

ВЛИЯНИЕ ЭМУЛЬСИИ ПИКЕРИНГА НА ОСНОВЕ КМЦ НА БАРЬЕРНЫЕ СВОЙСТВА БИОРАЗЛАГАЕМОГО КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА

А.В. Малинин, malinina@susu.ru

А.В. Цатуров, aram-chel@mail.ru

Э.Р. Петросян, mb2201per16@susu.ru

М.Э. Энтону, moentos@yahoo.com

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. Полимерные отходы представляют собой смесь веществ, предметов и их частей, потерявших потребительские свойства в процессе эксплуатации и предназначенных для утилизации. Полимерные отходы разлагаются более 100 лет с образованием микропластиков. Накопление полимерных отходов и трудность их утилизации является глобальной проблемой и оказывает отрицательное воздействие на окружающую среду. Ученые во всем мире занимаются поиском решения данной проблемы. Одним из возможных способов решения данной проблемы могут стать биоразлагаемые композитные материалы и упаковки на их основе с улучшенными барьерными свойствами, получаемые на основе вторичных сырьевых ресурсов. Для улучшения барьерных свойств материала в наших исследованиях предлагается использование в матрице эмульсии Пикеринга на основе карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) при разной дозировке ее внесения (0,5; 1,5; 2,0 %) и определение ее оптимума. В рамках исследования были приготовлены 4 образца пленок. В ходе исследования у образцов пленок оценивались такие показатели, как толщина, содержание воды, растворимость в воде, непрозрачность, микроскопия, водопоглощение и биоразлагаемость в компосте. В результате обработки экспериментальных данных образцов пленок (биоразлагаемого композитного материала) были установлены наилучшие показатели у образца с внесением эмульсии Пикеринга, нагруженной КМЦ в количестве 2,0 %. Разработанные материалы и упаковки могут найти свое применение в пищевой промышленности и решить или минимизировать проблемы экологии.

Ключевые слова: биоразлагаемый композитный материал, эмульсия пикеринга, КМЦ, карбоксиметилцеллюлоза, барьерные свойства, упаковка

Благодарности. Статья выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) в рамках проекта 22-76-10049.

Для цитирования: Влияние эмульсии Пикеринга на основе КМЦ на барьерные свойства биоразлагаемого композитного материала / А.В. Малинин, А.В. Цатуров, Э.Р. Петросян, М.Э. Энтону // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2024. Т. 12, № 3. С. 22–30. DOI: 10.14529/food240303

Original article
DOI: 10.14529/food240303

EFFECT OF PICKERING EMULSION BASED ON CARBOXYMETHYLCELLULOSE ON BARRIER PROPERTIES OF BIODEGRADABLE COMPOSITE MATERIAL

A.V. Malinin, malinina@susu.ru
A.V. Tsaturov, aram-chel@mail.ru
E.R. Petrosyan, mb2201per16@susu.ru
M.E. Entonu, moentos@yahoo.com
South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. Polymer waste is a mixture of substances, objects and their parts that have lost their consumer properties during operation and are intended for disposal. Polymer waste has been decomposing for more than 100 years with the formation of microplastics. The accumulation of polymer waste and the difficulty of recycling it is a global problem and has a negative impact on the environment. Scientists all over the world are looking for a solution to this problem. Biodegradable composite materials and packages based on them with improved barrier properties obtained on the basis of secondary raw materials can become one of the possible ways to solve this problem. To improve the barrier properties of the material, our research suggests using a Pickering emulsion based on carboxymethylcellulose (CMC) in the matrix at different dosages of its application (0,5; 1,5; 2,0 %) and determining its optimum. As part of the study, 4 film samples were prepared. During the study, film samples were evaluated for such indicators as thickness, water content, and solubility in water, opacity, microscopy, water absorption and biodegradability in compost. As a result of processing experimental data from film samples (biodegradable composite material), the best performance was established for the sample with the addition of a Pickering emulsion loaded with CMC in the amount of 2,0 %. The developed materials and packages can find their application in the food industry and solve or minimize environmental problems.

Keywords: biodegradable composite material, pickering emulsion, CMC, carboxymethylcellulose, barrier properties, packaging

Acknowledgments. The article was financially supported by a grant from the Russian Science Foundation (RSF) within the framework of project 22-76-10049.

