

OBTAINING ARABINO GALACTAN FROM THE DOMESTIC-PRODUCED RAW MATERIAL AND ITS CHARACTERISTICS

N. Cherny, L. Gural, O. Antipina

Odessa National Academy of Food Technologies

Key words:

*Polysaccharides
Arabinogalactan
Pine wood of *Pinus
sylvestris*
Method for obtaining
arabinogalactan*

Article history:

Received 18.09.2017
Received in revised form
01.10.2017
Accepted 16.10.2017

Corresponding author:

N. Cherny

E-mail:

npuht@ukr.net

ABSTRACT

The article presents the results of the initial phase of the study related to creation of nanocomposite physiologically functional ingredients using arabinogalactan as a complexing agent. It is shown that the prospective source of raw material for obtaining arabinogalactan in Ukraine is *Pinus silvestris* wood from Volyn Region. It has been established that wood should be treated with a multienzyme preparation (0.5% solution in acetate buffer, pH 4.7, temperature 50° C, duration 4 hours, ratio of solid and liquid phases 1:7) to obtain arabinogalactan. After inactivation of the enzyme, arabinogalactan is precipitated from the solution with ethanol and cool dehumidified. The polysaccharide preparation contains carbohydrates and up to 0.3% phenolic compounds. In the hydrolyzate of the polysaccharide part, galactose and arabinose are in a molar ratio of 3.0:1.0; small amounts of glucuronic acid are also present. The UV and IR spectra of the arabinogalactan being studied are similar to those of polysaccharides of this category from other sources. The mean molecular weight of the preparation according to gel chromatography on Sephadex is 60—65 kDa. Further study of this polysaccharide structure, the conditions for supramolecular complex formation with other biologically active compounds based on it, determining the prospects for their application as physiologically functional food ingredients seem to be reasonable.

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-7

ОТРИМАННЯ АРАБІНОГАЛАКТАНУ З ВІТЧИЗНЯНОЇ СИРОВИНИ ТА ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИКА

Н.К. Черно, Л.С. Гураль, О.О. Антіпіна

Одеська національна академія харчових технологій

У статті висвітлено результати початкового етапу дослідження, присвяченого створенню нанокмпозитних фізіологічно функціональних інгредієнтів із застосуванням арабіногалактану як комплексоутворювача. Показано, що перспективним сировинним джерелом вилучення арабіногалактану в Україні

є деревина сосни *Pinus silvestris* з Волинської області. Встановлено, що для отримання арабіногалактану доцільно здійснювати обробку деревини мацеровальним мультиферментним препаратом целовіридином (0,5-процентний розчин в ацетатному буфері, рН 4,7, температура 50° С, тривалість 4 год, гідромодуль 7). Із розчину після інактивації ферменту арабіногалактан осаджують етанолом і ліофільно висушують. Полісахаридний препарат поряд з вуглеводною складовою містить до 0,3% фенольних сполук. У гідролізаті полісахаридної компоненти галактоза й арабіноза знаходяться у молярному співвідношенні 3,0:1,0, у мінорній кількості наявна глюкуронова кислота. УФ- та ІЧ-спектри досліджуваного арабіногалактану аналогічні таким полісахаридом даної категорії, вилучених з інших джерел. Середня молекулярна маса препарату за даними гель-хроматографії на сефадексі складає 60—65 кДа. Доцільне подальше вивчення тонкої структури цього полісахариду, умов утворення супрамолекулярних комплексів з іншими біологічно активними сполуками на його основі та визначення перспектив їхнього використання як фізіологічно функціональних харчових інгредієнтів.

Ключові слова: полісахариди, арабіногалактан, деревина сосни *Pinus sylvestris*, спосіб одержання арабіногалактану.

