

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-882

УДК 678.83:615.322



Научная статья

МОДИФИКАЦИЯ ЖЕЛАТИНОВЫХ ПЛЕНОК РАСТИТЕЛЬНЫМИ ЭКСТРАКТАМИ

Е.В. Товстик, Е.С. Широкова

Обоснование. Ценным фармакопейным сырьем для создания лекарственных пленок выступают широко культивируемые растения с известным потенциалом лекарственных свойств. Среди них облепиха крушиновидная (*Hipporhae rhamnoides*) и арония черноплодная (*Aronia melanocarpa*). Включение водных экстрактов из различных структурных частей данных растительных видов в состав лекарственных пленок представляют собой инновационную концепцию трансдермальных терапевтических систем, главным образом, за счет фитохимических компонентов. Кроме того, включением растительных экстрактов в состав лекарственных пленок можно варьировать их эксплуатационные свойства.

Цель. Оценка влияния водных экстрактов из листьев и плодов облепихи крушиновидной, аронии черноплодной на эксплуатационные свойства желатиновых пленок.

Материалы и методы. Измельченное растительное сырье (листья и плоды) подвергали экстрагированию водой в режиме 30 мин – кипящая водяная баня, 15 мин – при комнатной температуре ($20 \pm 2^\circ\text{C}$). Экстракты анализировали на предмет содержания в них полифенольных соединений и флавоноидов спектрофотометрическим методом; дубильных веществ – титриметрическим методом; экстрактивных веществ – методом гравиметрии. Пленки получали методом полива из вязкого раствора (10 масс.% желатина марки П-11, 5 масс.% глицерина). Оценивали влияние растительных экстрактов на температурные характеристики, прочность при растяжении и удлинение при разрыве, паропроницаемость, водопоглощение желатиновых пленок. Статистическую обработку результатов измерений проводили согласно ГОСТ Р 8.736-2011.

Результаты. Доказана антиоксидантная способность водных вытяжек из растительного сырья путем определения содержания в них полифенолов,

флавоноидов, дубильных веществ. Наиболее высокие значения определяемых показателей установлены для вытяжек из листьев, чем плодов. Технология получения желатиновых пленок обеспечила высвобождение из них фитохимических компонентов. Введение в состав желатиновых пленок растительных экстрактов с большим содержанием экстрактивных веществ повышает удлинение при разрыве; тогда как прочность при растяжении и водопоглощение имели тенденцию к снижению.

Образцы желатиновых пленок с растительными экстрактами являются паропроницаемыми, что обуславливает возможность их использования в качестве трансдермальных терапевтических систем.

Заключение. Введение водных экстрактов из листьев и плодов облепихи крушиновидной, аронии черноплодной в состав желатиновых пленок является эффективным методом улучшения их эксплуатационных свойств.

Ключевые слова: облепиха крушиновидная; арония черноплодная; полифенолы; желатиновые пленки; растительные экстракты

Для цитирования. Товстик Е.В., Широкова Е.С. Модификация желатиновых пленок растительными экстрактами // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №5. С. 110-129. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-882

Original article

MODIFICATION OF GELATIN FILMS WITH PLANT EXTRACTS

E.V. Tovstik, E.S. Shirokova

Background. Widely cultivated plants with known potential for medical properties for example sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) and chokeberry (*Aronia melanocarpa*) are valuable pharmacopeial raw materials for creating medicinal films. The usage of aqueous extracts from various structural parts of these plants into medical films is an innovative concept for transdermal therapeutic systems, mainly due to their phytochemical components. In addition, the performance properties of medical films can be varying by including plant extracts in the composition.

Purpose. The investigation of the influence of aqueous extracts from leaves and fruits of sea buckthorn and chokeberry on the performance properties of gelatin films.

Materials and methods. Crushed plant materials (leaves and fruits) were subjected to extraction with water: in a boiling water bath for 30 minutes and at room temperature ($20 \pm 2^\circ\text{C}$) for 15 minutes. The quantitative content of extracts were

analyzed: polyphenolic compounds and flavonoids by spectrophotometric method; tannins by titrimetric method; extractives by gravimetry. Films were obtained by casting from a viscous solution (10 wt.% P-11 gelatin, 5 wt.% glycerol). The influence of plant extracts on temperature characteristics, tensile strength and elongation at break, vapor permeability, water absorption, and hydrophilicity of gelatin films was investigated. Statistical processing of measurement results was carried out according with GOST R 8.736-2011.

Results. *The antioxidant activity of aqueous extracts from plant materials has been approved by determining the content of polyphenols, flavonoids, and tannins in them. The higher values of that parameters were established for extracts from leaves than from fruits. The technology of gelatin films production ensured the release of phytochemical components from them. As the extractive substances content in gelatin films is increasing the elongation at break and hydrophilicity are increasing whereas the tensile strength and water absorption are decreasing. Gelatin films with plant extracts are vapor-permeable, which makes them possible to use for transdermal therapeutic systems.*

Conclusion. *Thus, the usage of aqueous extracts from the leaves and fruits of sea buckthorn and chokeberry for gelatin films is an effective method for improving their performance properties.*

Keywords: *sea buckthorn; chokeberry; polyphenols; gelatin films; plant extracts*

For citation. *Tovstik E.V., Shirokova E.S. Modification of Gelatin Films with Plant Extracts. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 5, pp. 110-129. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-882*

Введение

В настоящее время трансдермальные терапевтические системы, в том числе лекарственные пленки (ЛП), являются одним из перспективных и активно развивающихся направлений в фармацевтической промышленности [27]. Актуальность их разработки связана со снижением кратности приема лекарственных средств и повышением комплаентности пациентов к проводимой терапии [6].

Лечебный эффект ЛП обусловлен введением в их состав одного или нескольких действующих веществ (фитопрепараты, ферменты и др.) [4]. Их контролируемое высвобождение из ЛП обеспечивается широким набором вспомогательных веществ, в том числе пленкообразователями, в качестве которых часто используют желатин [7; 15].

