

В. Т. Казуб, А. Г. Кошкарова, О. С. Павливская
Пятигорской медико-фармацевтический институт – филиал ГБОУ ВПО
ВолгГМУ Минздрав РФ, г. Пятигорск

ВОДНОЕ ЭКСТРАГИРОВАНИЕ СЫРЬЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ВЫСОКОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ

Технология, основанная на воздействии на объект импульсного электрического поля высокой напряженности, обладает ощутимыми преимуществами, перед традиционными методами, и снижает вероятность появления металлических примесей в целевом продукте по сравнению с процессом электроразрядного экстрагирования. Теоретические и экспериментальные исследования процесса водного экстрагирования биологически активных соединений импульсным электрическим полем высокой напряженности, позволили выявить и раскрыть основные факторы, влияющие на интенсификацию экстрагирования водорастворимых соединений.

Под действием поля с напряженностью порядка $5 \cdot 10^6$ В/м, реализуемого в наших условиях импульсом напряжения колоколообразной формы амплитудой до 50кВ, длительностью $0,2 \cdot 10^{-6}$ с и фронтом импульса напряжения $10 \cdot 10^{-8}$ с., на границе раздела сред возникает пондеромоторная сила, которая по литературным данным оценивается величиной $5 \cdot 10^{10}$ Н/м² [1]. Эта сила, направленная в сторону убывания диэлектрической проницаемости, действует на растяжение и разрыв пористой частицы ($\epsilon_2 > \epsilon_1$) и тем самым способствует проникновению экстрагирующей жидкости внутрь структуры сырья.

Сокращение длительности процесса при применении импульсного электрического поля происходит в результате действия таких факторов как снижения поверхностного натяжения воды; выявлено, что обработка воды импульсами напряжения амплитудой 20 кВ в течение 200 секунд приводит к снижению сил поверхностного натяжения, о чем свидетельствует изменение коэффициента поверхностного натяжения от $72,956 \cdot 10^{-3}$ Н/м до $65,04 \cdot 10^{-3}$ Н/м.

Проведенные эксперименты показали целесообразность промышленного использования технологии импульсного электрического экстрагирования целевых компонентов из растительного сырья, поскольку она позволяет сократить длительность процесса примерно на 7 суток, снизить в 10 раз энергозатраты, заменить этиловый спирт на воду, а в сравнении с процессом электроразрядного экстрагирования получать более чистый экстракт.

Интенсификация процессов экстрагирования направлена на ускорение массообмена в системе твердое тело-жидкость. По этому пути осуществляется поиск и разработка новых методов, в основе которых лежит передача системе твердое тело-жидкость вибраций, пульсаций, колебаний различных частот и амплитуд. Широкое внедрение экономичных технологий водной экстракции в химической, пищевой, фармацевтической и других отраслях промышленности

сдерживается из-за неполного извлечения целевых компонентов и небольшой скорости процессов.

Известные методы интенсификации процессов не всегда приемлемы из-за высокотемпературных режимов, приводящих к деструкции извлекаемых веществ. Метод обработки растительного сырья, помещенного в жидкость, с помощью электрических разрядов [2] обладает ощутимыми преимуществами перед традиционными методами, однако, несмотря на высокую скорость и полноту извлечения при экстрагировании под воздействием электрических разрядов, происходит загрязнение экстракта продуктами эрозии металлических электродов, что требует принятия специальных мер по их удалению.

Перспективным научно-техническим направлением является разработка процессов и аппаратов с энергетическими воздействиями, основанными на импульсном электрическом поле высокой напряженности. Данная технология обладает ощутимыми преимуществами, перед традиционными методами, и снижает вероятность появления металлических примесей в целевом продукте по сравнению с процессом электроразрядного экстрагирования. С этой целью выполнены теоретические и экспериментальные исследования процесса водного экстрагирования биологически активных соединений импульсным электрическим полем высокой напряженности, которые позволили выявить и раскрыть основные факторы, влияющие на интенсификацию экстрагирования водорастворимых соединений.

В работе представлены теоретические и экспериментальные исследования процесса водного экстрагирования биологически активных соединений из растительного сырья импульсным электрическим полем высокой напряженности. Описаны электрофизические процессы в гетерогенных системах под воздействием импульсного электрического поля высокой напряженности. В качестве сырья для исследований выбраны листья софоры японской, несмотря на то, что традиционно в фармации используют цветки и плоды этого растения, которые содержат в экстрактивных веществах рекордное количество флавоноидов. Использование листьев софоры японской перспективно с точки зрения дополнительного растительного сырья для фармацевтической промышленности, ранее не используемого в промышленных целях. Кроме того, имеются данные по водному экстрагированию листьев софоры с применением электрического разряда, которые в нашем случае могут использоваться для сравнения как контрольные.

