

<https://doi.org/10.33380/2305-2066-2022-11-2-145-152>
УДК 615.072



Оригинальная статья / Research article

Выбор оптимальных условий разделения куркуминоидов методом высокоэффективного капиллярного электрофореза (HPCE) с применением мицеллярной электрокинетической хроматографии (МЕКС)

Д. И. Писарев^{1✉}, О. О. Новиков¹, К. С. Никитин², Н. Н. Бойко¹, К. М. Саканян³, М. Ю. Новикова⁴

¹ ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» (РУДН), 117198, Россия, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

² ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ»), кафедра фармацевтической технологии, 308015, Россия, г. Белгород, ул. Победы, д. 85

³ Департамент регулирования обращения лекарственных средств и медицинских изделий Минздрава России, 127994, Россия, ГСП-4, г. Москва, Рахмановский пер, д. 3.

⁴ ЧУОО ВО «Медицинский университет «Реавиз», Московский филиал, 107564, Россия, г. Москва, ул. Краснобогатырская, д. 2, стр. 2

✉ Контактное лицо: Писарев Дмитрий Иванович. E-mail: juniper05@mail.ru

ORCID: Д. И. Писарев – <https://orcid.org/0000-0002-2996-7712>; О. О. Новиков – <https://orcid.org/0000-0003-3145-6783>; К. С. Никитин – <https://orcid.org/0000-0002-4369-9064>; Н. Н. Бойко – <https://orcid.org/0000-0001-9222-2935>; К. М. Саканян – <https://orcid.org/0000-0002-2028-2776>; М. Ю. Новикова – <https://orcid.org/0000-0002-1804-6619>.

Статья поступила: 02.06.2021

Статья принята в печать: 15.04.2022

Статья опубликована: 25.05.2022

Резюме

Введение. Куркуминоиды являются природными полифенольными красителями, имеющими широкий спектр фармакологической активности. Для определения куркуминоидов используются как современные, так и классические методы анализа. Однако проблема анализа куркуминоидов в составе растительных и лекарственных объектов остается актуальной. Метод анализа куркуминоидов должен быть экономически доступным, но в то же время обеспечивать разделение компонентов для возможности их идентификации и количественной оценки. В настоящей работе в качестве такого метода использован капиллярный электрофорез (HPCE) в варианте мицеллярной электрокинетической хроматографии с диодно-матричным детектированием (МЕКС/DAD).

Цель. Целью настоящего анализа является выбор оптимальных условий разделения куркуминоидов с использованием капиллярного электрофореза в варианте мицеллярной электрокинетической хроматографии.

Материалы и методы. Разделение куркуминоидов проводили на приборе для капиллярного электрофореза – Agilent 7100 CE с диодно-матричным детектором и системой контроля и сбора данных Agilent ChemStation. В качестве электролита использован боратный буфер (20 mM, pH 9,3) с добавкой додецилсульфата натрия – SDS (30 mM) в соотношениях 1:1. Ввод пробы осуществлялся гидродинамическим способом – 50 мБар/3 сек, напряжение на электроде – +25 кВ, капилляр кварцевый – $L_{эфф.}/L_{общ.} = 30/40$ см, $ID = 50$ μ м, температура капилляра – +20 °С. Выход куркуминоидов контролировали при длине волны диодно-матричного детектора – $\lambda_{max} = 425$ нм/4 нм, реферируемая длина волны 360 нм/100 нм.

Результаты и обсуждение. Куркуминоиды в боратном буферном растворе с добавкой SDS практически не разделяются, что связано с высокой активностью электроосмотического потока, для подавления которого добавлялся спирт этиловый 95%-й. В ходе исследований установлено, что добавка спирта этилового в количестве 20 % по отношению к буферному раствору позволяет разделять смесь куркуминоидов.

Заключение. Таким образом, подобраны условия для разделения суммы куркуминоидов методом HPCE в варианте мицеллярной электрокинетической хроматографии (МЕКС). Установлено, что для разделения куркуминоидов данным методом необходимо использование электролита, состоящего из смеси равных объемов боратного буфера (20 mM) и додецилсульфата натрия (30 mM) и спирта этилового в количестве 20 % от объема электролита. Дальнейшее увеличение концентрации спирта этилового в электролите нецелесообразно, поскольку может отрицательно влиять на стабильность мицелл.

Ключевые слова: куркуминоиды, капиллярный электрофорез, мицеллярная электрокинетическая хроматография, диодно-матричный детектор

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Д. И. Писарев, О. О. Новиков разработали методику определения куркуминоидов методом капиллярного электрофореза, написали текста статьи. К. С. Никитин, Н. Н. Бойко, М. Ю. Новикова осуществляли получение сухого экстракта из корней *C. Longa* L. К. М. Саканян проводил наработку экспериментальных данных согласно разработанной методике.

