

УДК 582:581(082)
ББК 28.59я43
И73

Редакционная коллегия:

д.б.н., чл.-корр. НАН Беларуси *В. В. Титок* (ответственный редактор),
к.б.н. *П. Н. Белый*; к.б.н. *И. М. Гаранович*; д.б.н. *Н. В. Гетко*;
к.б.н. *Л. А. Головченко*; *С. М. Кузьменкова*; д.б.н. *Е. Н. Кутас*;
к.б.н. *Н. М. Лунина*; к.б.н. *О. В. Чижик*; к.б.н. *А. П. Яковлев*

Рецензенты:

доктор биологических наук, Ботанический институт
имени В. Л. Комарова Российской академии наук *К. Г. Ткаченко*;
кандидат биологических наук, Институт экспериментальной
ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси
А. В. Пугачевский

Интродукция, сохранение и использование биологического разнообразия флоры : материалы международной научной конференции, посвященной 90-летию Центрального ботанического сада Национальной академии наук Беларуси (Минск, 28 июня – 1 июля 2022 г.). В 2 ч. Ч. 2 / Нац. акад. наук Беларуси [и др.]. редкол.: В.В. Титок [и др.] – Минск : Белтаможсервис, 2022. – 420 с.

ISBN 978-985-7004-75-1

В сборнике представлены материалы международной научной конференции, посвященной 90-летию Центрального ботанического сада Национальной академии наук Беларуси. Часть 2: секция 3 «Биотехнологические и молекулярно-генетические аспекты изучения и использования биоразнообразия растений», секция 4 «Решение вопросов защиты растений в ботанических садах», секция 5 «Научное, прикладное и просветительское значение ботанических коллекций» и секция 6 «Современные направления ландшафтного дизайна и зеленого строительства».

УДК 582:581(082)
ББК 28.59я43

ISBN 978-985-7004-75-1 (ч. 2)
ISBN 978-985-7004-72-0

© ГНУ «Центральный ботанический сад
Национальной академии наук Беларуси», 2022
© Оформление. РУП «Белтаможсервис», 2022

ПЛОДОВЫЕ ТЕЛА ДЕРЕВОРАЗРУШАЮЩИХ ГРИБОВ, КАК ИСТОЧНИК ПОЛУЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Курченко В. П.¹, Сушинская Н. В.¹, Киселева И. С.², Белый П. Н.³

¹ Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,

kurchenko@tut.by

² Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,

³ Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

Резюме. С использованием ГХ–МС исследовано относительное содержание биологически активных веществ в экстрактах из плодовых тел ряда дереворазрушающих грибов. Анализ результатов показывает, что *Fomes fomentarius* (L.) Fr. содержит до 18 % жирных кислот, 51,6 % стероидов и 8,38 % тритерпеновых соединений. Для *Hapalopilus nidulans* (Fr.) P. Karst. характерно наличие 32,7 % жирных кислот, 9,8 % стероидных веществ и 27,0 % тетрациклических тритерпеноидов. Для *Inonotus obliquus* (Ach. ex Pers.) Pilát характерно наличие 14 % жирных кислот, из которых 11,6 % являются ненасыщенными. Отличительной особенностью экстракта из *Piptoporus betulinus* (Bull.) P. Karst. является наличие 67,9 % арабитола, при отсутствии стероидных и тритерпеновых соединений. *Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst., вызывающий бурую гниль древесины, содержит 30,15 % эргостерола, который является провитаминовой формой витамина D₂.

FRUIT BODIES OF WOOD-DESTROYING FUNGI AS A SOURCE OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES

Kurchenko V. P.¹, Sushinskaya N. V.¹, Kiseleva I. S.², White P. N.³

Summary. Using GC–MS, the relative content of biologically active substances in extracts from the fruiting bodies of a number of wood-destroying fungi was studied. Analysis of the results shows that *Fomes fomentarius* (L.) Fr. contains up to 18 % fatty acids, 51.6 % steroids and 8.38 % triterpene compounds. For *Hapalopilus nidulans* (Fr.) P. Karst. characteristic is the presence of 32.7 % fatty acids, 9.8 % steroid substances and 27.0 % tetracyclic triterpenoids. *Inonotus obliquus* (Ach. ex Pers.) Pilát is characterized by the presence of 14 % fatty acids, of which 11.6 % are unsaturated. A distinctive feature of the extract from *Piptoporus betulinus* (Bull.) P. Karst. is the presence of 67.9 % arabitol, in the absence of steroid and triterpene compounds. *Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst., which causes brown rot of wood, contains 30.15 % ergosterol, which is a pro-vitamin form of vitamin D₂.

