

Досліджено вплив трансглютамінази в присутності різних товарних форм білків тваринного походження на агрегуючу здатність клейковини, іонозв'язувальну здатність білків безглютенового борошна. Встановлено підвищення агрегуючої здатності клейковини, іонозв'язувальної здатності білків борошна в присутності досліджуваних добавок. Отримані результати спрямовані на покращання структурно-механічних властивостей борошняного тіста, макаронних та борошняних формованих продуктів, безглютенового хліба

Ключові слова: трансглютаміназа, фермент, безглютенове борошно, клейковина, агрегація, макаронні вироби, хліб

Исследовано влияние трансглютаминазы в присутствии различных товарных форм белков животного происхождения на агрегующую способность клейковины, ионосвязывающую способность белков безглютеновой муки. Установлено повышение агрегирующей способности клейковины, ионосвязывающей способности белков муки в присутствии исследуемых добавок. Полученные результаты направлены на улучшение структурно-механических свойств мучного теста, макаронных и мучных формованных продуктов, безглютенового хлеба

Ключевые слова: трансглютаминаза, фермент, безглютеновая мука, клейковина, агрегация, макаронные изделия, хлеб

УДК 664.644.5:664.761:664.38

DOI: 10.15587/2313-8416.2014.27573

ВПЛИВ ФЕРМЕНТУ ТРАНСГЛЮТАМІАЗА НА ВЛАСТИВОСТІ БІЛКІВ БОРОШНА

О. М. Шаніна

Професор, доктор технічних наук,
завідувач кафедри*

E-mail: avgust23@ukr.net

Н. Л. Лобачова

Аспірант

Кафедра товарознавства та експертизи товарів
Харківський державний університет

харчування та торгівлі

вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051

E-mail: nadezhda.lobacheva.1985@mail.ru

В. О. Зверєв

Аспірант*

*Кафедра технологій переробних
і харчових виробництв

Харківський національний технічний університет
сільського господарства ім. Петра Василенка

вул. Артема 44, м. Харків, Україна, 61002

1. Вступ

Властивості борошна як основної сировини у виробництві хлібобулочних, макаронних або борошняних кондитерських виробів чинять вирішальний вплив на якість готової продукції. Так, традиційною і найвищою за якістю сировиною для макаронних виробів є виключно борошно з твердої пшениці (*triticum durum*) – крупка та напівкрупка.

Аналіз же вказує, що кількість борошна з твердої пшениці, яке переробляється на макаронних підприємствах України, має негативну тенденцію – від 95...97% загальної кількості у 70-х роках до 20...45% наприкінці минулого сторіччя. На сьогоднішній день, фактична загальна збиральна площа, зайнята в Україні під пшеницею твердих сортів, коливається в межах 500 тис. га при валовому виробництві 1,5...2,3 млн. т. [1]. Розвиток торговельно-економічного співробітництва свідчить про те, що впродовж останніх років серед торговельно-економічних партнерів України в країнах Європейського Союзу та світу місце провідного стабільно посідає Італія. Український експорт зернових культур в цю країну неуклібно зростає в рази. А вітчизняні макаронні підприємства переробляють майже виключно хлібопекарське борошно з м'якої пшениці третього і четвертого класу, іноді з суміші м'яких і твердих сортів і лише зовсім небагато - з борошна твердої пшениці.

Обмеженість використання інших видів борошна на заміну пшеничного, нетрадиційних для хлібопекарської та кондитерської галузей, завжди пояснювалась незадовільними структурно-механічними та органолептичними властивостями готових виробів. Проте, всесвітнє поширення хвороби целиакія суттєво підвищило інтерес дослідників харчової промисловості до активного застосування безглютенових видів борошна [2]. Наразі безглютенова продукція доступна на ринку, але зазвичай вона характеризується зниженою якістю через відсутність клейковинної мережі в тісті та готовому продукті [3].

Таким чином, важливою є проблема якісного управління процесом утворення тіста з різної борошняної сировини з урахуванням її цільового призначення в борошнопереробних галузях.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Сучасним і ефективним напрямком регулювання технологічних властивостей борошна є комбінування різних видів борошняної сировини у заданому співвідношенні. Значне різноманіття борошняних продуктів, покращуючих добавок, нових рецептурних компонентів, які входять до складу композицій, що пропонуються сьогодні на ринку, дозволяють кардинально змінювати структурно-механічні вла-

стивості, харчову і біологічну цінність готових виробів [4, 5].

