

ISSN 1029-8940 (Print)

ISSN 2524-230X (Online)

УДК 582.284:582.723.2:581.19

<https://doi.org/10.29235/1029-8940-2026-71-3-219-226>

Поступила в редакцию 19.03.2026

Received 19.03.2026

А. І. Каханоўскі¹, А. У. Спірыдовіч², Т. Г. Шабашова³¹Група навуковага суправаджэння фермерскай гаспадаркі «Сталетава», Магілёў, Рэспубліка Беларусь²Цэнтральны батанічны сад Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Мінск, Рэспубліка Беларусь³Інстытут эксперыментальнай батанікі імя В. Ф. Купрэвіча Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Мінск, Рэспубліка Беларусь

ФУНГІСТАТЫЧНАЕ ЎЗДЗЕЯННЕ ЭКСТРАКТАЎ КАРЫ *FRANGULA ALNUS* MILL. І *RHAMNUS CATHARTICA* L. НА НЕКАТОРЫХ КСІЛАТРОФНЫХ ПРАДСТАЎНІКОЎ АДДЗЕЛА *BASIDIOMYCOTA*

Анотацыя. Данное исследование посвящено изучению фунгистатического эффекта экстрактов коры *Frangula alnus* Mill. и *Rhamnus cathartica* L. на представителей отдела *Basidiomycota* – фитопатогенов и ксилотрофов, вызывающих повреждение лесных культур и деревянных конструкций. В эксперименте было исследовано шесть штаммов грибов из Белорусской коллекции непатогенных микроорганизмов Института микробиологии НАН Беларуси: *Phellinus igniarius* (BIM F-205), *Phellinus tremulae* (BIM F-204), *Fomitopsis pinicola* (BIM F-225), *Phellinus pini* (BIM F-321), *Gloeophyllum sepiarium* (BIM F-227), *Serpula lacrymans* (BIM F-835). Результаты показали, что экстракт *F. alnus*, содержащий вторичные метаболиты – гидроксиантрахиноны, значительно подавлял рост пяти из шести видов, при этом наиболее сильный эффект наблюдался для *S. lacrymans* (57 % подавления). Дополнительный анализ с использованием экстрактов с различными концентрациями гидроксиантрахинонов выявил четкую дозозависимую реакцию *G. sepiarium*, что подтверждает ключевую роль этих соединений в фунгистатическом эффекте. Результаты исследования расширяют понимание роли гидроксиантрахинонов в фитоиммунитете и открывают перспективы их применения в биотехнологии лесных культур.

Ключевые слова: *Frangula alnus*, *Rhamnus cathartica*, гидроксиантрахиноны, фунгистатический эффект, *Basidiomycota*, фитопатогены, ксилотрофы

Для цитирования: Каханоўскі, А. І. Фунгістатычнае ўздзеянне экстрактаў кары *Frangula alnus* Mill. і *Rhamnus cathartica* L. на некаторых ксілатрофных прадстаўнікоў аддзела *Basidiomycota* / А. І. Каханоўскі, А. У. Спірыдовіч, Т. Г. Шабашова // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. – 2026. – Т. 71, № 3. – С. 219–226. <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2026-71-3-219-226>

Aliaxandr I. Kakhanouski¹, Alena V. Spiridovich², Tatyana G. Shabashova³¹Scientific Research Group of the Agricultural Company “Staletava”, Mogilev, Republic of Belarus²Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus³V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

FUNGISTATIC EFFECT OF BARK EXTRACTS FROM *FRANGULA ALNUS* MILL. AND *RHAMNUS CATHARTICA* L. ON CERTAIN XYLOTROPHIC REPRESENTATIVES OF THE PHYLUM *BASIDIOMYCOTA*

Abstract. The study examines the fungistatic effect of bark extracts from *Frangula alnus* Mill. and *Rhamnus cathartica* L. on representatives of the phylum *Basidiomycota* – phytopathogens and xylophagous fungi that cause damage to forest crops and wooden structures. Six fungal strains from the Belarus Collection of Non-pathogenic Microorganisms of the Institute of Microbiology of the NAS of Belarus were investigated in the experiment: *Phellinus igniarius* (BIM F-205), *Phellinus tremulae* (BIM F-204), *Fomitopsis pinicola* (BIM F-225), *Phellinus pini* (BIM F-321), *Gloeophyllum sepiarium* (BIM F-227), and *Serpula lacrymans* (BIM F-835). The results showed that the *F. alnus* extract, containing hydroxyanthraquinone secondary metabolites, significantly suppressed the growth of five out of the six species, with the strongest effect observed for *S. lacrymans* (57 % inhibition). Further analysis using extracts with varying concentrations of hydroxyanthraquinones revealed a clear dose-dependent response in *G. sepiarium*, confirming the key role of these compounds in the fungistatic effect. The findings expand the understanding of the role of hydroxyanthraquinones in phytoimmunity and open prospects for their application in forest crop biotechnology.