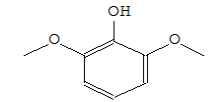
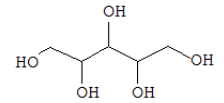
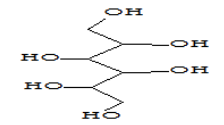
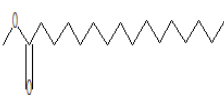
Среди 16 тысяч известных науке видов высших базидиальных грибов около 200 можно отнести к числу лекарственных. Среди них важное место занимают трутовые грибы, которые широко распространены в лесах Европы и Азии. Их плодовые тела являются доступной, легко восстанавливаемой сырьевой базой получения биологически активных веществ. Они содержат большое количество хитина, меланинов, глюканов, и других биологически активных веществ [1–5]. Уже сейчас в пищевой и фармацевтической промышленности стран юго-восточной Азии нашли широкое применение представители этой группы грибов: *Ganoderma applanatum*, *Ganoderma lucidum*, *Lentinus edodes*, *Fomitopsis officinalis*, *Grifola frondosa*, *Fomes fomentarius* и *Inonotus obliquus*. На сегодняшний день лечение препаратами на основе трутовых грибов признано официальной медициной США, Канады, Израиля, Новой Зеландии, Германии и др. Особенно активно в этом направлении работают различные онкоцентры, т. к. противоопухолевая активность доказана у многих высших грибов [6, 7]. Ведутся широкие исследования физико-химических свойств ряда фенольных, стероидных, тритерпеновых соединений грибного происхождения [8–12]. В этой связи актуальным являются проведение сравнительных исследований состава и содержания биологически активных вторичных метаболитов различных таксономических групп афиллофороидных грибов.

Целью работы являлось исследование состава биологически активных веществ экстрактов из плодовых тел ряда дереворазрушающих грибов.

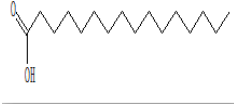
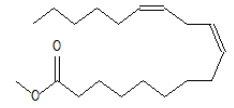
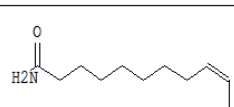
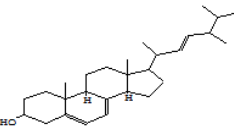
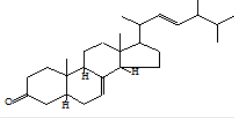
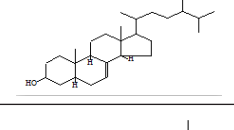
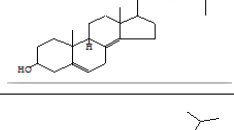
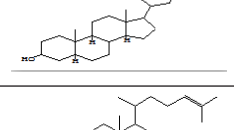
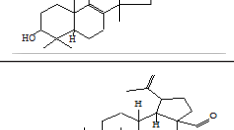
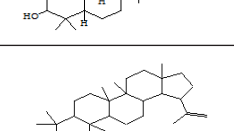
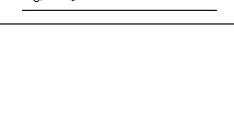
Материалы и методы. Объектом исследования являлись экстракты из плодовых тел грибов, вызывающих бурую гниль – трутовика окаймленного (*Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst.), и белую гниль – трутовиков настоящего (*Fomes fomentarius* (L.) Fr.), горбатого (*Trametes gibbosa* (Pers.) Fr.), чаги (*Inonotus obliquus* (Ach. ex Pers.) Pilát), березовой губки (*Piptoporus betulinus* (Bull.) P. Karst.), двойного (*Trichaptum biforme* (Fr.) Ryvar den), гапалопилуса гнездового (*Hapalopilus nidulans* (Fr.) P. Karst.) Из измельченных плодовых тел вещества экстрагировались метанолом в соотношении 1:10 (m/v). Исследование состава биологически активных веществ экстрактов из плодовых тел ряда дереворазрушающих грибов проводили с использованием хромато-масс-спектрометрической системы: газовый хроматограф Agilent 6850 с масс-селективным детектором Agilent 5975B. Для анализа использовалась капиллярная колонка DB-5MS (5 % Phenyl Methyl Siloxane, J&W 122–5062) длиной 60 метров, внутренним диаметром 0,25 мм. Температура инжектора – 300 °С, температура интерфейса – 300 °С. Газ-носитель – гелий, объёмная скорость газа-носителя – 1 мл/мин. Температурная программа: начальная температура термостата – 35 °С, подъём температуры со скоростью 5 °С/мин до 170 °С (изотермический режим в течение 7 минут); подъём температуры со скоростью 7 °С/мин до 280 °С (изотермический режим в течение 10 минут). Время анализа 59,71 минут. Объём пробы 1 мкл, ввод пробы со сбросом 70:1. Параметры масс-детектора: температура источника – 230 °С, температура квадруполя – 150 °С. Идентификация компонентов по масс-спектрам (с использованием библиотеки масс-спектров NIST). Относительно массы экстрактивных веществ определялось % содержание индивидуальных соединений.