For citation: Malinin A.V., Tsaturov A.V., Petrosyan E.R., Entonu M.E. Effect of Pickering emulsion based on arboxymethylcellulose on barrier properties of biodegradable composite material. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2024, vol. 12, no. 3, pp. 22–30. (In Russ.) DOI: 10.14529/food240303

Введение

Экологические проблемы, связанные с накоплением и утилизацией полимерных отходов, на сегодняшний день являются актуальными, и одним из возможных способов решения данных проблем могут стать биоразлагаемые композитные материалы на основе органического сырья, обладающие высокими барьерными свойствами и подвергающиеся полному разложению в компосте на безопасные вещества для окружающей среды. Пластик и изделия на его основе разлагаются в компосте в условиях окружающей среды более 100 лет. Разложение пластика из нефте-

продуктов способствует образованию и накоплению микропластика (фрагмент длиной менее 5 мм), что оказывает негативный эффект на окружающую среду. По всему миру ученые в данной области исследований ищут инновационные подходы создания органической биоразлагаемой упаковки, которая могла бы стать хорошей альтернативой изделий из нефтепродуктов [1, 2, 4].

Биоразлагаемый композитный материал – это материал, состоящий из нескольких компонентов и образующих матрицу из наполнителей как растительного происхождения, так и животного, пластифицирующих добавок,

растворителей. В компостных системах данный материал подвергается полному разложению. В качестве наполнителя растительного происхождения для получения биоразлагаемых композитных материалов используют крахмалы, альгинат натрия, пектины и т. д. В качестве наполнителя животного происхождения используют хитин, хитозан, коллаген и т. д.

Для формирования у будущей упаковки хороших барьерных свойств научными группами исследователей предлагается применение в составе матрицы материала разных дисперсных систем в виде эмульсий. Эмульсии подразделяют на два основных типа – дисперсии масла в воде (частицы неполярной жидкости в полярной среде) и дисперсии воды в масле (частицы полярной среды в неполярной жидкости). Типы эмульсий зависят от состава и соотношения её жидких фаз, от химической природы и количества эмульгатора, от метода эмульгирования и других факторов.

Для получения биоразлагаемой композитной упаковки предлагается использование в матрице материала эмульсии Пикеринга для формирования улучшенных эксплуатационных свойств (например, барьерные свойства). Данные свойства будущей упаковки зависят от состава эмульсии и вносимой дозировки.

Эмульсия Пикеринга – это тип эмульсии, стабилизированной твёрдыми частицами. Частицы, накапливающиеся на границе раздела двух несмешивающихся жидкостей, обычно обозначаемых как фазы «масляная» и «водная», предотвращают укрупнение мелких капель при их слипании, вплоть до образования сплошной пленки, что приводит к расслоению фаз эмульсии.

Эмульсии Пикеринга прямого типа («масло в воде») являются наиболее изученными и гораздо более распространенными, но также возможны эмульсии обратного типа («вода в масле») и более сложные (например, эмульсия воды в каплях масла, которые, в свою очередь, стабилизируются в водной фазе). Для стабилизации эмульсии в качестве твердых частиц предлагается применение куркумина, КМЦ и т. д. [12, 13].

Карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) используется в качестве твердых частиц для приготовления эмульсии Пикеринга и далее для исследования ее влияния на свойства биоразлагаемой композитной упаковки. КМЦ – это натриевая соль карбоксиметилового эфира

целлюлозы, получаемая из растительного сырья. КМЦ содержит карбоксиметильные группы ($-\text{CH}_2-\text{COOH}$), связанные с некоторыми гидроксильными группами мономеров глюкопиранозы, которые составляют основу целлюлозы. КМЦ образует гидрогели, что позволяет их с легкостью встраивать в матрицу материала для формирования новых эксплуатационных свойств будущей биоразлагаемой композитной упаковки [5].

Целью данного исследования является изучение влияния эмульсии Пикеринга разной дозировки внесения на барьерные свойства биоразлагаемого композитного материала (пленки).

