Формулы Фармации. 2025. Т. 7, № 1. С. 10–25

ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Экспериментальная статья УДК 582/284 : 616.006 DOI: https://doi.org/10.17816/phf676790

Аспекты первичной сортировки сырья чаги (Inonotus obliquus f. sterilis)

В. В. Перелыгин¹, И. А. Наркевич¹, И. В. Змитрович², Н. Г. Венгерович^{1, 3}

¹Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия ²Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия ³Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Перелыгин Владимир Вениаминович, vladimir.pereligin@pharminnotech.com

АННОТАЦИЯ. В ходе работы проведено исследование пяти негомогенизированных образцов сырья чаги, собранных в разных районах Псковской области (Россия) и один гомогенизированный образец (в виде порошка) из Республики Сербия. Проведенный макроскопический анализ четырех образцов сырья позволил четко дифференцировать корковую зону, медуллярную часть и мицелиальную пульпу. Микроморфологический анализ всех шести образцов сырья коррелирует с вышеописанной макроморфологической дифференциацией наростов чаги и позволяет выявить имеющие диагностическое значение микроструктур гриба. Для сырья, полученного из корковой зоны, диагностическое значение имеют буроокрашенные гифальные кластеры прозенхиматической текстуры, а для сырья медуллярной зоны нароста характерно более свободное расположение гиф и наличие плеросет. Результаты морфометрического анализа позволили расширить диагноз I. obliquus f. sterilis. Показано, что для приема водных экстрактов гриба в профилактических целях предварительная сортировка частей сырья не нужна, поскольку различные фракции характеризуются различным содержанием экстрагируемых биологически активных веществ. Для фармацевтических производств, требующих спиртовую экстракцию и последующую очистку продуктов, наоборот, рекомендуется препарация базидиомы и проведение предварительной сортировки до сушки сырья. В дальнейшем определен элементный состав образцов сырья чаги методом рентгеноспектрального микроанализа на основе сравнительного анализа с применением современного аналитического метода сканирующей электронной микроскопии в условиях высокого вакуума. Для оценки элементного состава образцов использовали систему энергодисперсионного микроанализа (AZtec, Oxford Instruments). Таким образом, достигнута цель настоящей работы – морфометрический анализ различных частей грибного сырья чаги с оценкой возможностей его первичной сортировки в зависимости от целей дальнейшего использования, а результаты исследования позволили предложить аспекты дифференциации сырья чаги в ходе его первичной сортировки для дальнейшего применения в фармацевтике и производстве биологически активных добавок.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сырье чаги (*Inonotus obliquus* f. *sterilis*); дифференциация сырья; биологическая и фармацевтическая активность; морфологический анализ; морфометрический анализ; рентгеноспектральный анализ; плеросеты

ГЛОССАРИЙ:

Гомогенизация – технологический процесс, производимый над двух- или многофазной системой, в ходе которого уменьшается степень неоднородности распределения химических веществ и фаз по объему гетерофазной системы. В ходе гомогенизации могут получаться как устойчивые, так и неустойчивые гетерофазные системы; **перепутанная текстура (textura intricata)** – тип текстуры грибной плектенхимы, при котором гифы беспорядочно перепутаны и плотно упакованы; **плеросеты** – щетинковидные окончания толстостенных глеоплерозных гиф с толстыми и набухшими стенками, встречающиеся в медуллярной зоне сырья чаги, а также в мицелиальной пульпе; **склериды** – мешковидные, яйцевидные или лопастные окончания скелетных гиф, лишенные протопласта и имеющие толстую неослизненную стенку.

ВВЕДЕНИЕ

Чага (также известная как березовый гриб) является продуктом взаимодействия мицелия базидиомицета Inonotus obliquus (Fr.) Pilát (Hymenochaetales, Agaricomycetes) с ксилемой и каллусной тканью живых деревьев, в основном буковых (Fagales). Она имеет вид черных растрескавшихся наростов на стволе дерева твердой консистенции с более мягкой желтовато-коричневой сердцевиной. Мицелий гриба, вызывающего эти наросты, живет много лет в ядре и заболони живого дерева, под корой, которая отслаивается, и в местах, где она разрывается, ломается, появляются комплексные образования, известные как чага.

Долгое время возбудителем чаги ошибочно считали Phellinus igniarius [1, 2]. Только в 1938 году экспериментальные исследования установили связь между чагой и скошенным трутовиком – Inonotus obliquus [3]. Этот вид широко распространен во внетропических регионах Голарктики и поражает березу, бук, ольху, рябину и клен. Заражение происходит в основном через комлевые морозобоины. Первоначально гриб проникает в ядро, вызывая хроническую белую гниль дерева. Затем, в местах ветвления побегов, он также поражает заболонь. Когда внутри ствола накапливается мицелиальная масса, она начинает прорываться через естественные перфорации коры. Здесь гифы гриба взаимодействуют с каллусной тканью дерева, меланизируются, а при разрыве коры (обычно это происходит, когда мицелиальная масса прободает первичную перфорацию) апикальный рост гиф тормозится и образуется псевдосклероциальная пластинка плотной текстуры.

Поскольку мицелиальная масса с вкрапленными в нее продуктами деградации лигнина (т. н. песчанистозернистое ядро) продолжает расти, наросты и натеки на стволе дерева увеличиваются в размерах и растрескиваются, а их поверхность становится черной. Чага представляет собой сложное образование со значительным участием древесного материала, сочетающее в себе характеристики песчанисто-зернистого ядра и псевдосклероциальной пластинки [4]. Помимо внешнего древесного материала, частично модифицированного грибными лакказами, гифы фронтального мицелия *I. obliquus*, участвующие в образовании чаги, поглощают и накапливают синтезируемый клетками дерева бетулин, содержание которого во внешней черной «корке» чаги может достигать 30%. Кроме того, используя окислительные ферменты, гриб вырабатывает собственные меланины из полифенольного материала, поглощенного в результате разложения лигнина, который он откладывает снаружи склеротизированных гиф вторичного мицелия [5, 6]. Таким образом, чага как лекарственное сырье неоднородна. Внешняя черная часть наростов содержит бетулин и богата меланинами, а внутренняя часть – буровато-желтая с прожилками белого мицелия и аморфными древесными остатками – богата ланостановыми производными, полисахаридами и полифенольными соединениями древесного происхождения.

