

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛІВОК НА ОСНОВІ УРОНАТНИХ ПОЛІСАХАРИДІВ МЕТОДОМ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОЇ СКАНУЮЧОЇ КАЛОРИМЕТРІЇ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ УРОНАТНЫХ ПОЛИСАХАРИДОВ МЕТОДОМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ КАЛОРИМЕТРИИ

RESEARCH OF ENVELOPES BASED ON URONATE POLYSACCHARIDES BY THE METHOD OF DIFFERENTIAL SCANNING CALORIMETRY

Н.В. Кондратюк, кандидат технічних наук, доцент, kondratjukn3105@gmail.com

Кафедра харчових технологій
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
просп. Гагаріна, 72, м. Дніпро, Україна, 49000

С.П. Пивоваров, доктор технічних наук, професор, psub@ukr.net

Кафедра технології харчування
Харківський державний університет харчування та торгівлі
вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051

Т.М. Степанова, кандидат технічних наук, доцент, stepan01@i.ua

Кафедра технології харчування
Сумський національний аграрний університет
вул. Г. Кондратьєва, 160, м. Суми, Україна, 40021

Контактний тел: 0997113679

Анотація. У даній статті розглядається питання вивчення властивостей плівок на основі уронатних полісахаридів (альгінату натрію та пектину низькоетерифікованого амідованого), створених за принципом іотропного гелеутворення за участю іонів кальцію. Мета дослідження – встановити закономірності формування плівок на основі композиції уронатних полісахаридів, визначити їх властивості при нагріванні та умови деструкції або згоряння. Стаття присвячена комплексному вивченню структур та властивостей плівок харчових, створених за принципом зшивання макромолекул уронатних полісахаридів іонами кальцію. Методом диференційної скануючої калориметрії у динамічному режимі було здійснено контроль теплофізичних властивостей плівок у діапазоні температур 20...500°C. Встановлено температури фазових переходів та температури втрати зовнішньої та внутрішньозв'язаної вологи, нагрівання, за яких плівки залишаються стійкими. Так, втрата маси зразків була відмічена у наступних діапазонах температур: 52...100°C та 40...100°C; максимальна втрата вологи припадає на 83 і 85°C для зразків 1 та 2 відповідно. Максимальні втрати зовнішньої вологи становили 6 % та 9 %; внутрішньозв'язаної вологи – 28,5 та 29 % відповідно. Повний розпад полімерів настає після 300 та 310°C відповідно.

Ключові слова: харчові плівки, уронатні полісахариди, іотропне гелеутворення, диференціальна скануюча калориметрія.

Аннотация. В данной статье рассматривается вопрос изучения свойств пленок на основе уронатных полисахаридов (альгината натрия и пектина низкоэтерифицированного амидированного), созданных по принципу иотропного гелеобразования при участии ионов кальция. Цель исследования – установить закономерности формирования пленок на основе композиции уронатных полисахаридов, определить их свойства при нагревании и условия деструкции или сгорания. Статья посвящена комплексному изучению структур и свойств пищевых пленок, созданных по принципу сшивания макромолекул уронатных полисахаридов ионами кальция. Методом дифференциальной сканирующей калориметрии в динамическом режиме был осуществлен контроль теплофизических свойств пленок в диапазоне температур 20...500°C. Установлено температуры фазовых переходов и температуры потери внешней и внутреннесвязанной влаги, нагрева, при которых пленки остаются устойчивыми. Так, потеря массы образцов была отмечена в следующих диапазонах температур: 52...100°C и 40...100°C; максимальная потеря влаги приходится на 83 и 85°C для образцов 1 и 2 соответственно. Максимальные потери внешней влаги составляли 6% и 9%; внутреннесвязанной влаги – 28,5 и 29% соответственно. Полный распад полимеров наступает после 300 и 310°C соответственно.

Ключевые слова: пищевые пленки, уронатные полисахариды, иотропное гелеобразование, дифференциальная сканирующая калориметрия.

