

УДК 615.322

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ЛЕКАРСТВЕННОГО СЫРЬЯ ВЧЕ-ПЛАЗМОЙ ПЕРЕД ЭКСТРАКЦИЕЙ

*О.Ю. Кузнецова¹, И.Ш. Абдуллин¹, М.Ф. Шаехов¹,
Г.К. Зиятдинова², Г.К. Будников²*

¹*Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань, 420015, Россия*

²*Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, 420008, Россия*

Аннотация

Проведена оптимизация режимов плазменной обработки лекарственного сырья чаги с помощью пакета программ Statistica 6.0. Математическое планирование проводилось для расчета оптимальных показателей при плазменной обработке лекарственного сырья чаги в трех плазмообразующих газах – аргоне, воздухе и азоте. При этом постоянными параметрами проведения процесса плазменной обработки сырья были выбраны следующие: давление $P = 30.0$ Па, ток на аноде $J = 0.7$ А, расход газа $G = 0.04$ г/с; варьируемыми показателями служили мощность $U = 5.0 \div 7.0$ кВ и продолжительность обработки высокочастотным емкостным разрядом пониженного давления $t = 30 \div 60$ мин.

По результатам оптимизации четырех основных параметров процесса экстрагирования сырья чаги (сухого остатка, выхода меланина, антиоксидантной активности, как экстракта, так меланина чаги) в зависимости от выбранного плазмообразующего газа (аргон, воздух или азот) рассчитаны оптимальные режимы ВЧЕ-плазменной обработки, которые позволили получить экстракты и меланины гриба чаги с улучшенными физико-химическими и антиоксидантными характеристиками.

Ключевые слова: лекарственное сырье чага, экстракция, ВЧЕ-плазменная обработка, антиоксидантная активность

Введение

Одним из важных процессов переработки натурального лекарственного сырья в фармации является экстрагирование. Интенсификация процесса экстракции – это важная задача, позволяющая максимально полно извлечь биологически активные вещества из трудновозобновляемого лекарственного природного сырья (ЛПС). При этом решается актуальная проблема рационального природопользования, что приводит к существенной экономической выгоде.

Интенсификация экстрагирования достигается благодаря подбору многих факторов, таких как выбор оптимального способа экстракции, типа используемого экстрагента, времени и условий извлечения (температуры, давления, pH среды и др.) и т. п. [1]. В последнее время акцент делается на предварительную обработку сырья с использованием физических, химических, биологических,

биохимических или ферментативных методов [1, 2]. Модификация сырья традиционно остается одним из эффективных способов улучшения качества процесса экстрагирования.

В поиске научно-обоснованного подхода к технологии модификации экстракционного процесса внимание было обращено на электрофизический метод – воздействие на первоначальной стадии обработки сырья высокочастотным емкостным разрядом пониженного давления. Анализ разных видов плазменных разрядов (высокочастотного емкостного (ВЧЕ), высокочастотного индукционного (ВЧИ) и др.) показал перспективность их применения для обработки ЛПС [2–5].

Ранее в работах [3–5] было рассмотрено влияние ВЧЕ-плазменной обработки на интенсивность экстрагирования ЛПС, в частности чаги, в режимах воздух и аргон. При этом использовали такие способы экстрагирования, как мацерация и ремацерация. Проведение плазменной обработки привело к увеличению выхода высокоантиоксидантных экстрактивных веществ, при этом доля меланина в них возросла вне зависимости от способа экстракции. Анализ спектральных характеристик показал сходство исследуемых меланинов чаги с грибными меланинами.

В настоящей работе исследуются возможности применения плазмохимических технологий с применением высокочастотных разрядов пониженного давления. В качестве плазмообразующих газов выбраны аргон, воздух или азот. Объектом исследования явилось лекарственное сырье – березовый гриб чага (*Inonotus obliquus* (Pers.) Pil.).

Использование низкотемпературной плазмы является одним из наиболее эффективных современных методов обработки материалов, позволяющих в широких пределах изменять свойства и значительно повышать доступность биологически активных веществ в процессе экстракции.