У безглютеновому хлібопеченні існують рекомендації щодо комбінування різних видів борошна та крохмалю. Можливо, найбільш поширеним рецептурним гідроколом є ксантанова камедь; популярними у використанні є також похідні целюлози – натрійкарбоксиметилцелюлоза, гідроксипропілметилцелюлоза, метилцелюлоза та мікрокристалічна целюлоза [6]. Розроблено спосіб приготування хліба на основі рисового та кукурудзяного борошна в комбінації з соєвими білками ізолатами з використанням ксантану або модифікуючих крохмалів [7]. Використання заквасок є привабливою можливістю поліпшити якість безглютенового хліба. Позитивний вплив заквасок виявляється в підвищенні об'єму хліба і поліпшенні структури м'якушки, смаку, поживної цінності та запобігання утворенню цвілі протягом усього терміну придатності. Підвищення кислотності борошна за додавання ферментованої закваски може поліпшити вихідні властивості полісахаридів і певною мірою замінити функцію глютену [3].

Використання ферментів у виробництві безглютенового хліба досить довго було обмеженим, тому що багато комерційних ферментних препаратів містили пшеничне борошно або пшеничний крохмаль [8]. Наразі ситуація змінюється, тому що багато ферментних препаратів на ринку характеризуються повною відсутністю в їх складі глютену, навіть його мікродоз. Ефективним структуроутворювачем є фермент трансглютаміназа (ТГ). На відміну від інших використовуваних в промисловості ензимів (наприклад, амілаз і протеаз), які поділяють субстрат на більш дрібні фрагменти, ТГ створює з білкових ланцюгів більш великі протеїнові сполуки. Під дією ТГ завдяки її унікальній здатності підлягають зшиванню як функціональні білки безглютенового борошна, так і клейковинні білки [9–11]. Базуючись на значному об'єму здобутої наукової інформації, можна впевнено стверджувати, що ферментний препарат трансглютаміназа в процесі виробництва безглютенових хлібобулочних виробів виконує такі важливі функції, як збільшення об'єму, поліпшення текстури та збільшення терміну зберігання хліба.

В розвиток цих уявлень щодо ефективності застосування ТГ в технології безглютенового хліба, багато зарубіжних дослідників вивчали цю проблему в різних технологічних напрямках: застосовуючи ТГ разом з водоутримуючими добавками, найчастіше з похідними целюлози; змінюючи склад білкового компоненту. Наразі основним методом імітування властивостей клейковини є виготовлення виробів з безглютенового борошна з додаванням полімерних речовини, таких, як ксантанова камедь і гідроксипропілметилцелюлоза (ГПМЦ), різних видів крохмалю в комбінації з загусниками і молочними інгредієнтами [12].

У макаронному виробництві цей фермент впливає на водопоглинальну здатність тіста, призводить до зшивання білків і утворення сітчастої структури, яка, у свою чергу, змінює в'язко-пружні властивості тіста. Цілком імовірно, що це пов'язано з утворенням нової білкової мережі, тому що рівень крохмалю в зразках з трансглютаміназою та без неї залишається однаковим. Можливо, крохмаль вбудовується в зшиту білкову мережу; це призводить до обмежених

втрат крохмалю. Ступінь цього ефекту визначається в основному білковим складом зразків. Тому що, наприклад, в роботі [13] виявлено, що втрати локшини з пшеничного борошна під час варіння істотно змінюються із застосуванням ТГ або без неї. В утворенні поперечних зв'язків під дією ТГ переважно беруть участь високомолекулярні субодиниці глютеніну та α -гліадину [11].

Зазначимо, що залишається низка питань, які потребують негайного вирішення, а саме: необхідність суттєвого поліпшення структури безглютенових хлібопекарських виробів, а також макаронних виробів з борошна пшеничного хлібопекарського; пошук додаткових білкових джерел для підвищення ефективності дії ТГ та залучення нових товарних форм білків; подальше виявлення механізмів впливу на ТГ на білки рослинного або тваринного походження та їх суміші.

