

properties of kefir] // Vestnik PNIPU, Himicheskaya tekhnologiya i biotekhnologiya 2019. - №4. - p.5-16 (In Russian)

15. Zajkina M.A. Tekhnologiya jogurta na osnove koz'ego moloka, obogashchennogo smes'yu

poroshkov aronii i boyaryshnika [Yogurt technology based on goat milk, enriched with a mixture of chokeberry and hawthorn powders]. Vestnik VGUIT, 2019. - №4. - pp. 5-16. (In Russian)

УДК 541.64

<https://doi.org/10.48184/2304-568X-2024-1-133-143>

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ЖЕЛАТИНА

¹Н.К. АДЖИЕВА , ¹А.Д. ЕРМАГАМБЕТОВА , ¹С.М. ТАЖИБАЕВА 
¹Б.Б. ТЮСЮПОВА , ²К.Б. МУСАБЕКОВ 

(¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Казахстан, 050040, г. Алматы, пр. аль-Фараби, 71

²Казахстанско-Британский технический университет, Казахстан, 050000, г. Алматы, ул. Толе би, 59)
Электронная почта автора корреспондента : nargiza_21.03@mail.ru*

Получены биоразлагаемые плёнки на основе желатина в присутствии добавок карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), предназначенные для использования в качестве упаковок пищевых продуктов и носителей лекарственных веществ. Методами сканирующей электронной микроскопии и измерения шероховатости пленок установлено, что наибольшую шероховатость имеют пленки, полученные из смеси КМЦ-желатин. Показано, что введение КМЦ в состав пленок желатина приводит к резкому уменьшению прочности и модуля упругости пленок, однако деформация имеет максимальное значение при массовом соотношении КМЦ / желатин, равном 0,7. Это обусловлено образованием биокомпозигов за счет Н-связей и электростатических взаимодействий между функциональными группами белков желатина и макромолекул полисахарида, стабилизированных гидрофобными взаимодействиями между их неполярными участками. Изучены барьерные свойства пленок на основе КМЦ и желатина. Показано, что наибольшую воздухопроницаемость и наименьшую водоупорность имеют пленки на основе КМЦ, что связано с текстурованностью материала пленок. На основе данных ИК-спектроскопии установлено, что наиболее устойчивыми являются пленки, полученные из смеси КМЦ и желатина. Для регулирования деформации пленок использован глицерин.

Ключевые слова: биоразлагаемые пленки, желатин, карбоксиметилцеллюлоза, структурообразование, прочность, шероховатость.

ЖЕЛАТИН НЕГІЗІНДЕ БИОЛОГИЯЛЫҚ ҮДІРЛЕР АЛУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ-МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

¹Н.К. АДЖИЕВА*, ¹А.Д. ЕРМАГАМБЕТОВА, ¹С.М. ТАЖИБАЕВА,
¹Б.Б. ТЮСЮПОВА, ²К.Б. МУСАБЕКОВ

(¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, 050040,
Алматы қ., әл-Фараби даңғылы, 71

²Қазақ-Британ техникалық университеті, Қазақстан, 050000, Алматы қ., Төле би көшесі, 59)
Автор-корреспонденттің электрондық поштасы: nargiza_21.03@mail.ru*

Желатин негізінде натрий карбоксиметилцеллюлозасының (КМЦ) қатысында тағам өнімдерін орауға және дәрілік заттардың тасушысы ретінде қолдануға арналған биологиялық ыдырайтын үлдірлер алынған. Сканерлеуші электрондық микроскопия және беттің кедір-бұдырлығын өлшеу әдістерімен КМЦ-

желатин қоспасынан алынған үлдірлердің ең жоғары кедір-бұдырлыққа иеленетіндігі анықталды. Желатин үлдірлерінің құрамына КМЦ-ны енгізу олардың беріктігі мен серпімділік модулінің күрт төмендеуіне әкелетіні көрсетілген, алайда деформация КМЦ / желатиннің 0,7 массалық қатынасында максималды мәнге иеленетіндігі көрсетілді. Бұл жайт желатин ақуыздары мен полисахарид макромолекулаларының полярлы емес бөліктерінің арасындағы гидрофобты әрекеттесулермен тұрақтандырылған Н-байланыстар түзілуі және электростатикалық әрекеттесулер пайда болуы арқылы композиттердің түзілуімен негізделді. КМЦ және желатин негізінде алынған үлдірлердің ауа мен суға беріктігі зерттелді. КМЦ негізіндегі үлдірлердің ауа өткізгіштігі жоғары, ал суға төзімділігі төмен болуы үлдір материалының текстурасына байланысты түсіндірілді. ИК-спектроскопия мәліметтері негізінде КМЦ-желатин қоспасынан алынған үлдірлер ең тұрақты болып табылды. Үлдірлердің деформациясын реттеу үшін глицерин қолданылды.

Негізгі сөздер: биологиялық ыдырайтын үлдірлер, желатин, карбоксиметилцеллюлоза, құрылымның түзілуі, беріктік, кедір-бұдыр.

PREPARATION AND INVESTIGATION OF THE STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF BIODEGRADABLE GELATIN-BASED FILMS

¹N.K. AJIYEVA*, ¹A.D. YERMAGAMBETOVA, ¹S.M. TAZHIBAYEVA,
¹B.B. TYUSSYUPOVA, ²K.B. MUSABEKOV

(¹Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, 050040, Almaty, al-Farabi Avenue, 71

²Kazakh-British Technical University, Kazakhstan, 050000, Almaty, Tole bi st., 59)

Corresponding author e-mail: nargiza_21.03@mail.ru

Biodegradable gelatin-based films have been obtained in the presence of carboxymethylcellulose (CMC) additives intended for use as packaging of food products and drug carriers. By methods of scanning electron microscopy and measurement of film roughness, it was found that films obtained from a mixture of CMC and gelatin have the greatest roughness. It is shown that the introduction of CMC into the composition of gelatin films leads to a sharp decrease in the strength and modulus of elasticity of the films, however, the deformation has maximum values at a mass ratio of CMC / gelatin equal to 0.7. This is explained by the formation of associates due to H-bonds and electrostatic interactions between functional groups of gelatin proteins and polysaccharide macromolecules, stabilized by hydrophobic interactions between their nonpolar sites. The barrier properties of films based on CMC and gelatin have been studied. It is shown that CMC-based films have the highest air permeability and the lowest water resistance, which is due to the texture of the film material. Based on IR spectroscopy data, it was found that films obtained from a mixture of CMC and gelatin are the most stable. Glycerin was used to regulate the deformation of the films.

