

ТЕХНОЛОГІЯ ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 66.061.4:668

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2026.1.25>

В. Г. ЄФІМОВА

кандидат технічних наук, доцент

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ORCID: 0000-0003-2372-8398

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ ДОБАВОК
З ВІДХОДІВ ПЕРЕРОБКИ БІОМАСИ ЯЛИНИ

В роботі показано, що з метою профілактики та лікування багатьох захворювань перспективно використовувати біологічно – активні речовини природного походження, основною перевагою яких є низька токсичність та м'який вплив на організм.

Висвітлено, що одним з доступних та перспективних рослинних препаратів є водорозчинний полісахарид арабіногалактан, основною сировиною при отриманні якого є ялина Карпатська.

Показано, що джерелом для отримання біологічно-активних речовин з ялини є її деревина та кора.

Встановлено на основі літературного огляду, що на основі арабіногалактану розроблено десятки біологічно активних добавок до харчування людини.

Показано, що для раціонального вирішення проблеми отримання арабіногалактану з відходів біомаси ялини необхідно розробити технологію його отримання з відходів біомаси ялини.

Показано, що в роботі було використано два види відходів лісопереробки ялини: деревина та суміш сировини – несортвані відходи лісопиляння ялини, які представляють собою суміш тирси, щепи та кори.

Встановлено з використанням ситового аналізу фракційний склад суміші сировини.

Показано що концентрацію полісахаридів у отриманих зразках визначали фотокалориметричним методом за відомою методикою, а склад вуглеводневої фракції водорозчинних речовин та середні молекулярні маси полісахаридів визначали методом високоефективної рідинної хроматографії.

Показано, що для отримання вихідних даних нами було проведено лабораторні експерименти з використанням водневої екстракції ялинкової сировини за різних умов.

Встановлено, що в сухих залишках екстрактів переважають полісахаридні фракції, які на 97–98 % складаються з арабіногалактану.

Визначено оптимальні параметри та розроблено ефективну схему екстракції, що оснований на використанні у якості сировини відходів переробки деревини чи суміші відходів.

Показано, що для збільшення виходу екстрактивних речовин було запропоновано проводити подвійну екстракцію, за якої другий екстракт подається на першу екстракцію (свіжа сировини).

Показано, що за розробленою технологією отримані опитні партії водневих та сухих екстрактів, які показали свою ефективність при виробництві біологічно-активних добавок.

Встановлено на базі лабораторних досліджень ефективну технологію отримання арабіногалактану із відходів перероблення ялини водних та сухих екстрактів, що може бути використаний при виробництві біологічно-активних добавок.

Ключові слова: біологічно-активні добавки, сухі екстракти, арабіногалактан, пектинові речовини, відходи ялини, деревинна сировина.

V. G. YEFIMOVA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

ORCID: 0000-0003-2372-8398



© В. Г. Єфімова, 2026

Стаття поширюється на умовах відкритої ліцензії CC BY 4.0

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR OBTAINING BIOLOGICALLY ACTIVE ADDITIVES FROM WASTE FROM PROCESSING SPRUCE BIOMASS

The work shows that for the purpose of prevention and treatment of many diseases it is promising to use biologically active substances of natural origin, the main advantage of which is low toxicity and mild effect on the body.

It is highlighted that one of the available and promising herbal preparations is the water-soluble polysaccharide arabinogalactan, the main raw material for obtaining which is the Carpathian spruce.

It is shown that the source for obtaining biologically active substances from spruce is its wood and bark.

It is established on the basis of a literature review that dozens of biologically active additives to human nutrition have been developed based on arabinogalactan.

It is shown that for a rational solution to the problem of obtaining arabinogalactan from spruce biomass waste, it is necessary to develop a technology for its production from spruce biomass waste.

It is shown that two types of spruce wood processing waste were used in the work: wood and a mixture of raw materials – unsorted spruce sawmill waste, which is a mixture of sawdust, chips and bark.

The fractional composition of the raw material mixture was established using sieve analysis.

