

УДК 632.5:581.175: 542.87: 543.383: 543.544.43: 547.587.51

АНАЛИЗ СОСТАВА ЛИПОФИЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В СОКЕ *HERACLEUM SOSNOWSKYI* ДО И ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ*

© В.В. Пунегов^{1**}, И.В. Груздев¹, А.Ф. Триандафилов²

¹ Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, ул. Коммунистическая, 28, Сыктывкар, 167982 (Россия), e-mail: punegov@ib.komisc.ru

² Институт сельского хозяйства Коми НЦ УрО РАН, ул. Ручейная, 27, Сыктывкар, 167920 (Россия)

Приведены результаты исследования экстрактов из всей надземной части борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi*), собранной в фазу цветения, до и после электроразрядной кавитационной обработки методами газовой хроматографии и хромато-масс спектрометрии. Установлено, что при кавитационном воздействии достигается селективная деструкция кумаринов и фуранокумаринов с образованием ряда соединений как ароматического, так и неароматического строения не характерных для нативного сока *H. sosnowskyi*. В нативном соке растения идентифицированы из фуранокумаринов: метаксален, изопимпинеллин и ангелицин. При электроразрядной кавитационной обработке сока растения указанные фуранокумарины полностью деструктируют. Продуктами деструкции фуранокумаринов являются: 2-фенил-этанол, 3-фенил-пропанол, 2-гидрокси-5-метил-ацетофенон, бутандиол-2,3 бензиловый спирт. Среди органических кислот в соке *H. sosnowskyi* после электроразрядного кавитационного воздействия, абсолютным доминантом являются 2-гидрокси-пропионовая и янтарная кислоты. В зависимости от фазы развития растения, в которую собрано было растительное сырье и условий обработки сока *H. sosnowskyi*, компонентный состав органических веществ в конечном продукте может сильно варьировать, что подтверждается обнаружением робустовой кислоты во второй партии сока *H. sosnowskyi*. Учитывая высокое содержание янтарной кислоты в соке *H. sosnowskyi*, подвергнутого кавитационному воздействию, авторы считают целесообразным исследовать в будущем ростостимулирующие свойства полученного продукта при выращивании сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: *Heracleum sosnowskyi*, фуранокумарины, экстракция, электроразрядная кавитационная обработка, хромато-масс-спектрометрия, ангелицин, метаксален, изопимпинеллин, робустовая кислота.

Работа проведена на экспериментальных базах Института сельского хозяйства ФГБНУ ФИЦ «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» и УНУ «Научная коллекция живых растений» Ботанического сада Института биологии ФГБНУ ФИЦ «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук», рег. номер 507428. Исследования выполнены в рамках государственного задания по теме «Закономерности процессов репродукции ресурсных растений в культуре на европейском Северо-Востоке» № АААА-А17-117122090004-9.

Введение

Борщевик Сосновского (*H. sosnowskyi*) во многих регионах России является одним из наиболее рас-

Пунегов Василий Витальевич – старший научный сотрудник ботанического сада,
e-mail: punegov@ib.komisc.ru

Груздев Иван Владимирович – доктор химических наук, доцент, ведущий научный сотрудник эко-аналитической лаборатории, e-mail: gruzdev@ib.komisc.ru

Триандафилов Александр Фемистоклович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,
e-mail: nipti@bk.ru

пространенных инвазивных видов растений. В органах растения в процессе вегетации накапливаются фуранокумарины, обладающие фотосенсибилизирующими свойствами. В состав фуранокумаринов входят: бергаптен, ксантотоксин и изопимпинеллин [1–5]. Кроме того, найдены: ангелицин (изопсорален), умбеллиферон, сфондин [2].

* Данная статья имеет электронный дополнительный материал (приложение), который доступен читателям на сайте журнала. DOI: 10.14258/jcprtm.2019034253s

** Автор, с которым следует вести переписку.

Цель настоящей работы – выяснение возможности селективной деструкции фуранокумаринов (ФК) *H. sosnowskyi* в соке растения электрохимическим методом и определение компонентного состава полярных экстрактивных веществ растения как до воздействия на сок импульсным электрическим током, так и после электрокавитационной обработки сока.

