

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАСІННЯ ЛЬОНУ ЗОЛОТОГО НА ПРОЦЕСИ УТВОРЕННЯ ТА ДОЗРІВАННЯ ПШЕНИЧНОГО ТІСТА

Бондаренко Ю. В., Білик О. А., Кочубей-Литвиненко О. В., Андронович Г. М.

Для встановлення впливу насіння льону на процеси утворення та дозрівання тіста з пшеничного борошна проводили модельні дослідження. Об'єктами досліджень були борошно пшеничне вищого сорту (контроль) та суміш з борошна пшеничного вищого сорту та цілого насіння льону в кількості 15 % до маси борошна (дослідний зразок), а також тіста з них.

В ході досліджень встановлено, що внесення насіння льону в тістову систему подовжує тривалість її утворення на 22 хв. У зв'язку з цим у виробництві пшеничного хліба з додаванням цілого насіння льону необхідно передбачити подовжену тривалість замішування тіста. Поряд з цим, було відзначено утворення у тісті меншої на 17 %, порівняно з контролем, кількості клейковини, яка мала рихлу не зв'язану структуру та меншу розтяжність. Причиною цього є те, що слизеутворюючі полісахариди насіння льону переходять у рідку фазу тіста, огортають білкові речовини, обмежуючи їх набухання та вклинюючись в клейковинний каркас перешкоджають утворенню суцільної структури клейковини. Це в подальшому зумовлює формування виробів меншого об'єму.

Дослідження впливу насіння льону на процеси дозрівання тіста за кількістю виділеного діоксиду вуглецю під час бродіння показали, що у зразку з льоном тривалість бродіння тіста можна скоротити до 90 хв.

В результаті досліджень також було відзначено, що у зразку з доданням цілого насіння, внаслідок впливу водорозчинних полісахаридів льону, накопичення та зброджування цукрів в тістовій системі відбувається в меншій мірі, ніж у контролі.

Внесення насіння льону зумовлює зниження піддатливості крохмалю до клейстеризації. Внаслідок цього можна передбачити, що крохмальні зерна не здатні будуть зв'язати достатню кількість води і під час випікання буде утворюватися менш еластична м'якушка.

Ключові слова: насіння льону золотого, клейковинний каркас, бродіння тіста, клейстеризація крохмалю, полісахариди насіння льону.

1. Вступ

Актуальним напрямом розвитку асортименту хлібобулочних виробів для здорового харчування є використання нетрадиційної рослинної сировини, що має адаптогенні властивості [1]. Таким видом сировини може бути насіння льону. Насіння льону є цінним джерелом білка, жиру, багатого ненасиченими жирними кислотами, розчинних і нерозчинних харчових волокон [2, 3] і лігнанів [4].

Білки льону мають високу біологічну цінність, оскільки збалансовані за амінокислотним складом. За даними бальної оцінки Всеросійського науково-дослідного інституту механізації льонарства харчова цінність білка з насіння льону становить 92 одиниці [5]. Насіння льону є джерелом ненасичених жирних кислот з переважаючим вмістом α -ліноленової (омега-3), яка зміцнює стінки кровоносних судин, підвищуючи їх еластичність, що є ефективним у лікуванні та профілактиці атеросклерозу [6]. Лігнани насіння льону мають потужну антиоксидантну дію завдяки чому рекомендовані у профілактиці та лікуванні атеросклерозу та коронарної серцевої недостатності [7]. Вуглеводний склад насіння льону в основному представлений розчинними (слизеутворюючими полісахаридами) та нерозчинними харчовими волокнами. В організмі людини полісахариди насіння льону проявляють радіопротекторні та імунізаційні властивості, а також сприяють зниженню вмісту холестерину в крові, профілактиці діабету, зменшенні ризику коронарної недостатності [7, 8].

Розглянемо ринок хлібобулочних виробів на прикладі України. На ринку України є хлібобулочні вироби, що містять насіння льону, наприклад, хліб прибалтійський з насінням, хліб вівсяний з льоном, хліб з льоном, хліб тостовий з льоном, багет з льоном та ін. Однак, вміст льону в них не великий, що не дозволяє надати виробам функціональних властивостей.

В Національному університеті харчових технологій (Київ, Україна) за пробним лабораторним випіканням було встановлено, що для збагачення пшеничного хліба фізіологічно-функціональними інгредієнтами льону золотого, його технологічно можливе дозування становить 15 % до маси борошна [9]. В подальших дослідженнях необхідно встановити вплив насіння льону за цього дозування на процеси утворення та дозрівання тіста.

