

10. Dmitrieva SO, Biryukova NV. Study of the chemical composition of leaves of burdock (*Arctium lappa* L.). The scientific heritage. 2021;(67):22-25. (In Russ).
11. Lemyaseva S V, Babenko A N, Kuzina O S. Izuchenie obshchetoksicheskogo deistviya soka iz list'ev lopukha bol'shogo (Study of the general toxic effect of burdock leaf juice). Sb. nauchnykh trudov Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Ot biokhimii rastenii k biokhimii cheloveka». M., FGBNU VILAR. 2022: 376-380. (In Russ).

УДК 615.322; 53.097
© Коллектив авторов, 2023

В.Ю. Жилкина, А.И. Марахова, М.А. Завьялова,
Д.А. Мезенцева, А.А. Шишова, А.В. Гапонова, М.Н. Гогопуло
**ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ
НА ИНТЕНСИФИКАЦИЮ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ СОЕДИНЕНИЙ
ФЕНОЛЬНОЙ ПРИРОДЫ ИЗ ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ**
ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва

Цель. В представленных результатах исследования показана возможность интенсификации процессов экстракции соединений фенольной природы из лекарственного сырья растительного происхождения под воздействием электрического напряжения.

Материал и методы. Были проведены исследования по эффективности воздействия электрического тока на экстракцию флавоноидов из травы чабреца в результате приложения переменного и постоянного напряжения. Содержание флавоноидов определяли при помощи дифференциальной спектрофотометрии, в качестве стандартного образца применяли рутин. В ходе исследования было изучено воздействие переменного напряжения в 5 В, в диапазоне частот 10^{-3} - 10^5 Гц и постоянного напряжения в диапазоне 1,5-12 В.

Заключение. Обнаружено, что электрическое напряжение по-разному влияет на экстракцию фенольных соединений из травы чабреца. Доказано, что действие электрического напряжения повышает эффективность экстракции флавоноидов по сравнению с фармакопейными методами. Применение электрического напряжения позволяет проводить экстракцию без повышения температуры, что является положительным фактором при экстракции веществ в нативном виде.

Ключевые слова: экстракция, электрическое напряжение, лекарственное растительное сырье, флавоноиды, чабреца трава.

V.Yu. Zhilkina, A.I. Marakhova, M.A. Zavyalova,
D.A. Mezentseva, A.A. Shishova, A.V. Gaponova, M.N. Gogopulo
**IMPACT OF ELECTRIC VOLTAGE ON THE INTENSIFICATION
OF THE EXTRACTION PROCESS OF PHENOLIC COMPOUNDS
FROM MEDICINAL PLANT RAW MATERIALS**

The purpose of the study. The presented results of the study show the possibility of intensifying the extraction processes of phenolic compounds from medicinal plant raw materials under the influence of electric voltage.

Material and methods. Studies have been conducted on the effect of electric current on the efficiency of extraction of flavonoids from Thyme herb as a result of the application of alternating and constant voltage. The determination of the flavonoid content was carried out using differential spectrophotometry, rutin was used as a standard sample. In the course of the study, the effects of alternating voltage of 5 V in the frequency range of 10^{-3} - 10^5 Hz and constant voltage in the range of 1.5-12 V were studied.

Conclusion. It has been found that the electrical voltage has a different effect on the extraction of phenolic compounds from Thyme herb. It is proved that the effect of electric voltage increases the efficiency of flavonoid extraction compared to pharmacopoeia methods. The use of electric voltage allows extraction without increasing the temperature, which is a positive factor for the extraction of substances in their native form.

Key words: extraction, electrical voltage, medicinal plant raw materials, flavonoids, *Thymi serpyllii herba*.

Соединения, содержащиеся в лекарственном растительном сырье (ЛРС) более физиологичны, обладают широким спектром фармакологической активности, меньшим количеством противопоказаний и побочных эффектов по сравнению с синтетическими препаратами, а также имеют большую биодоступность. Среди соединений природного происхождения фенольные соединения являются одной из наиболее обширных групп, которая содержится в широком спектре лекарственных растений. Наибольший интерес вызывают флавоноиды и дубильные вещества ввиду многообразия их фармакологических эффектов [4].

Существует множество методов для экстракции биологически активных веществ (БАВ) из лекарственного сырья растительного

происхождения [2]. Однако для фармакогнозии вопросы, связанные с повышением эффективности экстракции БАВ, остаются актуальными.