Keywords: *Frangula alnus*, *Rhamnus cathartica*, hydroxyanthraquinones, fungistatic effect, *Basidiomycota*, phytopathogens, xylophagous

For citation: Kakhanouski A. I., Spiridovich A. V., Shabashova T. G. Fungistatic effect of bark extracts from *Frangula alnus* Mill. and *Rhamnus cathartica* L. on certain xylophagous representatives of the phylum *Basidiomycota*. *Vesti Natsyynal'най akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk* = *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2026, vol. 71, no. 3, pp. 219–226 (in Belarusian). <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2026-71-3-219-226>

© Каханоўскі А. І., Спірыдовіч А. У., Шабашова Т. Г., 2026

Уводзіны. Некатрыя прадстаўнікі аддзела *Basidiomycota* з’яўляюцца фітапатагенамі і ксілатрофамі, якія наносзяць значную шкоду лясной гаспадарцы, уплываючы на якасць і колькасць выхаду лесаматэрыялаў. Пашкоджаная грыбамі драўніна губляе свае тэхнічныя ўласцівасці, становіцца непрыдатнай для вытворчасці піламатэрыялаў і будаўнічых канструкцый. Гэта спрыяе значным эканамічным стратам.

Наяўнасць розных другасных метабалітаў, здольных стрымліваць рост фітапатагенаў, шмат у чым абумоўлівае ўстойлівасць дрэў. Прадстаўнікі флоры Беларусі сямейства *Rhamnaceae* крушына крохкая (*Frangula alnus* Mill.) і жысцёр паслабляльны (*Rhamnus cathartica* L.) багатыя на такія другасныя метабаліты, як гідроксіантрахіноны. У нашых ранейшых даследаваннях [1] паказана, што гідроксіантрахіноны ў *F. alnus* сустракаюцца ва ўсіх частках расліны, пры тым, што найбольшая канцэнтрацыя назіраецца ў флаэме, каранях і насенні, пры гэтым у форме агліконаў гідроксіантрахінонаў найбольш вызначаецца ў каранях, а ў форме гліказідаў – у флаэме. Таксама было паказана, што гідроксіантрахінон эмадзін можа звязвацца з гемам, чым, імаверна, абумоўлена інгібітарнае ўздзеянне эмадзіну на актыўнасць каталазы – фермента, які ўтрымлівае гем, што можа адпавядаць таксічна-ахоўнай функцыі гідроксіантрахінонаў у раслінах [2].

Актыўна вывучаецца ўплыў на клеткі грыбоў гідроксіантрахінонаў, бо яны праяўляюць моцныя фунгіцыдныя і фунгістатычныя ўласцівасці [3, 4].

Для многіх базідыяміцэтаў (*Basidiomycota*), якія выклікаюць гнілі каранёў саджанцаў або агракультур (напрыклад, *Rhizoctonia solani*), гідроксіантрахінон эмадзін выступае як магутны фунгістатык [5].

Многія базідыяміцэты, асабліва дрэваразбуральныя грыбы, вылучаюць ферменты пераксідазы для расшчаплення лігніну [6]. Эмадзін можа выступаць як інгібітар ферментатывай актыўнасці, як раней было паказана ў нашым даследаванні [2].

Эксперыментальна было адлюстравана, што гідроксіантрахінон эмадзін аказвае высокае ўздзеянне на грыбы-фітапатагены *Botrytis inerea*, *Rhizoctonia solani*, *Erysiphe graminis*, *Phytophthora infestans*, *Puccinia recondita*, *Pyricularia grisea* [5].

Сярод прадстаўнікоў аддзела *Basidiomycota* фітапатагены *Phellinus igniarius* і *Ph. tremulae* выклікаюць ядравую гніль у ліставых дрэў, *Fomitopsis pinicola* – у хваёвых і ліставых, а *Ph. pini* – выключна ў хваёвых дрэў. Сапатрофы *Gloeophyllum sepiarium* і *Serpula lacrymans*, вядомыя як галоўныя ўзбуджальнікі бурай кубічнай гнілі, часта разбураюць канструкцыі з хваёвай драўніны.

Гэтыя прадстаўнікі *Basidiomycota* шырока распаўсюджаныя на тэрыторыі Беларусі і наносзяць шкоду лясной гаспадарцы і будаўнічай галіне. Вызначэнне іх успрымальнасці да гідроксіантрахінонаў дапаможа вызначыць ролю гэтых злучэнняў у фітаімунітэце дрэў, а таксама можа паспрыяць распрацоўцы захадаў для аховы дрэў і драўніны ад пашкоджання грыбамі.

Мэта даследавання – вызначыць фунгістатычнае ўздзеянне экстрактаў кары *F. alnus* і *Rh. cathartica* на некаторых прадстаўнікоў аддзела *Basidiomycota*.

Матэрыялы і метады даследавання. Штамы грыбоў з Беларускай калекцыі непатагенных мікраарганізмаў Інстытута мікрабіялогіі НАН Беларусі *Ph. igniarius* (BIM F-205), *Ph. tremulae* (BIM F-204), *F. pinicola* (BIM F-225), *Ph. pini* (BIM F-321), *G. sepiarium* (BIM F-227) высадзілі на пажыўнае асяроддзе: 1 л экстракту кары *F. alnus* (20 г кары на 1 л вады кіпяцілі 1 хв.) з канцэнтрацыяй гідроксіантрахінонаў $10,46 \times 10^{-3}$ моль/л (канцэнтрацыю гідроксіантрахінонаў вымяралі па метадыцы [1]), сусла піўное (7° Б), агар-агар – 20 г, рН 6. *S. lacrymans* (BIM F-835) высадзілі на такое ж пажыўнае асяроддзе, але з меншай канцэнтрацыяй цукру (3,5° Б).