Keywords: biodegradable films, gelatin, carboxymethylcellulose, structure formation, strength, roughness.

Введение

В последние годы использование природных биополимеров в производстве пищевых пленок привлекло значительное внимание как безопасная альтернатива нефтяным упаковочным материалам в связи с негативным воздействием последних на окружающую среду и проблемами их утилизации [1]. Эти полимеры могут быть разделены на три категории в зависимости от их происхождения и методов производства. Первая категория включает биополимеры, которые непосредственно извлекаются из биомассы, таких как углеводы и белки, и широко используются в упаковочных

материалах для пищевых продуктов благодаря их высокой барьерной способности [2, 3]. Полимеры второй категории синтезируются из биоосновных мономеров с использованием классической полимеризации, например, полимолочной кислоты [4], а полимеры третьей категории формируются в результате воздействия микроорганизмов [5]

Для производства биоразлагаемых упаковочных пленок наиболее часто используют желатин, крахмал, карбоксиметилцеллюлозу, поливиниловый спирт и др. [6]. В зависимости от природы применяемого полимера, структурно-механические свойства формируемых пленок могут быть принципиально разными

[7-15]. Полисахариды представляют собой природные полимеры, включая крахмалы, производные целлюлозы, пектины, пуллулан, альгинаты, каррагинаны, хитозан и камеди, которые широко используются для формирования биоразлагаемых пленок и покрытий. Эти пленки обладают эффективными барьерными свойствами в отношении кислорода, запахов и липидов, и демонстрируют удовлетворительную механическую прочность, однако из-за их гидрофильной природы наблюдается ограниченная барьерная способность по отношению к водяному пару [16]. Также пленки, сформированные из белков, включая коллаген, желатин, соевый белок, пшеничный глютен, казеин, сывороточные белки и кукурузный зеин, обладают высокой барьерной способностью и умеренными механическими характеристиками.

Пленки на основе желатина привлекают значительное внимание производителей пищевых продуктов и лекарственных веществ по всему миру [17]. Ряд исследований подчеркивает, что для улучшения барьерных свойств пленок некоторых полимеров можно использовать метод биополимерных комбинаций, включающий смешивание их с другими полисахаридами, обладающими способностью формирования пленок [18].

Путем сочетания в составе пленок различных биополимеров можно регулировать их структурно-механические свойства, так как получаемые материалы обогащаются различными функциональными группами, способными взаимодействовать друг с другом. В этой связи целью настоящего исследования является

определение влияния добавок карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) на структурно-механические свойства пленок желатина.

Материалы и методы исследований

Объекты исследования

В качестве структурообразующих биополимеров использованы желатин (ГОСТ 11293-2017, Россия) и карбоксиметилцеллюлоза натрия (ТУ 6-55-63-90, Россия).

Для получения пленок готовили их растворы концентрации 0,2 – 4,0 % и смешивали в различных соотношениях. Смесь выливали на противень и сушили в термостате при температуре 298 К. Массовое соотношение между КМЦ и желатином выражено как величина m ($m = \text{КМЦ} / \text{желатин}$).

Методы исследования

Метод определения предела прочности и относительного удлинения пленок

Определение предела прочности и относительного удлинения пленок проведено на разрывной машине МТ-150 (Россия). Машины МТ предназначены для выполнения испытаний на растяжение и позволяют измерять деформацию и приложенные усилия при исследовании основных механических характеристик материалов, включая растяжение, сжатие и упругость. Для проведения испытаний использованы образцы пленок, имеющие длину 15 см и ширину 4 см. Значения удлинения образца и максимальной разрывной нагрузки выражены в миллиметрах и килограммах соответственно. С использованием этих данных определены значения прочности (σ), деформации (ε) и модуля упругости (E) плёнок:

$$\sigma = \frac{F}{S}, \quad (1)$$

где σ - прочность, кПа; F – разрывная нагрузка пленки, Н; S – площадь образца, м²;

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}, \quad (2)$$

где ε - деформация; Δl - удлинение плёнки, мм; l - исходная длина плёнки, мм;

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}, \quad (3)$$

здесь E - модуль упругости, кПа; σ - прочность, кПа; ε - деформация.

Метод измерения шероховатости

Оценку шероховатости поверхности пленок проводили на профилометре TR110. Принцип работы прибора заключается в детектировании однородности исследуемой поверх-

ности алмазной иглой зонда и преобразовании механических колебаний зонда в изменение напряжения, пропорциональное этим колебаниям. Результаты измерений параметров шероховатости отображены как значения R_a и

R_z , где R_a – среднее арифметическое отклонение профиля (мкм), R_z – максимальная высота неровности (мкм).

Инфракрасная спектроскопия

ИК-спектры образцов пленок снимали на Фурье ИК-спектрометре «Avator 370-CsI» в таблетках с KBr. Для исследований использовали пленки из желатина, карбоксиметилцеллюлозы натрия и смеси желатин-карбоксиметилцеллюлоза натрия состава 1:1.

Метод определения воздухопроницаемости. Измерение воздухопроницаемости проводили с использованием прибора TEXTEST FX 3300 III (производство - Швейцария). Перед осуществлением измерений образец материала подвергался выдержке в течение суток при температуре 298 ± 2 К и относительной влажности $65 \pm 2\%$. Каждый образец подвергался трём измерениям.

Метод определения водоупорности

Определение водоупорности проводили с использованием устройства «Пенетромтр» МТ-158, предназначенного для оценки водоупорности в соответствии с ГОСТ 3816-81. Максимальное значение давления – 1200 мм.вод.ст. (мм водного столба). Площадь поверхности испытания – 100 ± 5 см². Структура устройства включает испытательную ячейку, в которой встроена водоизмерительная трубка с делениями по 1 миллиметру (1 мм.вод.ст.), а также напорный сосуд для подачи воды в ходе испытания.

