УДК 615.322:582.284:543.544.5 DOI: https://doi.org/10.52540/2074-9457.2026.2.39

Г. И. Горбацевич, Н. С. Гурина

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ РАСТВОРИТЕЛЯ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЭКСТРАКТОВ *FOMES FOMENTARIUS* (L.) FR.

Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск, Республика Беларусь

Трутовик настоящий Fomes fomentarius (L.) Fr. является перспективным источником биологически активных веществ грибного происхождения, включая фенольные соединения, полисахариды, стероиды, тритерпеноиды, производные бензотрополона и липиды. Целью исследования являлось изучение влияния природы растворителя на химический профиль экстрактов F. fomentarius. Объектом исследования служили плодовые тела F. fomentarius, заготовленные в Минской области Республики Беларусь. Экстракты получали методом мацерации с использованием гексана, хлороформа, этилацетата, этанола различной концентрации и воды. Определяли выход экстрактивных веществ, сумму водорастворимых полисахаридов, фенольных соединений, стероидных и тритерпеновых соединений. Компонентный состав изучали методом ВЭЖХ-МС/МС в режиме отрицательной ионизации.

Установлено, что природа растворителя существенно влияет на выход экстрактивных веществ и соотношение основных групп БАВ. Наибольший общий выход обеспечивали экстракты, полученные с использованием этанола с концентрацией 70–90%. Максимальное содержание фенольных соединений отмечено при использовании 70% этанола, тогда как стероидные и тритерпеновые соединения наиболее эффективно извлекались хлороформом и концентрированными водно-этанольными смесями. Водный экстракт характеризовался преимущественным содержанием водорастворимых полисахаридов. По данным ВЭЖХ-МС/МС в экстрактах идентифицированы производные бензотрополона, включая дегидрофоментариол и ангидрофоментариол, ланостановые тритерпеновые кислоты, а также жирные кислоты. Полученные данные могут быть использованы при разработке технологии и стандартизации экстрактов F. fomentarius.

Ключевые слова: Fomes fomentarius, трутовик настоящий, экстракция, растворитель, фенольные соединения, тритерпеноиды, полисахариды, ВЭЖХ-МС/МС.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия возрастает интерес к природным источникам биологически активных веществ (БАВ), способных служить основой для создания новых лекарственных препаратов (ЛП) и биологически активных добавок (БАД) к пище. Особое место среди таких объектов занимают макромицеты, поскольку их плодовые тела и мицелий содержат широкий спектр соединений (полисахариды, фенольные вещества, стероиды, тритерпеноиды, липиды и др.), которые часто отличаются от БАВ растений. Ксилотрофные грибы, в том числе представители порядка *Polyporales*, представляют значительный интерес как перспективное лекарственное сырье грибного происхождения. Одним из таких видов является трутовик настоящий – *F. fomentarius* (L.) Fr. [1], который повсеместно распространен в средней полосе [2]. В природных условиях он развивается преимущественно на древесине лиственных пород, прежде всего березы. Благодаря широкой распространенности и накоплению значительного количества вторичных метаболитов трутовик настоящий представляет интерес как доступное и перспективное сырье для фармакогностического исследования.

Исторический опыт применения *F. fomentarius* в народной медицине достаточно обширен. Трутовик настоящий использовался для лечения желудочно-кишечных заболеваний, нарушений функции печени, а также в качестве кровоостанавливающего и противовоспалительного средства [3, 4]. В европейской, западносибирской и индийской народной медицине перевязочные материалы из измельченных плодовых тел *F. fomentarius* применяли наружно при ра-

нах и ожогах, что связано с их выраженными гемостатическими свойствами [4].

Современные исследования показали, что к числу соединений, обнаруженных в плодовых телах и экстрактах *F. fomentarius*, относятся стероиды, включая эргостерол и его производные; фенолкарбоновые кислоты (*n*-гидроксибензойная, *n*-кумаровая, протокатеховая, ванилиновая, галловая и сиреневая), производные бензотрополона (фоментариол); тритерпеноиды (полипореновые, фомеффициновые кислоты); полисахариды (β-(1→3)-*D*-глюканы, хитин), липиды и аминокислоты [3–7]. Такой состав определяет широкий спектр потенциальной фармакологической активности. Для экстрактов *F. fomentarius* описаны антиоксидантные, противовоспалительные, анальгетические, противоопухолевые, противомикробные, противовирусные, фунгицидные, иммуномодулирующие и противодиабетические свойства [3, 4, 8, 9]. Отмечено, что экстракты трутовика настоящего могут влиять на ключевые молекулярные механизмы воспаления и опухолевого роста. В частности, метаболиты *F. fomentarius* способны модулировать активность ядерного фактора транскрипции NF-κB, участвующего в регуляции воспалительного ответа, клеточной выживаемости и химиорезистентности [9]. Для метанольного экстракта показано ингибирование экспрессии iNOS и COX за счет снижения связывания NF-κB с ДНК, что может быть связано с противовоспалительной, анальгетической и противоопухолевой активностью [10]. Кроме того, в литературе описаны полисахаридные фракции, обладающие иммуномодулирующим потенциалом [9, 10]. Значительный интерес представляют также фенольные соединения *F. fomentarius*, поскольку они могут вносить вклад в антиоксидантную активность экстрактов [11–14]. Существенное значение также имеют липофильные компоненты – стероиды и тритерпеноиды, которые определяют противовоспалительную и цитостатическую активность экстрактов [5–7].

Несмотря на наличие сведений о химическом составе и биологической активности, *F. fomentarius*, вопросы направленного извлечения отдельных групп БАВ остаются актуальными. Состав получаемого экстракта в значительной степени определяется природой растворителя, его полярностью, способностью растворять гидрофильные или липофильные компоненты. Поэтому выбор растворителя является не только технологическим этапом, но и фактором направленного формирования химического профиля экстракта.

Изучение влияния природы растворителя на химический состав экстрактов трутовика настоящего имеет практическое значение для фармацевтической разработки: оно позволяет определить оптимальные условия извлечения целевых групп БАВ, и послужить предпосылкой для стандартизации грибного сырья и экстракционных препаратов на основе *F. fomentarius* [14].

Целью настоящего исследования является изучение влияния природы растворителя на химический профиль экстрактов *F. fomentarius*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования и подготовка сырья. Объектом исследования служили плодовые тела трутовика настоящего *F. fomentarius* (L.) Fr., заготовленные в июле–октябре 2025 г. на территории Минской области Республики Беларусь. После сбора сырье очищали от посторонних примесей и разделяли на фрагменты размером 2–3 см. Сушку проводили в сушильном шкафу «Витязь» при температуре 40 ± 2 °C до воздушно-сухого состояния. Перед экстракцией высушенное сырье измельчали с использованием молотковой мельницы MOLOT. Диаметр отверстий сита составлял 2 мм [15].

Получение экстрактов. Для получения извлечений *F. fomentarius* использовали растворители квалификации «х. ч.»: гексан (C_6H_{14}), этилацетат (ЭА), хлороформ ($CHCl_3$), этанол различной концентрации (EtOH) и воду (H_2O). Экстракцию проводили методом мацерации: навеску измельченного сырья массой 1,00 г помещали в колбу, добавляли 50,0 мл соответствующего растворителя и оставляли настаиваться в течение 7 суток при периодическом перемешивании. По окончании настаивания извлечения процеживали, затем фильтровали через мембранный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм. Полученные фильтраты использовали для последующего анализа.