Задачей данной работы является морфометрический анализ различных частей сырья чаги с оценкой возможностей его первичной сортировки в зависимости от целей дальнейшего использования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Были проанализированы пять негомогенизированных образцов сырья чаги, собранных в Псковской области (Россия), и один гомогенизированный образец (в виде порошка) со склада субстанций фармацевтического предприятия в Белграде (Республика Сербия), информация о которых приведена в таблице 1.

Сырье для производства чаги было собрано на экспериментальных пробных площадях, описанных нами ранее [7]. Наросты чаги были отделены от ствола топором, а затем первично высушены в сухом тенистом месте. Первично высушенный материал делили на конкреции размером примерно 2,5 × 2,5 см (табл. 1), а в одном экспериментальном образце измельчили с помощью блендера. Затем материал высушивали с помощью блендера. Затем материал высушивали с помощью вакуумной сушилки и хранили в пластиковых коробках с плотно притертой крышкой. Материал хранился на кафедре промышленной экологии Санкт-Петербургской химикофармацевтическом университете.

Микроскопический анализ сырья чаги проводили на микроскопе Микмед-6 с окуляром ×16 и объективами ×10, ×40 и ×100. Диаметр рабочего поля микроскопа составлял 500 мкм при объективе ×40. Исследование микроструктур проводили в дистиллированной воде. Каждую структуру измеряли в 30 повторностях на образец. Принадлежность микроструктур к тому или иному виду подтверждалась дополнительным исследованием в 5%-м p-pe KOH, реактиве Мельцера и Cotton Blue.

Табл.	1.
Table	1

Origin of analyzed chaga raw material samples				
No.	Страна, регион	Координаты	Субстрат и его состояние	Средний размер сечения конкрементов сырья, мм
1	Россия, Псковская обл.	58.639632,29.011217	Betula pendula	27
2	Россия, Псковская обл.	58.638760,29.023410	Betula pendula	26
3	Россия, Псковская обл.	58.638760,29.023410	Betula pendula	21
4	Россия, Псковская обл.	58.646605,29.020485	Betula pendula	28
5	Россия, Псковская обл.	58.632867,29.033473	Betula pendula	24
6	Республика Сербия	-	Betula pendula	0,3

Происхождение анализируемых образцов сырья из чаги

РЕЗУЛЬТАТЫ

Макроморфологический анализ. На поперечном срезе наростов чаги выявляется кортикальная зона (темного цвета, плотная, хрупкая), медуллярная зона (коричневорыжеватая и более мягкая) и мицелиальная пульпа (зерна и прожилки мицелия, проникающие в медуллярную зону от основания нароста и окрашивающие ее в беловатожелтовато-золотистый цвет). Медуллярную зону вкупе с мицелиальной пульпой именуют иногда песчанисто-зернистым ядром. Абсолютно черная корковая зона является продуктом взаимодействия гриба с корой березы. Толщина корковой зоны зависит от толщины коры дерева и скорости роста гриба. Мицелиальная пульпа и медуллярная ткань постоянно увеличиваются в объеме в течение одного или нескольких вегетационных периодов.

Цель макроскопического морфометрического анализа состояла в том, чтобы определить соотношение этих трех тканевых элементов в усредненной единице сырья чаги. Для измерения соотношения площадей на каждом полигоне был сделан срез шириной 5 мм, пересекающий прожилки мицелия, медуллярную часть и корку. Данные макроморфологического анализа исследуемого сырья обобщены в таблице 2.

Площадь корковой зоны на изученных участках варьировала от 4 до 37%, чаще всего колеблясь вокруг 15%. Принимая во внимание изменчивость местных условий и скорость нарастания чаги в течение сезона, наиболее вероятная прогнозная оценка площади зоны образования корки сырья составит 20% от общей приведенной площади.

Площадь медуллярной зоны на исследованных срезах варьировала от 5 до 90%, чаще всего колеблясь вокруг 65%. Принимая во внимание изменчивость местных условий и скорость нарастания чаги в течение сезона, наиболее вероятная прогнозная оценка площади медуллярной зоны сырья составит 56% от общей приведенной площади.

> Табл. 2. Table 2.

Macroscopic analysis of chaga raw material			
Секция №	Площадь корки, %	Площадь медуллярной зоны, %	Площадь мицелиальной пульпы, %
		Образец № 1	
1	5	19	76
2	4	18	78
3	10	5	85
4	15	76	9
5	3	85	12
		Образец № 2	
1	14	55	31
2	16	59	25
3	8	90	2
4	15	81	4
5	19	76	5
		Образец № 3	
1	35	63	2
2	15	68	17
3	33	32	35
4	37	24	39
5	12	80	8
		Образец № 4	
1	34	64	2
2	25	71	4
3	31	62	7
4	17	78	5
5	9	80	11
Образец № 5			
1	8	77	15
2	27	9	64
3	37	26	37
4	21	65	14
5	15	40	45

Макроморфологический анализ сырья чаги



Рис. 1. Макроморфологическая дифференциация сырья чаги (слева) и соответствующие основным зонам нароста микроструктуры: 1 – поперечный срез конкреции сырья чаги; 2 – меланизированные псевдоскелетные гифы (pseudoskeletal hyphae – ph), составляющие основу корковой зоны (cortical zone – ct); 3 – плотно упакованные генеративные гифы и плеросеты (plerosetae – ps), составляюющие основу медуллярной зоны (medullar tissue – mt); 4 – свободно расположенные генеративные гифы (generative hyphae – gh), составляющие основу мицелиальной пульпы (mycelial pulp – mp). Масштаб: 1 – 1 мм; 2–4 – 10 мкм

Fig. 1. Macromorphological differentiation of chaga raw material (left) and microstructures corresponding to the main growth zones: 1 – cross-section of chaga raw material concretion; 2 – melanized pseudoskeletal hyphae (ph), forming the basis of the cortical zone (ct); 3 – densely packed generative hyphae and plerosetae (ps), forming the basis of the medullary tissue (mt); 4 – freely located generative hyphae (gh), forming the basis of the mycelial pulp (mp). Scale: 1 – 1 mm; 2–4 – 10 µm

Площадь мицелиальной пульпы на исследованных срезах варьировала от 2 до 85%, с большим разбросом вокруг 39%. Принимая во внимание изменчивость местных условий и скорость нарастания чаги в течение сезона, наиболее вероятная прогнозная оценка площади мицелиальной пульпы сырья составит 21% от общей приведенной площади.