Следует отметить, что плазменная модификация материалов универсальна. Характер плазменного воздействия не зависит от природы обрабатываемого материала. На сырье, помещенное в низкотемпературную плазму, одновременно воздействуют следующие факторы: возбужденные и заряженные атомы, молекулы и радикалы, тепловой поток, ультрафиолетовое излучение, электромагнитные поля. Модификация сырья при ВЧЕ-плазменной обработке осуществляется за счет бомбардировки ионами, обладающими энергией 10–100 эВ при плотности ионного потока на поверхность $(0.5) \text{ A/m}^2$ [2].

Применительно к лекарственному сырью известно использование низкотемпературной плазмы для микробиологической контаминации измельченного лекарственного растительного сырья (ЛРС), такого как цветки бессмертника песчаного, листья мяты перечной и корни одуванчика лекарственного [6, 7]. Было установлено фунгицидное и бактерицидное действие низкотемпературной плазмы, причем первое более выражено и зависит от природы газовой фазы. При этом было показано отсутствие изменений в химическом составе ЛРС как по качественным, так и по количественным показателям.

Развитие компьютерных технологий позволяет использовать методы математического планирования в различных областях науки и техники, в том числе и в фармации и биотехнологии. Эффективное прогнозирование позволяет существенно сократить финансовые и минимизировать временные затраты на проведение дорогостоящих исследований.

Цель настоящего исследования состояла в проведении оптимизации процесса экстрагирования лекарственного сырья чаги после его предварительной обработки в ВЧЕ-плазменном разряде пониженного давления.

1. Экспериментальная часть

Объект исследования – сырье чаги, закупаемое в аптечной сети ООО «Красногорсклексредства» (Россия, Московская область, Красногорский район), серия 140815 08/2015.

Сырье обрабатывали на экспериментальной ВЧЕ-установке в режиме постоянных параметров: давление $P = 30.0$ Па, ток на аноде $J = 0.7$ А, расход газа $G = 0.04$ г/с, плазмообразующий газ – аргон, воздух или азот; варьируемые показатели – мощность $U = 5.0 \div 7.0$ кВ, продолжительность обработки $t = 30 \div 60$ мин. Перед обработкой сырье помещали в однослойные хлопчатобумажные пакеты, затем сырье подвергали обработке ВЧЕ-плазменным разрядом пониженного давления в выбранных режимах.

Далее образцы сырья подвергали экстрагированию методом мацерации по [8], в результате получали экстракты и меланины чаги серии Фунги Б12.

Определение сухого остатка осуществляли по [9], выделение меланинов по [9–11]. Антиоксидантную активность (АОА) экстрактов и меланинов чаги определяли кулонометрическим способом [12].

Для обработки результатов исследования использовали математические методы планирования и анализа экспериментов с помощью компьютерной программы Statistica 6.0.

2. Результаты и их обсуждение

Поиск оптимальных параметров ВЧЕ-плазменной обработки для получения экстрактов и меланинов гриба чаги с улучшенными физико-химическими и антиоксидантными характеристиками проводили путем планирования эксперимента по следующим параметрам плазменной модификации: в зависимости от вариации мощности (от 5.0 до 7.0 кВ) и продолжительности обработки (от 30 до 60 мин) и при постоянных – плазмообразующем газе (аргоне, воздухе или азоте), токе на аноде $J = 0.7$ А, давлении $P = 30.0$ Па, расходе газа $G = 0.04$ г/с.

Критерием оценки эффективности экстракции служили физико-химические и антиоксидантные характеристики экстрактов и меланинов чаги (Z_1 – сухой остаток, Z_2 – выход меланина, Z_3 – АОА экстракта, Z_4 – АОА меланина).

Управляемые факторы и интервалы их варьирования подбирали на основании ранее полученных результатов [2–5].

Матрица планирования экспериментов с варьируемыми параметрами проведения процесса приведена в табл. 1. Результаты математического планирования процесса оптимизации представлены на рис. 1–3.

Рассчитанные характеристики согласно математическому планированию показывают, что изменения, происходящие в случае использования ВЧЕ-плазмы в средах аргон и воздух (рис. 1 и 2), достаточно однотипны.

