

ВИЗНАЧЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ РЕЦЕПТУРНИХ КОМПОНЕНТІВ НАПІВФАБРИКАТУ ЗБИВНОГО БОРОШНЯНОГО В ПРИСУТНОСТІ ФЕРМЕНТУ ТРАНСГЛЮТАМІНАЗИ

**Ф.В. Перцевої, П.В. Гурський, Л.А. Кондрашина, Н.В. Камсуліна,
Н.В. Мурликіна, О.Ю. Мельник, С.Б. Омельченко**

Визначено взаємодію аміногруп лізину з ацильними донорами поліелектролітного комплексу желатин–ксантан за вмісту ферменту трансглютамінази. Імовірно, під час структуризації розчину желатини і ксантану за температури 50 °С за вмісту цукру і трансглютамінази відбувається утворення меншої кількості міжмолекулярних водневих зв'язків, ніж за умов проведення процесу без трансглютамінази.

Ключові слова: борошняний, збитий, желатин, ксантан, трансглютаміназа, смуга поглинання, ІЧ-спектроскопія.

DETERMINATION OF RECIPE COMPONENTS INTERACTION OF WHIPPED FLOUR SEMI-FINISHED PRODUCTS UNDER TRANSGLUTAMINASE ENZYME PRESENCE

**F. Pertsevoi, P. Hurskyi, L. Kondrashyna, N. Kamsulina,
N. Murlykina, O. Melnyk, S. Omelchenko**

Polyelectrolyte complexes formation mechanism is studied by the IR spectroscopy method, the qualitative assessment of the processes which occur in the studied samples during thermal transformations is carried out. The expediency of combining starch and hydrocolloids of different nature – gelatin and xanthan in combination with the enzyme transglutaminase (TG) during whipped flour semi-finished products formation is substantiated; it increases the viscous and elastic properties of the food system. The interaction of lysine amino groups with acyl donors of gelatin-xanthan polyelectrolyte complex under transglutaminase enzyme presence was established. It is probable that during gelatin and xanthan solution structuring at a temperature of 50 °C under sugar and transglutaminase presence, fewer intermolecular hydrogen bonds are formed than when the process is carried out under transglutaminase absence. The TG effect of the flour gelatin-xanthan system on the possible intermolecular hydrogen bonds with flour gluten complex proteins formation and -OH groups binding degree increasing was proved. The TG catalytic effect of gelatin-xanthan system on the lysine amino groups' interaction with γ -carboxyamide

group of glutamine residues bound by peptide bond is proved; it provides higher level of protein skeleton macromolecules crosslinking and can significantly slow down the dehydration process. The obtained results have practical importance for the whipped flour semi-finished product recipe composition formation.

Keywords: *flour, whipped, gelatin, xanthan, transglutaminase, absorption band, IR spectroscopy.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Виробництво структурованих продуктів з використанням перспективних із безпечних харчових добавок актуальне в галузі розвитку технології й товарознавства продуктів здорового харчування, оскільки має відношення до категорії продукції нового покоління із заданими складом, структурою і споживчими властивостями. Важливим аспектом у реалізації цього напрямку є науково обґрунтований пошук і підбір сировинних інгредієнтів, а також сучасних інноваційних технологій, що дозволяють істотно впливати на якісні показники готової продукції.

Для визначення і співставлення змін під час теплової обробки системи желатин – ксантан за наявності ферменту трансглютамінази з іншими компонентами необхідно провести більш системні дослідження; проаналізувати ІЧ-спектри окремих компонентів та їх композицій, що можуть стати інструментарієм для об'єктивного оцінювання перебігу фізичних та фізико-хімічних процесів під час утворення борошняно-білкової системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перспективним у технології харчової продукції, яка виробляється харчопереробним комплексом і закладами ресторанного господарства, є використання желатину. Цей гідроколоїд має значний потенціал функціонально-технологічних властивостей, реалізація яких у технології харчової продукції обмежена температурним діапазоном 30...35 °С через його природну особливість забезпечувати термооборотну структуру. Сучасні технологічні завдання, які ставляться під час створення нових харчових продуктів із використанням желатину, потребують розширення діапазону температур, за яких можлива їх термообробка і реалізація. Тому актуальним є отримання науково обґрунтованої системи оцінювання впливу рецептурних компонентів борошняної суміші на властивості збивного випеченого напівфабрикату. Це можливо завдяки застосуванню методів ІЧ-спектроскопії, які дозволяють отримати комплекс інформаційних параметрів для виявлення та співставлення змін, що відбуваються під час спільного використання різних рецептурних компонентів.

Ученими [1] зазначено, що використовуючи ферментативну модифікацію желатину за допомогою трансглютамінази (ТГ), гелі та піни, виготовлені з желатину, можна зробити термостабільними. Згідно з результатами цих досліджень, піни і гелі, виготовлені з желатину й оброблені ТГ, стабільні в межах 80 °С протягом значного часу, хоча текстурні властивості таких гелів мають бути оптимізовані.