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись пленочные материалы (биоразлагаемые композитные материалы), полученные при внесении разной концентрации эмульсии Пикеринга (ЭП) на основе КМЦ в количестве 0,5; 1,5; 2,0 %. В качестве основного сырья для формирования матрицы материала использовали картофельный крахмал и волокна целлюлоза. Исследования влияния эмульсии Пикеринга на основе КМЦ на барьерные свойства упаковки проводились на следующих образцах пленок:

образец 1 – контроль, пленка без добавления ЭП КМЦ;

образец 2 – пленка с ЭП КМЦ в количестве 0,5 %;

образец 3 – пленка с ЭП КМЦ в количестве 1,5 %;

образец 4 – пленка с ЭП КМЦ в количестве 2,0 %;

Для исследования влияния разной дозировки внесения эмульсии Пикеринга на основе КМЦ (карбоксиметилцеллюлоза) на барьерные свойства упаковки и оценки их характеристик в качестве критериев были определены следующие показатели: толщина, содержание воды, растворимость в воде, непрозрачность, оптическая микроскопия, водопоглощение, биоразлагаемость в компосте.

Определение толщины. Толщину пленок измеряли с помощью цифрового микрометра “SHANE”. Для каждого образца пленки выполняли по 3 измерения. Затем определяли средний показатель толщины образца пленки.

Определение содержания воды. Образцы пленок высушивали до постоянной массы при помощи анализатора влажности ЭЛВИЗ-2С. Для каждой пленки выполняли по 3 измере-

ния. Затем определяли среднее арифметическое значение.

Исследование растворимости. Подготовленные высушенные образцы пленок по отдельности помещали в пробирки объемом 10 мл и заполняли 9 мл дистиллированной воды. Пробирки плотно закрывали крышками и далее хранили в термостате при температуре 25 °С в течение 24 ч, после чего пленки вынимали и снова сушили при 110 °С в течение 5 ч, чтобы определить конечную массу сухого вещества.

Определение непрозрачности. Прозрачность пленок (в терминах непрозрачности) определяли с помощью спектрофотометра СФ-56 при длине волны 600 нм в соответствии с процедурой, используемой другими исследователями. Непрозрачность (*Opacity*) рассчитывается по формуле

$$Opacity = \frac{Abs_{600}}{x},$$

где Abs_{600} – коэффициент поглощения, измеренный при 600 нм, x – толщина, мм. Более низкие значения параметра *Opacity*, как определено в уравнении, подразумевают большую прозрачность.

Микроскопическое исследование поверхности. Исследование поверхности образцов пленочного материала осуществлялось с помощью оптического микроскопа “Levenhuk MD600T” (общее увеличение составляет $\times 40$).

Определение водопоглощения. Анализ проводился в соответствии с заявленными требованиями по ГОСТ 4650-2014.

Исследования биоразлагаемости. Сущность метода заключается в имитации естественных почвенных условий. Исследуемые образцы пленочного материала инкубируют в компосте определенного биохимического состава, температуры и влажности. Для этих целей использовали грунт «Агрикола» уни-

версальный для растений и рассады. Состав: верховой торф, известняковая мука, комплексное минеральное удобрение, микроэлементы. рН грунта составляет 5,5. Скорость биоразлагаемости исследуемых образцов пленочного материала оценивается по динамике изменения их массы во времени, а также ряда характеристик. Процент снижения массы определяют по следующей формуле:

$$\Delta m = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100,$$

где m_1 – начальная масса образца до внесения в компост, г; m_2 – конечная масса образца после изъятия из компоста в течение определенного времени, г [6].

Результаты и их обсуждение

Для установления влияния ЭП КМЦ на барьерные свойства образцов пленочного материала осуществлялось вариативное встраивание эмульсии в количестве 0,5; 1,5 и 2,0 % с последующей оценкой качества и определения оптимальной дозировки эмульсии для улучшения барьерных свойств будущей упаковки. Все образцы пленок имели одинаковый состав наполнителя, пластификатора, растворителя, кроме вносимой дозировки эмульсии Пикеринга. Полученные образцы пленочного материала были эластичные, однородные, цвет матовый. На первом этапе исследования комплексно оценены образцы биоразлагаемого композитного материала на основе ЭП КМЦ по расширенной номенклатуре показателей качества пленок (толщина, содержание воды, растворимость, непрозрачность). Полученные результаты исследования представлены в табл. 1.