Abstract. In this article discussed the study of the envelopes composition based on uronate polysaccharides such as sodium alginate and pectin of low-esterified amidated which created on the principle of ionotropic gelation with the participation of calcium ions. The aim of the research is to establish the regularities of the envelopes formation on the

basis of the uronate polysaccharides composition and determine their properties upon heating, and the conditions for destruction or combustion.

The article is devoted to the complex study of the structures and properties of food envelopes which are created by the principle of macromolecules cross-linking of uronate polysaccharides by calcium ions.

Control of thermophysical properties in the temperature range 20...500°C implemented by the method of differential scanning calorimetry in dynamic mode.

The temperatures of phase transitions and temperatures of loss the external and internal bound moisture, temperature of heating were established. In these conditions the food envelopes were stable.

Loss of sample mass noted in the following temperature ranges: 52...100°C and 40...100°C; the maximum loss of moisture is due to 83 and 85°C for samples 1 and 2, respectively.

Maximum losses of external moisture were 6% and 9%; internal bound moisture were 28,5 and 29%, respectively.

The complete decomposition of polymers occurs after 300 and 310°C, respectively.

Key words: food envelopes, uronate polysaccharides, ionotropic gelation, differential scanning calorimetry

Вступ. Основою сучасного вивчення гелевих систем дедалі частіше стають композити на основі альгінату натрію та пектину. Вчені різних країн світу вбачають стратегію їх використання у якості лікувальних ранозагоювальних матеріалів разом із включеними у матрицю полісахаридного гелю антисептичних речовин (цинку та поліглицерину) [1], антиоксиданту (аскорбінової кислоти) [2] тощо.

Гелі на основі альгінату натрію та пектину низкоетерифікованого (у тому числі й амідованого) володіють низкою цінних у технологічному плані властивостей, у зв'язку з чим і користуються значним попитом у різних галузях харчової промисловості у якості стабілізаторів, загущувачів. Реологічні моделі таких систем вивчали у наукових школах Норвегії та Польщі [3, 4].

Літературний огляд. В основу концепції гелів харчових плівкоутворюючих на основі уронатних полісахаридів покладено розуміння того, що гелі є дисперсними системами з рідким дисперсійним середовищем, в яких частинки дисперсної фази (гелеутворювачі) формують просторову структурну сітку. Гелі здатні зберігати форму, однак при цьому вони проявляють пружно-еластичні та пластичні властивості.

Системи, що розглядаються, є найбільш виправданими у технологічному плані, оскільки дані полісахариди мають високу реакційну здатність до формування просторових структур за рахунок реалізації принципу іонотропного гелеутворення.

Проаналізувавши хімічний склад даних полісахаридів було зроблено висновок про їх належність до одного класу – поліуроніди. Завдяки однакової природі походження, отримані харчові композиції являють собою полімерні гелі, що набухають у розчиннику (воді) за стандартних умов. Ланцюги при цьому зшиваються міжланцюговими ковалентними зв'язками в єдину просторову сітку, утримуючи при цьому багатократну кількість вологи.

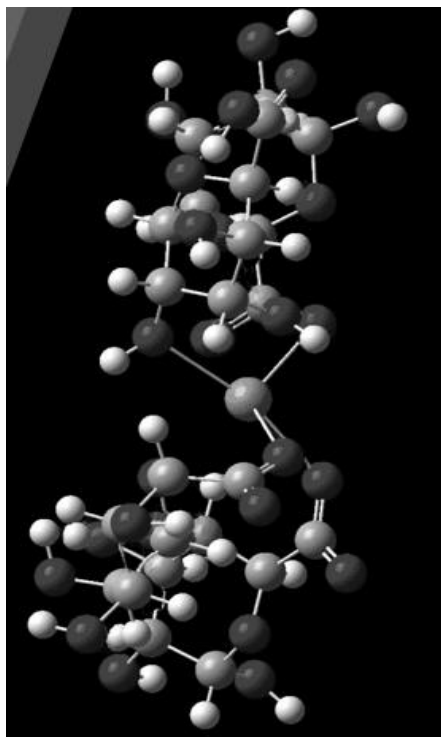


Рис. 1. Квантово-хімічна модель комплексу з димерів гулуранату (2Gul) та галактуранату (2Gal), зшитих іоном кальцію (Ca^{2+})