Микроморфологический анализ. На микроморфологическом уровне основу сырья чаги во всех трех зонах составляет гифальная масса с аморфными депозитами между гиф, причем среди отложений основную роль играют модифицированные формы лигнина. В корковой зоне гифы расположены очень плотно, образуя прозенхиматическую или перепутанную текстуру. В медуллярной зоне гифы лежат более свободно, причем большая роль принадлежит специфическим запасающим гифальным элементам, которые мы предлагаем называть плеросетами, являющимися имеющими протопласт аналогами склерид. Они отличаются от щетинок и склерид сильно набухшими стенками, богатыми β-глюканами, и очень узким просветом. В зоне мицелиальной пульпы гифы обычно не пигментированы, довольно сильно разветвлены, образуя рыхлую перепутанную текстуру (рис. 1).

Размеры микроструктур обнаруженных в исследуемом материале приведены в таблице 3.

Как видно из таблицы 3, в кортикальной зоне гифы наиболее плотно упакованы, имеют в среднем меньший диаметр и образуют прозенхиматическую и перепутанную текстуру. Гифы, проросшие сквозь пробковую ткань березы, заполнены буроватым содержимым (меланины, бетулин). Их диаметр варьирует от 1,3 до 4,2 мкм, в основном он колеблется в пределах 1,5–3,5 мкм, их стенки слегка утолщены. Как и у других представителей семейства гименохетовых, гифы *I. obliquus* не имеют пряжек. Наблюдаются эпипариетальные и свободные отложения модифицированного лигнина.

В медуллярной зоне гифы расположены более свободно. Их диаметр варьирует от 1,5 до 13,9 мкм (вздутия возникают из-за того, что клеточная стенка разбухает, расширяясь внутрь и наружу), а средние значения составляют около 2,5–8 мкм. Наиболее характерным гифальным элементом здесь являются запасающие гифы, имеющие щетинкоподобные окончания. Мы предлагаем называть эти имеющие протопласт и сильно набухающие в воде структуры плеросетами. Они являются основным депо β -глюканов, легко извлекаемых водой из сырья чаги. Их длина в медуллярной ткани колеблется от 17 до 35,5 мкм, а ширина – от 2,5 до 16,8 мкм. В гомогенате, где многие гифы разрушились вследствие сушки, эти структуры помогают диагностировать сырье чаги.

В прожилках мицелиальной пульпы мы наблюдаем картину, сходную с таковой в медуллярной ткани, но гифы здесь более плотно переплетены и менее пигментированы. Ширина гиф колеблется в пределах 1,4–10,5 мкм (модальный диапазон – 1,5–8,4 мкм), плеросеты укладываются в диапазон 15,5–37,6 × 2,4–15,8 мкм. Иногда наблюдаются фрагменты гиф, апикально заканчивающиеся плеросетами.

Микроструктура различных зон наростов чаги*

Табл. 3. Table 3.

Образец №	Корковая зона	Медуллярная зона	Мицелиальная пульпа
1	гифы 1,5–3,7 мкм в диам., буроватые	гифы 2,5-12,5 мкм в диам., пле-	гифы 1,4-8,4 мкм в диам., пле-
	до золотисто-желтых, прозенхимати-	росеты 19-35,5 × 3,5-10,7 мкм,	росеты 23,5-37,6 × 3,4-12,3 мкм,
	ческой или перепутанной текстуры	гиалиновые до золотисто-желтых	гиалиновые
2	гифы 1,3–3,8 мкм в диам., буроватые	гифы 1,5-10,5 мкм в диам., пле-	гифы 1,5-8,5 мкм в диам., пле-
	до золотисто-желтых, прозенхимати-	росеты 17-33,5 × 3,5-10,5 мкм,	росеты 18-35,6 × 3,5-15,5 мкм,
	ческой или перепутанной текстуры	гиалиновые до золотисто-желтых	гиалиновые
3	гифы 1,9–4,2 мкм в диам., буреющие,	гифы 1,8−12,9 мкм в диам., пле-	гифы 1,5–7,4 мкм в диам., плеро-
	прозенхиматической или перепутан-	росеты 18−35,0 × 2,5−16,8 мкм,	сеты 18,5–35,7 × 3,0–13,0 мкм,
	ной текстуры	гиалиновые до золотисто-желтых	гиалиновые
4	гифы 1,5–3,7 мкм в диам., буроватые	гифы 2,5-12,5 мкм в диам., пле-	гифы 1,4-8,4 мкм в диам., пле-
	до золотисто-желтых, прозенхимати-	росеты 19-35,5 × 3,5-10,7 мкм,	росеты 23,5-37,6 × 3,4-12,3 мкм,
	ческой или перепутанной текстуры	гиалиновые до золотисто-желтых	гиалиновые
5	гифы 1,4–3,0 мкм в диам., буроватые	гифы 1,5−13,9 мкм в диам., пле-	гифы 1,5−10,5 мкм в диам., пле-
	до золотисто-желтых, прозенхимати-	росеты 18−29,5 × 3,5−10,5 мкм,	росеты 15,5−31,6 × 2,4−15,8 мкм,
	ческой или перепутанной текстуры	гиалиновые до золотисто-желтых	гиалиновые
6	Было исследовано 30 препаратов гомогената; редкие гифы диаметром от 1,5 до 12,5 мкм, от гиалиновых до коричневатых, редкие плеросеты от 14,5 до 45,6 × 2,5–25,0 мкм		

Примечание: *изучено 30 микроструктур каждого типа.

Табл. 4.

		Table A	
Summary of detected metals data			
№ образца	Источник	Металлы	
1	Природный, мертвое дерево	Mg, Na, Rb	
2	Природный, живое дерево	Rb, Sn	
3	Природный, живое дерево	Mg, Na, Rb, Ni, Mn, Mo	
4	Природный, живое дерево	Mg	
5	Природный, живое дерево	Na, Mo	
6	Природный, живое дерево	-	

Сводные данные по обнаруженным металлам

Следует сказать несколько слов о гомогенате (образец № 6). Это масса, состоящая, как правило, из мелких субглобозных слегка угловатых частиц коричневого цвета (светло-коричневый – argillaceus, б4 по шкале А. С. Бондарцева [8]), со средним размером сечения 0,2 мм, получаемая путем измельчения сырья в блендере и последующей вакуумной сушки. Микроскопический анализ материала показал, что основой для его создания послужила медуллярная ткань и мицелиальная пульпа, поскольку темноокрашенные гифальные скопления, характерные для корковой зоны наростов чаги, практически отсутствовали. Но даже в таком виде сырье могло быть идентифицировано благодаря наличию сохранившихся плеросет.

