

УДК 547. 972

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ЭКСТРАГИРОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ *TAMARIX HISPIDA* WILLD.

© Ш.Н. Жумагалиева*, А. Аманжолқызы, Н.А. Султанова, Ж.А. Абилов

Казахский национальный университет имени Аль-Фараби,
пр. Аль-Фараби, 71, Алматы, 050040 (Казахстан), e-mail: shynarnur@mail.ru

Приведены исследования по экстрагированию биологически активных веществ из надземной массы *Tamarix hispida* Willd. с применением ультразвукового воздействия. Результаты показали, что выход экстрактивных веществ с применением ультразвука увеличивается до 37.34% при следующих условиях: 10%-ный этиловый спирт в соотношении сырье-экстрагент (1 : 6) в течение 25 мин при температуре 20–25 °С и частоте ультразвука 35 кГц. Экстракцию компонентов сравнивали с мацерацией по выходу и химическому составу. В результате оптимизации увеличен выход компонентов из исследуемого сырья в 3–4 раза при излучаемой мощности ультразвука от 20 до 35 кГц и значительно сокращено время экстракции от 48 ч до 30 мин. Методом хроматографии идентифицировали мажорные компоненты – дубильные вещества, содержание которых составляет 10% (ультразвуковая экстракция) и 8% (мацерация) соответственно. Используя метод УФ-спектрометрии, подтвердили, что появление характеристичного максимума в спектре субстанции соответствует области поглощения галловой кислоты и ее производных, что свидетельствует об их содержании в структуре гидролизующих дубильных веществ. Полученная субстанция показала умеренный антидиабетический эффект (*in vitro*) при ИК₅₀ = 3.94±0.14 мкг/мл.

Ключевые слова: ультразвуковое экстрагирование, *Tamarix hispida* Willd., биологически активные вещества, гидролизующие дубильные вещества, УФ-спектрометрия, антидиабетическая активность.

Введение

Растения рода *Tamarix* (гребенщик) семейства *Tamaricaceae* (гребенщиковые) являются ценным источником разнообразных биологически активных веществ. Ранее нами из растений данного рода выделены и охарактеризованы полифенольные, терпеноидные и другие биологически активные соединения. Экстракты и индивидуальные компоненты проявили антиоксидантную, антиамнезийную, противомикробную, противогрибковую и цитотоксическую активность [1–5].

Известно, что экстрагирование биологически активных веществ из растительного сырья является одной из наиболее продолжительных стадий его переработки. Обычно экстрагирование осуществляется трудоемкими и длительными методами, такими как перколяция, мацерация и Сокслет-экстракция. Одним из наиболее инновационных методов интенсификации экстрагирования компонентов растительного сырья наряду с виброкавитационной, двухфазной, сверхкритической флюидной CO₂ экстракцией является ультразвуковая [6, 7]. Использование ультразвука позволяет не только значительно ускорить производственный процесс, но и увеличить по сравнению с другими способами экстрагирование основного продукта. Существуют данные о возможности применения ультразвуковых экстракционных процессов для повышения обработки в пищевой промышленности, включая получение биокомпонентов из растительных и животных материалов [8, 9]. В последнее время возрастает число исследований с применением ультразвуковой экс-

Жумагалиева Шынар Нурлановна – профессор, доктор химических наук, e-mail: shynarnur@mail.ru

Аманжолқызы Арайлым – докторант, e-mail: arailymamanzholkuly13@gmail.com

Султанова Нургул Адайбаевна – доцент, доктор химических наук, e-mail: nureu@mail.ru

Абилов Жарылкасын Абдухатович – профессор, доктор химических наук, e-mail: abilovs51@mail.ru

тракции из растений. Так, для экстракции флавоноидов из *Herba Epimedii* [10], плодов боярышника [11], зеленой массы гречихи [12]; терпеноидов из листьев *Loquat* (японской мушмулы) [13]; полифенолов грецких орехов [14], мяты луговой, шалфея лекарственного, чабера садового, иссопа лекарственного [15]; антоцианов тутовой ягоды [16]

* Автор, с которым следует вести переписку.