Постановка проблеми. В останні роки визначилась перспектива створення і використання наноструктурованих комплексів біологічно активних речовин та лікарських засобів, які забезпечують адресну доставку до органу-мішені фізіологічно активної субстанції. Переваги таких включених у комплекси субстанцій — це зниження ефективної дози у 1—150 разів та суттєве зменшення, а іноді й повне зникнення побічних ефектів. Клатрування цих субстанцій можливе шляхом включення їх у комплекси з полісахаридами. Ефективним комплексоутворювачем серед останніх є арабіногалактан, що визначає доцільність пошуку перспективних сировинних джерел цього полісахариду в Україні та розвитку наукових досліджень щодо його використання як біологічно активного харчового засобу для транспорту речовин, необхідних для корекції стану здоров'я людини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Арабіногалактан — широко розповсюджений у рослинному світі гетерополісахарид. Його знаходять у хвойній і в листяній деревині, зернових, овочах і фруктах [1—4]. Арабіногалактан входить до складу ексудатів ряду рослин, зокрема він є основним компонентом полісахарид-білкового комплексу гуміарабіку й трагакантової камеді [2; 3]. Це вискорозгалужений водорозчинний полісахарид [2; 3]. Природа, число, ступінь розгалуження, моносахаридний склад, конфігурація глікозидних зв'язків, молекулярна маса макромолекул арабіногалактану варіюються залежно від виду сировини та в межах одного виду [3; 4]. Арабіногалактан сприяє стабілізації клітинної стінки, поєднуючи ксилоглюканові макромолекули з рамногалактуронатом, завдяки чому утворюється єдиний полісахаридний матрикс [1].

За типом глікозидного зв'язку арабіногалактани поділяють на арабіно-4-галактани, арабіно-3,6-галактани та арабіно-6,3-галактани.

У молекулах арабіно-4-галактанів головний ланцюг побудований із залишків D-галактопіраноз, з'єднаних між собою β -(1 \rightarrow 4)-глікозидними зв'язками, а в положеннях O-3 β -глікозидними зв'язками до кору приєднані бічні ланцюги, представлені залишками L-арабінофураноз. Арабіно-4-галактани наявні в одно- і дводольних рослинах. Зокрема, в однодольних: злакових — в оболонках зерна кукурудзи, італійському райграсі, сорго; у дводольних: томатах, цитрусових, яблуках, шкірці червоного винограду, коренеплодах моркви, лушпинні соняшника [2—6].

Арабіно-3,6-галактани є найбільш розповсюдженими. На відміну від арабіно-4-галактанів, вони мають високорозгалужену структуру, а головний ланцюг їхніх макромолекул побудовано із залишків β -D-галактопіраноз, сполучених β -(1 \rightarrow 3)-глікозидними зв'язками. До галактанового кору в положенні O-6 приєднані бічні ланцюги у вигляді поодиноких залишків галактопіраноз, або більш довгі відгалуження, у яких до залишків D-галактопіраноз (1 \rightarrow 3) і/або (1 \rightarrow 5)-зв'язками приєднуються залишки α -L-арабінофураноз. Галактановий кор має відкриту спіральну структуру, а бічні ланцюги — незвивисту лінійну. Арабіно-3,6-галактани знаходяться як у твердих (модрині *Larix*, сосні *Pinus L.*, ялиці *Abies*), так і в м'яких видах хвойної деревини (ялині *Picea Dietrich*, кедрі *Cedrus Trew*) [1—3; 7; 8]. Вони наявні також у листяних породах: у цукровому клені *Acer saccharum Marsh*, осиці *Populus tremula L*, платані *Platanus L.* [1—3]. Найбільш досліджений арабіногалактан деревини модрини [7—9]. Залежно від виду модрини його вміст може сягати 15—35%, а молекулярна маса знаходиться в межах 3—100 кДа. Співвідношення галактозних і арабінозних фрагментів варіює від 2,33 : 1,00 до 6,99:1,00.

