

УДК 543.4

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ФУРАНОКУМАРИНОВ НА УНИВЕРСАЛЬНОМ МОНОХРОМАТОРЕ УМ-2

Филатов Алексей Витальевич

Инженер, федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный технический университет» Россия, Ярославль.
e-mail: filatovav@ystu.ru

Курацапова Ксения Александровна

Студент, федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный университет», Россия, Ярославль.
e-mail: kuratsapova04@gmail.com

Солнцева Александра Евгеньевна

Студент, Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный университет» Россия, Ярославль.
e-mail: solntsevasash@icloud.com

Шакирова Флюра Тагатьевна

старший преподаватель, федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный технический университет» Россия, Ярославль.
e-mail: shakirovaft@ystu.ru

Павлов Александр Владиславович

Доцент, кандидат технических наук, федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный технический университет», Россия, Ярославль.
e-mail: pavlovav@ystu.ru

Аннотация

Многочисленные исследования показали, что борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi Manden*) может являться неиссякаемым источником фуранокумаринов для нужд фармации. Этот интрадуцент с фототоксическими свойствами перспективен в качестве лекарственного растительного сырья, пригодного для производства фотосенсибилизаторов для лечения кожных заболеваний ультрафиолетовым светом. Промышленное производство лекарственного растительного сырья позволит ограничить в перспективе площади распространения борщевика Сосновского в нашей стране. В работе показано, что идентификация фуранокумаринов (бергаптенон и ксантоксина) с использованием универсального монохроматора УМ-2 с использованием ртутной лампы ДРШ-250 в видимом диапазоне ультрафиолетового излучения в проходящем свете не возможна. Тем не менее, используя результаты спектральных измерений, можно

определить в источнике фуранокумаринов присутствие хлорофилла β и терпенов, дать оценку качества источника фуранокумаринов.

Ключевые слова: борщевик Сосновского, фуранокумарины, универсальный монохроматор УМ-2, примеси в фуранокумарилах.

EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF IDENTIFYING FURANOCOUMARINS ON THE UNIVERSAL MONOCHROMATOR UM-2

Alexey V. Filatov

Engineer, Federal State Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Technical University" Russia, Yaroslavl.

e-mail: filatovav@ystu.ru

Ksenia A. Kuratsapova

Student, Federal State Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State University", Yaroslavl, Russia.

e-mail: kuratsapova04@gmail.com

Alexandra E. Solntseva

Student, Federal State Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State University" Russia, Yaroslavl.

e-mail: solntsevasash@icloud.com

Flura T. Shakirova

Senior Lecturer, Federal State Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Technical University" Russia, Yaroslavl.

e-mail: shakirovaft@ystu.ru

Alexander V. Pavlov

Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Federal State Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Technical University", Yaroslavl, Russia.

e-mail: pavlovav@ystu.ru

ABSTRACT

Numerous studies have shown that Sosnowski's hogweed (*Heraculum sosnowsky* Manden) can be an inexhaustible source of furanocoumarins for the needs of pharmacy. This intraducent with phototoxic properties is promising as a medicinal plant raw material suitable for the production of photosensitizers for the treatment of skin diseases with ultraviolet light. The industrial production of medicinal plant raw materials will make it possible to limit the area of distribution of Sosnovsky hogweed in our country in the future. The work shows that the identification of furanocoumarins (bergaptenes and xanthoxins) using a universal monochromator UM-2 using a mercury lamp DRSh-250 in the visible range of ultraviolet radiation in transmitted light is not possible. Nevertheless, using the results of spectral measurements, it is possible to

determine the presence of chlorophyll β and terpenes in the source of furanocoumarins, and to assess the quality of the source of furanocoumarins.

Keywords: Sosnovsky's hogweed, furanocoumarins, universal monochromator UM-2, impurities in furanocoumarins.

Введение

В большинстве регионов земли признано, что все гигантские борщевики, в том числе борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden), считаются опасными фитоинвазиями, и требуют повсеместного истребления.

В нашей стране борщевик Сосновского признан как вредный специальный интродуцент с фототоксическими свойствами [1].