G. sepiarium дадаткова высадзілі на асяроддзе: 1 л экстракту кары *Rh. cathartica* (20 г кары на 1 л вады кіпяцілі 1 хв.) з канцэнтрацыяй гідроксіантрахінонаў $3,57 \times 10^{-3}$ моль/л, сусла піўное (7° Б), агар-агар – 20 г, рН 6.

Для кантролю ўсе вышэй пералічаныя грыбы высаджвалі на наступнае асяроддзе: сусла піўное (7° Б, а для *S. lacrymans* – 3,5° Б), агар-агар – 20 г, рН 6, вада – 1 л.

Грыбы культывавалі пры тэмпературы 25 °С, а *S. lacrymans* – пры 20 °С. Улік памераў калоній грыбоў праводзілі на 14-ы дзень.

Для ацэнкі ўплыву даследаванай дозы на рост грыбоў былі праведзены праверкі нармальнасці размеркавання і роўнасці дысперсій, пасля чаго для кожнага віду быў выбраны адпаведны статыстычны крытэрыі параўнання паміж групамі «экстракт» і «кантроль».

Нармальнасць размеркавання ацэньвалася з дапамогай тэсту Шапіра – Уілکا. Для кожнага віду грыбоў былі атрыманы наступныя значэнні p -value (n – колькасць паўтораў):

G. sepiarium: экстракт – $p = 0,015$ ($n = 12$), кантроль – $p = 0,045$ ($n = 6$);

Ph. pini: экстракт – $p = 0,366$ ($n = 12$), кантроль – $p = 0,699$ ($n = 6$);

Ph. tremulae: экстракт – $p = 0,798$ ($n = 12$), кантроль – $p = 0,036$ ($n = 6$);

Ph. igniarius: экстракт – $p = 0,918$ ($n = 12$), кантроль – $p = 0,023$ ($n = 6$);

F. pinicola: экстракт – дысперсія = 0 ($n = 2$), тэст непрымянімы, кантроль – $n = 6$;

S. lacrymans: экстракт – $p = 0,161$ ($n = 12$), кантроль – $p = 0,473$ ($n = 6$).

Размеркаванні лічыліся нармальнымі пры $p \geq 0,05$.

Роўнасць дысперсій ацэньвалася з дапамогай тэсту Левена (Levene's test):

G. sepiarium: $p = 0,5925$ – дысперсіі роўныя;

Ph. pini: $p = 0,0151$ – дысперсіі няроўныя;

Ph. tremulae: $p = 0,2110$ – дысперсіі роўныя;

Ph. igniarius: $p = 0,6693$ – дысперсіі роўныя;

F. pinicola: дысперсіі = 0, параўнанне немагчыма;

S. lacrymans: $p = 0,3628$ – дысперсіі роўныя.

Выбар тэсту вызначаўся камбінацыяй двух фактараў: нармальнасць размеркавання і роўнасць дысперсій. Для кожнага віду грыбоў былі выкарыстаны наступныя крытэры:

G. sepiarium: абедзве выбаркі ненармальныя ($p < 0,05$), таму выкарыстоўваўся непараметрычны крытэры Манна – Уітні, $p = 0,0045$ – адрозненні статыстычна значныя;

Ph. pini: абедзве выбаркі нармальныя, але дысперсіі няроўныя ($p < 0,05$), таму прымяняўся t -тэст Уэлча, $p = 0,0001$ – адрозненні статыстычна значныя;

Ph. tremulae: выбарка ненармальная (кантроль – $p = 0,036$), таму выкарыстоўваўся крытэры Манна – Уітні, $p = 0,0046$ – адрозненні статыстычна значныя;

Ph. igniarius: выбарка ненармальная (кантроль – $p = 0,023$), таму прымяняўся крытэры Манна – Уітні, $p = 0,0634$ – адрозненні не дасягаюць статыстычнай значнасці;

F. pinicola: у абедзвюх выбарках дысперсія = 0, таму класічныя тэсты на нармальнасць і роўнасць дысперсій непрымяняліся. З прычыны вялікай розніцы паміж групамі выкарыстоўваўся t -тэст Уэлча, $p < 0,0001$ – адрозненні статыстычна значныя;

S. lacrymans: абедзве выбаркі нармальныя і маюць роўныя дысперсіі, таму выкарыстоўваўся класічны двухвыбарачны t -тэст (Student's t -test), $p < 0,0001$ – адрозненні статыстычна значныя.

