

УДК 543.061

**БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ МХА *POLYTRICHUM COMMUNE*:
ЭКСТРАКЦИОННОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ И СВОЙСТВА**

Н.А. Будаев, А.В. Фалёва, Н.В. Ульяновский, Д.И. Фалёв, А.А. Онучина, Д.С. Косяков
Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова
г. Архангельск, Россия

В данной работе проведена оптимизация экстрактивного выделения биологически активных компонентов мха *Polytrichum commune* методом жидкостной экстракции под давлением методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с использованием ультрафиолетового-спектрофотометрического детектора.

Ключевые слова: бриофиты, полифенолы, масс-спектрометрия, антиоксидантная активность.

**BIOLOGICALLY ACTIVE COMPONENTS OF MOSS *POLYTRICHUM COMMUNE*:
EXTRACTION AND PROPERTIES**

N.A. Budaev, A.V. Faleva, N.V. Ulyanovskii, D.I. Falev, A.A. Onuchina, D.S. Kosyakov.
Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

In this study, we optimized the extractive isolation of biologically active compounds from the moss *Polytrichum commune* through pressurized liquid extraction, and we analyzed the polyphenol content using high-performance liquid chromatography with UV spectrophotometric detection.

Keywords: bryophytes, polyphenols, mass-spectrometry, antioxidant activity.

Введение. Моховидные — это разнообразная группа растений, включающая около 14 000 видов *Bryophyta*, 6000 видов *Marchantiophyta* и 300 видов *Anthocerotophyta*. Они обитают практически во всех экосистемах и выполняют важные экологические функции [1]. Несмотря на отсутствие развитых физических защитных структур, моховидные редко потребляются животными и атакуются патогенами. Они выработали способность синтезировать широкий спектр вторичных метаболитов с различными функциями, включая фитотоксичность, антибактериальную и противогрибковую активность, а также защиту от насекомых. Эти метаболиты также помогают моховидным справляться с такими видами стресса как ультрафиолетовое излучение, засуха и заморозки. Сегодня продолжаются исследования описанного класса соединений и открываются новые соединения в моховидных, которые могут иметь практическое применение, особенно в условиях растущей устойчивости болезней к лекарственным средствам [2, 3].

Одним из самых распространенных мхов в умеренных и бореальных широтах Северного полушария является вид *Polytrichum commune*, принадлежащий к семейству *Polytrichaceae* и известный как Кукушкин лен. Это растение на протяжении долгого времени применялось в традиционной медицине в качестве противовоспалительного средства, а также для лечения пневмонии и туберкулеза легких [4].

Целью работы являлось эффективное выделение биологически активных компонентов мха *Polytrichum commune* методом жидкостной экстракции под давлением.

Материал и методика исследований. Растительное сырье было собрано в пределах Архангельской области, высушено при комнатной температуре и измельчено в ультрацентрифужной мельнице до размера частиц 1 мм.

Жидкостная экстракция под давлением для извлечения полифенольных соединений была выбрана вследствие возможности работы в широком диапазоне температур и использования любых комбинаций растворителей.

Большую важность имеет оптимизация метода, то есть, нахождения таких условий процесса, которые бы приводили к наиболее высокому содержанию ценных компонентов. Оптимизация жидкостной экстракции под давлением состояла из серии экспериментов длительностью 45 мин, при следующих температурах – 75, 100, 125 и 150°C –, а также с использованием 3 типов экстрагентов – неполярный растворитель гексан, апротонный растворитель ацетон и метанол, как растворитель, способный извлекать широкий круг соединений.

Анализ полученных экстрактов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии был проведен на ВЭЖХ системе, состоящей из хроматографа LC-30 Nexera (Shimadzu, Япония) с насосом LC-30AD и системой градиента низкого давления, вакуумного дегазатора DGU-20A5R, автосамплера SIL-30AC, колоночного термостата CTO-20A и диодно-матричного детектора SPD-M20A.

Хроматографическое разделение было проведено на колонке ZORBAX Eclipse Plus C18 (Agilent, США), 3.0 × 150 мм с силикатным сорбентом размер частиц которого составляет 3.5 мкм. Подвижная фаза состояла из двух растворителей – вода (А) и ацетонитрил (Б), содержащий 0.1% муравьиной кислоты. Скорость потока – 0.5 мл/мин. Программа градиента: 0-2 мин 70% А, 2-30 мин 30% А, 30-31 мин 100% Б, 32-33 мин 30% Б, 33-37 мин 100% А. Температура колонки составляла 40°C, объем ввода – 2 мкл. Спектрофотометрическое детектирование было проведено в диапазоне длин волн от 220 до 660 нм.

