

МЕХАНИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ И АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЕ СВОЙСТВО КОМПОЗИЦИОННЫХ БИОПЛЕНОК

И.Б. Исмоилов¹, Г. В. Серпионов², А.С. Насриддинов¹, З.К. Мухидинов³

(¹ТТУ имени академика М.С. Осими, город Душанбе, Республика Таджикистан)

(²Объединенный институт ядерных исследований, город Дубна, Россия)

(³Институт химии имени В.И. Никитина НАНТ, город Душанбе, Республика Таджикистан)

Аннотация: Показано, что добавление экстракта кожуры граната в состав композитных биопленок - зеин/глюкоманнан (З/ГМ) усиливает антибактериальное свойство биопленки за счет активных компонентов – полифенольные соединения (ПФС). Хотя добавление ПФС несколько уменьшает прочность биопленок, но значительно увеличивает относительное удлинение при разрыве композитных биопленок, примерно до 280%.

Ключевые слова: глюкоманнан, зеин, композитная биопленка, полифенолы, антибактериальная активность.

Для хранения пищевых продуктов используются пластиковые материалы в контролируемой атмосфере. Известно негативное воздействие экологического характера упаковочных полимерных материалов при хранении пищевых продуктов. Например, когда фрукты и овощи хранятся в упаковке для хранения в контролируемой атмосфере, в процессе метаболизма фруктов и овощей выделяются гормоны старения, такие как этилен, который накапливается в упаковке и ускоряет созревание и гниение фруктов и овощей. Кроме этого, при производстве полимерных упаковочных материалов используются химическое соединение и консерванты для улучшения функциональных свойств этих материалов, которые могут взаимодействовать с пищевыми компонентами при транспортировке и хранении и влиять на качество пищевых продуктов. Однако согласно требованиям пищевой безопасности упаковка должна обеспечивать хранение пищевых продуктов без потери качества, вызванной из-за высыхания, деформации или нарушения сенсорных ощущений продукта.

Таким образом, пленки, используемые в настоящее время для упаковки пищевых продуктов, не соответствуют современным требованиям и не подлежат вторичной переработке. Более того, сегодня угроза и загрязнение планеты пластиковыми отходами становится одной из глобальных проблем человечества [1,2].

Альтернативой существующим упаковкам являются биоразлагаемые полимерные покрытия с натуральными основами из липидов (жиров), полисахаридов или белков [3]. Поэтому возникает необходимость в разработке композиционных материалов на основе возобновляемых природных источников с целью их использования для хранения и транспортировки пищевых продуктов, особенно фруктов и овощей в условиях жаркого климата в нашем регионе.

Нами разработаны новые биоразлагаемые биополимерные биокompозиты на основе полисахарида – глюкоманнана и белка - зеина [4,5]. Результаты исследования показывают, что благодаря линейности структуры полисахарида и кластерной структуре зеина происходит взаимодействие между этими биополимерами [4]. Наши предыдущие исследования показали, что биопленки, полученные на основе глюкоманнана из корнеклубней растений *Eremurus Hisaricus*, произрастающего в Таджикистане, обладают умеренной набухаемостью в воде, малой паропроницаемостью [4] и обладают требуемыми механическими свойствами, пригодными для длительной транспортировки и хранения пищевых продуктов [5].

При хранении и транспортировке пищевых продуктов с сохранением их качества большое значение имеют антибактериальные свойства покрытий, которые противодействуют порче пищевых продуктов. Тем самым, разработка новых антибактериальных активных упаковок на основе биополимеров подчёркивает новую тенденцию в пищевой промышленности.

В данной работе антибактериальная активная упаковка на биологической основе изготавливается путем включения ПФС в матрицу полимерной пленки на биологической основе. Добавление антибактериальных веществ может сохранить качество пищевых продуктов, продлить срок их хранения и одновременно препятствовать разрушению биопленки [6].

Для усиления антибактериального свойства ранее разработанных нами композитов в работах [4,5] в структуру матрицы биопленки вводили экстракт, извлеченный из некормовых остатков - кожуры граната, содержащий в основном ПФС, который широко изучается и используется в пищевых, фармацевтических и медицинских целях благодаря их мощной антибактериальной, противогрибковой, вирулицидной и противовирусной активностям [7].