Достатньо детально нами було вивчено механізм іонотропного гелеутворення у системі альгінату натрію [5] та пектину низкоетерифікованого амідованого з кальцієм [6]. У випадку альгінату натрію зв'язування відбувається між чотирма карбоксильними групами переважно гулуранатних блоків. Натомість у структурі пектину низкоетерифікованого утворення хелатного комплексу з Кальцієм відбуваються між чотирма залишками галактураної кислоти, що містить депротоновані карбоксильні групи.

Вищенаведена інформація стала відправною точкою для ідеї створення «cross-сополімерів» нерегулярної структури за рахунок ідентичності хімічної будови означених полісахаридів. Завдяки своїй високій реакційній здатності до створення просторових сіток гелю, роль «cross-агентів» відведена іонам кальцію.

Механізм утворення «cross-сополімерів» являє собою взаємодію з іоном металу двох лінійних ланцюгів: пектину низкоетерифікованого та альгінату натрію з підвищеним вмістом G-блоків (рис. 1). Таким чином, вивчення процесу «Cross-сополімерізації» у системі «альгінат-пектин» при реалізації механізму іонотропного гелеутворення є одним з новітніх підходів у галузі харчового інжинірингу у питаннях створення технології біополімерних харчових покриттів (плівок, упаковок, посуду тощо), що розкладається за умов підвищення рН до рівня 8,0 і, у разі потрапляння до організму людини або теплокровних тварин, слугує гарним субстратом для мікроорганізмів кишечника.

При цьому можливими є фазові переходи. Як правило, вони викликані посиленням притягування між ланками сітки, що може призвести до витіснення води з гелю у зовнішній розчин. Різка притягування ланцюгів, тобто різке зменшення об'єму гелю при незначних змінах зовнішніх умов називається колапсом. Саме тому гідрогелі на основі композиції уронатів мають назву «smart or intelligent materials», тобто матеріали, здатні миттєво реагувати на незначні зміни

зовнішнього середовища за задалегідь запрограмованим планом.

На сьогодні досить активно ведуться роботи по вивченню конформаційних переходів [6], фазових перетворень [7] та технологічних властивостей [8] у гелях харчових на основі уронових полісахаридів (альгінату натрію та пектину низькоетерифікованого амідованого). Дані структури, що є результатом процесу іонотропного гелеутворення, можна оцінювати, як перспективний матеріал для отримання плівок харчових, функціонуючих у діапазоні рН від 1 до 7,5, за якого забезпечується оптимальна міцність, еластичність та формостійкість означених структур.

Саме тому, пошук та оптимізація нових підходів до створення сумісних композицій на основі уронових полісахаридів, які являють собою гелі харчові плівкоутворюючі із заданим хімічним та фізичним складом, що визначають морфологічні, структурні, текстурні та фізіологічні особливості харчових покриттів, теплофізичні властивості яких описуються у даній статті.

Одним з ефективних методів вивчення термічних властивостей плівок, утворених з гелів харчових, основою яких стали композиції уронових полісахаридів став метод диференційної скануючої калориметрії (ДСК), який полягає у визначенні за допомогою калориметра основних теплофізичних характеристик досліджуваних об'єктів.

Метою даної роботи стало дослідження вмісту зовнішньої та внутрішньозв'язаної вологи у складі плівок харчових, утворених на основі композицій уронових полісахаридів, зшитих іонами кальцію, та визначення діапазону температур, за якого об'єкти дослідження є стійкими до термічних процесів.

Матеріали і методи досліджень. В основу роботи покладені результати синхронного термічного аналізу плівок харчових, виготовлених на основі композицій уронатних полісахаридів загальною масовою концентрацією 2 і 3%. Співвідношення альгінату натрію з пектином низькоетерифікованим амідованим становили у обох зразках як 1:1.