Об'єктом досліджень у роботі є борошно пшеничне вищого сорту (контроль) та суміш з борошна пшеничного вищого сорту та цілого насіння льону в кількості 15 % до маси борошна (дослідний зразок), а також тіста з них.

Мета досліджень – встановити вплив насіння льону на процеси утворення тіста та його дозрівання.

2. Методика проведення досліджень

У дослідженнях використовували насіння льону виробництва ТОВ «Біорозторопша» (Україна), сорт золотий. Для встановлення впливу цілого насіння льону на процеси утворення та дозрівання тіста з пшеничного борошна проводили модельні досліди. Для їх виконання використовували борошно пшеничне вищого сорту (контроль) та суміш з борошна пшеничного вищого сорту та насіння льону в кількості 15 % до маси борошна (дослідний зразок).

Пружньо-еластичні характеристики тіста вивчали на фаринографі фірми «Brabender» (Німеччина) [10].

Кількість та якість клейковини в контрольному та дослідному зразках оцінювали за стандартними методиками [11].

Загальну кількість виділеного діоксиду вуглецю у напівфабрикатах визначали волюмометричним методом на приладі АГ-1М [11].

Для встановлення кількості накопичених та зброджених цукрів у тісті готували дріжджове та бездріжджове тісто безопарним способом (контроль) і з додаванням 15 % цілого насіння льону до маси борошна. Тривалість бродіння (ферментації) тіста становила 120 хв за температури 30 °С. Визначення кількості цукрів проводили йодометричним методом, який базується на визначенні кількості окисної міді до та після відновлення лужного розчину міді цукром [11].

Для оцінювання піддатливості крохмалю тістових напівфабрикатів дії ферментів було досліджено температуру клейстеризації та час для досягнення найвищої в'язкості на амілографі фірми «Brabender» (Німеччина) [10].

Результати експериментальних досліджень піддавалися статистичній обробці, реалізованій за допомогою стандартних пакетів програм Microsoft Office.

3. Результати досліджень та обговорення

Хімічний склад насіння льону відмінний від пшеничного борошна, а саме характеризується високим вмістом олії, білкових речовин, водорозчинних харчових волокон.

За анатомічно-морфологічною будовою насіння льону відомо, що його блискуча оболонка – це склоподібний шар зневоднених слизеутворюючих полісахаридів. Оскільки насіння льону в рецептуру хліба передбачено вносити в цілому вигляді, то саме ця його складова під час приготування тіста здійснюватиме суттєвий вплив на процеси утворення та дозрівання тіста.

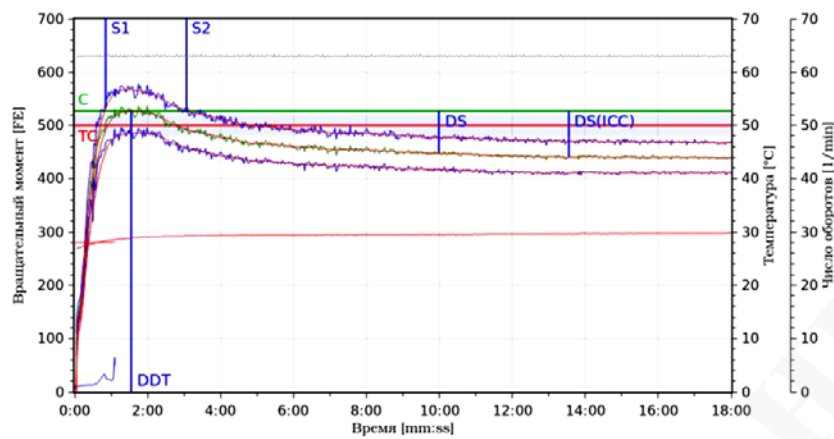
У складі полісахаридів лляного слизу містяться три високомолекулярних полісахариди: 75 % (від загальної змісту слизу) найбільш в'язкого нейтрального полісахариду з молярною масою $1,2 \times 10^6$ г/моль; 3,75 % кислого полісахариду AF1 з молярною масою $6,5 \times 10^5$ г/моль; 21,55 % кислого полісахариду AF2 з молярною масою $1,7 \times 10^4$ г/моль.

Під час замішування тіста полісахариди оболонки насіння льону внаслідок контакту з водою переходять у водорозчинний стан, утворюючи в'язкі розчини, конкурують з білками та крохмалем борошна за воду.