It is shown that the concentration of polysaccharides in the obtained samples was determined by the photocalorimetric method according to the known method, and the composition of the hydrocarbon fraction of water-soluble substances and the average molecular weights of polysaccharides were determined by the method of high-performance liquid chromatography.

It is shown that to obtain the initial data, we conducted laboratory experiments using hydrogen extraction of spruce raw materials under different conditions.

It was established that polysaccharide fractions predominate in the dry residues of the extracts, which consist of 97–98 % arabinogalactan.

The optimal parameters were determined and an effective extraction scheme was developed, which is based on the use of wood processing waste or a mixture of waste as raw materials.

It is shown that to increase the yield of extractive substances, it was proposed to conduct a double extraction, in which the second extract is fed to the first extraction (fresh raw materials).

It is shown that experimental batches of hydrogen and dry extracts were obtained using the developed technology, which showed their effectiveness in the production of biologically active additives.

An effective technology for obtaining arabinogalactan from spruce processing waste water and dry extracts was established on the basis of laboratory research, which can be used in the production of biologically active additives.

Key words: *biologically active additives, dry extracts, arabinogalactan, pectin substances, spruce waste, wood raw materials.*

Постановка проблеми

Для профілактики та лікувань багатьох захворювань та отримання екологічно безпечної продукції високої якості перспективно використовувати біологічно – активні речовини (БАР) природного походження. Основна перевага природних БАР перед синтетичними речовинами полягає в низькій токсичності, багатосторонньому та м'якому впливі на організм, гарною переносимістю при тривалому застосуванні [1, 2].

Одним з найбільш перспективних та доступних рослинних препаратів є водорозчинний полісахарид арабіногалактан (АГ), що володіє комплексом унікальних властивостей [3]. Основним видом сировини при отриманні АГ є деревина ялини Карпатської, в якій міститься до 15 % цього цінного полісахариду. Деревина ялини Карпатської є перспективною для використання в якості сировини для промислового отримання одного з найбільш ефективних антиоксидантів – флавоноїда дігідрокверцетина (ДКВ) [1–4].

Поряд з деревиною кора ялини може бути джерелом значної кількості цінних БАР [3]. Слід відмітити, що це в першу чергу комплекс фенольних сполук (15–18 % від маси абсолютно сухої кори), в складі якої переважає ДКВ. Фенольні кислоти, що містяться у цьому комплексі, володіють антиоксидантними, антибактеріальними та протизапальними властивостями.

Конденсовані таніни та пектинові речовини кори ялини також представляють велику практичну зацікавленість. Завдяки виявленій біологічній активності, ці сполуки перспективні для застосування у складі біологічно-активних добавок.

Відомо, що ялина є лісоутворюючою породою в Карпатах. Однак до сих пір основним способом її переробки залишається виробництво піломатеріалів, при цьому 40 % цієї цінної сировини (кора, тирса) потрапляє у відходи. Утилізація відходів шляхом створення виробництв з отримання біологічно активних речовин дозволить значно збільшити рентабельність переробки біомаси ялини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

На основі АГ та ДКВ у світі розроблено десятки біологічно активних добавок до харчування людини, а також функціональні лікувально-профілактичні продукти харчування та косметичні засоби [1, 2].

У світі розроблено і реалізовано у промисловому масштабі економічно вигідна та екологічно безпечна технологія отримання АГ та ДКВ з високим ступенем чистоти [2]. У дослідженнях [1–4] показана ефективність

застосування цих препаратів при лікуванні хвороб дихальних шляхів. Але їх масштабне застосування струмується високою собівартістю.

Формулювання мети дослідження

Для раціонального вирішення цієї проблеми необхідно розробити технологію отримання з відходів біомаси ялини сумарних водних екстрактів без виділення і очищення індивідуальних речовин. Отже, метою цієї роботи є розробка технології отримання АГ та ДКВ з відходів біомаси ялини. Екстракти, що отримані із застосуванням цієї технології можуть бути використані при виготовленні біологічно-активних добавок.

