

THE EFFECT OF PUMPKIN CELLULOSE ON THE REDISTRIBUTION OF STRUCTURAL GROUPS IN WHEAT FLOUR DOUGH AND BREA

A. Shevchenko, S. Litvynchuk, O. Koval

National University of Food Technologies

Key words:

Pumpkin cellulose
Gluten
Conformational transformations
Structural element
Infrared spectroscopy

Article history:

Received 23.03.2023
Received in revised form 04.04.2023
Accepted 14.04.2023

Corresponding author:

A. Shevchenko

E-mail:

nastyusha8@ukr.net

ABSTRACT

Taking into account the recommendations of the FAO WHO to increase the proportion of dietary fiber in the diet, pumpkin products are a promising raw material for inclusion in the recipe of products of various industries, and particularly bakery industry.

The content of the main nutrients in pumpkin cellulose is much higher than in high-grade wheat flour: protein — 3.7 times (42% and 11.3%, respectively), dietary fiber — 9.1 times (32% and 3.5 %, respectively).

The main protein fraction of pumpkin cellulose is globulin, a slightly lower content is glutenin and albumin, and the content of the prolamin fraction is the lowest. About 87.4% of the total amount of pumpkin cellulose protein was extracted using solvent.

The infrared spectra of the dough of the control sample after kneading and the sample with the replacement of 5% of wheat flour with pumpkin cellulose are practically the same over the entire wavelength. In the wavelength range of 1700...1790 nm during fermentation, the spectra shifted significantly upwards, compared to the spectra of the samples after kneading, because pumpkin cellulose, due to its higher content of dietary fibers than wheat flour, as well as its higher water absorption and moisture retention capacity, contributes to less dilution of the dough during fermentation.

At a wavelength of 2100 nm, the spectra of the control and replacement dough samples after kneading were superimposed and had a spectral index of 0.46. During fermentation, conformational transformations occur in the structure of the protein matrix. There is a delay in the development of the gluten network due to the inclusion of pumpkin cellulose particles in the gluten frame of the dough.

In general, the spectra of samples with 15% replacement of wheat flour with pumpkin cellulose have a similar character to the spectra of samples with 5% replacement. Thus, the partial replacement of wheat flour with pumpkin cellulose in the recipe of wheat bread leads to changes in the structural elements of the dough and the structural and mechanical properties of the dough system and bread.

ВПЛИВ ГАРБУЗОВОЇ КЛІТКОВИНИ НА ПЕРЕРОЗПОДІЛ СТРУКТУРНИХ ГРУП У ТІСТІ ТА ХЛІБІ З ПШЕНИЧНОГО БОРОШНА

А. О. Шевченко, С. І. Літвинчук, О. В. Коваль

Національний університет харчових технологій

Зважаючи на рекомендації ФАО ВООЗ збільшувати в раціоні харчування частки харчових волокон, перспективною сировиною для включення в рецептуру продуктів різних галузей, і хлібобулочної зокрема, є продукти з гарбуза.

Вміст основних нутрієнтів у гарбузовій клітковині набагато вищий, ніж у борошні пшеничного вищого сорту: білка — у 3,7 раза (42% та 11,3% відповідно), харчових волокон — у 9,1 раза (32% та 3,5% відповідно).

Основною білковою фракцією гарбузової клітковини є глобулін, децю менший вміст глютеліну та альбуміну, а вміст проламінової фракції найменший. Близько 87,4% від загальної кількості білка гарбузової клітковини екстрагували розчинником.

Інфрачервоні спектри тіста контрольного зразка після змішування і зразка із заміною 5% пшеничного борошна гарбузовою клітковиною практично збігаються по всій довжині хвиль. У діапазоні довжин хвиль 1700...1790 нм у процесі бродіння спектри значно змістились вверх, порівняно зі спектрами зразків після змішування, оскільки гарбузова клітковина завдяки вищому вмісту харчових волокон, ніж пшеничне борошно, а також вищій водопоглинальній і вологоутримувальній здатності сприяє меншому розрідженню тіста в процесі бродіння.

На довжині хвилі 2100 нм після змішування спектри зразків тіста контрольного та і з заміною накладаються та мають спектральний індекс 0,46, а в процесі бродіння відбуваються конформаційні перетворення в структурі білкової матриці. Має місце затримка розвитку глютенної мережі через включення частинок гарбузової клітковини в клейковинний каркас тіста.

