
Вплив вівсяних висівок в поєднанні з фосфоліпідами на перерозподіл структурних груп в тісті та хлібі з пшеничного борошна

Анастасія Шевченко

Кафедра технології хлібопекарських і кондитерських виробів, Національний університет харчових технологій, Київ, Україна
ORCID 0000-0002-6215-4860

Світлана Літвинчук

Кафедра фізики, Національний університет харчових технологій, Київ, Україна
ORCID 0000-0002-5580-3826

Віра Дробот

Кафедра технології хлібопекарських і кондитерських виробів, Національний університет харчових технологій, Київ, Україна
ORCID 0000-0002-5121-7408

Для цитування цієї статті:

Шевченко Анастасія, Літвинчук Світлана, Дробот Віра. Вплив вівсяних висівок в поєднанні з фосфоліпідами на перерозподіл структурних груп в тісті та хлібі з пшеничного борошна. International Science Journal of Engineering & Agriculture. Vol. 2, No. 3, 2023, pp. 38-50. doi: 10.46299/j.isjea.20230203.05.

Надійшла до редакції: 26 квітня 2023 р.; **Схвалено:** 01 травня 2023 р.;

Опубліковано: 0 червня 2023 р.

Анотація: Метою роботи було визначення впливу вівсяних висівок на зміну структурних груп тіста та хліба з пшеничного борошна, до рецептури якого внесено лецитин. Було досліджено вівсяні висівки, їхній хімічний склад та розподіл білкових фракцій, вплив на якість і кількість клейковини в тісті. Конформаційні перетворення структурних елементів в тісті та хлібі досліджували методом інфрачервоної спектроскопії у ближній інфрачервоній області. У вівсяних висівках підвищений вміст білка – 17,1% та харчових волокон – 15,4% порівняно з пшеничним борошном – 11,3% та 3,5%, відповідно. Встановлено, що білки вівсяних висівок є глобулярними, адже вміст глобулінів найбільший – в 7,4 рази більше, ніж у пшеничному борошні. Завдяки низькому вмісту проламінів і високому вмісту глобулінів, вівсяний білок здатен забезпечити хороший баланс амінокислот, на відміну від багатьох інших зернових культур. Внесення лецитину та в поєднанні його з вівсяними висівками негативно вплинуло на кількість відмитої з тіста клейковини в більшій мірі зі збільшенням дозування висівок: на 2,84-8,72% відмилось менше сирої клейковини. Додавання вівсяних висівок призвело до збільшення розтяжності білка та швидкості розгалуження, порівняно з контролем. Висівки також послаблюють структуру клейковини замішаного тіста, що знижує стійкість системи. Інфрачервоні спектри тіста на довжині хвилі 2100 нм показали, що харчові волокна вівсяних висівок, включених в рецептуру, затримують розвиток глютенної мережі, вклинюючись в глютену сітку у вигляді включень. На довжині хвилі 1770 нм спектральний індекс зразків з заміною борошна висівками нижче, ніж контролю, що сприятиме кращій формотримувальній здатності тіста та меншому розрідженню. Зважаючи на високий вміст білка та харчових волокон у вівсяних висівках, використання цієї сировини є доцільним з метою підвищення харчової цінності хліба, надання йому оздоровчих властивостей та використання вторинних продуктів переробки зернових. Однак варто застосовувати технологічні прийоми для

мінімізації негативного впливу висівок зокрема на структурно-механічні властивості тіста та хліба.

Ключові слова: хліб, вівсяні висівки, лецитин, клейковина, інфрачервона спектроскопія

1. Вступ

В сучасному світі гостро постає питання забезпечення продовольчої безпеки у світі. Також одним із векторів є орієнтація на сталий розвиток виробництва. В цій концепції важливе місце займає утилізація відходів харчової промисловості.

Поширення набуває безвідходне виробництво та використання продуктів переробки різних культур. З цієї точки зору цінною сировиною є висівки. Їхнє застосування рекомендовано зокрема в технології хлібобулочного виробництва як джерела харчових волокон, особливо необхідних особам, які страждають захворюваннями шлунково-кишкового тракту, такими як синдром подразненого кишечника. Важливим в раціоні харчування є вживання фосфоліпідів, адже вони беруть участь у формуванні захисного шару кишкового муцину. В хлібопекарському виробництві поширене використання соєвого лецитину, але перспективною альтернативною сировиною є соняшниковий лецитин. Визначення особливостей впливу поєднання цієї сировини на структуру тіста та якість хліба є актуальним завданням.

2. Об'єкт і предмет дослідження

Об'єктом дослідження є технологія виготовлення хлібобулочних виробів з вівсяними висівками та соняшниковим лецитином.

Предметом дослідження є вівсяні висівки, соняшниковий лецитин та їхнє поєднання, тісто та хліб з пшеничного борошна з цими добавками.

Відомо, що відмінності хімічного складу та технологічних властивостей вівсяних висівок та пшеничного борошна зумовлюють погіршення якості хлібобулочних виробів. Лецитин же навпаки завдяки своїй ліпідній природі сприяє покращенню структурно-механічних властивостей тіста. Однак відсутні відомості щодо глибокого аналізу змін в структурі тіста та хліба з цією сировиною в поєднанні.