применяется ультразвук. Авторы Sharma и Gupta [17] использовали данный метод при выделении масел из миндаля, абрикоса и *Jatropha curcas* L. В связи с этим применение ультразвукового способа экстрагирования для извлечения компонентов из растительного сырья является весьма актуальным.

В свою очередь, лекарственные растения, содержащие большой спектр биологически активных веществ, таких как флавоноиды, тритерпеноиды, танины, способствуют снижению уровня глюкозы в крови [18], что способствует поиску и разработке новых эффективных, малотоксичных средств для лечения диабета среди растительных объектов.

Цель настоящей работы – выделение экстрактивных веществ из надземной массы *Tamarix hispida* Willd. (гребенщик щетинистоволосый) с использованием ультразвукового воздействия, определение содержания мажорных веществ и оценка антидиабетической активности.

Экспериментальная часть

Растительное сырье, надземную массу (листья, стебли) *Tamarix hispida* Willd. собирали на территории Алматинской области Республики Казахстан в фазу цветения. Гербарные образцы растения хранятся в лаборатории растительных ресурсов Института ботаники и фитоинтродукции КН МОН РК (Алматы).

Сырье сушили до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре без доступа солнечного света и хранили в сухом прохладном месте. Высушенное растительное сырье измельчали до размера частиц 1 мм.

Проведение экстракции: высушенное и измельченное растительное сырье (200 г) обрабатывали экстрагентом при варьировании различных параметров экстракции. Полученные вытяжки концентрировали на роторном испарителе до сухого остатка и определяли выход экстрактивных веществ. Экстракцию проводили в двух разных экстракционных ваннах «Ultrasonik» с мощностью 20 кГц и «ПСБ-Галб» с мощностью 35 кГц.

УФ-спектры водных растворов растительной субстанции (от 0.1 до 0.7%) были сняты на спектрофотометре «Shimadzu UV-1700 PharmaSpec» (Shimadzu, Япония) в диапазоне длин волн от 200 до 500 нм.

Для исследования качественного состава компонентов использовали методы тонкослойной хроматографии – ТСХ (Silica gel DC- Alugram 60 UV₂₅₄ фирмы MERCK art. 7739); бумажной хроматографии – БХ (бумага марки Watman S2, Германия). В качестве растворителей для БХ применяли системы: бутиловый спирт – уксусная кислота – вода; 40 : 12.5 : 29 (I); 15%-ная уксусная кислота (II); ТСХ: бензол – этилформиат – муравьиная кислота; 1 : 7 : 1 (III); этилацетат – муравьиная кислота – вода; 7 : 2 : 1 (IV). Для проявления хроматограмм использовали реагенты: 1%-ный раствор железоммониевых квасцов (ЖАК) и 1%-ный раствор хлорида железа. Для количественного определения гидролизуемых дубильных веществ использована методика (метод перманганатометрии), описанная в Государственной фармакопее Республики Казахстан [19].

Антидиабетическая активность изучалась в специализированной лаборатории Циньзянского технического института физики и химии АН Китайской Народной Республики. Эксперимент *in vitro* проведен энзимным методом с использованием фермента РТР-1В. Противодиабетическую активность экстракта определяли с помощью процедур ингибирования РТР-1В. Анализ ингибирования активности фермента РТР-1В проводили в соответствии с данными литературы [20]. В качестве стандартного ингибитора использовали – 3-(3,5-дибромо-4-гидроксибензоил)-2-этилбензофуран-6-сульфоновая кислота-(4-(тиазол-2-улсульфамильный)-фенил)-амид).