3. Ціль та задачі дослідження

Проведені дослідження ставили за мету визначити особливості впливу ферменту трансглютаміназа на функціонально-технологічні властивості білкових речовин пшеничного та безглютенових видів борошна та ефективність цього впливу в присутності білка тваринного походження желатину для обґрунтування доцільності їх використання в технології безглютенових хлібобулочних виробів та макаронної продукції на основі борошна пшеничного хлібопекарського.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- визначити вплив трансглютамінази в присутності желатину на іонозв'язувальну здатність білків безглютенових видів борошна (рисового, кукурудзяного);
- встановити особливості процесу агрегування клейковинних білків в присутності трансглютамінази;
- надати практичні рекомендації щодо доцільності використання цих добавок для підвищення технологічного потенціалу борошна як сировини хлібопекарського і макаронного виробництва.

4. Матеріали та методи дослідження впливу трансглютамінази на властивості білків борошняної сировини

4.1. Досліджувані матеріали та обладнання, що використовувались в експерименті

Дослідження проводили з використанням безглютенових видів борошна (кукурудзяного та рисового), борошна пшеничного, желатину з показниками якості згідно діючої нормативної документації, ферментного препарату трансглютаміназа – за висновком гігієнічної експертизи.

Для титрування водно-борошняних суспензій застосовували рН-метр лабораторний «рН–50МИ» та магнітну мішалку Magnetic stirrer.

Для визначення агрегуючої здатності клейковинних білків борошна вимірювали оптичну густину розчину цих білків на колориметрі фотоелектричному концентраційному КФК-2-УХЛ4.2.

4. 2. Методика визначення показників властивостей білків

Кількість зв'язаних іонів водню 1 %-вої водно-борошняної суспензії визначали методом потенціометричного титрування. Титрування здійснювали 0,1 н водними розчинами HCl і NaOH за температури суспензії 20 °С після її витримки протягом 15 хв (для більш повного розчинення білків).

Агрегуючу здатність клейковинних білків борошна досліджували за методом Аракаві та Юнезаві. Білки розчиняли в 0,01 моль/дм³ розчині оцтової кислоти (концентрація білку 0,01 %), змішували з рівною кількістю 0,2 М фосфатним буфером (рН 5,6), який містив 2 М NaCl. Агрегацію оцінювали на колориметрі за 350 нм протягом 10 хв за прирощенням кривої зкаламутнення.

5. Результати досліджень зміни властивостей білків борошняної сировини під впливом ферменту трансглютаміназа

На рис. 1 представлені результати титрування лугом водно-борошняних суспензій з безглютенових видів борошна (рисового і кукурудзяного) в присутності добавок ферменту і желатину. З рисунка видно, що більшою здатністю зв'язувати іони OH⁻ володіє кукурудзяне, меншою – рисове борошно. Так, за додавання однакової кількості лугу (а саме 5 мл) значення рН зростає на 1,78 од. пр. (кукурудзяне борошно) та 4,02 од. пр. (рисове). Присутність ферменту та желатину (в різному діапазоні рН) суттєво знижує досліджуваний показник. Проте, найбільшою мірою зростання рН за додавання лугу спостерігається за сумісного використання ферменту та желатину. Різниця між цим і контрольним зразком (за додавання 5 мл лугу) сягає вже 2,4 од. рН (для рисового борошна) та 1,6 од. рН (для кукурудзяного борошна).

Експериментальними дослідженнями також встановлено, що застосування ТГ помітно змінює буферні властивості борошна при титруванні кислотою [14]. Встановлено, що хід кривих цих водно-борошняних суспензій не співпадає на етапі початкового титрування в інтервалі рН вище 4 (кукурудзяне борошно) або вище 3 (рисове борошно). Додавання желатину (в кількості 3 % до води) змінює буферну ємність суспензій. Темп зниження значення рН за додавання желатину сумісно з ферментом є найнижчим: для рисового борошна – 0,625 од./мл (контрольний зразок), 0,355 од./мл (з додаванням желатину та ТГ); для кукурудзяного борошна – 0,358 од./мл та 0,170 од./мл відповідно.