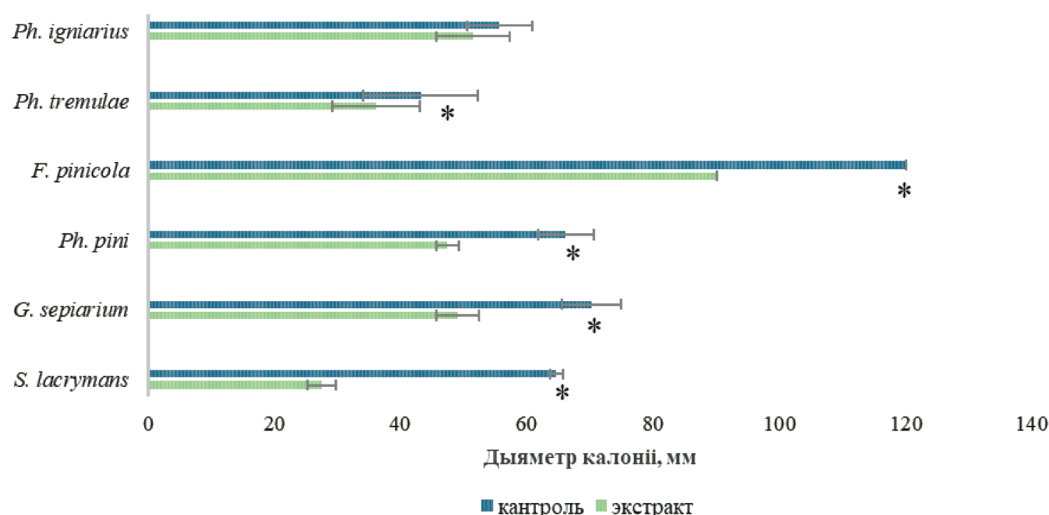
Для ацэнкі ўплыву экстрактаў *Rh. cathartica* і *F. alnus* на рост грыба (мм) праводзіўся комплексны статыстычны аналіз, які ўключаў праверку нармальнасці размеркавання, ацэнку роўнасці дысперсій і выбар адпаведнага параўнальнага крытэрыю. Нармальнасць размеркавання ў кожнай групе ацэньвалася з дапамогай тэсту Шапіра – Уілка. Для выбарак былі атрыманы наступныя значэнні: *Rh. cathartica* – $W = 0,957$, $p = 0,777$ ($n = 6$); *F. alnus* – $W = 0,957$, $p = 0,777$ ($n = 8$). Абедзве выбаркі мелі $p > 0,05$, што сведчыць пра адсутнасць адхіленняў ад нармальнага размеркавання. Гэта дазволіла выкарыстоўваць параметрычныя метады далейшага аналізу.

Роўнасць дысперсій паміж выбаркамі правяралася з дапамогай тэсту Левена (Levene's test): ($p = 0,999$). Значэнне $p > 0,05$ сведчыць пра роўнасць дысперсій у групах, што адпавядае патрабаванням t -тэсту.

Паколькі абедзве выбаркі мелі нармальнае размеркаванне і роўныя дысперсіі, для ацэнкі статыстычнай значнасці адрозненняў паміж групамі выкарыстоўваўся двухвыбарачны t -тэст (Student's t -test) для незалежных выбарак.

Вынікі і іх абмеркаванне. Правядзенне эксперыментаў па вырошчванні монаспоравых культур базідыяльных грыбоў на пажыўных асяроддзях з экстрактам кары *F. alnus* дазволіла выявіць выражаны фунгістатычны эфект, які асаблівы для кожнага віду грыба.

Атрыманыя вынікі паказалі, што даданне экстракту кары *F. alnus* у пажыўнае асяроддзе прыводзіць да статыстычна значнага запаволення лінейнага росту калоній у большасці даследаваных відаў грыбоў у параўнанні з кантрольным асяроддзем (мал. 1).



Мал. 1. Запаволенне росту калоній грыбоў на пажыўным асяроддзі з экстрактам кары *F. alnus* у параўнанні з кантролем (mean $\pm$ SD). * – статыстычна значныя адрозненні

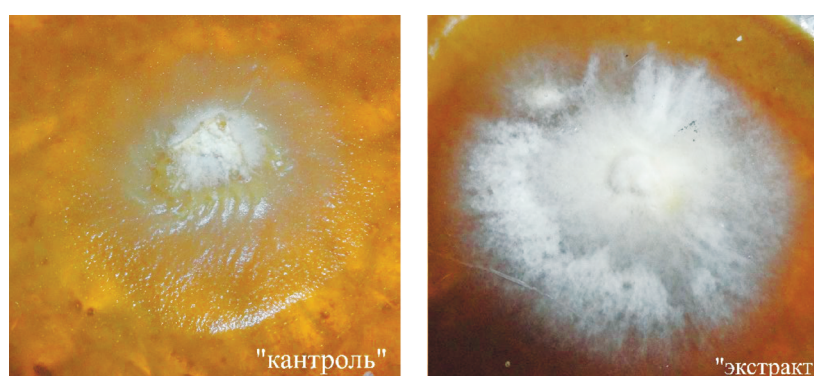
Fig. 1. Growth inhibition of fungal colonies on nutrient medium with *F. alnus* bark extract compared to the control (mean $\pm$ SD). * – statistically significant differences.