Обсуждение результатов

Проведено сравнительное исследование извлечения экстрактивных веществ из растительного сырья *Tamarix hispida* Willd. методом мацерации и с применением ультразвукового воздействия, с учетом различных факторов экстракции, которые влияют на эффективность протекания процесса. Учитывая, что в исследуемом растительном образце превалируют различные полифенольные соединения (гидролизуемые дубильные вещества, гликозидированные, сульфатные формы флавоноидов, фенолокислоты, углеводы и др.), для экстракции выбрали 10%-ный этиловый спирт.

Для определения оптимального объема растворителя при постоянстве массы, времени и однократной экстракции изменяли объем растворителя от 4- до 8-кратного его избытка. Из полученных экспериментальных данных следует, что оптимальным соотношением сырья и растворителя с максимальным выходом субстанции является 1 : 6.

Время экстракции отработано при постоянстве всех других параметров (масса, объем, число экстракций), которое варьировалось от 6 до 96 ч. Учитывая полученные данные, использовали 48-часовое время экстракции. Оптимальная температура – 20–25 °С, поскольку при ее увеличении наблюдается тенденция гидролиза действующих веществ, что является нежелательным процессом при их извлечении. Мацерация проведена дважды, так как именно 2-кратность, как показал эксперимент, способствует максимальному извлечению комплекса биологически активных веществ. На рисунках 1–3 приведены данные по оптимальному способу получения субстанции из *Tamarix hispida* Willd. с учетом вышеописанных параметров экстракции методом мацерации. Таким образом, при извлечении из сырья 10%-ным водно-этиловым спиртом в соотношении 1 : 6 (сырье-экстрагент), времени экстракции 48 ч при комнатной температуре выход экстрактивных веществ составляет 8.67%.

Для сравнительного исследования выхода компонентов использовали ультразвуковое воздействие. Экстракцию проводили при разных частотах ультразвукового колебания, времени и температуры. Продолжительность воздействия ультразвуком зависит от величины частиц экстрагируемого сырья, например, частицы размером 0.5 мм рекомендуется обрабатывать не более 15–30 мин; 1 мм – не более 60 мин; 2 мм – не более 120 мин. Обычно не рекомендуется проводить слишком длительную ультразвуковую обработку сырья, так как может повыситься мутность экстракта из-за сопутствующего процесса диспергирования. Исходя из вышесказанного, для экстракции использовали высушенное растительное сырье, измельченное до размера частиц 1 мм.

Для подбора оптимальных условий экстрагирования в качестве экстрагента использовали 10%-ный этиловый спирт при постоянстве времени экстракции и частоте ультразвука. Экстракция проведена при двух частотах ультразвука, 20 и 35 кГц соответственно. Температуру варьировали от 25 до 40 °С, при этом наблюдали незначительное изменение выхода экстрактивных веществ. Результаты ультразвуковой экстракции компонентов из *Tamarix hispida* Willd. приведены на рисунках 4 и 5. Из данных следует, что для выделения экстрактивных веществ оптимальным условием является время 25 мин при частоте 35 кГц. Для интенсификации процесса экстракции ультразвуковую обработку проводили при перемешивании.

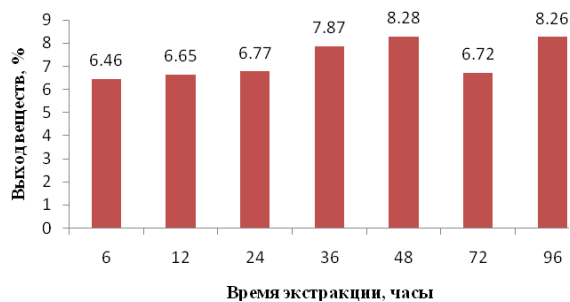


Рис. 1. Выход экстрактивных веществ при соотношении сырье-реагент 1 : 4 (метод мацерации)

