

OBTAIN OF CUTIN ISOLATE FROM AGRO-FOOD WASTE FOR FOOD PRESERVATION

A.B. Issayeva^{1*}, S. Aidarova¹, K. Musabekov¹, J. Katona², A.A. Babayev¹,
A.A. Sharipova³, R. Sarsembekova¹

¹ Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan

² University of Novi Sad, Serbia

³ Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

*E-mail: isa-ase@mail.ru

Abstract. Nowadays, various packaging materials are widely used in the food industry, with plastic remaining the most common due to its light weight, transparency, and mechanical strength. However, the use of plastic leads to significant environmental consequences, including its long degradation period and contribution to environmental pollution. This underscores the urgent need to develop sustainable, biodegradable, and environmentally friendly packaging alternatives. This study explores the potential for obtaining a natural biopolymer – cutin – from tomato peels, which are classified as agro-food waste. Cutin, the main structural component of the plant cuticle, possesses unique properties such as hydrophobicity, UV resistance, biodegradability, and excellent barrier characteristics. These features make it a promising raw material for the development of edible and eco-friendly packaging films. In this work an alkaline extract of cutin was obtained for the subsequent preparation of an aqueous dispersion of its nanoparticles. The paper provides a detailed description of the isolation process and presents the physicochemical characterization of the resulting samples. The obtained data demonstrate the high potential of cutin as a sustainable packaging material capable of replacing conventional synthetic films and extending the shelf life of food products while reducing environmental impact.

Key words: cutin, nanoparticles, food preservation, biopolymer, tomato peels, sustainable packaging, edible film, natural coating.

<i>Issayeva Assem Bakhytzhonovna</i>	PhD, Scientific researcher; E-mail: isa-ase@mail.ru
<i>Aidarova Saule Baylyarovna</i>	Doctor of chemical sciences, professor; E-mail: ainano9999@gmail.com
<i>Musabekov Kuanyshbek Bituovich</i>	Doctor of Chemical Sciences, Professor; E-mail: Kuanyshbek.Musabekov@kaznu.kz
<i>Jaroslav Katona</i>	PhD, Associate professor; E-mail: jaroslav.katona@uns.ac.rs
<i>Babayev Alpamys Altayevich</i>	PhD student; E-mail: a_babayev@mail.ru
<i>Sharipova Altyнай Azigarovna</i>	PhD, Research professor; E-mail: a_sharipova85@mail.ru
<i>Sarsembekova Raziya Aueskhanovna</i>	PhD student; E-mail: raziyasarsembekova@gmail.com

Citation: Issayeva A.B., Aidarova S., Musabekov K., Katona J., Babayev A.A., Sharipova A.A., Sarsembekova R. Obtain of cutin isolate from agro-food waste for food preservation. *Chem. J. Kaz.*, 2025, 3(91), 74-83. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2025-3.2710-1185.36>

ПОЛУЧЕНИЕ ИЗОЛЯТА КУТИНА ИЗ АГРОПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ КОНСЕРВАЦИИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

А.Б.Исаева^{1*}, *С.Б. Айдарова*¹, *К.Б. Мусабеков*¹, *Я. Катона*²,
*А.А. Бабаев*¹, *А.А.Шарипова*³, *Р.А. Сарсембекова*¹