Представленные результаты исследования позволяют говорить о том, что толщина пленочного материала может варьироваться в зависимости от необходимого количества суспензии. Толщина исследуемых образцов

Таблица 1

Результаты исследования характеристик полученных образцов биоразлагаемого композитного материала

Объект исследования	Толщина, мм	Содержание воды, %	Растворимость в воде, %	Непрозрачность, A_{600}/mm
Образец 1	$0,19 \pm 0,02$	$5,61 \pm 0,1$	$29,35 \pm 0,2$	$2,74 \pm 0,1$
Образец 2	$0,21 \pm 0,02$	$5,02 \pm 0,2$	$13,52 \pm 0,4$	$3,98 \pm 0,1$
Образец 3	$0,20 \pm 0,01$	$6,65 \pm 0,4$	$9,71 \pm 0,2$	$3,87 \pm 0,2$
Образец 4	$0,19 \pm 0,02$	$3,86 \pm 0,1$	$9,53 \pm 0,1$	$2,93 \pm 0,2$

находилась в пределах от 0,19 до 0,21 мм. Наибольшее содержание воды было установлено у образца 3 с добавлением ЭП КМЦ в количестве 1,5 %, в то время как наименьшее содержание воды было выявлено у образца 4 с добавлением ЭП КМЦ в количестве 2,0 %. Высокая растворимость наблюдается у образца 1 (без внесения ЭП КМЦ) и составляет 29,35 %. В то время как низкая растворимость наблюдается у образца 4 и составляет 9,53 %. Показатель растворимости иллюстрирует влияние вносимого ингредиента на барьерные свойства материала и его оптимальное количество. Наибольшая непрозрачность наблюдается у образца 2. Наименьшая непрозрачность выявлена у образца 1. Стоит отметить, что прозрачность пленок является важным показателем, поскольку будущее применение материала – это упаковка для пищевых продуктов. В зависимости от назначения будущих пленок необходима разная степень прозрачности. Пленки с низкой прозрачностью могут увеличить срок годности некоторых упакованных продуктов, а высокая прозрачность пленки может снизить антимикробную активность [8, 9].

На втором этапе исследования оценивалась поверхность исследуемых образцов биоразлагаемого композитного материала при помощи оптической микроскопии. Результаты исследования представлены на рис. 1.

Представленные микрофотографии поверхности исследуемых образцов биоразлагаемого композитного материала на основе эмульсии Пикеринга свидетельствуют о том, что у образца 4 (содержание ЭП КМЦ 2,0 %) поверхность более однородная, наблюдается небольшое количество уплотнений. В то время как у образцов 2 (содержание ЭП КМЦ 0,5 %) и 3 (содержание ЭП КМЦ 1,5 %) на поверхности наблюдаются встроенные в крахмальную матрицу целлюлозные волокна. Более выраженные волокна целлюлозы на поверхности пленки были обнаружены у контрольного образца без добавления ЭП КМЦ. Увеличение содержания ЭП КМЦ в матрице материала позволяет корректировать структуру будущей упаковки, делая ее более однородной по структуре. Во время оптической микроскопии образца 4 (содержание ЭП КМЦ 2,0 %) обнаружены частицы округлой формы ЭП, которые были стабилизированы твердыми частицами