Викладення основного матеріалу дослідження

В нашій роботі було використано два види відходів лісопереробки ялини: деревина (тирса, розміром 0,5–2 мм) та суміш сировини – несортвані відходи лісопиляння ялини, які представляють собою суміш тирси (0,5–2 мм), щепи (17 × 9 × 3 мм) та кори (16 × 7 × 1 мм). Співвідношення деревини та кори у відходах становило 9:1 (за масою). З використанням ситового аналізу було визначено фракційний склад суміші сировини: доля частинок розміром 2 мм становить 22,4 мас.%, 2–4 мм – 24,9 мас.%, більш 4 мм – 52,7 мас.%.

Екстракцію проводили при співвідношенні сировина : дистильована вода – 1 : 4 та 1 : 7, при перемішуванні на протязі від 30 хвилин до 4 годин. Екстракти висушували до сталої маси.

Концентрацію полісахаридів у отриманих зразках визначали фотокалориметричним методом за відомою методикою [1–4]. Склад вуглеводневої фракції водорозчинних речовин та середні молекулярні маси (ММ) полісахаридів визначали методом високоефективної рідинної хроматографії (HPLC) з використанням хроматографічної системи Agilent 1260 на колонці PL aquagel – OH- 40 8 мкм, 300 × 7,5 мм, з предколонкою PL aquagel – OH Guard 8 мкм, 50 × 7,5 мм, що відкалібрована за розчинами стандартів – декстранов з молекулярною масою 25, 12, 5 кДа та D – галактози. Термостатування колонки здійснювалося за 25 °С.

Спектри реєстрували на рефрактометричному детекторі, термостатування ячейки здійснювалося за температури 30 °С. Елюмент – розчин 0,1 М LiNO₃, швидкість подачі 1,0 мл/хв, об'єм петлі – 20 мкл. Степінь полідисперсності макромолекул АГ розраховували як співвідношення середньомасової та середньочислової молекулярних мас $\frac{M_w}{M_n}$.

Спектри ЯМР ¹³C реєстрували на спектрометрі Bruker DPX 400 з робочою частотою 100 МГц, розчинник – D₂O. Співвідношення ланок арабінози (Ara) та галактози (Gal) у складі макромолекул АГ розраховували за відомою методикою [1–4].

УФ спектри водних розчинів, що було отримано на спектрометрі PerkinElmer UV/Vis у межах 200–700 нм (товщина шару 10 мм). ІЧ – спектри реєстрували в таблетках КВг на спектрофотометрі Spеcord 75 IR в інтервалі 500–4000 см⁻¹. Вміст флавоноїдів та танинів визначали на спектрофотометрі Unico S 2100, за методикою, що описана у дослідженнях [1–4].

Для отримання вихідних даних нами було проведено лабораторні експерименти з використанням водневої екстракції ялинкової сировини.

Нами було отримано за різних умов екстракти деревини ялини (Таблиця 1). Методами ВЕЖК, ІЧ – та ¹³C ЯМР – спектроскопії показано, що в сухих залишках екстрактів переважають полісахаридні фракції, які на 97–98 % складаються з АГ (за даними ВЕЖК).

Таблиця 1

Характеристика водних екстрактів деревини ялини

№ зразка	Умови екстракції	Сухий залишок екстракту, %	Зольність сухого залишку, %	Вміст у сухому залишку, %		
				АГ	Флавоноїди	Танини
1	23 °С, 1 год	4,1	0,82	92,7	0,45	4,54
2	90 °С, 30 хв	5,3	1,43	90,6	1,32	4,76
3	90 °С, 3 год	4,0	1,19	89,2	3,6	4,5

Дані Таблиці 1 свідчать, що екстракти, які було отримано за температури 90 °С, збагачені флавоноїдами та містять в значній кількості танини – речовини, що використовуються при виробництві БАД. На даних хроматограм АГ відповідає один вузький пік, що свідчить про незначну степінь полідисперсності його макромолекул, (Таблиця 2). Дослідження складу моносахариду АГ $\left(\frac{\text{Gal}}{\text{Ara}} \right)$ методом якісної ¹³C ЯМР – спектроскопії показало, що макромолекули зразків АГ, що отримані за температури 90 °С, містять більше галактозних ланцюгів. Звідси випливає, що при екстракції в більш жорстких умовах в макромолекулах АГ частково відщеплюються бокові арабінозні ланцюги.

