

БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИСАХАРИДОВ ДЛЯ УПАКОВКИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ. ЧАСТЬ 1

И.Ю. Потороко¹, А.В. Малинин¹, А.В. Цатуров¹, Удей Багале^{1,2}

¹ Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

² Национальный технологический институт Варангала, Варангал, шт. Телангана, Индия

Каждый день в мире используется более 4 миллиардов пакетов из синтетических полимеров при среднем времени использования пакета около 20 минут, в то же время срок разложения данного вида материала в компосте составляет около 100–500 лет. Решение этой проблемы может быть достигнуто путем создания биоразлагаемого композиционного материала на основе растительных биополимеров, которые могли бы распадаться. Данное направление на сегодняшний день является актуальным в связи с постоянно возрастающими объемами производства полимеров и полимерных изделий, приводящих к загрязнению окружающей среды (на сегодняшний день полиэтилен и изделия из него составляют 40 % бытового мусора), вопросы их утилизации становятся глобальной экологической проблемой для биоразложения материала на безопасные вещества под действием окружающей среды. Целью настоящего исследования стало изучение свойств биodeградируемого полимера на основе крахмала кукурузного и целлюлозного волокна, путем подбора оптимальных технологических параметров и соотношения компонентного состава для получения пленочного материала с улучшенными характеристиками, близкими к аналогу изделия упаковки, и в то же время обладающими биоразлагаемой способностью. Поэтому для решения данной проблемы применялся подбор и вариации соотношения органических компонентов в композиционном матриксе суспензии, анализ технологических параметров и поэтапное смешивание и тепловая обработка до образования гелеобразных суспензий для получения биodeградируемых пленок с улучшенными характеристиками. В процессе исследования нами было установлено, что наилучшими показателями обладает образец 2 (1,5 % кукурузного крахмала / 0,5 % целлюлозы / 0,2 % альгината натрия). Пленочный материал полупрозрачный, матовый, поверхность однородная без наличия дефектов, имеет повышенную эластичность при высокой прочности. Полученный пленочный материал может быть использован для создания упаковочных материалов для пищевой отрасли для снижения нагрузки на окружающую среду.

Ключевые слова: биodeградируемая пленка, кукурузный крахмал, целлюлоза, альгинат натрия, пластификатор, экология.

Введение

В последнее десятилетие полимеры из возобновляемых источников сырья пользуются большим интересом в связи с образовавшимися причинами: ограниченность нефтяных ресурсов и экологические проблемы, из которых можно выделить наиболее значимые, такие как накопление и утилизация бытового мусора, устойчивость к агрессивным средам, отрицательно сказывающиеся на окружающей среде. Разработка новых биоразлагаемых полимеров на основе растительных биополимеров и их производных с синтетическими полимерами, исследование свойств и структуры представляют большой интерес и открывают возможности для создания новых биodeградируемых систем [1, 3, 7].

Биополимеры из возобновляемых источников сырья подразделяют на три группы:

природные полимеры, синтетические полимеры из природных мономеров, полимеры микробной ферментации. Главным преимуществом данных материалов является их разложение под воздействием окружающей среды (биоразлагаемость), и их конечные продукты являются безопасными и экологически чистыми [11].

В настоящее время производство биоразлагаемых материалов для упаковки приобретает все больший интерес, а основным сырьем являются полисахариды, прежде всего крахмал, целлюлоза, хитозан, отходы деревопереработки. Известны разработки на основе крахмала кукурузного, который для повышения технологических характеристик пластифицируют глицерином или полиэтиленгликолем с молекулярной массой более 3000, что минимизирует хрупкость пленки [5].

Крахмал кукурузный является сырьем для различных технологий, извлекаемый посредством разрушения белковых связей из зерен кукурузы. В кукурузном крахмале содержание амилозы составляет 28 %, а температура клейстеризации находится в пределах от 62 до 70 °C [2–4, 9].