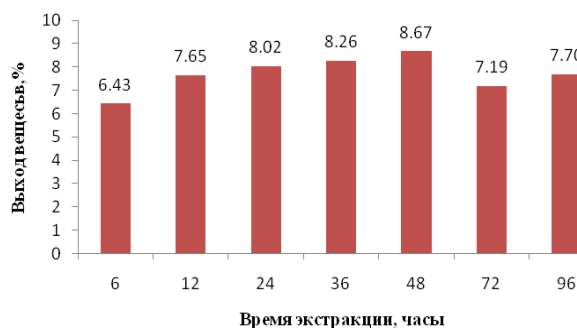


Рис. 2. Выход экстрактивных веществ при соотношении сырье-реагент 1 : 6 (метод мацерации)



Рис. 3. Выход экстрактивных веществ при соотношении сырье-реагент 1 : 8 (метод мацерации)



Рис. 4. Выход экстрактивных веществ с частотой ультразвука 20 кГц



Рис. 5. Выход экстрактивных веществ с частотой ультразвука 35 кГц

Таким образом, выявлены оптимальные условия выделения экстрактивных веществ из *Tamarix hispida* Willd.: 10%-ный этиловый спирт в соотношении сырье-экстрагент (1 : 6) в течение 25 мин при комнатной температуре с частотой ультразвука 35 кГц. При этих условиях наблюдалось максимальное извлечение экстрактивных веществ до 37.34%. Сравнительные результаты свидетельствуют о том, что выход экстрактивных веществ из *Tamarix hispida* Willd. увеличивается в 3–4 раза при мощности ультразвука от 20 до 35 кГц, при этом значительно сокращается время от 48 ч до 30 мин.

Полученный экстракт, условно названный ТН-10, после экстрагирования фильтровали, концентрировали на роторном испарителе до сухого остатка. Субстанция представляет собой кристаллический темно-коричневый порошок с приятным специфическим вкусом.

Методами БХ и ТСХ с использованием различных систем растворителей (I–IV) и специфических проявителей выявили, что мажорными компонентами субстанции являются гидролизуемые дубильные вещества.

Содержание гидролизуемых дубильных веществ в субстанциях, полученных ультразвуком и мацерацией, составляет 10 и 8% соответственно, которое определено методом перманганатометрии [19].

В УФ-спектре (рис. 6) субстанции при различных концентрациях наблюдали появление пиков в области 270 нм, что соответствует области поглощения гидролизуемых дубильных веществ, содержащих остатки галловой кислоты и ее производных [21]. Данные УФ-спектрометрии и появление характерной полосы в дальнейшем может быть использовано для количественного определения экстракта при разработке пролонгированных полимерных форм. Нами начаты работы по получению мягких лекарственных форм на основе полученной субстанции ТН-10 с бентонитовой глиной и ее композициями [22, 23].

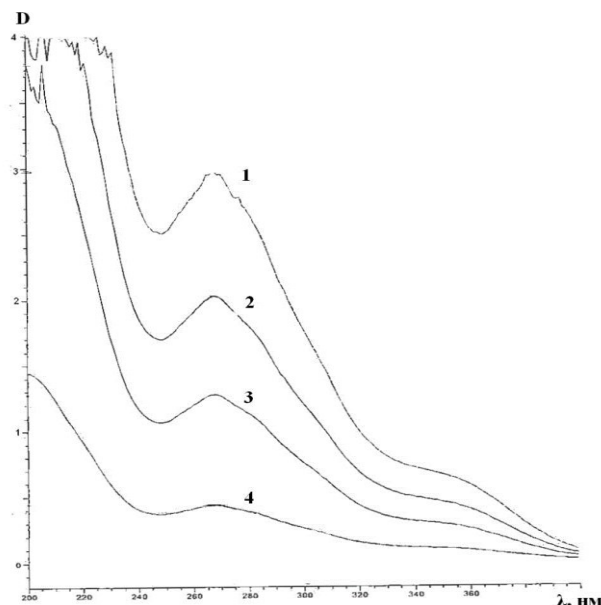


Рис. 6. УФ-спектр водного раствора ТН-10 при концентрациях 0.7% (1), 0.5% (2), 0.3% (3), 0.1% (4)