Полученные результаты и их обсуждение.

По итогу работы можно сделать следующие выводы – выходы экстрактов в оптимальных условиях, отображенные в табл. 1, разнятся незначительно, но отличаются по компонентному составу – гексан выделяет липофильные соединения и, таким образом показал худшие результаты, ацетон и метанол извлекают преимущественно полифенольные соединения, но метанол оказался наиболее эффективным растворителем при температуре 100 °С.

Таблица 1.

Выходы экстрактов в оптимальных условиях

<i>Растворитель</i>	<i>Выход, % от массы сухого мха</i>
Гексан	1.34
Ацетон	1.97
Метанол	2.11

На рис. 1 изображена хроматограмма экстракта мха *Polytrichum commune* в оптимальных условиях. На хроматограмме указаны времена удерживания ранее идентифицированных биологически активных соединений, указанных в табл. 2 [5, 6, 7].

Таблица 2.

Основные соединения и их времена удерживания

<i>Название соединения</i>	<i>Время удерживания, мин</i>	<i>Формула соединения</i>
Polycommunin A	7.65	$C_{46}H_{34}O_{16}$
3-hydroxyphloretin dimer	9.1	$C_{30}H_{26}O_{12}$

3-hydroxyphloretin trimer	9.91	$C_{45}H_{38}O_{18}$
3-hydroxyphloretin tetramer	11.5	$C_{60}H_{50}O_{24}$
3-hydroxyphloretin pentamer	12.5	$C_{75}H_{50}O_{30}$
Communis A	25.01	$C_{23}H_{18}O_3$

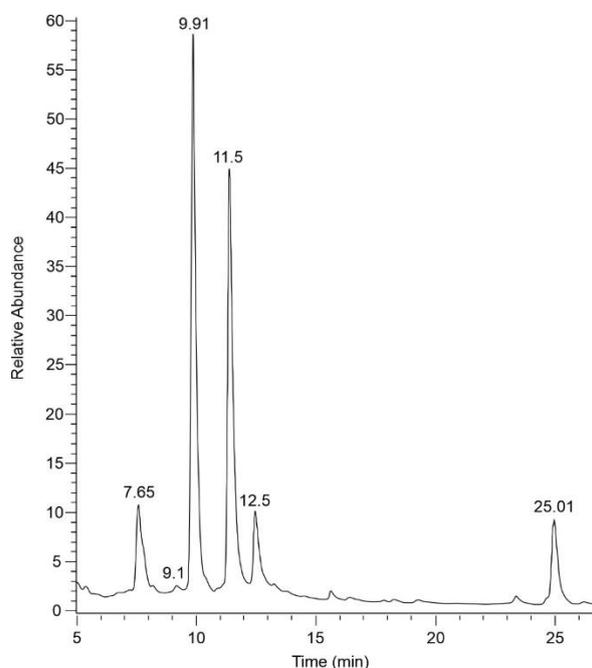


Рис. 1. Хроматограмма метанольного экстракта в оптимальных условиях экстракции (идентификация пиков по временам удерживания дана согласно табл. 2).

По полученным графикам зависимости выхода соединений от температуры можно отметить, что 100°C является оптимальной температурой экстракции, при которой наблюдаются максимумы выходов ценных химических компонентов.