Загалом, спектри зразків із заміною 15% пшеничного борошна гарбузовою клітковиною мають схожий характер зі спектрами зразків із заміною 5%. Отже, часткова заміна пшеничного борошна гарбузовою клітковиною в рецептурі пшеничного хліба призводить до зміни структурних елементів тіста і структурно-механічні властивостей тістової системи та хліба.

Ключові слова: хліб, гарбузова клітковина, клейковина, конформаційні перетворення, структурний елемент, інфрачервона спектроскопія.

Постановка проблеми. У наш час популяризація вживання рафінованої продукції призвела до зменшення частки основних нутрієнтів, які надходять в організм з їжею. Експертами ФАО ВООЗ рекомендовано збільшувати кількість харчових волокон у раціоні. Зважаючи на використання очищеної сировини, зокрема в технології хлібопекарського виробництва, постала проблема включення харчових волокон у рецептуру виробів. Рішенням може бути збагачення хліба

шляхом внесення сировини, багаті на харчові волокна, до рецептури хлібобулочних виробів. З цієї точки зору цінною сировиною є гарбуз та продукти його переробки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У технології хлібобулочного виробництва застосовують гарбуз у нативному вигляді та продукти його переробки. Було досліджено показники якості гарбуза, який піддавали мікрохвильовій вакуумній сушці, та можливість його застосування у виробництві пшеничного хліба. Показники якості гарбуза в нативному вигляді становили: вміст редуруючих цукрів — 2,40 г, вітаміну С — 0,26 г, каротиноїдів — 0,50 мг % (у сухій речовині). Застосовували такі технологічні параметри сушіння гарбуза у вакуумній мікрохвильовій сушарці: тиск (70—50 мм рт. ст.), швидкість трамблера — 6 об/хв, один робочий цикл. Під час сушіння гарбузів спостерігалось зниження таких показників: вміст вологи — у 10,5 раза, вміст вітаміну С — у 2,0 рази, збільшення значення жовтизни в 1,5 раза. Оптимальна кількість додавання сушеного гарбуза до пшеничного тіста становила 10% від загальної кількості борошна. Зразок пшеничного хліба з добавкою сушених гарбузів багатший на каротиноїди та цукри порівняно з контрольним зразком пшеничного хліба. Результати сенсорного аналізу з використанням гедонічної оцінки показали, що вище був оцінений смак зразка хліба з добавкою сушеного гарбуза порівняно з контрольним зразком пшеничного хліба (Rakcejeva, Galoburda, Cude, & Strautniece, 2011).

У технології хлібобулочного виробництва відомо застосування гарбузової м'якоти. Визначали вплив додавання свіжої м'якоти гарбуза безпосередньо в пшеничне борошно на фізичні, органолептичні та біологічні властивості хліба. Також досліджували біодоступність активних сполук. Збільшення додавання м'якоти гарбуза з 5 до 20% (у перерахунку на суху речовину) спричинило зменшення об'єму хліба та підвищення твердості м'якушки. Органолептичні характеристики хліба показали, що часткова заміна пшеничного борошна на м'якоть гарбуза до 10% дала задовільний результат, а додавання більшої кількості спричинило неприємний аромат і смак. М'якоть гарбуза є гарною сировиною для збагачення хліба потенційно біодоступними фенолами (включаючи флавоноїди) і, особливо, пептидами. Найвищу антиоксидантну активність спостерігали у зразках з додаванням 10 та 15% м'якоти гарбуза. Додавання м'якоти значно збагатило хліб потенційно біодоступними інгібіторами ангіотензинперетворювального ферменту (АПФ). Найбільшу активність виявили у хлібі з 15 і 20% м'якоти гарбуза. Інгібітори АПФ були високо біодоступними *in vitro*. Крім того, м'якоть гарбуза є відходами після отримання насіння, тому використання її як добавки також має екологічний та економічний ефект з огляду на вектори стратегії сталого розвитку виробництва (Rózyło та ін., 2014).