Полученную субстанцию исследовали на антидиабетическую активность, которая проводилась энзимным методом (*in vitro*) с использованием фермента РТР-1В. Данный фермент подавляет фосфорилирование тирозина в инсулиновых рецепторах и является терапевтической мишенью при сахарном диабете 2-го типа. Для оценки антидиабетической активности определяли среднюю концентрацию ингибирования (ИК₅₀). Полученная растительная субстанция показала умеренный антидиабетический эффект, подавляя активность фермента при ИК₅₀=3.94±0.14 мкг/мл при сравнении со стандартом (1.46±0.40 мкг/мл).

Выводы

Исходя из полученных результатов, можно сделать следующие выводы:

- 1) увеличивается выход компонентов из растительного сырья в 3–4 раза и значительно сокращается время экстракции при излучаемой мощности ультразвука от 20 до 35 кГц;
- 2) на основании данных хроматографии и УФ-спектрометрии установили, что мажорными экстрактивными веществами субстанции являются гидролизуемые дубильные вещества, содержащие остатки галловой кислоты и ее производных;
- 3) выявлено, что полученная субстанция проявляет антидиабетическую активность в эксперименте (*in vitro*) с использованием фермента РТР-1В.

Список литературы

1. Ikhsanov Y.S., Abilov Zh.A., Choudhary M.I., Sultanova N.A. Study of the chemical composition of dichloromethane extract of *T. hispida* // Vestnik Karagandinskogo Universiteta. 2018. Vol. 89. N1. Pp. 8–13.
2. Ихсанов Е.С., Абилов Ж.А., Султанова Н.А., Чоудхари М.И. Исследование компонентов гексанового экстракта из растения гребенщик методом газовой хроматографии // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2018. Т. 61. №6. С. 83–87. DOI: 10.6060/tcct.20186106.5706.
3. Султанова Н.А. Изопреноиды из надземной массы *Tamarix hispida* // Химический журнал Казахстана. 2009. Т. 27. №4. С. 102–105.
4. Султанова Н.А. Цитотоксическая активность танинов гидролизуемого типа растений рода гребенщик // Изв. НТО «Казахк». 2009. Т. 24. №2. С. 39–42.
5. Sultanova N.A., Makhmoo T., Yasin A., Abilov Zh.A., Omurkamzinova V.B., Atta-ur-Rahman, Choudhary M.I. Iso-tamarixen – A New Antioxidant and Propyl Endopeptidase-Inhibiting Triterpenoid from *Tamarix hispida* // Planta Medica. 2004. Vol. 70. N1. Pp. 65–67. DOI: 0009-3130/04/4002-0192.
6. Белокуров С.С., Наркевич И.А., Флисюк Е.В., Каухова И.Е., Ароян М.В. Современные методы экстрагирования лекарственного растительного сырья (обзор) // Химико-фармацевтический журнал. 2019. Т. 56. №6. С. 45–50. DOI: 10.30906/0023-1134-2019-53-6-48-53.
7. Белокуров С.С., Флисюк Е.В., Наркевич И.А., Лужанин В.Г., Шилов С.В., Новикова К.О. Сравнительный анализ перспективных методов экстрагирования для получения извлечений из семян пажитника сенного // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2019. Т. 8. №3. С. 49–55. DOI: 10.33380/2305-2066-2019-8-3-49-55.
8. Vilkhu K., Mawson R., Simons L., Bates D. Applications and opportunities for ultrasound assisted extraction in the food industry – A review // Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2008. Vol. 9. N2. Pp. 161–169. DOI: 10.1016/j.ifset.2007.04.014.
9. Patist A., Bates D. Ultrasonic innovations in the food industry: From the laboratory to commercial production // Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2008. Vol. 9. N2. Pp. 147–154. DOI: 10.1016/j.ifset.2007.07.004.
10. Zhang H.-F., Yang T.-Sh., Li Z.-Zh., Wang Y. Simultaneous extraction of epimedin A, B, C and icariin from Herba Epimedii by ultrasonic technique // Ult. Sonochemistry. 2008. Vol. 15. N4. Pp. 376–385. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2007.09.002.
11. Valeeva A.R., Makarova N.V., Valiulina D.F. Optimisation of conditions for extracting bioactive compounds exhibiting antioxidant properties from hawthorn fruit (*Crataegus*) // Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology. 2019. Vol. 9. N2. Pp. 239–249. DOI: 10.21285/2227-2925-2019-9-2-239-249.
12. Апаева А.В., Ямансарова Э.Т., Куковинец О.С., Зворыгина О.Б. Влияние ультразвукового облучения на извлечение флавоноидов из зеленой массы гречихи // Вестник Башкирского университета. 2016. Т. 21. №1. С. 69–72.
13. Wang S., Shi Y., Zhang G., Meng Y., Zhang N., Madhujith T. Optimization of Extraction of Flavonoids and Triterpenoids from Loquat Leaves Using Response Surface Methodology // Food Industry. 2018. Vol. 3. N3. Pp. 33–45. DOI: 10.29141/2500-1922-2018-3-3-6.
14. Ameer K., Shahbaz H.M., Kwon J.H. Green Extraction Methods for Polyphenols from Plant Matrices and Their By-products: A Review // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2017. Vol. 16. N2. Pp. 295–315. DOI: 10.1111/1541-4337.12253.
15. Попова О.С., Скрыпник Л.Н. Сравнительная характеристика эффективности различных методов экстракции полифенолов из растений семейства Яснотковые // Успехи современного естествознания. 2017. №6. С. 34–38.