Определение выхода экстрактивных веществ. Выход экстрактивных веществ определяли гравиметрическим методом путем высушивания 5,00 мл полученных извлечений в предварительно высушенных и взвешенных бюксах до постоянной массы [16].

Определение суммы водорастворимых полисахаридов. Сумму водорастворимых полисахаридов определяли гравиметрическим методом [15]. Сухой остаток, полученный при определении выхода экстрактивных веществ, растворяли в 1,0 мл воды очищенной. Затем к полученному раствору добавляли 4,0 мл этанола 96% (об/об). Смесь выдерживали при температуре 60 °С в течение 1 ч, после чего фильтровали через предварительно высушенный и взвешенный фильтр «Синяя лента». Фильтр с осадком высушивали в сушильном шкафу до постоянной массы, после чего определяли прирост массы фильтра.

Определение суммы фенольных соединений. Сумму фенольных соединений определяли фотометрическим методом с использованием реактива Фолина-Чокальтеу [17]. В мерные колбы вместимостью 25,0 мл отбирали по 1,00 мл исследуемых извлечений, добавляли 1,00 мл реактива Фолина-Чокальтеу (Merck, кат. № 109001), 4,00 мл 10% раствора натрия карбоната Na_2CO_3 (ч.д.а., ЗАО «Пять океанов»), доводили водой очищенной до метки и перемешивали. Растворы выдерживали в течение 60 мин при комнатной температуре в защищенном от света месте.

Для построения калибровочного графика готовили серию растворов галловой кислоты в диапазоне концентраций 15,625–500 мкг/мл. Оптическую плотность растворов измеряли на спектрофотометре HALO VIS-20 (Dynamica Scientific Ltd.) в кварцевой кювете с длиной оптического пути 1 см при длине волны 725 нм. Сумму фенольных соединений выражали в процентах в пересчете на галловую кислоту.

Определение суммы стероидных и тритерпеновых соединений. Определение суммы стероидных и тритерпеновых соединений в образцах экстрактов проводили спектрофотометрическим методом по реакции Либермана-Бурхардта [18]. Для анализа 5,0 мл извлечения упаривали досуха, после чего сухой остаток растворяли в 10,0 мл хлороформа. К 1,00 мл полученного раствора добавляли 1,00 мл реактива Либермана-Бурхардта, представляющего собой смесь уксусного ангидрида и серной кислоты в соотношении 10 : 1 (об/об, «х.ч.», «Экос-1»). Реакционную смесь перемешивали и выдерживали при комнатной температуре в течение 90 мин. После этого измеряли оптическую плотность растворов при длине волны 665 нм. Калибровочный график строили с использованием серии хлороформных растворов холестерина (Merck) с концентрацией 10–1000 мкг/мл. Содержание суммы стероидных и тритерпеновых соединений выражали в процентах в пересчете на холестерин.

Жидкостная хроматография с масс-спектрометрическим детектированием. Компонентный состав экстрактов *F. fomentarius* изучали методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с масс-спектрометрическим детектированием. Сухие экстракты растворяли в метаноле для ВЭЖХ (HPLC grade, Carlo Erba Reagents). Концентрация анализируемых растворов составляла 0,1%. Анализ проводили на хроматографическом комплексе Thermo Scientific Ultimate 3000, оснащенном масс-детектором Q Exactive Focus Orbitrap LC-MS/MS System.

Для хроматографического разделения использовали колонку с обращенной фазой C18 Kinetex размером 150 мм × 2,1 мм и размером частиц сорбента 2,6 мкм. Температуру колонки поддерживали на уровне 25 °С. Объем вводимого образца составлял 5 мкл. Скорость потока подвижной фазы составляла 0,2 мл/мин. В качестве подвижных фаз использовали: А – 0,1% раствор муравьиной кислоты в воде; В – 0,1% раствор муравьиной кислоты в ацетонитриле. Перед вводом образца систему уравновешивали в течение 5 мин при 100% фазе А. Элюирование проводили в градиентном режиме: 0–5 мин: 0–5% В; 5–15 мин: 5–60% В; 15–30 мин: 60–65% В; 30–40 мин: 65–95% В; 40–55 мин: 95% В.

Масс-спектрометрическое детектирование проводили с использованием источника ионизации электроспреем (HESI). Скрининг молекулярных ионов осуществляли в режиме Full-MS для отрицательно заряженных ионов. Для идентификации отдельных компонентов дополнительно регистрировали продукты фрагментации ионов в режиме MS/MS при энергии кол-

лизии 35 эВ. Основные параметры источника ионизации были следующими: напряжение распыления в положительном режиме – 3500 В, в отрицательном режиме – 2500 В; температура капилляра – 320 °С; поток защитного газа – 20 усл. ед.; поток вспомогательного газа – 10 усл. ед.; температура нагревателя зонда – 30 °С; уровень S-Lens RF – 80. Максимальный ток распыления составлял 100 усл. ед.

Обработку хроматограмм и масс-спектров проводили с использованием программного обеспечения Thermo Scientific Xcalibur и Chromeleon v. 7.2.6.

Статистическая обработка данных. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием программы Microsoft Excel 2019. Все определения проводили не менее чем в трех повторностях.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе исследования была проведена сравнительная оценка экстрактов *F. fomentarius*, полученных с использованием растворителей различной природы: гексана, хлороформа, этилацетата, 96% этанола и воды. Для каждого извлечения определяли содержание суммы фенольных соединений, суммы стероидных и тритерпеновых соединений, выход экстрактивных веществ, а также содержание суммы водорастворимых полисахаридов. Полученные данные представлены на рисунке 1.

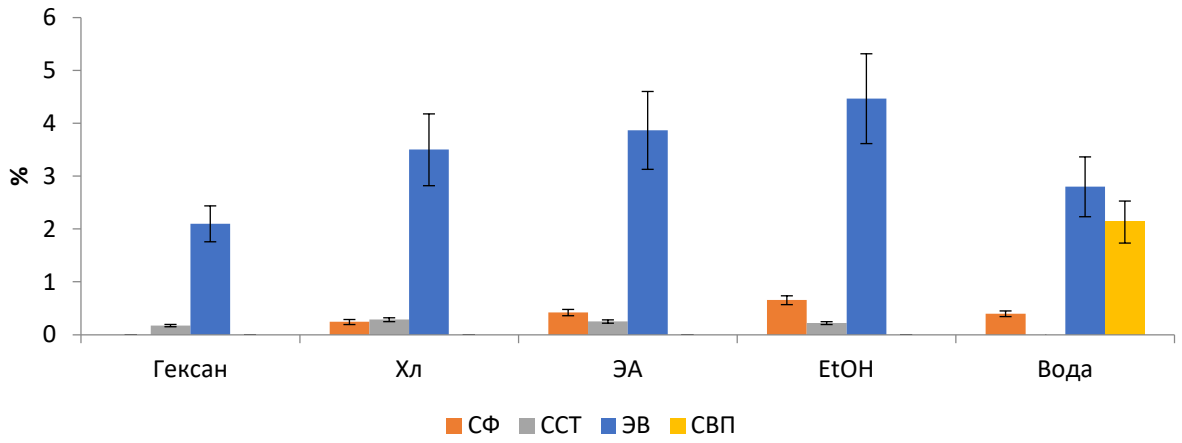


Рисунок 1. – Влияние природы растворителя на содержание БАВ в экстрактах *F. fomentarius*