3. Мета та задачі дослідження

Метою роботи було визначити відмінності фракційного складу білків борошна пшеничного та вівсяних висівок і дослідити вплив висівок в поєднанні з соняшниковим лецитином на конформаційні зміни в структурних одиницях пшеничного тіста та хліба.

Для досягнення мети необхідно провести дослідження щодо хімічного складу та розподілу білкових фракцій вівсяних висівок в порівнянні з пшеничним борошном, впливу їх в поєднанні з лецитином на якість і кількість клейковини в тісті, конформаційні перетворення структурних елементів в тісті та хлібі з цією сировиною.

4. Аналіз літератури

В технології хлібобулочного виробництва знайшли застосування вівсяні продукти. Аналіз продуктів переробки вівса, таких як крупа, пластівці, толокно, борошно, показав, що в цій сировині мститься більше білків, жирів і вуглеводів, зростає їхня калорійність (окрім толокна) порівняно з зерном. Вміст харчових волокон знижується на 30–60% поряд зі зменшенням вмісту вітамінів групи В та мінеральних речовин, які переходять переважно у висівки. У крупі

і пластівцях спостерігається високий вміст харчових волокон та мінеральних речовин, а борошно перевищує за вмістом білків, жирів та вуглеводів [1].

Вміст білка у вівсяній крупі коливається від 15 до 20%, залежно від генотипу та середовища вирощування [2, 3], на відміну від вмісту білка в пшениці - 10,69–13,68% [4].

Вівсяні висівки як побічний продукт борошномельного виробництва, використовуються для профілактики хвороб шлунково-кишкового тракту, оскільки вони сприятливо впливають на органи всієї травної системи [5]

Вівсяні висівки мають більший вміст розчинних харчових волокон порівняно з пшеничними або рисовими висівками. Вивчали вплив вівсяних висівок на технологічні властивості хліба, виготовленого трьома різними способами – безопарним, опарним і на заквасці. Вівсяні висівки підвищили кількість харчових волокон, вміст фенольних сполук і антиоксидантну активність хліба, виготовленого всіма способами. Найменший вміст фітинової кислоти було виявлено в хлібі, виготовленому на заквасці. З точки зору вмісту фенолів та антиоксидантної активності, не було значної різниці між хлібом, виготовленим опарним способом та на заквасці, але хліб, виготовлений безопарним способом, мав нижчі показники [6].

Зв'язок між молекулярними властивостями харчових волокон вівса із розчинної та нерозчинної фракцій та взаємодією з глютенем не повністю з'ясований. Тому варто провести дослідження впливу як розчинних, так і нерозчинних у воді харчових волокон, зосередившись на глютеневій мережі.

Науковцями встановлено, що глобулін вівса характеризується певними біоактивними властивостями, такими як ангіотензинперетворювальні інгібітори ферментів, антиоксиданти [7].

Додавання вівсяних висівок в рецептуру хліба (5%, 10% і 15%) на заміну пшеничного борошна значно збільшило водопоглинання, час утворення тіста, зменшило його розтяжність. Додавання висівок зменшило показник глікемічності хліба. Питомий об'єм також зменшувався зі збільшенням кількості висівок. Крім того, спостерігалася зміна жирнокислотного профілю з більшим вмістом ненасичених жирних кислот, а також більшою кількістю харчових волокон [8].

Вплив додавання висівок на вторинну структуру клейковини та поведінку води в пшеничному тісті вивчали за допомогою інфрачервоної спектроскопії з перетворенням Фур'є. Дослідження в діапазоні частот $700\text{--}4000\text{ см}^{-1}$ виявили, що додавання пшеничних висівок до пшеничного тіста призвело до перерозподілу зв'язаної води в системі глютен-висівки. Цей перерозподіл води вплинув на вторинну структуру клейковини в тісті, про що свідчать зміни в спектрі другої похідної в області амідів I. У гідратованому стані β -поворот (у формі β -спіралі) був основною вторинною структурою (~60%) у пшеничному тісті. Додавання висівок викликало перетворення β -спіралей у β -листи та випадкові структури. Однак ступінь цього перетворення в присутності висівок був обернено пропорційний вмісту вологи в тісті. Це дослідження показало, що при додаванні висівок до глютеніваного тіста перерозподіл води сприяє частковій дегідратації клейковини та колапсу β -спіралей у міжмолекулярні β -пластові структури. Ця транс-конформація може бути причиною низької якості хліба з висівками [9].

5. Методи досліджень

Масова частка загального білка

Масову частку загального білка в сировині визначали методом К'ельдаля, після чого отриманий розчин титрували. 1 г сировини гідролізували 15 мл концентрованої сірчаної кислоти протягом 2 год в термоблоці при $420\text{ }^\circ\text{C}$ з двома таблетками мідного каталізатора. Отриманий розчин охолоджували та додавали дистильовану воду. Після цього проводили

нейтралізацію та титрування. Кількість білка розраховували з урахуванням концентрації азоту в сировині. Дані виражали у г білків на 100 г борошна [10].