Найбольшую адчувальнасць да кампанентаў экстракту прадэманстравалі *S. lacrymans*, рост якога запаволіўся ў сярэднім на $56,9 \pm 2,7$ %. Высокі ўзровень інгібіравання назіраўся таксама для *G. sepiarium* ($30 \pm 2,2$ %), *Ph. pini* ($28,8 \pm 3,7$ %) і *F. pinicola* (25 %). Некалькі меншае, але істотнае запаволенне росту зафіксавана для *Ph. tremulae* ($20,2 \pm 6$ %). Найменшую рэакцыю на прысутнасць экстракту праявіў *Ph. igniarius*, запаволенне росту якога складала $11,3 \pm 1,3$ %.

Статыстычны аналіз пацвердзіў дакладнасць зробленых высноў. Адрозненні ў хуткасці росту паміж кантрольнай і доследнай групамі былі статыстычна значнымі для пяці з шасці відаў: *G. sepiarium* (крытэрыі Манна – Уітні, $p = 0,0045$); *Ph. pini* (t -тэст Уэлча, $p = 0,0001$); *Ph. tremulae* (крытэрыі Манна – Уітні, $p = 0,0046$); *F. pinicola* (t -тэст Уэлча, $p < 0,0001$); *S. lacrymans* (Student's t -тэст, $p < 0,0001$).

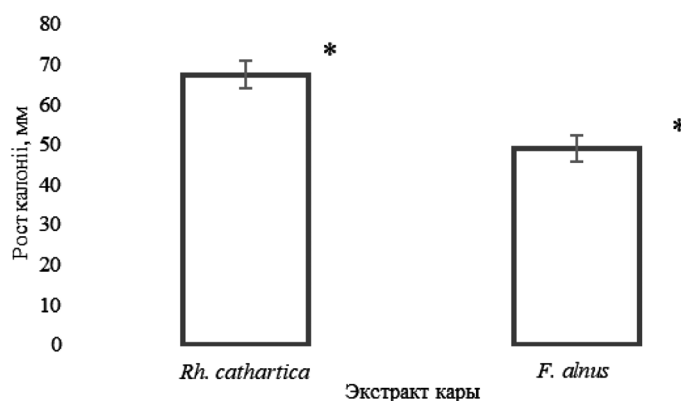
Толькі для *Ph. igniarius* тэндэнцыя да запаволення росту, якую мы назіралі, не дасягнула парога статыстычнай значнасці (крытэрыі Манна – Уітні, $p = 0,0634$), што можа сведчыць аб яго большай устойлівасці да дзеючых рэчываў экстракту. Выбар розных статыстычных крытэрыяў быў абумоўлены папярэдняй праверкай нармальнасці размеркавання прыкметы і роўнасці дысперсій у выбарках, што забяспечыла карэктнасць і абгрунтаванасць атрыманых вынікаў.

Цікавай асаблівасцю, заўважанай у *G. sepiarium* пры вырошчванні на асяроддзі з экстрактам *F. alnus*, было інтэнсіўнае разрастанне паветранага міцэлію (мал. 2).



Мал. 2. Залежнасць марфалогіі міцэлію *G. sepiarium* ад складу пажыўнага асяроддзя

Fig. 2. Dependence of *G. sepiarium* mycelium morphology on the composition of the nutrient medium



Мал. 3. Запаволенне росту калоніі *G. sepiarium* на пажыўным асяроддзі з экстрактам кары *F. alnus* у параўнанні з асяроддзем з экстрактам кары *Rh. cathartica* (mean ± SD). * – статыстычна значныя адрозненні

Fig. 3. Growth inhibition of *G. sepiarium* colonies on nutrient medium with *F. alnus* bark extract compared to medium with *Rh. cathartica* bark extract (mean ± SD). * – statistically significant differences

Паводле даных навуковай літаратуры [7] розныя біятычныя і абіятычныя фактары, у тым ліку стрэсавыя, уплываюць на рэгуляцыю генаў, адказных за фарміраванне паветраных гіфаў. Гэта назіранне ўскосна пацвярджае, што кампаненты экстракту ствараюць для грыба анамальныя ўмовы, прымушаючы яго змяняць марфалогію калоніі.

Для таго каб пацвердзіць, што фунгістатычны эфект, які мы назіралі, абумоўлены менавіта гідроксиантрахінонамі, а не іншымі рэчывамі, якія прысутнічаюць у кары *F. alnus*, быў праведзены дадатковы эксперымент з выкарыстаннем экстракта кары *Rh. cathartica*. Нашы папярэднія даследаванні паказалі, што агульнае ўтрыманне фенольных злучэнняў у экстрактах абедзвюх раслін не мае статыстычна значнай розніцы. Аднак канцэнтрацыя гідроксиантрахінонаў у экстракце *F. alnus* ($10,46 \times 10^{-3}$ моль/л) больш чым у 2 разы перавышае іх канцэнтрацыю ў экстракце *Rh. cathartica* ($3,57 \times 10^{-3}$ моль/л) [1].

Каб паказаць, што на запаволенне росту грыбоў аказвалі ўплыў менавіта гідроксиантрахіноны, а не іншыя рэчывы экстракту кары, быў праведзены эксперымент з выкарыстаннем пажыўнага асяроддзя з экстрактам кары *Rh. cathartica* з канцэнтрацыяй гідроксиантрахінонаў $3,57 \times 10^{-3}$ моль/л і пажыўнага асяроддзя з экстрактам *F. alnus* з канцэнтрацыяй гідроксиантрахінонаў $10,46 \times 10^{-3}$ моль/л.