В литературе сведения о роли биологически активных веществ растительного происхождения в составе ЛП ограничены в основном антибак-

териальной и заживляющей активностью [14; 18; 31]. Данные о влиянии растительных экстрактов на функциональные свойства ЛП представлены в меньшей степени. Отмечается, улучшение механических свойств пленок, состоящих из смеси хитозана и желатина путем введения в их состав биоактивных веществ растительного происхождения [30]; уменьшение хрупкости альгинатных пленок за счет введения в их состав полисахаридов [19].

В качестве параметров оценки эффективности ЛП предложены различные показатели: гидрофильность, паропроницаемость, механическая прочность. Они служат для прогнозирования высвобождения ЛС из трансдермальных терапевтических систем, характеризуют их газопроницаемость и способность противостоять разрушению под действием различных деформаций (растяжение, сжатие, изгиб) при нанесении на кожу [5].

Ценным фармакопейным сырьем для создания ЛП выступают широко культивируемые растения с известным потенциалом лекарственных свойств. Среди них можно выделить облепиху крушиновидную (*Hippophae rhamnoides*), и аронию черноплодную (*Aronia melanocarpa*). Их лекарственный потенциал связан с высоким содержанием биологически активных веществ, в том числе полифенолов [3; 8; 22], для которых характерны антимикробные и антиоксидантные свойства [21].

Включение в состав ЛП экстрактов из данных растительных видов представляет собой инновационную концепцию трансдермальных терапевтических систем, главным образом, за счет фитохимических компонентов. Кроме того, включением растительных экстрактов в состав ЛП можно варьировать их эксплуатационные свойства.

Цель исследования – оценка влияния водных экстрактов из листьев и плодов облепихи крушиновидной, аронии черноплодной на эксплуатационные свойства желатиновых пленок.

Материалы и методы исследования

В работе использовали неочищенные водные экстракты из листьев и плодов облепихи крушиновидной, аронии черноплодной. Растительное сырье было заготовлено на территории г. Кирова (Кировская область, Россия). Доставленные в лабораторию образцы промывали дистиллированной водой, сушили, измельчали в мельнице рожкового типа, пропускали через сито.

Экстракция полифенольных веществ осуществлялась по методике, изложенной в ОФС.1.4.1.0018.15 Государственной фармакопеи Российской Федерации (ГФ РФ) XIV издания. Порошок растительного сырья с разме-

ром частиц менее 1 мм экстрагировали водой (1 : 20) в течение 30 мин на кипящей водяной бане, далее 15 мин при комнатной температуре (20 ± 2 °C) Полученный раствор фильтровали через бумажный фильтр с размером пор 2–3 мкм (Россия). Готовые водные экстракты подвергали анализу.

Анализ экстрактов из растительного сырья. Определение общего содержания полифенольных соединений и флавоноидов проводили спектрофотометрическим методом на спектрофотометре марки ПЭ5300ВИ (ООО «Экросхим», Россия) согласно ГОСТ 55488-2013 и ГОСТ 13399-89. В качестве внутреннего стандарта использовали галловую кислоту и рутин соответственно.

Содержание дубильных и экстрактивных веществ определяли титриметрическим и гравиметрическим методом соответственно по ОФС.1.5.3.0008 и ОФС.1.5.3.0006.1.5.3, изложенных в ГФ РФ XV издания.

Технология приготовления желатиновых пленок. Пленки готовили методом полива [10]. В качестве пленкообразователя использовали пищевой желатин марки П-11, представляющий собой гидролизованный коллаген с высоким содержанием гидроксипролина (85–88%), воды (10–16%) и золы (0,8–2,0%). Желатин в количестве 10 масс.% смешивали с дистиллированной водой (контроль) или водным экстрактом из растительного сырья при температуре 45°C в течение 30 мин. К раствору добавляли 5 масс.% пластификатора – глицерин (чда, Россия), и перемешивали. Смесь выдерживали в термостате при температуре 37°C в течение 30 мин. После удаления пузырьков воздуха из вязких растворов, отливали их в формы размером 20×25×5 мм при комнатной температуре (20 ± 2 °C) и относительной влажности воздуха 40±5%. Варьированием объема раствора добивались получения пленок требуемой толщины. Высушенные пленки перед испытанием кондиционировали в эксикаторе над силикагелем в течение 72 ч.

Исследование биодоступности биологически активных веществ из желатиновых пленок. Высвобождение биологически активных веществ (флавоноидов) из пленок оценивали методом диффузии. Для этого вырезанные из пленок диски диаметром 5 ± 1 мм помещали в чашки Петри на фильтровальную бумагу, предварительно увлажненную 2%-ым спиртовым раствором хлорида алюминия. Стыки чашек герметизировали парафильмом для исключения высыхания. Чашки с образцами пленок помещали в термостат при температуре 37°C на 24 ч. По наличию окрашенных в желтый цвет зон вокруг дисков судили о высвобождении флавоноидов из образцов. Контролем служила пленка без растительных экстрактов.

ИК-Фурье-спектроскопия и оценка эксплуатационных свойств желатиновых пленок. ИК-спектроскопию многократно нарушенного полного внутреннего отражения проводили с помощью ИК-Фурье-спектрометра «Инфралом ФТ-801» (ООО НПФ «СИМЕКС», Россия) при комнатной температуре ($20 \pm 2^\circ\text{C}$) с последующей идентификацией функциональных групп.

Толщину полученных пленок определяли индикаторным толщиномером марки ТН 10-60 с точностью до 0,01 мм не менее чем в пяти точках с последующим расчетом среднего значения.

Температурные характеристики полученных пленок оценивали с помощью термического анализатора (ТГ/ДТА) DTG-60 («Shimadzu», Япония). Измерения проводили в атмосфере воздуха ($150 \text{ см}^3/\text{мин}$) в платиновых тиглях. Масса образцов для испытания составляла $2,35 \pm 0,35$ мг. В качестве эталона использовали оксид алюминия. Температурная программа: нагрев со скоростью $10^\circ\text{C}/\text{мин}$ от комнатной температуры ($20 \pm 2^\circ\text{C}$) до 550°C .

Прочность при растяжении и удлинение при разрыве образцов желатиновых пленок оценивали на разрывной машине AG-X5 («Shimadzu», Япония) при температуре (23 ± 2) $^\circ\text{C}$ и скорости движения активного захвата 100 мм/мин. Для исследования использовали образцы пленок размером 1×5 см; растяжение осуществляли в вертикальном направлении; в ходе испытания фиксировали напряжение и удлинение при разрыве. Испытания проводили в пятикратной повторности с последующим расчетом среднего значения.