Экспериментальная часть

Растительное сырье – вся надземная часть *H. sosnowskyi* была заготовлена в Сыктывдинском районе Республики Коми в июне 2017 г. Сок растения был получен из всей надземной массы в фазу массового цветения отжимом измельченного сырья *H. sosnowskyi* с помощью гидропресса.

Электроразрядную кавитационную обработку сока растений осуществляли на экспериментальной базе ФГБУН НИИСХ Республики Коми с помощью электрогидравлической установки (ЭГ-эффект) для поточной обработки водных суспензий (растворов) при рабочем напряжении постоянного тока 50 кВ, частотой следования импульсов 10 разрядов/сек. и мощностью импульсов 125 Дж. Принцип работы устройства: по трубопроводу 5 суспензия обрабатываемого вещества с помощью насоса 4 подается в разрядную камеру 2, после чего накапливается в емкости 3 (рис. 1).

Анализ компонентного состава образцов сока *H. sosnowskyi* выполнен на газохроматографическом оборудовании центра коллективного пользования «Хроматография» и лаборатории химического анализа отдела Ботанический сад Института биологии Коми НЦ УрО РАН. При подготовке проб к газохроматографическому анализу использовали методы экстракции (жидкостно-жидкостная экстракция) и дериватизации анализов (силилирование) [6].

Для аналитических исследований были предоставлены 3 образца сока *H. sosnowskyi*: 1 – «контрольный», 2 – «опытный» и 3 – «опытный после 10 месяцев хранения в холодильной камере при температуре 5 С». В первом случае – это сок растения без обработки («К»), а во втором («О») и третьем («О2») случаях – сок растения, подвергнутый электроразрядной кавитационной обработке. Аликвоты образцов объемом 230 см³ переносили в конические делительные воронки и экстрагированы дважды 50 см³ хлороформа. Экстракты объединяли. Полученный экстракт концентрировали до смолистого остатка на ротационном испарителе ИР-1М. Для удаления из концентрата неполярных липидов к колбе со смолистым осадком дважды приливали 10 см³ гексана, нагревали на водяной бане до 50 °С и желто-коричневый экстракт липидов растения декантировали с пленки полярных липидов растения. Учитывая малую растворимость ФК в гексане, в данной работе состав неполярных липидов исследовался только для образца сока «О2».

К остатку полярных липидов (23.0 мг) последовательно вносили 400 мкл силилирующей смеси, состоящей из пиридина, триметилхлорсилана (ТМХС) и N,O-бис-(триметилсилил)-трифторацетамида (БСТФА) в объемном отношении 2 : 1 : 1. С целью ускорения синтеза триметилсилильных производных колбу с полученной суспензией выдерживали 5 мин. в ультразвуковой ванне УЗВ-2/150ТН. При этом получили гомогенный раствор триметилсилильных дериватов полярных липидов растения, окрашенный в желто-коричневый цвет.

Аналогичным образом получали суммарную фракцию полярных липидов растения из образцов «О» и «О2» сока *H. sosnowskyi*, подвергнутого электрокавитационной обработке.

Кроме того, из образца «О» после экстракции липидов отбирали аликвоту объемом 5 см³ в сердцевидную колбу и с применением ротационного испарителя концентрировали до сухого остатка в вакууме. Полученный остаток весом 79.3 мг силилировали добавлением 1 см³ силилирующей смеси в течение 1 ч. Образец «О2» весом 14.2 мг силилировали аналогичным образом. Гексановую фракцию липидов образца «О2» в количестве 1.273 мг растворяли в 1 см³ пентана и анализировали без дополнительной дериватизации.

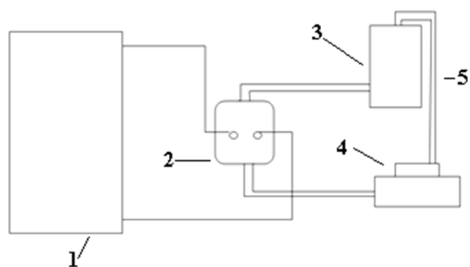


Рис. 1. Схема устройства для электроразрядной кавитационной обработки сока растений: 1 – генератор импульсов электрического тока (ГИТ); 2 – разрядная камера; 3 – емкость; 4 – насос; 5 – трубопровод