Анализ результатов показал, что природа растворителя оказывает выраженное влияние как на общий выход экстрактивных веществ, так и на соотношение отдельных групп БАВ. Наибольший выход экстрактивных веществ наблюдался при использовании этанола и составлял 4,50 ± 0,79%. Высокие значения данного показателя также были характерны для этилацетатного и хлороформного извлечений: 3,87 ± 0,74 и 3,50 ± 0,68% соответственно. Водный экстракт характеризовался меньшим выходом экстрактивных веществ – 2,80 ± 0,57%, а минимальное значение отмечено для гексанового извлечения – 2,10 ± 0,34%. Следовательно, этанол оказался наиболее универсальным экстрагентом, способным извлекать из сырья широкий спектр соединений различной полярности.

Содержание суммы стероидных и тритерпеновых соединений было максимальным в хлороформном экстракте и составляло 0,29 ± 0,04%. Несколько меньшие значения отмечены для гексанового, этилацетатного и этанольного экстрактов, а в водном экстракте стероидные и тритерпеновые соединения практически не определялись (рисунок 1). Такой характер распределения закономерен, поскольку большинство стероидных и тритерпеновых метаболитов обладают преимущественно липофильными свойствами и лучше извлекаются органическими растворителями низкой и средней полярности. Сумма фенольных соеди-

нений, напротив, возрастала при использовании более полярных растворителей: наибольшее содержание фенольных соединений отмечено в этанольном экстракте – 0,66 ± 0,08%. Сумма водорастворимых полисахаридов была обнаружена главным образом в водном экстракте, ее содержание составляло 2,1 ± 0,4%.

Дополнительно была изучена зависимость выхода экстрактивных веществ и содержания водорастворимых полисахаридов от концентрации этанола в водно-этанольном экстрагенте. При увеличении содержания этанола от 0 до 70% наблюдался рост выхода экстрактивных веществ. Максимальный выход экстрактивных веществ был отмечен при содержании этанола 70–90%, где показатель составлял около 4,87–4,93% (рисунок 2). При дальнейшем увеличении концентрации этанола до 96% выход экстрактивных веществ снижался (рисунок 2).

Содержание водорастворимых полисахаридов, напротив, закономерно снижалось с увеличением концентрации этанола, при этом при концентрации этанола 60% и выше полисахариды практически не определялись. Содержание фенольных соединений увеличивалось при повышении концентрации этанола от 0 до 70%, а максимальное значение наблюдалось при использовании 70% этанола: 1,03 ± 0,11%. Отметим, что при дальнейшем увеличении концентрации этанола содержание фенольных соединений снижалось (рисунок 3). Вероятно, присутствие воды в со-

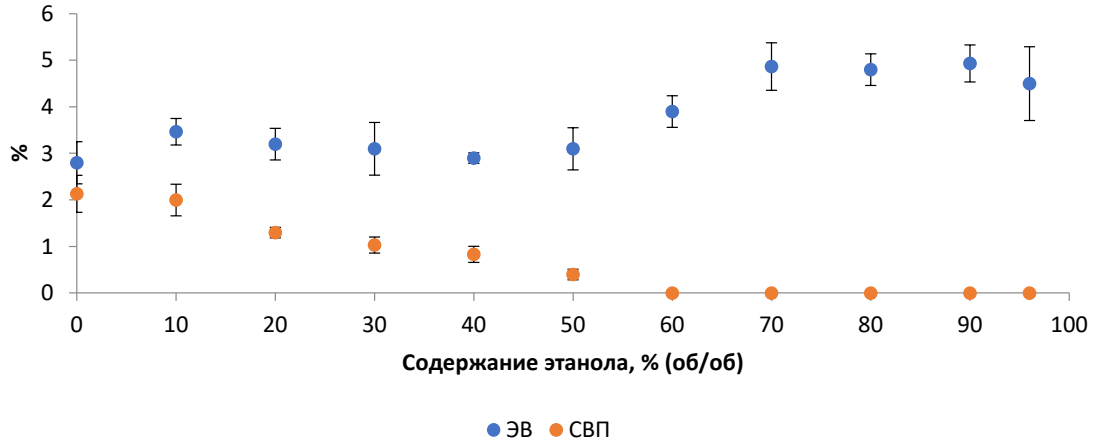


Рисунок 2. – Влияние концентрации этанола на выход экстрактивных веществ содержание водорастворимых полисахаридов в экстрактах *F. fomentarius*

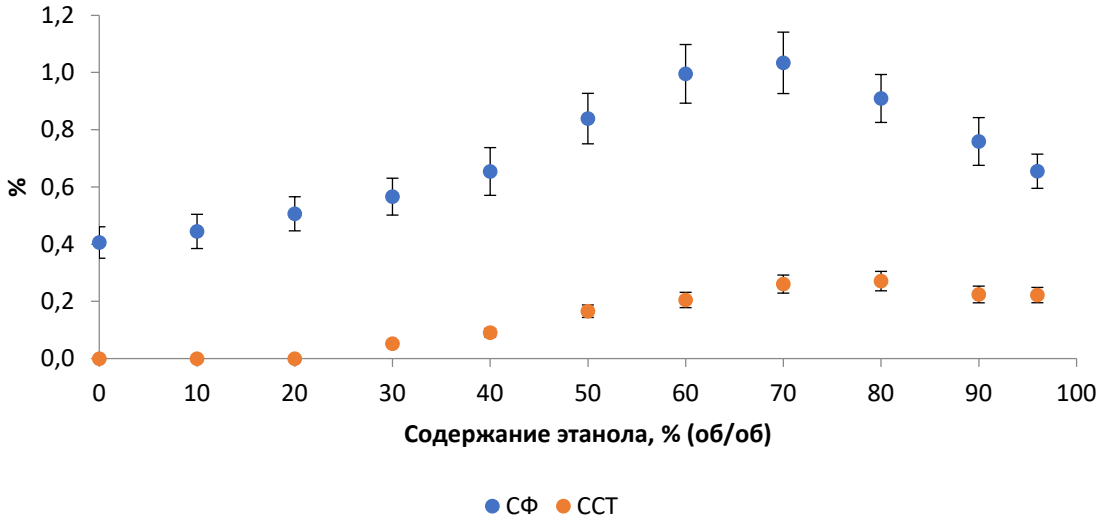


Рисунок 3. – Влияние концентрации этанола на содержание фенольных, стероидных и тритерпеновых соединений в экстрактах *F. fomentarius*

ставе экстрагента способствует набуханию грибного сырья и повышению доступности внутриклеточных компонентов, тогда как этанол обеспечивает растворение менее полярных фенольных метаболитов.