Табл. 1

Параметры проведения процесса (режимы обработки)

| № | Мощность U , кВ | Время t , мин | Давление P , Па | Массовый расход газа G , г/с | Сила тока J , А |
|---|---------------------------------|--------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|
| 0 | Контроль, без обработки плазмой | | | | |
| 1 | 7.0 | 60 | 30 | 0.04 | 0.7 |
| 2 | 6.0 | 60 | 30 | 0.04 | 0.7 |
| 3 | 5.0 | 60 | 30 | 0.04 | 0.7 |
| 4 | 7.0 | 45 | 30 | 0.04 | 0.7 |
| 5 | 6.0 | 45 | 30 | 0.04 | 0.7 |
| 6 | 5.0 | 45 | 30 | 0.04 | 0.7 |
| 7 | 7.0 | 30 | 30 | 0.04 | 0.7 |
| 8 | 6.0 | 30 | 30 | 0.04 | 0.7 |
| 9 | 5.0 | 30 | 30 | 0.04 | 0.7 |

Оптимизация трех первых прогнозируемых параметров ($Z_1 \div Z_3$) при использовании ВЧЕ-плазмы в средах аргон и воздух приводит к следующей картине. Максимальные значения показателей находятся в одной области при минимальных значениях мощности ($0.1 \div 2$ кВ) и при времени воздействия 60 ± 10 мин. При этом АОА меланинов в данной области также возрастает, но в случае аргона происходит увеличение этого показателя вдвое, а при обработке в воздухе возрастает примерно в 4.5 раза. Это, вероятно, связано с тем, что первые три параметра характеризуют жидкий экстракт чаги, а четвертый параметр (Z_4) – меланин после его осаждения из экстракта с помощью соляной кислоты и последующего высушивания. В обоих случаях выход экстрактивных веществ хорошо коррелирует с АОА экстракта. Диаграмма планирования экспериментов по функции отклика выхода меланина имеет иную конфигурацию, но при этом в обоих случаях сохраняется тенденция к максимальному выходу меланина в области минимальной мощности и при максимальной длительности. В связи с этим можно сделать вывод, что проведение экстракционного процесса в плазмообразующих средах аргона и воздуха благоприятно в первую очередь для получения жидких галеновых препаратов – экстрактов чаги (рис. 1 и 2).

Для получения сухого порошка высокоантиоксидантного меланина наилучшие условия оптимизации достигаются при режиме ВЧЕ-плазменной обработки в среде воздух при длительности 60 ± 5 мин и мощности $0.1 \div 2$ кВ. В этом случае выход меланина достаточно высок (до 25% и выше) и достигается его максимальная АОА (40 Кл/100 г и более) (рис. 2).

Расчетные данные (рис. 3) при планировании эксперимента с использованием азота в качестве плазмообразующей среды показывают, что оптимальные результаты достигаются по всем четырем заданным параметрам ($Z_1 \div Z_4$) при кратковременной (10 ± 5 мин) обработке в потоке плазмы пониженного давления в режиме высокой мощности (7 ± 1 кВ).

Отличительной особенностью проведенного планирования является наличие зон отрицательных значений показателей (рис. 3, $\bar{b}-z$), которые говорят о нецелесообразности проведения технологического процесса при этих параметрах.