Арабіно-6,3-галактани найменше розповсюджені в рослинному світі. Вони містяться як у твердих (сосні чорній *Pinus Banksiana*, сосні Жефрея *Pinus Jeffrey Balf.* і сосні *Pinus Radiate Don.*), так і в м'яких видах хвойної деревини (ялині білій *Picea glauca* та чорній *Picea mariana*) [1; 2]. Арабіно-6,3-галактани, як і арабіно-3,6-галактани, мають високорозгалужену структуру, але різняться за будовою. Їхній головний ланцюг побудований не з (1 \rightarrow 3), а з (1 \rightarrow 6)-зв'язаних залишків D-галактопіраноз. У положенні O-3 до деяких залишків галактопіраноз приєднані інші (1 \rightarrow 6)-зв'язані ланцюги D-галактопіраноз; деякі з них закінчуються залишками L-арабінофураноз. Одночасно наявні (1 \rightarrow 4)-зв'язки [1; 2].

Арабіногалактани, що входять до складу камедей (гуміарабіку, трагакантової камеді, камеді вишні), мають дещо іншу структуру порівняно з іншими видами. Арабіногалактан трагакантової камеді, окрім залишків D-галактози й L-арабінози, містить невелику кількість залишків L-рамнози й D-галактуронової кислоти. Основний ланцюг цього полісахариду побудований із залишків галактопіраноз, які поєднуються в основному β -(1 \rightarrow 6) зв'язками й невеликою кількістю β -(1 \rightarrow 3)-зв'язків. Сильно розгалужена частина макромолекули включає залишки арабінофураноз зі зв'язками 1 \rightarrow 2, 1 \rightarrow 3, 1 \rightarrow 5 [10].

Існує декілька версій щодо причин, які зумовлюють здатність арабіногалактану слугувати адресним носієм для доставки біологічно активних речовин — ферментів, нуклеїнових кислот, вітамінів, гормонів тощо [3; 11; 12]. Так, наприклад, вважають що між агентом, який доставляється до гепатоцитів

(паренхімних клітин печінки), і арабіногалактаном, утворюється комплекс, який реагує з асіалоглікопротеїновим рецептором клітин [13]. Взаємодія арабіногалактану з цими рецепторами може бути зумовлена високорозгалуженою структурою полісахариду і наявністю в його молекулі численних кінцевих галактозних і арабінозних груп [3]. Завдяки цьому його можна використовувати для підвищення всмоктування інших речовин, що характеризуються низькою біодоступністю [3; 12; 13].

Крім того, арабіногалактан має широкий спектр фізіологічно функціональних ефектів: уповільнює процеси пероксидного окиснення ліпідів, має антимікробну дію щодо деяких бактерій [3]. Як імуномодулятор він впливає на фагоцитарні процеси — активує хемотаксис, адгезію, поглинальну і бактеріцидну здатність макрофагів [3; 14]. Важливий вклад у його фізіологічну активність вносять бічні ланцюги, на яких локалізуються імунодетермінантні групи, що обумовлюють імунологічну специфічність усєї молекули [14].

Арабіногалактан нерозчинний у слабкополярних органічних розчинниках — ацетоні, етанолі, метанолі. Осадженню полісахариду сприяють неорганічні солі, які зменшують гідратацію молекули [1; 3].

Арабіногалактан має високу диспергувальну здатність. Йому притаманна низька в'язкість концентрованих водних розчинів. Його 50-процентний розчин — це в'язка опалесцююча система. Він стійкий у кислому середовищі й при температурній обробці. При тривалому нагріванні при 105° С властивості полісахариду не змінюються. Підвищення температури до 150° С призводить до втрати маси, збільшується середній ступінь полімеризації і зростає кількість високомолекулярних фракцій. Гідролітична стійкість арабіногалактану у водних розчинах залежить від рН середовища й температури. При рН 1,3 його гідроліз відбувається з помітною швидкістю вже при 75° С, при 100° С гідроліз практично завершується через 4 год. У менш кислому середовищі (рН 3,8 і 4,5) початок гідролізу арабіногалактану відзначається при 150° С, при 180° С він повністю гідролізується впродовж 1,5—2,0 год [3].

Хімічні властивості арабіногалактану обумовлені наявністю глікозидного зв'язку й вільних ОН-груп. Перший здатний до гідролізу, останні — до взаємодії з низькою реагентів, що зумовлює можливість отримання похідних цього полісахариду [1; 3].