Для цитирования: Писарев Д. И., Новиков О. О., Никитин К. С., Бойко Н. Н., Саканян К. М., Новикова М. Ю. Выбор оптимальных условий разделения куркуминоидов методом высокоэффективного капиллярного электрофореза (HPCE) с применением мицеллярной электрокинетической хроматографии (МЕКС). *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2022;11(2):145–152. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2022-11-2-145-152>

© Писарев Д. И., Новиков О. О., Никитин К. С., Бойко Н. Н., Саканян К. М., Новикова М. Ю., 2022

© Pisarev D. I., Novikov O. O., Nikitin K. S., Boyko N. N., Sakanyan K. M., Novikova M. Yu., 2022

Selection of Optimal Conditions for the Separation of Curcuminoids by High-performance Capillary Electrophoresis (HPCE) Using Micellar Electrokinetic Chromatography (MEKC)

Dmitry I. Pisarev¹✉, Oleg O. Novikov¹, Kirill S. Nikitin², Nikolay N. Boyko¹, Karen M. Sakanyan³, Marina Yu. Novikova⁴

¹ Peoples Friendship University of Russia (RUDN University), 6, Mikluho-Maklaya str., Moscow, 117198, Russia

² Belgorod National Research University, Department of Pharmaceutical Technology, 85, Pobedy str., Belgorod, 308015, Russia

³ Department for Regulation of the Circulation of Medicines and Medical Devices of the Ministry of Health of Russia, 3, Rakhmanovskiy lane, Moscow, GSP-4, 127994, Russia

⁴ Medical University "Reaviz", Moscow branch, 2/2, Krasnobogatyrskaya str., Moscow, 107564, Russia

✉ Corresponding author: Dmitry I. Pisarev. E-mail: juniper05@mail.ru

ORCID: Dmitry I. Pisarev – <https://orcid.org/0000-0002-2996-7712>; Oleg O. Novikov – <https://orcid.org/0000-0003-3145-6783>; Kirill S. Nikitin – <https://orcid.org/0000-0002-4369-9064>; Nikolay N. Boyko – <https://orcid.org/0000-0001-9222-2935>; Karen M. Sakanyan – <https://orcid.org/0000-0002-2028-2776>; Marina Yu. Novikova – <https://orcid.org/0000-0002-1804-6619>.

Received: 02.06.2021

Revised: 15.04.2022

Published: 25.05.2022

Abstract

Introduction. Curcuminoids are natural polyphenolic colorants with a wide spectrum of pharmacological activity. Modern hybrid and classical methods are used for the determination of curcuminoids. However, the problem of the analysis of curcuminoids in the composition of plant and medicinal objects remains relevant. In this work, capillary electrophoresis (HPCE) in the variant of micellar electrokinetic chromatography with diode array detection (MEKC/DAD) was used as such a method.

Aim. The purpose of this analysis is the choice of optimal conditions for the separation of curcuminoids using capillary electrophoresis in the form of micellar electrokinetic chromatography.

Materials and methods. Separation of curcuminoids was carried out on an Agilent 7100 CE capillary electrophoresis instrument with a diode array detector and an Agilent Chem Station monitoring and data acquisition system. Borate buffer (20 mM, pH 9.3) with the addition of sodium dodecyl sulfate – SDS (30 mM) in ratios of 1:1 was used like the electrolyte. The sample was injected hydrodynamically – 50 mbar/3 sec, electrode voltage is +25 kV, quartz capillary – total capillary length/effective capillary length = 30/40 cm, ID = 50 µm, capillary temperature +20 °C. The output of curcuminoids was monitored at the wavelength of the diode-matrix detector – $\lambda_{\text{max}} = 425 \text{ nm}/4 \text{ nm}$, the refereed wavelength is 360 nm/100 nm.

Results and discussion. Curcuminoids in a borate buffer solution with the addition of SDS are practically not separated, which is associated with a high activity of the electroosmotic flow, to suppress which 95 % ethyl alcohol was added. In the course of research, it was found that the addition of ethyl alcohol in an amount of 20 % relative to the buffer solution makes it possible to separate the mixture of curcuminoids.

Conclusion. Thus, the conditions for the separation of the total curcuminoids by the HPCE method in the variant of micellar electrokinetic chromatography (MEKC) were selected. It has been established that for the separation of curcuminoids by this method, it is necessary to use an electrolyte consisting of a mixture of equal volumes of borate buffer (20 mM) and sodium dodecyl sulfate (30 mM) and ethyl alcohol in an amount of 20 % of the electrolyte volume. A further increase in the concentration of ethyl alcohol in the electrolyte is unreasonable, since it can adversely affect the stability of micelles.

Keywords: curcuminoids, capillary electrophoresis, micellar electrokinetic chromatography, diode-matrix detector

Conflict of interest. The authors declare that they have no obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Contribution of the authors. Dmitry I. Pisarev, Oleg O. Novikov – development of a method for determining curcuminoids by capillary electrophoresis, writing the text of the article. Kirill S. Nikitin, Nikolay N. Boyko, Marina Yu. Novikova – obtaining a dry extract from the roots of *C. Longa* L. Karen M. Sakanyan – accumulation of experimental data according to the developed methodology.