Для виготовлення гелів харчових плівкоутворюючих було використано альгінат натрію з підвищеним вмістом гулуронатних залишків (до 70%) та пектин низькоетерифікований амідований (ступінь етерифікації та амідування становить до 30% та до 25% відповідно). Для виготовлення плівок було використано розчин кальцію хлориду зневодненого масовою концентрацією солі 0,5%. Час структурування модельних гелів становив 4 год. Час утворення плівок становив 48 діб. Процеси геле- та плівкоутворення протікали за стандартних умов без обмеження доступу повітря.

Ефективним методом для визначення та контролю теплофізичних властивостей плівок став метод диференційної скануючої калориметрії (ДСК) у динамічному режимі. Термограми ДСК були отримані у діапазоні температур 25...250°C при постійній швидкості нагріву 5 °C/хв на калориметрі Derivatograph Q1500-D. Наважку масою 50 мг було поміщено у керамічний тигель. Точність визначення температури становила $\pm 1^\circ\text{C}$, теплового ефекту – $\pm 3\%$.

Відповідно до принципу ДСК було передбачено автоматичну електричну компенсацію при зміні теплової енергії у зразках, внаслідок чого температура підтримувалась за допомогою регулятора на одному і тому ж рівні при фазових перетвореннях системи. Візуалізацію процесу було відтворено у програмі MS Excel. Екзо- та ендотермічні піки ресструвалися в одиницях енергії. З кривих можна визначити рівень втрати маси зразків під час нагріву. Площа піка характеризувала теплоту реакції. Досліджувані зразки знаходились в ізотермічних умовах відносно до інертного матеріалу. При цьому кількість теплоти, необхідна для підтримки ізотермічних умов, фіксувалась як функція часу.

В основу розробки технології було покладено хімічну активність іонів кальцію, яка виникає у момент його потрапляння до високомолекулярного розчину суміші полісахаридів уронатної природи [6].

Результати та їх обговорення. На сьогодні існує досить мало інформації про умови утворення означених гелеподібних систем і особливо їх фазових перетворень з гідрогелю у ксерогель. Особливо бракує інформації у напрямку прикладного аспекту таких систем у харчовому інжинірингу. Тому вивчення теоретичних аспектів даних взаємодій дозволить розробити нові технології та впровадити їх у виробництво харчових продуктів і кулінарних напівфабрикатів.

Плівки мають цільові функціональні характеристики, включаючи збільшення термінів зберігання готових виробів зі збереженням високих органолептичних показників. Для вивчення властивостей плівок під час нагрівання важливим є тип модифікації полісахаридів та їх загальний вміст.

Так, були створені системи «NEA rectin:NaAlg:Ca²⁺» загальним вмістом сухих речовин 2,5 та 3,5% при співвідношенні вхідних речовин 1:1:0,5 (зразок 1) та 1,5:1,5:0,5 (зразок 2) відповідно.

Досліджувані зразки відрізнялись текстурою. Плівки зразка 1 були більш прозорі та еластичні, менш міцні.

Необхідно відмітити, що у всіх досліджуваних зразках спостерігається ендотермічний пік плавлення, що свідчить про наявність фазового переходу. Температура, за якої досліджувані об'єкти починали втрачати масу, знаходилася у діапазоні 52...100°C та 40...100°C для зразків 1 та 2 відповідно. За період перебування зразків у вказаному діапазоні температур, вдалося визначити втрату зовнішньозв'язаної вологи. Так, для зразка 1 вона становила 6%, для зразка 2 – 9% від загальної маси наважки. Такі дані свідчать, що системи, які містять більшу кількість полімерних волокон полісахаридів, утримують більшу кількість зовнішньої вологи. Таким чином, можна спрогнозувати, що кількість внутрішньозв'язаної вологи також буде різною.