У якасці тэст-аб'екта быў абраны *G. sepiarium*, які ў папярэднім даследаванні прадэманстраваў сярэдняю адчувальнасць. Вынікі эксперымента (мал. 3) паказалі выразную залежнасць ступені інгібіравання росту ад канцэнтрацыі гідроксиантрахінонаў у асяроддзі.

На асяроддзі з экстрактам *Rh. cathartica* з канцэнтрацыяй гідроксиантрахінонаў $3,57 \times 10^{-3}$ моль/л запаволенне росту складала ўсяго $4,3 \pm 3,1$ %, у той час як на асяроддзі з экстрактам *F. alnus* з канцэнтрацыяй гідроксиантрахінонаў $10,46 \times 10^{-3}$ моль/л яно дасягнула $30 \pm 2,2$ %. Статыстычны аналіз (Student's *t*-тэст, $p < 0,0001$) пацвердзіў, што рост грыба на экстракце *Rh. cathartica* быў статыстычна значна вышэйшым.

Гэтыя вынікі з вялікай доляй імавернасці сведчаць аб тым, што менавіта гідроксиантрахіноны з'яўляюцца ключавымі злучэннямі, якія аказваюць фунгістатычнае ўздзеянне на даследаваныя віды грыбоў.

Заклучэнне. Праведзенае даследаванне паказала, што экстракты кары *F. alnus* і *Rh. cathartica*, багатыя на гідроксиантрахіноны, валодаюць выразным фунгістатычным уздзеяннем на шэраг прадстаўнікоў *Basidiomycota*. Большасць даследаваных відаў прадэманстравала статыстычна значнае запаволенне росту, пры гэтым найбольш адчувальным да дзеяння гідроксиантрахінонаў аказаўся *S. lacrymans*, а найменш – *Ph. igniarius*. Дадатковы эксперымент з рознымі канцэнтрацыямі гідроксиантрахінонаў пацвердзіў, што менавіта гэтыя злучэнні з'яўляюцца асноўным фактарам інгібіравання росту грыбоў. Атрыманая інфармацыя падкрэслівае патэнцыял

гідроксіантрахінонаў як натуральных антыпатагенных агентаў і адкрывае магчымасці для выкарыстання метабалічнай інжынерыі ў стварэнні лясных культур, устойлівых да грыбоў-патагенаў.

Улічваючы шырокае распаўсюджанне драўнінаразбуральных грыбоў і іх эканамічную шкоднасць, атрыманыя даныя маюць практычнае значэнне. Яны могуць стаць асновай для распрацоўкі новых падыходаў да аховы дрэў і драўніны, у тым ліку праз стварэнне трансгенных лясных культур, здольных сінтэзаваць гідроксіантрахіноны. Паспяховыя прыклады метабалічнай інжынерыі ў іншых відах раслін пацвярджаюць рэалістычнасць такога падыходу.

У адрозненні ад селекцыі сучасная генная інжынерыя прапаноўвае адносна хуткае рашэнне па стварэнню раслін з зададзенымі характарыстыкамі. Метады геннай інжынерыі дазваляюць канструяваць новыя геномы, збіраючы іх з фрагментаў ДНК розных арганізмаў. Перанос ці мадыфікацыя аднаго гена або перанос кластэра генаў для экспрэсіі ў расліне мэтанакіраваных метабалічных шляхоў можа забяспечыць выпрацоўку раслінай другасных метабалітаў з антыпатагенным дзеяннем. Так, увядзенне гена стыльбенсінтазы ў геном таматаў (*Solanum lycopersicum*) абумовіла здольнасць трансгенных раслін сінтэзаваць стыльбены (рэсвератрол), якія інгібіруюць развіццё гіфаў фітапатагеннага грыба *B. cinerea* [8]. Экспрэсія генаў халконсінтазы і ізафлавонсінтазы, інтрадукаваных з соі (*Glycine max*) у рыс (*Oryza sativa*), забяспечыла сінтэз другасных метабалітаў, якія інгібіруюць ферментатыўную актыўнасць грыба *Magnaporthe oryzae* і індуючыюць экспрэсію генаў PR-бялкоў [9]. Увядзенне генаў *CYP79A1* і *CYP71E1* з сорга (*Sorghum bicolor*) у геном тытуню (*Nicotiana tabacum*) прывяло да сінтэзу цыянагенных гліказідаў, якія аказваюць таксічнае ўздзеянне на шкоднікаў [10].

Для стварэння трансгенных лясных культур, устойлівых да грыбоў-патагенаў, неабходна падабраць арганізм, які сінтэзуе фунгіцыдныя ці фунгістатычныя другасныя метабаліты.

Асаблівую цікавасць у кантэксце дадзенай працы ўяўляе даследаванне [11] па пераносе гена фермента октакетыдсінтазы ў *Arabidopsis thaliana*. У выніку ў трансгенных раслін выявілі гідроксіантрахінон эмадзін, які натуральна не ўтвараецца ў гэтай расліны.