В научном сообществе избирательное выделение отдельных групп соединений вызывает существенный интерес. Данный интерес вызван тем, что для создания ряда лекарственных препаратов (ЛП) и биологически активных добавок (БАД) используются очищенные фракции веществ.

На сегодняшний день наиболее перспективным методом, позволяющим существенно повысить выход БАВ, является экстракция под действием приложенного электрического напряжения [7,8].

В работах [3,9] отмечается, что в процессе воздействия на ЛРС электрического

напряжения оно может влиять на проницаемость клеточных мембран. Известно, что сильное электрическое поле может вызывать как обратимый, так и необратимый разрыв клеточных мембран, а применение низких частот приводит к более высокой степени извлечения. В статье [6] описывается способность растительного сырья к разрушению целостности мембран под действием импульсного электрического поля высокого напряжения, в результате этого многократно увеличивается поверхность фазового контакта, что инициирует движение экстрагента. Такой способ может быть применен для интенсификации процесса замачивания растительного сырья, поскольку электрогидравлические удары способствуют проникновению экстрагента в растительные клетки, что способствует сокращению времени экстракции и увеличению выхода БАВ в 2 раза [1,3].

Применение таких методов, как высоковольтное напряжение и электрической дуги, часто встречаются в литературе при экстракции биологически активных соединений из сырья [2]. Эти методы влекут за собой повышение температуры в экстракционной смеси, вследствие чего изменяется структура вещества. Таким образом, современная фармакогнозия диктует необходимость поиска новых способов экстракции, позволяющих извлекать соединения без повышения температуры.

Метод, обеспечивающий образование небольшого тока в экстракционной смеси за счет приложения низкого напряжения и применения дистиллированной воды в качестве экстрагента, вызывает существенный интерес. Данный научный подход обеспечивает экстракцию БАВ в нативном виде. Однако экспериментальных работ по воздействию постоянного и переменного электрического тока на извлечение веществ из ЛРС в литературе недостаточно.

На примере травы чабреца авторами данной статьи была показана эффективность установки, которая была создана для водной экстракции БАВ из лекарственного сырья растительного происхождения. В данной установке применение постоянного и переменного электрического напряжения, повышает выход дубильных веществ, флавоноидов и эфирного масла, а также способствует их раздельной экстракции [1]. С помощью данной установки удастся достичь однородного электрического поля в пространстве между плоскими параллельными сетчатыми электродами, между которыми помещается растительное сырье, что способствует образованию

одинакового тока в каждой из точек электрода. Применение в установке сетчатых электродов увеличивает площадь поверхности и сопротивление, что в свою очередь резко снижает ток, в результате температура экстрагента остается постоянной, не превышая уровень комнатной [5].

В связи с тем, что для каждого вида растительного сырья необходимо индивидуально подбирать оптимальные условия экстрагирования, поэтому актуальным является изучение влияния переменного и постоянного напряжения на экстракцию БАВ широкого диапазона ЛРС.

Целью данной работы стало изучение процесса экстракции соединений фенольной природы из лекарственного сырья растительного происхождения при прохождении электрического тока в результате приложения переменного и постоянного напряжения.

Материал и методы

В качестве материала для исследования были выбраны промышленные образцы травы чабреца, стандартизованные фирмой ООО «Здоровье». В качестве экстрагента применяли воду дистиллированную и спирт этиловый концентрацией 70%. Навеску высушенного и измельченного сырья массой 1,5 г. помещали в фильтр-пакет. Подготовленный образец помещали между двумя параллельными сетчатыми электродами из нержавеющей стали. Электроды погружали в стакан с экстрагентом. Затем от источников постоянного или переменного напряжения на контакты электродов подавали напряжение. Для облегчения диффузии БАВ в раствор помещали магнитную мешалку. Весь процесс экстракции занимал около часа.

Изучали воздействие переменного напряжения с величиной 5В в диапазоне частот от 10^{-3} до 10^5 Гц и постоянного напряжения в диапазоне величин от 1,5 до 12В.

Методом для количественного анализа суммы флавоноидов служила дифференциальная спектрофотометрия с хлоридом алюминия при подкислении уксусной кислотой. Анализ проводили на спектрофотометре Perkin Elmer Lambda 950. В результате было установлено, что максимум поглощения данного комплекса для изучаемого объекта приходится на длину волны 407 ± 2 нм. Этот факт позволил нам в качестве стандартного образца использовать рутин (рис.1). Для установления максимума поглощения искомой группы веществ применяли стандартный образец рутина, USP, CAS: 153-18-4.