Паропроницаемость желатиновых пленок определяли гравиметрическим методом. Для этого образцы с целостной структурой, закрепляли с помощью парафилома на горлышке стеклянных пробирок, наполненных дистиллированной водой (2 см^3). Систему взвешивали, помещали в эксикатор над силикагелем. Повторное взвешивание проводили через 24, 48 и 72 час после начала опыта.

Водопоглощение желатиновых пленок изучали по характеру их набухания в воде гравиметрическим методом с опорой на ГОСТ 20869-75. Образцы размером 2,2×5,0 см помещали на капроновую сетку, закрепленную в емкости на поверхности дистиллированной воды. Через 15, 30, 45 и 60 мин после начала опыта проводили взвешивание образцов [5].

Статистический анализ. Статистическую обработку результатов измерений проводили согласно ГОСТ Р 8.736-2011. Данные выражали как среднее значение $\pm$ стандартное отклонение. Взаимосвязь исследуемых показателей оценивали с помощью ранговых коэффициентов корреляции Спирмена (r). Расчеты выполняли в программе *Microsoft Excel*.

Результаты исследования

Анализ водных экстрактов из растительного сырья был направлен на установление содержания биологически активных веществ с антиоксидантными свойствами. Проведенный анализ позволил определить растительное сырье, обладающее наибольшим антиоксидантным потенциалом.

Согласно полученным данным концентрация биологически активных веществ в водных экстрактах варьировалась от 5,24 мкг/см³ до 3,35 мкг/см³ и была выше у листьев, чем плодов (табл.).

Таблица.

Содержание биологически активных и экстрактивных веществ в водных экстрактах из растительного сырья

Морфологический орган растения	Культура	Концентрация			
		Полифенольные соединения, мкг/см ³	Флавоноиды, мкг/см ³	Дубильные вещества, мкг/см ³	Экстрактивные вещества, мкг/см ³
Листья	1	3,35±0,30	18,29±0,11	3,330±0,030	10,9±1,3
	2	1,50±0,10	14,32±0,07	2,330±0,024	6,9±0,7
Плоды	1	0,910±0,010	5,73±0,04	0,910±0,008	19,9±2,0
	2	1,98±0,20	5,24±0,04	2,41±0,021	22,5±3,1

Примечание: 1 – облепиха крушиновидная; 2 – арония черноплодная.

Наибольшим содержанием флавоноидов, полифенольных и дубильных веществ характеризовались водные экстракты из листьев аронии черноплодной. По сравнению с листьями облепихи крушиновидной, концентрация данных веществ в водных экстрактах из листьев исследуемого растительного вида была выше в 1,3; 2,3 и 1,4 раза соответственно.

Согласно данным гравиметрического анализа, содержание экстрактивных веществ в водных экстрактах варьировалось от 6,9 до 22,5 мкг/г. Более высокое, по сравнению с листьями, их содержание было установлено в плодах: для аронии черноплодной в 3,3 раза; облепихи крушиновидной – 1,8 раза.

Состав и технология изготовления желатиновых пленок обеспечивали выход из них биологически активных веществ (флавоноидов), что было подтверждено в лабораторном опыте по исследованию их биодоступности. При испытании во всех опытных вариантах качественная реакция на флавоноиды была положительной.

ИК-спектры желатиновых пленок, приготовленных на основе растительных экстрактов, были идентичны спектрам контроля и соответствовали описаниям, представленным в литературе [11; 16; 28]. Добавление в

состав желатиновых пленок растительных экстрактов вызывало незначительные изменения в ИК спектрах образцов.

Наибольшие различия с контролем отмечали в области $3700\text{--}3500\text{ см}^{-1}$, для которой характерны валентные колебания N–H группы желатина (широкая полоса в интервале частот $3300\text{--}3500\text{ см}^{-1}$) и связи O–H [2, 9] (рис. 1).

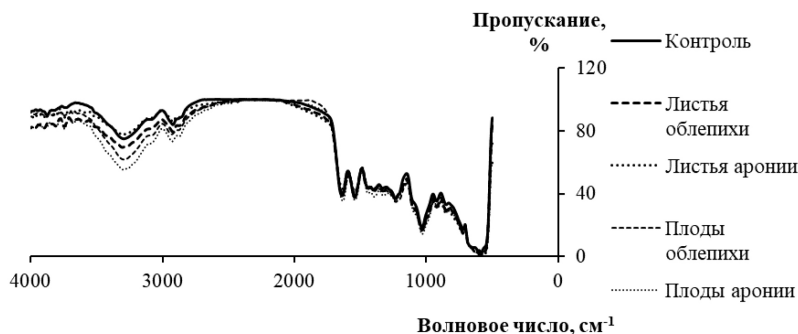


Рис. 1. ИК-спектры образцов желатиновых пленок

Так как в водных экстрактах из растительного сырья в большом количестве присутствовали гидроксированные соединения (полифенолы) [33], для которых характерны широкие полосы поглощения при $3650\text{--}3200\text{ см}^{-1}$ (обусловленные валентными колебаниями связи O–H), то площадь пика в этой области находилась в прямой связи с их содержанием ($r = 0,87$) (рис. 2).

Площадь пика, см^2

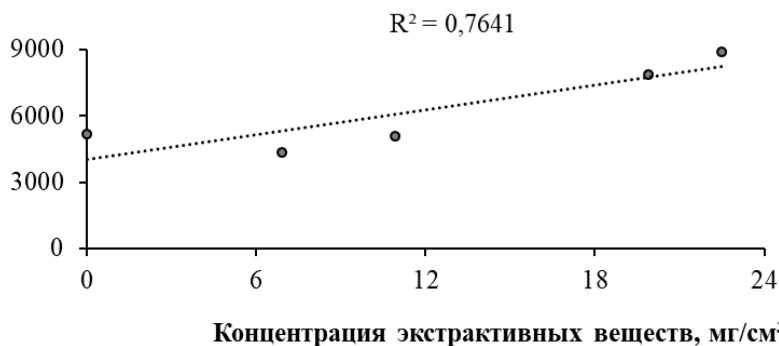


Рис. 2. Зависимость площади пика, соответствующего валентным колебаниям связи O–H от концентрации экстрактивных веществ в водных вытяжках из растительного сырья

Среди исследуемых параметров, термическая стабильность является одной из значимых характеристик ЛП. В данной работе термические свойства пленок были проанализированы с помощью ТГА-кривых. Для всех образцов желатиновых пленок наблюдали три основные стадии потери массы: первая стадия (до 140°C) – связана с испарением влаги [26]; вторая стадия (от 140°C до 270°C) – вызвана потерей глицерина [24]; третья стадия (от 270°C) – обусловлена разложением основного пептида желатиновой матрицы [23] (рис. 3).