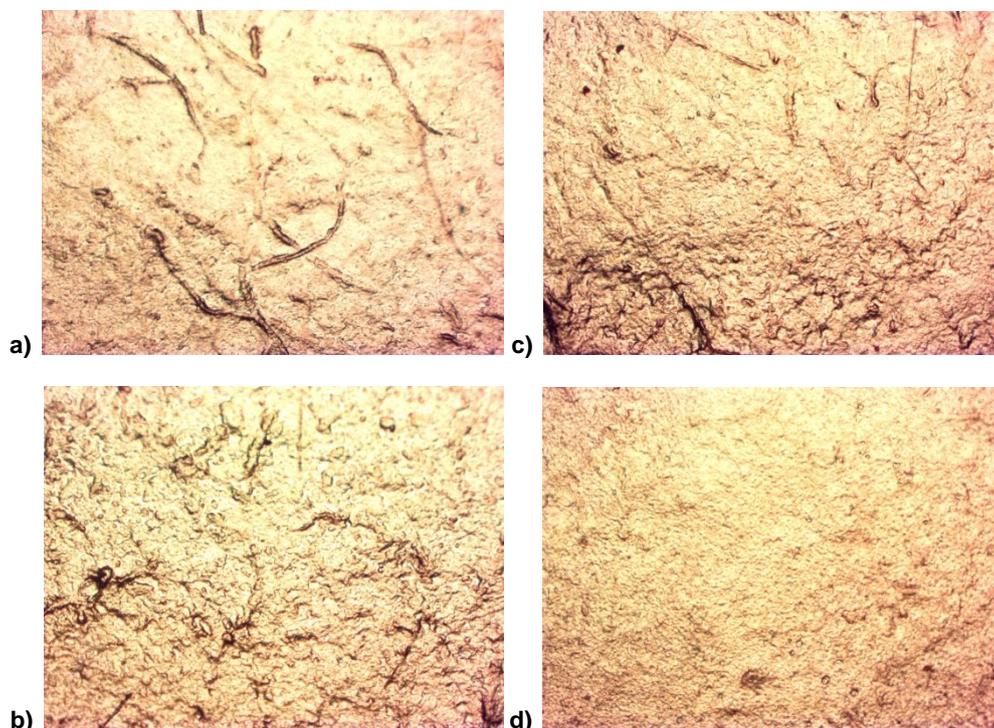


Рис. 1. Микрофотографии поверхности исследуемых образцов биоразлагаемого композитного материала на основе ЭП КМЦ, общее увеличение составляет $\times 40$: а) образец 1 – контроль, пленка без добавления ЭП КМЦ, б) образец 2 – пленка с ЭП КМЦ в количестве 0,5 %; с) образец 3 – пленка с ЭП КМЦ в количестве 1,5 %; д) образец 4 – пленка с ЭП КМЦ в количестве 2,0 %

КМЦ, встроенными в композитную крахмальную матрицу с целлюлозным волокном. Визуализация процесса встраивания ЭП КМЦ в матрицу биоразлагаемого композитного материала представлена на рис. 2.

На третьем этапе исследования у образцов биоразлагаемого композитного материала на основе эмульсии Пикеринга КМЦ оценивалось водопоглощение по ГОСТ 4650-2014. «Пластмассы. Методы определения водопоглощения». Водопоглощение – это показатель, который позволяет определить степень гидрофобности материала. Диффузия влаги в материал сопровождается уменьшением в нем межмолекулярного взаимодействия. Влага, воздействуя на материал, может повлиять на размеры изделия, снизить механическую прочность, вызвать дефекты поверхности материала. Таким образом, необходимо оценивать возможность влияния внешней жидкой среды на материалы. Как правило, чем выше водопоглощение, тем хуже эксплуатационные свойства материала. Результаты определения

водопоглощения исследуемых образцов биоразлагаемого композитного материала на основе эмульсии Пикеринга КМЦ представлены в табл. 2.

Самое высокое водопоглощение наблюдается у образца 2 (содержание ЭП КМЦ 0,5 %), данный процесс может быть связан с поглощением гидрофильного наполнителя, в то время как самое низкое водопоглощение наблюдается у образца 4 (содержание ЭП КМЦ 2,0 %). При увеличении содержания крахмала в пленке увеличивается диффузия влаги в материал. При увеличении концентрации ЭП КМЦ снижается водопоглощение. Таким образом, увеличиваются барьерные свойства материала. При выдерживании материала при температуре от 100 °С наблюдается разрушение и постепенное растворение образцов пленочного материала [7].

На заключительном этапе исследования у образцов биоразлагаемого композитного материала на основе ЭП КМЦ оценивалась биоразлагаемость в компосте в лабораторных ус-