Досліджено закономірності впливу ТГ на желатин [2; 3], з якого отримували гелі та піни. Вивчено стабільність піни за 20 °С і 80 °С, термічну стабільність і текстуру гелів. Вміст желатину і ТГ значно підвищували стабільність піни за обох температур, але вплив ТГ був більш значимим. Дослідниками [2; 3] відзначено, що модифікація піни і гелів на основі желатину з додаванням ТГ може знайти цікаве практичне застосування в кулінарних технологіях, де желатин повинен нагріватися.

Вивчено вплив трансглютамінази на швидкість формування структури розчину желатину [4]. Отримано математичні моделі, що описують зміну в'язкості в часі. Наведено математичну модель і описано процес формування структури за різних співвідношені фермент – субстрат.

Метою статті було визначення на молекулярному рівні взаємодії рецептурних компонентів напівфабрикату борошняного збивного: желатину, ксантану, трансглютамінази, цукру, борошна. Обґрунтування доцільності їх уведення до рецептурного складу напівфабрикату борошняного збивного шляхом аналізу зі співставленням ІЧ-спектрів досліджуваних зразків зі спектрами відомих речовин.

Виклад основного матеріалу дослідження. У дослідженнях у всіх зразках нами було використано желатин типу А в кількості 3,0 г зі свинячої шкіри з твердістю за Блумом 225 (Gelatin Type A from bovine skin 225 Bloom) виробництва Sigma-Aldrich (табл. 1). Ізоелектрична точка рН_i желатину становить 4,9. Середньов'язкісна молекулярна маса желатину становила 96 кДа. Зразки ксантанової камеді (ксантан) виробництва Sigma-Aldrich зі середньов'язкісною молекулярною масою 4,3·10⁵ Да використовували без додаткового очищення.

Зразки для дослідження методом ІЧ-спектроскопії підготовляли таким чином: одержували водяні розчини желатину (зразок 1), або желатину і ксантану (зразок 2), або желатину, ксантану, цукру (зразок 3), витримували для набрякання, потім підігрівали до температури (60±1) °С до повного розчинення. Зразки 4 та 5 після повного розчинення желатину, ксантану та цукру охолоджували до температури 50...55 °С, вводили фермент (зразок 4) або фермент із борошном (зразок 5), перемішували, залишали на 1 год для структурування, потім нагрівали суміш до 90...95 °С для інактивації ферменту.

Таблиця 1

Склад систем на основі желатину

Номер і склад зразка	Маса компонента, г					
	Желатин	Ксантан	Цукор	Трансглютаміназа	Борошно	Вода
1. Желатин	3,0	–	–	–	–	97,0
2. Желатин – ксантан	3,0	0,2	–	–	–	96,8
3. Желатин – ксантан – цукор	3,0	0,2	30,0	–	–	66,8
4. Желатин – ксантан – цукор – трансглютаміназа	3,0	0,2	30,0	0,2	–	66,6
5. Желатин – ксантан – цукор – трансглютаміназа – борошно	3,0	0,2	30,0	0,2	60,0	66,6

Біополімер желатини – продукт деструкції білка колагену – має у складі макромолекули позитивно і негативно заряджені групи. Позитивно зарядженими групами є вільні аміногрупи залишків лізину. Негативний заряд желатину зумовлюється залишками глутамінової Glu і аспарагінової Asp кислот, число яких на 1000 амінокислотних залишків поліамфоліту з різних природних джерел становить відповідно 69–72 і 47–48 [5].

Основними смугами поглинання для желатину [6–11] є: широка смуга з максимумом за частоти 3400 см^{-1} (валентні коливання групи $-\text{NH}$), характерні поглинання за частот 1654 см^{-1} (валентні коливання груп $\text{C}=\text{O}$), 1541 см^{-1} (складові частоти деформаційних коливань $\text{N}-\text{H}$ і валентних коливань CN) і 1240^{-1} (складові частоти $\delta_{\text{N}-\text{H}}$ – деформаційних коливань $\text{N}-\text{H}$ і ν_{CN} – валентних коливань CN).

В ІЧ-спектрі ксантанової камеді, за даними авторів [5–11], наявні інтенсивні смуги поглинання валентних коливань $-\text{OH}$ зв'язків у зоні $3613\text{--}3236\text{ см}^{-1}$, коливання адсорбційно зв'язаної води за $3500\text{--}3200\text{ см}^{-1}$ із максимумом за $3360\text{--}3355\text{ см}^{-1}$, смуги середньої інтенсивності валентних коливань $-\text{CH}-$ і $-\text{CH}_2-$ зв'язків за 2926 см^{-1} і 2903 см^{-1} відповідно, інтенсивні смуги коливань іонізованих карбоксильних груп $-\text{COO}^-$ за 1729 см^{-1} , етерних угруповань $-\text{C}-\text{O}-\text{C}-$ за 1060 см^{-1} .

За результатами дослідження отримано віднесення смуг ІЧ-спектрів та ідентифікацію функціональних груп дослідних речовин зразків таких колоїдних розчинів: желатин, желатин–ксантан, желатин–ксантан–цукор (рис. 1).