Фізико-хімічні та біологічні властивості арабіногалактану багато в чому визначили сфери його застосування в харчовій промисловості. Він широко використовується як загусник і стабілізатор. Це пов'язано з його розчинністю в холодній воді і низькою в'язкістю його концентрованих розчинів, здатністю зв'язувати жири й утримувати вологу [3; 15]. Арабіногалактан також використовують як компонент дієтичних добавок і фізіологічно-функціональний інгредієнт продуктів оздоровчого і лікувального харчування [3; 16].

На світовому ринку виробництво арабіногалактану з модрина різних видів постійно зростає. 97,81% світового виробництва цього полісахариду зосереджено в США; європейські країни посідають друге місце, де частка світового виробництва арабіногалактану становить 1,94%. У промислових масштабах арабіногалактан виробляють також у Швейцарії (м. Базель), Росії (м. Благовіщенськ), Китаї (Цзилінська лісова індустрія) [17].

Незважаючи на різноманітність цінних властивостей арабіногалактану, у нашій країні його промислового виробництва не існує. Відповідно, немає виробництва дієтичних добавок і лікарських засобів із його включенням. Це обумовлює актуальність розроблення вітчизняних препаратів арабіногалактану та його наноструктурованих клатратів з іншими біологічно активними речовинами як фізіологічно функціональних харчових інгредієнтів.

В Україні потенційним промисловим джерелом арабіногалактану можуть бути деревинні побічні продукти деревообробної промисловості сосни звичайної *Pinus sylvestris*, яка є основною лісоутворювальною породою (займає 76,7% хвойних насаджень лісів) [18]. Одним із напрямів досліджень, що розвиваються в Одеській національній академії харчових технологій у галузі хімії і біотехнології полісахаридів, є розроблення технологій нанокompозитних біологічно активних речовин з використанням арабіногалактану як комплексоутворювача для їхньої адресної доставки до органу-мішені, тому **метою статті** є обґрунтування вибору джерела вилучення арабіногалактану та його загальна характеристика на початковому етапі.

Матеріали і методи. У дослідженнях використовували побічні продукти переробки сосни з різних областей України (Волинської, Сумської, Херсонської, Одеської). Арабіногалактан із тирси сосни вилучали паралельно двома способами: водною екстракцією (стандартний спосіб) та екстракцією із застосуванням мацерувальних ферментних препаратів (ферментативний спосіб). Відповідно до стандартного способу сировину трикратно обробляли водою (масове співвідношення сировина:вода — 1:7) за температури 90° С впродовж 2 год, після чого екстракт концентрували під вакуумом, полісахарид осаджували етанолом та ліофільно висушували [7; 8; 14]. Ферментативний спосіб передбачав оброблення тирси сосни розчинами ферментних препаратів целюлолітичної й геміцелюлолітичної дії, які забезпечують руйнування зв'язків між полісахаридами, лігніном і вуглеводами рослинної тканини, а також деструкцію окремих структурних полісахаридів (целюлози, геміцелюлоз), з якими сполучений арабіногалактан [19]: 0,1—1,0-процентні розчини целовіридину Г20х, целокандину Г10х, целоконінгіну П10х, целолігнорину П10х в ацетатному буфері рН 4,7 температура процесу ферментолізу 50° С, тривалість 1—8 год, гідромодуль 5—10. Фермент інактивували кип'ятінням, реакційну суміш центрифугували, рідку фазу концентрували, полісахарид осаджували етанолом та ліофільно сушили.