Вміст харчових волокон

Загальний вміст харчових волокон у сировині визначали ферментативно-гравіметричним методом. За цим методом подрібнюють у млині 50 г сировини, щоб частки проходили крізь отвори сита 0,5 мм. Переносять увесь матеріал у пластикову банку з широким горлом, закривають та добре перемішують, струшуючи та перевертаючи. Точно зважують $1,000 \pm 0,005$ г зразка у скляну пляшку DuranR. Вносять ферменти: додають 1,0 мл етанолу і 40 мл суміші панкреатичної α -амілази. Закупорені пляшки поміщають в струшувальну інкубаційну ванну. Інкують реакційні розчини зі швидкістю 150 обертів/хв при 37°C протягом точно 16 годин. Додають 3,0 мл 0,75 М розчину основи Trizma, щоб припинити реакцію. Поміщають пляшки на водяну баню при $95\text{-}100^\circ\text{C}$ та інкують протягом 20 хвилин, час від часу струшуючи. Кінцева температура вмісту пляшки повинна бути $> 90^\circ\text{C}$. Пляшку охолоджують до 60°C . Додають 0,1 мл розчину протеази за допомогою об'ємного дозатора та інкують при 60°C протягом 30 хв. Додають 4,0 мл 2М оцтової кислоти для досягнення $\text{pH } 4,3 \pm 0,3$. Далі визначають вміст низькомолекулярних та високомолекулярних розчинних харчових волокон та їхню суму. Паралельно роблять не менше трьох досліджень [11, 12].

Фракційний склад білка

Для підготовки зразка вівсяні висівки просівали через сітчасте сито для отримання дрібного порошку та зберігали при 4°C до подальшого використання. Сировину знежирювали пентаном. Суспензію висівок/розчинник змішували у співвідношенні 1:10 мас./об. протягом 24 годин, потім розчинник видаляли центрифугуванням. Суміш висушували і зберігали в герметичних пляшках при 4°C до використання. Відповідно до процедури диференціальної екстракції за Осборном білки вівса фракціонували зі знежирених пентаном висівок [13]. Суспензії висівок і води (20 г висівок в 100 мл деіонізованої води) змішували протягом 2 годин при кімнатній температурі та центрифугували при 20000 об/хв протягом 30 хвилин, щоб відокремити супернатант від осаду та отримати деіонізований водний екстракт. Ті самі 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, отриманий після центрифугування, екстрагували 100 мл деіонізованої води при $\text{pH } 11$ 0,5 М розчином NaOH, що призводило до отримання лужного екстракту. Кожну екстракцію проводили двічі після чого двічі промивали після кожної екстракції з використанням 20 мл розчинника. Це було зроблено для збору залишкового білка, захопленого нерозчинними залишками. Отримані екстракти осаджували для виділення, доводячи pH отриманого супернатанту до pH , що відповідає мінімальній розчинності (pH_{ms}), визначеній за допомогою експерименту з визначення каламутності [14]. Значення pH регулювали 1 М розчинами HCl або 1 М NaOH у кислому або лужному середовищі, відповідно. Після центрифугування протягом 15 хвилин при 15000 об/хв виділений білковий осад двічі промивали деіонізованою водою при відповідних pH_{ms} і знову центрифугували. Отримані білкові фракції повторно розчиняли, доводячи pH до 7,0 і ліофілізували [15].

Дослідження клейковини

Вміст сирової клейковини у зразках тіста визначали згідно з методами, викладеними в ISO 21415-1:2007, а також методом AACCS 38-12.02 з використанням системи Glutomatic 2200 (Perten). Вміст вологи визначали відповідно до ISO 712:2005, вміст білка – методом NIR (Inframatic 8600, Perten Instruments AB), а деформацію клейковини – відповідно до ISO 90/2007 [16].

Інфрачервона спектроскопія в ближній інфрачервоній області

На спектрометрі Infrapid (Labor-Mim, Угорщина) досліджували спектри відбивання від подрібнених зразків з гладкою поверхнею в ближньому інфрачервоному діапазоні довжин хвиль від 1330 до 2370 нм. Спектрометр реєстрував спектр відбиття від еталона I0 та спектр відбиття від досліджуваного зразка. Спектри представлені як відбиваюча здатність R у

відносних одиницях (співвідношення інтенсивностей $I/I_0 = R$), залежно від довжини хвилі в нм [17, 18]. Інтенсивність відбивання вимірювали в тісті після замішування і після 3,5 годин бродіння і в хлібі. Інтенсивність відбивання виражали через перерахунок відносного коефіцієнта відбивання до спектрального індекса [19].

Статистичний аналіз

Дані являють собою середнє значення трьох повторів \pm стандартне відхилення. Графічне представлення експериментальних даних здійснювали за допомогою пакету стандартних програм статистичної обробки – Microsoft Excel 2010.

6. Результати досліджень

Як відомо, визначальну роль у формуванні властивостей тістової системи та якості хліба відіграють основні нутрієнти, які містяться в сировині. Хімічний склад пшеничного борошна та вівсяних висівок значно відрізняється. У висівках підвищений вміст білка – 17,1% та харчових волокон – 15,4% порівняно з пшеничним борошном – 11,3% та 3,5%, відповідно.

У формуванні структурно-механічних властивостей тіста основну роль відіграють білки. Незважаючи на те, що вміст білка у вівсяних висівках на 5,8% більший, фракційний склад різний (таблиця 1), що вплине на формування клейковинного каркасу та в подальшому на питомий об'єм і формостійкість хліба.