На ІЧ-спектрі розчину желатину (рис. 1, зразок 1) відзначено характерні для желатину: широку розмиту смугу за частоти $3600\text{--}3100\text{ см}^{-1}$, ускладнену перекриванням смуг ($\nu_{\text{N-H}}$ асоційованих груп -NH_2 , $\nu_{\text{O-H}}$ асоційованих груп -OH гідроксипроліну желатину $\nu_{\text{-OH}}$, коливання адсорбційно зв'язаної води), поглинання Амід I ($\nu_{\text{C=O}}$) і Амід III ($\delta_{\text{N-H}}$, ν_{CN}) за частот 1651 см^{-1} і 1245 см^{-1} відповідно.

У діапазоні $1550\text{--}1485\text{ см}^{-1}$ за частот 1537 см^{-1} , 1491 см^{-1} спостерігається слабка смуга Амід II ($\delta_{\text{N-H}}$ вторинних амідів, ν_{CN} , $\delta_{\text{NH}_3^+}$ амінокислот, що містять аміногрупи -NH_2 , зокрема лізину), зумовлена взаємодією коливань ν_{CN} і $\nu_{\text{C=O}}$. У діапазоні $800\text{--}500\text{ см}^{-1}$ спостерігається смуга поглинання, зумовлена деформаційними позаплощинними в'яловими коливаннями N-H групи, деформаційними коливаннями групи O=C-N . Відмічена смуга має низькочастотний зсув до 667 см^{-1} відносно характеристичної смуги Амід V (750 см^{-1}) і високочастотний – відносно Амід IV (620 см^{-1}).

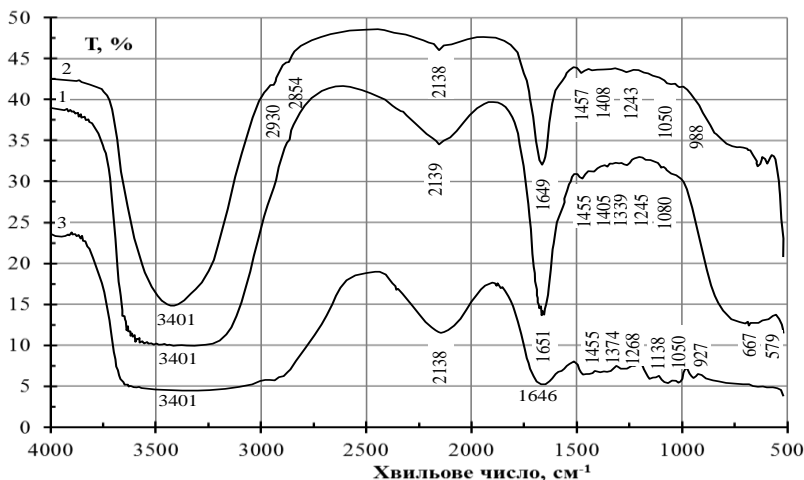
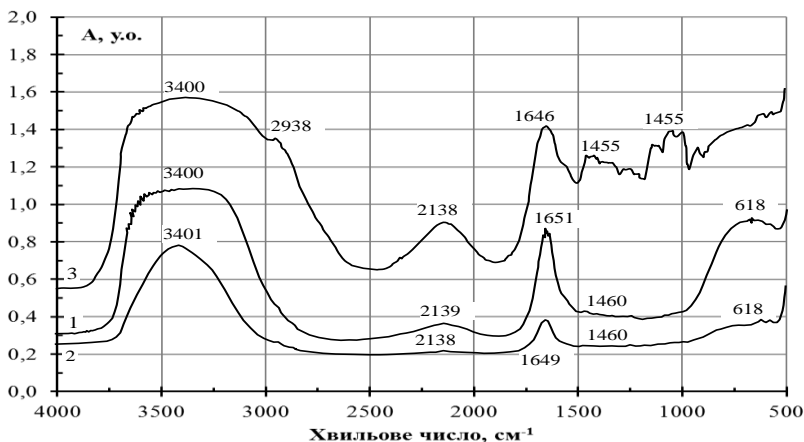


Рис. 1. ІЧ-спектри поглинання зразків: 1 – желатин; 2 – желатин–ксантан; 3 – желатин–ксантан–цукор



**Рис. 2. Порівняння інтенсивності ІЧ-смуг поглинання зразків:
1 – желатин; 2 – желатин–ксантан; 3 – желатин–ксантан–цукор**

На спектрі зразка желатин–ксантан (рис. 1, 2, зразок 2) відзначено характерні для желатину і ксантану такі смуги поглинання: широка інтенсивна смуга з максимумом за 3401 см^{-1} , смуги валентних коливань $-\text{NH}-$ і $-\text{CH}_2-$ зв'язків за 2930 см^{-1} і 2854 см^{-1} відповідно.

У спектрі зразка желатин–ксантан (рис. 1, 2, зразок 2) змінюється профіль смуги валентних коливань N-H груп і відбувається помітне звуження смуги в зону високих частот із появою виразного максимуму за 3401 см^{-1} порівняно з желатином за 3400 см^{-1} (рис. 1, 2, зразок 1). Це пов'язано з певним збільшенням числа O-H груп унаслідок уведення ксантану і перерозподілом асоційованих і неасоційованих груп.