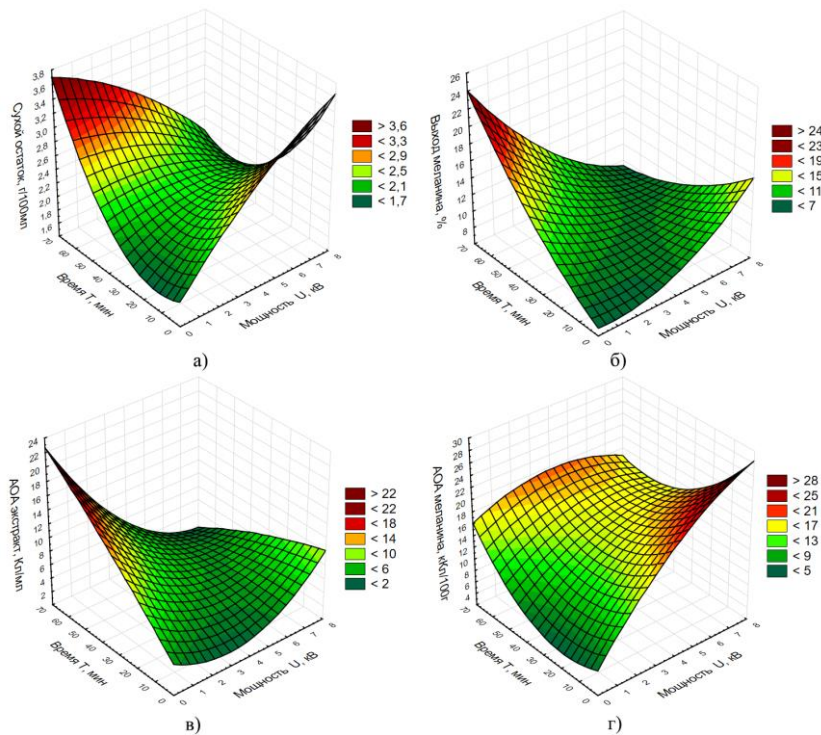


Рис. 1. Оптимизация режимов ВЧЕ-плазменной обработки для модификации сырья чаги в плазмообразующем газе аргон, ток на аноде $J = 0.7$ А, давление $P = 30.0$ Па, расход газа $G = 0.04$ г/с. Переменные – мощность и время обработки. Функция отклика: а) сухой остаток, г/100 мл; б) выход меланина, %; в) антиоксидантная активность экстракта, Кл/мл; г) антиоксидантная активность меланина, кКл/100 г

Полученные уравнения регрессии, приведенные в табл. 2, адекватно описывают влияние ВЧЕ-плазменной обработки сырья чаги на физико-химические и антиоксидантные характеристики экстрактов и меланинов чаги. При анализе рассчитанных зависимостей следует учитывать, что чем больше величина коэффициента, тем сильнее влияние фактора на процесс экстракции. Полученные уравнения позволяют прогнозировать значения выбранных параметров (характеристик) и устанавливать оптимальные режимы для получения заданных свойств.

По результатам оптимизации четырех основных параметров процесса экстрагирования сырья чаги (Z_1 – Z_4) в зависимости от взятого плазмообразующего газа – аргона, воздуха или азота – были выбраны оптимальные режимы ВЧЕ-плазменной обработки, которые позволяют получить экстракты и меланины гриба чаги с улучшенными физико-химическими и антиоксидантными характеристиками.

Заключение

Проведено математическое планирование экспериментов для оптимизации предварительной обработки лекарственного сырья чаги ВЧЕ-плазменным разрядом пониженного давления. Прогнозирование рассчитывали для обработки лекарственного сырья чаги в трех плазмообразующих газах – аргоне, воздухе и азоте.

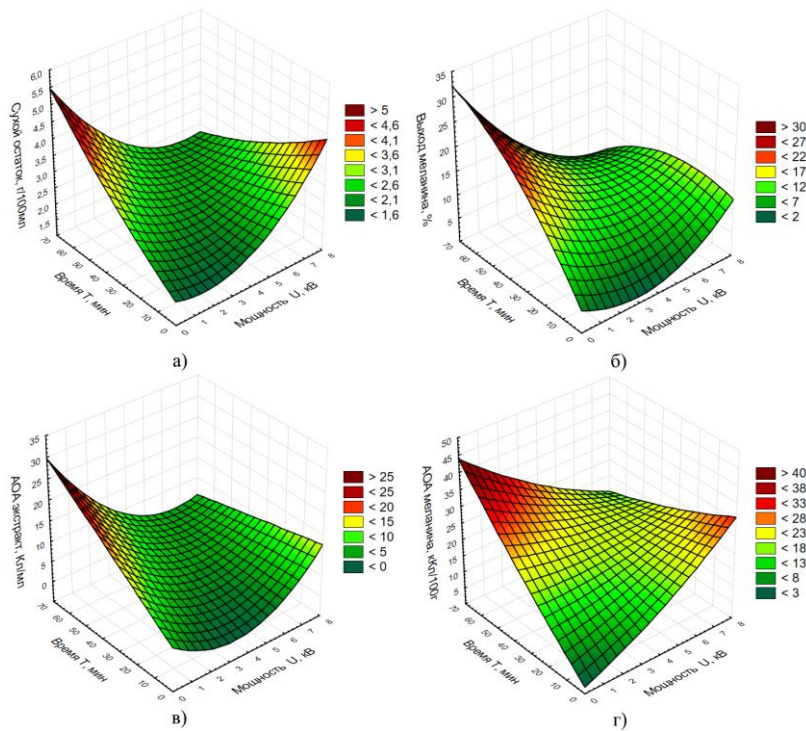


Рис. 2. Оптимизация режимов ВЧЕ-плазменной обработки для модификации сырья чаги в плазмообразующем газе воздух, ток на аноде $J = 0.7$ А, давление $P = 30.0$ Па, расход газа $G = 0.04$ г/с. Переменные – мощность и время обработки. Функция отклика: а) сухой остаток, г/100 мл; б) выход меланина, %; в) антиоксидантная активность экстракта, Кл/мл; г) антиоксидантная активность меланина, кКл/100 г