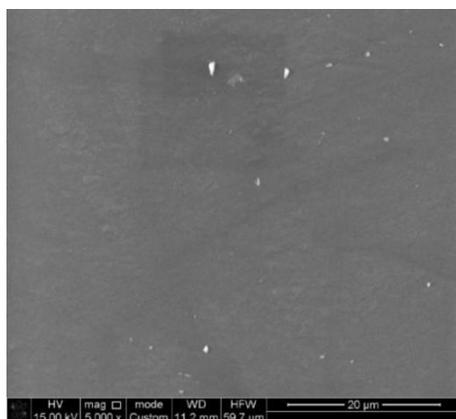
Результаты и их обсуждение

Морфология пленок. Желатин является белковым веществом, которое растворяется в воде и получается путем разрушения третичной, вторичной и в некоторой степени первич-

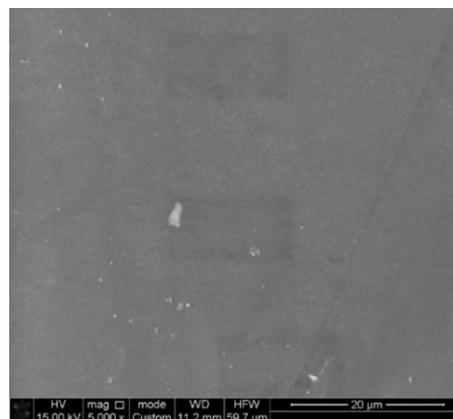
ной структуры исходного коллагена путем его частичного гидролиза коллагена [19]. В отличие от большинства гидроколлоидов, которые являются полисахаридами, желатин является усваиваемым белком, содержащим все необходимые аминокислоты, кроме триптофана [20]. Этот биополимер привлекает широкое внимание исследователей в связи с его хорошей способностью образовывать пленки и служить в качестве внешнего упаковочного слоя, защищающего пищевые продукты от воздействия света, температуры и кислорода. Кроме того, он широко используется в пищевой промышленности для получения желе-подобных продуктов [21, 22].

Карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) является водорастворимым полисахаридом, получаемым путем обработки целлюлозы гидроксидом натрия и монохлоруксусной кислотой [23, 24]. Благодаря линейной структуре она нашла широкое применение в различных отраслях промышленности, таких как нефтяная, бумажная, косметическая, текстильная и пищевая [25-27]. КМЦ обладает высокой молекулярной массой, что позволяет использовать ее для формирования биокompозитных пленок, обладающих термо-гелеобразующими свойствами [28]. КМЦ обладает хорошей совместимостью с биологическими системами и способностью формировать пленки [29, 30].

Получены плёнки из желатина и карбоксиметилцеллюлозы натрия при их различных соотношениях. На рисунке 1 приведены СЭМ фотографии пленок, полученных из желатина (а, б); КМЦ (в, г) и их смеси с массовым соотношением КМЦ/желатин 1:1 (д, е).



а)



б)

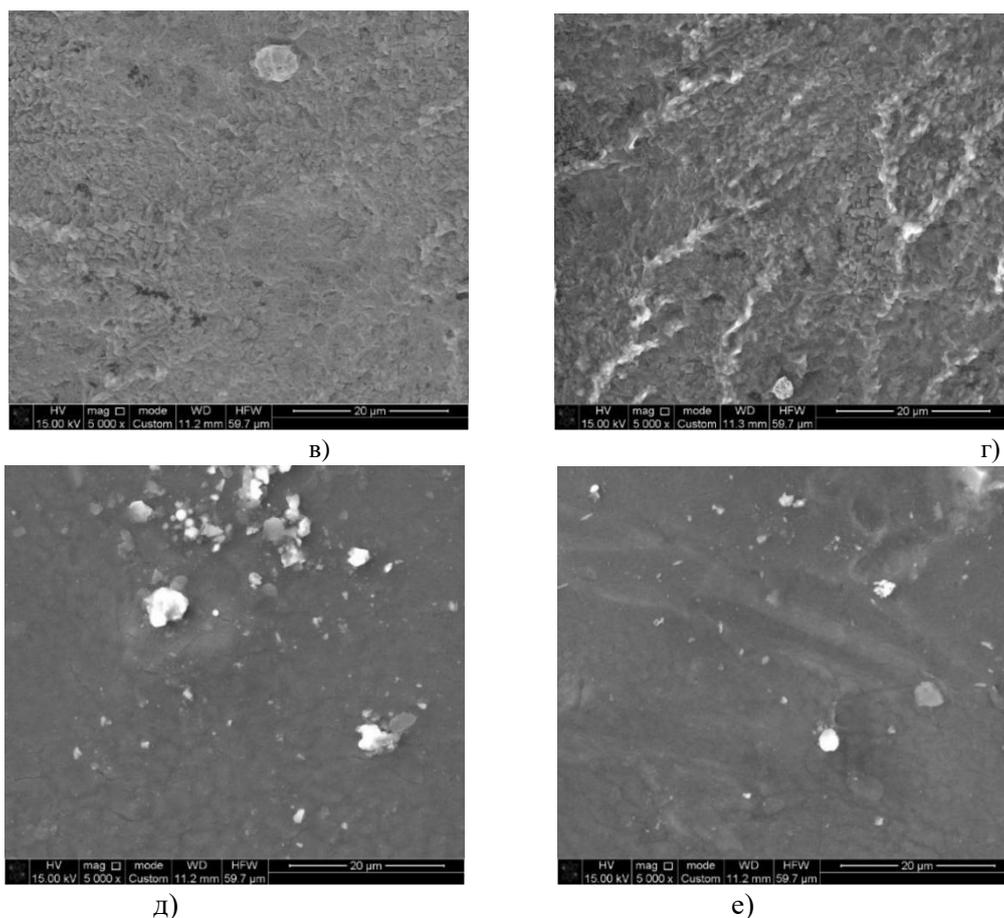


Рисунок 1 - Электронно-микроскопические снимки плёнок желатина (а, б); КМЦ (в, г) и смеси КМЦ/желатин (д, е) состава 1:1

Как видно из рисунка 1, наиболее однородными являются пленки, полученные из желатина, а плёнки из карбоксиметилцеллюлозы натрия имеют неоднородности, обусловленные её текстурированностью. Введение раствора КМЦ в раствор желатина приводит к появлению шероховатости на пленках желатина, однако они не столь значительны, как в случае пленок КМЦ. Для получения более детальной информации о влиянии КМЦ на морфологию пленок желатина рассмотрим данные по их шероховатости. Как видно из рисунка 2, максимальная шероховатость пленок наблюдается при соотношении КМЦ/желатин, равном 0,7, при массовом соотношении двух полимеров 1,0 шероховатость минимальна, однако при дальнейшем повышении содержания КМЦ в

составе пленки шероховатость постепенно увеличивается. Очевидно, структурирование двух полимеров обусловлено взаимодействием функциональных групп их макромолекул, приводящих к образованию композита.