Проведение водной экстракции методом мацерации позволяет извлекать из софоры японской только 19,3% флавоноидов от общего количества экстрактивных веществ, поэтому, традиционно экстрагирование осуществляют этиловым спиртом (этанолом) или его раствором. Это позволяет при использовании в качестве экстрагента 60%-го раствора этанола довести содержание флавоноидов в экстрактах до 28,6%.

Однако этиловый спирт относится к легко воспламеняющимся жидкостям, с высокой пожароопасностью этанола характеризующейся низкой температурой вспышки. Температура кипения этанола +78,3°C. Пары этилового

спирта вредны для здоровья человека и этанол более дорог, чем вода. Предельно допустимая концентрация спирта в воздухе составляет 1 мг/дм³.

С целью подтверждения возможности замены этанола, как более дорого и токсичного экстрагента, на воду при экстрагировании под действием импульсного электрического поля высокой напряженности нами проведены исследования, позволяющие количественно оценить полноту извлечения биологически активных веществ этанолом различной концентрации и водой.

При лабораторных исследованиях процессов, свойственных экстрагированию сырья, использовали порционные камеры коаксиального исполнения объемом 500мл. Для регистрации электрических параметров импульсных напряжений применен электронный осциллограф С8-13 с блоком памяти. Для подсчета числа импульсов, затраченных на обработку сырья, использовали частотомер ЧЗ-34.

Генератор позволял получать импульс напряжения колоколообразной формы амплитудой до 50кВ, длительностью $0,2 \cdot 10^{-6}$ с и фронтом импульса напряжения $10 \cdot 10^{-8}$ с. Для выбора оптимальных параметров технологического процесса экстрагирования исследования проводились при варьировании соотношением фаз Т/Ж от 1/10 до 1/26, временем обработки, межэлектродным промежутком и напряженностью поля.

Предварительные исследования, проведенные при соотношении сырье-экстрагент Т/Ж = 1/13, в коаксиальной камере с межэлектродным промежутком R=36,5мм, напряженностью поля у высоковольтного электрода приблизительно равной $7 \cdot 10^6$ В/м, временем обработки 200 с, показали, что при водном экстрагировании с использованием импульсного электрического поля из листьев софоры японской извлекается 24,7% флавоноидов, что примерно на 3,9% меньше, чем позволяет 60%-ый этанол. Однако при этом процесс сокращается примерно на 165 часов.

Таким образом, замена этилового спирта на воду позволяет исключить из технологического процесса экстрагирования более дорогой и токсичный экстрагент, что сделает способ извлечения экологически чистым, менее трудоемким и экономически целесообразным, и сократить продолжительность процесса почти на 7 суток.

Анализ распределения электрического поля показывает, что внутри диэлектрической среды при приложении импульсного электрического поля в областях расположения неоднородностей имеют место зоны повышенных напряженностей. При экстрагировании под воздействием электрического поля пористые частицы сырья, расположенные в воде, приобретают электрический заряд. Каждая частица растительного сырья, поры которой заполнены водой, представляет собой многослойный конденсатор, напряженность электрического поля в такой системе распределяется обратно пропорционально диэлектрическим проницаемостям слоев. Значение напряженности электрического поля в структуре растительного материала, имеющего диэлектрическую проницаемость $\varepsilon_1 \approx 7$ на порядок выше, чем на участках, заполненных водой с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon_2 = 81$.

Под действием поля с напряженностью порядка $5 \cdot 10^6$ В/м, реализуемого в наших условиях, на границе раздела сред возникает пондеромоторная сила, которая по литературным данным оценивается величиной $5 \cdot 10^{10}$ Н/м² [1]. Эта сила, направленная в сторону убывания диэлектрической проницаемости, действует на растяжение и разрыв пористой частицы ($\epsilon_2 > \epsilon_1$) и тем самым способствует проникновению экстрагирующей жидкости внутрь клеточной структуры сырья.

Анализ гранулометрического состава исходного сырья и сырья, подвергнутого обработке импульсным электрическим полем при описанных выше параметрах технологического режима, показал, что под воздействием импульсного электрического поля происходит измельчение частиц. Количество частиц диаметром 5 мм уменьшилось на 4,5%, частиц диаметром 4 мм – на 3,9%; частиц 3 мм больше – на 2,6%, частиц 2 мм – на 5,3%, частиц 1 мм – на 0,5%.

Измельчение частичек сырья можно объяснить действием пондеромоторных сил, возникающих на границе раздела сред с разными диэлектрическими проницаемостями.