Результаты и обсуждение. С использованием ГХ–МС проведено исследование состава и относительного содержания соединений, входящих в экстракты из плодовых тел ряда дереворазрушающих грибов. В экстрактах достоверно определено более 100 минорных и основных веществ. В таблице представлено состав и относительное содержание вторичных метаболитов из плодовых тел ряда дереворазрушающих грибов, вызывающих бурую и белую гниль древесины.

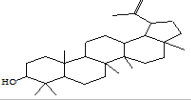
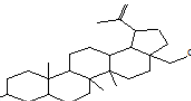
Таблица. Относительное содержание биологически активных веществ в экстрактах из плодовых тел ряда дереворазрушающих грибов

Время удержания, мин	Наименование вещества	Формула	Относительное содержание БАВ в экстрактах трутовиков, %						
			Трутовик настоящий	Траметес горбатый	Чага	Березовая губка	Трихангум двойной	Гапалопилус гнездовой	Трутовик окаймленный
10.783	Phenol, 2,6-dimethoxy- CAS 91–10-		-	-	4.98	-	-	-	-
13.005	L-Arabinitol CAS 7643–75–6		-	-	-	67.88	-	4.86	-
14.858	Sorbitol CAS 50–70–4		-	-	-	10.04	-	2.34	7.8
15.731	Hexadecanoic acid, methyl ester CAS 112–39–0		3.27	8.53	-	-	6.32	1.35	0.36

Продолжение таблицы

Время удержания, мин	Наименование вещества	Формула	Относительное содержание БАВ в экстрактах трутовиков, %						
			Трутовик настоящий	Траметес горбатый	Чага	Березовая губка	Трихапум двоякий	Гаполпиус гнездовой	Трутовик окаймленный
15.919	n-Hexadecanoic acid CAS 57-10-3		1.79	2.52	3.13	0.94	1.52	2.2	1.19
16.856	9,12-Octadecadienoic acid (Z, Z)-, methyl ester CAS 112-63-0		1,95	15.19	-	-	49.7	4.2	1.69
18.458	9-Octadecenamide, (Z)- CAS 301-02-0		11.26	8.93	11.64	2.67	10.25	11.3	5.62
30.066	Ergosterol CAS 57-87-4		20.16	6,55	2.24	5.38	5.1	13.9	30.15
31.261	7,22-Ergostadienone		15.53	-	-	-	-	-	-
32.222	.gamma.-Ergostenol CAS 516-78-9		3.69	1,43	-	-	-	4.77	4.64
30.543	Ergost-5,8(14)-dien-3-ol		-	1,78	-	-	-	-	6.56
30.541	Ergosta-7,22-dien-3-ol, (3.beta.,5.alpha.,22E)- CAS 2465-11-4		12.12	-	-	-	-	15.91	-
33.851	Lanosterol CAS 79-63-0		-	-	3.36	-	-	-	-
35.925	Betulinaldehyde		3.32	-	-	-	-	-	-
35.075	Lup-20(29)-en-3-one CAS 1617-70-5		-	5.89	-	-	-	-	-