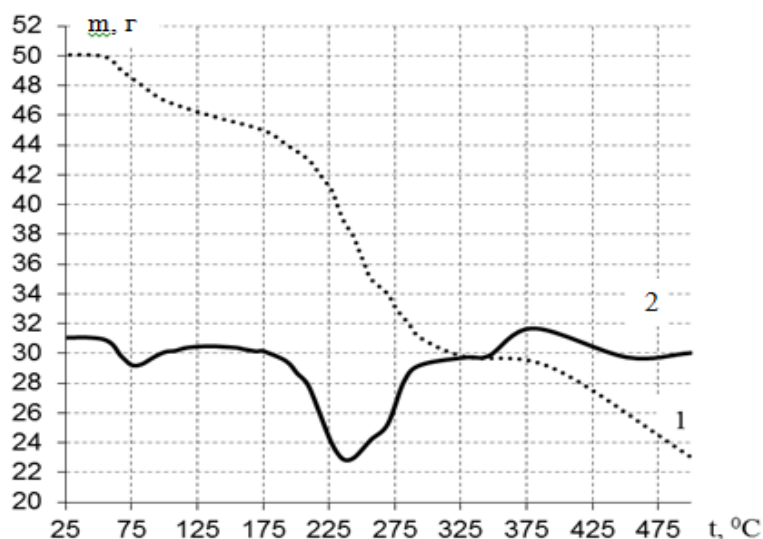


Рис. 2. Термограма ДСК для тонких плівок на основі системи «NEA pectin:NaAlg:Ca²⁺» при співвідношенні вхідних речовин 1:1:0,5 (1 – температура (T, °C); 2 – ДТГ)

Кінцева температура масопереносу зовнішньозв'язаної вологи становила для зразка 1 – 134°C, а для зразка 2 – 145°C. Враховуючи показник кількості втраченої зовнішньозв'язаної вологи і розрахунки різниці при цьому температур, (Δt_{11} для першого зразка дорівнює 82°C, а для другого зразка Δt_{12} дорівнює 105°C), можна зробити висновок, що волога у зразках втрачається не з однаковою швидкістю, проте при однаковій температурі, оскільки максимум втрати припадає на 83 і 85°C відповідно.

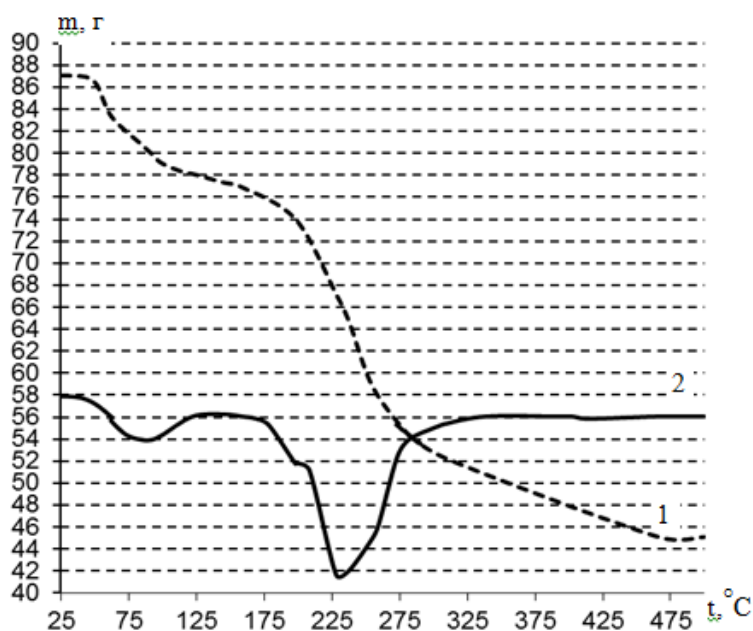


Рис. 3. Термограма ДСК для тонких плівок на основі системи «NEA pectin:NaAlg : Ca²⁺» при співвідношенні вхідних речовин 1,5:1,5:0,5 (1 – температура (T, °C); 2 – ДТГ)

Наступним етапом опису дериватогам стало вивчення поведінки зразків плівок за більш високого нагріву та дослідження процесу втрати внутрішньозв'язаної вологи.