Стероидные и тритерпеновые соединения начинали обнаруживаться в водно-этанольных экстрактах, начиная с концентрации этанола 30–40%, а максимальное их содержание достигалось при использовании 80% этанола – 0,27 ± 0,03%.

Таким образом, для совместного извлечения фенольных соединений, стероидов и тритерпеноидов наиболее целесообразным является применение водно-этанольных смесей с содержанием этанола 70–80%.

С целью более подробной характеристики химического профиля экстрактов был проведен анализ методом ВЭЖХ-МС/МС (таблица 1, рисунки 4–7). По данным масс-спектрометрического детектирования в отрицательном режиме ионизации в экстрактах *F. fomentarius* были обнаружены соединения, относящиеся к производным бензотрополона, ланостановым тритерпеновым кислотам и высшим жирным кислотам (таблица 1) [19–22].

Таблица 1. – Идентифицированные компоненты экстрактов *F. fomentarius* по данным ВЭЖХ-МС/МС

t_R, мин	*m/z* $[M-H]^-$	Возможные структуры	*m/z* MS^2
16,3–17,0	329,02	Дегидрофоментариол	246,97 $[M–H–C_6H_{10}]^-$
22,03–22,12	313,08	Ангидрофоментариол	295,07 $[M–H–H_2O]^-$; 269,08 $[M–H–CO_2]^-$; 251,07 $[M–H–CO_2–H_2O]^-$; 241,09 $[M–H–CO_2–CO]^-$; 223,08 $[M–H–CO_2–CO–H_2O]^-$
37,2–43,7	527,37	Пахимовая кислота и ее изомеры	465,33 $[M–H–CO_2–H_2O]^-$; 483,40 $[M–H–CO_2]^-$; 441,39 $[M–H–CO_2–C_2H_2O]^-$; 59,01 CH_3COO^-
39,90–39,93	455,35	Траметеноловая кислота B	437,34 $[M–H–H_2O]^-$; 373,27 $[M–H–C_6H_{10}]^-$
42,4–45,1	453,33	Пиниколевая кислота A	371,26 $[M–H–C_6H_{10}]^-$; 339,27 $[M–H–C_6H_{10}–CH_4O]^-$
37,3–37,4	629,41	Формипиновая кислота B	611,39 $[M–H–H_2O]^-$; 585,41 $[M–H–CO_2]^-$; 567,40 $[M–H–CO_2–H_2O]^-$; 467,35 $[M–H–C_6H_{10}O_5]^-$; 449,34 $[M–H–C_6H_{10}O_5–H_2O]^-$; 423,36 $[M–H–C_6H_{10}O_5–CO_2]^-$; 405,35 $[M–H–C_6H_{10}O_5–CO_2–H_2O]^-$; 145,05 $C_6H_9O_4^-$; 129,02 $C_5H_5O_4^-$; 115,04 $C_5H_7O_3^-$; 101,02 $C_4H_5O_3^-$; 87,04 $C_4H_7O_2^-$; 59,01 $C_2H_3O_2^-$
37,89–37,94	627,39	Палюстризолид B/E	609,38 $[M–H–H_2O]^-$; 583,40 $[M–H–CO_2]^-$; 565,39 $[M–H–CO_2–H_2O]^-$; 467,35 $[M–H–C_6H_8O_5]^-$; 449,34 $[M–H–C_6H_8O_5–H_2O]^-$; 423,35 $[M–H–C_6H_8O_5–CO_2]^-$; 405,34 $[M–H–C_6H_8O_5–CO_2–H_2O]^-$; 115,04 $C_5H_7O_3^-$; 101,02 $C_4H_5O_3^-$; 87,04 $C_4H_7O_2^-$; 59,01 $C_2H_3O_2^-$
28,77–28,87	481,29	Полипореновая кислота C	481,29 $[M–H]^-$; 463,28 $[M–H–H_2O]^-$; 437,30 $[M–H–CO_2]^-$; 419,29 $[M–H–CO_2–H_2O]^-$; 407,26 $[M–H–CO_2–CH_2O]^-$; 89,02 $C_3H_5O_3^-$
28,77–28,87	483,35	Фомеффициновая кислота B/D	465,33 $[M–H–H_2O]^-$; 439,32 $[M–H–CO_2]^-$; 421,31 $[M–H–H_2O–CO_2]^-$; 407,29 $[M–H–H_2O–CO_2–CH_2]^-$; 393,28 $[M–H–H_2O–CO_2–C_2H_4]$
29,73–29,83	485,27	Фомеффициновая кислота C	457,32 $[M–H–CO]^-$; 425,30 $[M–H–C_2H_4O_2]^-$; 407,29 $[M–H–C_2H_4O_2–H_2O]^-$; 59,01 CH_3COO^-

Распределение фоментариола, дегидрофоментариола и ангидрофоментариола существенно зависело от природы растворителя. Наиболее интенсивное извлечение ангидрофоментариола наблюдалось хлороформом, а также концентрированными водно-этанольными смесями (рисунок 4). Дегидрофоментариол в наибольшем количестве определялся в этилацетатном экстракте, а также в 80% этаноле. Вода практически не извлекала данную группу соединений, что указывает на их преимущественно среднеполярный или липофильный характер.

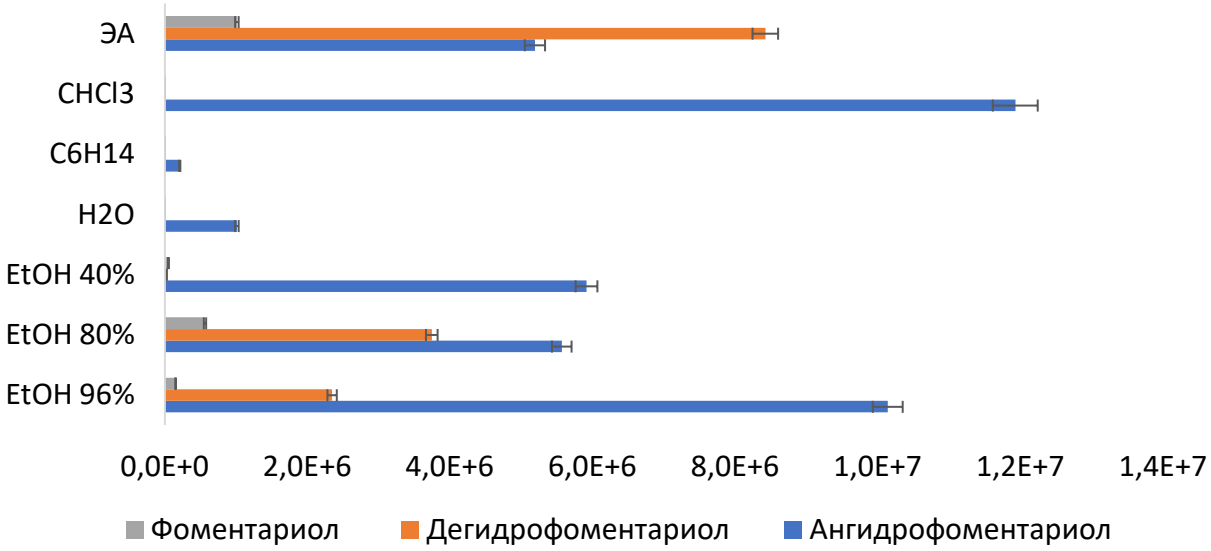


Рисунок 4. – Относительная интенсивность сигналов $[M–H]^-$ производных бензотрополона в экстрактах *F. fomentarius*