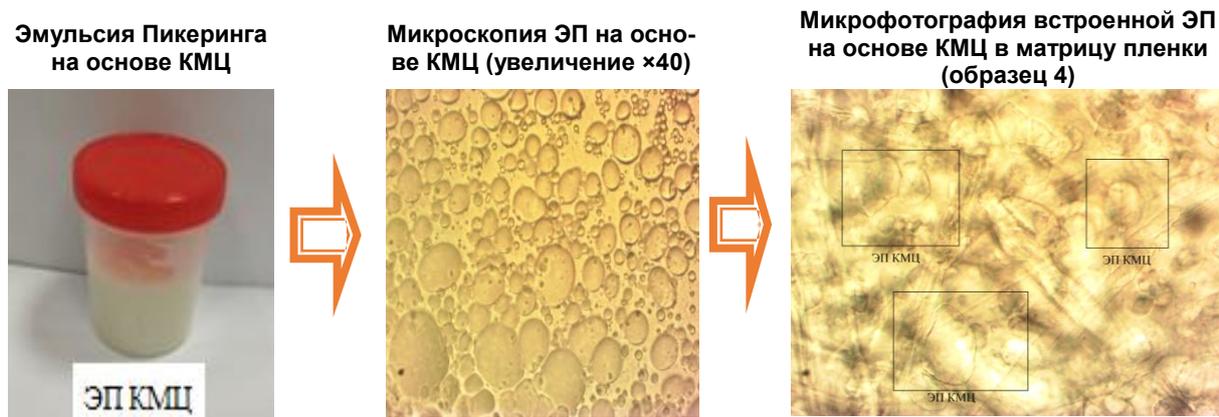


Рис. 2. Эмульсия Пикеринга, встроенная в матрицу биоразлагаемого композитного материала, образец 4 (содержание ЭП КМЦ 2,0 %)

Таблица 2
Результаты исследования водопоглощения биоразлагаемого композитного материала на основе ЭП КМЦ

Объект исследования	Условия проведения исследования водопоглощения			
	при температуре 23 °С			при температуре 100 °С
	24 ч	48 ч	96 ч	
Образец 1	60,87 ± 0,2	59,57 ± 0,2	59,99 ± 0,3	Растворился
Образец 2	63,72 ± 0,2	66,92 ± 0,1	67,76 ± 0,1	Растворился
Образец 3	60,32 ± 0,3	62,40 ± 0,2	60,43 ± 0,2	Растворился
Образец 4	57,54 ± 0,2	59,26 ± 0,2	54,92 ± 0,1	Растворился

ловиях в течение 1 месяца. Полученные результаты исследования представлены на рис. 3.

В ходе проведения исследования у всех образцов биоразлагаемого композитного материала (пленок) на основе ЭП КМЦ на биоразлагаемость в компосте в лабораторных условиях в течение 1 месяца было выявлено снижение массы. Наиболее интенсивная потеря массы наблюдается у образца 4 (содержание ЭП КМЦ 2,0 %). Образец пленки содержит в своем составе достаточно необходимых веществ для интенсивного протекания процесса деструкции в компосте и накопления в матрице материала плесневелых грибов. После изъятия из компоста пленка утрачивает свои первоначальные свойства до инкубирования [3, 10, 11].

Выводы по результатам работы

Таким образом, результаты исследования показали, что при изменении дозировки внесения эмульсии Пикеринга КМЦ в матрице биоразлагаемого композитного материала можно регулировать показатели водопоглощения и растворимость материала. При использовании ЭП КМЦ у образцов пленок наблюдается улучшение барьерных свойств. При повышении содержания ЭП КМЦ в матрице пленки наблюдается значительная потеря в массе при компостировании. Высокое водопоглощение пленочного материала приводит к снижению эксплуатационных свойств, таким образом можно раскрыть процессы, проходящие при компостировании и окислении. Для управления процессом биodeградации необходимо получить дополнительные сведения с целью обеспечения стабильности барьерных свойств.

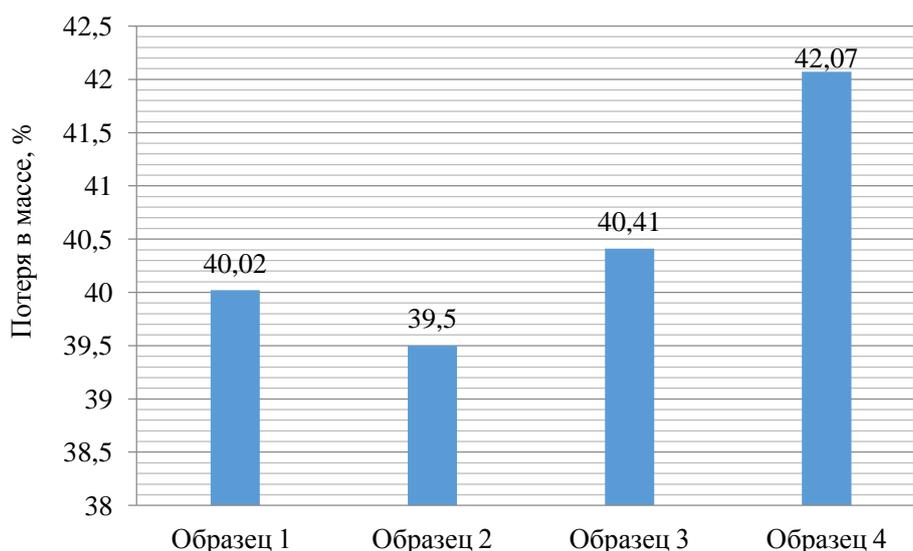


Рис. 3. Результаты исследования образцов биоразлагаемого композитного материала на основе ЭП КМЦ на биоразлагаемость в компосте в лабораторных условиях, 1 месяц