Для сопоставления полноты извлечения целевого компонента в процессе экстрагирования с наложением импульсного электрического поля и процесса экстрагирования без электроимпульсного воздействия были проведены сопоставительные эксперименты. Растительное сырье подвергалось экстрагированию водой при температурах в разных опытах от 30⁰С до 60⁰С с шагом 10⁰С (увеличение температуры выше 60⁰С нецелесообразно, так как возможна деструкция извлекаемых биологически активных компонентов). Увеличение температуры системы приводит к ожидаемому росту выхода целевого компонента и к увеличению скорости массообмена по сравнению с результатами, полученными при 18⁰С.

Этот же вид сырья из одной партии экстрагировали водой с наложением на систему импульсного электрического поля при температуре смеси 18⁰С. Эксперименты показали, что воздействие импульсного поля в процессе экстрагирования в течение 200с приводит к увеличению температуры смеси с 18⁰С до 21⁰С, при этом количество экстрактивных веществ, перешедших в раствор, примерно соответствует количеству извлечений при экстрагировании без воздействия поля, но при температуре смеси 60⁰С. Таким образом, экстрагирование под действием импульсного электрического поля и экстрагирование при температуре 60⁰С без воздействия поля дает близкие результаты по количеству извлеченных веществ, что подтверждается результатами измерения оптической плотности растворов фотокolorиметром.

В процессе экстрагирования сырья под воздействием импульсного электрического поля, инициирующим фактором является не только увеличение температуры, в результате чего возрастает скорость диффузии, но и измельчение частиц сырья, приводящее к увеличению поверхности массообмена.

В процессе исследований выявлено, что обработка воды импульсами напряжения амплитудой 20 кВ в течение 200 секунд приводит к снижению сил

поверхностного натяжения, о чем свидетельствует изменение коэффициента поверхностного натяжения от $72,956 \cdot 10^{-3}$ Н/м до $65,04 \cdot 10^{-3}$ Н/м, измеренного сталагмометром. Такая величина коэффициента поверхностного натяжения ($65,043$ Н/м) соответствует воде с температурой $66,4^{\circ}\text{C}$. Но в процессе обработки температура повысилась всего с 18°C до 21°C , при этой температуре коэффициент поверхностного натяжения воды равен $72,37 \cdot 10^{-3}$ Н/м. Это позволяет сделать вывод, что воздействие импульсного электрического поля изменяет поверхностное натяжение воды и, очевидно, что причиной этому является разрыв водородных связей. Снижение поверхностного натяжения воды улучшает смачиваемость, растворимость содержимого клетки и облегчает диффузию извлекаемых веществ из сырья в экстрагент [3,4]. С этой точки зрения мы не видим ограничений по использованию других видов пористого растительного сырья для экстрагирования с применением импульсного электрического поля.

Выводы

1. Применение импульсного электрического поля для водного извлечения флавоноидов из листьев софоры японской позволяет сократить длительность процесса по сравнению с процессом их экстрагирования этиловым спиртом примерно на 7 суток, при этом степень их извлечения уменьшается незначительно (примерно на 3,9% меньше, чем позволяет 60%-ый этанол).

2. Сокращение длительности процесса при применении импульсного электрического поля происходит в результате действия таких факторов как измельчения сырья, нарушение структуры растительных клеток, некоторого повышения температуры системы и снижения поверхностного натяжения воды.

3. Проведенные эксперименты показали целесообразность промышленного использования технологии импульсного электрического экстрагирования целевых компонентов из растительного сырья, поскольку она позволяет существенно сократить длительность процесса, заменить этиловый спирт на воду, а в сравнении с процессом электроразрядного экстрагирования получать более чистый экстракт.

Библиографический список

1. Губкин А.Н. Физика диэлектриков. М. «Высшая школа», 1971. – 272с.
2. Казуб В.Т. Кинетика и основы аппаратного оформления процессов электроразрядного экстрагирования биологически активных соединений. Автореф... дисс. д-ра техн. наук. Тамбов, ТГТУ, 2002. – 32 с.
3. Казуб, В.Т. Интенсификация процессов экстрагирования импульсным электрическим полем высокой напряженности. Казуб В.Т., Кошкарова А.Г. // Вестник ТГТУ. – 2014. - Т. 20, - № 3. – С. 496-501.
4. Казуб В.Т. Пат. № 2200022 РФ. МКИ А61К35/78. Способ экстрагирования биологически активных соединений из растительного сырья. //Казуб В.Т., Криворотов Н.В., Кудимов Ю.Н. , Голов Е.В. Заявлено 19.07.99. Оpubл. в БИ № 7, 2003.