Среди тритерпеновых компонентов были обнаружены соединения с молекулярными ионами $[M–H]^1$ 527,37, 455,35, 453,33, 629,41, 627,39, 481,29, 483,35 и 485,27 (таблица 1) [21–22]. Анализ распределения тритерпеновых кислот показал, что их максимальное содержание характерно для хлороформного экстракта (рисунок 5). Особенно выраженное накопление в хлороформном извлечении отмечено для соединений, соответствующих фомеффициновым кислотам, палюстризолиду B/E, пахимовой кислоте и пиниколевой кислоте A. В этилацетатном экстракте также определялись отдельные тритерпеновые компоненты, однако их содержание в целом было ниже, чем в хлороформном. В гексановом экстракте тритерпеновые кислоты присутствовали в меньших количествах, что может быть связано с недостаточной растворимостью более кислородсодержащих тритерпеноидов в неполярном растворителе. В водных извлечениях содержание тритерпеновых кислот было минимальным. При использовании этанола наиболее эффективное извлечение отдельных тритерпеновых кислот наблюдалось при концентрациях 80–96%, что подтверждает их преимущественно липофильный характер и согласуется с данными рисунка 3.

В отдельную группу можно выделить высшие жирные кислоты, среди которых по данным хроматографического анализа были обнаружены пальмитиновая, олеиновая и линолевая кислоты (рисунок 6). Наибольшее содержание линолевой кислоты отмечено в хлороформном экстракте, где ее количество значительно превышало содержание других жирных кислот. Высокое содержание линолевой кислоты также наблюдались в экстрактах, полученных с использованием этилацетата, гексана и 96% этанола.

Общие ионные хроматограммы экстрактов *F. fomentarius* представлены на рисунке 7.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, химический профиль экстрактов *F. fomentarius* определяется природой используемого растворителя: неполярные и среднеполярные органические растворители обеспечивают преимущественное извлечение липофильных метаболитов, включая стероидные и тритерпеновые соединения, производные фоментариола и жирные кислоты. При этом хлороформ оказался наиболее эффективным растворителем для извлечения тритерпеновых кислот. Этилацетат проявил высокую способность к извлечению отдельных бензотрополоновых и тритерпеновых компонентов. Водно-этанольные смеси с содержанием этанола 70–80% обеспечивали высокий общий выход экстрактивных веществ и эффективное извлечение фенольных соединений, а также части липофильных компонентов, что позволяет рассматривать их как пер-

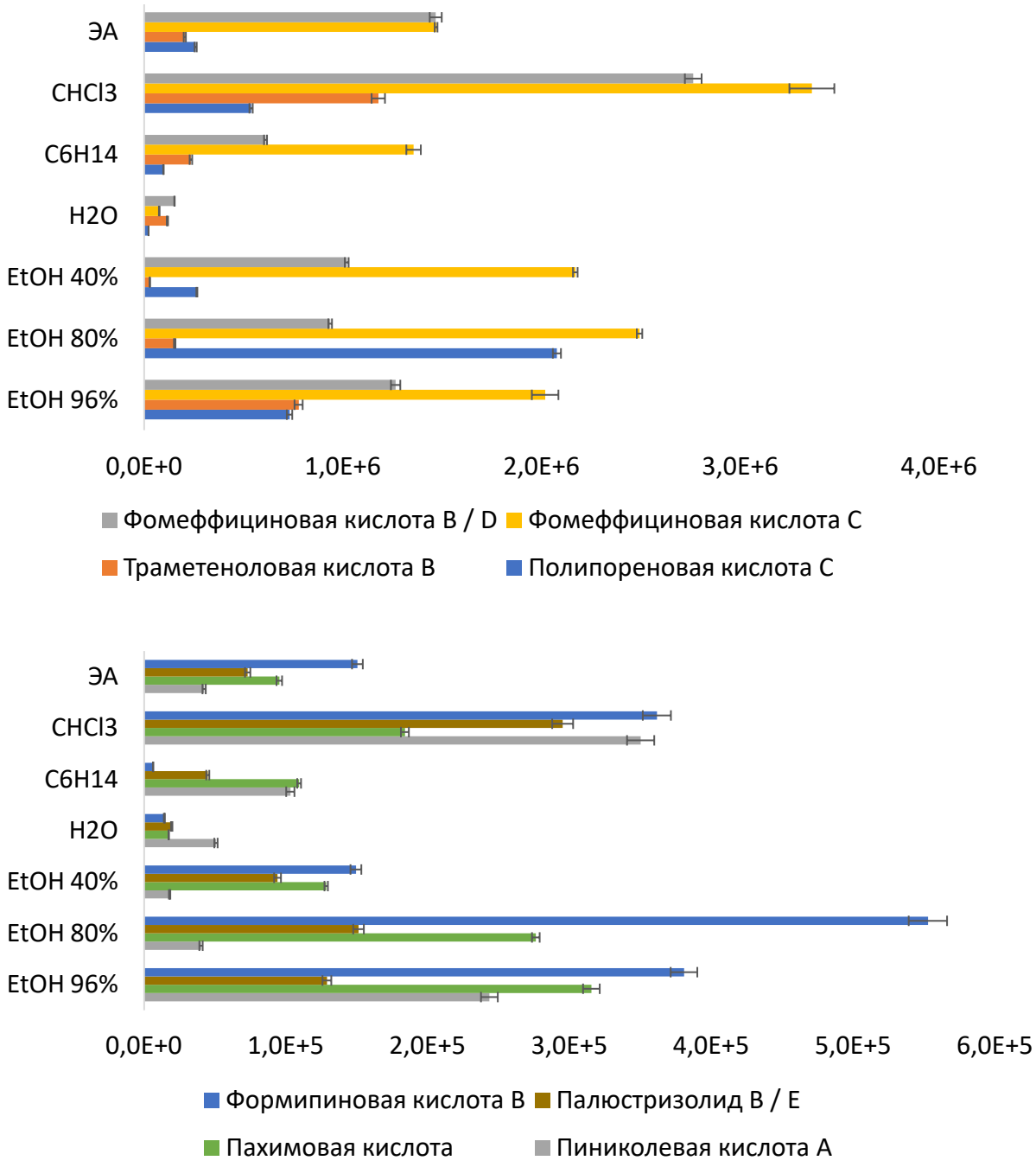


Рисунок 5. – Относительная интенсивность сигналов $[M–H]^-$ тритерпеновых соединений в экстрактах *F. fomentarius*

спективные универсальные экстрагенты для получения комплексных извлечений *F. fomentarius*. Вода, в свою очередь, была наиболее эффективна для получения экстрактов, обогащенных водорастворимыми полисахаридами. Полученные данные могут быть использованы для выбора оптимальной технологии получения экстрактов *F. fomentarius* и разработки подходов к их стандартизации.