Список литературы

1. Власов С.В., Ольхов А.А. Биоразлагаемые полимерные материалы // Полимерные материалы: изделия, оборудование, технологии. 2006. № 7. С. 23–26.
2. Крутько Э.Т., Прокопчук Н.Р., Глоба А.И. Технология биоразлагаемых полимерных материалов. Минск: Изд-во БГТУ, 2014. 105 с.
3. Луканина Ю.К. и др. Влияние структуры полимерной матрицы на развитие микроорганизмов на смесевых композициях полиолефинов с целлюлозой / Ю.К. Луканина, Н.Н. Колесникова, А.Н. Лихачев и др. // Пластические массы. 2010. №11. С. 56–59.
4. Лонг Ю. Биоразлагаемые полимерные смеси и композиты из возобновляемых источников. СПб.: Научные основы и технологии, 2013. 464 с.

5. Мамадгулова Ш.Р., Шкуро А.Е., Захаров П.С., Глухих В.В. Влияние содержания карбоксиметилцеллюлозы и этилцеллюлозы на свойства композиционных материалов // *Материалы XIV*. 2023. С. 492–497.
6. Потороко И.Ю. и др. Биоразлагаемые материалы на основе растительных полисахаридов для упаковки пищевых продуктов. Часть 1 / И.Ю. Потороко, А.В. Малинин, А.В. Цатуров и др. // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии»*. 2020. Т. 8, № 2. С. 21–28. DOI: 10.14529/food200203
7. Потороко И.Ю. и др. Биоразлагаемые материалы на основе растительных полисахаридов для упаковки пищевых продуктов. Часть 3: Исследование способности к биоразложению / И.Ю. Потороко, А.В. Малинин, А.В. Цатуров и др. // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии»*. 2022. Т. 10, № 1. С. 107–116. DOI: 10.14529/food220112
8. Ali Ghadetaj, Hadi Almasi, Laleh Mehryar. Development and characterization of whey protein isolate active films containing nanoemulsions of *Grammosciadium ptocarpum* Bioss. essential oil // *Food Packaging and Shelf Life*. 2018. Vol. 16. P. 31–40. DOI: 10.1016/j.fpsl.2018.01.012
9. Alberto Jimenez, María Jose Fabra, Pau Talens Amparo Chiralt. Edible and Biodegradable Starch Films: A Review // *Food and Bioprocess Technology*. 2012. Vol. 5. P. 2058–2076. DOI: 10.1007/s11947-012-0835-4
10. Bledzki A.K., Gassan J. Composites reinforced with cellulose based fibres // *Progress in Polymer Science (Oxford)*. 1999. Vol. 24(2). P. 221–274. DOI: 10.1016/s0079-6700(98)00018-5
11. Curvelo A.A.S., de Carvalho A.J.F., Agnelli J.A.M. Thermoplastic starch-cellulosic fibers composites: preliminary results // *Carbohydrate Polymers*. 2001. Vol. 45(2). P. 183–188. DOI: 10.1016/s0144-8617(00)00314-3
12. Lu X., Wang Y., Li Y., Huang Q. Assembly of Pickering emulsions using milled starch particles with different amylose/amylopectin ratios // *Food Hydrocolloids*. 2018. Vol. 84. P. 47–57. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2018.05.045.
13. Nan F., Wu J., Qi F., Liu Y., Ngai T., Ma G. Uniform chitosan-coated alginate particles as emulsifiers for preparation of stable Pickering emulsions with stimulus dependence // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2014. Vol. 456. P. 246–252. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2014.05.017.