Для определения суммы фенольных соединений в пересчете на рутин в абсолютно су-

хом сырье (X, %) расчеты были проведены по формуле:

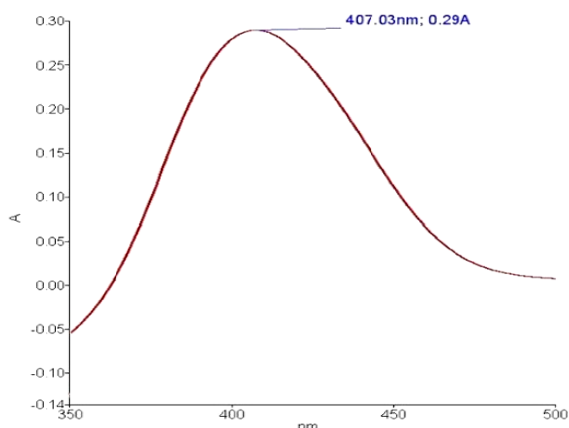


Рис. 1. Абсорбционный спектр извлечения из травы чабреца

$$X, \% = \frac{m(\text{рутина}) \times A(\text{пробы}) \times 25 \times 250 \times 100}{100 \times 25 \times A(\text{рутина}) \times V_a \times m(\text{навески}) \times (100 - W)} \times 100,$$

где m (рутина) соответствует массе рутина в граммах; A (пробы) – пробы оптической плотности, установленной для аликвоты анализируемого извлечения; значение 25 соответствует объему колбы мерной, в миллилитрах; A (рутина) соответствует оптической плотности, установленной для СО рутина; 250 соответствует общему объему извлечения в миллилитрах; m (навески) соответствует массе навески ЛРС в граммах; W соответствует потере в массе при высушивании сырья в процентах; V_a соответствует объему извлечения, взятого для анализа в миллилитрах.

Влажность сырья устанавливали с помощью инфракрасного влагомера Sartorius MA-160.

При проведении контрольного опыта пробоподготовка навески велась по методике, описанной выше, но электрическое напряжение на электроды не подавалось.

Статистическую обработку экспериментально полученных данных проводили согласно методике, представленной Государственной Фармакопеей РФ XIV издания.

Результаты и обсуждение

Результатом применения электрического напряжения является его влияние на проницаемость мембран и, следовательно, на массообменные процессы в клетках сырья. Экстракционная смесь обогащается действующими веществами, при этом содержание сопутствующих веществ в ней минимально, поскольку мембраны клеток не подвержены разрушению. Полученные в результате исследований данные представлены на рис. 2-4, на диаграммах прослеживается зависимость экстракции от величины приложенного напряжения. Параллельно проводили контрольный опыт для оценки эффективности пассивной диффузии без интенсификации процесса экстракции.

В результате анализа данных, представленных на диаграмме (рис. 2), было установлено, что эффективность экстракции соединений фенольной природы из травы чабреца в воду, дистиллированную увеличится с повышением величины приложенного постоянного электрического напряжения. Максимальное извлечение флавоноидов наблюдается при напряжении в 12В.

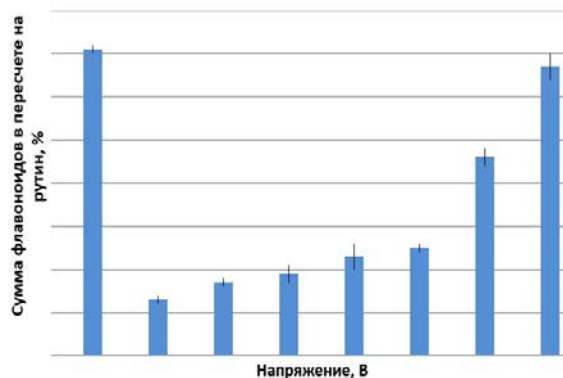


Рис. 2. Влияние величины постоянного электрического напряжения на экстракцию флавоноидов из травы чабреца в дистиллированную воду ($n=5$; $p=0,95$; К.О. – контрольный опыт)

В связи с тем, что наилучшим экстрагентом для соединений фенольной природы является этанол 70%, поэтому при анализе данных, представленных на рис. 3, можно увидеть, что наибольший выход БАВ наблюдается при постоянном напряжении 1,5В. Однако при более высоком напряжении эффективность экстракции уменьшается (рис. 3).