Прочностные характеристики плёнок

При использовании биоразлагаемых пленок для упаковки пищевых продуктов наиболее важными их характеристиками являются прочность, упругость и деформация, поэтому наибольшее количество исследований в данной области посвящено определению этих показателей [29-31]. На рисунках 3-5 представлены кривые зависимости прочностных характеристик пленок от массового соотношения КМЦ/желатин, измеренные через 1 и 7 суток их выдерживания при температуре 298 К.

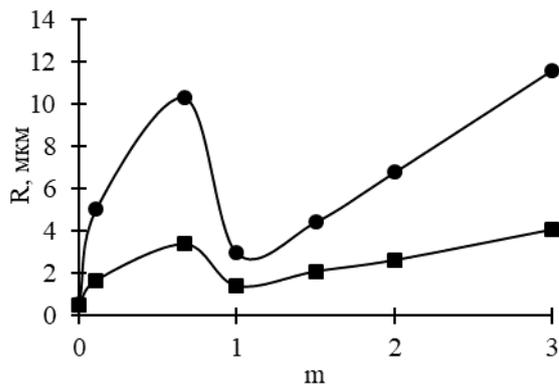


Рисунок 2 - Зависимость показателя шероховатости пленок от массового соотношения КМЦ/желатин (● - R_z , ■ - R_a)

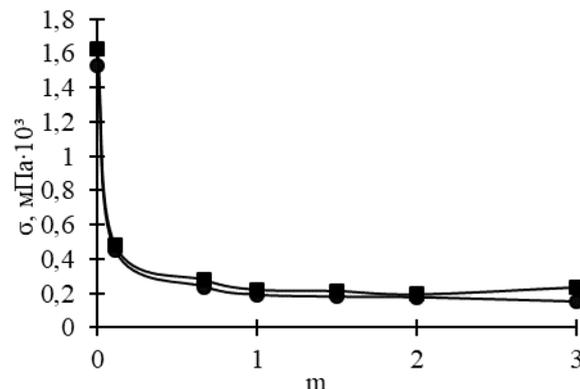


Рисунок 3 - Зависимость показателя прочности от массового соотношения КМЦ/желатин (● - через 1 сутки, ■ - через 7 суток)

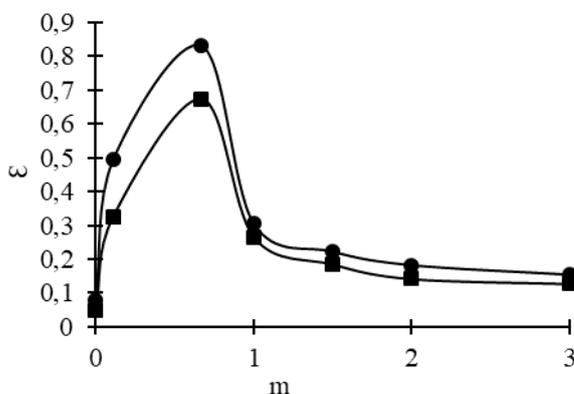


Рисунок 4 - Зависимость степени деформации от массового соотношения КМЦ/желатин (● - через 1 сутки, ■ - через 7 суток)

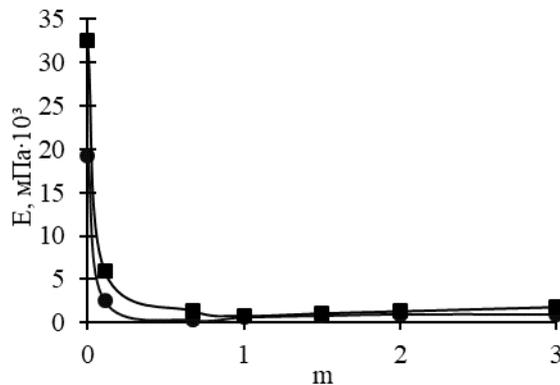


Рисунок 5 - Зависимость модуля упругости пленок от массового соотношения КМЦ/желатин (● - через 1 сутки, ■ - через 7 суток)

Как видно из рисунка 3, введение в состав пленок желатина небольшого количества КМЦ, соответствующего соотношению КМЦ/желатин 0,1, приводит к резкому снижению их прочности. Дальнейшее повышение содержания КМЦ в составе пленок желатина вплоть до значений m 1,0 приводит лишь к незначительному понижению прочности, а в интервале значений m 1,0 - 3,0 значения σ остаются почти неизменными.

Что касается деформации пленок (рис. 1), она максимальна при значении m 0,7, причем значения ϵ при времени хранения пленок 1 сутки выше, нежели после 7 суток выдерживания. Это можно объяснить испарением воды, в то же время некоторая ее часть, так называемая связанная вода, остается в составе пленок, обеспечивая их деформацию и эластичность. Следует отметить, что для придания эластичности пленкам в их состав вводят глицерин, концентрация которого в составе исследуемых пленок составляет 2,0 %. Изменение упругости

пленок КМЦ-желатин со временем оказалось незначительным (рис. 5), однако введение КМЦ в состав пленок желатина резко уменьшает модуль упругости биокomпозитов в широком интервале их массового соотношения m (от 0,1 до 3,0).

ИК-спектроскопическое исследование пленок КМЦ-желатин

Для получения информации о биоразлагаемости плёнок на основе желатина и карбоксиметилцеллюлозы натрия проведено их ИК-спектроскопическое исследование при времени хранения 1 сутки и 1 месяц (рис. 6). Как видно из рисунка 6 (а, б), пленки желатина при времени хранения 1 сутки сильно гидратированы, о чем свидетельствует значительная частота пиков в интервале $4000 - 1500 \text{ см}^{-1}$. Особенно сильно это выражено в области частот колебаний $4000 - 3500 \text{ см}^{-1}$, соответствующих О - Н связям молекул воды и карбоксильных групп, а также в интервале $1750 - 1500 \text{ см}^{-1}$ с заметным пиком, соответствующим аминокруппам бел-

ков желатина. Пики при значениях ν 2932 см^{-1} , 1671 см^{-1} могут также соответствовать валентным колебаниям С-Н групп; при значении ν 1412 см^{-1} проявляется пик, соответствующий деформационным колебаниям С-Н связи. После 1 месяца хранения пленок

пики на ИК-спектрах становятся более выраженными, что связано с потерей воды.

В случае пленок, полученных из карбоксиметилцеллюлозы натрия, подобные изменения заметны в области частот колебаний 4000 – 3500 см^{-1} , что также связано с испарением воды (рис. 6 (в, г)).