Стварэнне ўстойлівых да патагенаў лясных культур з выкарыстаннем тэхналогій рэкамбінантай ДНК можа дазволіць атрымліваць якасную прадукцыю без ужывання хімічных сродкаў, што магло б станоўча паўплываць на сабекошт прадукцыі і не аказваць ўздзеяння на навакольнае асяроддзе.

Атрыманыя даныя маюць не толькі фундаментальнае, але і патэнцыяльна прыкладное значэнне. На сённяшні дзень барацьба з грыбнымі захворваннямі ў лясной гаспадарцы праводзіцца пераважна метадам санітарных высечак. Такія захады, па-першае, не гарантуюць поўнай абароны здаровых дрэвастояў, а па-другое, не з'яўляюцца эканамічна эфектыўнымі, бо драўніна ад пашкоджаных грыбамі дрэў мае нізкую якасць.

Такім чынам, улічваючы той факт, што даследаваныя намі грыбы праявілі значную адчувальнасць да гідроксіантрахінонаў у дозе, на парадкі меншай, чым у тканках *F. alnus*, існуе рэальная магчымасць стварэння трансгенных форм каштоўных парод дрэў, устойлівых да фітапатагенных грыбоў, адчувальных да гідроксіантрахінонаў, а таксама стварэння драўніны, устойлівай да сапра-трофных грыбоў-ксілатрофаў нахштальт *S. lacrymans*.

Даследаванне не толькі пашырае разуменне ролі гідроксіантрахінонаў у фітаімунітэце, але і адкрывае перспектывы іх прымянення ў біятэхналогіі лясных культур.

Канфлікт інтарэсаў. Аўтары заяўляюць аб адсутнасці канфлікту інтарэсаў.

Спіс выкарыстаных крыніц

1. Каханоўскі, А. І. Тканкавая спецыфічнасць, лакалізацыя і мадыфікацыя гідроксіантрахінонаў у прадстаўнікоў сямейства Крушынавыя (Rhamnaceae Juss.) / А. І. Каханоўскі, А. У. Спірыдовіч // Ботаника (исследования): сб. науч. тр. / НАН Беларуси [и др.]; науч. ред. Н. А. Ламан. – Мн., 2025. – Вып. 56. – С. 206–213.
2. Кохановский, А. И. Некоторые аспекты биологического действия эмодаина на растения / А. И. Кохановский, В. М. Юрин, Е. Ю. Кохановская // Журнал Белорусского государственного университета. Биология. – 2021. – Т. 2. – С. 97–103.

3. A systematic review of pharmacological potential of phytochemicals from *Rumexabyssinicus* Jacq. / A. Ntemafack, M. Ayoub, Q. P. Hassan, S. G. Gandhi // *South African Journal of Botany*. – 2023. – Vol. 154. – P. 11–25. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.01.013>
4. Membrane-related effects underlying the biological activity of the anthraquinones emodin and barbaloin / D. S. Alves, L. Pérez-Fons, A. Estepa, V. Micol // *Biochemical Pharmacology*. – 2004. – Vol. 68, N 3. – P. 549–561. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2004.04.012>
5. Anthraquinones Isolated from *Cassiatora* (Leguminosae) Seed Show an Antifungal Property against Phytopathogenic Fungi / Y.-M. Kim, Ch.-H. Lee, H.-G. Kim, H.-S. Lee // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2004. – Vol. 52, N 20. – P. 6096–6100. <https://doi.org/10.1021/jf049379p>
6. Biodegradation of lignocellulosics: microbial, chemical, and enzymatic aspects of the fungal attack of lignin / A. T. Martínez, M. Speranza, F. J. Ruiz-Dueñas [et al.] // *International Microbiology*. – 2005. – Vol. 8, N 3. – P. 195–204.
7. Hydrophobins in the Life Cycle of the Ectomycorrhizal Basidiomycete *Tricholomavaccinum* / D. Sammer, K. Krause, M. Gube [et al.] // *PLoS ONE*. – 2016. – Vol. 11, N 12. – Art. e0167773. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167773>
8. Pterostilbene production of tomato transformed with resveratrol synthase and resveratrol O-methyltransferase genes / Y. Zhang, L. Ni, Sh. Chen [et al.] // *Plant Science*. – 2022. – Vol. 322. – Art. 111343. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2022.111343>
9. Transgenic Rice Expressing Isoflavone Synthase Gene from Soybean Shows Resistance Against Blast Fungus (*Magnaportheoryzae*) / S. Pokhrel, S. K. Ponniah, Y. Jia [et al.] // *Plant Disease*. – 2021. – Vol. 105, N 10. – P. 3141–3146. <https://doi.org/10.1094/pdis-08-20-1777-re>
10. Transgenic Tobacco and Arabidopsis Plants Expressing the Two Multifunctional Sorghum Cytochrome P450 Enzymes, CYP79A1 and CYP71E1, Are Cyanogenic and Accumulate Metabolites Derived from Intermediates in Dhurrin Biosynthesis / S. Bak, C. E. Olsen, B. A. Halkier, B. L. Møller // *Plant Physiology*. – 2000. – Vol. 123, N 4. – P. 1437–1448. <https://doi.org/10.1104/pp.123.4.1437>
11. Octaketide Synthase from *Polygonum cuspidatum* Implements Emodin Biosynthesis in *Arabidopsis thaliana* / Y. Guo, S. Nassar, L. Ma [et al.] // *Plant and Cell Physiology*. – 2021. – Vol. 62, N 3. – P. 424–435. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcaa135>