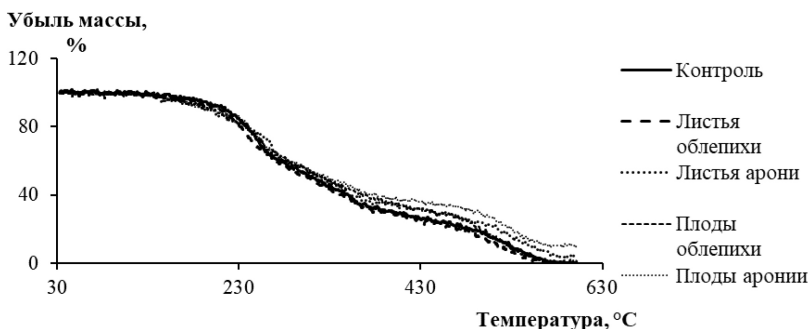


Рис. 3. Термограммы желатиновых пленок

При этом термическая стабильность желатиновых пленок существенно не зависела от наличия в их составе растительных экстрактов.

Для образцов желатиновых пленок, содержащих растительные экстракты, удлинение при разрыве было больше, чем в контроле. При этом наличие в составе пленок экстрактов из плодов, вызывало более выраженный прирост удлинения при разрыве по сравнению с контролем (рис. 4 а).

Следует отметить, что у образцов пленок с включением экстрактов из плодов облепихи, удлинение при разрыве увеличилось до 115%, аронии – до 131% по сравнению с 65%, отмеченным для контрольного образца.

Прочность при растяжении для пленок, содержащих водные экстракты из листьев, была сопоставима с прочностью для контрольного образца. Для пленок, содержащих экстракты из плодов, отмечено снижение прочности при растяжении до 9,4 МПа по сравнению с контролем (11,4 МПа) (рис. 4 б).

Полученные данные согласуются с данными по содержанию экстрактивных веществ. Так для образцов, приготовленных на основе растительных экстрактов, содержащих большее количество экстрактивных веществ,

отмечается большее удлинение при разрыве и меньшее значение прочности при растяжении. В целом прочностные показатели для контрольной пленки и пленок, содержащих растительные экстракты, были сопоставимы с данными, представленными в литературе [13; 25].

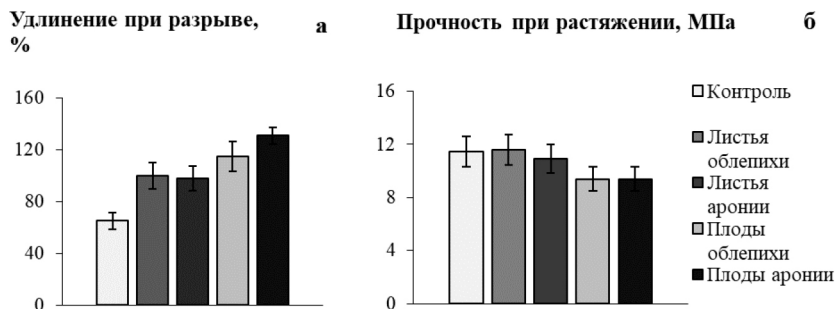


Рис. 4. Удлинение при разрыве (а) и прочность при растяжении (б) желатиновых пленок

Значения паропроницаемости исследуемых пленок варьировались от 0,46–0,54 г/м² на начальном сроке наблюдений (24 час) до 1,33–1,45 г/м² на сроке 72 час (рис. 5).

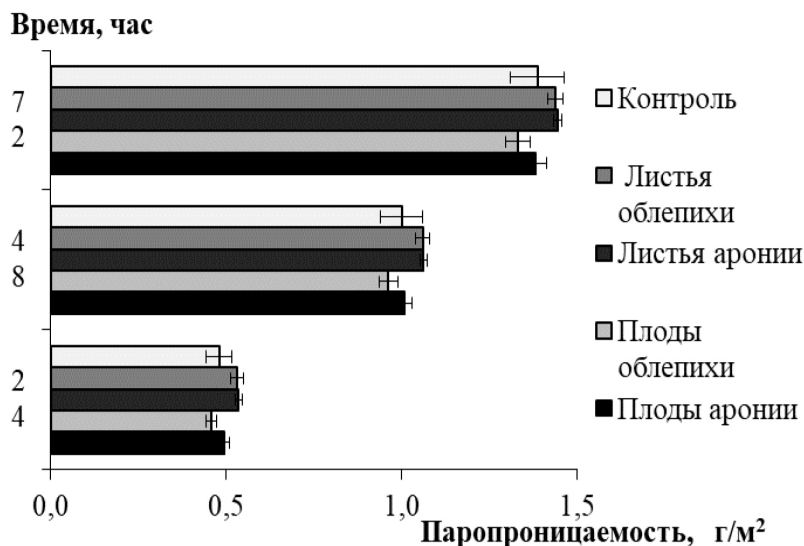


Рис. 5. Паропроницаемость желатиновых пленок в динамике

Независимо от срока наблюдения, отмечали тенденцию к повышению паропроницаемости пленок на основе экстрактов из листьев растений. Регистрировали обратно пропорциональную зависимость между паропроницаемостью пленок и содержанием в них экстрактивных веществ ($r = -0,84$).

Для желатиновых пленок с растительными экстрактами фиксировали более низкие значения водопоглощения, чем в контроле (рис. 6).