16. Zou T.-B., Wang M., Gan R.-Y., Ling W.-H. Optimization of ultrasound-assisted extraction of anthocyanins from mulberry, using response surface methodology // International journal of molecular sciences. 2011. Vol. 12. N5. Pp. 3006–3017. DOI: 10.3390/ijms1205300.
17. Sharma A., Gupta M.N. Ultrasonic pre-irradiation effect upon aqueous enzymatic oil extraction from almond and apricot seeds // Ultrasonics. 2006. N6. Pp. 529–534. DOI: 10.1016/j.ulsonch.2005.09.008.
18. Patel D.K., Prasad S.K., Kumar R., Hemalatha S. An overview on antidiabetic medicinal plants having insulin mimetic property // Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine. 2012. Vol 2. N4. Pp. 320–330. DOI: 10.1016/S2221-1691(12)60032-X.
19. Государственная фармакопея Республики Казахстан. Алматы, 2008. Т. 1. 592 с.
20. Bozorov K., Ma H.-R., Zhao J.-Y., Zhao H.-Q., Chen H., Bobakulov K., Xin X.-L., Elmuradov B., Shakhidoyatov K., Aisa H.A. Discovery of diethyl 2,5-diaminothiophene-3,4-dicarboxylate derivatives as potent anticancer and antimicrobial agents and screening of anti-diabetic activity: Synthesis and in vitro biological evaluation. Part 1 // Eur. J. Med. Chem. 2014. Vol. 84. Pp. 739–745. DOI: 10.1016/j.ejmech.2014.07.065.
21. Nawwar M.A., Hussein S.A., Buddrus J. Tamarixellagic acid an ellagitannin from the galls of *Tamarix aphylla* // Phytochem. 1994. Vol. 35. N5. Pp. 1349–1354.
22. Гылымхан Н.Т., Урынғалиев Д.И., Султанова Н.А., Жумағалиева Ш.Н., Абилов Ж.А. Пролонгированные лекарственные системы на основе бентонитовых глин // Вестник ЕНУ. 2016. Т. 113. №4. С. 279–283.
23. Әбдімәлік Н.Ж., Жумағалиева Ш.Н., Абилов Ж.А., Султанова Н.А. Свойства фитопленок на основе поливинилового спирта и бентонитовой глины // Фармация Казахстана. 2019. №10. С. 29–32.