Табл. 2

Рассчитанные уравнения регрессии исследуемых процессов

| Функция отклика | Сухой остаток, г/100мл, Z_1 | Выход меланина, %, Z_2 | АОА экстракта, Кл/мл, Z_3 | АОА меланина, кКл/100 г, Z_4 |
|-----------------|---|--|--|---|
| Режимы | | | | |
| Аргон | $Z_1 = 1.7564 + 0.3344x - 0.0151y - 0.0122x^2 - 0.0064xy + 0.0006y^2$ | $Z_2 = 6.8963 - 0.1991x + 0.1502y + 0.1615x^2 - 0.0455xy + 0.0013y^2$ | $Z_3 = 4.4755 - 1.6869x + 0.2981y + 0.299x^2 - 0.0475xy - 0.0006y^2$ | $Z_4 = 6.1576 + 4.3834x - 0.1582y - 0.1996x^2 - 0.0386xy + 0.0043y^2$ |
| Воздух | $Z_1 = 1.7192 - 0.1917x + 0.0041y + 0.0656x^2 - 0.0105xy + 0.0002y^2$ | $Z_2 = -3.6896 + 0.2645x + 0.6615y + 0.2005x^2 - 0.0638xy - 0.0035y^2$ | $Z_3 = 5.6046 - 3.6459x + 0.349y + 0.5639x^2 - 0.0555xy - 7.2139 \cdot 10^{-5}y^2$ | $Z_4 = 2.073 + 2.2957x + 0.5254y + 0.1625x^2 - 0.1029xy + 0.001y^2$ |
| Азот | $Z_1 = 1.769 + 0.239x - 0.007y - 0.0048x^2 - 0.0042xy + 0.0003y^2$ | $Z_2 = 9.2127 + 4.3757x - 0.5767y - 0.5629x^2 + 0.0489xy + 0.0031y^2$ | $Z_3 = 8.461 + 3.8967x - 0.7297y - 0.4943x^2 + 0.0551xy + 0.0042y^2$ | $Z_4 = 3.4817 + 5.0568x + 0.097y - 0.7248x^2 + 0.07xy - 0.0063y^2$ |