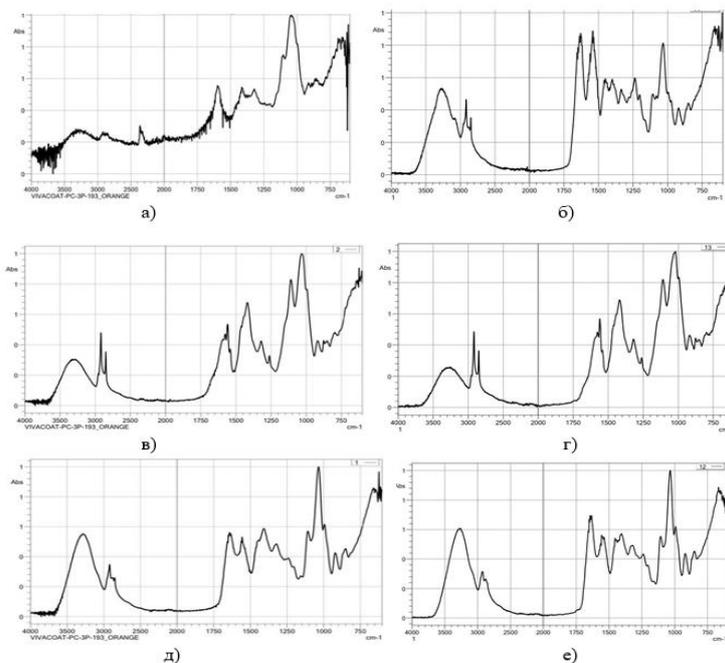


Рисунок 6 - Инфракрасные спектры биоразлагаемых плёнок на основе желатина (а, б); КМЦ (в, г) и смеси КМЦ-желатин (д, е) при времени хранения 1 сутки (а, в, д) и 1 месяц (б, г, е)

Наиболее интересными являются ИК-спектры пленок, полученных из смеси КМЦ-желатин состава 1:1. Хотя на первый взгляд они подобны ИК-спектрам пленок КМЦ, они имеют 2 резко выраженных пика в интервале частот колебаний 1750 – 1500 см^{-1} , что обусловлено присутствием в составе пленок функциональных групп белков. Особенно это заметно при сравнении рисунков 6 (б) и 6 (е). С другой стороны, эти пленки не столь гидратированы, как пленки желатина. Очевидно, это связано с тем, что в системе желатин-КМЦ часть функциональных групп желатина, например, карбоксильных, исключается из процесса гидратации, так как участвует в образовании Н-связей с молекулами КМЦ, стабилизированных гидрофобными взаимодействиями между их неполярными участками. Так как КМЦ является анионным полимером, возможно электростатическое взаимодействие -СН₂-СОО⁻ групп КМЦ с -NH₂⁺ группами белков желатина, которые также могут быть ста-

билизированы гидрофобными взаимодействиями углеводородных цепей макромолекул полисахарида и аминокислот белков желатина. Кроме того, отсутствие значительных изменений в ИК-спектре пленок КМЦ-желатин после хранения в течение 1 месяца свидетельствует об устойчивости пленок, полученных из смеси двух полимеров. Таким образом, введение КМЦ в состав пленок желатина повышает их устойчивость при хранении.

По-видимому, для получения информации о биологическом разложении пленок на основе данных ИК-спектрокопии необходимы более длительные по времени исследования. Для этой цели довольно часто используют метод закапывания пленок в почву и контроля их массы [32-34]. Однако этот метод не может быть объективным во многих случаях в силу того, что влага из почвы будет переходить в материал пленок, а также частицы глины будут прилипать к ним, увеличивая массу пленок.

Предложенный метод получения биоразлагаемых пленок заключается в приготовлении их растворов концентрации 0,2 – 4,0 % и последующем их смешении в различных соотношениях. Полученная смесь выливается на противень и сушится в термостате при температуре 298 К в течение 24 ч. Для регулирования деформационных свойств пленок в смесь биополимеров добавляют глицерин.

Защитные свойства пленок

Для эффективного использования биоразлагаемых пленок для упаковки пищевых продуктов, лекарственных препаратов или в

качестве носителей ферментов необходима информация об их защитных или барьерных свойствах.

На рисунке 7 представлены данные по воздухопроницаемости и водоупорности пленок. Воздухопроницаемость – это объем воздуха в дм^3 , который проходит через материал площадью 1 м^2 за 1 с. Водоупорность материалов связана с их способностью противостоять воздействию влаги и измеряется в миллиметрах водного столба. Эти свойства зависят от природы, химического состава, пористости, толщины и количества слоев в материале [35].

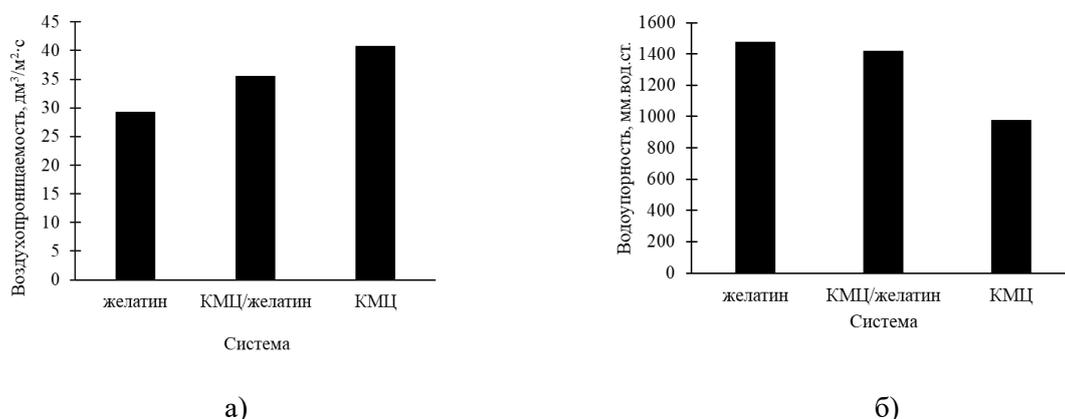


Рисунок 7 - Воздухопроницаемость (а) и водоупорность (б) пленок, полученных из желатина, КМЦ и их смеси при времени хранения 1 сутки

Наибольшую воздухопроницаемость – $40,8 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ - имеют пленки на основе КМЦ. Вероятно, образование текстурированных участков в пленках КМЦ, обусловленные неравномерным распределением полимера на твердой поверхности при их формировании, приводит к появлению в них фрагментов, отличающихся низкой степенью структурированности, и, соответственно, легко пропускающих воздух. По этой же причине значение водоупорности минимально в случае пленок КМЦ (рис. 7 (б)). Следует отметить, что пленки, полученные на основе желатина и смеси КМЦ-желатин, имеют близкие значения водоупорности – 1480 и 1420 миллиметров водного столба соответственно.