For citation: Pisarev D. I., Novikov O. O., Nikitin K. S., Boyko N. N., Sakanyan K. M., Novikova M. Yu. Selection of optimal conditions for the separation of curcuminoids by high-performance capillary electrophoresis (HPCE) using micellar electrokinetic chromatography (MEKC). *Drug development & registration*. 2022;11(2):145–152. (In Russ.) <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2022-11-2-145-152>

ВВЕДЕНИЕ

Куркуминоиды представляют собой особую группу полифенольных соединений растительного происхождения, в основе структуры которых лежит система диарилгептана. В основе диарилгептановой системы данных фенолов лежат две молекулы феруловой кислоты, связанные между собой через метиленовый мостик. Куркуминоиды включают сам куркумин и несколько его производных, в первую очередь дезметоксикуркумин и бисдезметоксикуркумин. Еноль-

ная форма куркуминоидов образует единую сопряженную хромофорную систему, следствием чего является присутствие у них ярко-желтой окраски. Поэтому куркуминоиды используются как важные пищевые и текстильные красители. Помимо пигментной роли, для куркуминоидов характерен целый ряд ценных фармакологических свойств. Описаны их антиоксидантные свойства, проявляемые за счет снижения выработки активных форм кислорода в организме вследствие поддержания деятельности ферментов-антиоксидантов, таких как супероксиддисму-

таза, каталаза и глутатионпероксидаза. Также куркуминоиды *in vivo* оказывают онкопротекторное действие посредством индукции апоптоза и ингибирования клеточного цикла. Описано гипохолестеринемическое действие куркуминоидов путем снижения уровня холестерина и ЛПНП в крови. Также куркуминоиды стимулирует выработку желчи и проявляют гастропротекторное действие, увеличивая секрецию муцина в желудке. Кроме вышеперечисленного, куркуминоиды снижают резистентность организма к глюकोзе, тем самым улучшая углеводный обмен [1–3].

Анализ куркуминоидов, а именно их разделение и определение в составе растительных объектов, пищевых продуктов и лекарственных препаратов, представляет собой довольно сложную задачу, поскольку данные компоненты близки по химическому составу и плохо разделяются в условиях различных вариантов хроматографического анализа, что затрудняет их анализ по отдельности.

Для их определения в различных объектах предложен целый ряд современных и классических методов анализа. В числе современных методов, в первую очередь следует упомянуть высокоэффективную жидкостную хроматографию (ВЭЖХ) [4–6] с различными вариантами детектирования: масс-спектрометрическим (MS), диодно-матричным (DAD). Среди классических вариантов исследования использовались ИК-спектроскопия с Фурье-преобразованием (FTIR) [7], УФ-спектроскопия (UV spectroscopy) [8], ядерный магнитный резонанс (NMR) [9] и высокоэффективная тонкослойная хроматография (НПТЛС) [10].

Таким образом, современные хроматографические методы, в первую очередь ВЭЖХ, позволяют определять куркуминоиды по отдельности, однако требуют сложного, дорогостоящего, малодоступного оборудования. Спектральные методы больше подходят для количественного определения суммы куркуминоидов, но не годятся для определения отдельных компонентов.

Таким образом, проблема анализа куркуминоидов в составе растительных и лекарственных объектов остается актуальной. Метод анализа куркуминоидов должен быть экономически доступным, но в то же время обеспечивать разделение компонентов для возможности их идентификации и количественной оценки. Нами в качестве такого альтернативного высокоэффективной жидкостной хроматографии метода использован капиллярный электрофорез (HPCE) в варианте мицеллярной электрокинетической хроматографии с диодно-матричным детектированием (МЕКС/DAD).

В этой связи **целью** настоящего анализа является выбор оптимальных условий разделения куркуминоидов с использованием капиллярного электрофореза в варианте мицеллярной электрокинетической хроматографии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта анализа использован сухой экстракт из корневищ куркумы длинной – *Curcuma longa* L., – полученный по традиционной технологии изготовления сухих экстрактов, методом перколяции. Сырье – высушенные, измельченные корневища куркумы (страна произрастания – Уганда, год сбора 2020). Разделение куркуминоидов проводили на приборе – Agilent 7100 CE, состоящем из блока для капиллярного электрофореза со встроенным диодно-матричным детектором (диапазон 190–600 нм) и системой контроля и сбора данных Agilent ChemStation. В качестве буферного раствора использовали боратный буфер с концентрацией 20 мМ и pH 9,3. Для изготовления боратного буфера использовали натрия тетраборат (CAS № 1330-43-4, 99,5 %, Sigma Aldrich, США). Непосредственно перед анализом капилляр предварительно подвергали циклу кондиционирования, состоящему из промывки 0,1 М натрия гидроксидом в течение 5 минут, затем водой в течение 5 минут и далее боратным буферным раствором – 5 минут.

Полученный сухой экстракт из корневищ куркумы в количестве 0,1 г помещали в мерную колбу вместимостью 25 мл, добавляли 10 мл спирта этилового 95%-го, встряхивали и обрабатывали ультразвуком на ультразвуковой бане при комнатной температуре 3 минуты до полного растворения порошка. Полученный раствор доводили до метки тем же растворителем и перемешивали. Непосредственно перед анализом полученный раствор фильтровали с помощью шприцевого фильтра Acrodisc CR PTFE с нейлоновой мембраной и размером пор 0,45 мкм.