Компонентный состав полярной фракции липидов из образцов «К» и «О» определяли на хроматографе «Кристалл 2000М» («Хроматэк», Россия) с пламенно-ионизационным детектором и программным обеспечением «Хроматэк Аналитик 2.5». Разделение компонентов проводили на кварцевой капиллярной колонке TR-5MS (30 м × 0.25 мм × 0.25 мкм) с полиметилфенилсилоновой неподвижной фазой (5% фенильных групп). Идентификацию компонентов анализируемых смесей проводили на хромато-масс-спектрометре «TRACE DSQ» (Thermo, США) в режиме полного ионного тока (электронный удар: 70 эВ, сканирование: 50–650 Да). Интерпретацию масс-спектров ТМС-производных проводили с использованием программного обеспечения Xcalibur Data System (version 1.4 SR1) и библиотеки масс-спектров NIST 05 (version 2.0, 220 тыс. соединений). Идентификация считается достоверной, если коэффициент совпадения масс-спектра соединения с библиотечным масс-спектром составляет не менее 85%. В отдельных случаях при низкой концентрации компонента и высокой интенсивности фоновых ионов допускается степень совпадения 75–80%, если в масс-спектре соединения присутствуют все характерные для него фрагментарные ионы. Хроматограммы, полученные при данных условиях, приведены на рисунках 2–6 в электронном приложении к журналу.

Обсуждение результатов

Несмотря на огромный ресурсный потенциал [7–14] *H. sosnowskyi* в настоящее время преимущественно рассматривается как вредоносный, инвазивный вид [15, 16]. В данной работе предложен способ электрокавитационной деструкции фуранокумаринов в соке растения, ранее апробированный для повышения эффективности минеральных удобрений [17]. Следует отметить, что кавитационные технологии интенсификации химико-технологических процессов, в частности экстракции биологически активных веществ (БАВ) из растительного сырья, несмотря на их ресурсоемкость, во многих случаях при производстве БАВ безальтернативны [18, 19].

Согласно полученным данным, содержание липидов, экстрагируемых хлороформом, в соке *H. sosnowskyi*, подвергнутого электроразрядной кавитационной обработке, снижается на 30–50%. Так, в образце «К» концентрация указанной фракции липидов составляет 0.145 мг/см³, в образце «О» – 0.100 мг/см³, а в образце «О2» – 0.071 мг/см³. Кроме того, изменяются внешний вид и органолептические свойства липидной фракции. Концентрат липидов (образец «К»), имеющий типичный «борщевичный» аромат свежих листьев растения, темно-коричневый цвет и маслообразное состояние, переходит в смолистую пленку на стенках отгонной колбы лимонно-желтой окраски и обладает фруктовым ароматом (образец «О»).

Во фракции полярных липидов образца «К» обнаружено 28 основных компонентов и идентифицирована структура 11 соединений (рис. 1 электронного приложения, табл. 1).

Таким образом, в полярной фракции липидов из сока *H. sosnowskyi* до электрокавитационной обработки нами идентифицированы три фуранокумарина: ангелицин, метоксален и изопимпинеллин. Их сумма доминирует в этой фракции и составляет 26%.

Совершенно иным компонентным составом характеризуется полярная фракция липидов, выделенная из сока *H. sosnowskyi*, подвергнутого электрокавитационной обработке. Хроматограмма и компонентный состав данной фракции приведены на рисунке 2 электронного приложения и в таблице 2.

Таблица 1. Компонентный состав полярной фракции липидов из образца «К»

№	Название	Время удерживания, мин.	Массовая доля, %*
1	2-оксипропионовая кислота	5.57	18.0
2	2-фенилэтанол (катехол)	10.46	0.22
3	Глицерин	11.28	0.45
4	Фосфорная кислота	11.79	0.75
5	o-Гидроксифенол	13.00	3.1
6	o-гидроксибензиловый спирт	17.47	2.53
7	2-изопропил-5-метилфенол	19.73	0.63
8	Ангелицин	28.26	12.00
9	мио-Инозитол	33.69	0.6
10	Метоксален	34.77	12.29
11	Изопимпинеллин	38.96	1.72
12	Не идентифицирован	39.81	13.75
13	Не идентифицирован	41.88	1.33

* – массовая доля от суммы всех обнаруженных компонентов.