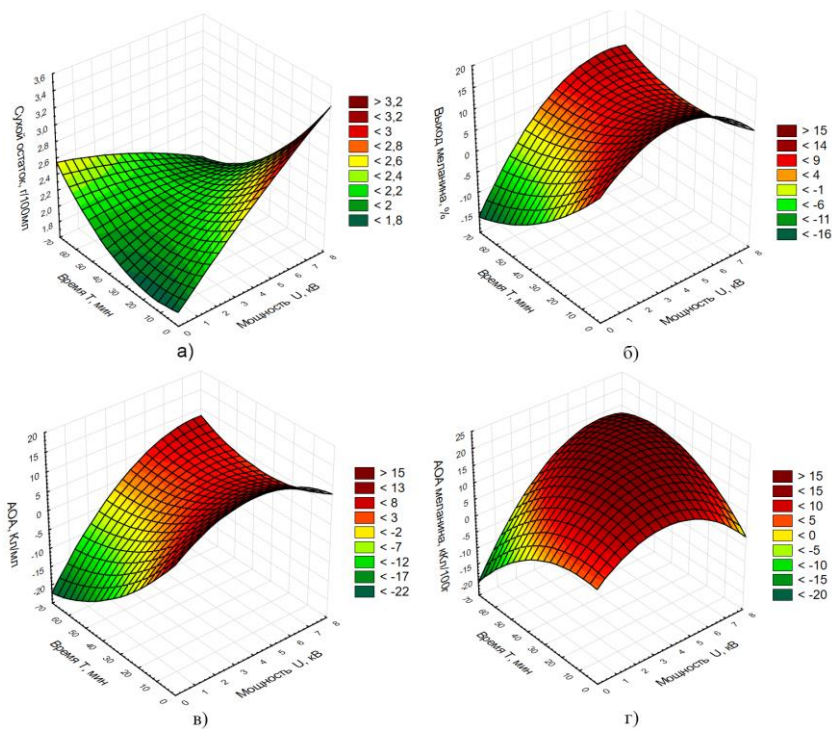


Рис. 3. Оптимизация режимов ВЧЕ-плазменной обработки для модификации сырья чаги в плазмообразующем газе азот, ток на аноде $J = 0.7$ А, давление $P = 30.0$ Па, расход газа $G = 0.04$ г/с. Переменные – мощность и время обработки. Функция отклика: а) сухой остаток, г/100 мл; б) выход меланина, %; в) антиоксидантная активность экстракта, Кл/мл; г) антиоксидантная активность меланина, кКл/100 г

При этом постоянными параметрами процесса плазменной обработки сырья явились давление $P = 30.0$ Па, ток на аноде $J = 0.7$ А, расход газа $G = 0.04$ г/с; варьируемыми показателями служили мощность $U = 5.0 \div 7.0$ кВ и продолжительность обработки $t = 30 \div 60$ мин.

На основе рассчитанных диаграмм планирования по четырем основным параметрам процесса экстракции (Z_1 – сухой остаток, Z_2 – выход меланина, Z_3 – АОА экстракта, Z_4 – АОА меланина) можно сделать следующие выводы:

- проведение плазменной обработки лекарственного сырья чаги в плазмообразующих средах аргона и воздуха при минимальных значениях мощности ($0.1 \div 2$ кВ) и при времени воздействия 60 ± 10 мин рекомендовано для получения преимущественно экстрактов чаги;

- для достижения достаточно высокого выхода высушенного меланина чаги, обладающего высокой антиоксидантной активностью (40 Кл/100 г и более), предпочтительнее использовать ВЧЕ-плазменную обработку в среде воздух при длительности 60 ± 5 мин и мощности $0.1 \div 2$ кВ;

- оптимальные показатели плазменной обработки лекарственного сырья чаги в плазмообразующей среде азота достигаются при кратковременной (10 ± 5 мин) обработке в потоке плазмы пониженного давления в режиме высокой мощности (7 ± 1 кВ).

Литература

1. *Муравьев А.И.* Технология лекарственных средств: в 2 т. – М.: Медицина, 1980. – Т. 1. – 704 с.
2. *Абдуллин И.Ш., Абуталипова Л.Н., Желтухин В.С., Красина И.В.* Высокочастотная плазменная обработка в динамическом вакууме капиллярно-пористых материалов. Теория и практика применения. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2004. – 428 с.
3. *Кузнецова О.Ю., Абдуллин И.Ш., Шаехов М.Ф.* Влияние ВЧЕ и ВЧИ плазменной обработки на экстракцию природного лекарственного сырья // Научная сессия КНИТУ. – Казань, 2016. – С. 491.
4. *Кузнецова О.Ю., Абдуллин И.Ш., Шаехов М.Ф.* Изучение влияния ВЧЕ плазменной обработки на выход экстрактивных веществ из природного лекарственного сырья // Научная сессия КНИТУ. – Казань, 2016. – С. 492.
5. *Кузнецова О.Ю., Абдуллин И.Ш., Шаехов М.Ф., Зиятдинова Г.К., Будников Г.К.* Исследование экстрактов и меланинов гриба *Inonotus obliquus* (Pers.) Pil., полученных после обработки сырья ВЧЕ-плазмой // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2016. – Т. 158, кн. 1. – С. 23–33.
6. *Богма М.В.* Применение обработки лекарственного растительного сырья низкотемпературной плазмой в технологии таблетированных лекарственных форм: Дис. ... канд. фарм. наук. – СПб., 2011. – 153 с.
7. *Богма М.В.* Влияние обработки низкотемпературной плазмой на химический состав и микробиологические показатели лекарственного растительного сырья // Химия растительного сырья. – 2011. – № 1. – С. 137–140.
8. Пат. 2450817 РФ. Способ получения хромогенного комплекса чаги / О.Ю. Кузнецова, М.А. Сысоева. – № 2011105353/15; заявл. 14.02.2011. опубл. 20.05.2012. Бюл. 14. – 5 с.
9. *Кондратьева Т.С.* Руководство к лабораторным занятиям по аптечной технологии лекарственных форм. – М.: Медицина, 1986. – 288 с.
10. Государственная фармакопея СССР. – М., 1987. – 389 с.
11. *Муравьева Д.А.* Фармакогнозия. – М.: Медицина, 1981. – 714 с.
12. *Ziyatdinova G.K., Budnikov H.C., Pogorel'tzev V.I., Ganeev T.S.* The application of coulometry for total antioxidant capacity determination of human blood // Talanta. – 2006. – V. 68, No 3. – P. 800–805. – doi: 10.1016/j.talanta.2005.06.010.