Досліджували також властивості водонерозчинної фракції білків пшеничного борошна – агрегуючу здатність клейковини – за використання ферменту

трансглютаміназа та тваринного білка желатина. Експериментальні дані представлені на рис. 2–3. Експериментально підтверджено, що зі збільшенням кількості ферменту межах досліджуваних концентрацій агрегуюча здатність клейковинних білків також зростає (рис. 2). Додавання желатину також дещо пришвидшує процес агрегації клейковини, а кінцеве значення оптичної густини перевищує контрольний зразок ($9,79 \cdot 10^{-2}$ та $7,68 \cdot 10^{-2}$ відн. од. відповідно), проте значення у зразка з ферментом є найвищим ($10,85 \cdot 10^{-2}$ відн. од.).

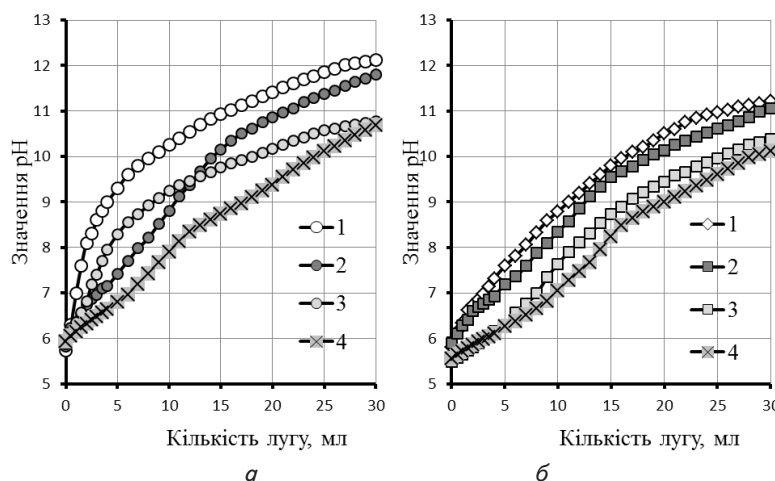


Рис. 1. Залежність значення рН від кількості лугу, доданого до водно-борошняних суспензій з використанням: а – рисового борошна; б – кукурудзяного борошна, де: 1 – без добавок; 2 – 0,05 % ТГ; 3 – 3,0 % желатин; 4 – 0,05 % ТГ та 3,0 % желатин

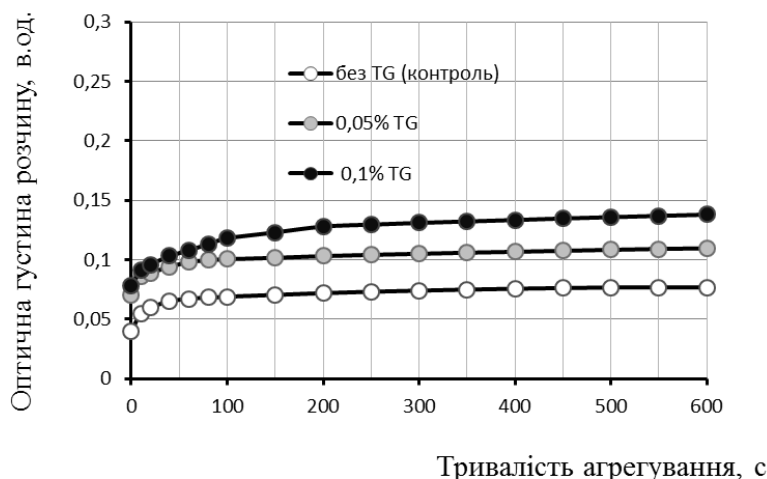


Рис. 2. Зміна оптичної густини розчину клейковинних білків протягом агрегації за використання різної кількості ферменту трансглютамінази (ТГ)

За сумісного використання ферменту та желатину (рис. 3) ступінь агрегації протягом 600 с помітно зростає – до $27,70 \cdot 10^{-2}$ відн. од. Крім того, стрімко зростає і швидкість агрегації. Отримані дані свідчать про ефективність впливу ферменту сумісно з желатином на технологічні властивості борошна зі слабкою клейковиною в бік її можливо-го укріплення.