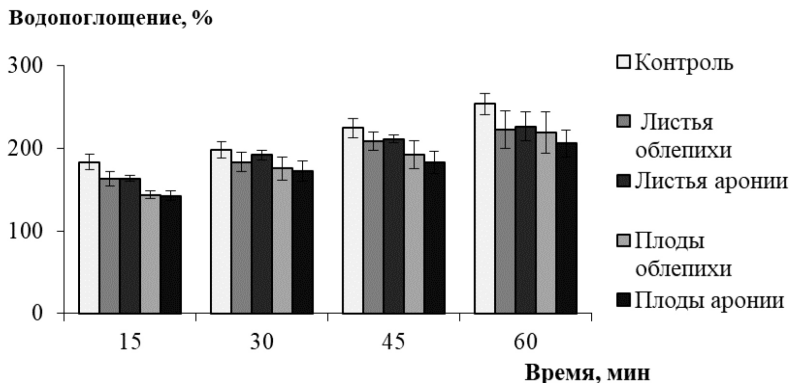


Рис. 6. Водопоглощение желатиновых пленок после принудительной сушки в динамике

На разных сроках наблюдений (15, 30, 45, 60 мин) снижение водопоглощения составило 14–25%; 3–13%; 7–20%; 15–21% соответственно. Среди исследуемых растительных видов, водные экстракты из плодов аронии черноплодной, в наибольшей степени снижали водопоглощение пленок.

Обсуждение

В процессе жизнедеятельности в растениях синтезируются различные органические вещества, среди которых много соединений с широким спектром фармакологического действия. Исследование их содержания в составе растительного сырья является важным этапом при определении целесообразности их включения в состав лекарственных форм, в том числе ЛП [32]. Например, введение в ЛП антиоксидантов, способных к немедленной блокировке диффузии свободных радикалов, может значительно ускорить процесс заживления ран [17]. В литературе не однократно обсуждалась взаимосвязь между антиоксидантной способностью и общим содержанием полифенолов в растениях, определяющих их антиоксидантные свойства [20]. Согласно полученным данным наибольшая концентрация антиоксидантов (полифенолы, флавоно-

иды, дубильные вещества) была обнаружена в водных экстрактах из листьев исследуемых растительных видов, чем из их плодов.

Кроме биологически активных веществ, в растениях вырабатываются белки, слизи, пектины. Данные вещества могут входить в состав сухого остатка экстрактов, и не всегда являются балластом [12]. Присутствие подобных веществ, наряду с гидроксильными соединениями, в составе желатиновых пленок может улучшить их свойства за счет снижения хрупкости, повышения растяжимости, гибкости, эластичности [19; 29]. Аналогичные результаты, были получены в данном исследовании: большее удлинение при разрыве, меньшую прочность при растяжении и более низкую паропропускаемость регистрировали у пленок, приготовленных на основе водных экстрактов с более высоким содержанием экстрактивных веществ.

Известно, что эксплуатационные свойства пленок обусловлены химической природой применяемого полимера и включенными в их состав компонентами [7]. Кроме того, свойства пленок все чаще разрабатываются для обеспечения физиологической совместимости и способности контролировать высвобождение лекарственного средства при воздействии различных биологических сред [15]. Для обеспечения биодоступности активных компонентов лекарственных пленок, необходимы образцы с хорошими показателями смачиваемости. Это связано с тем, что при контакте пленки с жидкостью происходит ее набухание, в результате чего твердая форма образца переходит в гелеобразную.

Согласно данным литературы, введение растительных экстрактов в состав пленки изменяет ее гидрофильность [1]. Аналогичные результаты были получены в данном исследовании: включение водных экстрактов из листьев и плодов облепихи крушиновидной, аронии черноплодной в состав желатиновых пленок снижало их влагопоглощение. Кроме того, технология создания желатиновых пленок обеспечивала выход антиоксидантов из них.

Заключение

Установлено, что в водных экстрактах из листьев облепихи крушиновидной, аронии черноплодной концентрация веществ с антиоксидантным действием выше, чем из плодов. Наряду с этим в плодах, по сравнению с листьями отмечается более высокое содержание экстрактивных веществ, определяющих эксплуатационные свойства желатиновых пленок. В связи с чем, как листья, так и плоды облепихи крушиновидной, аронии черноплодной следует рассматривать в качестве перспективного сырья для производства ЛПП.

При исследовании физико-химических и эксплуатационных свойств желатиновых пленок, установлено, что введение в их состав растительных экстрактов с большим содержанием экстрактивных веществ повышает удлинение при разрыве; тогда как прочность при растяжении и водопоглощение имеют тенденцию к снижению.

Образцы желатиновых пленок с растительными экстрактами являются паропроницаемыми, что обуславливает возможность их использования в трансдермальных терапевтических системах.

Таким образом, на примере водных экстрактов из листьев и плодов облепихи крушиновидной, аронии черноплодной экспериментально доказана возможность модификации эксплуатационных свойств желатиновых пленок.

Заключение комитета по этике. Неприменимо.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Базунова М.В., Чернова В.В., Салихов Р.Б. и др. Физико-химические свойства полимерных композитов на основе полиолефинов и их отходов и лужги подсолнечника // Вестник Башкирского университета. 2018. № 1. С. 70–74. <https://doi.org/10.33184/bulletin-bsu-2018.1.13>
2. Браун Д., Флорид А., Сейнсбери М. Органическая спектроскопия. Москва: Мир, 1992. 300 с.
3. Исупова М.В., Елец А. А., Гребенев И.Р. и др. Количественная оценка полифенольных соединений в водно-спиртовых извлечениях из плодов и листьев // Материалы докладов XI международного симпозиума: Фенольные соединения: фундаментальные и прикладные аспекты. М.: ИФР РАН, 2022. М.: Издательство «Перо», 2022. С. 103.
4. Кищенко В.М., Верниковский В.В., Привалов И.М., Шевченко А.М. Пленки в Российской медицине и косметологии: история развития, классификация, технология // Фармация и фармакология. 2020. Т. 8, № 2. С. 124–132. <https://doi.org/10.19163/2307-9266-2020-8-2-124-132>
5. Ковязина Н.А. Изучение физико-химических свойств пленок лекарственных секстафаг // Вестник ВГУ, серия: химия, биология, фармация. 2022. № 1. С. 78–84.
6. Лосенкова С.О., Тюнина Е.Д., Павлюченкова Н.А. и др. Современный ассортимент трансдермальных лекарственных форм на фармацевтическом

