухлості.

Оскільки під час випікання готових виробів з додаванням насіння льону у замоченому стані спостерігалося покращання об'єму виробів, було цікаво, як застосування операції замочування вплине на кількісні та якісні показники клейковини.

Для встановлення впливу насіння льону на кількість сирої клейковини та її якість відмивали клейковину з тіста. Результати дослідження наведено в табл. 4.

*Таблиця 4.* **Показники якості клейковини,** $n$=3, $p \leq 0{,}05$

| Показники | Внесено насіння льону, 15% до маси борошна | |
|---|---|---|
| | Сухого | Замоченого |
| Кількість сирої клейковини, % | 23,7 | 16,0 |
| Вологість, % | 66,3 | 68,0 |
| Гідратаційна здатність, % | 196 | 213 |
| Пружність за приладом ИДК, од. прил. | 57 | 65 |
| Розтяжність, см | 12 (середня) | 10 (коротка) |
| Еластичність | Хороша | Задовільна |
| Колір | Сіруватий відтінок | Сіра |
| Характеристика структури | Має ознаки рихлості | Рихла |

За результатами досліджень було встановлено, що у разі замочування насіння льону спостерігається зменшення кількості клейковини, порівняно з відповідним зразком без замочування, на 32%. Причиною зменшення кількості клейковини може бути висока водопоглинальна здатність некрохмальних полісахаридів льону, які є конкурентами білка, внаслідок цього клейковинні білки борошна недостатньо набрякають. Це призводить до зменшення кількості сирої клейковини. Поряд з цим під час замішування тіста слизеутворюючі полісахариди льону огортають білкові речовини борошна, обмежуючи їх набухання та, вклинюючись у клейковинний каркас, перешкоджають утворенню суцільної структури клейковини. Слизі здійснюють вплив на розрив дисульфідних зв'язків у клейковинних білках.

Також потрібно відзначити, що переважаючим компонентом білкового комплексу насіння льону є водорозчинні білки. На другому місці по масовій частці в льоні знаходяться солерозчинні білки, частка яких становить 40...45% від загального вмісту білків льону. Частка лугорозчинних білків льону становить до 10% від загальної суми білків.

Білки льону, незважаючи на наявність у них певної частки проламінової і глютелінової фракцій, не здатні до самостійного формування губчастого клейковинного каркасу, характерного для тіста із сортового пшеничного борошна. Внаслідок їх взаємодії зі складовими борошна утворюються фракції, які втрачаються під час відмивання клейковини.

Складові насіння льону поряд з впливом на кількість клейковини здійснюють значний вплив на її якість. Порушення цілісної структури клейковини зумовлює зменшення розтяжності клейковини та зниження її пружності. У разі внесення замоченого насіння льону спостерігається підвищення гідратаційної здатності клейковини. Напевне, це зумовлено включенням в прошарки клейковини розчинів некрохмальних полісахаридів у вигляді в'язких гелів.

За зовнішнім виглядом, у разі додавання гідратованого насіння льону, клейковина набувала рихлої незв'язаної структури. Такий вплив гідратації насіння льону на клейковину тіста спонукав дослідити зміну структурно-механічних властивостей тіста, які визначали за допомогою фаринографа фірми «Брабендер». Результати розшифрування фариограм наведено в табл. 5.

*Таблиця 5.* **Структурно-механічні властивості тіста за фариографом,** $n$=3, $p \leq 0{,}05$

| Показники | Внесено насіння льону, 15% до маси борошна | |
|---|---|---|
| | сухого | замоченого |
| Консистенція, од. приладу | 500 | 500 |
| Тривалість утворення, хв | 12,5 | 4,5 |
| Еластичність, од. приладу | 130 | 120 |
| Стабільність, хв | 8 | 12 |
| Розрідження протягом замісу, 15 хв од. приладу | 25 | 30 |

Аналіз даних (табл. 5) показує, що у разі замочування цілого насіння льону тривалість утворення тіста становить 4,5 хв проти 12,5 хв для зразка з цілим насінням льону, внесеним у сухому вигляді.

Скорочення тривалості утворення тіста, напевне, пояснюється тим, що попередньо замочене насіння льону потребує менше часу для його набухання та включення в тістову систему. У зразку із замочуванням, внаслідок попереднього гідратування насіння, вже утворюються розчини слизів, які під час замішування тіста відразу включаються в процеси структуроутворення тістової системи.