В отриманих зразках визначали масову частку полісахариду за редукуючою здатністю розчинів [20] після гідролізу 2-процентним розчином хлоридної кислоти [1; 20], фенольних сполук — з реактивом Фоліна [21]. Моносахаридний склад гідролізатів встановлювали методом ВЕРХ [22]. Розчинність у воді визначали за різницею у масах вихідної наважки арабіногалактану і залишку після відокремлення рідкої фази в результаті обробки полісахариду за таких умов: 100 см³ води, температура 18—22° С і 90—100° С, маса арабіногалактану 10—50 г, термін обробки 15 хв [14]. Питоме обертання 2-процентних водних розчинів арабіногалактану визначали методом поляриметрії за температури 20—22° С [23]. УФ-спектри 0,1-процентних водних розчинів досліджуваних продуктів отримували в інтервалі від 200 до 600 нм на спектрофотометрі СФ-26 [14]. Реєстрацію ІЧ-спектрів препаратів у таблетках

із КВг здійснювали на ІЧ-Фур'є спектрометрі Frontier у діапазоні частот 4000—400 см⁻¹ [14, 24]. Молекулярну масу арабіногалактанів у 1,0 М розчині NaCl визначали методом гель-хроматографії в скляній колонці (600 · 24 мм) на Sephadex S-75 Superfine, відкаліброваної за допомогою блакитних декстринів [14]. Елюати (по 2 см³) аналізували на вміст вуглеводів антроновим методом [25].

Результати і обговорення. При застосуванні стандартного способу вихід арабіногалактану з деревини сосен Сумської, Херсонської та Одеської областей становив 68,7%, 57,5% і 50,6% відповідно від теоретично можливого. Останній розраховували на основі даних з моносахаридного складу геміцелюлоз, припускаючи, що наявність у них залишків галактози й арабінози обумовлена наявністю саме арабіногалактану. З найбільшим виходом арабіногалактану було отримано з деревини, що росте на Волині, — 64,9% від теоретично можливого. Тому у подальших дослідженнях використовували саме цю сировину.

Ферментативний спосіб вилучення застосовували з метою руйнації зв'язків арабіногалактану з іншими біополімерами, що мало сприяти збільшенню ступеня його екстрагування і, відповідно, — виходу цільового продукту. Процес екстракції вели за оптимальних умов дії мацерувальних ферментів. При мінімальному співвідношенні сировина:екстрагент (1:5) відбувалося лише змочування сировини розчином ферменту, що в подальшому ускладнювало відділення рідкої фази та вилучення цільового полісахариду. При збільшенні гідромодулю до 7 вихід продукту підвищувався і практично не змінювався при подальшому зростанні цього показника. Однократна ферментативна обробка порівняно із стандартною сприяла збільшенню виходу арабіногалактану з сировини на 20—30%. Максимально можливий вихід арабіногалактану при обробці деревини мав місце при застосуванні 0,50-процентних розчинів целовіридину або целокандіну, чи целоконігін у впродовж 4 год і 0,75-процентного розчину целолігнорину впродовж 6 год (гідромодуль 7). Подовження тривалості процесу ферментолізу тирси сосни не було доцільним, оскільки майже не впливало на збільшення виходу полісахариду. Найбільш ефективним для попередньої обробки сировини був ферментний препарат целовіридин, який на відміну від інших ферментів забезпечив збільшення виходу арабіногалактану на 5—9%.

Порівняльну характеристику компонентного та моносахаридного складу зразків арабіногалактану, одержаних стандартним і ферментативним методами, наведено в табл. 1 і 2.

*Таблиця 1. Характеристика компонентного і моносахаридного складу зразків арабіногалактану деревини *Pinus silvestris*, отриманих стандартним методом*

Деревина сосни <i>Pinus silvestris</i>	Масова частка, %		Моносахаридний склад, молярні співвідношення			
	полісахариду	фенольних сполук	<i>Gal</i>	<i>Ara</i>	<i>Xyl</i>	<i>GlcA</i>
Волинська обл.	97,40	0,21	10,00	5,88	—	0,35
Сумська обл.	97,10	0,19	10,00	4,70	—	0,12
Херсонська обл.	97,00	0,27	10,00	3,53	0,59	0,18
Одеська обл.	97,10	0,15	10,00	1,47	0,59	0,12

Таблиця 2. Характеристика компонентного і моносахаридного складу зразків арабіногалактану деревини *Pinus silvestris* з Волинської обл., отриманих ферментативним методом

Ферментативна обробка тирси сосни	Масова частка, %		Моносахаридний склад, молярні співвідношення		
	полісахариду	фенольних сполук	<i>Gal</i>	<i>Ara</i>	<i>GlcA</i>
Целовіридин Г20х	97,80	0,21	10,00	3,33	0,20
Целокандин Г10х	97,50	0,21	10,00	4,45	0,28
Целолігнорин П10х	97,40	0,21	10,00	3,89	0,33
Целоконінгін П10х	97,60	0,21	10,00	3,05	0,17

Як свідчать результати експериментальних даних, усі досліджувані продукти на 97,0—97,8% представлені полісахаридною складовою та містять незначну кількість фенольних сполук (не більше 0,27%).