Таблица 2. Компонентный состав полярной фракции липидов из образца «О»

№	Название	Время удерживания, мин.	Массовая доля, %*
1	Бутандиол-2,3	4.90	57.08
2	2-гидроксипропионовая кислота	5.53	17.91
3	Бензиловый спирт	8.34	4.03
4	2-фенилэтанол	10.48	15.91
5	3-фенилпропанол	13.87	0.04
6	2-гидрокси-5-метилацетофенон	15.34	0.02
7	2-изопропил-5-метилфенол	19.80	0.01
8	2,5,8-триметил-1-тетралон	26.40	0.01
9	Не идентифицирован	32.74	менее 0.01
10	Не идентифицирован	41.88	менее 0.01

* – массовая доля от суммы всех обнаруженных компонентов.

Как следует из таблицы 2, в исследуемой фракции липидов фуранокумарины отсутствуют. Здесь доминируют бутандиол-2,3, 2-гидроксипропионовая кислота, бензиловый спирт и 2-фенилэтанол, суммарная массовая доля которых составляет 95%. Остальные идентифицированные компоненты представлены в минорных количествах (менее 0.05%).

На заключительном этапе исследования был определен компонентный состав полярных органических веществ в соке *H. sosnowskyi*, подвергнутого электрокавитационной обработке. Хроматограмма и компонентный состав этого образца приведены на рисунке 3 электронного приложения и в таблице 3.

В водном остатке образца «О» после извлечения из него липидов доминируют оксикислоты и спирты. Мажорными компонентами являются: 2-гидроксипропионовая, янтарная и фосфорная кислоты, бутандиол-2,3, пропиленгликоль и циклооктендиол-1,2.

В образце сока *H. sosnowskyi* после электрокавитационной обработки и хранения в при температуре менее +5 °С в течение 10 месяцев («О2») был изучен состав неполярных липидов, извлеченных гексаном. Хроматограмма и компонентный состав указанной фракции приведены на рисунке 4 электронного приложения и в таблице 4. Как следует из приведенных аналитических данных, в гексановой фракции указанного образца сока *H. sosnowskyi* доминируют γ -лактон 4-гидроксигексадекановой кислоты, гексадец-(11Z)-еновая кислота, *p*-третбутиланизол и пальмитиновая кислота. Фталаты – дибутил- и диизооктилфталат, обнаруженные в этой фракции, скорее всего, являются артефактами. Их наличие в указанном образце сока, мы полагаем, обусловлено длительным хранением образца «О2» в полиэтиленовых канистрах, что сопровождалось частичной экстракцией фталатных пластификаторов в водную среду.

Состав полярной фракции липидов, извлеченных из образца сока *H. sosnowskyi* «О2» после длительного хранения, существенно отличается от образца «О». Согласно данным хромато-масс-спектрометрии в данной фракции (табл. 5 и рис. 5 электронного приложения) были обнаружены: робустовая кислота, дитретпентилбензохинон, 2,3-дион-5-изопропенил-3-оксиминдол, 2-фенилэтиловый спирт, гексадекан и гексадекановая кислота. Робустовая кислота, химическая структура которой приведена на рисунке 6 электронного приложения, является фуранокумарином, впервые обнаруженным С. Харпером в корнях *Derris robusta* Benth. в 1942 г. (Harper S.) [20] и ранее не была найдена в соке *H. sosnowskyi*.

Таблица 3. Компонентный состав полярных органических соединений в образце сока *H. sosnowskyi* «О» после извлечения липидной фракции

№	Название	Время удерживания, мин.	Массовая доля, %*
1	Пропиленгликоль	4.37	4.55
2	Бутандиол-2,3	5.15	6.57
3	2-гидроксипропионовая кислота	5.79	55.29
4	2-гидроксипропионовая кислота	7.16	0.13
5	3-гидроксипропионовая кислота	7.74	0.09
6	4-метил-2-гидроксипентановая кислота	10.25	0.02
7	Глицерин	11.33	0.07
8	Фосфорная кислота	11.77	3.00
9	Янтарная кислота	13.33	23.29
10	2-метилглицерин	19.76	0.06
11	Циклооктен-1,2-диол	23.25	0.08
12	Циклооктен-1,2-диол изомер	23.86	3.84
13	Мио-инозитол	28.30	0.28
14	Мио-инозитол конформ.изомер	32.26	1.64
15	Мио-инозитол конформ.изомер-2	33.72	0.12

* – массовая доля дана от суммы всех обнаруженных компонентов.