По результатам энергодисперсионного микроанализа исследуемый образец (Сербия) содержит заметную примесь калия. Наличие натрия и серы в образце может быть результатом внешнего загрязнения материала.

По результатам энергодисперсионного микроанализа, как в исследуемом образце из Республики Сербии, так и в пяти образцах, собранных в Псковской области (табл. 4), помимо основных элементов, составляющих основу органических соединений, во всех образцах присутствуют и другие примеси, такие как натрий, магний, молибден, рубидий, кальций, марганец, олово и никель, причем наиболее часто встречаются натрий и магний. Эти данные говорят о том, что *l. obliquus* способен к биоаккумуляции ионов металлов. Образец № 3 выделяется содержанием шести различных металлов. В связи с тем, что энергии характеристического излучения некоторых элементов близки, что затрудняет их разделение и идентификацию (например, характеристическая линия спектра золота с энергией 1,648 кэВ и линия спектра рубидия с энергией 1,694 кэВ, или характеристические линии спектра калия с энергиями 3,311 кэВ, 3,314 кэВ и 3,590 кэВ и линии олова 3,272 кэВ, 3,444 кэВ и 3,666 кэВ), для более точной идентификации примесного состава рекомендуется применение дополнительных аналитических методов.

Образец 1

На рисунке 2 представлены SEM-изображения частицы и морфология поверхности образца 1. Энергодисперсионный микроанализ проводился на 3 различных участках. Анализ показал, что в образце 1 присутствует большое калия (К), также в образце присутствуют примеси кальция (Са), магния (Mg), натрия (Na) и рубидия (Rb). Наличие золота (Au) обуславливается нанесением тонкого проводящего слоя золота на образец (рис. 3).



Рис. 2. SEM-изображения образца 1: *a* – частица образца 1, ×90; *b* – поверхность образца (участок 1) ×650, *c* – поверхность образца (участок 2), ×2000, *d* – поверхность образца (участок 3), ×2700

Fig. 2. SEM images of Sample 1: a – Particle of Sample 1, ×90; b – Surface of the sample (Region 1) ×650; c – Surface of the sample (Region 2), ×2000; d – Surface of the sample (Region 3), ×2700



Рис. 3. Суммарные спектры элементного состава образца 1: a – участок 1, b – участок 2, c – участок 3 Fig. 3. Overall spectra of the elemental composition of Sample 1: a – Region 1, b – Region 2, c – Region 3

На рисунке 4 представлены SEM-изображения частицы и морфология поверхности образца 2. Энергодисперсионный микроанализ проводился на 3 различных участках. Анализ показал, что в образце 2 присутствует большое количество калия (K), также в образце присутствуют примеси рубидия (Rb) и олова (Sn). Наличие золота (Au) обуславливается нанесением тонкого проводящего слоя золота на образец (рис. 5).



Рис. 4. SEM-изображения образца 2: *a* – частица образца 2, ×85; *b* – поверхность образца (участок 1) ×1500, *c* – поверхность образца (участок 2), ×1500, *d* – поверхность образца (участок 3), ×1900

Fig. 4. SEM images of Sample 2: a – Particle of Sample 2, ×85; b – Surface of the sample (Region 1), ×1500; c – Surface of the sample (Region 2), ×1500; d – Surface of the sample (Region 3), ×1900



Рис. 5. Суммарные спектры элементного состава образца 2: a – участок 1, b – участок 2, c – участок 3 Fig. 5. Overall spectra of the elemental composition of Sample 2: a – Region 1, b – Region 2, c – Region 3

На рисунке 6 представлены SEM-изображения частицы и морфология поверхности образца 3. Энергодисперсионный микроанализ проводился на 3 различных участках. Анализ показал, что в образце 3 присутствует большое количество калия (К), также в образце присутствуют примеси магния (Mg), натрия (Na), рубидия (Rb), никеля (Ni), марганца (Mn) и молибдена (Mo). Наличие золота (Au) обуславливается нанесением тонкого проводящего слоя золота на образец (рис. 7).



Рис. 6. SEM-изображения образца 3: *a* – частица образца 3, ×70; *b* – поверхность образца (участок 1), ×1000, *c* – поверхность образца (участок 2), ×2000, *d* – поверхность образца (участок 3), ×2400

Fig. 6. SEM images of Sample 3: a – Particle of Sample 3, ×70; b – Surface of the sample (Region 1), ×1000; c – Surface of the sample (Region 2), ×2000; d – Surface of the sample (Region 3), ×2400







Рис. 7. Суммарные спектры элементного состава образца 3: a – участок 1, b – участок 2, c – участок 3 Fig. 7. Overall spectra of the elemental composition of Sample 3: a – Region 1, b – Region 2, c – Region 3

На рисунке 8 представлены SEM-изображения частицы и морфология поверхности образца 4. Энергодисперсионный микроанализ проводился на 3 различных участках. Анализ показал, что в образце 4 присутствует большое количество калия (К), также в образце есть примесь магния (Mg). Наличие золота (Au) обуславливается нанесением тонкого проводящего слоя золота на образец (рис. 9).



Рис. 8. SEM-изображения образца 4: *a* – частица образца 4, ×60; *b* – поверхность образца (участок 1) ×600, с – поверхность образца (участок 2), ×800, *d* – поверхность образца (участок 3), ×930

Fig. 8. SEM images of Sample 4: a – Particle of sample 4, ×60; b – Surface of the sample (Region 1), ×600; c – Surface of the sample (Region 2), ×800; d – Surface of the sample (Region 3), ×930



Рис. 9. Суммарные спектры элементного состава образца 4: a – участок 1, b – участок 2, c – участок 3 Fig. 9. Overall spectra of the elemental composition of Sample 4: a – Region 1, c – Region 2, c – Region 3

На рисунке 10 представлены SEM-изображения частицы и морфология поверхности образца 5. Энергодисперсионный микроанализ проводился на 2 участках. Анализ показал, что в образце 5 присутствует большое количество калия (К), также в образце присутствуют примеси натрия (Na) и молибдена (Mo). Наличие золота (Au) обуславливается нанесением тонкого проводящего слоя золота на образец (рис. 11).

Образец 6

На рисунке 12 представлены SEM-изображения поверхности частиц исследуемого образца сырья Чаги (Сербия).