Основная масса экстрагируемых веществ из корок граната водным раствором этилового спирта составила 34.7 %, включая и ПФС. Количество ПФС на пересчете в мг галловой кислоты на грамм сухой массы составило 245.8 мг/г, в том числе флавоноиды и флавонолы (антоцианы) были следующими: 58.1 и 13.0 мг/г.

Как было показано в работе [8], ИК-Фурье спектроскопического исследования показывает, что при введении ПФС в структуру композитов происходят изменения спектральных полос поглощения. ИК-Фурье спектры биопленок З/ГМ с добавлением ПФС из экстракта гранатовых корок приведены на рисунке 1.

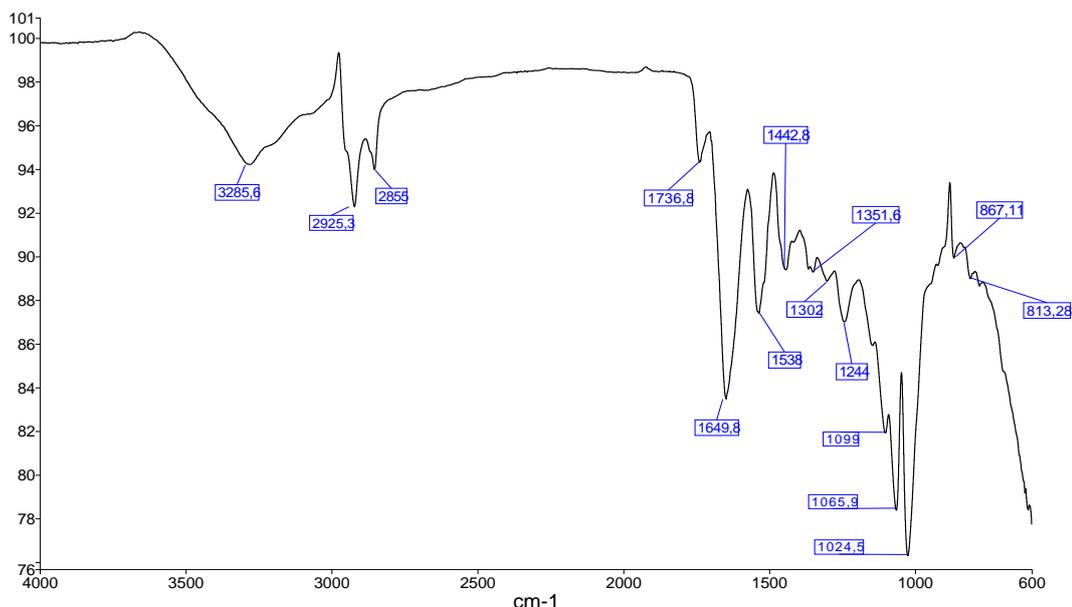


Рис. 1– ИК-Фурье спектры биопленок З/ГМ с добавлением ПФС

Наличие широких полос при 3353 см^{-1} у спектра полисахарида глюкоманнана указывает на валентные колебания О-Н группы сахаров. В спектре биопленок эти полосы сдвигаются в сторону коротковолнового диапазона спектров и наблюдаются при 3285 см^{-1} вследствие образования водородных связей с амидами белка и ОН-группами ПФС. Узкие полосы при 2925 см^{-1} и 2855 см^{-1} , соответственно, относятся к диапазону частот валентных колебаний –СН эфирных групп, которые образуются при добавлении ПФС в состав композита, что влечет за собой возрастание интенсивности указанных полос поглощения в ИК-спектрах, вследствие межмолекулярных взаимодействий ПФС с биополимерами. Эти изменения в ИК спектрах указывают на возникновение водородных связей между полисахаридом и ПФС в композитных пленках.

Результаты исследования показывают, что включение биоактивного соединения - ПФС в состав композитных пленок З/ГМ происходит с образованием новых связей через карбонильные и свободные гидроксильные группы полисахаридов и ПФС.

Механические свойства исследуемых биопленок измеряли при комнатной температуре с использованием испытательной машины Shimadzu AGS-X, оснащенной датчиком нагрузки 50Н. Образцы прямоугольной формы шириной и длиной базы 10 и 35 мм соответственно растягивали с постоянной скоростью 1 мм/мин. Для каждого образца повторяли эксперимент трижды и использовали среднее значение. Толщину образца измеряли с помощью толщиномера Mitutoyo litematic vl-50 (измерительное усилие 0,01 Н).