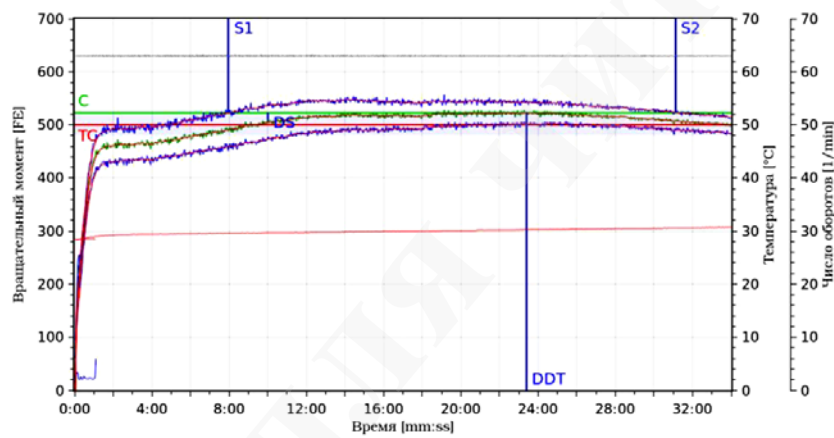
Вплив цілого насіння льону на процеси утворення тіста визначали за допомогою фаринографа фірми Брабендер.

Фаринограми контрольного та дослідного зразків тіста наведено на рис. 1. Результати розшифрування фаринограм наведено в табл. 1.

Аналіз отриманих даних показує, що додавання цілого насіння льону значно подовжує тривалість утворення тіста. Так, в контрольному зразку тривалість утворення тіста становила 1 хв 33 с, тоді як в дослідному зразку з додаванням 15 % насіння льону 23 хв 24 с. При цьому характер кривих фаринограм контрольного та дослідного зразків також суттєво відрізняються. У дослідному зразку під час взаємодії оболонок насіння льону з водою в рідку фазу тіста переходить кисла фракція полісахаридного комплексу оболонки, що має меншу молекулярну масу в порівнянні з нейтральною фракцією.



а



б

Рис. 1. Фаринограмми: а – борошно пшеничне вищого сорту (контроль); б – суміш борошна пшеничного вищого сорту та 15 % цілого насіння льону

Таблиця 1

Структурно-механічні властивості тіста за фаринографом ($n=3, p \leq 0,95$)

Показники	Контроль	Внесено цілого насіння льону, 15 % до маси борошна
Консистенція, од. приладу	527	523
Тривалість утворення, хв	1,33	23,24
Еластичність, од. приладу	90	50
Стабільність, хв	2,13	23,10
Розрідження через 12 хв замішування, од. приладу	87	—

Перехід кислої фракції полісахаридів льону в водний розчин триває до 10 хв, після чого в гідратований стан починають переходити більш

високомолекулярні полісахариди. Останніми гідратуються найбільш високомолекулярні полісахариди, що локалізуються у внутрішніх шарах оболонки насіння та в ендоспермі. Цю закономірність переходу полісахаридів льону було відзначено і під час замішування дослідного зразка тіста: протягом 8 хв замішування участь в утворенні тіста приймали полісахариди кислої фракції, розчини яких суттєво не перешкоджали набухання білкових речовин борошна, однак уповільнювали цей процес. У подальшому в рідку фазу тіста переходять полісахариди нейтральної фракції, що утворюють розчини високої в'язкості та тістова система загущується, що значно знижує та уповільнює набухання білків борошна. Це і зумовлює значне подовження тривалості замішування тіста. У зв'язку з цим у виробництві хліба з додаванням цілого насіння льону необхідно передбачити подовжену тривалість замішування тіста для повного утворення структури тіста.

Отримані дані свідчать, що у зразку з насінням льону знижується еластичність тіста, порівняно з контролем. Напевне, це зумовлено погіршенням розвитку клейковини тіста під дією слизеутворюючих полісахаридів. Поряд з цим спостерігається подовження тривалості стійкості тістової системи та, що є наслідком властивостей в'язких розчинів водорозчинних слизеутворюючих полісахаридів, загущувати та структурувати систему. Внаслідок цього у дослідного зразку також не відбувається розрідження тіста.