¹ *Казахстанско-Британский технический университет, Алматы, Казахстан*

² *University of Novi Sad, Serbia*

³ *Satbayev university, Алматы, Казахстан*

*E-mail: isa-ase@mail.ru

Резюме. На сегодняшний день в пищевой промышленности широко применяются различные упаковочные материалы, основным из которых остаётся пластик благодаря своей лёгкости, прозрачности и механической прочности. Однако его использование вызывает серьёзные экологические последствия, включая длительный срок разложения и загрязнение окружающей среды. Это обуславливает необходимость разработки устойчивых, биоразлагаемых и безопасных для природы упаковочных решений. В данной работе рассматривается возможность получения природного биополимера кутина из кожуры томатов, относящейся к агропищевым отходам. Кутин, как основной структурный компонент кутикулы растений, обладает уникальными свойствами – гидрофобностью, устойчивостью к УФ-излучению, биоразлагаемостью и выраженными барьерными характеристиками. Он представляет интерес как сырьё для создания съедобных и экологически безопасных упаковочных плёнок. Был получен щелочной экстракт кутина для последующей подготовки водной дисперсии его наночастиц. В работе подробно описаны этапы получения изолята кутина, а также представлены результаты физико-химической характеристики полученных образцов. Полученные данные свидетельствуют о высоком потенциале использования кутина в качестве устойчивого упаковочного материала, способного заменить традиционные синтетические плёнки и повысить срок хранения пищевых продуктов при одновременном снижении экологической нагрузки.

Ключевые слова: кутин, наночастицы, консервация пищевых продуктов, биополимер, кожура томатов, устойчивая упаковка, съедобная плёнка, натуральное покрытие.

<i>Исаева Асем Бахытжанқызы</i>	<i>PhD, научный сотрудник</i>
<i>Айдарова Сауле Байлыровна</i>	<i>Доктор химических наук, профессор</i>
<i>Мусабеков Куанышбек Битуович</i>	<i>Доктор химических наук, профессор</i>
<i>Ярослав Катона</i>	<i>PhD, ассоциированный профессор</i>
<i>Бабаев Алтамыс Алтайұлы</i>	<i>PhD докторант</i>
<i>Шарипова Алтынай Азигаровна</i>	<i>PhD, профессор-исследователь</i>
<i>Сарсембекова Разия Ауесхановна</i>	<i>PhD докторант</i>

1. Введение

Пищевая промышленность сталкивается с рядом серьёзных вызовов, среди которых ключевыми являются сохранение качества и безопасности продуктов в течение срока годности и минимизация негативного воздействия на окружающую среду. Традиционные материалы упаковки, такие как пластик и металл, часто создают экологические проблемы, такие как загрязнение окружающей среды и медленный процесс разложения [1].

В качестве полимерных материалов, обладающих барьерными свойствами по отношению к кислороду, используются PET (полиэтилентерефталат-лавсан), PA (полиамид), EVON (этиленвиниловый спирт), PVDC (поливинилдихлорид), по отношению к водяному пару LDPE

(полиэтилен низкой плотности), РР (полипропилен), HDPE (полиэтилен высокой плотности). Однако, все они являются продуктами нефти и газопереработки, т.е. являются синтетическими [2].

Бумажная упаковка считается более экологичной, но она может быть менее эффективной для некоторых продуктов из-за недостаточной защиты от влаги и кислорода. Металлическая упаковка, такая как алюминий, обладает высокой стойкостью к воздействию кислорода и света, что делает ее подходящей для некоторых продуктов. Упаковка из стекла также обеспечивает хорошую защиту, но она тяжела и более хрупка.

Таким образом, существует острая потребность в разработке устойчивых альтернатив синтетическим пленкам, полученных из продуктов нефтепереработки, обычно используемых в качестве упаковочных материалов для пищевых продуктов. Данные альтернативные материалы могут быть получены из возобновляемых ресурсов, например из агропродовольственных отходов, и быть пригодными для компостирования если являются несъедобными, что особенно важно для одноразовой упаковки (например, упаковки для скоропортящихся фруктов и овощей). Кроме того, данные новые биоматериалы являются частью передовых концепций упаковки, таких как смарт-упаковка и активная упаковка. Кроме того, существует особый интерес в разработке съедобных гидрофобных биополимерных пленок для консервирования пищевых продуктов с желаемыми влагозащитными свойствами и с использованием концепций экологически чистых технологий. В этой связи, разработка новых, продвинутых и специализированных технологических подходов имеет первостепенное значение для решения данных сложных вызовов.