Було проведено дослідження, спрямоване на оцінку впливу часткової заміни 5—20% пшеничного борошна гарбузовим на фізичні властивості та клітинну структуру гарбузового хліба. Оцінено фізичні властивості та клітинну структуру хліба. Питомий об'єм хліба суттєво зменшувався при 10% та більшому ступені заміни гарбузовим борошном. Гарбузове борошно не вплинуло на текстуру збагаченого хліба порівняно з контрольним зразком. Внесення гарбузового борошна значно вплинуло на клітинну структуру хліба, за винятком щільності м'якушки. Середня площа пор збагаченого хліба була меншою, ніж у контрольного хліба.

Внесення 20% гарбузового борошна значно збільшило площу пор хліба, тому раціональним є використання гарбузового борошна менше 10% при виготовленні хліба (Wahyono та ін., 2018).

Дослідження інших науковців з визначення впливу гарбузового борошна на фізико-хімічні характеристики хліба показало, що при збільшенні рівня заміни з 5% до 15% пшеничного борошна гарбузовим збільшувався вміст золи та сирової клітковини. Проте відбулося значне зниження питомого об'єму хліба, тому раціональним відсотком внесення гарбузового борошна є 5% (See, Wan Nadiah, & Noor Aziah, 2007).

Визначали вплив порошку солодкого гарбуза на фізико-хімічні властивості хліба. Ліофілізований солодкий гарбуз подрібнили, просіяли через лабораторне сито і відібрали фракцію з частинками менше 250 мкм. Було виявлено, що кількість гарбузового порошку, доданого до хліба, впливає на його якість. Збагачення цією сировиною пшеничного хліба зменшило об'єм хліба без істотних змін вмісту вологи. З додаванням порошку спостерігалися характерні зміни кольору (Yoo, Seog, & Lee, 2006).

У науковій літературі знайдено небагато інформації щодо впливу гарбузової клітковини як побічного продукту переробки гарбуза на властивості тіста та хліба з пшеничного борошна.

Мета статті: визначити відмінності фракційного складу білків борошна пшеничного та гарбузової клітковини і дослідити вплив клітковини на конформаційні зміни в структурних одиницях пшеничного тіста та хліба.

Матеріали і методи. *Масова частка загального білка.* Для визначення масової частки білка в сировині застосовували метод К'ельдаля: пробу мінералізували, після чого отриманий розчин титрували. Для мінералізації 1 г сировини гідролізували 15 мл концентрованої сірчаної кислоти протягом 2 год при 420 °С в присутності мідного каталізатора. Отриманий розчин охолоджували, додавали дистильовану воду, проводили нейтралізацію й титрування. Кількість білка розраховували з урахуванням концентрації азоту в сировині. Дані виражали у г білків на 100 г борошна (Shevchenko, & Litvynchuk, 2022).

Вміст харчових волокон. Для визначення загального вмісту харчових волокон у сировині застосовували ферментативно-гравіметричний метод. 50 г сировини подрібнюють у млині, щоб частки проходили крізь отвори сита 0,5 мм. Увесь подрібнений матеріал переносять у пластикову банку з широким горлом, закривають і перемішують. 1,000±0,005 г зразка точно зважують у скляну пляшку Dugan R. В неї ж вносять 1,0 мл етанолу і 40 мл суміші панкреатичної α -амілази. Закупорені пляшки поміщають у струшувальну інкубаційну ванну. Реакційні розчини інкубують зі швидкістю 150 об/хв при 37 °С протягом 16 годин. Додають 3,0 мл 0,75 М розчину основи Trizma, щоб припинити реакцію. Після цього пляшки поміщають на водяну баню при 95—100 °С та інкубують протягом 20 хвилин. Пляшку охолоджують до 60 °С, додають 0,1 мл розчину протеази та інкубують при 60 °С протягом 30 хвилин. Після цього додають 4,0 мл 2 М оцтової кислоти для досягнення рН 4,3±0,3. Визначають вміст низькомолекулярних і високомолекулярних розчинних харчових волокон та їхню суму. Паралельно роблять не менше трьох досліджень (Mc Cleary та ін. 2010; Shevchenko, Drobot, & Galenko, 2022).

Фракційний склад білка. Для підготовки зразка гарбузову клітковину просівали через сітчасте сито для отримання дрібного порошку. Сировину знежирювали пентаном. Суспензію клітковина-розчинник змішували у співвідношенні 1:10 мас/об протягом 24 год, потім розчинник видаляли центрифугуванням.