Таблиця 1. Фракційний склад білків пшеничного борошна та вівсяних висівок

Масова частка білків (г/100г)	Пшеничне борошно	Вівсяні висівки
Альбуміни	5,4 \pm 0,21	7,7 \pm 0,31
Глобуліни	9,9 \pm 0,34	73,6 \pm 1,22
Глютеліни	27,1 \pm 0,78	3,2 \pm 0,31
Проламіни	43,1 \pm 1,12	13,4 \pm 0,40
Нерозчинні білки	14,5 \pm 0,46	2,1 \pm 0,05

Встановлено, що білки вівсяних висівок є глобулярними, адже вміст глобулінів найбільший – в 7,4 рази більше, ніж у пшеничному борошні. На відміну від пшеничного борошна, де глобуліни здебільшого представлені едестинном, а глютеліни – глютеніном, у вівсяних висівках серед глобулінів найбільше авеналіну, серед глютелінів – авенін [20]. Проламіни обох культур представлені гліадином [21].

Завдяки низькому вмісту проламінів і високому вмісту глобулінів, вівсяний білок здатен забезпечити хороший баланс амінокислот, на відміну від багатьох інших зернових культур [22].

Відомо, що на відміну від більшості зернових, білок вівса та продуктів його переробки є гіпоалергенним, оскільки основну масу становлять глобуліни, а не проламіни та глютаміни [23]. Основною фракцією білка вівса є глобулін 12S, який складається з двох основних субодиниць. Ці субодиниці дисульфідними зв'язками зв'язуються в нативному глобуліні, утворюючи димер, який далі асоціюється в гексамер за допомогою нековалентних сил [24].

Оскільки важливим показником структурно-механічних властивостей тіста є кількість та якість клейковини, відмітої з нього, варто було дослідити як відмінності у фракційному складі білкової структури вівсяних висівок і пшеничного борошна вплинуть на ці показники (таблиця 2). Контролем був зразок тіста без висівок та лецитину.

Взаємодія між вівсяними висівками та борошном є фізичною, хімічною та ферментативною [25].

Таблиця 2. Кількість та якість клейковини, відмитої з тіста з додаванням вівсяних висівок та соняшникового лецитину

Зразок	Кількість збагачувача, %	Кількість сирової клейковини, %	Кількість сухої клейковини, %	Значення ІДК, од.	Гідратаційна здатність, %	Розтяжність, см
Контроль	-	25,30	8,5	70	195,5	15,2
Зразок з лецитином	3	23,60	8,0	76	194,8	15,1
Зразок з лецитином та вівсяними висівками	5	22,46	7,41	84	192,5	14,7
	7	20,14	6,65	88	183,1	14,2
	10	18,54	6,12	91	176,2	13,9
	15	16,58	5,47	98	158,5	12,4

Дослідження показали, що внесення лецитину та поєднання його з вівсяними висівками негативно вплинуло на кількість відмитої з тіста клейковини в більшій мірі зі збільшенням дозування висівок: на 2,84-8,72% менше сирової клейковини. Це можна пояснити фізичними перешкодами [26, 27], зниженням розвитку клейковини через конкуренцію висівок з білками пшеничного борошна за воду [28] та хімічною взаємодією між компонентами вівсяних висівок і глютенем, які впливають на формування глютенівної мережі [29].

Крім того, розчинна і нерозчинна фракції харчових волокон, які у великій кількості містяться у вівсяних висівках, по-різному поведуть себе у тісті. Так, незважаючи на подібні ефекти, нерозчинна фракція в основному зв'язує воду та впливає на перерозподіл між харчовими компонентами, а розчинна фракція змінює пластифікуючі властивості шляхом зміни об'ємної щільності водневих зв'язків, доступних для взаємодії з біополімерами. Здатність волокон до утворення водневих зв'язків залежить від розміру молекули та ефективної кількості гідроксильних груп, доступних для взаємодії [30].

Додавання вівсяних висівок призвело до зменшення розтяжності білка та швидкості розгалуження, порівняно з контролем. Отримані дані підтверджуються даними інших науковців, які досліджували зміни в білковій мережі з додаванням багатих на клітковину інгредієнтів, таких як β -глюкан вівса [31]. Висівки також послаблюють структуру клейковини заміщеного тіста, що знижує стійкість системи. Більш значне зниження стійкості тіста можна пояснити вищим вмістом клітковини у висівках, що призводить до формування більш нерівномірної структури клейковини.

Різниця в хімічному складі пшеничного борошна, вівсяних висівок і лецитину повинна вплинути на зміну основних структурних одиниць тіста і хліба з цими компонентами в рецептурі. Для ідентифікації та 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).