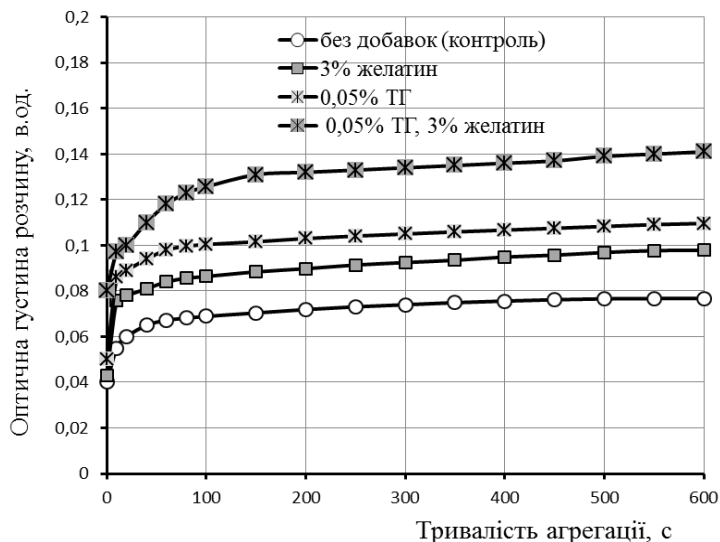


Рис. 3. Зміна оптичної густини розчину клейковинних білків протягом агрегації за використання різної кількості ферменту трансглютамінази (ТГ)

6. Обговорення результатів дослідження впливу добавок ферменту та желатину на властивості білків різних видів борошна

Отримані експериментально криві зміни рН піддано порівняльному аналізу на прикладі титрування борошна рисового з ферментом. Встановлено суттєві розбіжності між значенням рН, які вказують на зміну здатності борошна зв'язувати іони водню та гідроксильні іони, якщо додавати до нього фермент ТГ.

Розраховано кількість зв'язаних іонів H^+ та OH^- у водно-борошняних суспензіях різного складу. Кількість зв'язаних іонів знаходили з урахуванням різниці між величиною рН води (pH_v) та розчину (pH_p) при титруванні певною кількістю кислоти V_k (або лугу) за формулою:

$$[H^+] = \frac{V_k}{10 \cdot 1,25 \cdot (1 - 10^{pH_v - pH_p})} \quad (1)$$

Результати наведено в табл. 1. Як видно, загальна кількість зв'язаних іонів (водню або гідроксильних) за додавання 5 мл титранту (кислоти або лугу) у водно-борошняній суспензії помітно зростає, якщо застосовувати добавки ферменту ТГ та тваринного білка желатину (сумісно – найбільшою мірою).

Враховуючи, що в присутності ферменту між білками відбувається взаємодія, нами за результатами титрування (зразок 1 – водна суспензія борошна, зразок 2 – водний розчин ферменту, зразок 3 – водна суспензія борошна в присутності ферменту) були розраховані та порівняні:

а) сумарна кількість іонів, зв'язаних борошном та ферментом (шляхом сумування даних зразків 1 та 2), коли взаємодія між ними відсутня;

б) кількість іонів, зв'язаних борошном та ферментом (зразок 3), коли взаємодія відбувається.

Таким чином, порівнювали теоретично можливу кількість зв'язаних іонів (а) та експериментально встановлену (б). Дані представлені в табл. 2.

Таблиця 1

Розрахунок кількості зв'язаних іонів у водно-борошняних суспензіях

Склад зразка	Кількість зв'язаних іонів			
	$H^+ \cdot 10^3$, моль/г		$OH^- \cdot 10^3$, моль/г	
	у водно-борошняній суспензії на основі борошна			
	рисового	кукурудзяного	рисового	кукурудзяного
0,5 мл кислоти (рН=3,5) або 0,5 мл лугу (рН=9,6)				
Без добавок	39,42	39,66	39,98	39,99
0,05 %ТГ	39,95	39,94	39,98	39,99
0,05 %ТГ+ +3,0 % Желатин	39,78	39,34	39,99	40,00
1,0 мл кислоти (рН=3,2) або 1,0 мл лугу (рН=10)				
Без добавок	79,08	79,53	79,95	79,98
0,05 %ТГ	79,92	79,91	79,98	79,98
0,05 %ТГ+ +3,0 % Желатин	79,71	79,29	79,99	80,00
5 мл кислоти (рН=2,6) або 5 мл лугу (рН=10,6)				
Без добавок	304,02	388,73	141,6	159,87
0,05 %ТГ	390,83	390,83	159,9	159,95
0,05 %ТГ+ +3,0 % Желатин	391,04	396,10	160,0	160,00