Визначення фракційного складу білка проводили методом диференціальної екстракції за Осборном. Відповідно до методу білки гарбузової клітковини фракціонували зі знежиреної пентаном сировини (Hорax, Hettiarachchy, Over, Chen, & Gbur, 2010). Суспензії гарбузової клітковини і води (20 г сировини в 100 мл деіонізованої води) змішували протягом 2 год при кімнатній температурі та центрифугували при 20000 об/хв протягом 30 хв, щоб відокремити супернатант від осаду й отримати деіонізований водний екстракт. Ті ж умови для екстракції/розділення зберігалися для наступних етапів екстракції білка. Осад водного екстракту поміщали в 100 мл 1 М розчину NaCl і змішували, як зазначено вище. Супернатант, одержаний після центрифугування, екстрагували 100 мл деіонізованої води при рН=1 0,5 М розчином NaOH, що призводило до отримання лужного екстракту. Екстрагування проводили двічі, після чого двічі промивали 20 мл розчинника для збору залишкового білка, захопленого нерозчинними залишками. Отримані екстракти осаджували для виділення, доводячи рН отриманого супернатанту до рН, що відповідає мінімальній розчинності (рН_{ms}), визначеній за допомогою експерименту з визначення каламутності (Reziga in., 2013). Значення рН регулювали 1 М розчинами NaOH або 1 М HCl у лужному або кислому середовищі відповідно. Після центрифугування протягом 15 хв при 15000 об/хв білковий осад двічі промивали деіонізованою водою при відповідних рН_{ms} і знову центрифугували. Отримані білкові фракції повторно розчиняли, доводячи рН до 7,0 і ліофілізували (Reziga, Riaublanc, Chouaibi, Guéguen, & Hamdi, 2015).

Інфрачервона спектроскопія в ближній інфрачервоній області. Спектроскопію проводили на спектрометрі Infracid (Labor-Mim, Угорщина). Спектри відбивання від подрібнених зразків з гладкою поверхнею досліджували в ближньому інфрачервоному діапазоні довжин хвиль від 1330 до 2370 нм. Спектрометр реєстрував спектр відбиття від досліджуваного зразка та від еталона Ю. Спектри представлені як відбиваюча здатність R у відносних одиницях (співвідношення інтенсивностей $I/I_0=R$), залежно від довжини хвилі в нм (Litvynchuk та in., 2022; Niewietzki, Tillmann, Becker, & Mollers, 2010). Іntenсивність відбивання вимірювали в тісті після замішування і після 3,5 год бродіння і в хлібі. Виразали інтенсивність відбивання через перерахунок відносного коефіцієнта відбивання до спектрального індексу (Yip, Gausemel, Sande, & Dyrstad, 2012).

Статистичний аналіз. Представлені дані являють собою середнє арифметичне значення трьох повторів \pm стандартне відхилення. Графічне представлення експериментальних даних здійснювали за допомогою пакета стандартних програм статистичної обробки Microsoft Excel 2010.

Викладення основних результатів дослідження. Гарбузова клітковина є побічним продуктом виробництва гарбузового борошна. Вміст основних нутрієнтів в ній набагато вищий, ніж у борошні пшеничному вищого сорту: білка — у 3,7 раза (42% та 11,3% відповідно), харчових волокон — у 9,1 раза (32% та 3,5% відповідно). Така різниця буде впливати на властивості тістової системи в процесі

виготовлення хлібобулочних виробів, зокрема через різне співвідношення білкових фракцій у цій сировині (табл. 1).

Таблиця 1. Фракційний склад білків гарбузової клітковини та пшеничного борошна

Масова частка білків (г/100г)	Пшеничне борошно	Гарбузова клітковина
Альбуміни	5,4±0,21	13,8±0,32
Глобуліни	9,9±0,34	49,2±1,61
Глютеліни	27,1±0,78	20,3±0,74
Проламіни	43,1±1,12	4,1±0,16
Нерозчинні білки	14,5±0,46	12,6±0,41

Отримані результати свідчать про те, що основною білковою фракцією гарбузової клітковини є глобулін, дещо менший вміст глютеліну та альбуміну, а вміст проламінової фракції найменший. Близько 87,4% від загальної кількості білка гарбузової клітковини екстрагували розчинником. Така тенденція підтверджується дослідженнями інших науковців, хоча числові дані різняться (Pham, Tra, Ton, & Le, 2016).