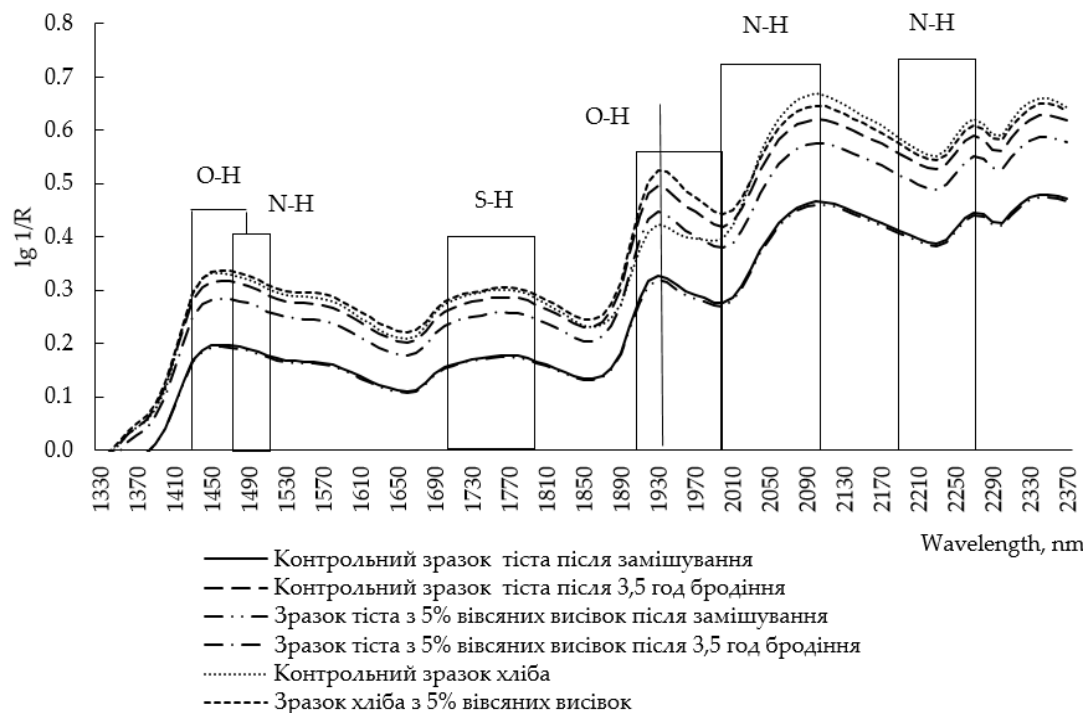


Рис. 1. Зміни та перерозподіл структурних груп у хлібі та тісті з 5% вівсяних висівок після замішування та через 3,5 години бродіння.

У досліджуваному діапазоні 1330-2370 нм в усіх зразках присутні функціональні групи O-H, N-H, S-H.

Проводячи аналіз спектрів замішаного тіста, зброженого тіста та готового хліба (як контрольних зразків, так і з заміною 5% пшеничного борошна на вівсяні висівки) можна відмітити наступні значення максимумів, які є однаковими для всіх спектрів: 1460 нм, 1770 нм, 1930 нм, 2100 нм, 2270 нм та 2350 нм.

Як бачимо, спектри тіста контрольного зразка і з заміною 5% пшеничного борошна вівсяними висівками повністю співпадають. Це свідчить про те, що такий малий відсоток заміни не впливає на зміну функціональних груп, оскільки не пройшло достатньо часу для початку взаємодії біополімерів сировини.

Стан клейковини найбільш виражено можна спостерігати і встановити на довжині хвилі 2100 нм (другий обертон N-H деформаційних коливань). Так, якщо одразу після замішування стан клейковини контрольного зразка і зразка з заміною схожий, то в процесі бродіння спостерігаються явні відмінності. Спектральний індекс усіх зразків збільшився порівняно зі значеннями після замішування, що свідчить про конформаційні перетворення в глютенівій структурі, а саме: набухання білків, перерозподіл вологи та зміни її форм, зв'язування білків з іншими компонентами, розвиток глютенівій мережі. Порівнюючи зразок з заміною та контроль після бродіння, спектральний індекс контролю на довжині хвилі 2100 нм 0,62 в той час, як зразка з заміною – 0,55. Це свідчить про те, що харчові волокна вівсяних висівок, включених в рецептуру затримують розвиток глютенівій мережі, вклинюючись в глютенівій сітку у вигляді включень. Це також пояснюється глобулярною структурою білків вівсяних висівок, що було встановлено дослідженнями фракційного складу. Адже структура білків висівок переважно складкова і в процесі бродіння відбуваються переходи від α - структур до β – структур. З технологічної точки зору можна судити про те, що ступінь впорядкованості структури білкової матриці тіста з включенням вівсяних висівок буде менш стабільним при дії фізико-хімічних факторів.

Також білкові групи характеризують 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) та 2180 нм (N-H деформаційні коливання, другий обертон). Проте на експериментально отриманих спектрах усіх зразків тіста та хліба зазначені екстремуми не проявляються.

Спектри зразків хліба майже співпадають та знаходяться вище спектрів тіста. Це свідчить про те, що термічна обробка тіста при температурі випікання ($220^{\circ}\text{C}\pm 5$) призводить до руйнування макромолекул білка з розщепленням пептидних зв'язків. Додавання висівок впливає не тільки на структуру клейковини, а й на термосхоплюваність тіста під час нагрівання і в процесі випікання, зміщуючи температури клейстеризації крохмалю [32].