Однако это растение может служить неиссякаемым источником биологически активных веществ – фуранокумаринов, обладающих фото-сенсibiliзирующими свойствами. Другим источником сырья для промышленного производства фуранокумаринов считаются плоды Амми большой (*Ammi majus* L.), в которых содержится около 2% фуранокумаринов с ярко выраженным фотосенсibiliзирующим эффектом [2]. Но Амми большая уступает борщевiku Сосновского по массовому содержанию фуранокумаринов, и она в диком виде встречается только в условиях теплого климата, поэтому в других регионах она требует культивирования.

Известно, что фуранокумарины линейной формы молекул (производные псоралена) имеют высшую степень токсичности по сравнению с угловатой формой молекул (производные ангелицина). Доказано, что линейные фуранокумарины псораленового типа, такие как ксантоксин и бергаптен, проявляют более сильные фотосенсibiliзирующие эффекты из всего перечня растительных фуранокумаринов [3], и именно они являются источником лекарственного растительного сырья, пригодного для производства фотосенсibiliзаторов для лечения кожных заболеваний ультрафиолетовым светом.

В соке борщевика Сосновского, отобранного из стеблей в период цветения, преобладают бергаптены и ксантоксины. Применяя способы регулирования соотношения бергаптенов и ксантоксинов в соке этого растения, можно получать доступное сырье для фармацевтической промышленности с приоритетным содержанием того или иного фуранокумарина. [4].

Существующие способы определения фуранокумаринов осуществляются с использованием колоночной и тонкослойной хроматографии [5]. Для идентификации кумаринов и фуранокумаринов применяется метод газовой хромато-масс-спектрометрии [6]. Известен анализ бергаптенов и ксантоксинов с использованием высокоэффективного жидкостного хроматографического анализа [7,8]. Все вышеперечисленные методы требуют специальной препаративной подготовки исходного сырья и использования специальных дорогостоящих приборов и оборудования для разделения изучаемых веществ.

Цель исследования

В данной работе рассмотрена возможность идентификации бергаптенов и ксантоксинов с использованием универсального монохроматора УМ-2 в видимом диапазоне ультрафиолетового излучения в проходящем свете.

Материалы и методы исследования

В рамках проведения межкафедрального сотрудничества институтов ЯГТУ (специалистов с кафедры физики и студентов института химии и химической технологии),

были произведены исследования по возможности идентификации фуранокумаринов с использованием универсального монохроматора УМ-2 в видимом диапазоне ультрафиолетового излучения в проходящем свете (рис.1).



Рисунок 1 - Специалисты кафедры физики и студенты института химии и химической технологии исследуют возможность идентификации фуранокумаринов.

© Курацанова К.А., Солнцева А.Е., 2024

Спектральные приборы, к которым относится универсальный монохроматор УМ-2, предназначены для проведения исследований излучения (поглощения) электромагнитных волн атомами или молекулами. Они позволяют разложить исследуемое излучение в спектр и наблюдать положение отдельных его участков или спектральных линий. Кроме того, эти приборы снабжены дополнительными устройствами, которые дают возможность измерить интенсивность того или иного участка спектра, той или иной спектральной линии. Для изучения спектральной зависимости была создана экспериментальная установка, состоящая из источника света – лампы накаливания, конденсора, универсального монохроматора УМ-2, состоящего из линзы, призмы сравнения, выходной щели переменной ширины, объектива коллиматора, диспергирующей призмы Аббе со связанным с ней барабаном длин волн, объектива зрительной трубы и выходной щели переменной ширины.

Свет от источника конденсором через линзу направляется на входную щель монохроматора, находящуюся в фокусе объектива коллиматора, после которого свет проходит через призму Аббе и разлагается в спектр. Объектив зрительной трубы строит изображение входной щели конфокально с выходной щелью монохроматора.

Градуировка УМ-2 позволяет сопоставить значение длины волны λ монохроматического света на выходе монохроматора с углом ϕ поворота барабана длин

волн. Градуировка выполнялась по стандартной методике с использованием ртутной лампы ДРШ-250 [9].

В таблице 1 представлены спектры паров ртути в видимой области спектра при градуировке УМ-2.