Водночас широка смуга поглинання спостерігається для зразків желатин і желатин–ксантан (рис. 1, 2, зразки 1, 2) у зоні $2600 - 1900\text{ см}^{-1}$ із максимумом за 2139 см^{-1} і 2138 см^{-1} відповідно. Вона характерна для валентних коливань асоційованих гідроксильних груп і зумовлена утворенням значної кількості міжмолекулярних водневих зв'язків.

Смуга поглинання зразка желатин–ксантан має меншу інтенсивність, що свідчить про меншу кількість утворених водневих зв'язків порівняно зі зразком желатину. Порівняно зі спектром води (2150 см^{-1}) максимуми смуг поглинання зразків зсуваються в бік менших хвильових чисел до 2138 см^{-1} , 2139 см^{-1} , зростає інтенсивність смуги та інтенсивність деформаційної складової ($\nu\delta-1645\text{ см}^{-1}$).

У діапазоні частот $1800\text{--}1500\text{ см}^{-1}$ (рис. 2, зразки 1, 2) спостерігається перекривання характеристичних смуг желатину і ксантану: $\nu_{\text{C=O}}$, $\nu^{\text{as}}_{\text{C-O}}$, δ_{OH} з утворенням широкої смуги з максимумом за 1649 см^{-1} . З уведенням ксантану (зразок 2) інтенсивність смуги зменшується, що зумовлено, ймовірно, зменшенням кількості карбонільних груп C=O желатину внаслідок їх взаємодії з гідроксильними групами OH –ксантану. Також зазначений максимум поглинання смуги для системи желатин–ксантан має низькочастотний зсув порівняно з максимумом для розчину желатину (1651 см^{-1}). Високочастотний зсув цієї смуги (1649 см^{-1}) порівняно з максимумом поглинання, який відповідає деформаційним коливанням води (1645 см^{-1}), свідчить про наявний перехід від мономерів і димерів молекул води до тримерів і олігомерів. Більш розмита смуга поглинання в зоні $1400\text{--}950\text{ см}^{-1}$ може свідчити про підвищення ступеня зв'язаності груп OH у системі желатин–ксантан порівняно з желатином. У діапазоні $800\text{--}500\text{ см}^{-1}$ (рис. 1, 2) у зразка 2 є дві вузькі смуги слабкої інтенсивності з максимумами за 764 см^{-1} і 576 см^{-1} .

Результати уведення цукру до водяного розчину желатину і ксантану позначаються на всіх розглянутих характеристичних частотах ІЧ-спектра зразка желатин–ксантан–цукор (рис. 1, 2, зразок 3). Так, змінюється профіль смуги валентних коливань N-H , O-H груп і відбувається суттєве розширення смуги з максимумом за 3400 см^{-1} в зону низьких частот порівняно з желатином (зразок 1) і желатин–ксантаном (зразок 2). Водночас низькочастотно зрушується максимум смуги від 3401 см^{-1} до 3400 см^{-1} (рис. 2, зразок 3), значно посилюється інтенсивність смуги, що пов'язано зі збільшенням за рахунок цукрози числа OH груп, утворених водневих зв'язків, перерозподілом асоційованих і неасоційованих груп.

Спостерігається зростання інтенсивності смуги поглинання валентних коливань C-N зв'язків (2938 см^{-1}). Суттєво зростає інтенсивність смуги поглинання для зразків желатин–ксантан–цукор в зоні $2600\text{--}1900\text{ см}^{-1}$ з максимумом за 2138 см^{-1} внаслідок утворення значної кількості міжмолекулярних водневих зв'язків. Уведення цукру в розчин желатину і ксантану (зразок 3) зумовлює посилення інтенсивності смуги поглинання валентних коливань груп C=O і зсув максимуму до 1646 см^{-1} (1651 см^{-1} – зразок 1, желатин; 1649 см^{-1} – зразок 2, желатин–ксантан). Такий зсув свідчить про електростатичну взаємодію позитивно заряджених амідних груп поліпептиду желатину з негативно зарядженими групами залишків глюкоуронової і

пірвіноградної кислот ксантану та більш активне утворення поліелектролітних комплексів желатину і ксантану за вмісту цукру.

На рис. 3 наведено ІЧ-спектри зразків на основі желатину, ксантану, цукру (зразок 3), які були структуровані за вмісту трансглютамінази (зразок 4), у тому числі зразок із додаванням борошна (зразок 5).

Порівняльний аналіз інтенсивності ІЧ-смуг поглинання зразків із трансглютаміназою (рис. 4) показує, що спектр 4 зразка желатин–ксантан–цукор–трансглютаміназа є аналогічним спектру 3 зразка желатин–ксантан–цукор. Профілі цих спектрів, максимуми характеристичних частот майже збігаються. Деякі відмінності смуги поглинання в зоні $2600\text{--}1900\text{ см}^{-1}$ зразків 4 – із трансглютаміназою – полягають у тому, що смуга має меншу інтенсивність і зсунений низькочастотний максимум (2137 см^{-1}) порівняно зі зразком 3 (2137 см^{-1}).