Отримані дані свідчать, що у зразку тіста з гідратованим насінням льону дещо погіршується еластичність. Поряд з цим спостерігається подовження тривалості стабільності тістової системи та зменшення її розрідження. Напевно, це зумовлено в'язкими розчинами водорозчинних слизеутворюючих полісахаридів, які включаються в структуру тіста та здатні за структурувати систему. Можна спрогнозувати, що застосування операції замочування у разі використання в рецептурі насіння льону дасть змогу покращити стійкість тістової системи та

дещо нівелювати негативний вплив сухого насіння льону на формування об'єму виробів.

Зважаючи на характеристики тіста, отримані за фариграфом, можна передбачити, що у разі застосування насіння льону в замоченому вигляді можливо покращити газоутримувальну здатність тіста.

Під час проведення досліджень газоутримувальну здатність тіста характеризували величиною питомого об'єму тіста через 4 год його бродіння. Підготовлені зразки тіста масою 100 г поміщали в циліндр об'ємом 500 см$^3$, ущільнювали його і ферментували за температури 30°С. Об'єм тіста визначали кожну годину ферментації.

Результати досліджень наведено в табл. 6.

*Таблиця 6.* **Об'єм тіста в циліндрі, см$^3$,** $n$=3, $p\leq$0,05

| Тривалість бродіння, хв | Внесено насіння льону, 15% до маси борошна | |
|---|---|---|
| | сухого | замоченого |
| 0 | 100 | 100 |
| 60 | 180 | 210 |
| 120 | 270 | 285 |
| 180 | 270 | 290 |
| 240 | 260 | 285 |

Встановлено, що на 4 год об'єм тіста з гідратованим насінням льону збільшується, якщо порівняти із зразком без замочування на 9,5%. Це свідчить про покращання газоутримувальної здатності внаслідок стабілізації тістової системи розчинами слизеутворюючих полісахаридів, які знаходяться в прошарках тіста.

У результаті дослідження впливу гідратованого насіння льону на в'язкість тіста за розпливанням кульки тіста протягом трьох годин бродіння за температури 30°С (табл. 7) було встановлено, що внесення насіння в замоченому стані зумовлює менше розпливання тіста на 4%, порівняно зі зразком із сухим насінням. У цьому випадку визначний вплив має полісахадний комплекс слизу. Слизі, що екстрагуються з насіння жовтого кольору, характеризуються переважанням у своєму складі нейтральної фракції полісахаридів. Головною складовою нейтральної фракції є пентозан-арабіноксилан, вміст якого обумовлюється вмістом ксилози і арабінози. Наявність ксилози має визначну роль у формуванні в'язкості системи, з її збільшенням підвищується в'язкість розчину, тому у разі внесення замоченого насіння льону в рідкій фазі тістових систем буде підвищуватися в'язкість.

*Таблиця 7.* **Розпливання кульки тіста, мм,** $n$=3, $p\leq$0,05

| Тривалість, год | Контроль | Внесено насіння льону, 15% до маси борошна | |
|---|---|---|---|
| | | сухого | сухого |
| 0 | 40 | 40 | 40 |
| 1 | 72 | 62 | 62 |
| 2 | 80 | 81 | 75 |
| 3 | 82 | 83 | 75 |

Зменшення розпливання тістових заготовок свідчить про збільшення в'язкості тіста, що зумовлює підвищення формоутримувальної здатності тістових заготовок і сприяє покращанню формостійкості подових виробів.

