

УДК 547.9+615.32

DOI 10.26456/vtchem2025.4.15

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХРОМАТОМАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ ДЛЯ АНАЛИЗА СЕЗОННОГО СОДЕРЖАНИЯ ПИНИТОЛА В ХВОЕ *PICEA ABIES*

Е.В. Ожимкова, А.В. Соколова, Д.А. Гармонов

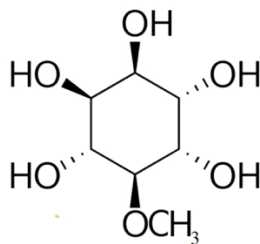
ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», г. Тверь

Древесная зелень является уникальным возобновляемым сырьем, поскольку содержит целый ряд биологически активных веществ: витамины, хлорофилл, фитонциды и др. В настоящее время использование хвои ограничено, следовательно, современные способы переработки древесной зелени хвойных деревьев для получения биологически активных веществ являются весьма актуальными. В работе проведено исследование сезонной динамики изменений химического состава хвои *Picea abies* для обоснования целесообразных сроков заготовки хвои как сырья для получения пинитола.

Ключевые слова: пинитол, хвоя, растительные отходы, *Picea abies*.

Введение

D-пинитол (3-O-метил-D-хиро-инозитол) является наиболее широко распространенным эфиром инозитола в растениях. На сегодняшний день это соединение характеризуется уникальным потенциалом для использования в таких различных сферах как фармацевтическая, косметическая и пищевая промышленность [1].



Р и с . 1. Химическая формула пинитола

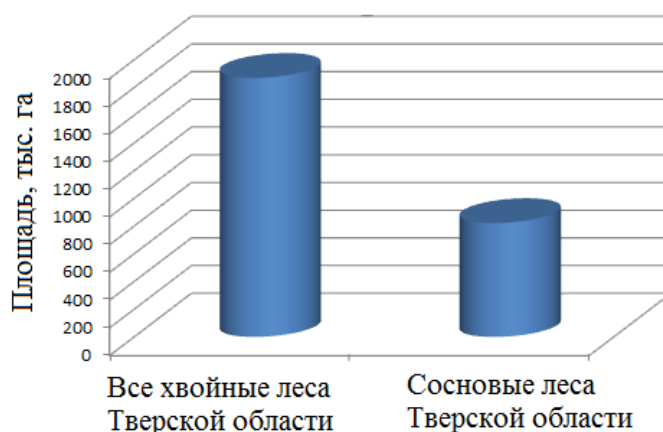
Для пинитола доказаны следующие активности: противораковая [2], антидиабетическая [3,4], антиоксидантная [5], гепатопротекторная [6] и антиостеопорозная [7]. На сегодняшний день наиболее изученной и востребованной биоактивностью пинитола является его

инсулиноподобный эффект. Кроме того, существует множество исследований, подтверждающих, что пинитол оказывает положительное влияние на такое осложнение диабета как антигиперлипидемия, а также способствует нормализации активности ферментов, секретируемых печенью [8].

Следует отметить, что именно из сосны был впервые выделен и структурно охарактеризован пинитол [9]. Уникальный химический состав древесной зелени, которая имеет в составе биологически активные вещества, такие как эфирные масла, витамины, каротиноиды, белки и т.д., позволяет при комплексной переработке получить довольно широкий спектр продукции медицинского, парфюмерно-косметического и пищевого назначения, а также кормовые добавки для сельскохозяйственных животных и препараты для растениеводства.

При существующих технологиях в процессе лесозаготовок от общей биомассы древесины используется стволовая часть, которая составляет до 65 %, оставшиеся 35 % составляют отходы, 17 % из которых составляет древесная зелень. Для сосны обыкновенной диаметром 40 сантиметров масса древесной зелени со всего дерева составляет, в среднем, 36 килограмм, в большинстве случаев она остается на лесосеке и представляет собой потерю сырья для производства товаров для народного хозяйства [10].

Тверская область занимает первое место по площади лесов среди субъектов РФ Центрального федерального округа [11].



Р и с . 2. Площади хвойных лесов Тверской области

Получение пинитола из хвои *Picea abies* имеет несколько преимуществ:

- 1) Хвоя является возобновляемым растительным сырьем;

2) Последовательное получение биологически активных веществ из древесной зелени позволит рационально использовать ценное растительное сырье, которое на сегодняшний день почти полностью поступает в отходы лесозаготовок;

3) Хвойный лес имеет самый высокий показатель пожарной опасности по шкале природной пожарной опасности И. С. Мелехова, особенно легко опавшая хвоя воспламеняется в жаркое время года, когда она становится сухой [12]. Разработка и внедрение технологий получения из хвои востребованных соединений с высокой добавленной стоимостью обеспечит не только рациональное использование растительной биомассы, но и снизит количество потенциально пожароопасных отходов данного отхода.