Анализируемый раствор помещали в вials из полипропилена объемом 100 мкл. Ввод пробы осуществлялся гидродинамическим способом – 50 мбар/3 сек.

Характеристики блока питания устанавливали в пределах:

- напряжение на электроде +25 кВ;
- максимальная сила тока 300 мкА;
- мощность 6 Вт.

Определение проводили при температуре капилляра – 20 °С. В качестве рабочего использован кварцевый капилляр – $L_{\text{эфф.}}/L_{\text{общ.}} = 40 \text{ см}, ID = 50 \text{ }\mu\text{м}$.

Выход куркуминоидов контролировали при длине волны их поглощения – $\lambda_{\text{max}} = 425 \text{ нм}/4 \text{ нм}$, референсная длина волны 360 нм/100 нм.

Длина волны детектирования выбрана в соответствии с УФ-спектром куркуминоидов, которые в боратном буфере имеют два основных максимума поглощения при $\lambda_{\text{max}} = 260$ и 425 нм, при этом более специфичным является максимум при 425 нм.

Поскольку куркуминоиды представляют собой нейтральные молекулы, то для их определения использован вариант капиллярного электрофореза, предназначенный для анализа таких молекул – мицеллярная электрокинетическая хроматография (МЕКС)

с добавлением анионноактивного ПАВ – додецилсульфата натрия (SDS) (CAS № 151-21-3, 99,0 %, Sigma Aldrich, США). SDS был добавлен в концентрации 30 мМ к боратному буферному раствору в соотношениях 1:1. Поэтому далее в качестве электролита использовали данную систему.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При проведении электрофореза в описанных выше условиях обнаруживался один пик со временем миграции – 11,789 мин (рисунок 1), имеющий типичный максимум поглощения, характерный для куркуминоидов – 425 нм. Электрофоретические параметры определения куркуминоидов в системе боратный буфер – SDS представлены в таблице 1.

Как видно на приведенной электрофореграмме, при проведении электрофореза суммы куркуминоидов в системе боратный буфер – SDS наблюдается один пик со временем миграции 11,798 мин. Присутствие одного пика на электрофореграмме свидетельствует о том, что сумма куркуминоидов в приведенных условиях не разделяется. Такое явление может быть связано со слишком активным электрокинетическим потоком, происходящим в системе, поэтому компоненты суммы не успевают разделиться.

Для уменьшения электрокинетического потока в буферную систему добавлялся спирт этиловый 95%-й в разных соотношениях по отношению к буферу.

При добавлении спирта этилового 95%-го в количестве 5 % к буферной системе также наблюдался один пик, т. е. разделения куркуминоидов опять не произошло, однако электрофоретические параметры улучшились, возросла площадь пика, число теоретических тарелок и симметрия пика, но вместе с тем, как и ожидалось, время миграции также возросло (рисунок 2, таблица 2).

При дальнейшем увеличении концентрации спирта этилового в буферной системе электрофоретический профиль анализируемой суммы куркуминоидов изменился. Добавка в буферный раствор 10 % спирта этилового спровоцировала небольшое разделение суммы куркуминоидов (рисунок 3, таблица 3).

При дальнейшем увеличении концентрации спирта этилового до 20 % в буферной системе удалось полностью разделить сумму куркуминоидов (рисунок 4, таблица 4).

На представленной электрофореграмме обнаруживаются 3 компонента, вещество со временем миграции 22, 917 принадлежит куркумину, остальные два – дезметоксикуркумину и бисдезметоксикуркумину.

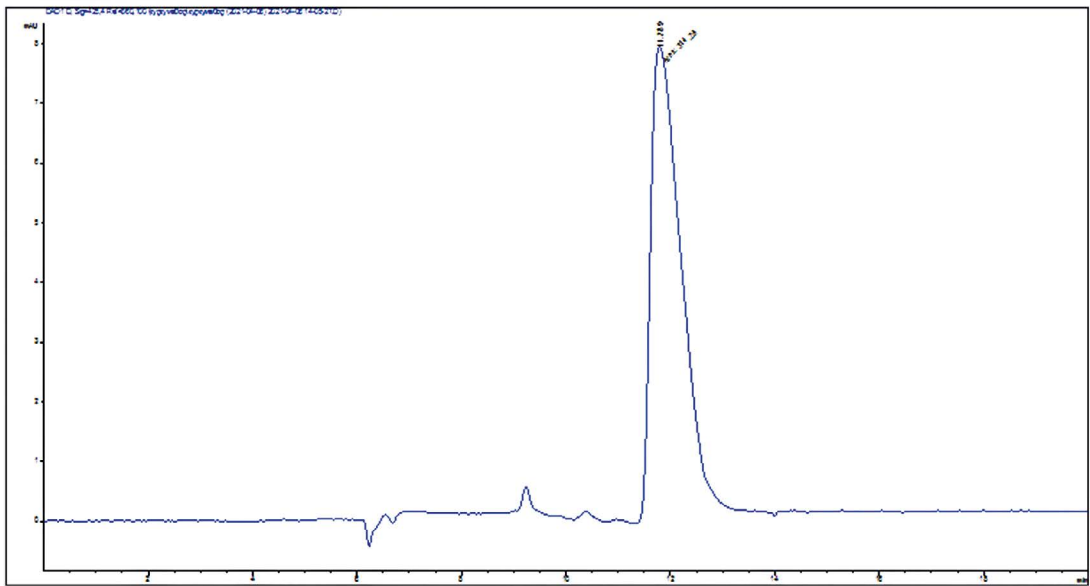


Рисунок 1. Электрофореграмма суммы куркуминоидов, полученная в боратном буфере с добавлением SDS (1:1)
Figure 1. Electropherogram of the total curcuminoids obtained in borate buffer with the addition of SDS (1:1)