Таблица 4. Компонентный состав экстракта сока *H. sosnowskyi* в гексане после электрокавитационной обработки (образец «O2»)

№	Название	Время удерживания, мин.	Массовая доля, %*
1	<i>p</i> -третбутиланизол	9.94	0.173
2	Гексадекан	15.57	0.080
3	α -Кадинол	16.22	0.220
4	<i>n</i> -Октадекан	20.84	0.162
5	<i>n</i> -Нодадекан	23.31	0.036
6	Дибутилфталат	23.65	0.391
7	Гексадец-11(<i>Z</i>)-еновая кислота	24.16	0.486
8	Пальмитиновая кислота	24.56	0.114
9	γ -Лактон 4-гидрокси-гексадекановой кислоты	26.94	2.424
10	Диизооктилфталат	36.12	0.078

* – массовая доля от суммы всех обнаруженных компонентов.

Таблица 5. Компонентный состав полярной фракции органических веществ, экстрагированных хлороформом из образца сока *H. sosnowskyi* «O2»

№	Название	Время удерживания, мин.	Массовая доля, %*
1	Бензиловый спирт	3.73	0.49
2	2-фенилэтиловый спирт	5.13	2.39
3	Катехол	7.51	0.62
4	3-фенилпропиловый спирт	7.74	0.22
5	2-изопропил-5-метилфенол	12.57	0.17
6	Гексадекан	15.59	3.99
7	2,5,8- Триметилтетралон	17.36	0.49
8	4-(гидроксиметил)-циклопента(с)пиран-7-кар-боксальдегида ацетат	23.12	0.12
9	<i>Дитрет</i> пентил- <i>p</i> -бензохинон	25.19	13.85
10	Робустовая кислота	27.95	21.88
11	Индол, -2,3-дион-5-изопропенил, 3-оксим	32.82	4.19
12	Гексадекановая кислота	42.51	1.88

* – массовая доля дана от суммы всех обнаруженных компонентов.

Учитывая тот факт, что многие оксикислоты и их натриевые и калиевые соли, особенно янтарная кислота, проявляют свойства стимуляторов прорастания семян и роста растений [21], образцы сока *H. sosnowskyi* после электрокавитационной обработки перспективны для исследований как потенциальный биостимулятор растений в культуре. Кроме того, по литературным данным [15], сок *H. sosnowskyi* при высоком разбавлении в нативном виде может оказывать стимулирующее действие на прорастание семян и рост проростков ряда культурных и лекарственных растений, например гороха, томата, зверобоя продырявленного.

Выводы

Методами газовой хроматографии и хромато-масс-спектрометрии установлено, что в процессе электрокавитационной обработки сока *H. sosnowskyi* происходит деструкция фуранокумаринов, что сопровождается кардинальным изменением компонентного состава сока. В нем доминируют оксикислоты, спирты и низкомолекулярные фенольные соединения. Среди кислот абсолютным доминантом являются 2-гидроксипропионовая и янтарная кислоты. В зависимости от фазы развития растения, в которую собрано было растительное сырье, и условий электрокавитационной обработки сока *H. sosnowskyi*, компонентный состав органических веществ в конечном продукте может сильно варьировать, что подтверждается обнаружением робустовой кислоты второй партии сока *H. sosnowskyi* (электрокавитационная обработка, хранение).

Авторы считают целесообразным выполнение дальнейших исследований образца сока *H. sosnowskyi* после электроразрядной кавитационной обработки в качестве потенциального стимулятора всхожести семян, роста полезных растений и консерванта при заготовке силоса и сенажа.

Список литературы

1. Орлин Н.А. Об извлечении кумаринов из борщевика // Успехи современного естествознания. 2010. №3. С. 13–14.
2. Зориков П.С., Черняк Д.М., Юрлова Л.Ю., Кутовая О.П. Содержание фуранокумаринов в борщевике Сосновского (*Heracleum sosnowskyi*) // Естественные и технические науки. 2012. №6 (62). С. 152–154.