Для повышения эксплуатационных характеристик биополимерных пленок в состав композиционной суспензии могут вноситься целлюлозное волокно, которое имеет фибриллярное строение. Целлюлоза – это растительный полисахарид, получаемый из древесины, обладает меньшей гидрофильностью, чем крахмал, тем самым позволяет повысить ряд характеристик биоразлагаемого полимера, повысить устойчивость к деградации воды и повысить прочность пленочных материалов [8, 13].

Целью данного исследования является изучение свойств биodeградируемого полимеров при различном соотношении основных сырьевых компонентов (крахмала кукурузного и целлюлозы).

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись биополимерные пленки, полученные при различном соотношении основного сырья – кукурузного крахмала (ГОСТ 32159-2013) и растительной целлюлозы ГОСТ 28172-89). В качестве дополнительных компонентов применяли поливиниловый спирт (ГОСТ 10779-78), альгинат натрия (ТУ 9284-003-31304107-98), пластификаторы и воду дистиллированную. Соотношение основных компонентов в составе биodeградируемого полимера (пленки) представлено в табл. 1.

Таблица 1
Соотношение основных рецептурных компонентов для получения биodeградируемого полимера (пленки)

Наименование образца	Наименование компонентов и вносимое количество, %	
	Крахмал кукурузный	Целлюлоза
Образец 1	1,5	0,3
Образец 2	1,5	0,5
Образец 3	2,0	0,3
Образец 4	2,0	0,5

Для повышения барьерных свойств в композиционный состав может вноситься поливиниловый спирт (ПВС). Данный компо-

нент является биоразлагаемым синтетическим полимером, безопасным, не токсичным [14].

Для придания биоразлагаемому полимеру таких свойств, как антимикробная активность, в состав полимера может вноситься альгинат натрия. Эти защитные свойства очень важны в условиях современной экологической нестабильности [12].

Пластичность и гибкость, эластичность биodeградируемого полимера достигается за счет внесения в систему композита пластификатора – глицерина [19].

Для получения биodeградируемого полимера (пленки) были приготовлены два раствора, которые смешивали на механической мешалке с подогревом в течение 10 минут.

Композиционную суспензию переносили в чашки Петри для формования и высушивали в течение 20...24 часов при температуре 20...24 °C и относительной влажности воздуха не выше 60 % [10].

Полученные образцы пленок оценивали по следующей номенклатуре показателей:

Микроскопическое исследование поверхности пленок. Исследование поверхности пленочного материала исследуемых образцов осуществлялось с помощью микроскопа оптического «Микромед ПОЛАР 1» (общее увеличение составляет $\times 100$).

Определение деформационно-механических показателей пленок. Определение физико-механических свойств исследуемых образцов проводилось в соответствии с ГОСТ 14236-81 «Пленки полимерные. Методы испытания на растяжение» на разрывной машине Instron 5942. Скорость деформации образца 100 мм/мин. Длина образцов составляла 110 мм, ширина – 15 мм.

Определение толщины пленок. Толщину пленок измеряли с помощью механического микрометра «ТОРЕХ 31с629». Для каждой пленки выполняли по 4 измерения. Затем определяли средний показатель толщины пленки [15].

Исследования биоразлагаемости исследуемых образцов пленок в компосте в лабораторных условиях. Сущность метода заключается в имитации естественных почвенных условий. Исследуемые образцы пленок помещают в компост определенного биохимического состава, температуры и влажности. Для этих целей использовали смесь почвенную «Кудесница», универсальная. Состав: торф, дерновая почва, перегной, минеральные до-

бавки – структурообразователи. рН смеси почвенной составляет от 6,0 до 7,0. Скорость биоразлагаемости исследуемых образцов оценивается по динамике изменения их массы во времени, а также ряда характеристик. Процент снижения массы определяли по формуле:

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

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).

Результаты и их обсуждение

Для установления эффективного соотношения компонентов в биоразлагаемом полимере производилось варьирование количества полимеров (кукурузного крахмал и целлюлозы) с установленным количеством ПВС (поливиниловый спирт), альгината натрия, растворителя и пластификатора. Полученные образцы пленок (рис. 1) обладали повышенной

эластичностью, бесцветные матовые полупрозрачные.