Різниця в хімічному складі пшеничного борошна і гарбузової клітковини повинна вплинути на зміну основних структурних одиниць тіста і хліба з цими компонентами в рецептурі. Для ідентифікації й аналізу цих компонентів доцільно використовувати спектр відбиття в ближній інфрачервоній області.

Аналіз зміни та перерозподілу структурних груп після замішування тіста, через 3,5 год його бродіння та готового хліба було проведено за перерахунком коефіцієнта відбивання на спектральний індекс (рис. 1).

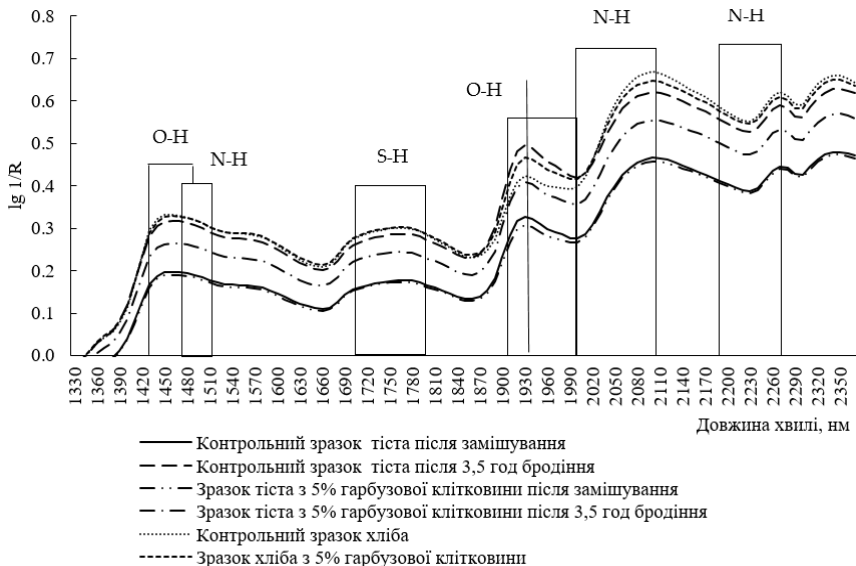


Рис. 1. Зміни і перерозподіл структурних груп у хлібі й тісті з 5% гарбузової клітковини після замішування та через 3,5 год бродіння

Аналіз спектрів тіста після замішування, через 3,5 год та випеченого хліба (як контрольних зразків, так і з заміною 5% пшеничного борошна на гарбузову клітковину) підтвердив значення максимумів, які є однаковими для всіх спектрів: 1460 нм, 1770 нм, 1930 нм, 2100 нм, 2270 нм та 2350 нм. Спектри тіста контрольного зразка після замішування і зразка із заміною 5% пшеничного борошна гарбузовою клітковиною практично збігаються по всій довжині хвиль. Це пояснюється тим, що досліджуваний відсоток заміни є недостатнім для здійснення впливу на зміну функціональних груп, а також про те, що для взаємодії біополімерів сировини пройшло мало часу.

Екстремум на довжині хвилі 1460 нм відповідає першому обертону валентних коливань ОН-групи. На довжині хвилі 1770 нм присутня функціональна група S-H (перший обертон).

У діапазоні довжин хвиль 1700—1790 нм присутні функціональні сульфгідрильні групи S-H (перший обертон) та пологі екстремуми в спектрах усіх зразків, що дають змогу оцінити перебіг процесу протеолізу в тісті. Аналіз рис. 1 показує, що спектри зразків тіста після замішування накладаються в цій області, а спектральні індекси становлять 0,28 на піку. Це пояснюється тим, що на цьому етапі процес протеолізу ще не розпочався. В процесі бродіння спектри в цьому діапазоні значно змістились вгору, особливо спектр контрольного зразка, спектральний індекс якого 0,30, а зразка із заміною — 0,25. Це пояснюється тим, що гарбузова клітковина завдяки вищому вмісту харчових волокон, ніж пшеничне борошно, а також вищій водопоглинальній і вологоутримувальній здатності сприяє меншому розрідженню тіста в процесі бродіння, що забезпечить його кращу формоутримувальну здатність.