На довжині хвилі 1770 нм присутня функціональна група S-H (перший обертон). В діапазоні довжин хвиль 1700-1790 нм можна судити про перебіг процесу протеолізу в тісті. Спектральний індекс зразків після бродіння вище, ніж після замішування, що свідчить про те, що в процесі ферментації відбувається посилення набухання білка, що почалось при замішуванні тіста, його пептизація, частковий перехід в рідку фазу тіста. Однак спектральний індекс зразка з заміною 5% борошна висівками нижче, ніж контролю – 0,28 і 0,30, що пояснюється менш глибоким проходженням процесу протеолізу у зразку з заміною частини пшеничного борошна вівсяними висівками. З технологічної точки зору це сприятиме кращій формоутримувальній здатності тіста та меншому розрідженню.

Довжина хвилі 2270 нм відповідає O-H валентним коливанням / C-O валентній комбінації та є характерною для лігніну. Дослідження показали, що у тісті з заміною 5% борошна на вівсяні висівки вміст лігніну дещо нижчий, що свідчить про те, що вироби з висівками будуть краще засвоюватись. Таких висновків дійшли і вчені, які досліджували склад харчових волокон в різній сировині [33].

На довжині хвилі 2350 нм проявляється другий обертон C-H деформаційних коливань, який відповідає за наявність ліпідів у харчових продуктах. Так, згідно значень спектральних індексів вищий вміст ліпідів спостерігаємо у зразках хліба, що пояснюється тим, що під час випікання хліба на поверхні залишається жир від змащування форм.

На рис. 2 представлено зміни та перерозподіл структурних груп у хлібі та тісті з заміною пшеничного борошна на 15% вівсяних висівок (максимальне досліджуване дозування).

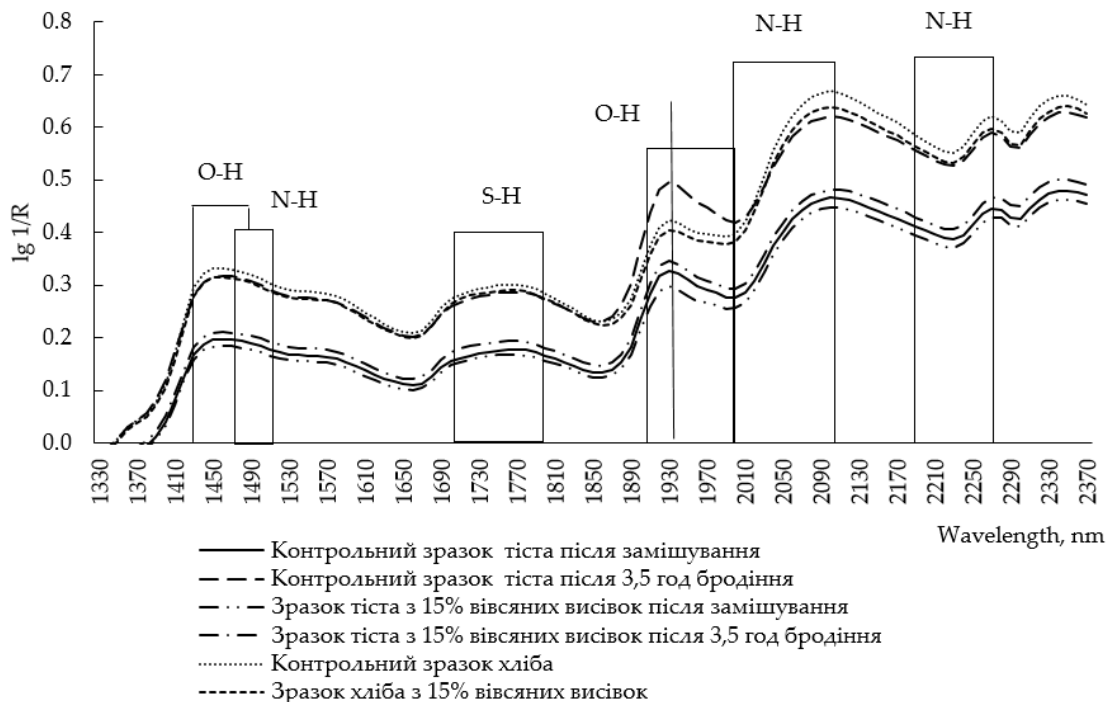


Рис. 2. Зміни та перерозподіл структурних груп у хлібі та тісті з 15% вівсяних висівок після замішування та через 3,5 години бродіння.

В цілому спектри мають аналогічний характер, як і при заміні 5%, однак зразок тіста з заміною після бродіння в усьому діапазоні довжин хвиль має відмінності.

Спектральний індекс цього зразка на довжині хвилі 2100 нм становить 0,49, що значно менше, ніж контрольного зразка і зразка з заміною 5%. Це пояснюється тим, що більша кількість харчових волокон, яка присутня в тісті при заміні більшою мірою затримує розвиток глютенної мережі і більше α – структур білка переходить до β – структур.

На довжині хвилі 1770 нм спектральний індекс зразка з заміною 15% борошна висівками після замішування нижче, ніж контролю і зразка з заміною 5% – 0,2, 0,30 і 0,28, відповідно. З технологічної точки зору внесення 15% вівсяних висівок сприятиме меншому розпливанню кульки тіста в процесі бродіння.