Таблица 1. Спектры паров ртути в видимой области спектра при градуировке УМ-2

№	Цвет и положение линий	Длина волны, λ нм	Угол поворота барабана, φ град	Относительная яркость
1	Красные близко расположенные	690,7	2912	средняя
2		-	2859	слабая
3	Красные близко расположенные	623,4	2672	средняя
4		612,3	2634	слабая
5		607,3	2612	слабая
6	Желтая	579,1	2476	яркая
7		577,0	2468	яркая
8	Зеленая	546,2	2288	яркая
9	Голубая	491,6	1866	слабая
10	Сине-фиолетовая	435,8	1200	яркая
11	Фиолетовая	410,8	706	очень слабая
12		407,8	701	слабая
13		404,7	646	средняя

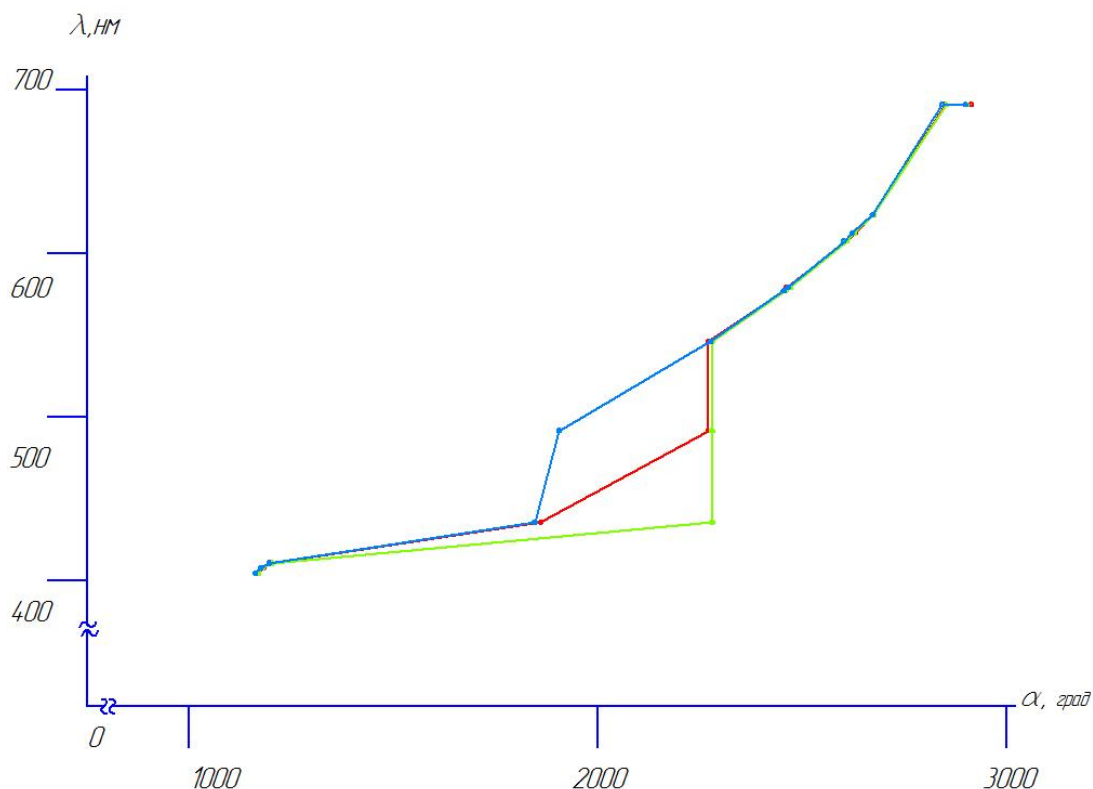
Известно, что высокой чувствительности к ультрафиолетовым лучам обладают ксантотоксины и бергаптены, содержание которых в соке борщевика Сосновского может достигать 82% от общего количества фуранокумаринов [4].

В качестве объектов исследования были выбраны пленки, образовавшиеся за счет испарения хлороформа с ксантотоксинами и бергаптенами и растворимых в хлороформе компонентов хлорофилла α и терпенов.

Результаты и их обсуждение

По данным спектрофотометрии и тонкослойной хроматографии [10] большинство производных псоралена имеют сильные полосы поглощения в диапазоне 200-350 нм, кроме фуранокумаринов в соке борщевика Сосновского присутствуют метоксикумарины и гидроксикумарины, которые характерны для зонтичных растений, эти кумарины имеют синюю или сине-фиолетовую флуоресценцию при воздействии ультрафиолетового излучения.