Таблица 1. Электрофоретические параметры определения куркуминоидов в системе боратный буфер – SDS
Table 1. Electrophoretic parameters for the determination of curcuminoids in the borate buffer – SDS system

MigTime [min]	k'	Area [mAU*s]	Height [mAU]	Symm.	Width [min]	Plates	Resol	Signal ution /Noise
11.798	-	323.07010	7.92571	0.40	0.6664	1736	-	-

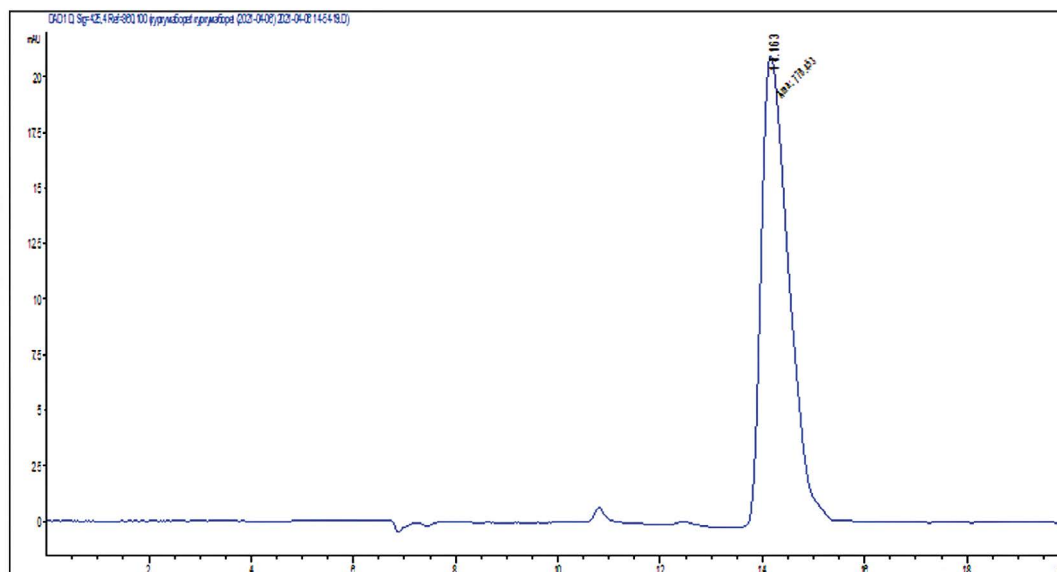


Рисунок 2. Электрофореграмма суммы куркуминоидов, полученная в системе боратный буфер – SDS (1:1) с добавлением 5 % спирта этилового

Figure 2. Electropherogram of the total curcuminoids obtained in the system borate buffer – SDS (1:1) with the addition of 5 % ethyl alcohol

Таблица 2. Электрофоретические параметры определения куркуминоидов в системе боратный буфер – SDS с добавлением 5 % спирта этилового

Table 2. Electrophoretic parameters for the determination of curcuminoids in the borate buffer – SDS system with the addition of 5 % ethyl alcohol

MigTime [min]	k'	Area [mAU*s]	Height [mAU]	Symm.	Width [min]	Plates	Resol	Signal ution /Noise
14.163	-	781.32983	21.10640	0.50	0.5770	3338	-	-