Імовірно під час структуризації за температури $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ розчину желатину і ксантану за вмісту цукру і трансглютамінази відбувається утворення меншої кількості міжмолекулярних водневих зв'язків, ніж в умовах проведення процесу за відсутності трансглютамінази.

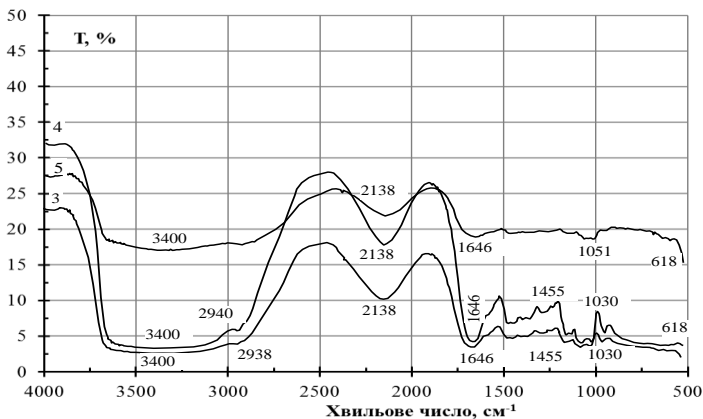


Рис. 3. ІЧ-спектри поглинання зразків: 3 – желатин–ксантан–цукор; 4 – желатин–ксантан–цукор–трансглютаміназа; 5 – желатин–ксантан–цукор–трансглютаміназа–борошно

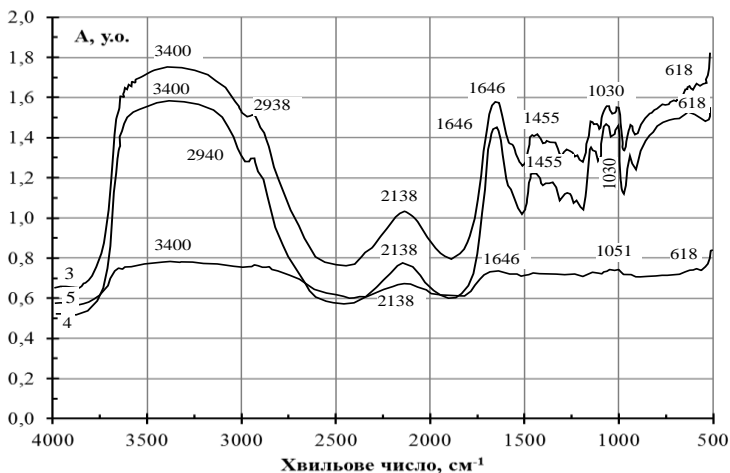


Рис. 4. Порівняння інтенсивності ІЧ-смуг поглинання зразків: 3 – желатин–ксантан–цукор; 4 – желатин–ксантан–цукор– трансглютаміназа; 5 – желатин–ксантан–цукор–трансглютаміназа–борошно

Оскільки трансглютаміназа каталізує реакції ацильного перенесення між γ -карбоксамідною групою пов'язаних пептидним зв'язком залишків глутаміну (ацил-донор) і різними первинними амінами, у тому числі ϵ -аміногрупою залишків лізину (ацил-акцептор), слід розглянути і порівняти інтенсивність, положення максимумів смуг поглинання Амід I, Амід II, Амід III зразків 3 і 4.

Уведення трансглютамінази (рис. 3, 4, зразок 4) порівняно з введенням цукру (зразок 3) зумовлює деяке зменшення інтенсивності смуги поглинання з максимумом за 1646 см^{-1} ($\nu_{C=O}$). Водночас зсуву максимуму поглинання за частоти 1646 см^{-1} не відбувається, що є свідченням відсутності взаємодії зазначених функціональних груп під впливом трансглютамінази. Для зразка желатин–ксантан–цукор–трансглютаміназа (рис. 3, 4 зразок 4) спостерігається посилення інтенсивності смуг поглинання: за частот $1455, 1374, 1339 \text{ см}^{-1}$; Амід III (δ_{N-H}, ν_{CN}) з максимумом 1262 см^{-1} ; глікозидних зв'язків цукрози і ксантану за 1047 см^{-1} (ν_{CO}); первинних аміногруп із максимумом за 999 см^{-1} і 927 см^{-1} . Смуга Амід III має низькочастотний зсув до 1262 см^{-1} (зразок 4) порівняно з 1268 см^{-1} (зразок 3), що є свідченням взаємодії аміногруп лізину з ацильними донорами поліелектролітного комплексу желатин–ксантан під каталітичним впливом трансглютамінази.