На рисунке 2 приведены зависимости прочности при разрыве от величины относительного удлинения биопленок 3/ГМ-1.5 – первая кривая и 3/ГМ/ПФС – вторая кривая.

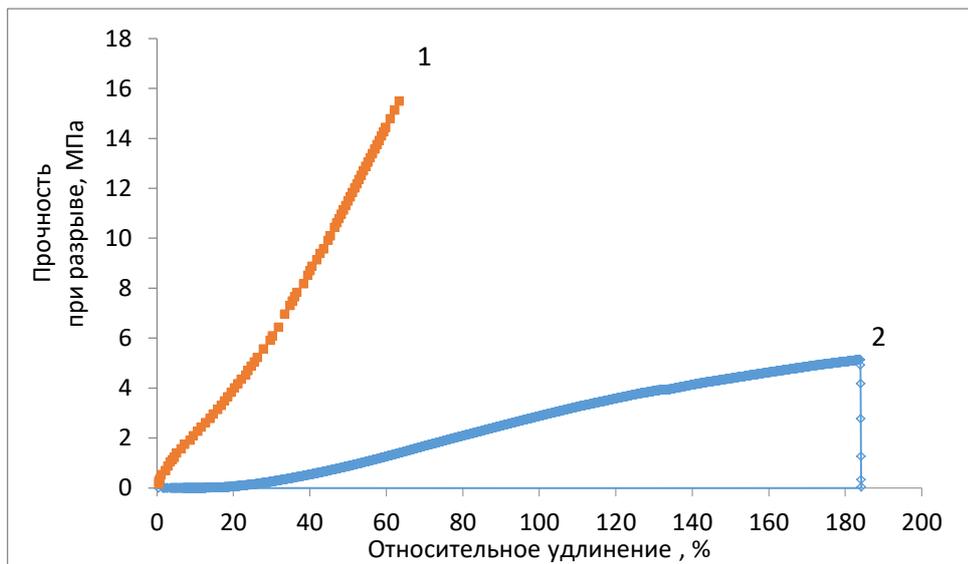


Рис. 2 – Зависимости прочности при разрыве от величины относительного удлинения биопленок 1- 3/ГМ-1.5 и 2- 3/ГМ/ПФС

Было показано, что деформационные кривые биопленок, содержащие состав 3/ГМ=1.5, при растяжении соответствуют слабо упрочняющимся эластичным системам, и им соответствуют низкие значения разрывной прочности и более высокое относительное удлинение [5].

Как видно от кривой деформации (рис. 2., 2 кривая), при введении ПФС в структуры матрицы биопленок значения относительного удлинения для биопленок ещё увеличиваются и значения разрывной прочности ухудшаются. Это может быть связано с образованием межмолекулярных водородных связей и уплотнением сшивки полимерных цепей. Полифенолы могут действовать как сшивающие агенты и формируют трехмерную сетку, которые повышают устойчивость к деформации. Можно утвердить, что после введения ПФС в структуры композитной биопленки, композиты приобретают высокоэластичное состояние.

Таким образом, показано, что добавление биоактивного соединения - ПФС в состав композитных биопленок 3/ГМ усиливает антибактериальное свойство биопленки, кроме того, добавление ПФС значительно увеличило удлинение при разрыве композитных биопленок примерно до 280%. Это позволяет их расширенное применение в качестве активной упаковки в гастрономии для хранения скоропортящихся пищевых продуктов, особенно фруктов, замедляя их порчу и продлевая срок хранения.

Литература:

1. Song, J. Composite films with excellent mechanical, antioxidant and UV-shielding properties prepared from oligomeric proanthocyanidin nanospheres and poly(vinyl alcohol) / J. Song, W. Yang, X. Zhao, S. Chen, G. Qian, G. Jiang, S. Ren, S. Li // Industrial Crops and Products. 2021, - №172, 114054 [CrossRef].

2. Díaz-Montes, E. Polysaccharides: Sources, Characteristics, Properties, and Their Application in Biodegradable Films. Polysaccharides. 2022, -№3, -P. 480–501. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides 3030029>.

3. Fakhoury, F.M. Edible films made from blends of manioc starch and gelatin–Influence of different types of plasticizer and different levels of macromolecules on their properties/ F.M. Fakhoury, S.M. Martelli, L.C. Bertan et al.. - LWT Food Sci. Technol., 2012, №49 (1), pp. 149–154.