На довжині хвилі 1930 нм (другий обертон ОН-деформаційних коливань) можна визначити вміст води (вологість) у зразках. Однак у цьому разі ця довжина хвилі не є інформативною, оскільки свідчить лише про ступінь висушування при підготовці зразків.

Для характеристики білкових структур використовують довжини хвиль 1510 нм (N-H валентні коливання, перший обертон), 2060 нм (N-H деформаційні коливання, другий обертон або N-H деформаційні / N-H валентна комбінація), 2100 нм (другий обертон N-H деформаційних коливань) та 2180 нм (N-H деформаційні коливання, другий обертон). Як свідчать дані рис. 1 на довжинах хвиль 1510 нм, 2060 нм та 2180 нм відсутні явні піки, тому найбільш виражено стан клейковини можна охарактеризувати за довжиною хвилі 2100 нм. Після замішування спектри зразків тіста контрольного та із заміною накладаються та мають спектральний індекс 0,46, а в процесі бродіння відбуваються конформаційні перетворення в структурі білкової матриці. Так, спектральні індекси в обох зразках (контрольного та з заміною) збільшились, порівняно зі значеннями після замішування, і становлять 0,62 для контрольного зразка і 0,54 для зразка із заміною 5% пшеничного борошна гарбузовою клітковиною. Це пояснюється значним зменшенням кількості клейковини в тісті, що підтверджується експериментальними даними (Drobot, & Shevchenko, 2021), а також впливом на її якість. Має місце затримка розвитку глютенної мережі через включення частинок гарбузової клітковини в клейковинний каркас тіста. За рахунок властивостей цієї сировини структура тіста стає більш пухкою, однак клейковина ущільнюється.

На довжині хвилі 2270 нм (О-Н валентні коливання/С-О валентна комбінація) можна судити про вміст лігніну. Оскільки у гарбузовій клітковині лігнін відсутній, заміна ним частини пшеничного борошна призведе до зменшення цієї речовини в тісті, про що свідчать отримані спектри. Нижче розташування спектрів зразків із заміною 5% пшеничного борошна гарбузовою клітковиною свідчить про кращу засвоюваність виробів з цією сировиною.

Під час операції випікання хліба застосовуються високі температури, які, як відомо, спричиняють руйнування структур білка (Zhou та ін., 2021), тому, незважаючи на значну різницю в розташування спектрів збродженого тіста, спектри зразків хліба як контрольного, так і з заміною, практично накладаються по всьому діапазону довжин хвиль.

На рис. 2 представлено зміни та перерозподіл структурних груп у хлібі й тісті із заміною пшеничного борошна на 15% гарбузової клітковини.

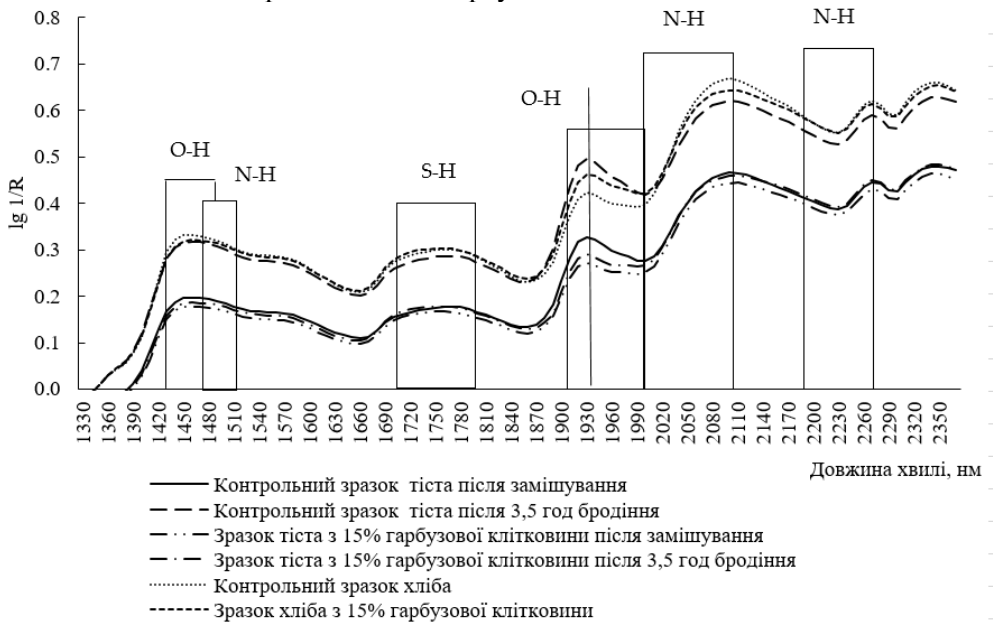


Рис. 2. Зміни і перерозподіл структурних груп у хлібі й тісті з 15% гарбузової клітковини після замішування та через 3,5 год бродіння

Загалом спектри зразків із заміною 15% пшеничного борошна гарбузовою клітковиною мають схожий характер зі спектрами зразків із заміною 5%. Однак числові значення мають відмінності.