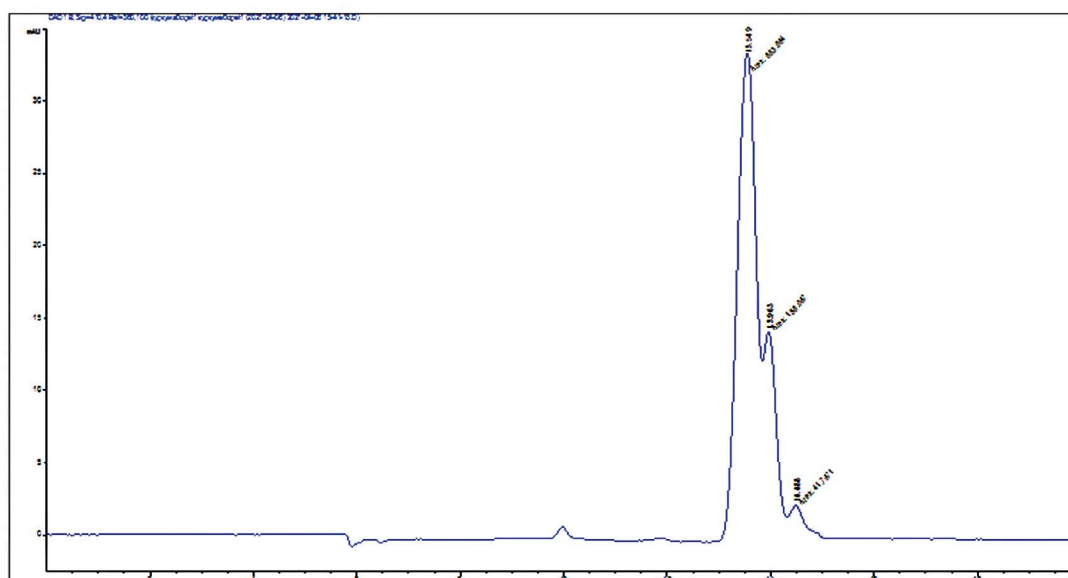


Рисунок 3. Электрофореграмма суммы куркуминоидов, полученная в системе боратный буфер – SDS (1:1) с добавлением 10 % спирта этилового

Figure 3. Electropherogram of the total curcuminoids obtained in the system borate buffer – SDS (1:1) with the addition of 10 % ethyl alcohol

Таблица 3. Электрофоретические параметры определения куркуминоидов в системе боратный буфер – SDS с добавлением 10 % спирта этилового

Table 3. Electrophoretic parameters for the determination of curcuminoids in the borate buffer – SDS system with the addition of 10 % ethyl alcohol

MigTime [min]	k'	Area [mAU*s]	Height [mAU]	Symm.	Width [min]	Plates	Resol ution	Signal /Noise
13.549	-	883.06415	33.57510	0.98	0.4089	6084	-	-
13.963	-	158.06660	14.36367	0.05	0.1717	36634	0.84	-
14.488	-	41.76710	2.43035	0.99	0.3371	10236	1.21	-

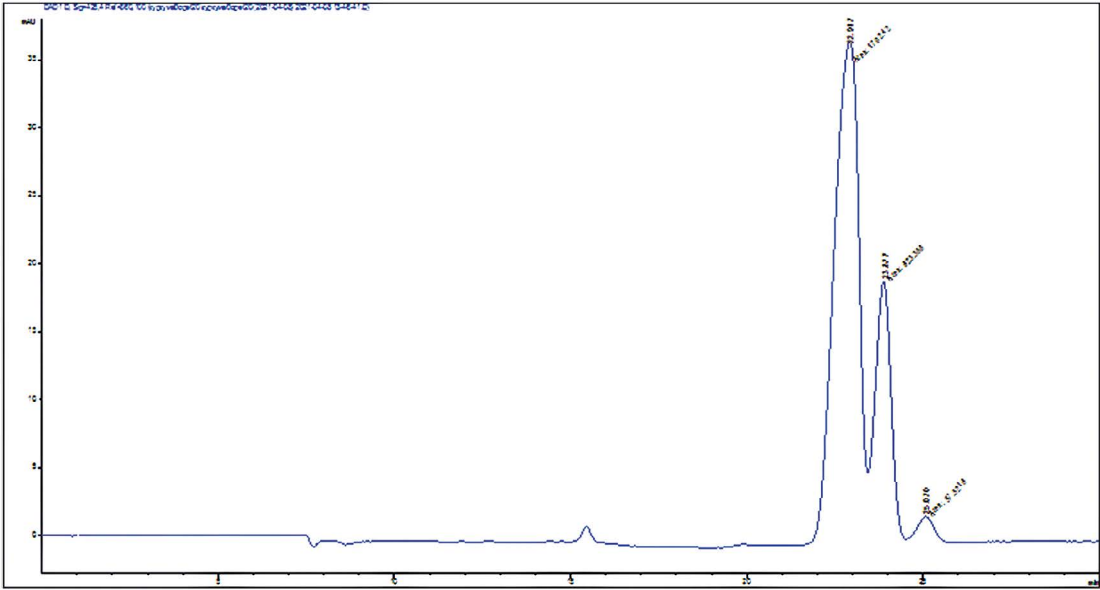


Рисунок 4. Электрофореграмма суммы куркуминоидов, полученная в системе боратный буфер – SDS (1:1) с добавлением 20 % спирта этилового

Figure 4. Electropherogram of the total curcuminoids obtained in the system borate buffer – SDS (1:1) with the addition of 20 % ethyl alcohol

Таблица 4. Электрофоретические параметры определения куркуминоидов в системе боратный буфер – SDS с добавлением 20 % спирта этилового

Table 4. Electrophoretic parameters for the determination of curcuminoids in the borate buffer – SDS system with the addition of 20 % ethyl alcohol

MigTime [min]	k'	Area [mAU*s]	Height [mAU]	Symm.	Width [min]	Plates	Resol ution	Signal /Noise
22.917	-	1792.42163	36.92974	1.64	0.7900	4662	-	-
23.877	-	623.38806	19.34296	1.13	0.5133	11986	0.87	-
25.070	-	57.52157	1.79319	1.04	0.5200	12877	1.36	-

УФ-профили обнаруженных куркуминоидов представлены на рисунке 5.

Влияние увеличения концентрации спирта этилового на некоторые электрофоретические параметры представлено на рисунке 6.