Поступила в редакцию
25.03.16

Кузнецова Ольга Юрьевна, кандидат химических наук, доцент кафедры пищевой биотехнологии

Казанский национальный исследовательский технологический университет
ул. К. Маркса, д. 68, г. Казань, 420015, Россия
E-mail: kuznetsovaolga@mail.ru

Абдуллин Ильдар Шаукатович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой плазмохимических и нанотехнологий высокомолекулярных материалов

Казанский национальный исследовательский технологический университет
ул. К. Маркса, д. 68, г. Казань, 420015, Россия
E-mail: abdyllin_@kstu.ru

Шаехов Марс Фаритович, доктор технических наук, профессор кафедры плазмохимических и нанотехнологий высокомолекулярных материалов

Казанский национальный исследовательский технологический университет
ул. К. Маркса, д. 68, г. Казань, 420015, Россия
E-mail: shaechov@kstu.ru

Зиятдинова Гузель Камилевна, кандидат химических наук, доцент кафедры аналитической химии

Казанский (Приволжский) федеральный университет

ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия

E-mail: ziyatdinovag@mail.ru

Будников Герман Константинович, доктор химических наук, профессор кафедры аналитической химии

Казанский (Приволжский) федеральный университет

ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия

E-mail: Herman.Budnikov@kpfu.ru

ISSN 1815-6169 (Print)

ISSN 2500-218X (Online)

UCHENYE ZAPISKI KAZANSKOGO UNIVERSITETA. SERIYA ESTESTVENNYE NAUKI

(Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series)

2016, vol. 158, no. 2, pp. 197–206

Optimizing Pretreatment of Medicinal Raw Materials by RFC Plasma before Extraction

O.Yu. Kuznetsova^{a}, I.Sh. Abdullin^{a**}, M.F. Shaekhov^{a***},
G.K. Ziyatdinova^{b****}, H.C. Budnikov^{b*****}*

^a*Kazan National Research Technological University, Kazan, 420015 Russia*

^b*Kazan Federal University, Kazan, 420008 Russia*

E-mail: ^{*}kuznetsovaolga@mail.ru, ^{**}abdyllin_@ksty.ru, ^{***}shaekhov@kstu.ru,
^{****}ziyatdinovag@mail.ru, ^{*****}Herman.Budnikov@kpfu.ru

Received March 25, 2016

Abstract

Optimization of the RF-plasma treatment modes of chaga raw materials using the Statistica 6.0 software package has been performed. Mathematical design has been carried out to calculate the optimum parameters of RF-plasma treatment using three plasma-forming gases – argon, air, and nitrogen. Plasma treatment of chaga raw materials has been undertaken at the constant parameters: pressure $P = 30.0$ Pa, anodic current $J = 0.7$ A, gas consumption $G = 0.04$ g/s; the variable parameters were power $U = 5.0 \div 7.0$ kV and treatment duration at the high-frequency capacitor category of the lowered pressure $t = 30 \div 60$ min.

Optimization of four key parameters for extraction of chaga raw materials (solid residue, melanin yield, antioxidant activity of both extract and chaga melanin) depending on the chosen plasma-forming gas (argon, air, or nitrogen) has been achieved. The optimum modes of RF-plasma treatment allowing to obtain the extracts and melanin of chaga mushroom with the improved physicochemical and antioxidant characteristics have been calculated.

Keywords: chaga raw materials, extraction, RFC-plasma treatment, antioxidant activity

Figure captions

Fig. 1. Optimization of the RFC-plasma treatment modes for modification of chaga raw materials in argon used as a plasma-forming gas, anodic current $J = 0.7$ A, pressure $P = 30.0$ Pa, gas consumption $G = 0.04$ g/s. Variables – power and treatment duration. Response function: a) solid residue, g/100 ml; b) melanin yield, %; c) extract antioxidant activity, C/ml; d) melanin antioxidant activity, kC/100 g.