Окончание таблицы

Время удержания, мин	Наименование вещества	Формула	Относительное содержание БАВ в экстрактах трутовиков, %						
			Трутовик настоящий	Траметес горбатый	Чага	Березовая губка	Трихаштум двоякий	Гапологиус гнездовой	Трутовик окаймленный
35.917	Lupeol CAS 545-47-1		-	6.61	-	-	-	-	-
22.104	Betulin CAS 473-98-3		5.06	14.56	30.53	-	-	5.39	-

Анализ результатов показывает, что сирингол (Phenol, 2,6-dimethoxy-) обнаружен в экстракте из чаги. Он является характерным продуктом гидролиза лигнина.

Среди всех исследованных грибов только в экстракте из березовой губки обнаружено значительное количество арабитола и сорбитола. Их относительное содержание в экстракте составляет 78,3 %. Арабитол, редкий сахарный спирт, который используется в качестве пищевой добавки для уменьшения жировых отложений в кишечнике. Сорбитол оказывает диуретическое, дезинтоксикационное, желчегонное, спазмолитическое и слабительное действие. Необходимо отметить, что в экстракте из плодовых тел березовой губки не обнаружены тритерпеновые и стероидные соединения.

В экстрактах всех исследованных видов грибов обнаружены насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты. Их суммарное содержание в зависимости от вида меняется с 8,8 % до 67,89 % у трутовика двоякого. При этом, у этого вида, метиловый эфир линолевой кислоты составляет 49,7 %.

Важными компонентами биологически активных веществ всех исследованных видов грибов являются эргостерол и его производные. Этот стерин играет важную роль в питании человека, являясь провитаминовой формой витамина D₂. Воздействие ультрафиолетового света вызывает химическую реакцию, в результате которой вырабатывается витамин D₂. Наибольшее количество этого провитамина и его производных обнаружено в трутовике настоящем и трутовике окаймленном, суммарное содержание которых составляло 51,6 % и 41,15 % соответственно [4, 8, 10–12].

Ланостерол обнаружен только в экстракте из чаги. Этот тетрациклический тритерпеноид обладает биологическими и фармакологическими свойствами, связанными с его цитотоксическим действием через индукцию апоптоза. Он является противораковым препаратом и может предотвращать развитие катаракты [11, 12].

Анализ результатов, представленных в таблице, показывает, что некоторые виды грибов содержат значительные количества различных фармакологически активных тритерпеноидных соединений. Среди них доминируют люпиол и бетулин [13, 14]. Последний содержится только в видах грибов, вызывающих белую гниль и произрастающих на березе. Наибольшее количество бетулина было обнаружено в экстракте из чаги. Лупеол обладает комплексной фармакологией, проявляющей, антимикробные, противовоспалительные, противоопухолевые свойства [14]. В качестве противовоспалительного средства лупеол действует в основном на систему интерлейкинов. Он уменьшает производство IL-4 клетками Т-хелперы типа 2. Люпинол является эффективным ингибитором развития рака предстательной железы и кожи [13, 14].

Бетулин содержался в плодовых телах трутовых грибов, произрастающих только на березе. Его относительное содержание 30,5 % было максимальное в экстракте чаги. Ранее проведенными исследованиями показано, что бетулин обладает противовоспалительными, гепатопротекторными, противовирусными и антибактериальными свойствами [11]. Он проявляет антиоксидантную и антимуtagenную активность, а также другие свойства. Бетулин не токсичен, не вызывает побочных реакций в организме [11].

Таким образом, плодовые тела трутовых грибов являются ценным сырьем для получения биологически активных веществ. Экстракт трутовика настоящего (*Fomes fomentarius* (L.) Fr.) содержит более 50 % эргостерола и его производных, которые являются провитаминовой формой витамина D₂. В трутовике горбатым (*Trametes gibbosa* (Pers.) Fr.) содержится более 26 % тетрациклических тритерпеноидов, которые проявляют противораковую активность. Для спиртового экстракта чаги (*Inonotus obliquus* (Ach. ex Pers.) Pilát) характерно наличие 30 % бетулина, при минимальном содержании эргостерола. В экстракте из березовой губки (*Piptoporus betulinus* (Bull.) P. Karst.) содержится 67,9 % арабитола, при отсутствии стероидных и тритерпеновых соединений. Трутовик окаймленный (*Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst.), содержит 30,2 % эргостерола. В экстракте трутовика двоякого (*Trichaptum bifforme* (Fr.) Ryvarden) содержится 67,8 % жирных кислот, из которых 50,0 % составляют ненасыщенные жирные кислоты.