В индустрии упаковки пищевых продуктов используются различные биоматериалы в качестве экологически чистых и биоразлагаемых упаковочных материалов, включая водорастворимые белки и полисахариды, липиды и воски, а также натуральные смолы. Они подлежат вторичной переработке, разлагаются за короткий период времени, нетоксичны и безопасны для окружающей среды [3]. Однако, несмотря на множество преимуществ, пленкам, полученным из данных биоматериалов, часто не хватает функциональных барьерных и/или механических свойств. Полисахариды и белковые пленки обладают хорошими барьерными свойствами по отношению к газам, но обладают плохими барьерными свойствами по отношению к миграции влаги в связи с их гидрофильностью.

Несмотря на то, что белковые пленки часто обладают хорошими барьерными свойствами к газам, они имеют тенденцию быть механически более слабыми и иметь меньшее удлинение при разрыве по сравнению с большинством синтетических полимеров [4]. Липидные и восковые пленки, как правило, обладают хорошими влагобарьерными свойствами, но плохими газобарьерными свойствами и имеют низкие механические свойства [5].

Пленки, изготовленные из водонерастворимых полимеров и природных смол, обладают не только желаемыми влаго- и газобарьерными свойствами,

но и хорошими механическими свойствами. Однако использование водонерастворимых полимеров для получения пленок, например проламинов и природных смол, ограничено, поскольку их обработка предполагает использование органических растворителей, поскольку их обычно наносят из этанольных растворов [6], [7].

Активно ведется поиск новых подходов к получению гидрофобных барьерных пленок из составов на водной основе. Так в недавней статье В. Marelli et al. для получения гидрофобных барьерных пленок использовали фиброин шелка, а J. Huan Park et al. и супрамолекулярный координационный комплекс Fe (III)–дубильная кислота металл–органические пищевые покрытия для продления срока хранения скоропортящихся фруктов и овощей [8], [9]. В заявляемом проекте предполагается использование биомиметического подхода и гибких нанотехнологических инструментов для получения полностью натуральных, съедобных, гидрофобных биополимерных барьерных пленок для консервирования пищевых продуктов.

Все надземные части высших растений покрыты кутикулой–защитное гидрофобное покрытие, предохраняющее растения от физических, химических и биологических воздействий, а также от чрезмерной потери воды [10]. Основным структурным компонентом кутикулы растений является природный полиэфир кутин. Кутин имеет высокомолекулярную липидную полимерную матрицу, которая, в свою очередь, состоит из гидроксильрованных, эпоксигидроксильрованных, сшитых и этерифицированных жирных кислот C16 и C18, покрытых смесью длинноцепочечных алифатических соединений (например, восков). Совокупность физических, химических и морфологических свойств придает растительному кутину характеристики уникального и сложного биополимера [11]. Кутин - нетоксичный, биоразлагаемый, водостойкий, блокирующий УФ-излучение, аморфный, нерастворимый, неплавкий и богатый биополиэфир [12], [13], [14]. К настоящему времени кутин выделен из различных источников, включая листья растений, кожуру фруктов и фрукты (различные сорта яблок, яблочные выжимки, папайя, лайм, помидоры, зеленый перец, огурец, арбуз, различные ягоды и др.) [15], [16]. Кутин можно деполимеризовать путем расщепления сложноэфирных связей щелочным гидролизом, переэтерификацией и другими методами. С помощью данных химических методов имеется возможность получения мономеров и/или производных в зависимости от используемого реагента [9]. При деполимеризации кутина может стать растворимым в воде. Несколько лет назад был предложен простой метод выделения кутина – щелочная экстракция, позволяющий в мягких условиях и без использования органических растворителей получать продукты кутина высокой чистоты [16], [17], [18]. Имеются данные об использовании кутина в качестве индуктора продукции кутиназы [19] или в сочетании с другими полимерами для получения пластиков.–подобные материалы [14].

Кроме того, сообщалось об образовании кутинасом – наноструктур, полученных путем самосборки гидролизатов кутина [20], [21]. Удивительно, но использование кутина для приготовления съедобных барьерных пленок до сих пор было редким и ограничивалось приготовлением композитных пленок или покрытий для улучшения их барьерных свойств [8], [10]. Более того, в литературе отсутствуют данные о получении наночастиц кутина и их использовании для изготовления пленок кутина.