Таблиця 2

Порівняння кількості зв'язаних іонів (встановлених експериментально та розрахованих) у водно-борошняній суспензії на основі рисового борошна з додаванням 0,05 % ТГ та 3,0 % желатину

Кількість титранту	Кількість зв'язаних іонів					
	$H^+ \cdot 10^3$, моль/г			$OH^- \cdot 10^3$, моль/г		
	Розрах. (зр.1+зр.2)	Експ. (зр.3)	$\Delta = \text{Розрах.} - \text{Експ.}$	Розрах. (зр.1+зр.2)	Експ. (зр.3)	$\Delta = \text{Розрах.} - \text{Експ.}$
Рисове борошно, 0,05 % ТГ						
0,5 мл	79,25	39,95	39,30	59,93	39,98	19,95
1,0 мл	124,16	79,92	44,24	125,03	79,98	45,05
5,0 мл	503,55	390,83	112,72	174,54	159,91	14,63
Рисове борошно, 3 % желатину та 0,05 % ТГ						
0,5 мл	85,10	39,78	45,32	73,71	39,99	33,72
1,0 мл	139,92	79,71	60,21	140,12	79,99	60,13
5,0 мл	541,59	391,04	150,55	180,25	160,00	20,25

Розходження даних свідчить про неадитивне зв'язування іонів H^+ і OH^- білковими молекулами, тобто про взаємодію між добавкою і борошном. При чому, розходження між теоретичними та експериментальними даними зі зниженням рН у кислий бік є більш

суттєвим. Це узгоджується з даними щодо взаємодії між амінокислотами лізином та глютаміновою кислотою, які здатні до зв'язування іонів H^+ і OH^- відповідно. Оскільки кількість їх вільних залишків за додавання ферменту ТГ зменшується (бо вони взаємодіють один з одним), тому й експериментальна кількість зв'язаних іонів менше, ніж вони здатні зв'язувати.

Іоногенні і полярні груп білкової молекули, знаходяться зазвичай на поверхні білкової глобули, визначають кислотно-лужні властивості та заряд білкової молекули. Розглянемо поведінку лізину і глютамінової кислоти (які є учасниками реакцій з ТГ) у розчині під час титрування. Глютамінова кислота надає білку кислотних властивостей; дисоціація її карбоксильних груп є джерелом негативних електричних зарядів на поверхні білкової молекули. Тобто її здатність зв'язувати вільні іони OH^- виявляється в лужному середовищі. Амінокислота лізін здатна до протонування, надає білку лужних властивостей і виявляє себе, зв'язуючи вільні іони H^+ в кислому середовищі. Застосування ферментного препарату ТГ модифікує нативну конформацію макромолекул білків, знижуючи кількість вільних залишків лізину та глютамінової кислоти, що виявляється у зміні іонозв'язувальної здатності під час титрування як кислотою, так і лугом. Порівняння даних табл. 2 щодо визначення і порівняння кількості зв'язаних іонів H^+ і OH^- за додавання желатину сумісно з ферментом свідчить про ще більш суттєві розходження між теоретичними та експериментальними даними.

Експериментально доведено зростання ступеня і швидкості агрегації клейковинних білків за додавання ферменту трансглютаміназа (прямо пропорційно кількості ферменту) та тваринного білка желатину (найбільшою мірою – за сумісного використання з ферментом). Можливо, стійкість білків у розчиненому стані зменшується внаслідок утворення надмолекулярних білкових структур клейковини через іонно-електростатичні взаємодії та додаткові водневі зв'язки. Така трактовка експериментальних даних, заснована на іонно-електростатичних взаємодіях і конформаційних перетвореннях, дозволяє задовільно пояснити особливості поведінки білків у присутності добавок.