Анализ сезонных изменений содержания пинитола в хвое *Picea abies* позволит обоснованно установить календарные сроки сбора и заготовки данного вида растительного сырья для дальнейшей переработки.

Методы и методики

Для выполнения экспериментальной части работы хвоя *Picea abies* была собрана в экологически чистой зоне Калининского района Тверской области в сухую погоду и только от здоровых, хорошо развитых, не повреждённых насекомыми или микроорганизмами растений. Для обезвоживания древесной зелени использовалась воздушно-тенивая сушка растительного сырья до постоянного веса при комнатной температуре ($23 \pm 1^{\circ}\text{C}$) и в отсутствии прямых солнечных лучей. Для получения водных экстрактов высушенная древесная зелень предварительно измельчалась в лабораторной мельнице до порошкообразного состояния ($d_{\text{частиц}} = 0,2-0,4$ мм). Экстракцию проводили дистиллированной водой при гидромодуле 1:20 в течение 24 часов при температуре $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$ и отсутствии прямых солнечных лучей. В полученных экстрактах идентифицировали пинитол методом хроматомасс-спектрометрии.

Для хроматографического анализа полученный экстракт древесной зелени выпаривался досуха под вакуумом, а затем силилировался N,O-бис(триметилсилил)трифторацетамидом и триметилхлорсиланом в пиридине (реакционная смесь выдерживалась при 70°C в течение 30 минут). Силилированный образец анализировался с помощью газового хроматографа с пламенно-ионизационным детектором (Clarus 500, PerkinElmer, Inc.); колонки: две параллельные 25 м x 0,20 мм, 0.11 мкм – HP-1 и HP-5 (Agilent Technologies, Inc.).

Отдельные компоненты идентифицируются с помощью хроматомасс-спектрометрии силилированных образцов с помощью

прибора HP 6890-5973 (Hewlett-Packard), оборудованного аналогичной 25-метровой колонкой HP-1 GC. Идентификация основывается на сравнении с соединениями, обнаруженными в спектральных библиотеках, или на ручной интерпретации масс-спектров. Содержание пинитола в пробах анализировали по методу внешнего стандарта с использованием точных навесок стандарта пинитола (содержание основного вещества не менее 98,0%).

Для исследования сезонной динамики содержания пинитола в хвое *Picea abies* были проанализированы образцы растительного материала, собранного в различные месяцы года. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Результаты и обсуждения

Полученные результаты хроматографического анализа экстрактов древесной зелени сосны обыкновенной подтверждает сложный химический состав хвои. Идентифицированы такие метаболиты как галловая, бензойная, шикимовая, аминомасляная кислоты, 5-оксипролин, пинитол, арабиноза, галактоза, сахароза, рибоза, пролин глицин и т.д.

Таблица 1
Содержание пинитола в хвое сосны обыкновенной

Месяц сбора хвои	Концентрация пинитола в хвое на грамм сухого вещества, мг/г
Январь	55,57±1,11
Февраль	69,01±1,38
Март	56,41±1,12
Апрель	64,82±1,29
Май	62,82±1,25
Июнь	46,23±0,93
Июль	42,52±0,85
Август	35,55±1,56
Сентябрь	41,86±0,84
Октябрь	44,40±0,88
Ноябрь	60,85±1,21
Декабрь	59,36±1,19

Анализ полученных результатов указывает на то, что наибольшее количество пинитола обнаружено в образцах хвои, собранной в феврале, апреле-мае и ноябре, следовательно, именно эти периоды можно

рекомендовать для заготовки хвои как сырья для получения данного соединения.

Следует отметить, что максимальное количество пинитола обнаружено в образцах хвои, собранной в феврале. В ряде источников [1,6] представлены данные о роли пинитола как вещества, играющего роль криопротектора. Накопление веществ, обладающих криопротекторными свойствами, способствует устойчивости *Picea abies* к низким температурам и перепадам температур.

Заключение

В последние годы постоянно возрастает интерес к производству биопрепаратов на основе растительного сырья. Анализ содержания пинитола в хвое *Picea abies* позволяет рассматривать этот отход лесозаготовительных предприятий в качестве промышленно важного возобновляемого ресурса для получения данного соединения, востребованного в пищевой, медицинской и парфюмерно-косметической отраслях промышленности. Наибольшее количество пинитола обнаружено в образцах хвои, собранной в феврале, апреле-мае и ноябре, таким образом, эти месяцы можно рекомендовать для заготовки хвои в качестве сырья для получения данного соединения.