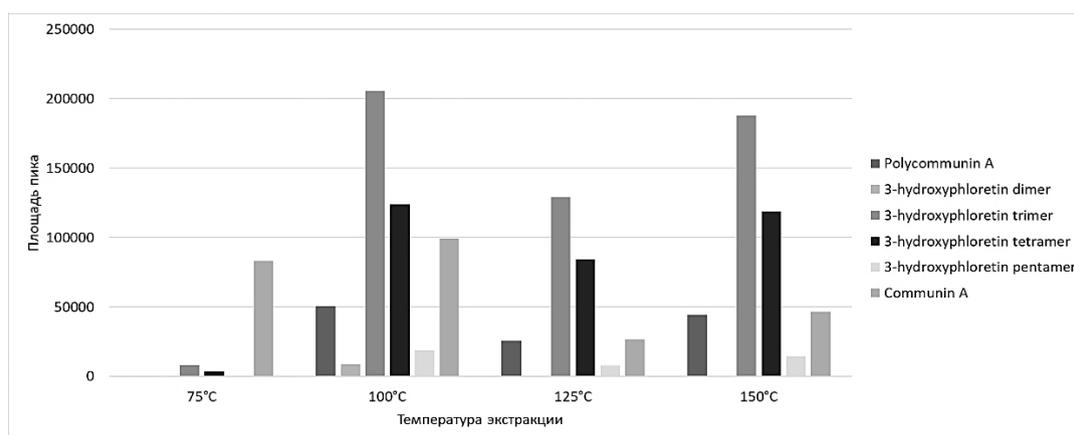


Рис. 2. Экстракция ацетоном – график зависимости площади пиков от температуры

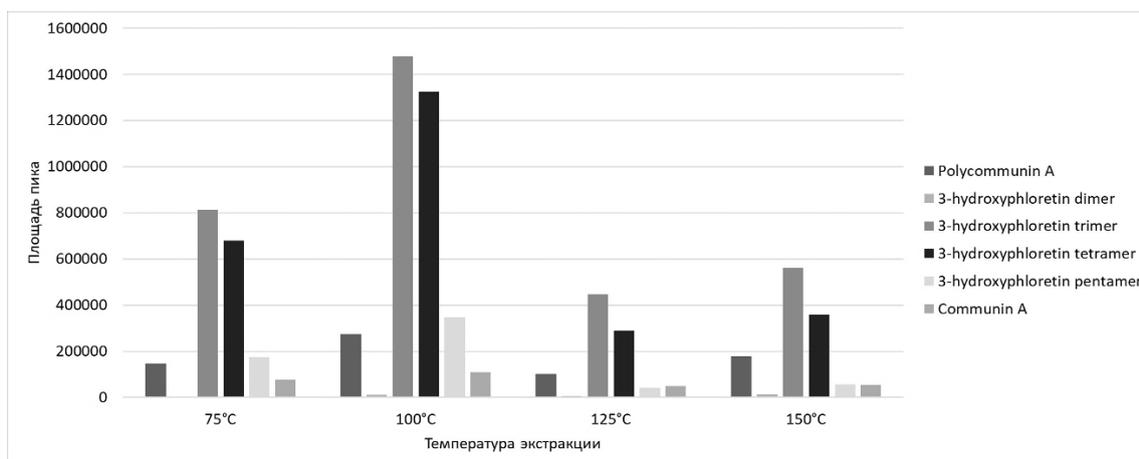


Рис. 3. Экстракция метанолом – график зависимости площади пиков от температуры

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства экономического развития, промышленности и науки Архангельской области, соглашение №6 от 23.04.2024 г.

Библиографический список

1. Asakawa, Y.; Ludwiczuk, A.; Nagashima, F. Chemical Constituents of Bryophyta. In Progress in the Chemistry of Organic Natural Products; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2012; pp. 563–605.
2. Chandra, S.; Chandra, D.; Barh, A.; Pankaj Pandey, R.K.; Sharma, I.P. Bryophytes: Hoard of remedies, an ethno-medicinal review. *J. Tradit. Complement. Med.* 2017, 7, 94–98.
3. Tuba Z, Slack NG, Stark LR, eds. *Bryophyte Ecology and Climate Change*. Cambridge University Press; 2011.
4. Guo, Z.-F.; Bi, G.-M.; Zhang, Y.-H.; Li, J.-H.; Meng, D.-L. Rare benzonaphthoxanthenones from Chinese folk herbal medicine *Polytrichum commune* and their anti-neuroinflammatory activities in vitro. *Bioorganic Chem.* 2020, 102, 104087.
5. Fu, P.; Lin, S.; Shan, L.; Lu, M.; Shen, Y.-H.; Tang, J.; Liu, R.-H.; Zhang, X.; Zhu, R.-L.; Zhang, W.-D. Constituents of the moss *Polytrichum commune*. *J. Nat. Prod.* 2009, 72, 1335–1337.
6. Faleva, A.V.; Ul'yanovskii, N.V.; Falev, D.I.; Onuchina, A.A.; Budaev, N.A.; Kosyakov, D.S. New Oligomeric Dihydrochalcones in the Moss *Polytrichum commune*: Identification, Isolation, and Antioxidant Activity. *Metabolites* 2022, 12, 974.
7. Faleva, A. V., Ulyanovskii, N. V., Budaev, N. A., Falev, D. I., Onuchina, A. A., Belesov, A. V., & Kosyakov, D. S. (2024). Polycommunin A, a dihydrocinnamoyl bibenzyl isolated from the moss *Polytrichum commune*, and its antioxidant activity. *Natural Product Research*, 1–7.