У складі гідролізатів арабіногалактанів із різних зразків сосни, отриманих стандартним методом (табл. 1), на 10 молекул галактози припадає від 1,47 до 5,88 молекул арабінози. Крім того, у гідролізатах усіх зразків наявна глюкуронова кислота. В арабіногалактанах сосни з Херсонської й Одеської областей, на відміну від таких сосни Волинської та Сумської областей, наявні залишки ксилози.

В арабіногалактанах, отриманих ферментативним способом з деревини сосни Волинського регіону, наявні залишки галактози й арабінози у співвідношеннях 10,00:3,05—4,45, у слідових кількостях містяться залишки глюкуронової кислоти. Разом з тим застосування ферментів приводить до перерозподілу моносахаридних залишків у полісахариді, а саме: до збільшення в ньому частки залишків галактози. Так, у разі застосування целовіридину отримано арабіногалактан, у якому кількість залишків галактози утричі переважає кількість залишків арабінози.

Усі отримані продукти повністю розчиняються як у холодній, так і в гарячій воді, обертають площину лінійного поляризованого світла праворуч, а величина питомого обертання $[\alpha]_{20}^D$ знаходиться в межах 10—15°, що узгоджується з літературними даними для арабіногалактанів модрини західної та сибірської [23].

В УФ-спектрі отриманого арабіногалактану наявні два максимуми поглинання в області 200—290 нм (200—203 і 285—290 нм), плече при 230 нм. Смуги поглинання в області 200—203 (інтенсивний максимум) і 285—290 нм (менш інтенсивний максимум) свідчать про наявність у досліджуваних зразках супутніх речовин фенольної природи, зокрема дигідрокверцетину та лігніну [7; 8; 14]. У цілому спектр є аналогічним відповідним спектрам арабіногалактанів деревинного походження [14].

У ІЧ-спектрах отриманих арабіногалактанів наявна інтенсивна смуга поглинання з максимумом у межах 3417—3398 cm^{-1} , обумовлена валентним коливанням ОН-груп, також ідентифіковані смуги поглинання з максимумами, характерними для валентних коливань аліфатичних CH_2 -груп (2923—2854 cm^{-1}), спряженої системи -C=C- зв'язків (1735—1647 cm^{-1}), -C-OC- та

піранозних циклів ($1072\text{--}1037\text{ см}^{-1}$), деформаційних коливань С-Н (область при 900 см^{-1}). Як і УФ-, так і ІЧ-спектри ідентичні таким арабіногалактану модрина *Larix sibirica* [14, 24].

За даними гель-хроматографії на Sephadex S-75 Superfine середня молекулярна маса арабіногалактану, отриманого водною екстракцією, становить 65 кДа, а його гель-хроматограма має один вузький пік (рис. 1а). Гель-хроматограма ж арабіногалактану, одержаного в результаті ферментативної обробки сировини целовіридином, характеризується розширеним піком з плечем, що відповідає полісахаридним фракціям з розподілом молекулярних мас у межах 60—65 кДа та свідчить про його неоднорідність (рис. 1б).