Список литературы:

1. Wang Y. The role of SREBP-1c signaling pathway in osteoblast pyroptosis and the protective effect of D-pinitol / Y. Wang, F. Li, X. Wang, B. Li [et al.]. // Journal of Functional Foods. – 2025. – Vol. 129. – 106846
2. Kim Y.-S. Inhibitory effect of D-pinitol on both growth and recurrence of breast tumor from MDA-MB-231 cancer cells / Y.-S. Kim, J.-S. Park, M. Kim, B.Y.; Hwang [et al.]. // Korean J. Pharmacogn. - 2014. - № 45. – P. 174–180.
3. Gao Y. Effects of D-pinitol on insulin resistance through the PI3K/Akt signaling pathway in type 2 diabetes mellitus rats / Y. Gao, M. Zhang, T. Wu, M. Xu [et al.]. // Agric. food Chem. – 2015. - № 63. – P. 6019–6026.
4. Geethan P.A. Antihyperlipidemic effect of D-pinitol on streptozotocin-induced diabetic wistar rats / P.A. Geethan, P.S.M. Prince // Biochem. Mol. Toxicol. – 2008. - № 22. – P. 220–224.
5. Sivakumar, S. Pancreatic tissue protective nature of D-Pinitol studied in streptozotocin-mediated oxidative stress in experimental diabetic rats / S. Sivakumar, S.P. Subramanian, //Eur. J. Pharmacol. – 2009. - № 622. – P. 65–70.
6. Sivakumar S. Attenuation of oxidative stress and alteration of hepatic tissue ultrastructure by D-pinitol in streptozotocin-induced diabetic rats / S. Sivakumar, P. Palsamy, S.P. Subramanian //Free Radic. Res. – 2010. - № 44. – P. 668–678.

7. Sivakumar S. D-pinitol attenuates the impaired activities of hepatic key enzymes in carbohydrate metabolism of streptozotocin-induced diabetic rats / S. Sivakumar, S.P. Subramanian // *Gen. Physiol. Biophys.* – 2009. - № 28. – P. 233–241.
8. Silva Junior J.A. d-Pinitol increases insulin secretion and regulates hepatic lipid metabolism in Mdg-obese mice / J.A. Silva Junior, A.C.D. Silva, L.S. Figueiredo, T.R. Araujo [et al.]. // *An. Acad. Bras. Cienc.* – 2020. - № 92. - e20201382.
9. Liu X. D-Pinitol improved glucose metabolism and inhibited bone loss in mice with diabetic osteoporosis / X. Liu, T. Koyama // *Molecules.* – 2023. - № 28(9). - 3870.
10. Морозов В.И. Технологический процесс заготовки и переработки древесной зелени хвойных пород / В.И. Морозов, Н.А. Петрушева // *Лесотехнический журнал.* – 2019. - Т. 9, №. 3 (35). – С. 131-139.
11. Лесные ресурсы Тверской области / Электронный ресурс. Режим удаленного доступа: <https://xn--80aaccp4ajwpkgbl4lpb.xn--p1ai/tverskaya-oblast/kharakteristika-territorii/lesnye-resursy-tverskoy-oblasti/?print=y>
12. Плотникова А.С. Шкала природной пожарной опасности лесных экосистем И.С. Мелехова. Обзор современных российских методических подходов / А.С. Плотникова // *Вопросы лесной науки.* – 2021 – Т. 4. № 2. – 83.

Об авторах:

ОЖИМКОВА Елена Владимировна – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры биотехнологии, химии и стандартизации, ФГБОУ ВО Тверской государственный технический университет, (170026, г. Тверь, наб. А. Никитина, 22); e-mail: eozhimkova@mail.ru

СОКОЛОВА Алена Владимировна – аспирант 1 года обучения, кафедра биотехнологии, химии и стандартизации, ФГБОУ ВО Тверской государственный технический университет, (170026, г. Тверь, наб. А. Никитина, 22); e-mail: alena.svet.00@yandex.ru

ГАРМОНОВ Даниил Андреевич – магистрант 1 года обучения, кафедра биотехнологии, химии и стандартизации, ФГБОУ ВО Тверской государственный технический университет, (170026, г. Тверь, наб. А. Никитина, 22); e-mail: dgarmonov@npobit.com

THE USE OF CHROMATOMASS SPECTROMETRY FOR THE ANALYSIS OF SEASONAL PINITOL CONTENT IN PICEA ABIES NEEDLES

E.V. Ozhimkova, A.V. Sokolova, D.A. Garmonov

Tver State Technical University, Tver

Wood greenery is a unique renewable raw material, as it contains a number of biologically active substances: vitamins, chlorophyll, phytoncides, etc. Currently, needles are used very limitedly, therefore, modern methods of processing wood greenery of coniferous trees to obtain biologically active substances are very relevant. The paper studies the seasonal dynamics of changes in the chemical composition of *Picea abies* needles to justify the appropriate timing of harvesting needles as raw materials for obtaining pinitol.

Keywords: *pinitol, needles, plant waste, Picea abies.*

Дата поступления в редакцию: 10.09.2025.

Дата принятия в печать: 17.09.2025.