3. Ламан Н.А., Копылова Н.А. Исследование состава и содержания фурокумаринов отдельных органов растений борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi*, Mandem.) // Фенольные соединения: функциональная роль в растениях: сборник научных статей по материалам X Международного симпозиума. М., 2018. С. 238–244.
4. Демина Л.Л., Малкова М.А., Зайцева М.В., Агафонова Е.А. Изучение биохимического состава надземной части борщевика // Общество, наука, инновации (НПК – 2015): сборник материалов Всероссийской ежегодной научно-практической конференции. Киров, 2015. С. 105–106.
5. Юрлова Л.Ю., Черняк Д.М., Кутовая О.П. Фурокумарины *Heracleum sosnowskyi* и *Heracleum moellendorffii* // Тихоокеанский медицинский журнал. 2013. №2(52). С. 91–93.
6. Груздев И.В., Зенкевич И.Г., Кондратенко Б.М. Дериватизация при газохроматографическом определении следов фенолов и анилинов в водных средах (обзор) // Успехи химии. 2015. Т. 84. №6. С. 653–664. DOI: 10.1070/RCR4553.
7. Мишина М.Ю., Ламан Н.А., Прохоров В.Н., Фудзий Ё. Летучие соединения борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Mandem.) и их аллелопатическая активность // Регуляция роста, развития и продуктивности растений: материалы VIII Международной научной конференции. Минск, 2015. С.78.
8. Ткаченко К.Г. Борщевики (род *Heracleum* L.): PRO ET CONTRA // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». 2015. Т. 7. №2. С. 209–219.
9. Ткаченко К.Г., Краснов А.А. Борщевик Сосновского: экологическая проблема или сельскохозяйственная культура будущего? (Обзор) // Бюллетень Ботанического сада-института ДВО РАН. 2018. №20. С. 1–22. DOI: 10.17581/bbgi2002.
10. Мусихин П.В., Сигарев А.А. Исследование физических свойств и химического состава борщевика Сосновского и получение из него волокнистого полуфабриката // Современные наукоемкие технологии. 2006. №3. С. 65–70.
11. Липницкий С.С. Антигельминтные свойства борщевика Сосновского // Конкурентоспособное производство продукции животноводства в Республике Беларусь. Жодино, 1998. С. 276.
12. Якубовский М.В., Липницкий С.С. Лекарственные растения в комплексной этиопатогенетической терапии паразитозов крупного рогатого скота // Эпизоотология, иммунология, фармакология и санитария. 2004. №3. С. 61–70.
13. Доржиев С.С., Патева И.Б. Энергоресурсосберегающая технология получения биоэтанола из зеленой массы растений рода *Heracleum* // Ползуновский вестник. 2011. №2/2. С. 251–255.
14. Мишуров В.П., Волкова Г.А., Портнягина Н.В. Интродукция полезных растений в подзоне средней тайги Республики Коми // Итоги работы Ботанического сада за 50 лет. СПб.: Наука, 1999. Т. 1. С. 17–30.
15. Кондратьев М.Н., Бударин С.Н., Ларикина Ю.С. Физиолого-экологические механизмы инвазивного проникновения борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Mandem.) в неиспользуемые агроэкосистемы // Известия ТСХА. 2015. Вып. 2. С. 36–49.
16. Эбель А.Л., Зыкова Е.Ю., Михайлова С.И., Черногринов П.Н., Эбель Т.В. Расселение и натурализация инвазивного вида *Heracleum sosnowskyi* Mandem. (Ariaceae) в Сибири // Экология и география растений и растительных сообществ: материалы IV Международной научной конференции. Екатеринбург, 2018. С. 1065–1070.
17. Триандафилос А.Ф., Лобанов А.Ю. Применение электродинамической кавитации для повышения эффективности водных растворов минеральных удобрений // Вестн. Ин-та биологии Коми НЦ УрО РАН. 2018. №2 (204). С. 20–23.
18. Промтов М.А. Перспективы применения кавитационных технологий для интенсификации химико-технологических процессов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. 2008. Т. 14. №4. С. 861–869.
19. Кудимов Ю.Н., Казуб В.Т., Голов Е.В. Электроразрядные процессы в жидкости и кинетика экстрагирования биологически активных компонентов. Часть 1. Ударные волны и кавитация // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. 2002. Т. 8, №2. С. 253–264.
20. Jonson A.P., Pelter A., Barber M. The Structure of Robustic acid // Tetrahedron Letters. 1964. N20. Pp. 1267–1274.
21. Ястреб Т.О., Колупаев Ю.Е., Синькевич М.С., Швиденко Н.В., Обозный А.И. Регуляторы роста растений в Краснодарском крае: монография. Повышение теплоустойчивости проростков пшеницы действием экзогенных ароматических и янтарной кислот: связь эффектов с генерацией активных форм кислорода // Вісн. Харків. нац. аграрн. ун-ту. Серія Біологія. 2010. Вып. 3 (21). С. 44–53.