SUMMARY

H. I. Harbatsevich, N. S. Gurina
THE EFFECT OF SOLVENT NATURE ON THE CHEMICAL COMPOSITION OF *FOMES FOMENTARIUS* (L.) FR. EXTRACTS

Tinder fungus *Fomes fomentarius* (L.) Fr. is a promising source of fungal biologically active substances including phenolic compounds, polysaccharides, steroids, triterpe-

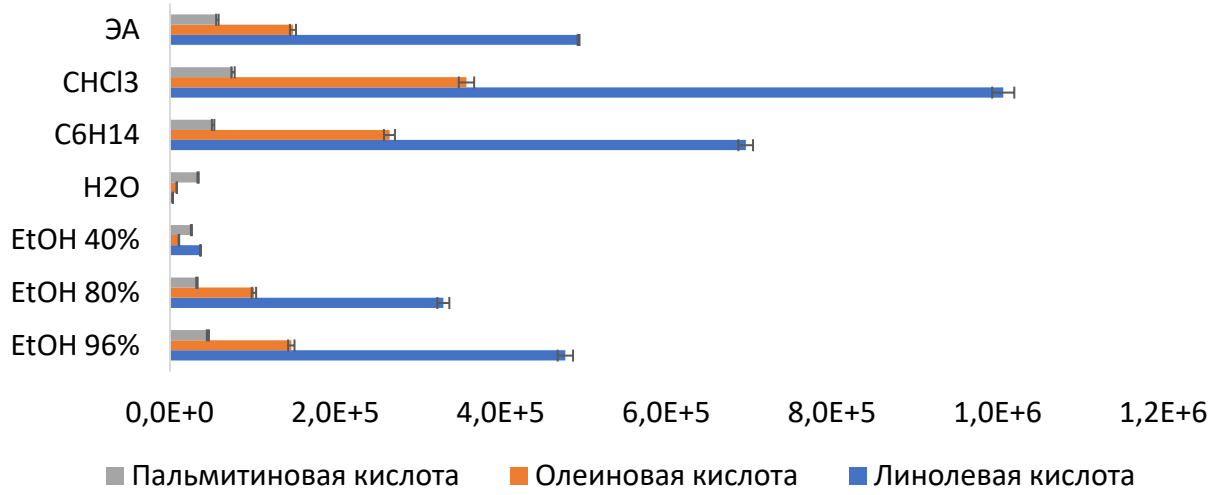


Рисунок 6. – Относительная интенсивность сигналов $[M–H]^-$ жирных кислот в экстрактах *F. fomentarius*

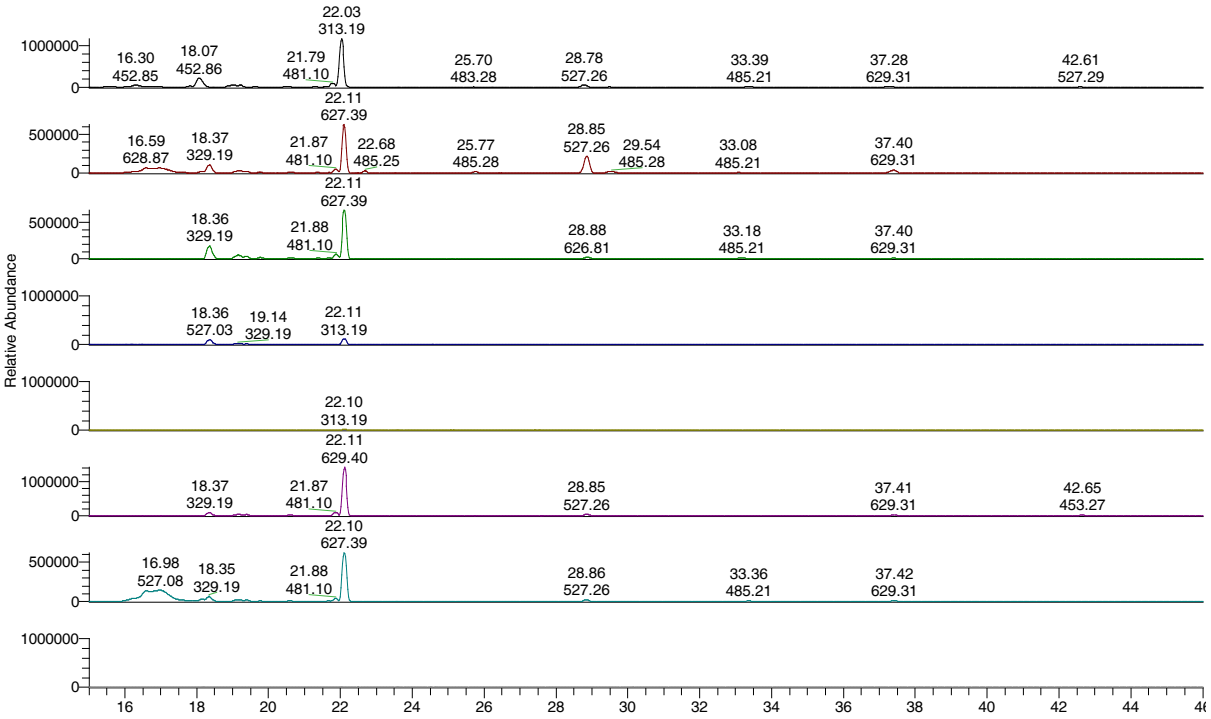


Рисунок 7. – Общие ионные хроматограммы экстрактов в режиме отрицательных ионов (сверху вниз: EtOH 96%, EtOH 80%, EtOH 40%, H_2O, C_6H_{14}, $CHCl_3$, ЭА, холостой опыт)

noids, benzotropolone derivatives and lipids. The aim of this research was to study the effect of solvent nature on the chemical profile of *F. fomentarius* extracts. The object of the research was *F. fomentarius* fruiting bodies collected in the Minsk Region of the Republic of Belarus. The extracts were obtained by maceration using hexane, chloroform, ethyl acetate, ethanol of various concentrations and water. The yield of extractive substances, the total of water-soluble polysaccharides, phenolic compounds and steroid and triterpenoid compounds was determined. The component composition was studied by HPLC-MS/MS in negative ionization mode.

It was established that the solvent nature significantly affects the yield of extractive substances and the ratio of the main groups of biologically active substances. The highest total yield was obtained for the extracts obtained using 70–90% ethanol. The maximum content of phenolic compounds was observed

with 70% ethanol whereas steroid and triterpenoid compounds were most effectively extracted with chloroform and concentrated aqueous ethanol mixtures. Aqueous extract was characterized by predominant presence of water-soluble polysaccharides. According to HPLC-MS/MS data benzotropolone derivatives including dehydrofomentariol and anhydrofomentariol, lanostane-type triterpenic acids as well as fatty acids were identified in the extracts. The data obtained may be used in the development of technology and standardization approaches for *F. fomentarius* extracts.

Keywords: *Fomes fomentarius*, tinder fungus, extraction, solvent, phenolic compounds, triterpenoids, polysaccharides, HPLC-MS/MS.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трутовые грибы : материалы международного курса по экологии и таксономии дереворазрушающих базидиомицентов в Центрально-Лесном заповеднике : учеб. пособие / В. М. Коткова, Т. Ниемеля, И. А. Винер [и др.]. – Хельсинки : Helsinki University Printing House, 2015. – 95 с.