Увеличение концентрации спирта этилового в использованной буферной системе также привело к улучшению коэффициента разделения компонентов.

При этом в концентрации 5 % разделения суммы куркуминоидов не наблюдалось, однако уже 10%-ая концентрация позволила частично разделить анализируемую смесь на составляющие. 20%-ая концентрация спирта этилового в электролите вызвала еще большее увеличение коэффициентов разделения до значений, позволяющих проводить количественную оценку каждого из компонентов.

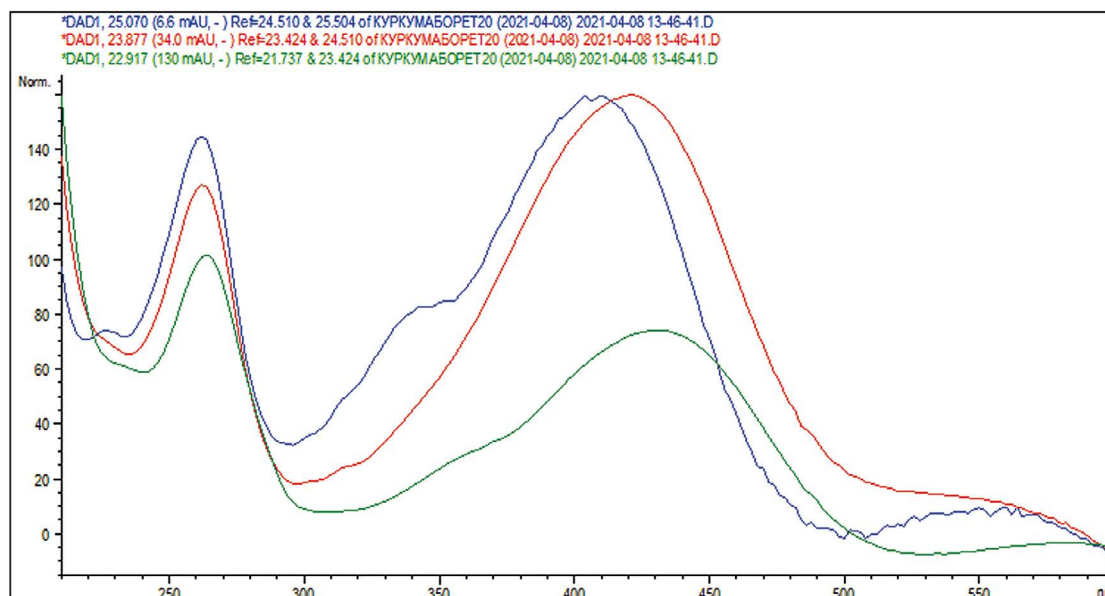
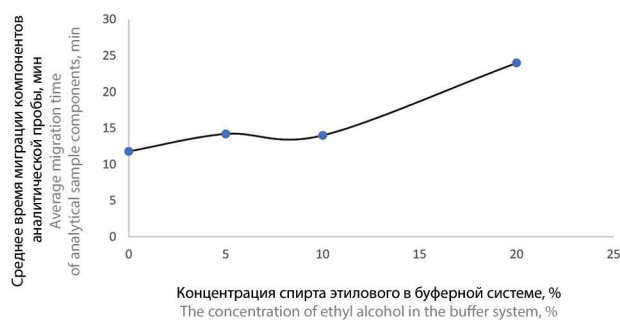


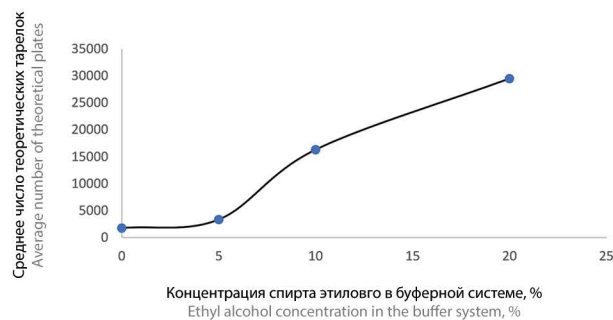
Рисунок 5. УФ-профили компонентов суммы куркуминоидов

Figure 5. UV profiles of components of the sum of curcuminoids



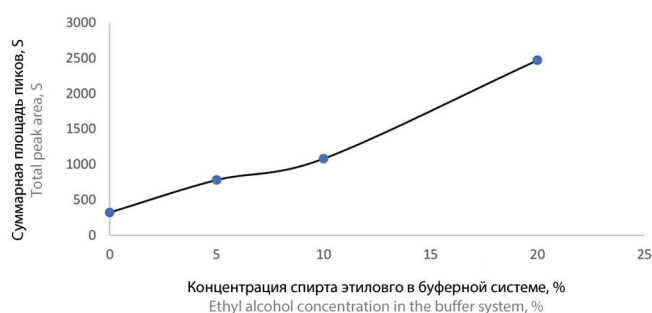
Зависимость среднего времени миграции компонентов аналитической пробы от концентрации спирта этилового

Dependence of the average migration time of the components of the analytical sample on the concentration of ethyl alcohol



Зависимость среднего числа теоретических тарелок от концентрации спирта этилового

Dependence of the average number of theoretical plates on the concentration of ethyl alcohol



Зависимость суммарной площади пиков компонентов аналитической пробы от концентрации спирта этилового

The dependence of the total area of the peaks of the components of the analytical sample on the concentration of ethyl alcohol

Рисунок 6. Влияние увеличения концентрации спирта этилового на некоторые электрофоретические параметры, определяемой суммы куркуминоидов

Figure 6. The effect of an increase in the concentration of ethyl alcohol on some electrophoretic parameters, determined by the sum of curcuminoids

Дальнейшее увеличение концентрации спирта этилового в электролите существенно не изменяет электрофоретических параметров за исключением времени миграции.