С этой целью был выделен экстракт кутина из агропродовольственных отходов (2) и приготовлены дисперсий наночастиц кутина на водной основе и исследованы физико-химические свойства

2. Экспериментальная часть.

Материалы: Высушенная томатная кожура, 1М гидроксид натрия, 6М соляная кислота, ультразвуковая ванна.

Получение изолята кутина

Томатную кожуру предварительно промывали водопроводной водой с целью удаления семян и остатков сока, после чего высушивали при комнатной температуре на воздухе. Извлечение кутина осуществлялось методом щелочной экстракции из высушенной кожуры, представленной на рисунке 1.



Рисунок 1 – Высушенная томатная кожура

Для этого 13 г кожуры суспендировали в 0,75 М растворе гидроксида натрия в соотношении 1:19 (масса кожуры к объему раствора NaOH), и смесь подвергали интенсивному перемешиванию с помощью механической мешалки при температуре 90 °С на протяжении 2 часов. Наблюдалось образование пены, указывающее на активное взаимодействие компонентов кожуры с щёлочью. По завершении экстракции смесь охлаждали до комнатной температуры на водяной бане, после чего фильтровали через количественную фильтровальную бумагу с целью отделения твердых

остатков кожуры и получения жидкой фазы, содержащей экстрагированный кутин (рисунок 2).

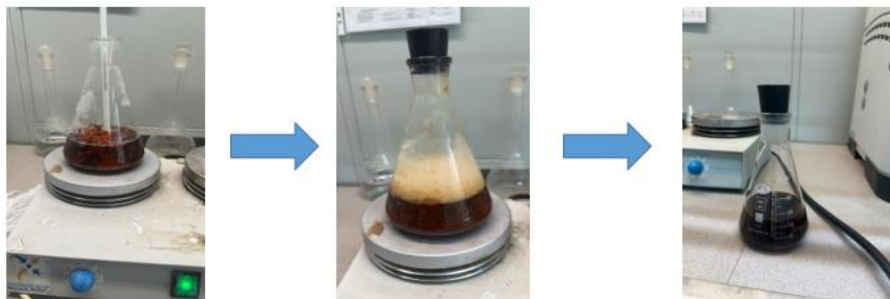


Рисунок 2 – Процесс щелочной экстракции томатной кожуры.

Последующее осаждение кутина проводили путем введения необходимого объема 6 М раствора соляной кислоты в экстракт (рисунок 3), в результате чего формировалась дисперсия осажденного кутина. Контроль уровня pH проводился с помощью pH-метра. Полученную дисперсию подвергали дальнейшей обработке.



Рисунок 3 – Осаждение кутина 6М соляной кислотой

Осаждённые дисперсии кутина подвергали центрифугированию при 4 °С и скорости 10 000 об/мин в течение 20 минут с целью отделения твердой фазы кутина от жидкой среды. Полученный осадок равномерно распределяли тонким слоем и оставляли высыхать при комнатной температуре до полного удаления влаги, в результате чего получали изолят кутина.

Определение выхода экстракта кутина

Выход экстракта кутина характеризует массу кутина, содержащегося в экстракте, полученном из mTP томатной кожуры, и выражается в процентах от исходной массы сырья. Расчет производился по следующей формуле:

$$\text{Выход (\%)} = (cCE * mCE) * 100 / mTP$$

где:

- mCE - масса экстракта кутина, полученного из m кожуры томатов,
- cCE - массовая концентрация кутина в экстракте.

Значение cCE определяли по следующему уравнению:

$$cCE (\%) = ((mDCE / mCE) - (mDS / mS)) * 100$$

где mDCE - масса сухого вещества экстракта кутина, присутствующего в mCE, взятом для анализа, в то время как mDS обозначает массу растворителя (раствор NaOH, который использовался для экстракции кутина) сухого вещества, присутствующего в mS - масса растворителя, взятого для анализа.