Таким образом, путем структурирования желатина в присутствии добавок КМЦ получены биоразлагаемые пленки, структурно-механические и барьерные свойства которых зависят от массового соотношения КМЦ / желатин.

Заключение, выводы

Получены биоразлагаемые плёнки на основе желатина и карбоксиметилцеллюлозы натрия. Показано, что введение КМЦ в состав

пленок желатина приводит к резкому уменьшению прочности и модуля упругости пленок, однако деформация и шероховатость пленок имеют максимальные значения при массовом соотношении КМЦ / желатин, равном 0,7. Это обусловлено образованием биокомпозитов за счет Н-связей и электростатических взаимодействий между функциональными группами белков желатина и макромолекул полисахарида, стабилизированных гидрофобными взаимодействиями между их неполярными участками.

Изучены барьерные свойства пленок на основе КМЦ и желатина. Показано, что наибольшую воздухопроницаемость и наименьшую водоупорность имеют пленки на основе КМЦ, что связано с текстурированностью материала пленок.

Благодарность, конфликт интересов (финансирование)

*Работа выполнена в рамках гранта АР19677207 «Дизайн наноструктурированных бионанокомпозитов на основе природного сырья», финансируемого Комитетом науки МНВО РК.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Brito T.B., Carrajola J.F., Gonçalves E.C.B.A., Martelli-Tosi M., Ferreira M.S.L. Fruit and vegetable residues flours with different granulometry range as raw material for pectin-enriched biodegradable film preparation // *Food Res Int.* – 2019. - №121. – pp. 412–421. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.03.058>
2. Avérous L., Pollet E. Environmental silicate nano-biocomposites: Green energy technology // Springer London Ltd. - London: 2012. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4108-2>
3. Malathi A.N., Santhosh K.S., Udaykumar N. Recent trends of biodegradable polymer: Biodegradable films for food packaging and application of nanotechnology in biodegradable food packaging // *AIMS Mol Sci.* – 2016. - №3. – PP. 73-79. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b0452800>
4. Flieger M., Kantorová M., Prell A., Źezanka T., Votruba J. Biodegradable plastics from renewable sources // *Folia Microbiol.* – 2003. - №48. – PP. 27–44. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02931273>
5. Tripathi A., Srivastava S., Yadav A. Biopolymers: Potential biodegradable packaging material for food industry // *Polym Packag Appl.* – 2014. – PP. 153–172.
6. Nur Hanani Z. A, Roos Y. H., Kerry J. P. Use and application of gelatin as potential biodegradable packaging materials for food products // *International Journal of Biological Macromolecules.* – 2014. - №71. – PP. 94–102. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.04.027>
7. Luzio G.A. Determination of galacturonic acid content of pectin using a microtiter plate assay // *Proc. Fla. State Hort. Soc.* – 2004. – V. 117. – PP. 416–421.
8. Parker R., Ring S.G. Aspects of the Physical Chemistry of Starch // *Journal of Cereal Science.* – 2001. – V. 34. – PP. 1-17.
9. Петропавловский Г.А. Гидрофильные частично замещенные эфиры целлюлозы и их модификация путем химического сшивания. – Л.: Наука, 1988. – 298 с.
10. Юнусов Х.Э., Сарымсаков А.А., Рашидова С.Ш. Структура и свойства биоразлагаемых пленок карбоксиметилцеллюлозы, содержащих наночастицы серебра // *Высокомолекулярные соединения. Серия А.* – 2014. – Т. 56. - № 3. – С. 276–281.
11. Савченко Л.Н., Маринина Т.Ф., Лукашук С.П. Современные подходы к лечению и профилактике заболеваний пародонта // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук.* – 2012. – Т.14. - № 5 (3). – С. 758-760.
12. Аль Насир Эйяд, Свиругун И.С., Лисянская А.П., Гладышева С.А. Изучение структурно-механических свойств пленочных масс с вазопрессином // *Polish journal of science.* – 2020. – V. 25. – PP.62-65.
13. Douglas de Britto, Jackeline S. de Rizzo, Odilio B. G. Effect of carboxymethyl cellulose and plasticizer concentration on wetting and mechanical properties of cashew tree gum-based films // *Assis International Journal of Polymer Anal. Charact.* – 2012. – V. 17. - Iss. 4. – PP. 302–311.
14. Joydip Kundu, Riti Mohapatra, Kundu S. C. Silk Fibroin/Sodium Carboxymethylcellulose Blended Films for Biotechnological Applications // *Journal of Biomaterials Science.* - 2011. – V. 22. - Iss. 4(6). – PP. 519–539.
15. Дышлюк Л.С., Просеков А.Ю. Исследование кинетики биоразложения, деформационно-прочностных и экотоксикологических свойств, газопроницаемости и водопоглощения антимикробных упаковочных биоразлагаемых пленок на основе природных полисахаридов // *Вестник ВГУ, Серия: Химия. Биология. Фармация.* – 2019. – Т. 2. – С. 40-47.
16. Патент 2570905 Российская Федерация, МПК C08L23/06, C08L3/02, C08L101/16, C08K5/053. Способ получения биодegradируемой термопластичной композиции / Дышлюк Л.С., Белова Д.Д., Бабич О.О., Просеков А.Ю., Карчин К.В., Асякина Л.К.; патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Биотек». – № 2014126140/04; заявл. 26.06.2014; опубл. 20.12.2015.
17. Abdelhedi O., Salem A., Nasri R., Nasri M., Jridi M. Food applications of bioactive marine gelatin films // *Curr. Opin. Food Sci.* – 2021. – №43. – pp. 206–215.
18. Roy S., Rhim J.W. Fabrication of carboxymethyl cellulose/agar-based functional films hybridized with alizarin and grapefruit seed extract // *ACS Appl. Bio Mater.* – 2021. - №4. – PP. 4470–4478.
19. Morrison N.A., Clark R.C., Chen Y.L., Talashek T., Sworn G. Gelatin alternatives for the food industry // *Progr Colloid Polym Sci.* – 1999. - №114. – PP. 127–131.
20. Mariod A.A., Adam H.F. Review: gelatin, source, extraction and industrial applications // *Acta Sci Pol Technol Aliment.* – 2013. - №12 (2). – PP. 135–147.
21. Ramos M., Valdés A., Beltrán A., Garrigós M. C. Gelatin-Based Films and Coatings for Food Packaging Applications // *Coatings.* – 2016. - №6(4). – P. 41. doi: <https://doi.org/10.3390/coatings6040041>
22. Said N. S., Sarbon N. M. Response Surface Methodology (RSM) of Chicken Skin Gelatin Based Composite Films with Rice Starch and Curcumin Incorporation. // *Polym. Test.* – 2020. - №81. – PP. 106161. doi: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.106161>
23. Gulati I., Park J., Maken S., Lee M.G. Production of Carboxymethyl cellulose fibers from waste lignocellulosic sawdust using NaOH/NaClO2 pretreatment // *Fibers Polym.* – 2014. - №15. – PP. 680–686.
24. Kumar H., Gaur A., Kumar S., Park J.W. Development of silver nanoparticles-loaded CMC hydrogel using bamboo as a raw material for special medical applications. *Chem Pap*, 2018.
25. Joshi G., Naithani S., Varshney V.K., Bisht S.S., Rana V., Gupta P.K. Synthesis and characterization of carboxymethyl cellulose from office waste paper: A greener approach towards waste management // *Waste Manage.* – 2014. - №38. – PP. 33–40.