Список литературы

1. Сушинская, Н. В. Сорбция тяжёлых металлов меланиновыми пигментами ряда дереворазрушающих грибов / Н. В. Сушинская, В. П. Курченко // Теоретическая и прикладная экология. – 2019. – № 4. – С. 73–77. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-4-083-087
2. E. Obeid, A. Salih; K. Afaf; with co-authors. Pharmacological Properties of Melanin and its Function in Health//Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology. – 2017. – V.120, No 6. – P. 515–522
3. H. Long; L. Meiying; H. Hongye; with co-authors. Recent Advances and Progress on Melanin-like Materials and Their Biomedical Applications//Biomacromolecules. – 2018. – V.19, No 6. – P. 1858–1868
4. J. Fatemehsadat, S. Masoomeh, K. Mansoor Unraveling the importance of molecules of natural origin in antifungal drug development through targeting ergosterol biosynthesis pathway // Iranian Journal Of Microbiology. – 2019. – V. 11, No 6, – P. 448–459
5. F. Zhao, G. Xia, L. Chen, J. Zhao, Z. Xie, F. Qiu, G. Han Chemical constituents from *Inonotus obliquus* and their antitumor activities // Journal of Natural Medicines. – 2016. – V.70, No 4, – P. 721–730
6. M. Zheng, R. Tang, Y. Deng, K. Yang, L. Chen, H. Li Steroids from *Ganoderma sinense* as new natural inhibitors of cancer-associated mutant IDH1 // Bioorganic Chemistry. – 2018. – V. 79, – P. 89–97 <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2018.04.016>
7. J. Baek, H. Roh, K. Baek, S. Lee, S. Song, K. Kim Bioactivity-based analysis and chemical characterization of cytotoxic constituents from Chaga mushroom (*Inonotus obliquus*) that induce apoptosis in human lung adenocarcinoma cells // Journal of Ethnopharmacology. – 2018. – V. 224, – P. 63–75 <https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.05.025>
8. K. Cetin, T. Tolga Kagan Is ergosterol a new microbiological quality parameter in foods or not? // Food Reviews International. – 2019. – V. 35, No 2, – P. 155–165.
9. Shingate, Bapurao B.; Hazra, Braja G.; Salunke, Deepak B. Synthesis and antimicrobial activity of novel oxysterols from lanosterol // Tetrahedron – 2013. – V. 69, No 52, – P. 11155–11163
10. Barreira, Joao C. M.; Oliveira, M. Beatriz P. P.; Ferreira, Isabel C. F. R. Development of a Novel Methodology for the Analysis of Ergosterol in Mushrooms // Food Analytical Methods. – 2014, – V. 7, No 1, – P. 217–223.
11. J. Jun; S. Gayrat; X. Dan Characteristics of Specialty Natural Micronutrients in Certain Oilseeds and Oils: Plastochromanol-8, Resveratrol, 5-Hydroxytryptamine Phenylpropanoid Amides, Lanosterol, Ergosterol and Cyclolinopeptides // Journal Of The American Oil Chemists Society. – 2016, – V. 93, No 2, – P. 155–170.
12. Rios, Jose-Luis; Andujar, Isabel; Recio, Maria-Carmen Lanostanoids from Fungi: A Group of Potential Anticancer Compounds // Journal Of Natural Products. – 2012. – V. 75, No 11, – P. 2016–2044
13. Rao, S. Devendra; Rao, B. Nageswara; Devi, P. Uma Isolation of Lupeol, Design and Synthesis of Lupeol Derivatives and their Biological Activity // Oriental Journal Of Chemistry. – 2017, –V. 33, No 1, – P. 173–180.
14. M. Saleem Lupeol, a novel anti-inflammatory and anti-cancer dietary triterpene // Cancer Lett. – 2009, –V. 285 (2), – P. 109–115. <https://doi.org/10.1016/j.canlet.2009.04.033> PMID: 19464787