Образцы пленок (2, 3, 4) имели поверхность однородную без включений нерастворенного ПВС, волокна целлюлозы равномерно встроены в структуру пленки. У образца 1 присутствуют на поверхности небольшие включения ПВС. При растяжении все образцы пленок сохраняли целостность и возвращали исходную форму после снятия нагрузки.

Результаты исследования поверхности пленок с использованием микроскопа оптического «Микромед ПОЛАР 1» (общее увеличение составляет $\times 100$) представлены на рис. 2.

Данные рис. 2 иллюстрируют детальное распределение целлюлозного компонента в системе пленки. Так, в образцах 1 (а), 2 (б) наполнитель – целлюлозное волокно – равномерно распределено по всей поверхности композиционного пленочного материала, частицы целлюлозного волокна имеют разную

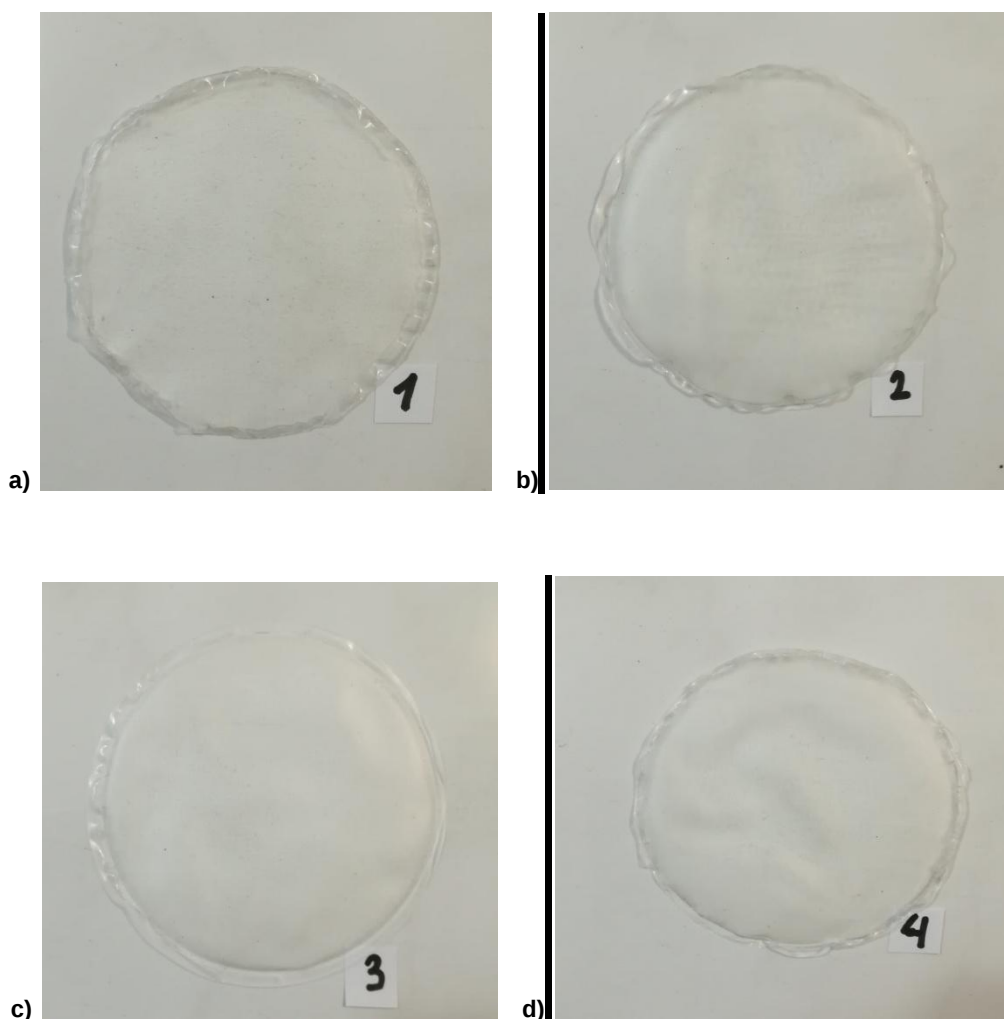


Рис. 1. Внешний вид образцов биodeградируемых пленок, полученных при различном соотношении основного сырья: (а – образец 1, б – образец 2, с – образец 3, d – образец 4)