Поступила в редакцию 4 июля 2018 г.

После переработки 31 января 2019 г.

Принята к публикации 18 февраля 2019 г.

Для цитирования: Пунегов В.В., Груздев И.В., Триандафилос А.Ф. Анализ состава липофильных веществ в соке *Heracleum Sosnowskyi* до и после электроразрядной кавитационной обработки // Химия растительного сырья. 2019. №3. С. 61–68. DOI: 10.14258/jcrpm.2019034253.

Punegov V.V.^{1*}, Gruzdev I.V.¹, Triandafilov A.F.². ANALYSIS OF THE COMPOSITION OF LIPOPHILIC SUBSTANCES IN *HERACLEUM SOSNOWSKYI* JUICE BEFORE AND AFTER ELECTRIC DISCHARGE CAVITATION TREATMENT

¹ Institute of Biology, Komi Science Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Kommunisticheskaya, 28, Syktyvkar, 167982 (Russia), e-mail: punegov@ib.komisc.ru

² Institute of Agriculture, Komi Science Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Rucheynaya, 27, Syktyvkar, 167920 (Russia)

The results of the study of extracts from the entire aerial part of the Sosnovsky Hogweed (*Heracleum sosnowskyi*, collected in the flowering phase, before and after the electric-discharge cavitation treatment using gas chromatography and chromatography-mass spectrometry) are presented. Both aromatic and non-aromatic structure not characteristic of the native juice *H. sosnowskyi*. In the native juice of the plant identified from furanocoumarins: metaxalene, isopimpinellin and angelicin. When electrically discharge cavitating the sap of a plant, these furanocoumarins are completely destroyed. 3 benzyl alcohol. Among the organic acids in the juice of *H. sosnowskyi* after the electric discharge cavitation effect, 2-hydroxy-propionic and succinic acids are the absolute dominant. Depending on the phase of plant development, in which plant materials were harvested and the processing conditions of *H. sosnowskyi* juice, the component composition of organic substances in the final product can vary greatly, which is confirmed by the detection of robust acid in the second batch of *H. sosnowskyi* juice. Given the high content of succinic acid in the juice of *H. sosnowskyi*, subjected to cavitation effects, the authors consider it expedient to investigate in the future the growth-promoting properties of the obtained product when growing agricultural crops.

Keywords: *Heracleum sosnowskyi*, furanocoumarins, extraction, electric discharge cavitation treatment, chromatography-mass spectrometry, angelicin, metaxalen, isopimpineline, robusta acid.