Поступила в редакцию 14 октября 2020 г.

После переработки 5 декабря 2020 г.

Принята к публикации 9 апреля 2021 г.

Для цитирования: Жумағалиева Ш.Н., Аманжолқызы А., Султанова Н.А., Абилов Ж.А. Ультразвуковое экстрагирование биологически активных веществ *Tamarix hispida* Willd. // Химия растительного сырья. 2021. №3. С. 283–289. DOI: 10.14258/jcrpm.2021038695.

*Zhumagaliyeva Sh.N.**, *Amanzholykyzy A.*, *Sultanova N.A.*, *Abilov Zh.A.* USE OF ULTRASOUND FOR EXTRACTION OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES FROM *TAMARIX HISPIDA* WILLD.

Al-Farabi Kazakh National University, av. Al-Farabi, 71, Almaty, 050040 (Kazakhstan), e-mail: shynarnur@mail.ru

The extractions of biologically active substances from aerial part of *Tamarix hispida* Willd. over ultrasound have been studied. The results showed that the output of extractive substances using ultrasound was increased to 37.34% under the following conditions: 10% ethyl alcohol in a raw-extractant ratio (1 : 6) for 25 minutes at a 20–25 °C temperature and an ultrasound frequency of 35 kHz. The extraction was compared with maceration by yield and chemical composition. As a result of optimization, the output of components from the raw material is increased by 3–4 times at ultrasound frequency from 20 to 35 kHz and extraction time is significantly reduced from 48 hours to 30 minutes. It was found that the major substances were hydrolyzable tannins, the content of which are 10% (ultrasonic extraction) and 8% (maceration), respectively. Using UV-spectrometry, it was confirmed that the appearance of a characteristic maximum in the spectrum of the substance to be analyzed corresponds to the area of absorption of gallic acid and its derivatives, which indicates the content of these in the structure of hydrolyzable tannins. The substance shown significant antidiabetic activity (*in vitro*) at $IC_{50} = 3.94 \pm 0.14 \mu\text{g/ml}$.

Keywords: ultrasonic extraction, *Tamarix hispida* Willd., biologically active substances, hydrolyzable tannins, UV-spectrometry, antidiabetic activity.

* Corresponding author.