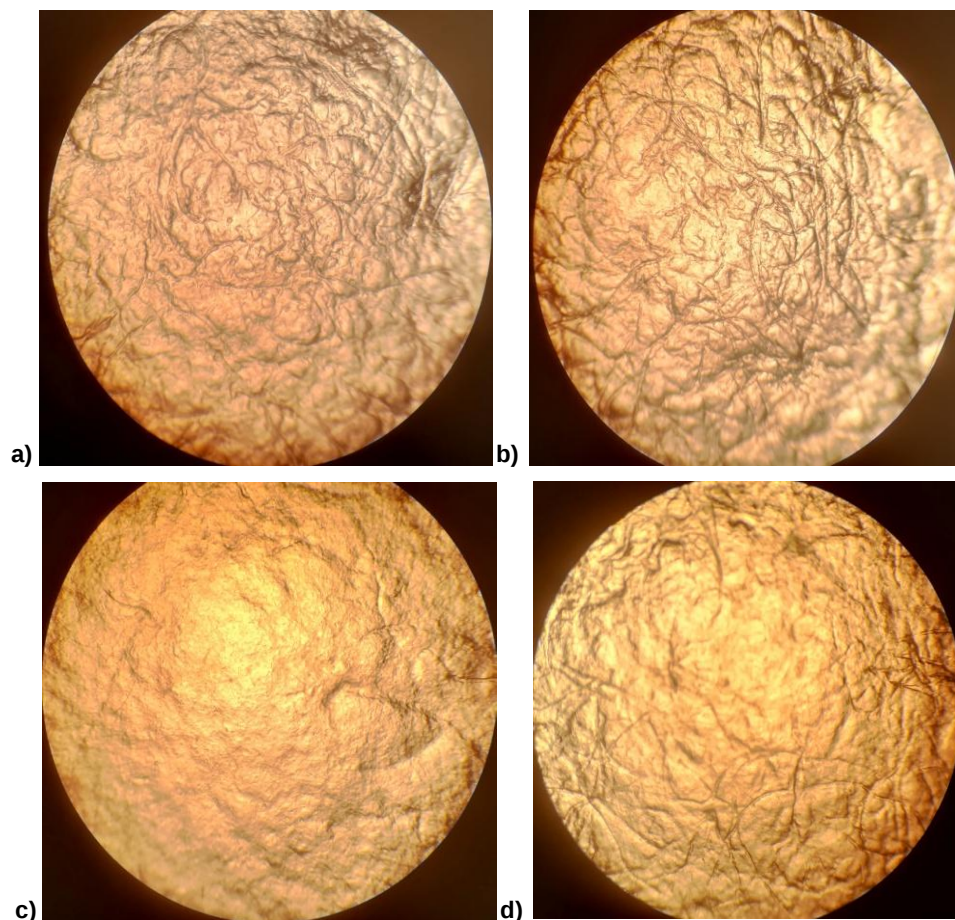


Рис. 2. Микрофотографии поверхности исследуемых опытных образцов биodeградируемых пленок, общее увеличение составляет $\times 100$: (а – образец 1, б – образец 2, с – образец 3, d – образец 4)

длину. Поверхность образцов рельефная, на поверхности присутствуют уплотнения. Для образца 3 (с) в поле зрения наблюдается более однородная поверхность, волокно целлюлозы обволакивается пластифицированным крахмалом в присутствии ПВС, устраняя рельефные места на поверхности материала. В структуре образца 4 (d) можно заметить меньшее количество встроенных частиц, поверхность рельефная, без видимых дефектов структуры. Следовательно, изменения в структуре полимера зависят от соотношения компонентов и их количестве в композите.