## Висновки

За результатами пробних лабораторних випікань доведено доцільність застосування операції замочування насіння льону у виробництві пшеничного хліба. Встановлено оптимальні значення параметрів замочування насіння льону. Гідратацію насіння льону доцільно проводити за гідромодуля насіння та води в межах 1:1—1:3 і тривалості операції до 150 хв. Внаслідок гідратації насіння льону за таких параметрів відбувається більш глибоке набухання насіння та перехід у рідку фазу тіста такої кількості слизеутворюючих полісахаридів, що позитивно впливає на формування якості готових виробів. В'язкі розчини полісахаридів мають здатність до структуроутворення, чим покращують на 36% об'єм готових виробів, їх формостійкість та сприяють кращому розпушенню структури м'якушки. При цьому насіння льону більш рівномірно розподіляється в м'якушці, краще огортається клейковинним каркасом, що візуально створює ефект світлішої м'якушки, порівняно з контролем із сухим насінням. Встановлено, що внесення насіння льону в замоченому вигляді, порівняно з контролем із сухим насінням, зумовлює зменшення кількості клейковини в тісті на 32% та її розтяжності, зниження пружності клейковини. Внесення гідратованого насіння льону дає змогу скоротити тривалість утворення тіста, покращити його стабільність. газоутримувальну та формоутримувальну здатності тістових заготовок.

## Література

1. Батурин А. К., Мендельсон Г. И. Питание и здоровье: проблемы XXI века. *Пищевая промышленность*. 2008. № 5. С. 10—11.

2. Драгун Т., Броунс Ф. Технологии здорового питания. *Пищевая промышленность*. 2005. № 5. С. 11—15.

3. Андронович Г., Бондаренко Ю. Дослідження впливу насіння льону білого на якість пшеничного хліба // 84 міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», 23—24 квітня 2018 р. К.: НУХТ, 2018 р. Ч. 1. С. 166.

4. Enzifst L., Bveo E. Flaxseed (Linseed) fibre — nutritional and culinary uses — a review. *Food New Zealand*. 2014. Issue april/may. P. 26—28.

5. Ganorkar P. M., Jain R. K. Flaxseed — a nutritional punch. International *Food Research Journal*. 2013. № 20 (2). P. 519—525.

6. Touré A., Xueming X. 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. 2010. № 9 (3). P. 261—269.

7. Султаева Н. Л., Перминова В. С. Исследование свойств семян льна и разработка на их основе технологии хлебобулочных изделий. *Интернет-журнал «Науковедение»*. 2015. Т. 7. № 1. С. 1—15.

8. Зубцов В. А., Миневич И. Э. Биологические и физико-химические основы использования льняной муки для разработки хлебобулочных изделий. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2011. № 3. С. 10—13.

9. Пащенко Л. П., Коваль Л. А., Пащенко В. Л. Функциональные свойства семян масличного льна. *Успехи современного естествознания*. 2006. № 10. С. 98—99.

10. Шалтумаев Т. Ш., Могильный М. П., Сигарева М. А. Использование продуктов переработки семян льна для производства изделий повышенной пищевой ценности. *Известия вузов. Пищевая технология*. 2015. № 5—6. С. 42—45.

11. Priyanka K., Alka Sh., Dev R. S. Flaxseed — a potential functional food source. *Journal of Food Science and Technology*. 2015. Vol. 52. P. 1857—1871.

12. Оленников Д. Н., Танхаева Л. М. Исследование процесса экстракции полисахаридов семян льна (*Linum usitatissimum L.*). *Химия растительного сырья*. 2007. № 4. С. 79—83.

13. Warrand J., Michaud P., Muller G., Courtois D., Ralainirina R., Coirtois J. Large-scale purification of water-soluble polysaccharides from flaxseed mucilage, and isolation of a new anionic polymer. *Chromatographia*. 2003. Vol. 58. № 5—6. P. 331—335.

14. Warrand J., Michaud P., Picton L., Muller G., Courtois B., Ralainirina R., Courtois J. Structural investigation of the neutral polysaccharide of *Linum usitatissimum L.* seed mucilage. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2005. Vol. 35. № 3–4. P. 121–125.

15. Farhat R., Zaheer Ah., Sarfraz H., Jen-Yi H., Asif Ah *Linum usitatissimum L.* seeds: Flax gum extraction, physicochemical and functional characterization. *Carbohydrate Polymers*. Vol. 215, 1 July 2019. P. 29—38.

16. Gutte K. B., Sahoo A. K., Ranveer R. C. Bioactive Components of Flaxseed and its Health Benefits. *Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res*. 2015. Vol. 31 (1). P. 42—51.

17. Технохімічний контроль сировини та хлібобулочних і макаронних виробів: навчальний посібник / за ред. чл.-кор. В. І. Дробот. Київ: НУХТ, 2015. 902 с.