Спектр зразка із заміною 15% після замішування знаходиться дещо нижче від спектра контрольного зразка порівняно зі спектром із заміною 5%. Це пояснюється тим, що при збільшенні відсотка заміни деякі зміни в структурі тіста можна спостерігати вже одразу після замішування.

У процесі бродіння збільшення відсотка заміни активніше впливає на перерозподіл структурних груп і конформації в структурі тістової системи. Так, спектральний індекс зразка із 15% заміною пшеничного борошна гарбузовою клітковиною на довжині хвилі 2100 нм становить 0,46 і повністю накладається на

спектр контрольного зразка на цій довжині. Це пояснюється впливом клітковини на розвиток глютенної мережі, зокрема на його затримку. Тобто така кількість внесення гарбузової клітковини з технологічної точки зору є недоцільною, адже клейковинний каркас не може розвиватись через велику кількість включень цієї сировини.

Отже, часткова заміна пшеничного борошна гарбузовою клітковиною в рецептурі пшеничного хліба призводить до зміни структурних елементів тіста і структурно-механічних властивостей тістової системи та хліба.

Високий вміст білка та харчових волокон у гарбузовій клітковині робить цю сировину цінною з точки зору підвищення харчової цінності хліба, а також відповідає векторам світової стратегії сталого розвитку. Однак великий відсоток заміни спричиняє затримку розвитку клейковинного каркасу, що призведе до зниження показників якості хліба.

Висновки

Вміст основних нутрієнтів у гарбузовій клітковині набагато вищий, ніж у борошні пшеничного вищого сорту: білка — у 3,7 раза (42% та 11,3% відповідно), харчових волокон — у 9,1 раза (32% та 3,5% відповідно).

Основною білковою фракцією гарбузової клітковини є глобулін, дещо менший вміст глютеліну та альбуміну, а вміст проламінової фракції найменший. Близько 87,4% від загальної кількості білка гарбузової клітковини екстрагували розчинником.

Інфрачервоні спектри тіста контрольного зразка після замішування і зразка із заміною 5% пшеничного борошна гарбузовою клітковиною практично збігаються по всій довжині хвиль. У діапазоні довжин хвиль 1700—1790 нм у процесі бродіння спектри значно змістились вгору, порівняно зі спектрами зразків після замішування, оскільки гарбузова клітковина завдяки вищому вмісту харчових волокон, ніж пшеничне борошно, а також вищій водопоглинальній і вологоутримувальній здатності сприяє меншому розрідженню тіста в процесі бродіння.

На довжині хвилі 2100 нм після замішування спектри зразків тіста контрольного та із заміною накладаються та мають спектральний індекс 0,46, а в процесі бродіння відбуваються конформаційні перетворення в структурі білкової матриці. Має місце затримка розвитку глютенної мережі через включення частинок гарбузової клітковини в клейковинний каркас тіста.

Загалом спектри зразків із заміною 15% пшеничного борошна гарбузовою клітковиною мають схожий характер зі спектрами зразків із заміною 5%. Однак числові значення мають відмінності. Отже, часткова заміна пшеничного борошна гарбузовою клітковиною в рецептурі пшеничного хліба призводить до зміни структурних елементів тіста і структурно-механічних властивостей тістової системи та хліба.

Література

Drobot, V., Shevchenko, A. (2021). Influence of pumpkin processing products on structural and mechanical properties of dough and bread quality. *Науко віпраці НУХТ*, 27(3), 172—180. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2021-27-3-20>.

Horax, H., Hettiarachchy, N., Over, K., Chen, P., Gbur, E. (2010). Extraction, fractionation and characterization of bitter melon seed proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 1892—1897. <https://doi.org/10.1021/jf902903s>.