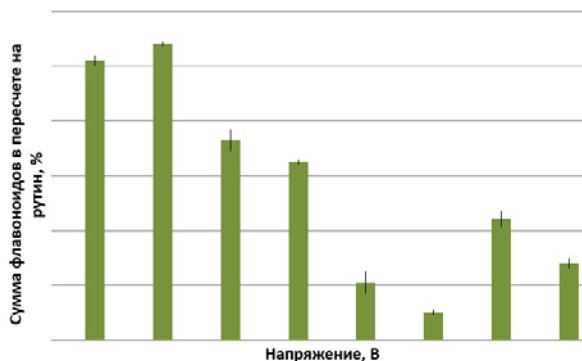


Рис. 3. Влияние величины постоянного электрического напряжения на экстракцию флавоноидов из травы чабреца в спирт этиловый ($n=5$; $p=0,95$; К.О. – контрольный опыт)

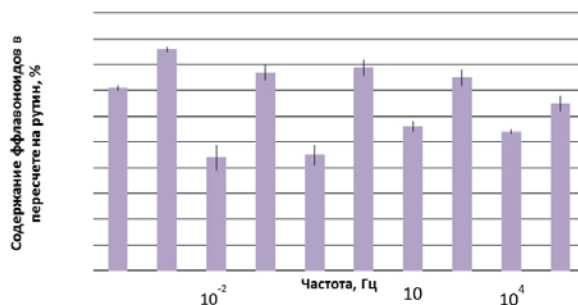


Рис. 4. Влияние частоты переменного электрического напряжения на экстракцию флавоноидов из травы чабреца в воду, дистиллированную ($n=5$; $p=0,95$; К.О. – контрольный опыт)

В рамках исследования также было установлено, что на экстракцию флавоноидов приложенное переменное напряжение разных частот не оказывает существенного влияния, а при частотах 10^{-2} , 1, 10^2 и 10^4 Гц значительно снижает эффективность экстракции (рис. 4).

Заключение

В результате исследования было установлено, что переменное и постоянное напряжение с разной эффективностью влияет на экстракцию флавоноидов из травы чабреца. При применении в качестве экстрагента воды дистиллированной постоянное

напряжение более эффективно повышает извлечение соединений фенольной природы по сравнению с переменным напряжением. Для извлечения суммы флавоноидов из травы чабреца в водный экстракт наиболее эффективным оказалось влияние постоянного напряжения 12В. При применении в качестве экстрагента спирта этилового интенсификация процесса достигается при приложении постоянного напряжения 1,5 В. Переменное напряжение с частотами, кратными 10^2 Гц снижает эффективность процесса экстракции.

Сведения об авторах статьи.

Жилкина Вера Юрьевна – к.фарм.н., доцент института биохимической технологии и нанотехнологии ФГАОУ ВО РУДН. Адрес: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6. Тел.: 8(499)936-86-25. E-mail: vera20891@mail.ru.

Марахова Анна Игоревна – д.фарм.н., профессор института биохимической технологии и нанотехнологии ФГАОУ ВО РУДН. Адрес: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6. Тел.: 8(499)936-86-25. E-mail: agentcat85@mail.ru.

Завьялова Мария Анатольевна – магистр института биохимической технологии и нанотехнологии ФГАОУ ВО РУДН. Адрес: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6. Тел.: 8(499)936-86-25. E-mail: maryzav6@yandex.ru.

Мезенцева Дарья Анатольевна – магистр института биохимической технологии и нанотехнологии ФГАОУ ВО РУДН. Адрес: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6. Тел.: 8(499)936-86-25. E-mail: dashamezentseva@mail.ru.

Шишова Алеся Алексеевна – студент института биохимической технологии и нанотехнологии ФГАОУ ВО РУДН. Адрес: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6. Тел.: 8(499)936-86-25. E-mail: lesya.shisha@gmail.com.

Гапонова Алла Витальевна – студент института биохимической технологии и нанотехнологии ФГАОУ ВО РУДН. Адрес: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6. E-mail: alla-gap26@mail.ru.