26. Mohkami M., Talaiepour M. Investigation of the chemical structure of carboxylated and carboxymethylated fibers from waste paper via XRD and FTIR analysis // *Bio Resources*. – 2011. – №6. – PP.1988–2003.

27. Togrul H., Arslan N. Production of carboxymethyl cellulose from sugar beet pulp cellulose and rheological behavior of carboxymethyl cellulose // *Carbohydr Polym*. – 2003. – №54. – PP.73–82.

28. Almasi H., Ghanbarzadeh B., Entezami A.A. Physicochemical properties of Starch CMC-nonclay biodegradable films // *Int J Biol Macromol*. – 2010. – №46. – PP. 1–5.

29. Каширина Е.И. Разработка системы гипоаллергенной упаковки белков в полимерный матрикс: дис. канд. хим. наук: 03.01.06. Москва. 2017. 149 с.

30. Lu D. R., Xiao C. M., Xu S. Starch-based completely biodegradable polymer materials // *Polymer Letters*. – 2009. – V. 3. – №6. – PP. 366–375.

31. Mu C., Guo J., Li X., Lin W. and Li D. Preparation and Properties of dialdehyde carboxymethyl cellulose crosslinked gelatine edible films // *Food Hydrocolloids*. – 2012. – vol. 27. – №1. – PP. 22–29. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.09.005>

32. Briassoulis D., Innocenti F.D. Standards for soil biodegradable plastics. In: Malinconico M., editor. *Soil Degradable Bioplastics for a Sustainable Modern Agriculture*. Springer; Cham, Switzerland: 2017. PP. 139–168.

33. Emadian S.M., Onay T.T., Demirel B. Biodegradation of bioplastics in natural environments // *Waste Manag*. – 2017. – №59. – PP. 526–536. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.006>

34. Agarwal S. Biodegradable polymers: Present opportunities and challenges in providing a microplastic-free environment // *Macromol. Chem. Phys*. – 2020. – №221. – P. 2000017. doi: <https://doi.org/10.1002/macp.202000017>

35. Duan Z., Thomas N.L. Water Vapour Permeability of Poly(Lactic Acid): Crystallinity and the Tortuous Path Model. // *J. Appl. Phys*. – 2014. – №115. – P. 64903.

REFERENCES

1. Brito T.B., Carrajola J.F., Gonçalves E.C.B.A., Martelli-Tosi M., Ferreira M.S.L. Fruit and vegetable residues flours with different granulometry range as raw material for pectin-enriched biodegradable film preparation // *Food Res Int*. – 2019. – №121. – pp. 412–421. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.03.058>

2. Avérous L., Pollet E. *Environmental silicate nano-biocomposites: Green energy technology* // Springer London Ltd. - London: 2012. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4108-2>

3. Malathi A.N., Santhosh K.S., Udaykumar N. Recent trends of biodegradable polymer: Biodegradable films for food packaging and application of nanotechnology in biodegradable food packaging // *AIMS Mol Sci*. – 2016. – №3. – pp. 73-79. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b0452800>

4. Flieger M., Kantorová M., Prell A., Źezanka T., Votruba J. Biodegradable plastics from renewable sources // *Folia Microbiol*. – 2003. – №48. – pp. 27–44. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02931273>

5. Tripathi A., Srivastava S., Yadav A. Biopolymers: Potential biodegradable packaging material for food industry // *Polym Packag Appl*. – 2014. – pp. 153–172.

6. Nur Hanani Z. A, Roos Y. H., Kerry J. P. Use and application of gelatin as potential biodegradable packaging materials for food products // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2014. – №71. – pp. 94–102. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.04.027>

7. Luzio G.A. Determination of galacturonic acid content of pectin using a microtiter plate assay // *Proc. Fla. State Hort. Soc*. – 2004. – V. 117. – pp. 416-421.

8. Parker R., Ring S.G. Aspects of the Physical Chemistry of Starch // *Journal of Cereal Science*. – 2001. – V. 34. – pp. 1-17.

9. Petropavlovskii G.A. *Gidrofilnye chastichno zameshchennye efiry tsellyulozy i ikh modifikatsiya putem khimicheskogo sshivaniya*. – L.: Nauka, 1988. – 298 p. (In Russian).

10. Yunusov Kh.E., Sarymsakov A.A., Rashidova S.Sh. *Struktura i svoistva biorazlagaemykh plenok karboksimetilttsellyulozy, soderzhashchikh nanochastitsy serebra* // *Vysokomolekulyarnye soedineniya. Seriya A*. – 2014. – T. 56. – № 3. – pp. 276–281. (In Russian).

11. Savchenko L.N., Marinina T.F., Lukashuk S.P. *Sovremennyye podkhody k lecheniyu i profilaktike zabolevanii parodonta* // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*. – 2012. – T.14. – № 5 (3). – pp. 758-760. (In Russian).

12. Al Nasir Eiyad, Svirgun I.S., Lisyanskaya A.P., Gladysheva S.A. *Izuchenie strukturno-mekhanicheskikh svoistv plenochnykh mass s vazopressinom* // *Polish journal of science*. – 2020. – V. 25. – pp.62-65. (In Russian).

13. Douglas de Britto, Jackeline S. de Rizzo, Odilio B. G. Effect of carboxymethyl cellulose and plasticizer concentration on wetting and mechanical properties of cashew tree gum-based films // *Assis International Journal of Polymer Anal. Charact*. – 2012. – V. 17. – Iss. 4. – pp. 302–311.