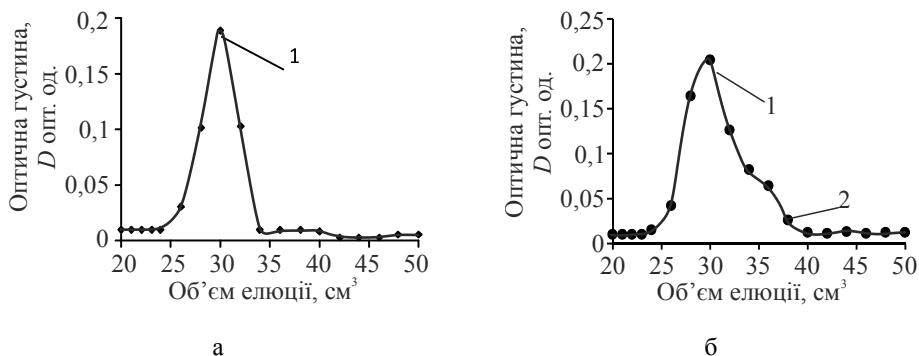


Рис. 1. Вихідні криві гель-хроматографії арабіногалактану сосни *Pinus silvestris*, отриманого стандартним методом (а), ферментативним методом із застосуванням целовіридиону (б)

Висновки

Отже, перспективним вітчизняним джерелом арабіногалактану є деревина сосни *Pinus silvestris* з Волинської області. Запропоновано біотехнологічний спосіб його вилучення, який включає попередню обробку деревини розчином ферментного препарату целовіридиону, інактивацію ферменту, осадження та сушіння полісахариду, що в результаті дає змогу збільшити його вихід до 30% порівняно з виходом цього полісахариду при застосуванні стандартного методу. Препарат арабіногалактану сосни *Pinus silvestris* містить близько 98% полісахаридної складової, побудованої із залишків галактози, арабінози і глюкуронової кислоти, йому супутній фенольний компонент у кількості не більше ніж 0,3%. Доцільне подальше вивчення тонкої структури арабіногалактану сосни *Pinus silvestris*, можливості й умов утворення його супрамолекулярних комплексів з іншими біологічно активними речовинами та визначення перспектив їхнього використання як фізіологічно функціональних харчових інгредієнтів.

Література

1. Геміцеллюлозы / М.С. Дудкин [и др.]. — Рига : Зинатне, 1991. — 488 с.
2. Арифходжаев А.О. Галактаны и галактансодержащие полисахариды высших растений / А.О. Арифходжаев // Химия природных соединений. — 2000. — № 3. — С. 185—197.