В видимом диапазоне ультрафиолетового излучения в проходящем свете (рис.2) можно выделить области спектра, приходящиеся на синюю или сине-фиолетовую области спектра паров ртути. В этой области спектра длины волны λ от 404 до 435 нм можно идентифицировать присутствие компонентов хлорофилла β и терпенов, которые являются примесями источников лекарственного растительного сырья на основе ксантотоксинов и бергаптенов.



зеленая – обработка сока 6% яблочным уксусом
 красная – градуировка прибора
 синяя – исходный сок

Рисунок 2 – Результаты спектральных измерений источников лекарственного растительного сырья на основе ксантоксинов и бергаптеннов

Предварительная обработка сока борщевика Сосновского 6% яблочным уксусом (зеленая линия) приводит к росту ксантоксинов и разрушению хлорофилла β , то есть к частичному обесцвечиванию сока. Из рисунка 2 следует, что в исходном соке борщевика Сосновского в результате спектральных измерений наблюдается максимум (синяя линия) в диапазоне от 460 до 480 нм, характеризующий присутствие компонентов хлорофилла β и терпенов.

Выводы

Таким образом, результаты исследования показали, что идентификация фуранокумаринов (бергаптеннов и ксантоксинов) с использованием универсального монохроматора УМ-2 с использованием ртутной лампы ДРШ-250 в видимом диапазоне ультрафиолетового излучения в проходящем свете не возможна. Тем не менее, используя результаты спектральных измерений, можно определить в источнике фуранокумаринов присутствие хлорофилла β и терпенов, дать оценку качества источника фуранокумаринов.

Список литературы:

1. Куценко В.П., Ковалева Д.Д., Миронова Н.Р., Леденцова С.С., Безвуляк Е.И., Селиверстов П.В. Борщевик Сосновского и фотохимический дерматит. Медицинская сестра. 2022; Т.24, №3, С. 19-22. DOI: [https:// doi. org/10.29296/25879979-2022-03-03](https://doi.org/10.29296/25879979-2022-03-03) [Kucenko V.P., Kovaleva D.D., Mironova N.R., Ledencova S.S., Bezvulyak E.I., Seliverstov P.V. Sosnovsky's hogweed and photochemical dermatitis. Medicinskaya sestra. 2022; 24 (3): 19-22. DOI: [https:// doi. org/10.29296/25879979-2022-03-03](https://doi.org/10.29296/25879979-2022-03-03) (in Russian)]

2. Bartnik, M., Mazurek, A.K., Isolation of methoxyfuranocoumarins from *Ammi majus* by centrifugal partition chromatography. *J. Chromatogr. Sci.* 2016; 54 (1): 10–6. DOI: 10.1093/chromsci/bmv098.
3. Bruni R., Barreca D., Protti M. et al., Botanical Sources, Chemistry, Analysis, and Biological Activity of Furanocoumarins of Pharmaceutical Interest. *Molecules.* 2019; 24 (11): 2163. DOI: 10.3390/molecules24112163
4. Павлов А.В. Окислительный стресс борщевика Сосновского как средство локального ограничения его распространения. / Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. Пермь, №4, 2023, с.62 – 75. DOI: 10.15593/2224-9400/2023.4.05
5. Dehghan H., Sarrafi Y., Salehi P. et al., α -Glucosidase inhibitory and antioxidant activity of furanocoumarins from *Heracleum persicum*. *Med. Chem. Res.* 2017; 26: 849–55. DOI: 10.1007/s00044-017-1796-y.
6. Щипицына, О. С. Определение кумаринов и фурукумаринов в различных вегетативных органах *Angelica decurrens* (Ledeb.) Fedtsch. методом газовой хромато-масс-спектрометрии. //О.С. Щипицына, А.А. Ефремов, А.Н. Нарчуганов. Сорбционные и хроматографические процессы, 2013, Т.13, Вып. 6, с. 928-938).
7. Vandermolen K.M., Cech N.B., Paine M.F. et al., Rapid quantitation of furanocoumarins and flavonoids in grapefruit juice using ultra-performance liquid chromatography. *Phytochem. Anal.* 2013; 24: 654–60. DOI: 10.1002/pca.2449.
8. Павлов, А. В. Ацетирование борщевика Сосновского как локальное средство борьбы с его распространением. // А. В. Павлов, В. В. Мартазова, С. А. Ивановский. От химии к технологии. Шаг за шагом. Т.3, вып. 4, 2023, С. 51 – 59 URL: <http://chemintech.ru/index.php/tor/issue/view/2023-4-3>
9. Пальчикова, И.Г. Цветовосприятие цифровых камер // И.Г. Пальчикова, Е.С. Смирнов. Интерэкспо Гео-Сибирь. 2019, Том.4, №1, с.19-27. DOI: 10.33764/2618-981X-2019-4-1-19-27.
10. В.П. Агеев, В.И. Шляпкина, О.А. Куликов, А.В. Заборовский, Л.А. Тарарина. Качественный и количественный анализ основных производных псоралена сока борщевика Сосновского/ Фармация, 2022, т.71, №3, с.10-17 <https://doi.org/10./29296/25419218-2022-03-02>