References

1. Ikhsanov Y.S., Abilov Zh.A., Choudhary M.I., Sultanova N.A. *Vestnik Karagandinskogo Universiteta*, 2018, vol. 89, no. 1, pp. 8-13.
2. Ikhsanov Y.S., Abilov Zh.A., Sultanova N.A., Choudhary M.I. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.*, 2018, vol. 61, no. 6, pp. 83–87. DOI: 10.6060/tect.20186106.5706. (in Russ.)
3. Sultanova N.A. *Khimicheskiy zhurnal Kazakhstana*, 2009, vol. 27, no. 4, pp. 102-105. (in Russ.)
4. Sultanova N.A. *Izv. NTO «Kakhak»*, 2009, vol. 24, no. 2, pp. 39–42. (in Russ.)
5. Sultanova N. A., Makhmurov T., Yasin A., Abilov Zh.A., Omurkamzinova V.B, Atta-ur-Rahman, Choudhary M.I. *Planta Medica*, 2004, vol. 70, no. 1, pp. 65–67. DOI: 0009-3130/04/4002-0192.
6. Belokurov S.S., Narkevich I.A., Flisyuk E.V., Kaukhova I.E., Aroyan M.V. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal*, 2019, vol. 56, no. 6, pp. 45–50. DOI: 10.30906/0023-1134-2019-53-6-48-53. (in Russ.)
7. Belokurov S.S., Flisyuk E.V., Narkevich I.A., Luzhanin V.G., Shilov S.V., Novikova R.O. *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv*, 2019, vol. 8, no.3, pp. 49–55. DOI: 10.33380/2305-2066-2019-8-3-49-55. (in Russ.)
8. Vilkuh K., Mawson R., Simons L., Bates D. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2008, vol. 9, no. 2, pp. 161-169. DOI: 10.1016/j.ifset.2007.04.014.
9. Patist A., Bates D. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2008, vol.9, no. 2, pp. 147–154. DOI: 10.1016/j.ifset.2007.07.004.
10. Zhang H.-F., Yang T.-Sh., Li Z.-Zh., Wang Y. *Ult. Sonochemistry*, 2008, vol. 15, no. 4, pp. 376-385. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2007.09.002.
11. Valeeva A.R., Makarova N.V., Valiulina D.F. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*, 2019, vol. 9, no. 2, pp. 239–249. DOI: 10.21285/2227-2925-2019-9-2-239-249.
12. Apaeva A.V., Yamansarova E.T., Kukovinets O.S., Zvorigina O. B. *Vestnik Bashkirskogo universiteta*, 2016, vol. 21, no. 1, pp. 69–72. (in Russ.)
13. Wang S., Shi Y., Zhang G., Meng Y., Zhang N., Madhujith T. *Food Industry*, 2018, vol. 3, no. 3, pp. 33–45. DOI: 10.29141/2500-1922-2018-3-3-6.
14. Ameer K., Shahbaz H.M., Kwon J.H. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2017, vol. 16, no. 2, pp. 295–315. DOI: 10.1111/1541-4337.12253.
15. Popova O.S., Skrypnik L.N. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya*, 2017, no. 6, pp. 34–38. (in Russ.)
16. Zou T.-B., Wang M., Gan R.-Y., Ling W.-H. *International journal of molecular sciences*, 2011, vol. 12, no 5, pp. 3006–3017. DOI: 10.3390/ijms1205300.
17. Sharma A., Gupta M.N. *Ult. Sonochemistry*, 2006, no. 6, pp. 529-534. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2005.09.008.
18. Patel D.K., Prasad S.K., Kumar R., Hemalatha S. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2012, vol. 2, no. 4, pp. 320–330. DOI: 10.1016/S2221-1691(12)60032-X.
19. *Gosudarstvennaya farmakopeya Respubliki Kazakhstan*. [The State Pharmacopoeia of Kazakhstan]. Almaty, 2008, vol. 1, 592 p. (in Russ.)
20. Bozorov K., Ma H.-R., Zhao J.-Y., Zhao H.-Q., Chen H., Bobakulov K., Xin X.-L., Elmuradov B., Shakhidoyatov K., Aisa H.A. *Eur. J. Med. Chem.*, 2014, vol. 84, pp. 739–745. DOI: 10.1016/j.ejmech.2014.07.065.
21. Nawwar M.A., Hussein S.A., Buddrus J. *Phytochem.*, 1994, vol. 35, no 5, pp. 1349–1354.
22. Gylymkhan N.T., Uryngaliev D.I., Sultanova N.A., Zhumagalieva Sh.N., Abilov Zh.A. *Vestnik ENU*, 2016, vol. 113, no. 4, pp. 279–283. (in Russ.)
23. Abdimalik N.Zh., Zhumagalieva Sh.N., Abilov Zh.A., Sultanova N.A. *Farmatsiya Kazakhstana*, 2019, no. 10, pp. 29–32. (in Russ.)

Received October 14, 2020

Revised December 5, 2020

Accepted April 9, 2021

For citing: Zhumagalieva Sh.N., Amanzholkyzy A., Sultanova N.A., Abilov Zh.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2021, no. 3, pp. 283–289. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2021038695.