14. Joydip Kundu, Riti Mohapatra, Kundu S. C. *Silk Fibroin/Sodium Carboxymethylcellulose Blended Films for Biotechnological Applications* // *Journal of Biomaterials Science*. – 2011. – V. 22. – Iss. 4(6). – pp. 519–539.

15. Dyshlyuk L.S., Prosekov A.Yu. *Issledovanie kinetiki biorazlozheniya, deformatsionno-prochnostnykh i ekotoksikologicheskikh svoistv, gazopronitsaemosti i vodopogloshcheniya antimikrobnnykh upakovochnykh biorazlagaemykh plenok na osnove prirodnykh polisakharidov* // *Vestnik VGU, Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*. – 2019. – T. 2. – pp. 40-47. (In Russian).

16. Patent 2570905 Rossiiskaya Federatsiya, MPK C08L23/06, C08L3/02, C08L101/16, C08K5/053. Sposob polucheniya biodegradiruemoi termoplastichnoi kompozitsii / Dyshlyuk L.S., Belova D.D., Babich O.O., Prosekov A.Yu., Karchin K.V., Asyakina L.K.; patentoobladatel Obschestvo s ograni-chennoi otvetstvennostyu «Biotek». – № 2014126140/04; zayavl. 26.06.2014; opubl. 20.12.2015. (In Russian).
17. Abdelhedi O., Salem A., Nasri R., Nasri M., Jridi M. Food applications of bioactive marine gelatin films // Curr. Opin. Food Sci. – 2021. – №43. – pp. 206–215.
18. Roy S., Rhim J.W. Fabrication of carboxymethyl cellulose/agar-based functional films hybridized with alizarin and grapefruit seed extract // ACS Appl. Bio Mater. – 2021. – №4. – pp. 4470–4478.
19. Morrison N.A., Clark R.C., Chen Y.L., Talashek T., Sworn G. Gelatin alternatives for the food industry // Progr Colloid Polym Sci. – 1999. – №114. – pp. 127–131.
20. Mariod A.A., Adam H.F. Review: gelatin, source, extraction and industrial applications // Acta Sci Pol Technol Aliment. – 2013. – №12 (2). – pp. 135–147.
21. Ramos M., Valdés A., Beltrán A., Garrigós M. C. Gelatin-Based Films and Coatings for Food Packaging Applications // Coatings. – 2016. – №6(4). – p. 41. doi: <https://doi.org/10.3390/coatings6040041>
22. Said N. S., Sarbon N. M. Response Surface Methodology (RSM) of Chicken Skin Gelatin Based Composite Films with Rice Starch and Curcumin Incorporation. // Polym. Test. – 2020. – №81. – pp. 106161. doi: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.106161>
23. Gulati I., Park J., Maken S., Lee M.G. Production of Carboxymethyl cellulose fibers from waste lignocellulosic sawdust using NaOH/NaClO₂ pretreatment // Fibers Polym. – 2014. – №15. – pp. 680–686.
24. Kumar H., Gaur A., Kumar S., Park J.W. Development of silver nanoparticles-loaded CMC hydrogel using bamboo as a raw material for special medical applications. Chem Pap, 2018.
25. Joshi G., Naithani S., Varshney V.K., Bisht S.S., Rana V., Gupta P.K. Synthesis and characterization of carboxymethyl cellulose from office waste paper: A greener approach towards waste management // Waste Manage. – 2014. – №38. – pp. 33–40.
26. Mohkami M., Talaeipour M. Investigation of the chemical structure of carboxylated and carboxymethylated fibers from waste paper via XRD and FTIR analysis // Bio Resources. – 2011. – №6. – pp.1988–2003.
27. Togrul H., Arslan N. Production of carboxymethyl cellulose from sugar beet pulp cellulose and rheological behavior of carboxymethyl cellulose // Carbohydr Polym. – 2003. – №54. – pp.73–82.
28. Almasi H., Ghanbarzadeh B., Entezami A.A. Physicochemical properties of Starch CMC-nonclay biodegradable films // Int J Biol Macromol. – 2010. – №46. – pp. 1–5.
29. Kashirina E.I. Razrabotka sistemy gipoallergennoj upakovki belkov v polimernyj matrits: dis. kand. khim. nauk: 03.01.06. Moskva. 2017. 149 p. (In Russian).
30. Lu D. R., Xiao C. M., Xu S. Starch-based completely biodegradable polymer materials // Polymer Letters. – 2009. – V. 3. – №6. – pp. 366–375.
31. Mu C., Guo J., Li X., Lin W. and Li D. Preparation and Properties of dialdehyde carboxymethyl cellulose crosslinked gelatine edible films // Food Hydrocolloids. – 2012. – vol. 27. – №1. – pp. 22–29. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.09.005>
32. Briassoulis D., Innocenti F.D. Standards for soil biodegradable plastics. In: Malinconico M., editor. Soil Degradable Bioplastics for a Sustainable Modern Agriculture. Springer; Cham, Switzerland: 2017. pp. 139–168.
33. Emadian S.M., Onay T.T., Demirel B. Biodegradation of bioplastics in natural environments // Waste Manag. – 2017. – №59. – pp. 526–536. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.006>
34. Agarwal S. Biodegradable polymers: Present opportunities and challenges in providing a microplastic-free environment // Macromol. Chem. Phys. – 2020. – №221. – p. 2000017. doi: <https://doi.org/10.1002/macp.202000017>
35. Duan Z., Thomas N.L. Water Vapour Permeability of Poly(Lactic Acid): Crystallinity and the Tortuous Path Model. // J. Appl. Phys. – 2014. – №115. – p. 64903.

ӘОЖ 637.25
FTAMA 65.59.31

<https://doi.org/10.48184/2304-568X-2024-1-143-149>

DETERMINATION OF THE NUTRITIONAL AND BIOLOGICAL VALUE OF SEMI-SMOKED SAUSAGE PRODUCTS MADE FROM BEEF

L.S. SYZDYKOVA* , K.M. ABDIYEVA , ZH.ZH. YESSENKULOVA , R.K. BAIGABYLOV 

(Almaty Technological University, Kazakhstan, 050012, Almaty, Tole bi str., 100).

Corresponding author e-mail: laila.ss@mail.ru*

Sausage products belong to high-calorie products with their own taste and aroma and occupy a significant share in the meat products market of Kazakhstan. In the modern era, one of the most important directions in the