Рис. 10. SEM-изображения образца 5: a – частица образца 5 (участок 1), ×72; b – поверхность образца (участок 2) ×610 Fig. 10. SEM images of Sample 5: a – Particle of Sample 5 (Region 1), ×72; b – Surface of the sample (Region 2), ×610



Рис. 11. Суммарные спектры элементного состава образца 5: a – участок 1, b – участок 2 Fig. 11. Overall spectra of the elemental composition of Sample 5: a – Region 1, b – Region 2



Рис. 12. SEM-изображение частиц исследуемого образца, (a – увеличение ×890, b – увеличение ×580, детектор SE, напряжение 1 кВ) Fig. 12. SEM image of particles of the analyzed sample (a – ×890 magnification, b – ×580 magnification, SE detector, 1 kV voltage)



Рис. 13. Суммарный спектр элементного состава исследуемого образца Fig. 13. Overall spectrum of the elemental composition of the analyzed sample



Рис. 14. Карта распределения химических элементов в исследуемом образце Fig. 14. Map of the distribution of chemical elements in the analyzed sample

Энергодисперсионный микроанализ образцов показал, что в образцах присутствует большое калия (К) и следовые количества натрия (Na) и серы (S) (рис. 13).

На рисунке 14 показаны карты распределения калия, кислорода и углерода в образце. Наличие натрия и серы в образце может быть результатом внешнего загрязнения материала.

обсуждение

В ходе исследования обращают на себя внимание выступающие из коры наросты характеризующиеся внешней структурой типа псевдосклероциальной пластинки и внутренней структурой типа песчанисто-зернистого ядра. Наросты от 3 до 35 см в диаметре, гемисферические, трехчастные или неправильной формы, с растреснутой черно-коричневой до черной поверхностью (корка). Внутренняя часть наростов дифференцирована на медуллярную зону без мицелиальных прожилок и богатую прожилками мицелиальную пульпу ближе к основанию нароста. Гифальная система псевдодимитическая. Гифы без пряжек. В кортикальной зоне псевдоскелетные гифы расположены наиболее плотно, имеют в среднем меньший диаметр и образуют прозенхиматическую и перепутанную текстуру. Гифы, прободающие пробковую ткань дерева, заполнены буроокрашенным содержимым. Их диаметр варьирует от 1,3 до 4,2 мкм, в основном колеблется в пределах 1,5-3,5 мкм, их стенки утолщены.

В медуллярной ткани генеративные гифы гиалиновые или золотисто-желтые. Их диаметр варьирует от 1,5 до 13,9 мкм, а средние значения – от 2,5 до 8 мкм. Плеросеты от гиалиновых до золотисто-желтых. Их длина в медуллярной ткани колеблется между 17 и 35,5 мкм, а ширина – между 2,5 и 16,8 мкм. В прожилках мицелиальной пульпы мы наблюдаем картину, сходную с таковой в медуллярной ткани, но генеративные гифы там более плотно сплетены и менее пигментированы. Ширина гиф колеблется в пределах 1,4–10,5 мкм (модальный диапазон – 1,5–8,4), плеросеты укладываются в диапазон 15,5–37,6 × 2,4–15,8 мкм. Иногда наблюдаются фрагменты гиф, апикально заканчивающихся плеросетами. Настоящие щетинки в стерильных наростах обычно отсутствуют.

Микроморфометрический анализ показал, что макроскопическая картина дифференциации сырья чаги на наружный кортикальный слой, следующую за ним по глубине медуллярную зону и базальное гнездо мицелиальной пульпы полностью подтверждается микроскопическими картинами, имеющими диагностическое значение. В корковой зоне можно наблюдать меланизированные плотно упакованные гифы, хранящие вещества, накопленные за период взаимодействия гриба с живым деревом. В медуллярной зоне мы видим аморфные отложения лигнина и более свободно расположенные гифы и плеросеты, накапливающие β-глюканы, а в зоне пульпы мы наблюдаем мицелиальные структуры, характерные для вегетативного мицелия гриба и его базидиомы.

Здесь мы подходим к важному тезису о функциональной гетерогенности сырья чаги и необходимости его дальнейшей сортировки.

Основным компонентом корковой зоны, представляющим фармакологический интерес, является бетулин. Это белое кристаллическое или смолистое вещество (тритерпеновый спирт), которое заполняет полости клеток пробковой ткани ряда лиственных деревьев (в частности, березы и ольхи). В процессе ферментативного окисления из него образуется бетулиновая кислота [3β-гидрокси-20(29)лупаен-28-оиновая кислота] – пентациклический тритерпеноид с выраженной биологической активностью, преимущественно проапоптотической [9, 10]. Основным комплексом, выделяемым из сырья медуллярной ткани чаги, являются β -глюканы – они выделяются из сырья чаги в заметных количествах [11, 12]. В основополагающей работе по β -глюканам чаги метод щелочной экстракции полисахаридов сравнивался с методом ферментативного расщепления с последующим гравиметрическим анализом. Количество неочищенного β -глюкана, полученного методом щелочной экстракции, составило 13,7 г на 100 г образца, а методом ферментативного расщепления – 15,3 г на 100 г [12]. Биологическая активность β -глюканов, выделенных из сырья чаги, была продемонстрирована экспериментально [13–16].

Недифференцированный мицелий чаги, составляющий основу мицелиальной пульпы, способен накапливать ланостановые тритерпеноиды – производные полициклического углеводорода ланостана (или 4,4,14α-триметилхолестана). Они характеризуются довольно компактной молекулярной структурой и высокой реакционной способностью. Попадая внутрь клетки, эти вещества вступают в реакцию с факторами транскрипции и низкомолекулярными медиаторами полиферативного сигналинга, а также с некоторыми мембранными и ядерными рецепторами клетки, обычно инактивируя их. Их биологическая активность связана с этим, по сути, ингибирующим эффектом. Ланостановые тритерпеноиды, содержащиеся в чаге, были изучены достаточно тщательно [17–19]. Среди них наиболее выраженной фармакологической активностью обладает инотодиол, оказывающий выраженное антипролиферативное и проапоптотическое действие [20, 21]. Данные о высокой биологической активности инотодиола были подтверждены серией тестов на экспериментальных наборах раковых клеток [22-24].

Таким образом, открывается возможность первичной сортировки сырья чаги по меньшей мере на три фракции: фракцию корки, фракцию медуллярной ткани и фракцию мицелиальной пульпы, что технически легко осуществить сразу после сбора в полевых условиях перед сушкой материала. В таком состоянии корка легко отделяется от медуллярной ткани любыми режущими инструментами, равно как медуллярная ткань легко отделяется от мицелиальной пульпы. Но очевидно, что такая процедура востребована именно для фармакологического производства. Для традиционного использования сырья чаги в водных экстрактах, напротив, важно, чтобы в сырье были все три компонента (хотя бетулиновая кислота плохо экстрагируется водой). Такое сырье используется для производства сухого порошка, хотя также подходят формы, содержащие частицы большего размера (один сантиметр и более).