Початкова температура другого етапу масопереносу вологи знаходилася у діапазоні 175...293°C та 159...308°C для зразків 1 та 2 відповідно. Під час нагрівання зразків у вказаному діапазоні температур, втрата внутрішньозв'язаної вологи для зразка 1 становила 28,5 %, для зразка 2 – 29 % від маси, яку мали наважки наприкінці першого етапу термогравіметрії. Отримані дані дозволяють зробити висновок про те, що полімерні структури полісахаридів, утримують однакову кількість внутрішньозв'язаної вологи.

Різниця температур на другому етапі сканування для першого і другого зразків свідчить про активнішу втрату вологи у зразках з меншою концентрацією полісахаридів, оскільки точок утримання вологи у даних системах менше. При цьому максимум втрати вологи припадає на 238 і 244°C відповідно.

Загальна втрата вологи для об'єктів дослідження складала: для зразка 1 – 34,5 % та для зразка 2 – 38 %. З цього виходить, що динаміка втрати маси зразків за температур значно вищих, аніж температури розриву міжмолекулярних зв'язків з водою у полімерній матриці плівок, свідчить про деструкцію полімерів. А саме, після видалення вологи починається руйнація зв'язків, що утримують групи $-CH_3$ та $-NH_2$ у складі пектину. З рисунків видно, що після 300 та 310°C маса зразків залишається незмінною, що свідчить про повний розклад полімерів.

Висновки. На підставі вищенаведених результатів дослідження зразків, отриманих шляхом іонотропного гелеутворення за участі високогулуронатного альгінату натрію та низькоетерифікованого амідованого пектину, стало відомо, що дані системи у присутності багатократної кількості води являють собою гідрогелі, полісахаридні волокна яких зшиті іонами кальцію. За стандартних, але асептичних умов, без обмеження доступу повітря, через 24 години гідрогелі перетворюються на ксерогелі (плівки), які вважаються досить перспективними у напрямку створення пакувальних матеріалів та оболонки для харчових продуктів.

За результатами квантово-хімічного дослідження було складено стратегію використання в якості полімерної оболонки макромолекул пектину та альгінату, оскільки отримані моделі визначаються низкою унікальних властивостей: поліфункціональністю, нетоксичністю, водорозчинністю та власною фізіологічною активністю, що являється передумовами для створення матеріалів поліфункціонального призначення у багатьох галузях промисловості.

Перспективність практичного використання композицій на основі високогулуронатного альгінату натрію та низькоетерифікованого амідованого пектину у якості матеріалів для створення гелів харчових плівкоутворюючих визначається достатніми ресурсами пектин- та альгінатвмісних матеріалів, до яких належать уся рослинна сировина та бурі морські водорості.

Перевагою синтезованих композитів на основі уронових полісахаридів, зшитих іонами кальцію, є синергізм властивостей кожної вуглеводної складової полімерної матриці з одного боку, і високі технологічні характеристики, з іншого, до якого належать: висока міцність, достатня еластичність, прозорість, нейтральність за смаком і запахом, швидкість переходу зі стану в'язкотекучого розчину у пружно-пластичне тіло з подальшим зміцненням.

Для створення модельних систем дослідним шляхом визначені співвідношення складових «NEA restin:NaAlg:Ca²⁺» для отримання зразків із загальним вмістом сухих речовин 2,5 та 3,5% при співвідношенні вхідних речовин 1:1:0,5 (зразок 1) та 1,5:1,5:0,5 (зразок 2) відповідно.