References

1. Kakhanouski A. I., Spirydovich A. V. Tissue specificity, localization and modification of hydroxyanthraquinones in representatives of the buckthorn family (Rhamnaceae Juss.). *Botanika (issledovaniya): sborniknauchnykhtrudov* [Botany (research): collection of scientific papers]. Minsk, 2025, iss. 56, pp. 206–213 (in Belarussian).
2. Kokhanovskii A. I., Yurin V. M., Kokhanovskaya E. Yu. Some aspects of biological effect of emodin on plants. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Journal of the Belarusian State University. Biology*, 2021, no. 2, pp. 97–103 (in Russian).
3. Ntemafack A., Ayoub M., Hassan Q. P., Gandhi S. G. A systematic review of pharmacological potential of phytochemicals from *Rumex abyssinicus* Jacq. *South African Journal of Botany*, 2023, vol. 154, pp. 11–25. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.01.013>
4. Alves D. S., Pérez-Fons L., Estepa A., Micol V. Membrane-related effects underlying the biological activity of the anthraquinones emodin and barbaloin. *Biochemical Pharmacology*, 2004, vol. 68, no. 3, pp. 549–561. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2004.04.012>
5. Kim Y.-M., Lee Ch.-H., Kim H.-G., Lee H.-S. Anthraquinones Isolated from *Cassiatora* (Leguminosae) Seed Show an Antifungal Property against Phytopathogenic Fungi. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2004, vol. 52, no. 20, pp. 6096–6100. <https://doi.org/10.1021/jf049379p>
6. Martínez A. T., Speranza M., Ruiz-Dueñas, F. J., Ferreira P., Camarero S., Guillén F., Martínez M. J., Gutiérrez A., del Río J. C. Biodegradation of lignocellulosics: microbial, chemical, and enzymatic aspects of the fungal attack of lignin. *International Microbiology*, 2005, vol. 8, no. 3, pp. 195–204.
7. Sammer D., Krause K., Gube M., Wagner K., Kothe E. Hydrophobins in the Life Cycle of the Ectomycorrhizal Basidiomycete *Tricholomavaccinum*. *PLoS ONE*, 2016, vol. 11, no. 12, art. e0167773. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167773>
8. Zhang Y., Ni L., Chen Sh., Qin Y., Ding X., Li J., Pan Y., Zhang X. Pterostilbene production of tomato transformed with resveratrol synthase and resveratrol O-methyltransferase genes. *Plant Science*, 2022, vol. 322, art. 111343. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2022.111343>
9. Pokhrel S., Ponniah S. K., Jia Y., Yu O., Manoharan M. Transgenic Rice Expressing Isoflavone Synthase Gene from Soybean Shows Resistance Against Blast Fungus (*Magnaportheoryzae*). *Plant Disease*, 2021, vol. 105, no. 10, pp. 3141–3146. <https://doi.org/10.1094/pdis-08-20-1777-re>
10. Bak S., Olsen C. E., Halkier B. A., Møller B. L. Transgenic Tobacco and Arabidopsis Plants Expressing the Two Multifunctional Sorghum Cytochrome P450 Enzymes, CYP79A1 and CYP71E1, Are Cyanogenic and Accumulate Metabolites Derived from Intermediates in Dhurrin Biosynthesis. *Plant Physiology*, 2000, vol. 123, no. 4, pp. 1437–1448. doi:10.1104/pp.123.4.1437. PMID: 10938360. PMCID: PMC59100.

11. Guo Y., Nassar S., Ma L., Feng G., Li X., Chen M., Chai T., Abdel-Rahman I. A. M., Beuerle T., Beerhues L., Wang H., Liu B. Octaketide Synthase from *Polygonum cuspidatum* Implements Emodin Biosynthesis in *Arabidopsis thaliana*. *Plant and Cell Physiology*, 2021, vol. 62, no. 3, pp. 424–435. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcaa135>

Информация об авторах

Кохановский Александр Иванович – науч. сотрудник. Группа науч. сопровождения фермерского хозяйства «Столетово» (ул. Симонова, 73, 212021, г. Могилёв, Республика Беларусь) E-mail: akakhanouski@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-5643-2254>

Спиридович Елена Владимировна – канд. биол. наук, доцент, заведующий лабораторией. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: a.spirydovich@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-9674-7648>

Шабашова Татьяна Гарьевна – канд. биол. наук, заведующий лабораторией. Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: tiniti@inbox.ru. <https://orcid.org/0000-0002-7049-4080>

Information about the authors

Aliaxandr I. Kakhanouski – Researcher. Group of the Agricultural Company “Staletava”, (73, Simonova Str., 212021, Mogilev, Republic of Belarus, E-mail: akakhanouski@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-5643-2254>

Alena V. Spirydovich – Ph. D. (Biol.), Associate Professor, Head of the Laboratory. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: a.spirydovich@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-9674-7648>

Tatiana G. Shabashova – Ph. D. (Biol.), Head of the Laboratory. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tiniti@inbox.ru. <https://orcid.org/0000-0002-7049-4080>