Визначну роль у формуванні структурно-механічних властивостей тіста відіграє клейковина. Клейковину в тісті утворюють не розчинні у воді білки пшеничного борошна гліадин та глютенін, які набухаючи утворюють губчастосітчасту структурну основу. Результати дослідження наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Показники якості клейковини ($n=3, p \leq 0,95$)

Показники	Зразки	
	Контроль	З внесенням насіння льону 15 % до маси борошна
Кількість сирої клейковини, %	28,5	23,7
Вологість, %	64,0	66,3
Гідратаційна здатність, %	178	196
Пружність за приладом, од. прил.	55	57
Розтяжність, см	14 (середня)	12 (середня)
Еластичність	Хороша	Хороша
Колір	Світлий з жовтим відтінком	Сіруватий відтінок
Характеристика структури	Хороша	Має ознаки рихлості

За результатами досліджень (табл. 2) було встановлено, що внесення насіння льону зумовлює зменшення кількості клейковини, порівняно з контролем на 17 %.

Причиною зменшення кількості клейковини може бути висока водопоглинальна здатність некрохмальних полісахаридів льону, які є конкурентами білка за воду, внаслідок цього клейковинні білки борошна недостатньо набрякають. Однак при цьому відзначається підвищення гідратаційної здатності клейковини. Припускаємо, це зумовлено включенням в прошарки клейковини розчинів некрохмальних полісахаридів у вигляді в'язких гелів. За зовнішнім виглядом, у разі додавання насіння льону, клейковина набувала рихлої не зв'язаної структури. Це є підтвердженням того, що слизеутворюючі полісахариди огортають білкові речовини, обмежуючи їх набухання та вклинюючись в клейковинний каркас перешкоджають утворенню суцільної структури клейковини. Слизі здійснюють також вплив на розрив дисульфідних зв'язків в клейковинних білках.

Порушення цілісної структури клейковини зумовлює зменшення розтяжності клейковини та зниження її пружності.

Одним із основних процесів, що забезпечує дозрівання тіста, є бродіння, яке супроводжується утворенням діоксиду вуглецю, спирту, летких органічних кислот, що забезпечують розпушення тіста.

Процес бродіння відбувається як внаслідок життєдіяльності дріжджів, так і внаслідок біохімічних перетворень складових тіста.

Влив насіння льону на газоутворення тіста встановлювали за кількістю виділеного вуглекислого газу під час бродіння тіста. При цьому дотримувалися умови, що у прилад поміщали шматки тіста, які містили однакоvu кількість борошна. Тобто змінним фактором, який впливатиме на процес буде кількість доданого цілого насіння льону. Результати дослідження наведено на рис. 2.

Як видно з графіку (рис. 2), газоутворення в тісті з внесенням, як цілого, так і подрібненого насіння протягом 120 хв бродіння відбувається аналогічно контрольному зразку. В подальшому кількість виділеного в ньому діоксиду вуглецю незначно зростає.

Для розуміння перебігу процесу бродіння необхідно проаналізувати закономірності динаміки газоутворення. Криві динаміки газоутворення дослідних зразків зображено на рис. 3.

Процес виділення діоксиду вуглецю стадійний. Спочатку дріжджі зброджують власні цукри борошна за допомогою зимазного комплексу. Після закінчення в середовищі власних цукрів вони задіють свій мальтазний комплекс для зброджування мальтози.

Як видно з рис. 3, у контрольному зразку спостерігається двохстадійність бродіння та перебудова дріжджів на зброджування мальтози відбувається на 60 хв бродіння. У зразку з внесенням цілого насіння льону характер динаміки виділення діоксиду вуглецю має подібний двохстадійний характер, однак перший пік досягається на 30 хв пізніше, ніж в контрольному зразку та при цьому кількість виділеного діоксиду вуглецю на 40 % більша, ніж в контролі.