За результатами аналізу термограм стало відомо, що у обох досліджуваних зразках спостерігається ендотермічний пік плавлення, що свідчить про наявність фазового переходу. Втрата маси зразків була відмічена у наступних діапазонах температур: 52...100°C та 40...100°C; максимальна втрата вологи припадає на 83 і 85°C для зразків 1 та 2 відповідно. Максимальні втрати зовнішньої вологи від загальної маси наважки для зразків 1 та 2 становлять 6 % та 9 % відповідно; внутрішньозв'язаної вологи - 28,5 та 29 % відповідно. Отримані результати свідчать, що системи, які містять більшу кількість полімерних волокон полісахаридів, утримують більшу кількість зовнішньої вологи, а внутрішньозв'язаної вологи у досліджуваних зразках міститься однакова кількість. Таким чином, можна зробити висновок, про утворення «cross-сополімерів» альгінат-пектинового складу, зшитих іонами кальцію за умов збільшеної кількості полімерних ланцюгів у одиниці об'єму не свідчить про збільшення кількості гідрофільних груп. Навпаки, при цьому реалізується ефект «стягування» ланцюгів і зменшення міжмолекулярної відстані між ними унеможливує включення молекул води у матрицю полімерного гелю.

При цьому, виникнення полісахаридних угруповань і «стягнутих» полімерних волокон, враховуючи сталість об'єму, дозволяє вільним молекулам води, які не змогли потрапити у матрицю полімерного гелю, реалізувати свій хімічний потенціал утворення міжмолекулярних зв'язків у зовнішніх шарах сітки гелю і провзаємодіяти з молекулами полісахаридів у гідрофільних центрах зв'язування, що виходять назовні.

Цим пояснюється однакова кількість внутрішньозв'язаної вологи та розбіжність у значеннях зовнішньозв'язаної вологи у досліджуваних зразках.

Важливим у дослідженні став той факт, що різниця температур на другому етапі сканування для першого зразка (Δt_{21}) дорівнювала 118°C, а для другого зразка (Δt_{22}) – 149°C. Враховуючи вищеописаний принцип накопичення та утримання вологи у плівках, можна свідчити про активнішу втрату вологи у зразках з меншою концентрацією полісахаридів. Це пов'язано з меншою кількістю точок утримання вологи у даних системах. За рахунок більш тісного розташування полімерних ланцюгів у зразку з більшою концентрацією сухих речовин виникає ефект «блокування» виходу молекул води з полісахаридної матриці, тому час втрати вологи – довший. При цьому максимум втрати вологи припадає на 238 і 244°C відповідно для зразків 1 та 2.

Загальна втрата вологи для об'єктів дослідження складала: для зразка 1 – 34,5 % та для зразка 2 – 38%. З цього виходить, що динаміка втрати маси зразків за температур значно вищих, аніж температури розриву міжмолекулярних зв'язків з водою у полімерній матриці плівок, свідчить про деструкцію полімерів. А саме, після видалення вологи починається руйнація зв'язків, що утримують групи $-CH_3$ та $-NH_2$ у складі пектину. Повний розклад полімерів настає після 300 та 310°C відповідно.