Гогонупо Мария Николаевна – студент института биохимической технологии и нанотехнологии ФГАОУ ВО РУДН. Адрес: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6. E-mail: mary-gogonupo@mail.ru.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инновационный способ экстракции природных биологически активных соединений / А.И. Марахова [и др.] // Разработка и регистрация лекарственных средств. – 2014. – №4 (9). – С. 54-57.
2. Интенсификация процессов экстракции полисахаридов из растительного сырья под действием электрического тока / А.П. Малушевская [и др.] // Электронная обработка материалов. – 2021. – Т.57, №5. – С. 66-77.
3. Кошкарлова, А.Г. Интенсификация процессов экстрагирования целевых компонентов из растительного сырья импульсным электрическим полем высокой напряженности: дис. канд. технических наук. – Тамбов, 2018. – 155 с.
4. Синютина, С.Е. Экстракция флавоноидов из растительного сырья и изучение их антиоксидантных свойств / С.Е. Синютина, С.В. Романцова, В.Ю. Савельева // Вестник ТГУ. – 2011. – Т.16, №1. – С. 345-347.
5. Установка для холодной водной экстракции флавоноидов и дубильных веществ из лекарственного растительного сырья: пат. 142485 Рос. Федерации; заявл. 10.01.2014; опубл. 27.06.2014. Бюл. № 18. 2 с.
6. Шорсткий, И.А. Совершенствование процесса экстрагирования масляных материалов на основе применения электрофизического воздействия: дис. канд. технических наук. – Краснодар, 2016. – 158 с.
7. Electrically Assisted Extraction of Soluble Matter from Chardonnay Grape Skins for Polyphenol Recovery/ Boussetta N. [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2009. – Vol. 57 (4). – P. 1491-1497.
8. Ignat, I. A Critical Review of Methods for Characterisation of Polyphenolic Compounds in Fruits and Vegetables / I. Ignat, I. Volf, V.I. Popa // Food Chemistry. – 2011. – Vol. 126. – P. 1821-1835.
9. Sensoy, I. Extraction using moderate electric fields / I. Sensoy, S.K. Sastry // J. Food Sci. – 2004. – Vol. 69 (1). – P. FEP7-FEP13.

REFERENCES

1. Marakhova A.I. [et al.] Innovatsionnyi sposob ekstraksii prirodnkh biologicheskii aktivnykh soedinenii (Innovative method of extraction of natural biologically active compounds). Drug development & registration. 2014;4 (9):54 - 57. (In Russ).
2. Malushevskaya A.P. [et al.] Intensifikatsiya protsessov ekstraksii polisakharidov iz rastitel'nogo syr'ya pod deistviem elektricheskogo toka (Intensification of the processes of extraction of polysaccharides from plant raw materials under the action of electric current). Electronic Processing of Materials. 2021;57(5):66-77. (In Russ).
3. Koshkarova, A.G. Intensifikatsiya protsessov ekstragirovaniya tselevykh komponentov iz rastitel'nogo syr'ya impul'snym elektricheskim polem vysokoi napryazhennosti (Intensification of extraction processes of target components from plant raw materials by a high-intensity pulsed electric field): dissertatsiya kandidata tekhnicheskikh nauk. Tambov, 2018: 155. (In Russ).
4. Sinyutina S. Y., Romantsova S. V., Savelyeva V. Yu. Extraction of flavonoides from plant material and study of their antioxidant properties. Vestnik TGU. 2011;16(1):345 – 347. (In Russ).
5. Ustanovka dlja holodnoj vodnoj jekstraksii flavonoidov i dubil'nykh veshchestv iz lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ja (Installation for cold water extraction of flavonoids and tannins from medicinal plant raw materials): pat. 142485 Roc. Federacii; zajavl. 10.01.2014; opubl. 27.06.2014. Bjul. 18:2. (In Russ).
6. Shorstkii, I.A. Sovershenstvovanie protsessa ekstragirovaniya maslichnykh materialov na osnove primeneniya elektrofizicheskogo vozdeistviya: dissertatsiya kandidata tekhnicheskikh nauk (Improvement of the extraction process of oilseed materials based on the use of electrophysical effects). Krasnodar, 2016:158. (In Russ).
7. Boussetta N. [et al.] Electrically Assisted Extraction of Soluble Matter from Chardonnay Grape Skins for Polyphenol Recovery. J. Agric. Food Chem. 2009; 57 (4):1491-1497. (In Engl).
8. Ignat I. A, Volf I., Popa V.I. Critical Review of Methods for Characterisation of Polyphenolic Compounds in Fruits and Vegetables. Food Chemistry. 2011;126:1821-1835. (In Engl).
9. Sensoy I., Sastry S.K. Extraction using moderate electric fields. J. Food Sci. 2004;69 (1);FEP7-FEP13. (In Engl).