Далі нами було проведено екстракцію сумарної ялинкової сировини.

Умови експерименту та характеристика отриманих екстрактів наведена у Таблиці 3.

Таблиця 2

Молекулярно-масові характеристики зразків АГ

№ зразка	ММ, Да	Степінь полідисперсності $\frac{M_w}{M_n}$	$\frac{Gal}{Ara}$
1	14730	1,04	13,7
2	14520	1,10	7,3
3	16070	1,18	10,7

Таблиця 3

Умови екстракції та характеристика отриманих екстрактів

№ дослідження	Умови екстракції			Сухий залишок екстракту, %	Вміст у сухому залишку, %			Зольність, %
	гідро-модуль	t, °C	тривалість, г		Полісахариди	Флаваноїди	Таніни	
1	1 : 4	60	3	4,1	93,33	1,67	2,7	2,3
2	1 : 4	90	3	4,5	91,74	2,37	2,96	2,93
3	1 : 7	60	3	2,3	92,85	1,75	3,01	2,35
4	1 : 7	90	1	1,9	93,00	1,82	3,21	1,97
5	1 : 7	90	3	2,3	90,59	2,12	4,3	2,99
6	1 : 7	90	4	2,3	90,45	2,1	4,44	3,23

У Таблиці 4 наведено дані за виходом продуктів відносно абсолютно сухої сировини (в.с.с.) та розраховані значення виходів, теоретично можливих при екстракції в умовах дослідження, а також дані за ступенем вилучення основних водорозчинних екстрактивних речовин.

Наявність в ІЧ – спектрах полоси поглинання в області 1700 cm^{-1} свідчить про присутність сполук з кислотними групами (фенолокислоти та пектинові речовини). За результатами аналізу методів ВЕЖХ, ІЧ та ^{13}C ЯМР – спектроскопії полісахаридної фракції, що виділена з водного екстракту кори ялини та літературними даними о складі полісахаридів відходів ялини це є пектинові речовини. У відповідності даних ВЕЖХ їх середня молекулярна маса становить 6950 Да.

Таблиця 4

Степінь вилучення водорозчинних речовин при екстракції

№ дослідження	Вихід, % від маси в.с.с.*			Степінь вилучення, %		
	полісахариди	флаваноїди	таніни	полісахариди	флаваноїди	таніни
1	8,56/14,22	0,07/0,13	0,38/0,63	60,2	53,8	60,3
2	9,07/17,73	0,12/0,23	0,39/0,64	61,6	60,9	60,9
3	9,05/13,52	0,08/13,56	0,38/0,57	66,9	59,0	66,7
4	9,58/13,97	0,14/0,2	0,38/0,56	68,6	70,0	67,9
5	11,40/15,34	0,39/0,53	0,14/0,18	74,3	73,6	77,8
6	11,32/15,3	0,37/0,51	0,14/0,18	74,0	72,5	77,8

* Перше значення – знайдене, друге – розраховане.

За даними елементного аналізу, в зразках присутності у золі (Таблиця 3). Методами атомно-адсорбційного та рентгенофлуоресцентного аналізу встановлено елементний склад золи сухого залишку екстракту, мг/кг: Са 966, Mg 497, Sr 9,0, К 2520, Na 266, Li < 1,5, Cu < 3,0, Zn 5,3, Pb 3,5, As 0,16, Fe < 7,0, Mn 157, Co < 15, Ni < 15, Cr < 15, Hg 0,006. Вміст сполук важких металів у сухих залишках екстрактів значно нижче гранично допустимого рівня. Високий вміст біогенних елементів (калія, кальцію, магнію) збільшує біологічну цінність екстрактів, що були отримані.