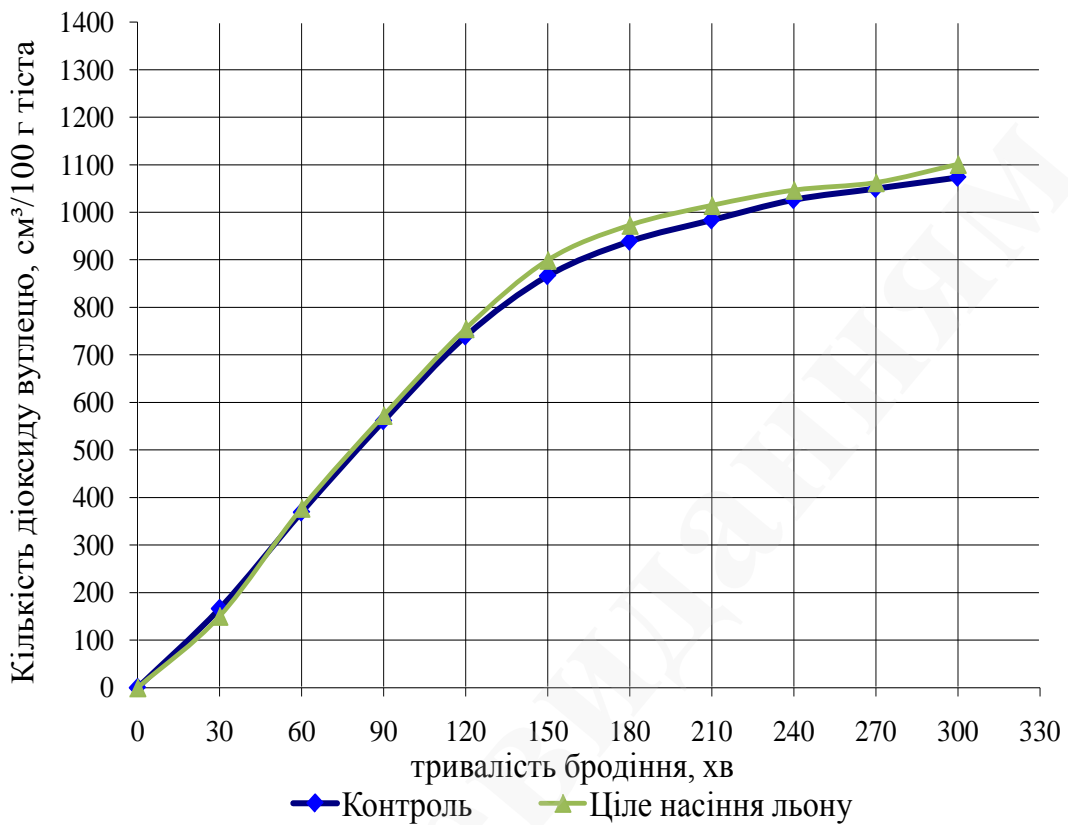


Рис. 2. Газоутворення у тісті

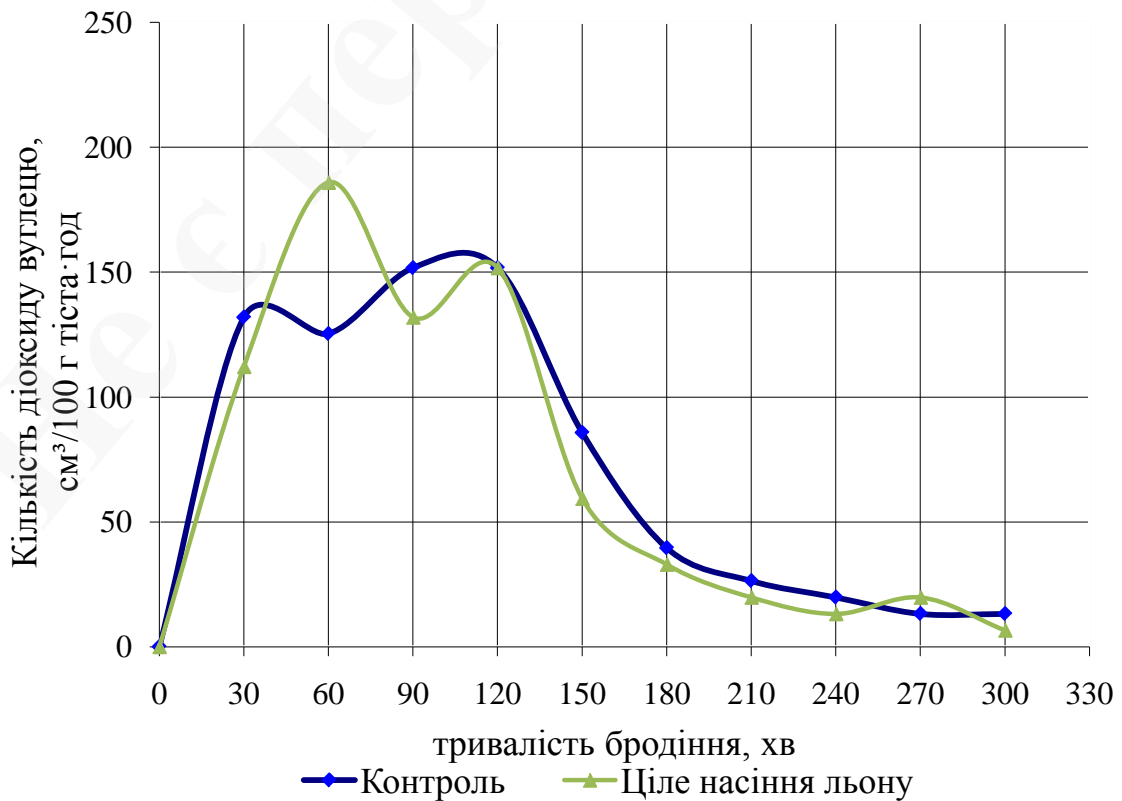


Рис. 3. Динаміка виділення діоксиду вуглець у зразках тіста

Припускаємо, що це зумовлено тим, що під час екстрагування слизеутворюючих полісахаридів у рідку фазу тіста переходять інші водорозчинні речовини насіння льону. Процес переходу полісахаридів насіння льону в розчин супроводжується паралельною екстракцією водорозчинних фракцій білків, що знаходяться в оболонці насіння льону, а саме в водний розчин спочатку переходять білково-полісахаридні асоціати, що представляють кислу фракцію, а потім, безпосередньо полісахаридні структури з меншим вмістом білка. Водорозчинні білкові речовини льону в рідкій фазі тіста є додатковим живленням для дріжджів. Через це перебудова дріжджів на зброджування мальтози відбувається на 30 хв пізніше, ніж у контролі.

Для досягнення хорошої якості виробів процес бродіння тіста необхідно припинити за 30–40 хв до досягнення піку виділення діоксиду вуглецю, щоб етап вистоювання тістових припадав на максимальне газоутворення. Виходячи з цього можна припустити, що для зразку з цілим насінням льону тривалість бродіння становитиме 90 хв.

Газоутворення в тісті залежить від вмісту власних цукрів борошна, але в більшій мірі обумовлено його цукроутворювальною здатністю, яку забезпечують активність амілаз та піддатливість крохмалю амілолізу. Від накопичення цукрів в тісті під час його дозрівання залежить інтенсивність процесів бродіння та утворення забарвлення скоринки хліба внаслідок реакції Майєра.

Поряд з процесом накопичення мальтози в тісті внаслідок гідролітичного розщеплення крохмалю відбувається зброджування її мікроорганізмами тіста.