2. Fomes fomentarius and Polyporus squamosus Models of Marvel Medicinal Mushrooms / W. A. Elkhateeb, M. O. Elnahas, P. W. Thomas, G. M. Daba // Biomedical research and reviews. – 2020. – Vol. 3, N 1. – P. 119–122. – DOI: 10.31021/brr.20203119.

3. Kalitukha, L. Fascinating Vital Mushrooms. Tinder Fungus (*Fomes fomentarius* (L.) Fr.) as a Dietary Supplement / L. Kalitukha, M. Sari // International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology. – 2019. – Vol. 6, N 1. – P. 1–9.

4. European medicinal polypores – a modern view on traditional uses / U. Grienke, M. Zöll, U. Peintner, J. M. Rollinger // Journal of ethnopharmacology. – 2014. – Vol. 154, N 3. – P. 564–583. – DOI: 10.1016/j.jep.2014.04.030.

5. Chemical constituents and their biological activities from the mushroom *Pyropolyporus fomentarius* / F. L. Zhang, C. Shi, L. T. Sun [et al.] // Phytochemistry. – 2021. – Vol. 183. – P. 112625–112632. – DOI: 10.1016/j.phytochem.2020.112625.

6. Fomentarols A–D, sterols from the polypore macrofungus *Fomes fomentarius* / Y. Zang, J. Xiong, W. Z. Zhai [et al.] // Phytochemistry. – 2013. – Vol. 92. – P. 137–145. – DOI: 10.1016/j.phytochem.2013.05.003.

7. Isolation and Determination of Fomentariol: Novel Potential Antidiabetic Drug from Fungal Material / N. Maljurić, J. Golubović, M. Ravnikar [et al.] // Journal of analytical methods in chemistry. – 2018. – Vol. 2018. – P. 1–9. – DOI: 10.1155/2018/2434691.

8. Bal, C. Pharmacological properties of *Fomes fomentarius* / C. Bal, H. Akgül // International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology (EurasianSciEnTech 2018). – Ankara, 2018. – P. 1–10.

9. Fungal metabolites modulating NF-κB activity: An approach to cancer therapy and chemoprevention / R. D. Petrova, A. Z. Reznick, S. P. Waser [et al.] // Oncology reports. – 2008. – Vol. 19, N 2. – P. 299–308.

10. Кожемякина, Н. В. Иммунобиологическая активность мицелия *Fomes fomentarius* (L.:FR.) FR. и выделенных из него углеводных фракций / Н. В. Кожемякина, Е. П. Ананьева, С. В. Гурина // Проблемы медицинской микологии. – 2010. – Т. 12, № 1. – С. 27–30.

11. Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Some Species of Polyporoid Mushrooms from Poland / K. Sułkowska-Ziaja, B. Muszyńska, P. Motyl [et al.] // International journal of medicinal mushrooms. – 2012. – Vol. 14, N 4. – P. 385–393. – DOI: 10.1615/intjmedmushr.v14.i4.60.

12. Тринеева, О. В. Методы определения антиоксидантной активности объектов растительного и синтетического происхождения в фармации (обзор) / О. В. Тринеева // Разработка и регистрация лекарственных средств. – 2017. – № 4. – С. 180–197.

13. Alam, M. N. Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity / M. N. Alam, N. J. Bristi, M. Rafiquzzaman // Saudi pharmaceutical journal. – 2013. – Vol. 21, N 2. – P. 143–152. – DOI: 10.1016/j.jsps.2012.05.002.

14. Проценко, М. А. Получение экстрактов и характеристика биологически активных соединений из *Fomes fomentarius* / М. А. Проценко // Медицина и образование в Сибири. – 2013. – № 4. – С. 1–6.

15. Государственная фармакопея Республики Беларусь : (ГФ РБ II) : разраб. на основе Европ. Фармакопеи : в 2 т. : введ. в действие с 1 янв. 2013 г. приказом М-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 25.04.2012 г. № 453. – Т. 1: Общие методы контроля качества лекарственных средств / М-во здравоохранения Респ. Беларусь, Центр экспертиз и испытаний в здравоохранении ; [под общ. ред. А. А. Шерякова]. – Молодечно : Победа, 2012. – 1220 с.

16. Определение содержания экстрактивных веществ в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах : ОФС.1.5.3.0006.15 : общая фармакопейная статья // Государственная фармакопея Российской Федерации : в 3 т. : введ. с 1 янв. 2016 г. / Министерство здравоохранения Российской Федерации. – 13-е изд. – Москва, 2015. – Т. 1. – С. 370–375.

17. Singleton, V. L. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent / V. L. Singleton, R. Orthofer, R. M. Lamuela-Raventós // Methods in enzymology. – 1999. – Vol. 299. – P. 152–178. – DOI: 10.1016/S0076-6879(99)99017-1.

18. Горбацевич, Г. И. Разработка и валидация спектрофотометрической методики количественного определения суммы тритерпеновых и стероидных соединений в трутовых грибах / Г. И. Горбацевич, И. А. Комлач // Журнал прикладной спектроскопии. – 2026. – Т. 93, № 1. – С. 78–85.

19. Chemical Constituents and Pharmacology of Fomes fomentarius: A Systematic Review / C. Gong, M. Xu, H. Xu [et al.] // Records of natural products. – 2025. – Vol. 19, N 4. – P. 488–517. – DOI: 10.25135/rnp.521.2503.3466.

20. Chemical Constituents and Pharmacology of Fomes fomentarius: A Systematic Review / C. Gong, M. Xu, H. Xu [et al.] // Records of natural products. – 2025. – Vol. 19, N 4. – P. 488–517. – DOI: 10.25135/rnp.521.2503.3466.

21. Bioactive Potential of Balkan Fomes fomentarius Strains: Novel Insights into Comparative Mycochemical Composition and Antioxidant, Anti-Acetylcholinesterase, and Antiproliferative Activities / M. Rašeta, M. Kebert, D. Pintać Šarac [et al.] // Microorganisms. – 2025. – Vol. 13, N 6. – Art. 1210. – DOI: 10.3390/microorganisms13061210.

22. Characterisation of fungal lanostane-type triterpene acids by electrospray ionisation mass spectrometry / G. M. Cabrera, A. P. Vellasco, L. M. Levy, M. N. Eberlin // Phytochemical analysis. – 2007. – Vol. 18, N 6. – P. 489–495. – DOI: 10.1002/pca.1005.

REFERENCES

1. Kotkova VM, Niemelia T, Viner IA, Shchigel' DS, Kurakov AV. Tinder fungi: materialy mezhdunarodnogo kursa po ekologii i taksonomii derevorazrushaiushchikh bazidiomitsentov v Tsentral'no-Lesnom zapovednike : ucheb posobie. Khel'sinki, Finland: Helsinki University Printing House; 2015. 95 s. (In Russ.)