Таким чином, проведені експерименти показали, що шляхом водневої екстракції сировини, що містить деревину та відходи ялини можна отримати комплекс біологічно-активних речовин.

Далі було проведено розробку водневої екстракції відходів переробки ялини.

Відомо, що степінь вилучення екстрактивних речовин з біомаси ялини залежить від вмісту екстрактивних речовин у твердій фазі, розміру частин деревини, співвідношення рідкої та твердої фаз (гідромодуля) температури та тривалості екстракції. Так, при великому значенні гідромодуля зростають енергетичні витрати, а зменшення розміру деревини в 2 рази обертається 4-кратним зростанням енерговитрат на подрібнення та 5,6 – кратним зростанням капітальних витрат. Температура впливає на швидкість дифузії екстрактивних речовин, а отже на тривалість процесу екстракції. Остання, в свою чергу, визначає степінь досягнення рівноваги в системі тверде – рідке. На час досягнення рівноваги впливає температура, розмір частинок деревини та різниця концентрацій в початковий момент процесу.

В процесі лабораторних досліджень визначні оптимальні параметри та розроблено ефективну схему екстракції, що оснований на використанні у якості сировини відходів переробки деревини чи суміші відходів.

Для визначення оптимальних умов екстракції у якості критерію оптимальності технологічного процесу було прийнято наведені капітальні витрати (відношення капітальних витрат на одиницю продукції). У відповідності розрахунку матеріального балансу процесу екстракції, при зростанні гідромодуля від 2 до 3 суттєво збільшується вихід екстрактивних речовин, що знижує наведені капітальні витрати. Подальше зростання гідромодуля супроводжується незначним зростанням наведених капітальних витрат (рис. 1). Отже подальше кратне зростання кількості екстрагенту буде супроводжуватись слабким зростанням ступіні вилучення та значним зростанням капітальних витрат. Виходячи з даних таблиці 3,4 та рис. 1 було визначено оптимальні умови екстракції: гідромодуль 1:4, тривалість 3 години, температура 90 °С.

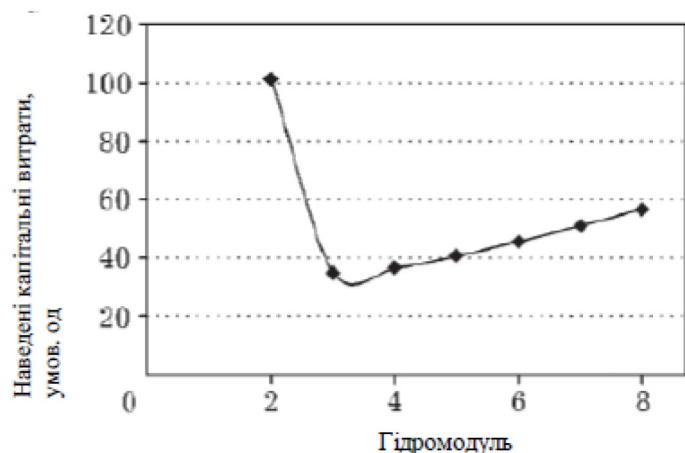


Рис. 1. Залежність капітальних витрат від гідромодуля

Для збільшення виходу екстрактивних речовин було запропоновано проводити подвійну екстракцію, за якої другий екстракт подається на першу екстракцію (свіжа сировина), рис. 2.