Від співвідношення між інтенсивністю накопичення цукрів в тісті внаслідок ферментативного гідролізу крохмалю та інтенсивністю збродження їх мікроорганізмами, залежить вміст цукру в тісті перед обробленням та випіканням.

Кількість цукрів, що утворилась за час дозрівання тіста визначали за різницею між їх вмістом у бездріжджовому тісті після замішування та через 4 год його ферментації. Кількість зброджених цукрів – за різницею між сумою кількості цукрів у дріжджовому тісті після замішування та кількістю цукрів, що утворилась у бездріжджовому тісті, та кількістю цукрів, що містилась у дріжджовому тісті після 4 год бродіння.

Встановлено (табл. 3), що у зразках з доданням цілого насіння льону зброджено та накопичено цукрів менше. Припускаємо, що це пов'язано із загущенням рідкої фази тіста полісахаридами насіння льону, які необмежено набухаючи утворюють в'язкий колоїдний розчин, який огортаючи дріжджові клітини знижує їх активність, а огортаючи зерна крохмалю знижує їх піддатливість до амілолізу.

Для підтвердження цього було проведено дослідження на амілографі. Процес клейстеризації крохмалю тістової системи відбувається під час випікання. Для випікання виробів маса тістових заготовок контрольного та дослідних зразків однакова, вміст борошна в них буде різним. Оскільки у дослідному зразку частина борошна буде заміщена насінням льону, а внаслідок меншого вмісту в тістовій заготовці борошна і вміст крохмалю в ній буде менший. Для дотримання таких же умов під час аналізу зразків на амілографі для дослідження було використано 80 г борошна (контроль) та 80 г суміші борошна та цілого насіння льону (вміст насіння льону становить 15 % до маси борошна).