2. Elkhateeb WA, Elnahas MO, Thomas PW, Daba GM. Fomes fomentarius and Polyporus squamosus Models of Marvel Medicinal Mushrooms. Biomed Res Rev. 2020;3(1):119–22. doi: 10.31021/brr.20203119

3. Kalitukha L, Sari M. Fascinating Vital Mushrooms. Tinder Fungus (*Fomes fomentarius* (L.) Fr.) as a Dietary Supplement. International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology. 2019;6(1):1–9

4. Grienke U, Zöll M, Peintner U, Rollinger JM. European medicinal polypores – a modern view on traditional uses. J Ethnopharmacol. 2014;154(3):564–83. doi: 10.1016/j.jep.2014.04.030

5. Zhang FL, Shi C, Sun LT, Yang HX, He J, Li ZH, et al. Chemical constituents and their biological activities from the mushroom *Pyropolyporus fomentarius*. Phytochemistry. 2021;183:112625–32. doi: 10.1016/j.phytochem.2020.112625

6. Zang Y, Xiong J, Zhai WZ, Cao L, Zhang SP, Tang T, et al. Fomentarols A–D, sterols from the polypore macrofungus *Fomes fomentarius*. Phytochemistry. 2013;92:137–45. doi: 10.1016/j.phytochem.2013.05.003

7. Maljurić N, Golubović J, Ravnikar M, Žigon D, Štrukelj B, Otašević B. Isolation and Determination of Fomentariol: Novel Potential Antidiabetic Drug from Fungal Material. J Anal Methods Chem. 2018;2018:1–9. doi: 10.1155/2018/2434691

8. Bal C, Akgül H. Pharmacological properties of *Fomes fomentarius*. In: International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology (EurasianSciEnTech 2018). Ankara, Turkey; 2018. p. 1–10

9. Petrova RD, Reznick AZ, Waser SP, Denchev CM, Nevo E, Mahajna J. Fungal metabolites modulating NF-κB activity: An approach to cancer therapy and chemoprevention. Oncol Rep. 2008;19(2):299–308

10. Kozhemiakina NV, Anan'eva EP, Gurina SV. Immunobiological activity of the mycelium of Fomes fomentarius (L.:FR.) FR. and carbohydrate fractions isolated from it. Problemy meditsinskoi mikologii. 2010;12(1):27–30. (In Russ.)

11. Sułkowska-Ziaja K, Muszyńska B, Motyl P, Pasko P, Ekiert H. Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Some Species of Polyporoid Mushrooms from Poland. Int J Med Mushrooms. 2012;14(4):385–93. doi: 10.1615/intjmedmushr.v14.i4.60

12. Trineeva OV. Methods for determining the antioxidant activity of plant and synthetic substances in pharmacy (review). Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv. 2017;(4):180–97. (In Russ.)

13. Alam MN, Bristi NJ, Rafiquzzaman M. Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. Saudi Pharm J. 2013;21(2):143–52. doi: 10.1016/j.jsps.2012.05.002

14. Protsenko MA. Extraction and characterization of bioactive compounds from Fomes fomentarius. Meditsina i obrazovanie v Sibiri. 2013;(4):1–6. (In Russ.)

15. Ministerstvo zdravookhraneniia Respubliki Belarus', Tsentr ekspertiz i ispytanii v zdravookhranenii. State Pharmacopoeia of the Republic of Belarus: v 2 t. T. 1, General methods of quality control of medicines. Sheriakov AA, redactor. Molodechno, RB: Pobeda; 2012. 1220 s. (In Russ.)

16. Determination of the content of extractive

substances in medicinal plant materials and medicinal herbal preparations: OFS.1.5.3.0006.15: obshchaia farmakopeinaia stat'ia. V: Ministerstvo zdravookhraneniia Rossiiskoi Federatsii. Gosudarstvennaia farmakopeia Rossiiskoi Federatsii : v 3 t : vved s 1 ianv 2016 g. 13-e izd. Moskva, RF; 2015. T. 1. s. 370–5. (In Russ.)

17. Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventós RM. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. Methods Enzymol. 1999;299:152–78. doi: 10.1016/S0076-6879(99)99017-1

18. Harbatsevich HI, Komlach IA. Development and validation of a spectrophotometric method for the quantitative determination of the amount of triterpene and steroid compounds in tinder fungi. Zhurnal prikladnoi spektroskopii. 2026;93(1):78–85. (In Russ.)

19. Gong C, Xu M, Xu H, Li Y, Deng C, Jiang Y, et al. Chemical Constituents and Pharmacology of Fomes fomentarius: A Systematic Review. Records of Natural Products. 2025;19(4):488–517. doi: 10.25135/rnp.521.2503.3466

20. Gong C, Xu M, Xu H, Li Y, Deng C, Jiang Y, et al. Chemical Constituents and Pharmacology of Fomes fomentarius: A Systematic Review. Records of Natural Products. 2025;19(4):488–517. doi: 10.25135/rnp.521.2503.3466

21. Rašeta M, Kebert M, Pintać Šarac D, Mišković J, Berežni S, Kulmany AE, et al. Bioactive Potential of Balkan Fomes fomentarius Strains: Novel Insights into Comparative Mycochemical Composition and Antioxidant, Anti-Acetylcholinesterase, and Antiproliferative Activities. Microorganisms. 2025;13(6 Art 1210). doi: 10.3390/microorganisms13061210

22. Cabrera GM, Vellasco AP, Levy LM, Eberlin MN. Characterisation of fungal lanostane-type triterpene acids by electrospray ionisation mass spectrometry. Phytochem Anal. 2007;18(6):489–95. doi: 10.1002/pca.1005

Адрес для корреспонденции:
220083, Республика Беларусь,
г. Минск, пр-т Дзержинского, 83,
лабораторный корпус, 15,
УО «Белорусский государственный медицинский университет»,
тел. 8(017)2794217,
e-mail: pharmtic@bsmu.by,
Горбацевич Г. И.

Поступила 02.06.2026 г.

УДК 615.322:581.19:582.912.42 DOI: https://doi.org/10.52540/2074-9457.2026.2.50

Г. Н. Бузук[1], О. А. Ёршик[2]

НЕЛИНЕЙНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ НАКОПЛЕНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОТ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛИСТА *ARCTOSTAPHYLOS UVA-URSI* (L.) SPRENG.

[1]г. Витебск, Республика Беларусь
[2]Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск, Республика Беларусь

Изучение закономерностей накопления вторичных метаболитов является актуальной задачей современной физиологии растений и фармакогнозии. Понимание взаимосвязи между ростом растений и вторичным метаболизмом является одной из ключевых задач физиологии растений и биохимической экологии. В данной работе исследована связь морфометрических параметров листа с накоплением биологически активных соединений, включая суммарные фенольные соединения, флавоноиды и проантоцианидины. Для анализа использованы методы линейной и нелинейной регрессии.

Целью работы было исследование связи морфометрических параметров листа с содержанием биологически активных веществ – суммарных фенольных соединений, флавоноидов и проантоцианидинов.

Статистический анализ показал, что во всех рассмотренных случаях нелинейные модели существенно превосходят линейные по коэффициенту детерминации. Для ряда зависимостей значения R^2 возрастали более чем в 5–10 раз при переходе от линейной к полиномиальной модели.

Полученные результаты интерпретируются как проявление конкуренции между первичным и вторичным метаболизмом за общий пул предшественников. В период ин-