References

- Orlin N.A. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya*, 2010, no. 3, pp. 13–14. (in Russ.).
- Zorikov P.S., Chernyak D.M., Yurlova L.Yu., Kutovaya O.P. *Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki*, 2012, no. 6 (62), pp. 152–154. (in Russ.).
- Laman N.A., Kopylova N.A. *Fenol'nyye soyedineniya: funktsional'naya rol' v rasteniyakh: sbornik nauchnykh statey po materialam X Mezhdunarodnogo simpoziuma*. [Phenolic compounds: a functional role in plants: a collection of scientific articles based on the materials of the X International Symposium.]. Moscow, 2018, pp. 238–244. (in Russ.).
- Demina L.L., Malkova M.A., Zaytseva M.V., Agafonova Ye.A. *Obshchestvo, nauka, innovatsii (NPK – 2015): sbornik materialov vsereossiyskoy yezhegodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. [Society, Science, Innovation (SPC – 2015): a collection of materials of the All-Russian annual scientific and practical conference]. Kirov, 2015, pp. 105–106. (in Russ.).
- Yurlova L.Yu., Chernyak D.M., Kutovaya O.P. *Tikhookeanskiy meditsinskiy zhurnal*, 2013, no. 2(52), pp. 91–93. (in Russ.).
- Gruzdev I.V., Zenkevich I.G., Kondratenok B.M. *Uspekhi khimii*, 2015, vol. 84, no. 6, pp. 653–664. DOI: 10.1070/RCR4553. (in Russ.).
- Mishina M.Yu., Laman N.A., Prokhorov V.N., Fudziy O. *Regulyatsiya rosta, razvitiya i produktivnosti rasteniy: materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii*. [Regulation of plant growth, development and productivity: proceedings of the VIII International Scientific Conference]. Minsk, 2015, p.78. (in Russ.).
- Tkachenko K.G. *Mezhdistsiplinarnyy nauchnyy i prikladnoy zhurnal «Biosfera»*, 2015, vol. 7, no. 2, pp. 209–219. (in Russ.).
- Tkachenko K.G., Krasnov A.A. *Byulleten' Botanicheskogo sada-instituta DVO RAN*, 2018, no. 20, pp. 1–22. DOI: 10.17581/bbgi2002. (in Russ.).
- Musikhin P.V., Sigarev A.A. *Sovremennyye naukoemkiye tekhnologii*, 2006, no. 3, pp. 65–70. (in Russ.).
- Lipnitskiy S.S. *Konkurentosposobnoye proizvodstvo produktov zhivotnovodstva v Respublike Belarus'*. [Competitive livestock production in the Republic of Belarus]. Zhodino, 1998, p. 276. (in Russ.).
- Yakubovskiy M.V., Lipnitskiy S.S. *Epizootologiya, immunobiologiya, farmakologiya i sanitariya*, 2004, no. 3, pp. 61–70. (in Russ.).
- Dorzhiyev S.S., Pateyeva I.B. *Polzunovskiy vestnik*, 2011, no. 2/2, pp. 251–255. (in Russ.).
- Mishurov V.P., Volkova G.A., Portnyagina N.V. *Itogi raboty Botanicheskogo sada za 50 let*. [The results of the work of the Botanical Garden for 50 years.]. St. Petersburg, 1999, vol. 1, pp. 17–30. (in Russ.).
- Kondrat'yev M.N., Budarin S.N., Larikova Yu.S. *Izvestiya TSKHA*, 2015, no. 2, pp. 36–49. (in Russ.).
- Ebel' A. L., Zykova Ye.Yu., Mikhaylova S.I., Chernogrivov P.N., Ebel' T.V. *Ekologiya i geografiya rasteniy i rastitel'nykh soobshchestv: materialy IV Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii*. [Ecology and geography of plants and plant communities: proceedings of the IV International Scientific Conference]. Yekaterinburg, 2018, pp. 1065–1070. (in Russ.).
- Triandafilov A.F., Lobanov A.YU. *Vestn. In-ta biologii Komi NTS UrO RAN*, 2018, no. 2 (204), pp. 20–23. (in Russ.).
- Promptov M.A. *Vestn. Tamb. hos. tekhn. un-ta*, 2008, vol. 14, no. 4, pp. 861–869. (in Russ.).
- Kudimov Yu.N., Kazub V.T., Golov Ye.V. *Vestn. Tamb. hos. tekhn. un-ta*, 2002, vol. 8, no. 2, pp. 253–264. (in Russ.).
- Jonson A.P., Pelter A., Barber M. *Tetrahedron Letters*, 1964, no. 20, pp.1267–1274.

* Corresponding author.

21. Yastreb T.O., Kolupayev Yu.Ye., Sin'kevich M.S., Shvidenko N.V., Oboznyy A.I. *Visn. Kharkiv. nats. ahrar. un-tu. Seriya Biolohiya*, 2010, no. 3 (21), pp. 44–53. (in Russ.).

Received July 4, 2018

Revised January 31, 2019

Accepted February 18, 2019

For citing: Punegov V.V., Gruzdev I.V., Triandafilov A.F. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2019, no. 3, pp. 61–68. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2019034253.