Результаты исследования физико-механических показателей, полученные для опытных образцов пленок при разном соотношении основных компонентов состава, представлены в табл. 2.

Полученные результаты свидетельствует о том, что увеличение концентрации целлюлозы и альгината натрия в составе пленки способствуют повышению показателей

«прочность на разрыв», «относительное удлинение». Изменение содержания крахмала кукурузного в данном композите влияет на увеличение показателя относительного удлинения. Наибольшей прочностью на разрыв обладает образец 2, в то время как наименьшей прочностью на разрыв обладает образец 1. Стоит отметить, что за счет изменения толщины пленки будут изменяться физико-механические показатели.

На заключительном этапе было проведено исследование биоразлагаемости исследуемых образцов пленок в компосте в лабораторных условиях, степень биodeградации исследуемых образцов оценивали по показателю потери массы (рис. 3).

В ходе проведения исследования в течение 3-х недель было установлено снижение массы у всех исследуемых образцов пленок. Наиболее интенсивно протекает процесс биodeструкции пленочного материала у образца 4, и по исчислению трех недель масса снижа-

Таблица 2

Результаты оценки физико-механических показателей опытных образцов
биodeградируемых пленок

Объект исследования	Толщина пленки, мм	Прочность на раз- рыв, МПа	Относительное удлинение, %
Образец 1	0,21	6,9	6,99
Образец 2	0,25	10,7	8,97
Образец 3	0,25	7,5	10,84
Образец 4	0,26	8,5	10,89

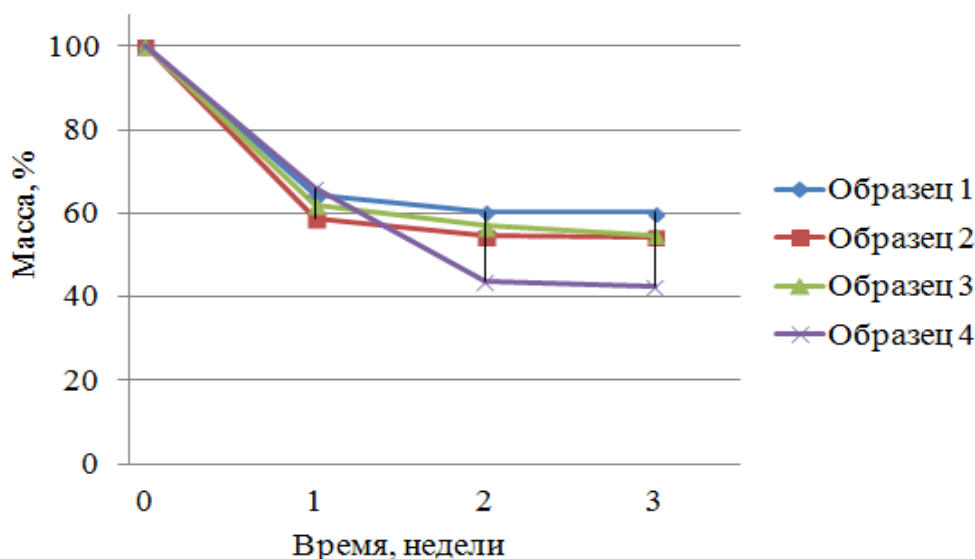


Рис. 3. Кинетические кривые снижения массы образцов биodeградируемого полимера (пленок) после выдерживания в компосте

ется до 42,67 %. Более длительно подвергается биодеструкции образец 1, масса которого снижается до 60,25 % по окончании эксперимента. После изъятия образцов из компоста на образце 2 наблюдается образование белого налета на поверхности пленки, данные изменения могут быть вызваны поражением материала почвенными бактериями и грибами. Данный метод анализа лишь косвенно позволяет судить о биodeградации образцов в компосте [16–18, 20].

Для раскрытия механизмов влияния компонентов основного и вспомогательного сырья на процессы биodeградации необходимо продолжить исследования опытных образцов по расширенной номенклатуре показателей.