Следовательно, можно утверждать, что добавка спирта этилового к боратному буферному раствору с SDS не только способствует разделению компонентов суммы, но улучшает большинство электрофоретических параметров, исключая времени миграции. Улучшение электрофоретических параметров с увеличением концентрации спирта этилового в электролите можно объяснить уменьшением степени сорбции куркуминоидов на стенках капилляра и замедлением электрокинетического потока. При этом данный растворитель способствует вымыванию куркуминоидов со стенок капилляра и улучшает их растворимость в электролите.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, подобраны условия для разделения суммы куркуминоидов методом НРСЕ в варианте мицеллярной электрокинетической хроматографии (МЕКС). Установлено, что для разделения куркуминоидов данным методом необходимо использование электролита, состоящего из смеси равных объемов боратного буфера (20 mM) и додецилсульфата натрия (30 mM) и спирта этилового в количестве 20 % от объема электролита. Кроме того, увеличение концентрации спирта этилового улучшает большинство электрофоретических параметров – число теоретических тарелок, площадь и симметрию пика, коэффициенты разделения, однако отрицательно влияет на время миграции компонентов, что вызвано снижением скорости электрокинетического потока. Дальнейшее увеличение концентрации спирта этилового в электролите нецелесообразно, поскольку увеличение его содержания в электролите может отрицательно влиять на стабильность мицелл.

Поскольку разработанная методика позволяет разделять и идентифицировать куркуминоиды, то на следующем этапе настоящих исследований будет адаптация полученных результатов для цели количественного определения индивидуальных куркуминоидов.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Ashraf K., Sultan S. A comprehensive review on Curcuma longa Linn.: Phytochemical, pharmacological, and molecular study. *International Journal of Green Pharmacy*. 2017;11(4):671–685. DOI: 10.22377/ijgp.v11i04.1343.
2. Tanvir E. M., Sakib H., Fuad H., Rizwana A., Hua G. S., Ibrahim K., Nurul K. Antioxidant properties of popular Turmeric (Curcuma longa) varieties from Bangladesh. *Journal of food quality*. 2017;1–8. DOI: 10.1155/2017/8471785.
3. Verma R. K., Kumari P., Maurya R. K., Kumar V., Kumar Singh R. Medicinal properties of turmeric (Curcuma longa L.). *International journal of chemical studies*. 2018;6(4):1354–1357.
4. Nishidono Y., Chiyomatsu T., Saifudin A., Deevanhxay P., Nanaoka K. Comparative study on the chemical constituents of Curcuma drugs. *Journal of the Asia-Japan research institute of ritsumeikan university*. 2020;2:15–33.
5. Zhimin C., Yongfeng Z., Liang Q., Haiting Z., Dong C., Changjiang H., Wenbing L., Zhuo Y. Study on quality standard of processed Curcuma longa radix. *Evidence-based complementary and alternative medicine*. 2017;1–6. DOI: 10.1155/2017/2830754.
6. Jin S., Song C., Jia S., Li S., Zhang Y., Chen C., Feng Y., Xu Y., Xiong C., Xiang Y., Jiang H. An integrated strategy for establishment of curcuminoid profile in turmeric using two LC-MS/MS platforms. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*. 2017;132:93–102. DOI: 10.1016/j.jpba.2016.09.039.
7. Siregar C., Martono S., Rohman A. Application of Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy coupled with multivariate calibration for quantitative analysis of curcuminoid in tablet dosage form. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. 2018; 8(08):151–156. DOI: 10.7324/JAPS.2018.8821.
8. Singh A., Avupati V. R. Development and Validation of UV-Spectrophotometric method for the Estimation of Curcumin in Standardised Polyherbal Formulations. *Journal of Young Pharmacists*. 2017;9(4):491–495. DOI: 10.5530/jyp.2017.9.96.
9. Hadi S., Artanti A. N., Rinanto Y., Wahyuni D. S. C. Curcuminoid content of Curcuma longa L. and Curcuma xanthorrhiza rhizome based on drying method with NMR and HPLC-UV. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018;349:012058. DOI: 10.1088/1757-899X/349/1/012058.
10. Kharat S., Namdeo A., Mehta P. Development and validation of HPTLC method for simultaneous estimation of curcumin and galangin in polyherbal capsule dosage form. *Journal of Taibah University for Science*. 2017;11(5):775–781. DOI: 10.1016/j.jtusci.2016.10.004.