- рынке России // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. 2022. Т. 21, № 1. С. 152–159. <https://doi.org/10.37903/vsgma.2022.1.20>
7. Мясенко Д.М., Михайленко П.Г. Исследование краевого угла смачивания полиэтиленовой пленки, модифицированной органическими и неорганическими компонентами // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 12 (102). Ч. 1. С. 49–53. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.009>
 8. Платонова Е.Ю., Плюснин С.Н., Шапошников М.В., Москалев А.А. Арония черноплодная (*Aronia melanocarpa*) как источник соединений с потенциальной геропротекторной активностью // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. 2019. № 2 (209). С. 2–9. [https://doi.org/10.31140/j.vestnikib.2019.2\(209\).1](https://doi.org/10.31140/j.vestnikib.2019.2(209).1)
 9. Преч Э., Бульманн Ф., Аффольтер К. Определение структуры органических соединений. Москва: Мир, 2006. 438 с.
 10. Шлейкин А.Г., Шаталов И.С., Шаталова А.С. Влияние транслутамины на механические характеристики упаковочного материала на основе желатина // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2014. № 2. 5 с.
 11. Ямпольская Г.П., Тарасевич Б.Н., Еленский А.А. Вторичная структура глобулярных белков в адсорбционных слоях на границе фаз раствор-воздух по данным ИК-спектроскопии Фурье // Коллоидный журнал. 2005. Т. 67, № 3. С. 426–432.
 12. Ahmad U., Ahmad R.S. Antidiabetic properties of aqueous extract of *Stevia rebaudiana* Bertoni leaves on streptozotocin-induced diabetes in albino rats // Complementary and Alternative Medicine BMC, 2018, vol. 18, no. 1, pp. 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12906-018-2245-2>
 13. Amjadi S., Emaminia S., Heyat Davudian Sh. et al. Preparation and characterization of gelatin-based nanocomposite containing chitosan nanofiber and ZnO nanoparticles // Carbohydrate Polymers, 2019, vol. 216, pp. 376–384. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.03.062>
 14. Andrighetti T.T., Jacques M.C., Schmitt C. et al. Polymeric pullulan films incorporated with extract of *Cyclospermum leptophyllum* (pers.) Sprague for healing purposes // Research, Society and Development, [S. l.], 2022, vol. 11, no. 15, pp. e209111537082. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i15.37082>
 15. Antosik A.K., Miądlicki P., Wilpiszewska K. et al. Polysaccharide films modified by compounds of natural origin and silver having potential medical applications // Cellulose, 2021, vol. 28(6), pp. 7257–7271. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04008-0>
 16. Cerqueira M.A., Souza B.W., Teixeira, J.A., Vicente A.A. Effect of glycerol and corn oil on physicochemical properties of polysaccharide films: a comparative study // Food Hydrocolloids, 2012, vol. 27(1), pp. 175–184. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.07.007>

17. Contardi M., Ayyoub A. M. M., Summa M. Self-Adhesive and Antioxidant Poly(vinylpyrrolidone)/Alginate-Based Bilayer Films Loaded with *Malva sylvestris* Extracts as Potential Skin Dressings // *ACS Applied Bio Materials*, 2022, vol. 5(6), pp. 2880–2893. <https://doi.org/10.1021/acsabm.2c00254>
18. Costa N.N., Lopes L.F., Ferreira D.F. Polymeric films containing pomegranate peel extract based on PVA/starch/PAA blends for use as wound dressing: In vitro analysis and physicochemical evaluation // *Materials Science and Engineering: C*, 2020, vol. 109, art. 110643. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2020.110643>
19. Donato P.D., Taurisano V., Poli A. et al. Vegetable wastes derived polysaccharides as natural eco-friendly plasticizers of sodium alginate // *Carbohydrate Polymers*, 2020, vol. 229, art. 115427. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115427>
20. Dudonné S., Vitrac X., Coutière P. Comparative Study of Antioxidant Properties and Total Phenolic Content of 30 Plant Extracts of Industrial Interest Using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC Assays // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2009, vol. 57(5), pp. 1768–1774. <https://doi.org/10.1021/jf803011r>
21. Guimarães I., Baptista-Silva S., Pintado M. Oliveira L. A. Polyphenols: A Promising Avenue in Therapeutic Solutions for Wound Care // *Applied Sciences*, 2021, vol. 11(3), 1230. <https://doi.org/10.3390/app11031230>
22. Ji M., Gong X., Li X. Advanced Research on the Antioxidant Activity and Mechanism of Polyphenols from *Hippophae* Species – A Review // *Molecules*, 2020, vol. 25(4), 917. <https://doi.org/10.3390/molecules25040917>
23. Li K., Jin Sh., Chen H., Li J. Bioinspired interface engineering of gelatin/cellulose nanofibrils nanocomposites with high mechanical performance and antibacterial properties for active packaging // *Composites Part B: Engineering*, 2019, vol. 171, pp. 222–234. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.04.043>
24. Luo M., Cao Y., Wang W. et al. Sustained-release antimicrobial gelatin film: effect of chia mucilage on physicochemical and antimicrobial properties // *Food Hydrocolloids*, 2019, vol. 87, pp. 783–791. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.09.010>
25. Minna L., Yong C., Wenbo W. et al. Sustained-release antimicrobial gelatin film: effect of chia mucilage on physicochemical and antimicrobial properties // *Food Hydrocolloids*, 2019, vol. 87, pp. 783–791. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.09.010>
26. Nilsuwan K., Benjakul S., Prodpran T. Properties and antioxidative activity of fish gelatin-based film incorporated with epigallocatechin gallate // *Food Hydrocolloids*, 2018, vol. 80, pp. 212–221. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.01.033>
27. Sabbagh F., Kim B.S. Recent advances in polymeric transdermal drug delivery systems // *Journal of Controlled Release*, 2022, vol. 341, pp. 132–146. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2021.11.025>