список источников

1. Ячевский А. А. Определитель грибов. Совершенные грибы / А. А. Ячевский. – Петроград, 1913. – Т. 1.

2. Ванин, С. И. Лесная фитопатология / С. И. Ванин. – Ленинград: Лесбумиздат, 1934. – 422 с.

3. Campbell A. H., Davidson R. W. A Poria obliqua as the fruiting stage of the fungus causing the sterile conks on birch // Mycologia. 1938; 30: 553–60.

выводы

 Чага является стерильной формой гименохетоидного гриба Inonotus obliquus и структура несет следы взаимодействия мицелия гриба с живым деревом.

 Наросты чаги гистологически дифференцированы, поэтому сырье чаги неоднородно. Кора содержит продукты взаимодействия гриба с деревом, в частности, бетулиновую кислоту, сердцевинная ткань содержит запасающие гифы, богатые β-глюканами, тогда как из мицелиальной пульпы можно извлечь ланостановые производные.

3. Микроморфологический анализ подтверждает макроскопическую дифференциацию сырья чаги и помогает выявить диагностические микроструктуры. Для сырья из корковой зоны таковыми являются коричневые скопления гиф прозенхиматической текстуры. Для сырья медуллярной зоны характерно наличие запасающих гиф. Мы вводим морфологический термин «плеросеты» для не утративших плазматическое содержимое элементов с сильно разбухающей в воде клеточной стенкой. Сырье мицелиальной пульпы характеризуется свободно переплетенным мицелием textura intricata с небольшим количеством плеросет.

4. Микроморфометрический анализ сырья с целью поиска фальсификата особенно важен для измельченного в порошок материала. Хорошей диагностической структурой *I. obliquus* при отнесении грибного порошка являются плеросеты, которые, в отличие от более тонких гиф, не разрушаются при вакуумной сушке.

5. Необходимость сортировки сырья чаги определяется целями его использования. Для водной экстракции с целью приема гриба в профилактических целях предварительная сортировка не требуется. Для фармацевтического производства, требующего спиртовой экстракции и последующей очистки продукции, разделение сырья чаги на фракции на этапе перед сушкой является технически достаточно простой процедурой (отделение сердцевинной ткани от корки и мицелиальной мякоти режущими инструментами).

6. Энергодисперсионный микроанализ позволил установить основные элементы в составе всех шести образцов чаги и выявить наличие ряда примесей. Полученные данные указывают на необходимость дальнейших исследований с использованием более точных аналитических методов для идентификации и количественной оценки примесного состава, что позволит определить влияние микроэлементов на биологическую активность чаги и ее применение в фармацевтической и пищевой промышленности.

4. Balandaykin M. E., Zmitrovich I. V. Review on Chaga medicinal mushroom, Inonotus obliquus (higher basidiomycetes): realm of medicinal applications and approaches on estimating its resource potential // International Journal of Medicinal Mushrooms. 2015; 17: 95–104. doi: 10.1615/IntJMedMushrooms.v17.i2.10.

5. Kahlos K., Lesnau A., Lange W., et al. Preliminary tests of antiviral activity of two Inonotus obliquus strains // Fitoterapia. 1996; 6: 344–7.

6. Babitskaya V., Bisko N., Mitropolskaya N. I. Melanin complex from medicinal mushroom Inonotus obliquus (Pers.: Fr.) Pilat (Chaga) (Aphyllophoromycetidae) // International Journal of Medicinal Mushrooms. 2002; 4: 139–45.

7. Парамонов С. Г., Жариков М. В., Перелыгин В. В., Змитрович И. В. Выращивание агарикомицетов на стволах малого диаметра в условиях постагрогенных ландшафтов Псковской области // Научно-агрономический журнал. 2024. № 2 (125). С. 22–28. doi: 10.1134/S001249662470128X.

8. Бондарцев А. С. Трутовые грибы Европейской части СССР и Кваказа. / А. С. Бондарцев. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1953. 1106 с.

9. Змитрович И. В., Денисова Н. П., Баландайкин М. Э., Белова Н. В., Бондарцева М. А., Переведенцева Л. Г., Перелыгин В. В., Яковлев Г. П. Чага и ее биоактивные комплексы: история и перспективы // Формулы Фармации. 2020. Т. 2, № 2. С. 84–93. doi: 10.17816/phf34803/2713-153X-2020-2-2-84-93.

10. Kumar P., Bhadauria A. S., Singh A. K., et al. Betulinic acid as apoptosis activator: molecular mechanisms, mathematical modeling and chemical modifications // Life Science. 2018; 209: 24–33. doi: 10.1016/j.lfs.2018.07.056.

11. Moradali M. F., Mostafavi H., Ghods S., et al. Immunomodulating and anticancer agents in the realm of macromycetes fungi (macrofungi) // International Immunopharmacology. 2007; 7: 701–24.

12. Rhee S. J., Cho S. Y., Kim K. M., Cha D. S., Park H. J. A comparative study of analytical methods for alkali-soluble β -glucan in medicinal mushroom, Chaga (Inonotus obliquus) // LWT–Food Science and Technology. 2008; 41: 545–9. doi: 10.1016/j.lwt.2007.03.028.

13. Kim Y. R. Immunomodulatory activity of the water extract from medicinal mushroom Inonotus obliquus // Mycobiology. 2005; 33 (3): 158–62. doi: 10.1016/j.lfs.2005.02.023. 34.

14. Kim Y. O., Han S. B., Lee H. W. et al. Immuno-stimulating effect of the endo-polysaccharide produced by submerged culture of Inonotus obliquus // Life Sci. 2005;77 (19): 2438–56. doi: 10.1016/ j.lfs.2005.02.023. 15. Song Y., Hui J., Kou W. et al. Identification of Inonotus obliquus and analysis of antioxidation and antitumor activities of polysaccharides // Current Microbiology. 2008; 57: 454–62. doi: 10.1007/s00284-008-9233-6.

16. Won D. P., Lee J. S., Kwon D. S. et al. Immunostimulating activity by polysaccharides isolated from fruiting body of Inonotus obliquus // Molecules. Cells. 2011;31(2):165–73. doi: 10.1007/S10059-011-0022-x.

17. Kahlos K., Schantz M. V., Hiltunen R. 3 β-hydroxylanosta-8, 24-dien21, a new triterpene from Inonotus obliquus // Acta Pharmaceutica Fennica. 1984;92:197–8.