Таким чином, можна зробити висновок, що внесення в рецептуру пшеничного хліба вівсяних висівок, особливо в поєднанні з лецитином, впливає на структурні елементи тіста і структурно-механічні властивості. Це у свою чергу матиме вплив на якість хлібобулочних виробів з цією сировиною, а особливо на покращення засвоюваності хліба. Зважаючи на високий вміст білка та харчових волокон у вівсяних висівках, використання цієї сировини є доцільним з метою підвищення харчової цінності хліба, надання йому оздоровчих властивостей. Використання вівсяних висівок, як вторинних продуктів, також відповідає векторам світової стратегії сталого розвитку. Однак варто застосовувати технологічні прийоми для мінімізації негативного впливу висівок зокрема на структурно-механічні властивості тіста та хліба.

7. Перспективи подальшого розвитку досліджень

У подальших дослідженнях доцільно визначити вплив поєднання вівсяних висівок і лецитину на реологічні показники тіста для хлібобулочних виробів з пшеничного борошна.

8. Висновки

У вівсяних висівках підвищений вміст білка – 17,1% та харчових волокон – 15,4% порівняно з пшеничним борошном – 11,3% та 3,5%, відповідно. Завдяки низькому вмісту проламінів і високому вмісту глобулінів, вівсяний білок здатен забезпечити хороший баланс амінокислот, на відміну від багатьох інших зернових культур. Внесення лецитину в поєднанні з вівсяними висівками негативно впливає на кількість відмитой з тіста клейковини в більшій мірі зі збільшенням дозування висівок. Висівки також послаблюють структуру клейковини замішаного тіста, що знижує стійкість системи. Інфрачервоні спектри тіста на довжині хвилі 2100 нм показали, що харчові волокна вівсяних висівок, включених в рецептуру, затримують розвиток глютенної мережі, вклинюючись в глютену сітку у вигляді включень. Зважаючи на високий вміст білка та харчових волокон у вівсяних висівках, використання цієї сировини є доцільним з метою підвищення харчової цінності хліба, надання йому оздоровчих властивостей. Використання вівсяних висівок, як вторинних продуктів, також відповідає векторам світової стратегії сталого розвитку. Однак варто застосовувати технологічні прийоми для мінімізації негативного впливу висівок зокрема на структурно-механічні властивості тіста та хліба.

Список літератури:

1) Різник, А. О., Доценко, В. Ф., Цирульнікова, В. В., Тищенко, О. М. (2021). Продукт переробки вівся як альтернативна сировина в технології аглютенних хлібобулочних виробів. Вісник Львівського торговельно-економічного університету. Технічні науки, 25, 89-97. <https://doi.org/10.36477/2522-1221-2021-25-12>

- 2) David, M.P. (Ed.) (2011). Storage Proteins. Oats: Chemistry and Technology, 2nd. St. Paul: American Associate of Cereal Chemists International, 123-142.
- 3) Kruma, Z., Galoburda, R., Tomson, L., Gramatina, I., Senhofa, S., Straumite, E., Klava, D., Kinca, T., Cinkmanis, I., Zagorska, J., Kunkulberga, D. (2018). Changes in the nutritional value of breakfast cereals containing germinated spring grain flakes during storage. *Agronomy Research*, 16(2), 1405–1416. <https://doi.org/10.15159/AR.18.130>
- 4) Kumar, L., Sehrawat, R., Kong, Y. (2021). Oat proteins: A perspective on functional properties. *LWT - Food Science and Technology*, 152(3), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112307>
- 5) Бабіч, О.В., Шейна, І.О. (2017). Обґрунтування використання безглютенового вівсяного борошна у приготуванні пісочного печива для людей хворих на целиацію. *Молодий вчений*, 3 (43), 711–713.
- 6) Saka, M., Özkaya, B., Saka, İ. (2021). The effect of bread-making methods on functional and quality characteristics of oat bran blended bread. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 26, 100439. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100439>
- 7) Cavazos, A., Gonzalez de Mejia, E. (2013). Identification of Bioactive Peptides from Cereal Storage Proteins and Their Potential Role in Prevention of Chronic Diseases. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(4), 364–380. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12017>
- 8) Beccerica, S., de la Torre, M. A., Sanchez, H. D., Osella, C. A. (2011). Use of Oat Bran in Bread: Fiber and Oil Enrichment and Technological Performance. *Food and Nutrition Sciences*, 2(6). <https://doi.org/10.4236/fns.2011.26079>
- 9) Bock, J. E., Damodaran, S. (2013). Bran-induced changes in water structure and gluten conformation in model gluten dough studied by Fourier transform infrared spectroscopy. *Food Hydrocolloids*, 31(2), 146–155. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.10.014>
- 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>
- 11) McCleary, 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>
- 12) 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>
- 13) 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>.
- 14) 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>.
- 15) 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>
- 16) Ionescu, V., Stoenescu, G., Vasilean, I., Aprodu, I., Banu, I. (2010). Comparative evaluation of wet gluten quantity and quality through different methods. *Annals of the University Dunarea de Jos of Galati. Fascicle VI: Food Technology*, 34(2), 44-48.

17) 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>

18) Niewitetzki, 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>.

19) 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>.