28. Shankar S., Teng X., Li G., Rhim J.W. Preparation, characterization, and antimicrobial activity of gelatin/ZnO nanocomposite films // *Food Hydrocolloids*, 2015, vol. 45, pp. 264–271. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.12.001>
29. Suderman N., Isa M.I.N., Sarbon N.M. The effect of plasticizers on the functional properties of biodegradable gelatin-based film: A review // *Food Bioscience*, 2018, vol. 24, pp. 111–119. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.06.006>
30. Sutar T., Bangde P., Dandekar P., Adivarekar R. Fabrication of Herbal Hemostat Films Loaded with Medicinal Tridax Procumbens Extracts // *Fibers and Polymers*, 2021, vol. 22, no. 8, pp. 2135–2144. <https://doi.org/10.1007/s12221-021-0808-1>
31. Taheri P., Jahanmardi R., Koosha M., Abdi S. Physical, mechanical and wound healing properties of chitosan/gelatin blend films containing tannic acid and/or bacterial nanocellulose // *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, vol. 154, pp. 421–432. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.114>
32. Takó M., Kerekes E.B., Zambrano C. et al. Plant Phenolics and Phenolic-Enriched Extracts as Antimicrobial Agents against Food-Contaminating Microorganisms // *Antioxidants*, 2020, vol. 9(2):165. <https://doi.org/10.3390/antiox9020165>
33. Zagorskina N.V., Zubova M.Y., Nechaeva T.L. et al. Polyphenols in Plants: Structure, Biosynthesis, Abiotic Stress Regulation, and Practical Applications (Review) // *International Journal of Molecular Sciences*, 2023; 24(18): 13874. <https://doi.org/10.3390/ijms241813874>

References

1. Bazunova M.V., Chernova V.V., Salikhov R.B. et al. Physico-chemical properties of polymer composites based on polyolefins and their waste and sunflower husks. *Vestnik Bashkirskogo universiteta*, 2018, no. 1, pp. 70–74. <https://doi.org/10.33184/bulletin-bsu-2018.1.13>
2. Brown D., Floyd A., Sainsbury M. *Organic spectroscopy*. Moscow: Mir, 1992, 300 p.
3. Isupova M.V., Elets A.A., Grebenev I.R. et al. Quantitative assessment of polyphenolic compounds in aqueous-alcoholic extracts from fruits and leaves. *Materialy dokladov XI mezhdunarodnogo simpoziuma: Phenolic compounds: fundamental and applied aspects*. M.: IFR RAN; Pero, 2022, p. 103.
4. Kishchenko V.M., Vernikovskiy V.V., Privalov I.M., Shevchenko A.M. Films in Russian medicine and cosmetology: development history, classification, technology. *Pharmacy & Pharmacology*, 2020, vol. 8(2), pp. 124–132. <https://doi.org/10.19163/2307-9266-2020-8-2-124-132>
5. Kovyazina N.A. Study of the physicochemical properties of medicinal sextaphage films. *Vestnik VGU, seriya: khimiya, biologiya, farmatsiya*, 2022, no. 1, pp. 78–84.

6. Losenkova S.O., Tyunina E.D., Pavlyuchenkova N.A. etc. Modern range of transdermal dosage forms on the Russian pharmaceutical market. *Vestnik Smolenskoy gosudarstvennoy meditsinskoy akademii*, 2022, vol. 21, no. 1, pp. 152–159. <https://doi.org/10.37903/vsgma.2022.1.20>
7. Myalenko D.M., Mikhailenko P.G. Study of the contact angle of polyethylene film modified with organic and inorganic components. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 2020, no. 12 (102), part 1, pp. 49–53. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.009>
8. Platonova E.Yu., Plyusnin S.N., Shaposhnikov M.V., Moskalev A.A. *Aronia melanocarpa* as a source of compounds with potential geroprotective activity. *Vestnik Instituta biologii Komi NTs UrO RAN*, 2019, no. 2 (209), pp. 2–9. [https://doi.org/10.31140/j.vestnikib.2019.2\(209\).1](https://doi.org/10.31140/j.vestnikib.2019.2(209).1)
9. Pretsch E., Bulmann F., Affolter K. *Structure determination of organic compounds*. Moscow: Mir, 2006, 438 p.
10. Shleikin A.G., Shatalov I.S., Shatalova A.S. Effect of transglutaminase on the mechanical characteristics of gelatin-based packaging material. *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya «Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv»*, 2014, no. 2, 5 p.
11. Yampolskaya G.P., Tarasevich B.N., Elenskiy A.A. Secondary Structure of Globular Proteins in Adsorption Layers at the Solution-Air Phase Boundary According to Fourier Transform IR Spectroscopy Data. *Colloid Journal*, 2005, vol. 67, no. 3, pp. 426–432.
12. Ahmad U., Ahmad R.S. Antidiabetic properties of aqueous extract of *Stevia rebaudiana* Bertoni leaves on streptozotocin-induced diabetes in albino rats. *Complementary and Alternative Medicine BMC*, 2018, vol. 18, no. 1, pp. 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12906-018-2245-2>
13. Amjadi S., Emaminia S., Heyat Davudian Sh. et al. Preparation and characterization of gelatin-based nanocomposite containing chitosan nanofiber and ZnO nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 2019, vol. 216, pp. 376–384. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.03.062>
14. Andrighetti T.T., Jacques M.C., Schmitt C. et al. Polymeric pullulan films incorporated with extract of *Cyclospermum leptophyllum* (pers.) Sprague for healing purposes. *Research, Society and Development*, [S. l.], 2022, vol. 11, no. 15, pp. e209111537082. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i15.37082>
15. Antosik A.K., Miądlicki P., Wilpiszewska K. et al. Polysaccharide films modified by compounds of natural origin and silver having potential medical applications. *Cellulose*, 2021, vol. 28(6), pp. 7257–7271. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04008-0>
16. Cerqueira M.A., Souza B.W., Teixeira, J.A., Vicente A.A. Effect of glycerol and corn oil on physicochemical properties of polysaccharide films: a com-