Выход изолята кутина

Выход изолята кутина представляет собой массу изолята кутина, полученного из mTP томатной кожуры, выраженную в процентах по массе. Он рассчитывался как:

$$\text{Выход (\%)} = mCI * 100 / mTP$$

где mCI представляет собой массу изолята кутина, полученного из mTP - массы томатной кожуры.

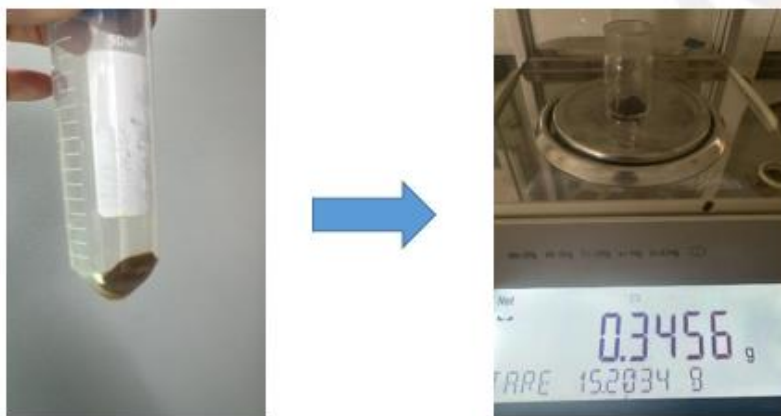


Рисунок 4 – Получение изолята кутина

Масса полученного изолята кутина составила **0.3456 г**, что соответствует выходу **2.66 %** от массы исходного сырья.

3. Заключение.

Согласно полученным данным в работе была продемонстрирована возможность получения высокочистого изолята кутина из агропищевых отходов — кожуры томатов — с использованием щадящего метода щелочной экстракции без применения органических растворителей. Проведённый эксперимент подтвердил эффективность предлагаемой методики: при обработке 13 г кожуры был получен изолят кутина с выходом 2,66 %.

Физико-химические характеристики кутина, такие как гидрофобность, устойчивость к ультрафиолетовому излучению и биоразлагаемость, подтверждают его потенциал в качестве сырья для разработки устойчивых, экологически безопасных упаковочных материалов. Учитывая потребность пищевой промышленности в альтернативах синтетическим пленкам, получаемым из нефте- и газохимического сырья, кутина может стать основой для создания новых съедобных и/или биоразлагаемых барьерных покрытий с влагозащитными свойствами.

Полученные результаты открывают перспективы дальнейших исследований в области формирования нанодисперсий кутина и разработки на их основе упаковочных пленок для консервирования пищевых продуктов, что особенно актуально в контексте концепций устойчивого развития, экологически чистых технологий и безотходного производства.

Финансирование: Работа выполнена в рамках проекта КН МНВО РК по проекту ИРН AP23489239.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

АЗЫҚ-ТҮЛІКТІ САҚТАУ ҮШІН АГРОАЗЫҚ-ТҮЛІК ҚАЛДЫҚТАРЫНАН КУТИН ИЗОЛЯТЫН АЛУ

А.Б. Исаева^{1}, С.Б. Айдарова¹, К.Б. Мусабеков¹, Я. Катона²,
А.А. Бабаев¹, А.А.Шарипова³, Р. А. Сарсембекова¹*

¹ *Қазақстан-Британ техникалық университеті, Алматы, Қазақстан*

² *University of Novi Sad, Serbia*

³ *Satbayev university, Алматы, Қазақстан*

**E-mail: isa-ase@mail.ru*

Түйіндеме. Бүгінгі таңда тамақ өнеркәсібінде әртүрлі орау материалдары кеңінен қолданылады, олардың негізгісі жеңіл, мөлдірлігі мен механикалық беріктігінің арқасында пластик болып қала береді. Дегенмен, оны пайдалану ұзақ ыдырау мерзімі мен ластануды қоса алғанда, ауыр экологиялық зардаптарды тудырады. Бұл тұрақты, биологиялық ыдырайтын және табиғатқа қауіпсіз орау шешімдерін әзірлеу қажеттілігін тудырады. Бұл жұмыста агроазык-түлік қалдықтарына жататын қызанақ қабығынан табиғи Кутин биополимерін алу мүмкіндігі қарастырылады. Кутин өсімдік кутикуласының негізгі құрылымдық құрамдас бөлігі ретінде бірегей қасиеттерге ие-гидрофобтылық, ультракүлгін сәулеленуге төзімділік, биологиялық ыдырау