3. *Медведева Е.Н.* Арабиногалактан лиственниці — свойства и перспективы использования. Обзор / Е.Н. Медведева, В.А. Бабкин, Л.А. Остроухова // Химия растительного сырья. — 2003. — № 1. — С. 27—37.
4. *D'Adamo P.* Larch arabinogalactan / P. D'Adamo // J. Naturopath. Med. — 1996. — № 6. — P. 33—37.
5. *Schindler T.* Arabinogalactan proteins in maize coleoptiles: developmental relationship to cell death during xylem differentiation but not to extension growth / T. Schindler, R. Bergfeld, P. Schopfer // Plant J. — 1995. — Vol. 7, № 1. — P. 25—36.
6. Пат. 2360427 Российская Федерация, МПК А23F5/48. Арабиногалактан выделенный из кофе / Курти Д.Ж., Греч К., Лаббе Д.Ф., Редгуэл Р.Д., Шонман Й.Х., Уббинк Й.Б.; патентообладатель Нестек С. А. — № 2006145898/13; заявл. 18.04.05, опубл. 10.07.09. — 13 с.
7. Распределение экстрактивных веществ в древесине лиственниці сибирской (*Larix Sibirica* Ledeb.) / Н.А. Неверова, А.А. Левчук, Л.А. Остроухова, Е.Н. Медведева // Химия растительного сырья. — 2012. — № 4. — С. 91—100.
8. *Бабкин В.А.* Теоретические основы и практические разработки новых препаратов для медицины на основе экстрактивных веществ из биомассы лиственниці / В. А. Бабкин // Химия растительного сырья. — 2014. — № 3. — С. 111—119.
9. *Perez S.* The three-dimensional structures of the pectic polysaccharides / S. Perez, M. Karim, Catherine Herve du Penhoat // Plant Physiol. Biochem. — 2000. — Vol. 38, № 1/2. — P. 37—55.
10. β -Galactosyl Yariv Reagent Binds to the β -1,3-Galactan of Arabinogalactan Proteins / K. Kitazawa, T. Tryfona, Y. Yoshimi [et al]. // Plant Physiol. — 2013. — Vol. 161, № 3. — P. 1117—1126.
11. Tolerability of a Proprietary Larch Arabinogalactan Extract: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Clinical Trial in Healthy Subjects / B. Grube, H. Stier, L. Riede, J. Gruenwald // Food and Nutrition Sciences. — 2012. — № 3. — P. 1533—1538.
12. Механохимическое получение и свойства водорастворимых межмолекулярных комплексов полисахаридов и β -циклодекстрина с лекарственными веществами / А.В. Душкин, Е.С. Метелева, Т.Г. Толстикова [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. — 2010. — Т. 18, № 6. — С. 719—728.
13. *Grieshop C.M.* Oral administration of arabinogalactan affects immune status and fecal microbial populations in dogs / C.M. Grieshop, E.A. Flickinger, G.C. Fahey // Journal of Nutrition. — 2002. — Vol. 132, № 3. — P. 478—482.
14. Получение высокоочищенного арабиногалактана лиственниці и исследование его иммуномодулирующих свойств / Е.Н. Медведева, В.А. Бабкин, О.А. Макаренко [и др.] // Химия растительного сырья. — 2004. — № 4. — С. 17—23.
15. *Чемакина А.В.* О функциональных свойствах арабиногалактана / А.В. Чемакина, Т.Б. Цыганова, О.А. Ильина // Хранение и переработка сельхозсырья. — 1998. — № 1. — С. 44—45.
16. *Fitzpatrick A.* Larch arabinogalactan: A novel and multifunctional natural product / A. Fitzpatrick, A. Roberts, S. Witherly // Special Highlight: Prebiotics & Probiotics. — 2004. — № 1. — P. 30—32.
17. Global Arabinogalactan Industry 2016 Market Research Report [Электронный ресурс] / QYResearch. — 2016. — № 1. — 120 p. Режим доступа : <http://www.qyresearch.com/english/goods.php?id=348166>.
18. Сосна звичайна лікувальні властивості [Электронный ресурс] / 2013. — Режим доступа : <http://fitoterapevt.pp.ua/likarski-roslini/sosna-zvichajna-likuvalni-vlastivosti>.
19. *Рабинович М.Л.* Прогресс в изучении целлюлолитических ферментов и механизм биодegradации высокоупорядоченных форм целлюлозы / М.Л. Рабинович, М.С. Мельник // Успехи биологической химии. — 2000. — Т. 40. — С. 205—266.
20. Методы химии углеводов / под ред. Н.К. Кочеткова. — Москва : Мир, 1967. — 512 с.

21. Методы биохимического исследования растений / А.И. Ермаков, В.В. Арасимович, Н.П. Ярош и др. — Ленинград : Агропромиздат, 1987.— 430 с.

22. Захарова Л.А. Определение органических кислот, углеводов и подсластителей в пищевых продуктах и биологически активных добавках методом высокоэффективной жидкостной хроматографии / А.М. Захарова, Л.А. Карцова, И.Л. Гринштейн // Аналитика и контроль. — 2013. — Т. 17. — № 2. — С. 204—210.

23. Влияние способа выделения и очистки арабиногалактана из древесины лиственницы сибирской на его строение и свойства / Е.Н. Медведева, Т.Е. Федорова, А.С. Ванина [и др.] // Химия растительного сырья. — 2006. — № 1. — С. 25—32.

24. Сульфатирование арабиногалактана сульфаминовой кислотой в диоксане / Н.Ю. Васильева, А.В. Левданский, Б.Н. Кузнецов, Г.П. Скворцова // Химия растительного сырья. — 2014. — № 1. — С. 87—95.

25. Chung C. Polysaccharide synthesis in growing yeast / C. Chung, W.J. Nickerson // Biol. Chem. — 1954. — Vol. 208, № 1. — P. 395—407.