18. Kahlos K., Hiltunen R. Gas chromatographic mass spectrometric study of some sterols and lupines from Inonotus obliquus // Acta Pharmaceutica Fennica. 1987; 96: 85–9.

19. Kahlos K., Hiltunen R. Gas chromatographic mass spectrometric identification of some lanostanes from Inonotus obliguus // Acta Pharmaceutica Fennica. 1988; 97: 45–90.

20. Zheng W. F., Liu T., Xiang X. Y., Gu Q. Sterol composition in fieldgrown and cultured mycelia of Inonotus obliquus // Yao Xue Xue Bao. 2007;42:750–6.

21. Nomura M., Takahashi T., Uesugi A. et al. Inotodiol, a lanostane triterpenoid, from Inonotus obliquus inhibits cell proliferation through caspase-3-dependent apoptosis // Anticancer Research. 2008; 28: 2691–6.

22. Jiang J. H., Dou Y., Feng Y. J., Bondartseva M. A. et al. The antitumor activity and MDR reversal properties of constituents from Inonotus obliquus // Mikologiya i fitopa-tologiya. 2007; 41: 455–60.

23. Zhong X. H., Kuang R., Lu S. J. et al. Progress of research on Inonotus obliquus // China Journal of Integrative Medicine. 2009; 15: 156–60. doi: 10.1007/s11655-009-0156-2.

24. Chung M. J., Chung C. K., Jeong Y. et al. Anticancer activity of subfractions containing pure compounds of Chaga mushroom (Inonotus obliquus) extract in human cancer cells and in Balbc/c mice bearing Sarcoma-180 cells // Nutritional Research Pract. 2010; 4:177–82. doi: 10.4162/ nrp.2010.4.3.177.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Владимир Вениаминович Перелыгин – д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой промышленной экологии Санкт-Петербургского государственного химико-фармацевтического университета Министерства здравоохранения Российской Федерации; главный редактор, Издательства «Северо-Западный институт медико-биологических проблем и охраны окружающей среды», Санкт-Петербург, Россия, vladimir.pereligin@pharminnotech.com

Игорь Анатольевич Наркевич – д-р фармацевт. наук, профессор, ректор Санкт-Петербургского государственного химико-фармацевтического университета Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия, igor.narkevich@pharminnotech.com

Иван Викторович Змитрович – д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории систематики и географии грибов Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия, iv_zmitrovich@mail.ru

Николай Григорьевич Венгерович – д-р мед. наук, доцент, начальник отдела Государственного научно-исследовательского испытательного института военной медицины Министерства обороны Российской Федерации; профессор кафедры промышленной экологии Санкт-Петербургского государственного химико-фармацевтического университета Министерства здравоохранения российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия, nickolai.vengerovich@pharminnotech.com

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 03.03.2025 г., одобрена после рецензирования 20.03.2025 г., принята к публикации 30.03.2025 г.

Статья доступна по лицензии СС BY-NC-ND 4.0 International © Эко-Вектор, 2025

Pharmacy Formulas. 2025. Vol. 7, no. 1. P. 10-25

PHARMACEUTICAL SCIENCES

Experimental article

Aspects of primary chaga raw material sorting (Inonotus obliquus f. sterilis)

Vladimir V. Perelygin¹, Igor A. Narkevich¹, Ivan V. Zmitrovich², Nikolay G. Vengerovich^{1, 3}

¹Saint Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University, Saint Petersburg, Russia ²Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia ³State Research and Testing Institute of Military Medicine of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

Corresponding author: Vladimir V. Perelygin, vladimir.pereligin@pharminnotech.com

ABSTRACT. In this study, we investigated five non-homogenized chaga raw material samples collected from different regions of the Pskov Region (Russia) and one homogenized sample (in powder form) from the Republic of Serbia. Macroscopic analysis of the four raw material samples allowed for clear differentiation of the crustal zone, medullary region, and mycelial pulp. Micromorphological analysis of all six raw material samples correlated with the aforementioned macroscopic differentiation of the chaga outgrowths and allowed for the identification of diagnostically significant microstructures. For raw material obtained from the crustal zone, brownish-stained hyphal clusters of prosenchymatous texture are diagnostically significant. For raw material from the medullary region of the outgrowth, a more open arrangement of hyphae and the presence of pleurocetes are characteristic. The results of the morphometric analysis allowed for the expansion of the diagnosis of *I. obliquus* f. sterilis. It was shown that for the intake of aqueous extracts of the fungus for prophylactic purposes, preliminary sorting of raw material parts is not necessary, since different fractions are characterized by different contents of extractable biologically active substances (crust - betulinic acid predominates, medullary region of the outgrowths – β -glucans and melanins, mycelial pulp – inotodiol). For pharmaceutical productions requiring alcohol extraction and subsequent purification of products, on the contrary, it is recommended to carry out preliminary sorting and preparation before drying the raw material. Furthermore, the elemental composition of the chaga raw material samples was determined by X-ray spectral microanalysis based on comparative analysis using the modern analytical method of scanning electron microscopy using a KYKY-EM8000F STD FEG SEM microscope (China) under high vacuum conditions. To assess the elemental composition of the samples, an energy-dispersive microanalysis system (AZtec, Oxford Instruments) was used. Before analysis, the sample was coated with a thin conductive layer of carbon (13 nm) using a Nano-Structured Coating Co vacuum sputtering system (Iran). Thus, the goal of this work - morphometric analysis of various parts of fungal chaga raw material with the assessment of the possibilities of its primary sorting depending on the purposes of further use - was achieved, and the results of the study allowed us to propose aspects of differentiation of chaga raw material during its primary sorting for further use in pharmaceuticals and the production of biologically active additives.

KEYWORDS: Chaga raw material (*Inonotus obliquus* f. *sterilis*); Raw material differentiation; Biological and pharmaceutical activity; Morphological analysis; Morphometric analysis; X-ray spectral analysis; Pleurocetes

REFERENCES

1. Jaczewsky AA. Key-book to fungi. Fungi Perfecti. V. 1. Petrograd, 1913 (in Russ.).

2. Vanin SI. Forest phytopathology Lesbumizdat, Leningrad, 1934 (in Russ.). 3. Campbell AH, Davidson RW. A Poria obliqua as the fruiting stage of the fungus causing the sterile conks on birch. Mycologia. 1938;30:553–60.