Выводы по результатам работы

Таким образом, результаты исследования показали, что при изменении вариации компонентов (крахмала кукурузного и целлюлозы) в суспензии композиционного материала можно регулировать свойства биodeградируемого полимера, влияя на продолжитель-

ность процесса биоразложения. В результате полного биоразложения материала в компосте происходит образование углекислого газа, воды и минеральных солей. Наилучшие показатели наблюдаются у образца 2 (1,5 % кукурузного крахмала / 0,5 % целлюлозы / 0,2 % альгината натрия). Пленочный материал обладает повышенной эластичностью, цвет матовый прозрачный, поверхность однородная без наличия дефектов. Полученный пленочным материал может быть использован для создания упаковочных материалов и изделий кратковременного назначения для снижения нагрузки на окружающую среду [6, 8].

Литература

1. Власов, С.В., Ольхов, А.А. Биоразлагаемые полимерные материалы // *Полимерные материалы: изделия, оборудование, технологии*. – 2006. – № 7. – С. 23–26.
2. Гулюк, Н.Г. Крахмал и крахмалопродукты/ Н.Г. Гулюк. – М.: Агропромиздат, 1985. – 240 с.

3. Дятлов, Д.С., Гулемова, Л.Р. Биопластики как замена стандартных полимерных материалов // *Материалы и методы инновационных научно-практических исследований и разработок* Калуга, 28 октября 2019 г. – 2019. – С. 57–59.
4. Захарова, Т.Н. Органическая химия / Т.Н. Захарова, Н.А. Головлева. – М.: Академия, 2012. – 400 с.
5. Крутько, Э.Т. Технология биоразлагаемых полимерных материалов / Э.Т. Крутько, Н.Р. Прокопчук, А.И. Глоба. – Минск: Изд-во БГТУ, 2014. – 105 с.
6. Легонькова О.А., Федотова М.С. Биополимеры в упаковочной отрасли // *Переработка молока*. – 2012. – № 6. – С. 48–51.
7. Легонькова, О.А. Биоразлагаемые материалы в технологии упаковки // *Тара и упаковка*. – 2003. – № 6. – С. 56–60.
8. Лонг, Ю. Биоразлагаемые полимерные смеси и композиты из возобновляемых источников/ Ю. Лонг. – СПб.: Научные основы и технологии, 2013. – 464 с.
9. Оганесян Э.Т. Органическая химия / Э.Т. Оганесян. – Ростов н/Д: Феникс, 2016. – 429 с.
10. Рыбкина С.П., Пахаренко В.В., Булах В.Ю. Биоразлагаемые упаковочные материалы на основе полисахаридов (крахмала) // *Пластические массы*. – 2012. – № 2. – С. 61–64.
11. Сивкова, Г.А. Получение биоразлагаемого пластика из возобновляемого сырья/ Г.А. Сивкова, А.А. Хусаинова // *Традиционная и инновационная наука: история, современное состояние, перспективы*, Саратов, 10 января 2020 г. – 2020. – С. 25–30.
12. Тюкавкина, Ю.И. Биоорганическая химия/ Ю.И. Тюкавкина, Ю.И. Бауков. – М.: Дрофа, 2004. – 544 с.
13. Терентьева, Э.П. Основы химии целлюлозы и древесины: учебно-методическое пособие / Э.П. Терентьева, Н.К. Удовенко, Е.А. Павлова, Р. Г. Алиев. – СПб.: ГОУВПО СПбГТУ РП, 2010. – 23 с.
14. Ушаков, С.Н. Поливиниловый спирт и его производные / С.Н. Ушаков. – Москва – Л.: Академия наук СССР, 1960. – 553 с.
15. Ali Ghadetaj, Hadi Almasi, Laleh Mehryar. Development and characterization of whey protein isolate active films containing nanoemulsions of *Grammosciadium ptoecarpum* Bioss. essential oil. *Food Packaging and Shelf Life* 16, (2018) 31–40.
16. Alberto Jimenez, María Jose Fabra, Pau Talens Amparo Chiralt. Edible and Biodegradable Starch Films: A Review. *Food and Bioprocess Technology* 5, (2012) 2058–2076.
17. A.A. S Curvelo, A.J. F de Carvalho, J.A. M Agnelli. Thermoplastic starch-cellulosic fibers composites: preliminary results. *Carbohydrate Polymers* 45, (2001) 183–188.
18. Parker R., Ring S.G. Starch structure and properties. *Carbohydr. Eur.* (1996) 6–10.
19. Pareta, R. A novel method for the preparation of starch films and coatings /R. Pareta, M. J. Edirisinghe // *Carbohydrate Polymers*. – 2006. – V. 63, № 3. – P. 425–431.
20. Yu L., Petinakis S., Dean K., Bilyk A., Wu D. Green polymeric blends and composites from renewable resources. *Macromol. Symp.* (2007) 535–539.