На ІЧ-спектрі желатин–ксантан–цукор–трансглютаміназа–борошно (рис. 3, 4, зразок 5) відзначено широку розмиту смугу за частот $3600\text{--}3100\text{ см}^{-1}$, ускладнену перекриванням смуг ($\nu_{\text{N-H}}$ асоційованих груп $-\text{NH}_2$, $\nu_{\text{O-H}}$ асоційованих груп $-\text{OH}$ гідроксипроліну желатину, ν_{OH} , коливання адсорбційно зв'язаної води), поглинання Амід I ($\nu_{\text{C=O}}$) і Амід III ($\delta_{\text{N-H}}$, ν_{CN}) за частот 1646 см^{-1} і 1268 см^{-1} відповідно. У діапазоні $800\text{--}500\text{ см}^{-1}$ спостерігається слабка смуга поглинання, зумовлена деформаційними коливаннями групи O=C-N . Відмічена смуга має низькочастотний зсув до 616 см^{-1} відносно характеристичної смуги Амід IV (620 см^{-1}).

В ІЧ-спектрі поглинання зразка 5 із борошном (рис. 3, 4) за розглянутих характеристичних частот спостерігається зменшення інтенсивності смуг поглинання, які майже повторюють профіль смуг зразків із цукром (зразок 3), цукром і трансглютаміназою (зразок 4). Для зразка 5 із борошном слабка смуга за 2138 см^{-1} (валентні коливання асоційованих гідроксильних груп) має низькочастотний зсув порівняно зі зразком 4 (2137 см^{-1}), що зумовлює можливе утворення міжмолекулярних водневих зв'язків із білками клейковинного комплексу борошна.

Смуга поглинання (рис. 3, 4, зразок 5) із максимумом за 1051 см^{-1} свідчить про валентні коливання C-O глікозидних зв'язків цукрози і ксантану і має високочастотний зсув порівняно зі зразком, що не містить борошна (рис. 3, зразок 4). Розмита смуга поглинання в зоні $1400\text{--}950\text{ см}^{-1}$ може свідчити про підвищення ступеня зв'язаності груп $-\text{OH}$ у системі з борошном.

Іншим напрямом дослідження асоціативних взаємодій у системах гідроколоїдів є вивчення спільного вмісту крохмалю, гідроколоїдів різної природи і ТГ, що містяться в білково-вуглеводній основі збивного випеченого напівфабрикату. Оскільки крохмаль є сумішшю двох полімерів, під час додавання ще двох полімерів утворюється система з чотирьох біополімерів: желатину, амілопектину, амілози і ксантану. Комбінування крохмалю з іншими гідроколоїдами, які при розчиненні у воді мають загущуючу дію, дає деякі переваги з точки зору текстури готового продукту [12–13].

Теоретично й експериментально доведена можливість комбінування крохмалю і гідроколоїдів різної природи в поєднанні з ТГ, що підтверджується результатами дослідження динамічної в'язкості (табл. 2) білково-вуглеводної основи з частковою заміною крохмалю гідроколоїдами різної природи.

Таблиця 2

Динамічна в'язкість компонентів білково-вуглеводної основи за умов часткової заміни крохмалю на некрохмальні полісахариди

Найменування компонентів	Динамічна в'язкість ($\eta \times 10^{-3}$, Па·с)
Желатин	1,76
Ксантан	2,5
Желатин–ксантан	3,66
Трансглютаміназа	1,49
Желатин–ксантан–трансглютаміназа	2,88
Желатин–ксантан–цукор	9,03
Желатин–ксантан–цукор–трансглютаміназа	12,34
Желатин–ксантан–цукор–трансглютаміназа–борошно	525,9

Таким чином, унаслідок взаємодії ксантану з желатином за зовнішніх умов, що сприяють формуванню гелів, змінюється вторинна структура білка, зокрема спостерігається підвищена спіралізація желатину. Зростання частки колагеноподібної потрійної спіралі під час комплексоутворення в системах желатин-ксантан може обумовлювати значне збільшення в'язко-пружних властивостей модифікованих гелів.

Додавання до системи желатин-ксантан трансглютамінази зменшує в'язкість системи, на нашу думку, за рахунок утворення меншої кількості міжмолекулярних водневих зв'язків, що корелюється з даними спектроскопії. Додавання цукру підвищує в'язкість унаслідок часткового зв'язування води та більш активного утворення поліелектролітних комплексів желатину і ксантану за вмісту цукру.

Висновки. Визначено механізми виникнення різних видів зв'язків між білковими та полісахаридними компонентами рецептурної суміші, що сприяють утворенню білково-полісахаридного каркаса напівфабрикату. Доведено взаємодію всіх компонентів суміші, а саме: желатин–ксантан, імовірно, за рахунок зменшення кількості карбонільних груп $-C=O$ желатину внаслідок їх взаємодії з гідроксильними групами $-OH$ – ксантану; желатин–ксантан–цукор, що характеризується збільшенням за рахунок цукрози числа $-OH$ груп, утворених водневих зв'язків, перерозподілом асоційованих і неасоційованих груп; желатин–ксантан–цукор–трансглютаміназа, що виникає внаслідок взаємодії аміногруп лізину з ацильними донорами поліелектролітного комплексу желатин–ксантан під дією

трансглутамінази, імовірно, за рахунок утворення меншої кількості міжмолекулярних водневих зв'язків, ніж в умовах перебігу процесу за відсутності трансглутамінази; желатин–ксантан–цукор–борошно–трансглутаміназа, що, вірогідно, зумовлює утворення міжмолекулярних водневих зв'язків із білками клейковинного комплексу борошна і підвищення ступеня зв'язаності груп –ОН у системі з борошном.