Відомо, що агрегуюча здатність білків є зворотною функцією їхньої стійкості в розчинах. Параметри агрегації білків сильних пшениць є помітно вищими порівняно зі слабкими, процес утворення білкових агрегатів є інтенсивнішим і тривалішим. Агрегація білка з підвищенням рН, іонної сили та концентрації посилюється, супроводжуючись формуванням міцелярно-фібрилярних структур, характерних для білків клейковини. Здатність до агрегації зростає зі збільшенням рухомості поліпептидів і зменшенням їх молекулярної маси, що знайшло своє експериментальне підтвердження [15]. Отримані дані дозволяють впевнено стверджувати, що застосування обраних добавок у досліджуваному інтервалі концентрацій спричиняє посилення клейковини. Високу ефективність дії ферменту можна пояснити комбінуванням рослинного білка (безглютенового або пшеничного

борошна) з тваринним білком (желатином, що отримують з колагенвмісної м'ясної сировини). Це збігається з твердженням інших дослідників [16] щодо здатності трансглютамінази зв'язувати протеїни різного походження: казеїни і альбуміни з молока, тваринний білок з яєць і м'яса, соєвий і пшеничний протеїн.

Результати спробних лабораторних випробувань свідчать, що ці добавки досить ефективно діють на якість безглютенового хліба – помітно зростає об'єм хліба, його форма і зовнішній вигляд, поліпшується пористість. При цьому найбільший вплив здійснюють фермент ТГ сумісно з желатином. Також поліпшуються структурно-механічні властивості макаронного тіста та кулінарні властивості готових макаронних виробів [17].

7. Висновки

Проведеними дослідженнями щодо впливу ферменту трансглютаміназа в присутності білка тваринного походження желатину на властивості білкових речовин борошняної сировини встановлено неадитивне зв'язування іонів водню та гідроксильних іонів білками безглютенового борошна, що свідчить про взаємодії між білками різного походження. Найбільші розходження між теоретичними та експериментальними даними відмічалось зі зниженням рН у кислий бік. Це узгоджується з відомими даними щодо взаємодії між амінокислотами лізином та глютаміновою кислотою, які здатні до зв'язування іонів H^+ і OH^- відповідно. Поясненням може слугувати та обставина, що кількість вільних залишків цих амінокислот внаслідок їхньої активної взаємодії за додавання ферменту ТГ зменшується, то й експериментально встановлена кількість зв'язаних іонів є меншою, ніж вони зв'язують в разі відсутності такої взаємодії. Додавання желатину сумісно з ферментом посилює вказані тенденції.

Досліджено також особливості протікання процесу агрегування клейковинних білків в розчині в присутності зазначених добавок. Встановлено зростання ступеня і швидкості агрегації клейковинних білків за додавання ферменту трансглютаміназа (прямо пропорційно кількості ферменту) та тваринного білка желатину (найбільшою мірою – за сумісного використання з ферментом).

Таким чином, застосування цих добавок у досліджуваному інтервалі концентрацій посилює клейковину. Висока ефективність дії ферменту зумовлена ефективним комбінуванням рослинних білків борошна з тваринним білком желатином. Це збігається з поглядами дослідників [16] щодо здатності трансглютамінази активно взаємодіяти з протеїнами тваринних білків, протеїнами пшеничного борошна.

Таким чином, дослідженнями показано можливість спрямованого регулювання процесів тістоутворення з безглютеновою борошняною сировини в технології хліба та формування структури макаронного тіста та виробів з використанням борошна пшеничного хлібопекарсько-го зі зниженими технологічними властивостями.

Література

1. Вирощування твердої пшениці в Україні – крок до поліпшення її конкурентоспроможності на світовому ринку [Електронний ресурс] / Електронне наукове фахове видання «Ефективна економіка». – Режим доступу: [www/economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2172](http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2172). – 09.07.2013 р. – Назва з екрану.