4. Исмаилов, И.Б. Формирование биоразлагаемых композитов на основе зеина и глюкоманнана / И.Б. Исмаилов, Т.С. Маликов, А.С. Насриддинов, А.С. Джонмуродов, З.К. Мухидинов // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. 2019. -Т. 62, -№ 3-4. -С. 207-214.

5. Исмаилов, И.Б. Физико-механические свойства биоразлагаемых композитов на основе зеина и глюкоманнана / И.Б. Исмаилов, Х.М. Абдуллаев, А.С. Насриддинов, З.К. Мухидинов // Полимерные материалы и технологии. 2020. -Т. 6. -№1. -С. 25-32. <https://doi.org/10.32864/polymmattech-2020-6-1-25-32>.

6. DE102017202887B4. Coating solution for coating a packaging material to produce a barrier layer, a process for its production and its use. Publication date 2024-05-29.

7. Reynaldo, M.S. Peel Extracts as Antimicrobial and Antioxidant Additives Used in Alfalfa Sprouts / M.S. Reynaldo, R.E. Fernando, F. Nazzaro, F., R., M. Fratianni, A. Pomegranate (*Punica granatum L.*) Thalia // Foods., -2022. -№11(17), 2588. <https://doi.org/10.3390/foods11172588>.

8. Юлдашева, Д.А. Формирование пищевых композиционных материалов на основе зеина и глюкоманнана с полифенольными соединениями граната, Д.А. Юлдашева, И.Б. Исмаилов, Б.С. Ёрова, С.Р. Усманова, З.К. Мухидинов // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. -2024. № 4 (397). -С. 86-90.

РАҒТОРИ МЕХАНИКӢ ВА ХОСИЯТҲОИ ЗИДДИМИКРОБИИ ПАРДАҲОИ КОМПОЗИТӢ ДАР АСОСИ БИОПОЛИМЕРҲО

И.Б. Исмаилов., Г. В. Серпионов., А.С. Насриддинов., З.К. Мухидинов

Аннотатсия: Нишон дода шудааст, ки илова кардани экстракти пӯсти анор ба таркиби биопардаҳои З/ГМ хосиятҳои зиддимикробии биопардаҳо аз ҳисоби чузӯҳои фаъол - пайвастагҳои полифенолӣ (ПП) беҳтар мекунад. Гарчанде, ки илова кардани ПП ҳудуди мустақаммии биопардаҳо каме коҳиш медиҳад, аммо хусусияти дарозшаии онҳо хангоми кашадашавӣ тақрибан ба 280% меафзояд.

Калидвожаҳо: глюкоманнан, зеин, биопардаи композитӣ, полифенолҳо, фаъолияти зиддимикробӣ.

MECHANICAL AND ANTIBACTERIAL BEHAVIOR OF COMPOSITE FILMS BASED ON BIOPOLYMERS

I.B. Ismoilov, G.V. Serpionov, A.S. Nasriddinov, Z.K. Muhidinov

Annotation: It has been shown that adding pomegranate peel extract to the composition of Z/GM composite films enhances the antibacterial properties of the biofilm due to the active components – polyphenolic compounds (PPC). Although adding PPC slightly reduces the strength of the films, it significantly increases the relative elongation at break of the composite films to approximately 280%.

Key words: glucomannan, zein, composite biofilm, polyphenols, antibacterial activity.

Сведения об авторах:

Исмаилов Икромджон Бомуродович - кандидат физико-математических наук, и.о. доцента кафедры физики, Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими, Республика Таджикистан, г. Душанбе, E-mail: ikromjon.bomurodi92@mail.ru.

Серпионов Генрих Владимирович - кандидат биологических наук, научный сотрудник группы новых разработок Лаборатории ядерных реакций Объединенного Института Ядерных Исследований (ОИЯИ), Россия, Московская область, Дубна, E-mail: genrihserpionov@gmail.com.

Насриддинов Абубакр Саидкулович - к.х.н., заведующий кафедрой физики, Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими, г. Душанбе, E-mail: abubakr2583@mail.ru.

Мухидинов Зайниддин Камарович - доктор химических наук, профессор, зав. лабораторией «Химии ВМС» Института химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистана; Республика Таджикистан, г. Душанбе, E-mail: zainy@mail.ru.