Список літератури

1. Design of pectin-sodium alginate based films for potential healthcare application: Study of chemico-physical interactions between the components of films and assessment of their antimicrobial activity / Nešić A. et. al. // Carbohydrate Polymers. 2017. V.157. PP.981-990. DOI:10.1016/j.carbpol.2016.10.054
2. Structure characterization by means of rheological and NMR experiments as a first necessary approach to study the L-(+)-ascorbic acid diffusion from pectin and pectin/alginate films to agar hydrogels that mimic food materials / De'Nobili M. et. al. // Journal of Food Engineering. 2015. V.165. PP.82-92. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2015.05.014
3. Calcium binding and calcium-induced gelation of normal low-methoxyl pectin modified by low molecular-weight polyuronate fraction / Nakauma M. et. al. // Food Hydrocolloids. 2017. V. 69. PP. 318-328. DOI:10.1016/j.foodhyd.2016.12.035
4. Galus S., Lenart A. Development and characterization of composite edible films based on sodium alginate and pectin // Journal of Food Engineering. 2013. V.115(4). PP. 459-465. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2012.03.006
5. Okovytyy S. I., Pivovarov P. P., Pivovarov E. P., Kondratjuk N. V., Kalashnikova K. I. A DFT Study of the Complexation of Alginic Acid with Ca^{2+} Ions // 10th Southern School on Computational Chemistry and Material Science: materials, Jackson, 28-29 July 2010 / Jackson State University. Jackson, 2010. P. 54.
6. Кондратюк Н. В., Оковитий С. І., Пивоваров Є. П. Дослідження харчових систем на основі пектину. Квантово-хімічне моделювання димерів галактуронової кислоти // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ". Сер.: Нові рішення в сучасних технологіях: зб. наук. пр. Харків, 2017. Вип.7(1229). С.194-199. DOI: 10.20998/2413-4295.2017.07.27
7. Кондратюк Н. В., Пивоваров Є. П. Харчові уронатні гідрогелі як основа стратегії здорового харчування у закладах ресторанного господарства // Актуальні проблеми розвитку ресторанного, готельного та туристичного бізнесу в умовах світової інтеграції: дослідження та перспективи: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., Харків, 21 вер. 2017 р. / Харк. держ. універ. харчув. та торг. Харків, 2017. С. 88.
8. Кондратюк Н. В., Пивоваров Є. П., Степанова Т. М. Науково-практичні аспекти виробництва харчових наноплівочок на основі композицій уронатних полісахаридів // Харчові технології, хлібопродукти та комбікорми: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., Одеса, 25-30 вер. 2017 р. / Одес. нац. акад. харч. технологій. Одеса, 2017. С. 87.

References:

1. Nešić A., Onjia A., Dimitrijevic S., Errico M.-E., et al. Design of pectin-sodium alginate based films for potential healthcare application: Study of chemico-physical interactions between the components of films and assessment of their antimicrobial activity. Carbohydrate Polymers. 2017; 157: 981-990. DOI:10.1016/j.carbpol.2016.10.054
2. De'Nobili M. D., Rojas A. M., Abrami M., et al. Structure characterization by means of rheological and NMR experiments as a first necessary approach to study the L-(+)-ascorbic acid diffusion from pectin and pectin/alginate films to agar hydrogels that mimic food materials. Journal of Food Engineering. 2015; 165: 82-92. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2015.05.014
3. Nakauma M., Funami T., Fang Y., Nishinari K. Calcium binding and calcium-induced gelation of normal low-methoxyl pectin modified by low molecular-weight polyuronate fraction. Food Hydrocolloids. 2017; 69: 318-328. DOI:10.1016/j.foodhyd.2016.12.035
4. Galus S., Lenart A. Development and characterization of composite edible films based on sodium alginate and pectin. Journal of Food Engineering. 2013; 115(4): 459-465. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2012.03.006
5. Okovytyy S. I., Pivovarov P. P., Pivovarov E. P., Kondratjuk N.V., Kalashnikova K. I. A DFT Study of the Complexation of Alginic Acid with Ca^{2+} Ions. 10th Southern School on Material Science and Computational Chemistry/ 2010; 54.
6. Kondratjuk N.V., et al. Doslidzhennya kharchovykh system na osnovi pektynu. Kvantovo-khimichne modelyuvannya dimeriv halakturonovoyi kysloty. Visnyk NTU «KhPI». 2017; 7(1229): 194-199. DOI: 10.20998/2413-4295.2017.07.27
7. Kondratjuk N.V., Pivovarov E. P. Kharchovi uronatni hidroheli, yak osnova stratehiyi zdorovoho kharchuvannya u zakladakh restorannoho hospodarstva. Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiya "Aktual'ni problemy rozvytku restorannoho, hotel'noho ta turystychnoho biznesu v umovakh svitovoyi intehratsiyi: dosyahnennya ta perspektyvy". 2017; 88.
8. Kondratjuk N.V., Pivovarov E. P., Stepanova T.M. Naukovo-praktychni aspekty vyrobnytstva kharchovykh nanoplivok na osnovi kompozytsiy uronatnykh polisakharydiv. Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiya «Tekhnolohiyi kharchovykh produktiv i kombikormiv». 2017; 87.