Потороко Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), irina_potoroko@mail.ru

Малинин Артем Владимирович, магистрант кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), artemmalinin3@gmail.com

Цатуров Арам Валерикович, магистрант кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), aram-chel@mail.ru

Удей Багале, Ph.D, кафедра химической инженерии, Национальный технологический институт (Варангал, шт. Телангана, Индия); Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), uday_bagale@yahoo.co.in

Поступила в редакцию 7 апреля 2020 г.

BIODEGRADABLE MATERIALS BASED ON PLANT POLYSACCHARIDES FOR FOOD PACKAGING. PART 1

I.Yu. Potoroko¹, A.V. Malinin¹, A.V. Tsaturov¹, Uday Bagale^{1,2}

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

² National Institute of Technology, Warangal, Telangana State, India

Every day, more than 4 billion bags of synthetic polymers are used in the world, with an average use time of about 20 minutes, while the decomposition time of this type of material in compost is about 100–500 years. The solution to this problem can be achieved by creating a biodegradable composite material based on plant biopolymers that could break down. This direction is currently relevant due to the constantly increasing volumes of production of polymers and polymer products that lead to environmental pollution (today, polyethylene and products made from it make up 40 % of household garbage), the issues of their utilization are becoming a global environmental problem for the biodegradation of material into safe substances under the influence of the environment. The purpose of this study was to study the properties of a biodegradable polymer based on corn starch and cellulose fiber, by selecting the optimal technological parameters and the ratio of component composition to obtain a film material with improved characteristics close to the analog of the packaging product and at the same time having a biodegradable ability. Therefore, to solve this problem, we used the selection and variation of the ratio of organic components in the composite matrix of the suspension, the analysis of technological parameters and step-by-step mixing, and heat treatment to form gel-like suspensions to obtain biodegradable films with improved characteristics. In the course of our research, we found that sample 2 has the best indicators (1.5 % corn starch/ 0.5 % cellulose/ 0.2 % sodium alginate). The film material is translucent, Matt, the surface is uniform without defects, has increased elasticity with high strength. The resulting film material can be used to create packaging materials for the food industry to reduce the environmental burden.

Keywords: biodegradable film, corn starch, cellulose, sodium alginate, plasticizer, ecology.