және айқын тосқауыл сипаттамалары. Бұл жеуге жарамды және экологиялық таза орау пленкаларын жасау үшін шикізат ретінде қызығушылық тудырады. Кутин сілтілі сығындысы оның нанобөлшектерінің су дисперсиясын кейіннен дайындау үшін алынды. Жұмыста Кутин изолятын алу кезеңдері егжей-тегжейлі сипатталған, сонымен қатар алынған үлгілердің физика-химиялық сипаттамаларының нәтижелері келтірілген. Нәтижелер кутинді тұрақты орауыш материал ретінде пайдаланудың жоғары әлеуетін көрсетеді, ол дәстүрлі синтетикалық пленкаларды алмастыра алады және экологиялық жүктемені азайта отырып, азық-түлік сақтау мерзімін ұзартады.

Түйінді сөздер: кутин, нанобөлшектер, тағамды сақтау, биополимер, қызанақ қабығы, тұрақты қаптама, жеуге жарамды пленка, табиғи жабын.

Исаева Асем Бахытжанқызы	<i>PhD, ғылыми қызметкер</i>
Айдарова Сауле Байляровна	<i>Химия ғылымдарының докторы, профессор</i>
Мұсабеков Қуанышбек Битүович	<i>Химия ғылымдарының докторы, профессор</i>
Ярослав Катона	<i>PhD, ассоциирленген профессоры</i>
Бабаев Алпамыс Алтайұлы	<i>PhD докторант</i>
Шаринова Алтынай Азизаровна	<i>PhD, зерттеуші профессор</i>
Сарсембекова Разия Ауесхановна	<i>PhD докторант</i>