Litvynchuk, S., Galenko, O., Cavicchi, A., Ceccanti, C., Mignani, C., Guidi, L., Shevchenko, A. (2022). Conformational Changes in the Structure of Dough and Bread Enriched with Pumpkin Seed Flour. *Plants*, 11, 2762. <https://doi.org/10.3390/plants11202762>.

Mc Cleary, B. V., De Vries, J. W., Rader, J. I., Cohen, G., Prosky, L., Mugford, D. C., Champ, M., Okuma, K. (2010). Determination of Total Dietary Fiber (CODEX Definition) by Enzymatic-Gravimetric Method and Liquid Chromatography: Collaborative Study. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 93(1), 221—233. <https://doi.org/10.1093/jaoac/93.1.221>.

Niewietzki, O., Tillmann, P., Becker, H. C., Mollers, C. (2010). A new near-infrared reflectance spectroscopy method for high-throughput analysis of oleic acid and linolenic acid content of single seeds in oilseed rape (*Brassica napus L.*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 94—100. <https://doi.org/10.1021/jf9028199>.

Pham, T. T., Tran, T. T. T., Ton, N. M. N., Le, V. V. M. (2016). Effects of pH and Salt Concentration on Functional Properties of Pumpkin Seed Protein Fractions. *Journal of Food Processing and Preservation*. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13073>.

Rakcejeva, T., Galoburda, R., Cude, L., Strautniece, E. (2011). Use of dried pumpkins in wheat bread production. *Procedia Food Science*, 1, 441—447. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.068>.

Rezig, L., Chibani, F., Chouaibi, M., Dalgalarondo, M., Hessini, K., Guéguen, J., Hamdi, S. (2013). Pumpkin (*Cucurbita maxima*) seed proteins: Sequential Extraction Processing and Fraction Characterization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61, 7715—7721. <https://doi.org/10.1021/jf402323u>.

Rezig, L., Riaublanc, A., Chouaibi, M., Guéguen, J., Hamdi, S. (2015). Functional properties of protein fractions obtained from pumpkin (*Cucurbita maxima*) seed. *International Journal of Food Properties*, 150414051930004. <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1020433>.

Różyło, R., Gawlik-Dziki, U., Dziki, D., Jakubczyk, A., Karaś, M., Różyło, K. (2014). Wheat Bread with Pumpkin (*Cucurbita maxima L.*) Pulp as a Functional Food Product. *Food technology and biotechnology*, 52(4), 430—438. <https://doi.org/10.17113/ftb.52.04.14.3587>.

See, E. F., Wan Nadiyah, W. A., Noor Aziah, A. A. (2007). Physico-Chemical and Sensory Evaluation of Bread Supplemented with Pumpkin Flour. *ASEAN Food Journal*, 14(2), 123—130.

Shevchenko, A., Drobot, V., Galenko, O. (2022). Use of pumpkin seed flour in preparation of bakery products. *Ukrainian Food Journal*, 11(1), 90—101. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2022-11-1-10>.

Shevchenko, A., Litvynchuk, S. (2022). Influence of rice flour on conformational changes in the dough during production of wheat bread. *Ukrainian Journal of Food Science*, 10(1), 5—15. <https://doi.org/10.24263/2310-1008-2022-10-1-3>.

Wahyono, A., Tifania, A. Z., Kurniawati, E., Kasutjjaningati, K., Kang, W. W., Chung, S. K. (2018). Physical properties and cellular structure of bread enriched with pumpkin flour. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 207, 012054. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/207/1/012054>.

Yip, W. L., Gausemel, I., Sande, S. A., Dyrstad, K. (2012). Strategies for multivariate modeling of moisture content in freeze-dried mannitol-containing products by near-infrared spectroscopy. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 70, 202—211. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2012.06.043>.

Yoo, J. S., Seog, E. J., Lee, J. H. (2006). Quality Bread as Influenced by Sweet Pumpkin Powder. *Journal of Food Science and Nutrition*, 11, 339—343.

Zhou, Y., Dhital, S., Zhao, C., Ye, F., Chen, J., Zhao, G. (2021). Dietary fiber-gluten protein interaction in wheat flour dough: Analysis, consequences and proposed mechanisms. *Food Hydrocolloids*, 111, 106203. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106203>.