20) Mäkinen, O.E., Sozer, N., Ercili-Cura, D., Poutanen, K. (Ed.) (2017). Protein From Oat: Structure, Processes, Functionality, and Nutrition. Sustainable Protein Sources. United States: Academic Press, 105–119 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802778-3.00006-8>

21) Habich A., Braun J. (2005). Pat. No. 074705 WO Stabilized enzyme formulations. A23K20/189. No. WO2005074705A1; declared: 28.01.2005; published: 18.08.2005

22) Nieto-Nieto, T. V., Wang, Y. X., Ozimek, L., Chen L. (2014). Effects of partial hydrolysis on structure and gelling properties of oat globular proteins. *Food Research International*, 55, 418–425. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.11.038>.

23) Mel, R., Malalgoda, M. (2022). Oat protein as a novel protein ingredient: Structure, functionality, and factors impacting utilization. *Cereal Chemistry*, 99, 21–36. <https://doi.org/10.1002/cche.10488>

24) Klose, C., Arendt, E. K. (2012). Proteins in Oats; their synthesis and changes during germination: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(7), 629–639. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.504902>

25) Hemdane, S., Jacobs, P.J., Dornez, E., Verspreet, J., Delcour, J.A., Courtin, C.M. (2016). Making: A Critical Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15, 28–42. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12176>

26) Hemdane, S., Langenaeken, N.A., Jacobs, P.J., Verspreet, J., Delcour, J.A., Courtin, C.M. (2018). Study of the role of bran water binding and the steric hindrance by bran in straight dough bread making. *Food Chemistry*, 253, 262–268. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.152>

27) Han, W., Ma, S., Li, L., Zheng, X., Wang, X. (2019). Impact of wheat bran dietary fiber on gluten and gluten-starch microstructure formation in dough. *Food Hydrocolloids*, 95, 292–297. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.033>

28) Zanoletti, M., Marti, A., Marengo, M., Iametti, S., Pagani, M.A., Renzetti, S. (2017). Understanding the influence of buckwheat bran on wheat dough baking performance: Mechanistic insights from molecular and material science approaches. *Food Research International*, 102, 728–737. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.052>

29) Noort, M.W.J., van Haaster, D., Hemery, Y., Schols, H.A., Hamer, R.J. (2010). The effect of particle size of wheat bran fractions on bread quality—Evidence for fibre-protein interactions. *Journal of Cereal Science*, 52, 59–64. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.03.003>

30) Renzetti, S., van den Hoek, I.A.F., van der Sman, R.G.M. (2020). Amino acids, polyols and soluble fibres as sugar replacers in bakery applications: Egg white proteins denaturation controlled by hydrogen bond density of solutions. *Food Hydrocolloids*, 108, 106034. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106034>

31) Bondt, D. Y., Hermans, W., Moldenaers, P., Courtin, C.M. (2021). Selective modification of wheat bran affects its impact on gluten-starch dough rheology, microstructure and bread volume. *Food Hydrocolloids*, 113, 106348.

32) 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>

33) Олійник, С. Г., Лисюк, Г. М., Кравченко, О. І., Самохвалова, О. В. (2014). Технології хлібобулочних виробів із продуктами переробки зародків пшениці: монографія. Харків: ХДУХТ, 108 с.

The effect of oat bran combined with phospholipids on the redistribution of structural groups in wheat flour dough and bread

Anastasiia Shevchenko

Department of Bakery and Confectionery Goods Technologies, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine
ORCID 0000-0002-6215-4860

Svitlana Litvynchuk

Department of Physics, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine
ORCID 0000-0002-5580-3826

Vira Drobot

Department of Bakery and Confectionery Goods Technologies, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine
ORCID 0000-0002-5121-7408

Abstract: The aim of the work was to determine the influence of oat bran on the change in the structural groups of dough and bread made from wheat flour with added lecithin. Oat bran, its chemical composition and distribution of protein fractions, influence on the quality and quantity of gluten in the dough were investigated. Conformational transformations of structural elements in dough and bread were investigated by infrared spectroscopy in the near-infrared region. Oat bran has an increased content of protein - 17.1% and dietary fiber - 15.4% compared to wheat flour - 11.3% and 3.5%, respectively. It was established that oat bran proteins are globular, because the content of globulins is the highest - 7.4 times more than in wheat flour. Due to the low content of prolamins and high content of globulins, oat protein is able to provide a good balance of amino acids, unlike many other cereals. The introduction of lecithin and its combination with oat bran had a negative effect on the amount of gluten washed out of the dough to a greater extent with an increase in the dosage of bran: by 2.84-8.72% less raw gluten was washed out. The addition of oat bran resulted in an increase in protein extensibility and branching rate compared to the control sample. Bran also weakens the gluten structure of the kneaded dough, which reduces the stability of the system. The infrared spectra of the dough at a wavelength of 2100 nm showed that the food fibers of oat bran included in the recipe delay the development of the gluten network, being wedged into the gluten network in the form of inclusions. At a wavelength of 1770 nm, the spectral index of the samples with the replacement of flour with bran was lower than that of the control, which will contribute to better shape-holding capacity of the dough and less dilution. Taking into account the high content of protein and dietary fiber in oat bran, the use of this raw material is expedient in order to increase the nutritional value of bread, give it health-promoting properties. The use of oat bran as secondary products also corresponds to the vectors of the global strategy of sustainable development. However, it is worth applying

technological methods to minimize the negative impact of bran, in particular, on the structural and mechanical properties of dough and bread.

Keywords: bread, oat bran, lecithin, gluten, infrared spectroscopy.