- parative study. *Food Hydrocolloids*, 2012, vol. 27(1), pp. 175–184. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.07.007>
17. Contardi M., Ayyoub A. M. M., Summa M. Self-Adhesive and Antioxidant Poly(vinylpyrrolidone)/Alginate-Based Bilayer Films Loaded with Malva sylvestris Extracts as Potential Skin Dressings. *ACS Applied Bio Materials*, 2022, vol. 5(6), pp. 2880–2893. <https://doi.org/10.1021/acsabm.2c00254>
 18. Costa N.N., Lopes L.F., Ferreira D.F. Polymeric films containing pomegranate peel extract based on PVA/starch/PAA blends for use as wound dressing: In vitro analysis and physicochemical evaluation. *Materials Science and Engineering: C*, 2020, vol. 109, art. 110643. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2020.110643>
 19. Donato P.D., Taurisano V., Poli A. et al. Vegetable wastes derived polysaccharides as natural eco-friendly plasticizers of sodium alginate. *Carbohydrate Polymers*, 2020, vol. 229, art. 115427. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115427>
 20. Dudonné S., Vitrac X., Coutière P. Comparative Study of Antioxidant Properties and Total Phenolic Content of 30 Plant Extracts of Industrial Interest Using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC Assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2009, vol. 57(5), pp. 1768–1774. <https://doi.org/10.1021/jf803011r>
 21. Guimarães I., Baptista-Silva S., Pintado M. Oliveira L. A. Polyphenols: A Promising Avenue in Therapeutic Solutions for Wound Care. *Applied Sciences*, 2021, vol. 11(3), 1230. <https://doi.org/10.3390/app11031230>
 22. Ji M., Gong X., Li X. Advanced Research on the Antioxidant Activity and Mechanism of Polyphenols from Hippophae Species – A Review. *Molecules*, 2020, vol. 25(4), 917. <https://doi.org/10.3390/molecules25040917>
 23. Li K., Jin Sh., Chen H., Li J. Bioinspired interface engineering of gelatin/cellulose nanofibrils nanocomposites with high mechanical performance and antibacterial properties for active packaging. *Composites Part B: Engineering*, 2019, vol. 171, pp. 222–234. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.04.043>
 24. Luo M., Cao Y., Wang W. et al. Sustained-release antimicrobial gelatin film: effect of chia mucilage on physicochemical and antimicrobial properties. *Food Hydrocolloids*, 2019, vol. 87, pp. 783–791. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.09.010>
 25. Minna L., Yong C., Wenbo W. et al. Sustained-release antimicrobial gelatin film: effect of chia mucilage on physicochemical and antimicrobial properties. *Food Hydrocolloids*, 2019, vol. 87, pp. 783–791. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.09.010>
 26. Nilsuwan K., Benjakul S., Prodpran T. Properties and antioxidative activity of fish gelatin-based film incorporated with epigallocatechin gallate. *Food Hydrocolloids*, 2018, vol. 80, pp. 212–221. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.01.033>

27. Sabbagh F., Kim B.S. Recent advances in polymeric transdermal drug delivery systems. *Journal of Controlled Release*, 2022, vol. 341, pp. 132–146. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2021.11.025>
28. Shankar S., Teng X., Li G., Rhim J.W. Preparation, characterization, and antimicrobial activity of gelatin/ZnO nanocomposite films. *Food Hydrocolloids*, 2015, vol. 45, pp. 264–271. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.12.001>
29. Suderman N., Isa M.I.N., Sarbon N.M. The effect of plasticizers on the functional properties of biodegradable gelatin-based film: A review. *Food Bioscience*, 2018, vol. 24, pp. 111–119. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.06.006>
30. Sutar T., Bangde P., Dandekar P., Adivarekar R. Fabrication of Herbal Hemostat Films Loaded with Medicinal Tridax Procumbenns Extracts. *Fibers and Polymers*, 2021, vol. 22, no. 8, pp. 2135–2144. <https://doi.org/10.1007/s12221-021-0808-1>
31. Taheri P., Jahanmardi R., Koosha M., Abdi S. Physical, mechanical and wound healing properties of chitosan/gelatin blend films containing tannic acid and/or bacterial nanocellulose. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, vol. 154, pp. 421–432. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.114>
32. Takó M., Kerekes E.B., Zambrano C. et al. Plant Phenolics and Phenolic-Enriched Extracts as Antimicrobial Agents against Food-Contaminating Microorganisms. *Antioxidants*, 2020, vol. 9(2):165. <https://doi.org/10.3390/antiox9020165>
33. Zagorskina N.V., Zubova M.Y., Nechaeva T.L. et al. Polyphenols in Plants: Structure, Biosynthesis, Abiotic Stress Regulation, and Practical Applications (Review). *International Journal of Molecular Sciences*, 2023, vol. 24(18), 13874. <https://doi.org/10.3390/ijms241813874>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАнные ОБ АВТОРЕ

Товстик Евгения Владимировна, канд. биол. наук, старший научный сотрудник, доцент, доцент кафедры фундаментальной химии и методики обучения химии

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет»

*ул. Московская, 36, г. Киров, 610000, Российская Федерация
tovstik2006@inbox.ru*

Широкова Евгения Сергеевна, канд. хим. наук, доцент, доцент кафедры химии и технологии переработки полимеров

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет»

*ул. Московская, 36, г. Киров, 610000, Российская Федерация
usr06779@vyatsu.ru*

DATA ABOUT THE AUTHOR

Evgenia V. Tovstik, Candidate of Biological Sciences, senior researcher, associate professor, associate professor of the Department of Fundamental Chemistry and Methods of Teaching Chemistry

Vyatka State University

36, Moskovskaya Str., Kirov, 610000, Russian Federation

tovstik2006@inbox.ru

SPIN-code: 8792-9281

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1861-6076>

ResearcherID: P-1350-2017

Scopus Author ID: 57004932100

Evgeniya S. Shirokova, Candidate of Chemical Sciences, associate professor, associate professor of the Department of Chemistry and Technology of Polymer Processing

Vyatka State University

36, Moskovskaya Str., Kirov, 610000, Russian Federation

usr06779@vyatsu.ru

SPIN-code: 1586-3040

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5735-3489>

ResearcherID: L-2195-2017

Scopus Author ID: 57208134529

Поступила 16.01.2024

После рецензирования 11.03.2024

Принята 28.03.2024

Received 16.01.2024

Revised 11.03.2024

Accepted 28.03.2024