References:

1. Kutsenko V.P., Kovaleva D.D., Mironova N.R., Ledentsova S.S., Bezvulyak E.I., Seliverstov P.V. Sosnovsky's borscht and photochemical dermatitis. *A nurse.* 2022; vol. 24, No. 3, pp. 19-22. DOI: <https://doi.org/10.29296/25879979-2022-03-03>.
2. Bartnik, M., Mazurek, A.K., Isolation of methoxyfuranocoumarins from *Ammi majus* by centrifugal partition chromatography. *J. Chromatogr. Sci.* 2016; 54 (1): 10–6. DOI: 10.1093/chromsci/bmv098.
3. Bruni R., Barreca D., Protti M. et al., Botanical Sources, Chemistry, Analysis, and Biological Activity of Furanocoumarins of Pharmaceutical Interest. *Molecules.* 2019; 24 (11): 2163. DOI: 10.3390/molecules24112163.

4. Pavlov A.V. Oxidative stress of Sosnovsky hogweed as a means of local limitation of its spread. / Bulletin of PNRPU. Chemical technology and biotechnology. Perm, No.4, 2023, pp.62-75. DOI: 10.15593/2224-9400/2023.4.05.
5. Dehghan H., Sarrafi Y., Salehi P. et al., α -Glucosidase inhibitory and antioxidant activity of furanocoumarins from *Heracleum persicum*. Med. Chem. Res. 2017; 26: 849–55. DOI: 10.1007/s00044-017-1796-y.
6. Shchipitsyna, O. S. Determination of coumarins and furocoumarins in various vegetative organs of *Angelica decurrens* (Ledeb.) Fedtsch. by the method of gas chromatography-mass spectrometry. //O.S. Shchipitsyna, A.A. Efremov, A.N. Narchuganov. Sorption and chromatographic processes, 2013, vol. 13, Issue 6, pp. 928-938).
7. Vandermolen K.M., Cech N.B., Paine M.F. et al., Rapid quantitation of furanocoumarins and flavonoids in grapefruit juice using ultra-performance liquid chromatography. Phytochem. Anal. 2013; 24: 654–60. DOI: 10.1002/pca.2449.
8. Pavlov, A.V. Acetation of Sosnovsky hogweed as a local means of combating its spread. // A.V. Pavlov, V. V. Martazova, S. A. Ivanovsky. From chemistry to technology. Step by step. Vol.3, issue 4, 2023, pp. 51-59 URL: <http://chemintech.ru/index.php/tor/issue/view/2023-4-3>.
9. Palchikova, I.G. Color perception of digital cameras // I.G. Palchikova, E.S. Smirnov. Interexpo Geo-Siberia. 2019, Vol.4, No.1, pp.19-27. DOI: 10.33764/2618-981X-2019-4-1-19-27.
10. V.P. Ageev, V.I. Shlyapkina, O.A. Kulikov, A.V. Zaborovsky, L.A. Tararina. Qualitative and quantitative analysis of the main psoralen derivatives of Sosnovsky borscht juice/ Pharmacy, 2022, vol.71, No. 3, pp.10-17 <https://doi.org/10./29296/25419218-2022-03-02>