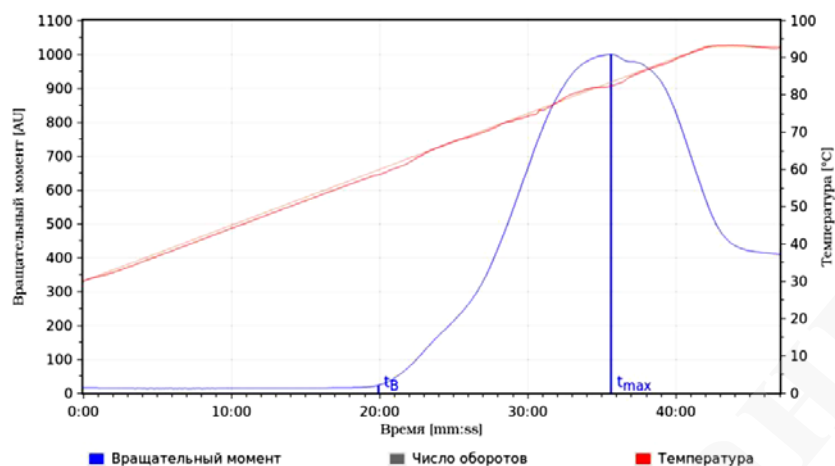
Таблиця 3

Накопичення та збродження цукрів у процесі
бродиння тіста, % на суху речовину

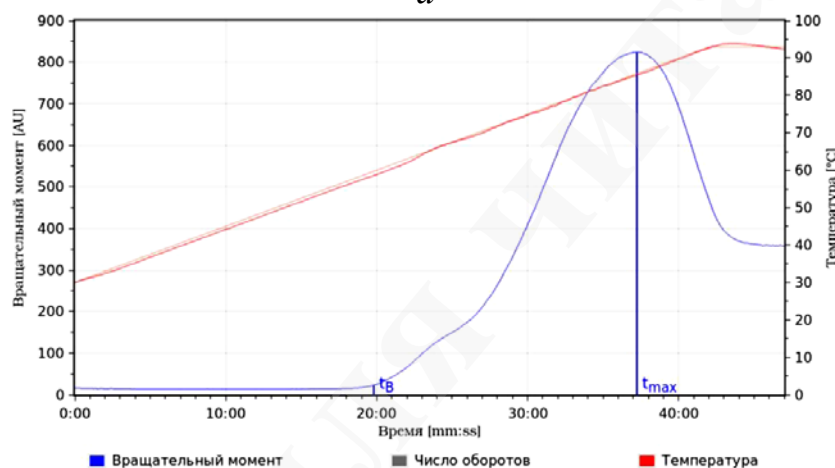
Показники	Контроль	З додаванням 15 % до маси борошна насіння льону
Бездріжджове тісто		
Вміст цукрів після замішування	1,25	1,23
Через 2 год ферментації	2,03	2,22
Утворилось цукрів	0,78	0,48
Дріжджове тісто		
Після замішування	1,27	1,11
Через 2 год ферментації	0,79	0,67
Зброджено цукрів	1,26	1,05

Встановлено (рис. 4, табл. 4), що додавання цілого насіння льону не впливає на температуру та час початку клейстеризації крохмалю, однак затримує на 2 хв час максимальної клейстеризації суспензії та підвищує на 2,5 °С температуру її максимальної клейстеризації. При цьому в'язкість суспензії на момент максимальної клейстеризації в зразку з насінням льону нижча, ніж в контролі та становить 824 AU, тоді як у контролі 1000 AU.

Це зумовлено процесами, які одночасно відбуватимуться в системі, а саме набряканням крохмалю пшеничного борошна та розчинних харчових волокон насіння льону. При контакті насіння льону з водою вже через декілька секунд водорозчинні фракції полісахаридів на поверхні оболонки гідратуються з утворенням більш в'язких, в порівнянні з водою, розчинів. Ці водорозчинні полісахариди конкурують з крохмалем за воду і для його набухання залишається менше води, ніж в контролі. Таким чином, внаслідок того, що у суміші борошно–насіння льону крохмалю міститься менше, ніж у контролі, і цей крохмаль набухає дещо менше, його клейстеризація відбувається в меншій мірі, ніж у контролі, що і зумовлює утворення меншої в'язкості системи. Крім того, огортання крохмальних зерен в'язкими розчинами полісахаридів, та можливе утворення комплексів між крохмалем та сизями, буде зумовлювати зниження піддатливості крохмалю до клейстеризації, що є причиною подовження часу клейстеризації крохмалю та підвищення температури його клейстеризації. Можна передбачити, що внаслідок збільшення поглинання води складовими льону, утворення комплексів слизів з крохмалем, під час випікання крохмальні зерна не здатні зв'язати достатню кількість води та утворюється менш еластична м'якушка, яка швидше черствітиме під час зберігання.