Список джерел інформації / References

1. Fei Liu, Hamid Majeed, John Antoniou, et al. (2016), “Tailoring physical properties of transglutaminase-modified gelatin films by varying drying temperature”, *Food Hydrocolloids*, Vol. 58, pp. 20-28.
2. Calvarro, J., Perez-Palacios, T., Ruiz, J. (2016), “Modification of gelatin functionality for culinary applications by using transglutaminase”, *International Journal of Gastronomy and Food Science*, Vol. 5-6, pp. 27-32.
3. “Effect of Transglutaminase on the Functional Properties of Gelatin Obtained from Chrome-tanned Pigskin”, available at: <https://www.researchgate.net/publication/287738843>
4. Структурутворення у розчинах желатину під дією ферменту трансглутамінази / Л. В. Капрельянц, Т. В. Шпирко, А. А. Зинов'єв, О. В. Шалигін // Харчова наука і технологія. – 2010. – № 4. – С. 29–31.
Kareliants, L., Shpyrko, T., Zynoviev, A., Shalyhin, O. (2010), “Structure formation in gelatin solutions under the action of the enzyme transglutaminase” [“Strukturoutvorennya u rozchynakh zhelatynu pid diieiu fermentu transhlutaminazy”], *Food science and technology*, No. 4, pp. 29-30.
5. Тарасевич Б. Н. ИК-спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы / Б. Н. Тарасевич. – М. : Изд-во МГУ, 2012. – 55 с.
Tarasevych, B. (2012), “IR spectra of the main classes of organic compounds. Reference materials” [“IK-spektryi osnovnyih klassov organicheskikh soedineniy”], Moscow, 55 p.
6. Ахмедов О. Р. Биологически активные соединения на основе модифицированной ксантановой камеди / О. Р. Ахмедов, Х. А. Сохибназарова, Ш. А. Шомуратов // Химия растительного сырья. – 2017. – № 3. – С. 227–231.
Akhmedov, O., Sokhybnazarova, Kh., Shomuratov, Sh. (2017), “Biologically active compounds based on modified xanthan gum” [“Biologicheskii aktivnyie soedineniya na osnove modifitsirovannoy ksantanovoy kamedii”], *Chemistry of plant raw materials*, No. 3, pp. 227-231.
7. Свойства водных растворов карбоксиметилцеллюлозы с добавками наночастиц и композиционных пленок на их основе / А. М. Бочек, Н. М. Забивалова, В. Е. Юдин и др. // Высокомолекулярные соединения. Серия А. – 2011. – Т. 53, № 12. – С. 2085–2093.
Bochek, A., Zabyvalova, N., Yudyn, V., et al. (2011), “Properties of aqueous solutions of carboxymethyl cellulose with additives of nanoparticles and composite films based on them” [“Svoystva vodnyih rastvorov

karboksimetiltellyulozyi s dobavkami nanochastits i kompozitsionnyih plenok na ih osnove”], *High molecular weight compounds*, Issue. 53, No. 12, pp. 2085-2093.

8. Gilani, S.L., Najafpour, G.D., Heydarzaden, H.D., Zare, H. (2011), “Kinetic models for Xanthan gum production using *Xanthomonas campestris* from molasses”, *Chemical industry & Chemical Engineering Quarterly*, Vol. 17(2), pp. 179-187.

9. Гашевская А. С. Определение нейтральных сахаров и глюкуроновой кислоты в составе микробного полисахарида ксантана / А. С. Гашевская // *Advances in current Natural sciences. Chemical science* (02.00.00). – 2017. – № 4. – P. 12–18.

Hashevskaia, A.S. (2017), “Determination of neutral sugars and glucuronic acid in the microbial polysaccharide xanthan” [“Opredelenie neytralnykh saharov i glyukuronovoy kisloty v sostave mikrobnogo polisaharida ksantana”], *Advances in current Natural sciences. Chemical science* (02.00.00), No. 4, pp. 12-18.

10. Murlykina, N.V., Upatova, O., Yancheva, M., et al. (2015), “Application of infrared spectroscopy for quantitative analysis of new food emulsifiers”, *Ukrainian Food Journal*, Vol. 4, Issue 2, pp. 299-310.

11. Ersilia Alexa, Anca Dragomirescu, Georgeta Pop, Crilin Jianu and Dan Drago (2009), “The use of FT-IR spectroscopy in the identification of vegetable oils adulteration”, *Journal of Food Agriculture & Environment*, Vol. 7(2), pp. 20-24.

12. Pertsevov, F., et al. (2012), *The technology of food products on the base of gelatinizers with qualitative modified functional properties*: The monograph, Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Kharkiv, 285 p.