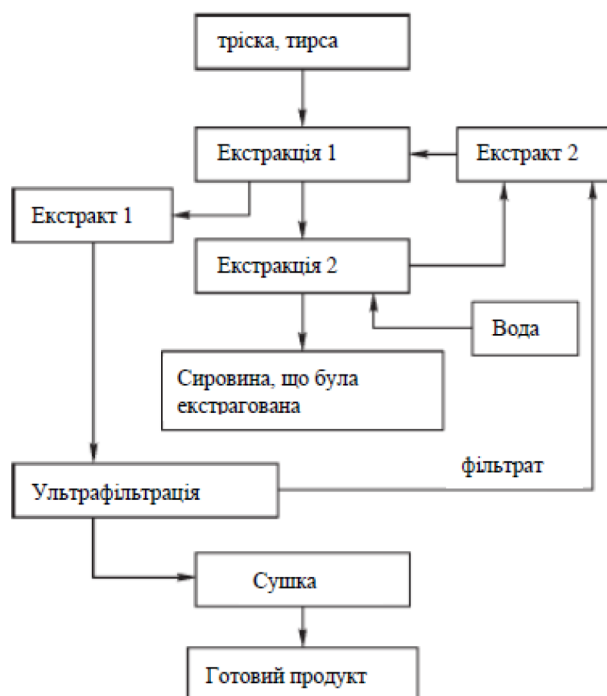


Рис. 2. Схема подвійної екстракції рослинної сировини

Екстракція здійснюється за 60–90 °С за сталої циркуляції екстрагенту крізь шар деревинної сировини. Отриманий екстракт з концентрацією сухих речовин 4–5 % можна використовувати як самостійний продукт при

виробництві БАД. Для отримання сухої добавки екстракт концентрується на ультрафільтраційній установці до вмісту сухих речовин 15–20 %; концентрат висушують на установці, що його розпилює за температури у сушільній камері 110–125 °С.

За розробленою технологією отримані опитні партії водневих та сухих екстрактів, які показали свою ефективність при виробництві БАД.

Висновки і пропозиції

На базі лабораторних досліджень розроблено ефективну технологію отримання із відходів перероблення ялини водних та сухих екстрактів, які можуть бути використані при виробництві БАД.

Список використаної літератури

1. Krupodorova T., Butkevych T., Barshteyn V., Sevindik M., V. Popovych, Z. Polova Effect of the composition of a biologically active dietary supplement with macrofungi mycelia on its antioxidant activity. *Regulatory mechanisms in biosystems*. 2024. Vol. 15(4). P. 932–938.
2. Ma Z. F., Fu C., Lee Y. Y. The Modulatory Role of Bioactive Compounds in Functional Foods on Inflammation and Metabolic Pathways in Chronic Diseases. *Foods*. 2025. Vol. 11. P. 185–197.
3. Vieira S. F., Reis R. L., Ferreira H., Neves N. M. Plant-derived bioactive compounds as key players in the modulation of immune-related conditions. *Phytochemistry reviews*. 2024. Vol. 24. P. 343–460.
4. Xiaoyu J., Ning L., Shu-Cheng H., Cai Z. A Comprehensive Review of Licorice: The Preparation, Chemical Composition, Bioactivities and Its Applications. *The American Journal of Chinese Medicine*. 2024. Vol. 52. P. 667–716.

References

1. Krupodorova T., Butkevych T., Barshteyn V., Sevindik M., V. Popovych, Z. Polova (2024) Effect of the composition of a biologically active dietary supplement with macrofungi mycelia on its antioxidant activity. *Regulatory mechanisms in biosystems*. Vol. 15(4). P. 932–938.
2. Ma Z. F., Fu C., Lee Y. Y. (2025) The Modulatory Role of Bioactive Compounds in Functional Foods on Inflammation and Metabolic Pathways in Chronic Diseases. *Foods*. Vol. 11. P. 185–197.
3. Vieira S. F., Reis R. L., Ferreira H., Neves N. M. (2024) Plant-derived bioactive compounds as key players in the modulation of immune-related conditions. *Phytochemistry reviews*. Vol. 24. P. 343–460.
4. Xiaoyu J., Ning L., Shu-Cheng H., Cai Z. (2024) A Comprehensive Review of Licorice: The Preparation, Chemical Composition, Bioactivities and Its Applications. *The American Journal of Chinese Medicine*. Vol. 52. P. 667–716.

Дата першого надходження статті до видання: 11.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 16.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.04.2026