Fig. 2. Optimization of the RFC-plasma treatment modes for modification of chaga raw materials in air used as a plasma-forming gas, anodic current $J = 0.7$ A, pressure $P = 30.0$ Pa, gas consumption

$G = 0.04$ g/s. Variables – power and treatment duration. Response function: a) solid residue, g/100 ml; b) melanin yield, %; c) extract antioxidant activity, C/ml; d) melanin antioxidant activity, kC/100 g.

Fig. 3. Optimization of the RFC-plasma treatment for modification of chaga raw materials in nitrogen used as a plasma-forming gas, anodic current $J = 0.7$ A, pressure $P = 30.0$ Pa, gas consumption $G = 0.04$ g/s. Variables – power and treatment duration. Response function: a) solid residue, g/100 ml; b) melanin yield, %; c) extract antioxidant activity, C/ml; d) melanin antioxidant activity, kC/100 g.

References

1. Murav'ev A.I. Technology of Medicines. Vol. 1. Moscow, Meditsina. 1980. 704 p. (In Russian)
2. Abdullin I.Sh., Abutalipova L.N., Zheltukhin V.S., Krasina I.V. High-Frequency Plasma Processing in the Dynamic Vacuum of Capillary-Porous Materials. Theory and Practice of Application. Kazan, Izd. Kazan. Univ., 2004. 428 p. (In Russian)
3. Kuznetsova O.Yu., Abdullin I.Sh., Shaekhov M.F. Influence of RFC and RFI plasma treatment for extraction of natural medicinal raw materials. *Nauchnaya Sessiya KNITU* [Sci. Sess. Kazan. Natl. Res. Technol. Univ.]. Kazan, 2016, p. 491. (In Russian)
4. Kuznetsova O.Yu., Abdullin I.Sh., Shaekhov M.F. Studying the influence of RFC-plasma treatment on the yield of extractive substances from natural medicinal raw materials. *Nauchnaya Sessiya KNITU* [Sci. Sess. Kazan. Natl. Res. Technol. Univ.]. Kazan, 2016, p. 492. (In Russian)
5. Kuznetsova O.Yu., Abdullin I.Sh., Shaekhov M.F., Ziyatdinova G.K., Budnikov H.C. Investigation of *Inonotus obliquus* (Pers.) Pil. extracts and melanins after RF-plasma treatment of raw material. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2016, vol. 158, no. 1, pp. 23–33. (In Russian)
6. Bogma M.V. Processing of medicinal vegetable raw materials using low-temperature plasma in the technology of tableted dosage forms. *Cand. Pharm. Sci. Diss.*, St. Petersburg, 2011. 153 p. (In Russian)
7. Bogma M.V. Influence of low-temperature plasma treatment on chemical composition and microbiological indicators of medicinal vegetable raw materials. *Khim. Rastit. Syr'ya*, 2011, no. 1, pp. 137–140. (In Russian)
8. Kuznetsova O.Yu., Sysoeva M.A. Method for producing chromogenic shelf fungus complex. Patent RF no. 2450817, 2011. (In Russian)
9. Kondratieva T.S. Laboratory Guide on Pharmaceutical Technology of Dosage Forms. Moscow, Meditsina, 1986. 288 p. (In Russian)
10. State Pharmacopoeia of the USSR. Moscow, 1987. 389 p. (In Russian)
11. Murav'eva D.A. Pharmacognosy. Moscow, Meditsina, 1981. 714 p. (In Russian)
12. Ziyatdinova G.K., Budnikov H.C., Pogorel'tzev V.I., Ganeev T.S. The application of coulometry for total antioxidant capacity determination of human blood. *Talanta*, 2006, vol. 68, no. 3, pp. 800–805. doi: 10.1016/j.talanta.2005.06.010.

Для цитирования: Кузнецова О.Ю., Абдуллин И.Ш., Шаехов М.Ф., Зиятдинова Г.К., Будников Г.К. Оптимизация предварительной обработки лекарственного сырья ВЧЕ-плазмой перед экстракцией // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2016. – Т. 158, кн. 2. – С. 197–206.

For citation: Kuznetsova O.Yu., Abdullin I.Sh., Shaekhov M.F., Ziyatdinova G.K., Budnikov H.C. Optimizing pretreatment of medicinal raw materials by RFC plasma before extraction. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2016, vol. 158, no. 2, pp. 197–206. (In Russian)