13. Технологія харчових продуктів на основі драглеутворювачів з якісно зміненими функціональними властивостями : монографія / Ф. В. Перцевой, О. Ю. Савгіра, Н. В. Камсуліна та ін.; за ред. Ф. В. Перцевого; Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х. : ХДУХТ, 2012. – 290 с.

Pertsevov, F., Savhira, O., Kamsulina, N., et al. (2012), *Technology of food products on the basis of gelatinizers with qualitatively changed functional properties: monograph* [Технологія харчових продуктів на основі драглеутворювачів з якісно зміненими функціональними властивостями], Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Kharkiv, 290 p.

Перцевой Федір Всеволодович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри технології харчування, Сумський національний аграрний університет. Адреса: вул. Г. Кондратьєва, 160, м. Суми, Україна, 40021. Тел.: 0964053213; e-mail: kaf_th@meta.ua.

ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5148-9008>.

Pertsevov Fedor, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department Nutrition Technology, Sumy National Agrarian University. Address: G. Kondratieva str., 160, Sumy, Ukraine, 40021. Tel.: 0964053213; e-mail: kaf_th@meta.ua.

ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5148-9008>.

Гурський Петро Васильович, канд. техн. наук, доц., кафедра обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка. Адреса: вул. Алчевських, 44, м. Харків, Україна, 61002. Тел.: 096 1385220; e-mail: gurskyi_petro@ukr.net. ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5119-6048>.

Gurskyi Petro, PhD, Associate Professor, Department of Equipment and Engineering of Processing and Food Production, Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture. Address: Alchevskikh str., 44, Kharkiv, Ukraine, 61002. Tel.: 0961385220; e-mail: gurskyi_petro@ukr.net. ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5119-6048>.

Кондрашина Лідія Анатоліївна, асп., кафедра технології харчування, Сумський національний аграрний університет. Адреса: вул. Г. Кондратьєва, 160, м. Суми, Україна, 40021. Тел.: 0662036893; e-mail: lidiya198331@gmail.com. ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5377-8399>.

Kondrashyna Lidia, Postgraduate Student, Department of Nutrition Technology, Sumy National Agrarian University. Address: G. Kondratieva str., 160, Sumy, Ukraine, 40021. Tel.: 0662036893; e-mail: lidiya198331@gmail.com. ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5377-8399>.

Камсуліна Наталія Валеріївна, канд. техн. наук, доц., кафедра технології м'яса, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: 0505249469; e-mail: Kamsulina@gmail.com. ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6714-7785>.

Kamsulina Nataliia, PhD in Tech. Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Meat Technology, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: 333, Klochkivska str., Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: 0505249469; e-mail: Kamsulina@gmail.com. ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6714-7785>.

Мурликіна Наталія Віталіївна, канд. техн. наук, доц., кафедра хімії, мікробіології та гігієни харчування, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: 0982809155; e-mail: natvitmur@gmail.com. ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7917-2993>.

Murlykina Natalia, PhD in Tech. Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Chemistry, Microbiology and Hygiene of Food, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkovska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: 0982809155; e-mail: natvitmur@gmail.com. ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7917-2993>.

Мельник Оксана Юрїївна, канд. техн. наук, доц., кафедра технології харчування, Сумський національний аграрний університет. Адреса: вул. Г. Кондратьєва, 160, м. Суми, Україна, 40021. Тел.: 0964328072; e-mail: oxana7@i.ua.

ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9201-7955>.

Melnyk Oksana, PhD, Associate Professor, Department of Nutrition Technology, Sumy National Agrarian University. Address: G. Kondratieva str., 160, Sumy, Ukraine, 40021. Tel.: 096 4328072; e-mail: oxana7@i.ua.

ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9201-7955>.

Омельченко Світлана Борисівна, канд. техн. наук, доц., кафедра технології харчування, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Ключківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: 0662184230; e-mail: omelchenko.s.b@gmail.com.

ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3635-6626>.

Omelchenko Svetlana, PhD, Associate Professor, Department of Nutrition Technology, Kharkiv State University of Food and Trade. Address: Klochkivska, str. 333, Kharkiv, Ukraine, 61145. Tel.: 0662184230; e-mail: omelchenko.s.b@gmail.com.

ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3635-6626>.

DOI: 10.5281/zenodo.4386814

УДК 641.85:664.38:664.33

ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОДЕЛЬНИХ РОЗЧИНІВ ТА ГЕЛІВ ЖЕЛАТИНУ

М.Ф. Перцевой, М.М. Самілик, Т.І. Маренкова, Д.О. Бідюк

Подано інформацію щодо перспектив використання желатину у складі структурованої харчової продукції, узагальнено характеристику властивостей желатину та процесу його geleутворення, наведено результати порівняльного дослідження функціонально-технологічних властивостей модельних розчинів і гелів желатину ТМ «Gelita» та полісахаридів, методом диференціально-сканувальної калориметрії визначено стан вологи в модельних гелях желатину, його молекулярно-масовий поділ.

© Перцевой М.Ф., Самілик М.М., Маренкова Т.І., Бідюк Д.О., 2020