а



б

Рис. 4. Амілограми: а – борошно пшеничне вищого сорту (контроль); б – суміш борошна пшеничного вищого сорту та 15 % цілого насіння льону

Таблица 4

Показники амілограм досліджуваних суспензій

Водно-борошняні суспензії	Контроль	Дослідний зразок з додаванням 15 % цілого насіння льону
Час, коли починається клейстеризація крохмалю (утворення в'язкої системи), хв	19	19
Час, коли відбувається максимальна клейстеризація крохмалю, хв	35	37
Температура початку клейстеризації крохмалю (утворення в'язкої системи), °C	59,9	59,7
Температура максимальної клейстеризації, °C	83,4	85,9
В'язкість на момент максимальної клейстеризації, AU	1000	824

Тому в подальшому необхідно застосовувати технологічні заходи для покращання якості м'якушки виробів з насінням льону та подовження ними свіжості.

4. Висновки

В ході досліджень встановлено, що внесення насіння льону подовжує тривалість утворення тіста на 22 хв. Поряд з цим, було відзначено утворення в тісті меншої на 17 %, порівняно з контролем, кількості клейковини, яка мала рихлу не зв'язану структуру та меншу розтяжність.

Дослідження впливу насіння льону на процеси дозрівання тіста за кількістю виділеного діоксиду вуглецю показали, що у зразку з льоном перебудова дріжджів на зброджування мальтози відбувається на 30 хв пізніше, ніж в контрольному зразку. Це зумовлено збагаченням рідкої фази тіста водорозчинними речовинами, що екстрагуються з оболонки насіння. При цьому тривалість бродіння тіста з насінням льону можна скоротити до 90 хв.

За результатами досліджень також було відзначено, що у зразку з доданням цілого насіння внаслідок впливу водорозчинних полісахаридів льону спостерігається, порівняно з контролем, у меншій мірі накопичення та зброджування цукрів у тісті та зниження піддатливості крохмалю до клейстеризації.

Література

1. Vershinina, S. E., Kravchenko, O. Iu. (2010). Novye istochniki netraditsionnogo rastitelnogo syria v proizvodstve khleba. *Khranenie i pererabotka selkhozsyria*, 5, 51–52.
2. Enzifst, L. E., Bveo, M. E. (2014). Flaxseed (Linseed) fibre – nutritional and culinary uses – a review. *Food New Zealand*, 26–28.
3. Ganorkar, P. M., Jain, R. K. (2013). Flaxseed – a nutritional punch. *International Food Research Journal*, 20 (2), 519–525.
4. Touré, A., Xueming, X. (2010). Flaxseed Lignans: Source, Biosynthesis, Metabolism, Antioxidant Activity, Bio-Active Components, and Health Benefits. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9 (3), 261–269. doi: <http://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00105.x>
5. Sultaeva, N. L., Perminova, V. S. (2015). Issledovanie svoistv semian lna i razrabotka na ikh osnove tekhnologii khlebobulochnykh izdelii. *Naukovedenie*, 7 (1), 1–15.
6. Paschenko, L. P., Koval, L. A., Paschenko, V. L. (2006). Funktsionalnye svoistva semian maslichnogo lna. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia*, 10, 98–99.
7. Shaltumaev, T. Sh., Mogilnii, M. P., Sigareva, M. A. (2015). Ispolzovanie produktov pererabotki semian lna dlia proizvodstva izdelii povyshennoi pischevoi tsennosti. *Izvestiia vuzov. Pischevaia tekhnologiya*, 5-6, 42–45.
8. Gutte, K. B., Sahoo, A. K., Ranveer, R. C. (2015). Bioactive Components of Flaxseed and its Health Benefits. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 31 (1), 42–51.
9. Andronovych, H., Bondarenko, Yu. (2018). Doslidzhennia vplyvu nasinnia lonu biloho na yakist pshenychnoho khliba. *Naukovi zdobutky molodi – vyrishenniu problem kharchuvannia liudstva u XXI stolitti*. Kyiv: NUKhT, 1, 166.
10. Lebedenko, T. Ie., Pshenyshniuk, H. F., Sokolova, N. Iu. (2014). *Tekhnolohiia khlibopekarskoho vyrobnytstva. Praktykum*. Odesa: Osvita Ukrainy, 392.
11. Drobot, V. I. (Ed.) (2015). *Tekhnokhimichniy kontrol syrovyny ta khlibobulochnykh i makaronnykh vyrobiv*. Kyiv: NUKhT, 902.