References

1. Vlasov S.V., Olkhov A.A. [Biodegradable polymer materials]. *Polimernye materialy: izdeliya, oborudovanie, tekhnologii* [Polymer materials: products, equipment, technologies], 2006, no. 7, pp. 23–26. (In Russ.)
2. Krutko E.T., Prokopchuk N.R., Globa A.I. *Tekhnologiya biorazlagaemykh polimernykh materialov* [Technology of biodegradable polymer materials]. Minsk, 2014. 105 p.
3. Lukanina Yu.K., Kolesnikova N.N., Likhachev A.N., Khvatov A.V., Popov A.A. Influence of the polymer matrix structure on the development of micromycetes on mixed compositions of polyolefins with cellulose. *Plastic masses*, 2010, no. 11, pp. 56–59. (In Russ.)
4. Long Yu. *Biorazlagaemye polimernye smesi i kompozity iz vozobnovlyaemykh istochnikov* [Biodegradable polymer mixtures and composites from renewable sources]. St. Petersburg, 2013. 464 p.
5. Mamadgulova Sh.R., Shkuro A.E., Zakharov P.S., Glukhikh V.B. Influence of the content of carboxymethylcellulose and ethylcellulose on the properties of composite materials. *Materials XIV*, 2023, pp. 492–497. (In Russ.)
6. Potoroko I.Yu., Malinin A.V., Tsaturov A.V., Uday Bagale Biodegradable Materials Based on Plant Polysaccharides for Food Packaging. Part 1. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2020, vol. 8, no. 2, pp. 21–28. (In Russ.) DOI: 10.14529/food200203
7. Potoroko I.Yu., Malinin A.V., Tsaturov A.V., Kadi A.M.Y., Botvinnikov N.A., Genzhak Z.Yu. Biodegradable materials based on plant polysaccharides for food packaging. Part 3: Study of biodegradation. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2022, vol. 10, no. 1, pp. 107–116. (In Russ.) DOI: 10.14529/food220112

8. Ali Ghadetaj, Hadi Almasi, Laleh Mehryar. Development and characterization of whey protein isolate active films containing nanoemulsions of *Grammosciadium ptrocarpum* Bioss. essential oil. *Food Packaging and Shelf Life*, 2018, vol. 16, pp. 31–40. DOI: 10.1016/j.foodpack.2018.01.012
9. Alberto Jimenez, María Jose Fabra, Pau Talens Amparo Chiralt. Edible and Biodegradable Starch Films: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 2012, vol. 5, pp. 2058–2076. DOI: 10.1007/s11947-012-0835-4
10. Bledzki A.K., Gassan J. Composites reinforced with cellulose based fibres. *Progress in Polymer Science (Oxford)*, 1999, vol. 24(2), pp. 221–274. DOI: 10.1016/s0079-6700(98)00018-5
11. Curvelo A.A.S., de Carvalho A.J.F., Agnelli J.A.M. Thermoplastic starch-cellulosic fibers composites: preliminary results. *Carbohydrate Polymers*, 2001, vol. 45(2), pp. 183–188. DOI: 10.1016/s0144-8617(00)00314-3
12. Lu X., Wang Y., Li Y., Huang Q. Assembly of Pickering emulsions using milled starch particles with different amylose/amylopectin ratios. *Food Hydrocolloids*, 2018, vol. 84, pp. 47–57. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2018.05.045.
13. Nan F., Wu J., Qi F., Liu Y., Ngai T., Ma G. Uniform chitosan-coated alginate particles as emulsifiers for preparation of stable Pickering emulsions with stimulus dependence. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2014, vol. 456, pp. 246–252. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2014.05.017.

Информация об авторах

Малинин Артем Владимирович, ассистент кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, malininav@susu.ru

Цатуров Арам Валерикович, ассистент кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, aram-chel@mail.ru

Петросян Эрнест Рубикович, студент бакалавр кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, mb2201per16@susu.ru

Энтону Мозес Эдаче, аспирант кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), moentos@yahoo.com

Information about the authors

Artem V. Malinin, Assistant at the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, malininav@susu.ru

Aram V. Tsaturov, Assistant at the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, aram-chel@mail.ru

Ernest R. Petrosyan, Bachelor's student of the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, mb2201per16@susu.ru

Moses Edache Entonu, Post-graduate student at the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, moentos@yahoo.com

Статья поступила в редакцию 03.06.2024

The article was submitted 03.06.2024