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. Gulyuk N.G. *Krakhmal i krakhamloprodukty* [Starch and starch products]. Moscow, 1985. 240 p.
3. Dyatlov D.S., Galimova L.R. [Bioplastic as a replacement for the standard polymer materials]. *Materialy i metody innovatsionnykh nauchno-prakticheskikh issledovaniy i razrabotok* [Materials and methods of innovative scientific and practical research and development]. Kaluga, October 28, 2019, pp. 57–59. (in Russ.)
4. Zakharova T.N., Golovleva N.A. *Organicheskaya khimiya* [Organic chemistry]. Moscow, 2012, 400 p.
5. Krutko E.T., Prokopchuk N.R., Globa A.I. *Tekhnologiya biorazlagaemykh polimernykh materialov* [Technology of biodegradable polymer materials]. Minsk, 2014, 105 p.
6. Legonkova O.A., Fedotova M.S. [Biopolymers in the packaging industry]. *Pererabotka moloka* [Milk processing], 2012, no. 6, pp. 48–51. (in Russ.)
7. Legonkova O.A. [Biodegradable materials in packaging technology]. *Tara i upakovka* [Tare and packaging], 2003, no. 6, pp. 56–60. (in Russ.)
8. Long Yu. *Biorazlagaemye polimernye smesi i kompozity iz vozobnovlyaemykh istochnikov* [Biodegradable polymer mixtures and composites from renewable sources]. St. Petersburg, 2013, 464 p.
9. Oganessian E.T. *Organicheskaya khimiya* [Organic chemistry]. Rostov n/D, 2016. 429 p.
10. Rybkina S.P., Pakharensko V.V., Bulakh V.Yu. [Biodegradable packaging materials based on polysaccharides (starch)]. *Plasticheskie massy* [Plastic masses], 2012, no. 2, pp. 61–64. (in Russ.)

11. Sivkova G.A., Khusainova A.A. [Getting biodegradable plastic from renewable raw materials]. *Traditsionnaya i innovatsionnaya nauka: istoriya, sovremennoe sostoyanie, perspektivy* [Traditional and innovative science: history, current state, prospects], Saratov, January 10, 2020, pp. 25–30.
12. Tyukavkina Yu.I., Baukov Yu.I. *Bioorganicheskaya khimiya* [Bioorganic chemistry]. Moscow, 2004. 544 p.
13. Terenteva E.P., Udovenko N.K., Pavlova E.A., Aliyev R.G. *Osnovy khimii tsellyulozy i drevesiny* [Fundamentals of pulp and wood chemistry]. St. Petersburg, 2010. 23 p.
14. Ushakov S.N. *Polivinilovyy spirt i ego proizvodnye* [Polyvinyl alcohol and its derivatives]. Moscow-Leningrad, 1960. 553 p.
15. Ali Ghadetaj, Hadi Almasi, Laleh Mehryar. Development and characterization of whey protein isolate active films containing nanoemulsions of Grammosciadium procarpum Bioss. essential oil. *Food Packaging and Shelf Life* 16, (2018), pp. 31–40.
16. Alberto Jimenez, Maria Jose Fabra, Pau Talens Amparo Chiralt. Edible and Biodegradable Starch Films: A Review. *Food and Bioprocess Technology* 5, 2012, pp. 2058–2076.
17. A. A. S Curvelo, A. J. F de Carvalho, J. A. M Agnelli. Thermoplastic starch–cellulosic fibers composites: preliminary results. *Carbohydrate Polymers* 45, 2001, pp.183–188.
18. Parker R., Ring S.G. Starch structure and properties. *Carbohydr. Eur.*, 1996, pp. 6–10.
19. Pareta, R. A novel method for the preparation of starch films and coatings /R. Pareta, M. J. Edirisinghe. *Carbohydrate Polymers*, 2006, vol. 63, no.3, pp. 425–431.
20. Yu L., Petinakis S., Dean K., Bilyk A., Wu D. Green polymeric blends and composites from renewable resources. *Macromol. Symp.*, 2007, pp. 535–539.

Irina Yu. Potoroko, Doctor of Sciences (Engineering), Professor of the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, irina_potoroko@mail.ru

Artem V. Malinin, Master's student at the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, artemmalinin3@gmail.com

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

Uday Bagale, Doctor of Philosophy, Department of Chemical Engineering, National Institute of Technology (Warangal, Telangana State, India); South Ural State University, Chelyabinsk, uday_bagale@yahoo.co.in

Received April 7, 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Биоразлагаемые материалы на основе растительных полисахаридов для упаковки пищевых продуктов. Часть 1 / И.Ю. Потороко, А.В. Малинин, А.В. Цатуров, Удей Багале // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2020. – Т. 8, № 2. – С. 21–28. DOI: 10.14529/food200203

FOR CITATION

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