2. Green, P. H. R. Celiac Disease [Text] / P. H. R. Green, C. Cellier // *New England Journal of Medicine*. – 2007. – Vol. 357, № 17. – P. 1731–1743. doi:10.1056/nejmra071600.
3. Jeffrey, L. C. Gluten-free Baked Products [Text] / L. C. Jeffrey, W. A. Atwell. – AACC international, Inc., 2014. – 88 p.
4. Стабровская, О. Анализ рынка многокомпонентных смесей для производства хлебобулочных изделий [Текст] / О. Стабровская, А. Романов, О. Короткова // *Хлебопродукты*. – 2011. – №1. – С. 28-30.
5. Кузнецова, Л. И. Научные основы разработки безглютеновых смесей [Текст] / Л. И. Кузнецова, Г. В. Мельникова, Н. Д. Синявская // *Хлебопечение России*. – 2001. – № 3. – С. 30-31.
6. Anton, A. A. Hydrocolloids in gluten-free breads: A review [Text] / A. A. Anton, S. D. Artfield // *Int J Food Sci Nutr*. – 2008. – Vol. 59, № 1. – P. 11–23. doi:10.1080/09637480701625630.
7. Барсукова, Н. В. Новые технологические подходы к созданию специализированных продуктов питания для безглютеновой диеты [Текст] / Н. В. Барсукова, В. Н. Красильников // *Материалы V Российского Форума «Здоровое питание с рождения: медицина, образование, пищевые технологии. Санкт-Петербург-2010», 12-13 ноября 2010 г.* – СПб., 2010. – С. 7-8.
8. Rosell, C. M. Enzymatic manipulation of gluten-free breads [Text] / C. M. Rosell; Ed. E. Gallagher // *Gluten-Free Food Science and Technology*. – London: John Wiley & Sons, 2009. – P. 83–98. doi:10.1002/9781444316209.ch6
9. Kuraishi, C. Transglutaminase: its utilization in the food industry [Text] / C. Kuraishi, K. Yamazaki, Y. Susa // *Food Reviews Internationa*. – 2001. – Vol. 17, № 2. – P. 221–246. doi:10.1081/fri-100001258.
10. Renzetti, S. Microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads from different gluten-free flours treated with a microbial transglutaminase [Text] / S. Renzetti, F. Dal Bello, E. K. Arendt // *Journal of Cereal Science*. – 2008. – Vol. 48, № 1. – P. 33–45. doi:10.1016/j.jcs.2007.07.011.
11. Bauer, N. Studies on Effects of Microbial Transglutaminase on Gluten Proteins of Wheat. I. Biochemical Analysis [Text] / N. Bauer, P. Koehler, H. Wieser, P. Schieberle // *Cereal Chemistry*. – 2003. – Vol. 80, № 6. – P. 781–786. doi:10.1094/cchem.2003.80.6.781.
12. Gallagher, E. Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products [Text] / E. Gallagher, T. Gormley, E. Arendt // *Trends in Food Science & Technology*. – 2004. – Vol. 15, № 3-4. – P. 143–152. doi:10.1016/j.tifs.2003.09.012.
13. Wu, J. Quality of dried white salted noodles affected by microbial transglutaminase [Text] / J. Wu, H. Corke // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. – 2005. – Vol. 85, № 15. – P. 2587–2594. doi:10.1002/jsfa.2311.
14. Шанина, О. М. Дослідження іонозв'язувальної здатності білків безглютенового борошняного тіста за додавання трансглютамінази [Текст] / О. М. Шанина, Н. Л. Лобачова // *Обладнання та технології харчових виробництв*. – 2014. – Вип. 32. – С. 136-143.
15. Сафонова, О. М. Наукове обґрунтування та розроблення технологій борошняних кондитерських і хлібопекарських продуктів з використанням нетрадиційної борошняної сировини [Текст]: дис. ... докт. техн. наук / О. М. Сафонова. – Київ, 007. – 302 с.
16. Truong, V.-D. Cross-Linking and Rheological Changes of Whey Proteins Treated with Microbial Transglutaminase [Text] / V.-D. Truong, D. A. Clare, G. L. Catignani, H. E. Swaisgood // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2004. – Vol. 52, № 5. – P. 1170–1176. doi:10.1021/jf034397c.
17. Shanina, O. Production challenges of enriched flour products [Text] / O. Shanina, K. Dugina, V. Zverev, T. Gavrish, M. Domahina, N. Lobacheva // *European Science and Technology. Materials of the III International and Practice Conference*. – Munich, Germany, 2012. – Vol. 1. – P. 248-252.