4. Balandaykin ME, Zmitrovich IV. Review on Chaga medicinal mushroom, Inonotus obliquus (higher basi-

diomycetes): realm of medicinal applications and approaches on estimating its resource potential. International Journal of Medicinal Mushrooms. 2015;17:95–104. doi: 10.1615/IntJMedMushrooms.v17.i2.10.

5. Kahlos K, Lesnau A, Lange W, et al. Preliminary tests of antiviral activity of two *Inonotus obliquus* strains. Fitoterapia. 1996; 6: 344–7.

6. Babitskaya V, Bisko N, Mitropolskaya NI. Melanin complex from medicinal mushroom *Inonotus obliquus* (Pers.: Fr.) Pilat (Chaga) (*Aphyllophoromycetidae*). International Journal of Medicinal Mushrooms. 2002;4: 139–45.

7. Paramonov SG, Zharikov MV, Perelygin VV, Zmitrovich IV. Growing agaricomycetes on small-diameter trunks in postagrogenic landscapes of the Pskov region. Scientific and agronomic journal. 2024. No. 2 (125). pp. 22–28. doi: 1134/S001249662470128X (in Russ.).

8. Bondartsev AS. The *Polyporaceae* of the European part of the USSR and Cauacasia. Publishing house of the USSR Academy of Sciences, Moscow, Leningrad, 1953 (in Russ.).

9. Zmitrovich IV, Denisova NP, Balandaykin ME, Belova NV, Bondartseva MA, Perevedentseva LG, Perelygin VV, Yakovlev GP. Chaga and its bioactive complexes: history and prospects. Pharmacy formulas. 2020; 2: 84–93. doi: 10.17816/phf34803/2713-153X-2020-2-2-84-93 (in Russ.).

10. Kumar P, Bhadauria AS, Singh AK. et al. Betulinic acid as apoptosis activator: molecular mechanisms, mathematical modeling and chemical modifications. Life Science. 2018; 209: 24–33. doi: 10.1016/j.lfs.2018.07.056.

11. Moradali MF, Mostafavi H, Ghods S, et al. Immunomodulating and anticancer agents in the realm of macromycetes fungi (macrofungi). International Immunopharmacology. 2007; 7: 701–24.

12. Rhee SJ, Cho SY, Kim KM, Cha DS, Park HJ. A comparative study of analytical methods for alkali-soluble β -glucan in medicinal mushroom, Chaga (*Inonotus obliquus*). LWT–Food Science and Technology. 2008;41:545–9. doi: 10.1016/j.lwt.2007.03.028.

13. Kim YR. Immunomodulatory activity of the water extract from medicinal mushroom *Inonotus obliquus*. Mycobiology. 2005; 33 (3): 158–62. doi: 10.1016/j.lfs.2005.02.023.34. 14. Kim YO, Han SB, Lee HW, et al. Immuno-stimulating effect of the endo-polysaccharide produced by submerged culture of *Inonotus obliquus*. Life Sci. 2005;77(19):2438–56. doi: 10.1016/j.lfs.2005.02.023.

15. Song Y, Hui J, Kou W, et al. Identification of *Inonotus obliquus* and analysis of antioxidation and antitumor activities of polysaccharides. Current Microbiology. 2008;57: 454–62. doi: 10.1007/s00284-008-9233-6.

16. Won DP, Lee JS, Kwon DS, et al. Immunostimulating activity by polysaccharides isolated from fruiting body of *Inonotus obliquus*. Molecules. Cells. 2011;31(2):165–73. doi: 10.1007/s10059-011-0022-x.

17. Kahlos K, Schantz MV, Hiltunen R. 3 β -hydroxylanosta-8, 24-dien21, a new triterpene from *Inonotus obliquus*. Acta Pharmaceutica Fennica. 1984;92:197–8.

18. Kahlos K, Hiltunen R. Gas chromatographic mass spectrometric study of some sterols and lupines from *Inonotus obliquus*. Acta Pharmaceutica Fennica. 1987; 96: 85–9.

19. Kahlos K, Hiltunen R. Gas chromatographic mass spectrometric identification of some lanostanes from *Inonotus obliquus*. Acta Pharmaceutica Fennica. 1988;97:45–90.

20. Zheng WF, Liu T, Xiang XY, Gu Q. Sterol composition in fieldgrown and cultured mycelia of *Inonotus obliquus*. Yao Xue Xue Bao. 2007;42:750–6.

21. Nomura M, Takahashi T, Uesugi A, et al. Inotodiol, a lanostane triterpenoid, from *Inonotus obliquus* inhibits cell proliferation through caspase-3-dependent apoptosis. Anticancer Research. 2008;28:2691–6.

22. Jiang JH, Dou Y, Feng YJ, Bondartseva MA, et al. The antitumor activity and MDR reversal properties of constituents from *Inonotus obliquus*. Mikologiya i fitopatologiya. 2007;41:455–60.

23. Zhong XH, Kuang R, Lu SJ, et al. Progress of research on Inonotus obliquus. China Journal of Integrative Medicine. 2009;15:156–60. doi: 10.1007/s11655-009-0156-2.

24. Chung MJ, Chung CK, Jeong Y, et al. Anticancer activity of subfractions containing pure compounds of Chaga mushroom (*Inonotus obliquus*) extract in human cancer cells and in Balbc/c mice bearing Sarcoma-180 cells. Nutritional Research Pract. 2010;4:177–82. doi: 10.4162/nrp.2010.4.3.177.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vladimir V. Perelygin – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Industrial Ecology Department, Saint Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University; Editor-in-Chief, Publishing House Northwestern Institute of Biomedical Problems and Environmental Protection, Saint Petersburg, Russia, vladimir.pereligin@pharminnotech.com

Igor A. Narkevich – D.Sc. in Pharmaceutical Sciences, Professor, Rector of Saint Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University, Saint Petersburg, Russia, igor.narkevich@pharminnotech.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ivan V. Zmitrovich – D.Sc. in Biology, Leading Researcher, Laboratory of Systematics and Geography of the Fungi, Komarov Botanical Institute RAS, St. Petersburg, Russia, iv_zmitrovich@mail.ru

Nikolay G. Vengerovich – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of the State Research and Testing Institute of Military Medicine of the Ministry of Defense of the Russian Federation; Professor of the Industrial Ecology Department, Saint Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University of the Ministry Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia, nickolai.vengerovich@pharminnotech.com

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted March 03, 2025; approved after reviewing March 20, 2025; accepted for publication March 30, 2025. The article can be used under the CC BY-NC-ND 4.0 license © Eco-Vector, 2025