References

1. J. R. Jambeck, et al. «Plastic waste inputs from land into the ocean», *Science*, **2015**, Vol. 347, №6223, pp. 768–771, DOI: 10.1126/science.1260352
2. R. Thompson, et al. «Lost at Sea: Where Is All the Plastic?», *Science (New York, N.Y.)*, **2004**, Vol. 304, p. 838, DOI: 10.1126/science.1094559
3. N. Bhargava, V. S. Sharanagat, R. S. Mor, & K. Kumar, «Active and intelligent biodegradable packaging films using food and food waste-derived bioactive compounds: A review», *Trends in Food Sci. & Tech.*, **2020**, Vol. 105, pp. 385–401, DOI: 10.1016/j.tifs.2020.09.015
4. S. Mohamed, M. El-Sakhawy, & M. Sakhawy, «Polysaccharides, Protein and Lipid -Based Natural Edible Films in Food Packaging: A Review», *Carbo. Pol.*, **2020**, Vol. 238, p. 116178, DOI: 10.1016/j.carbpol.2020.116178
5. M. Wihodo & C. Moraru, «Physical and chemical methods used to enhance the structure and mechanical properties of protein films: A review», *J. of Food Eng.*, **2013**, Vol. 114, pp. 292–302, DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2012.08.021
6. Y. Farag & C. S. Leopold, «Development of shellac-coated sustained release pellet formulations», *Eur. J. Pharm. Sci.*, **2011**, Vol. 42, №4, pp. 400–405, DOI: 10.1016/j.ejps.2011.01.006
7. M. Kashiri, et al. «Zein films and coatings as carriers and release systems of *Zataria multiflora* Boiss. essential oil for antimicrobial food packaging», *F. Hydro.*, **2017**, Vol. 70, pp. 260–268, DOI: 10.1016/j.foodhyd.2017.02.021
8. J. H. Park, et al. «Antimicrobial spray nanocoating of supramolecular Fe (III)-tannic acid metal organic coordination complex: applications to shoe insoles and fruits», *Sci. Rep.*, **2017**, Vol. 7, №1, p. 6980, DOI: 10.1038/s41598-017-07257-x
9. B. Marelli, M. A. Brenckle, D. L. Kaplan, & F. G. Omenetto, «Silk Fibroin as Edible Coating for Perishable Food Preservation», *Sci. Rep.*, **2016**, Vol. 6, №1, p. 25263, DOI: 10.1038/srep25263
10. A. Manrich, F. K. V. Moreira, C. G. Otoni, M. V. Lorevice, M. A. Martins, & L. H. C. Mattoso, «Hydrophobic edible films made up of tomato cutin and pectin», *Carbo. Pol.*, **2017**, Vol. 164, pp. 83–91, DOI: 10.1016/j.carbpol.2017.01.075
11. J. Benítez, R. García-Segura, & A. Heredia, «Plant biopolyester cutin: A tough way to its chemical synthesis», *Bio. et bio. acta*, **2004**, Vol. 1674, pp. 1–3, DOI: 10.1016/j.bbagen.2004.06.012
12. J. J. Benítez, et al. «Valorization of Tomato Processing by-Products: Fatty Acid Extraction and Production of Bio-Based Materials», *Materials*, **2018**, Vol. 11, №11, DOI: 10.3390/ma11112211
13. J. J. Benítez, J. A. Heredia-Guerrero, S. Guzmán-Puyol, M. J. Barthel, E. Domínguez, & A. Heredia, «Polyhydroxyester Films Obtained by Non-Catalyzed Melt-Polycondensation of Natural Occurring Fatty Polyhydroxyacids», *Front. Mater.*, **2015**, Vol. 2, DOI: 10.3389/fmats.2015.00059
14. J. A. Heredia-Guerrero, et al. «Cutin from agro-waste as a raw material for the production of bioplastics», *J. of Exp. Bot.*, **2017**, Vol. 68, №19, pp. 5401–5410, DOI: 10.1093/jxb/erx272

15. S. A. Chaudhari & R. S. Singhal, «Cutin from watermelon peels: A novel inducer for cutinase production and its physicochemical characterization», *Int. J. of Bio. Macro.*, **2015**, Vol. 79, pp. 398–404, DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2015.05.006
16. R. Järvinen, M. Kaimainen, & H. Kallio, «Cutin composition of selected northern berries and seeds», *F. Chem.*, **2010**, Vol. 122, №1, pp. 137–144, DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.02.030
17. L. Perez, J. Rogers, R. BAKUS, C. HOLLAND, & J. Du, «Plant extract compositions and methods of preparation there of», WO2016187581A1, **2016**, <https://patents.google.com/patent/WO2016187581A1/en>
18. L. Perez, C. MOL, R. C. BAKUS, J. Rogers, & G. Rodriguez, «Plant extract compositions for forming protective coatings», WO2017100636A1, **2017**, <https://patents.google.com/patent/WO2017100636A1/en?q=Patent+document+WO201710061>
19. K. Dutta, S. Sen, & V. D. Veeranki, «Production, characterization and applications of microbial cutinases», *Proc. Bio.*, **2009**, Vol. 44, №2, pp. 127–134, DOI: 10.1016/j.procbio.2008.09.008
20. E. Domínguez, J. A. Heredia-Guerrero, J. J. Benítez, & A. Heredia, «Self-assembly of supramolecular lipidnanoparticles in the formation of plant biopolyester cutin», *Mol. BioSyst.*, **2010**, Vol. 6, №6, pp. 948–950, DOI: 10.1039/B927186D
21. J. A. Heredia-Guerrero, M. A. San-Miguel, M. Luna, E. Domínguez, A. Heredia, & J. J. Benítez, «Structure and support induced structure disruption of soft nanoparticles obtained from hydroxylated fatty acids», *Soft Mat.*, **2011**, Vol. 7, №9, pp. 4357–4363, DOI: 10.1039/C0SM01545H