

ISSN 1029-8940 (Print)

ISSN 2524-230X (Online)

УДК 547.913:543.544.32:615.281

<https://doi.org/10.29235/1029-8940-2019-64-4-431-439>

Поступила в редакцию 17.05.2019

Received 17.05.2019

**Н. А. Коваленко¹, Г. Н. Супиченко¹, Т. И. Ахрамович¹, Е. В. Феськова¹,
В. Н. Леонтьев¹, А. Г. Шутова²**

¹Белорусский государственный технологический университет, Минск, Республика Беларусь

²Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

АНТИМИКРОБНЫЕ СВОЙСТВА ЭФИРНОГО МАСЛА *PSEUDOTSUGA MENZIESII*

Аннотация. Методом паровой дистилляции получены образцы эфирного масла *Pseudotsuga menziesii*, интродуцированной в Республике Беларусь. С применением газожидкостной хроматографии идентифицировано и определено более 20 компонентов. Доминирующими компонентами являлись борнилацетат (~25–30%), камфен (~14–15%), α-пинен (~7–8%), β-пинен (~8–10%). Показаны особенности распределения энантиомеров основных компонентов эфирного масла *Pseudotsuga menziesii*. Установлена его оптическая чистота по (–)-борнилацетату. Выявлена антимикробная активность эфирного масла *Pseudotsuga menziesii* в отношении тестовых культур грамположительных и грамотрицательных бактерий. Грамположительные бактериальные культуры оказались более чувствительными к ингибирующему действию эфирного масла. Показано влияние оптической активности доминирующих компонентов эфирного масла на его антимикробные свойства.

Ключевые слова: *Pseudotsuga menziesii*, эфирные масла, энантиомеры, антимикробная активность

Для цитирования: Антимикробные свойства эфирного масла *Pseudotsuga menziesii* / Н. А. Коваленко [и др.] // Вест. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2019. – Т. 64, № 4. – С. 431–439. <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2019-64-4-431-439>

N. A. Kovalenko¹, G. N. Supichenko¹, T. I. Ahramovich¹, A. V. Feskova¹, V. N. Leontiev¹, A. G. Shutova²

¹Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus

²Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

ANTIMICROBIAL PROPERTIES OF *PSEUDOTSUGA MENZIESII* ESSENTIAL OIL

Abstract. The steam distillation method was used to obtain samples of essential oil of *Pseudotsuga menziesii* introduced in Republic of Belarus. More than 20 components have been identified and determined in the essential oil of *Pseudotsuga menziesii* by gas liquid chromatography. The dominant components are bornylacetate (~25–30%), camphene (~14–15%), α-pinene (~7–8%), β-pinene (~8–10%). Distribution of the enantiomers of the main components of *Pseudotsuga menziesii* essential oil are shown. It was determined the optical purity of oil to (–)-bornylacetate. The antimicrobial activity of *Pseudotsuga menziesii* essential oil was detected in relation to test cultures of gram-positive and gram-negative bacteria. Gram-positive bacterial cultures were more sensitive to the inhibitory effect of essential oil. The effect of the optical activity of essential oil dominant components on antimicrobial properties is shown.

Keywords: *Pseudotsuga menziesii*, essential oils, enantiomers, antimicrobial activity

For citation: Kovalenko N. A., Supichenko G. N., Ahramovich T. I., Feskova A. V., Leontiev V. N., Shutova A. G. Antimicrobial properties of *Pseudotsuga menziesii* essential oil. *Vesti Natsyonal'nai akademii navuk Belarusi. Seriya biyalagichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2019, vol. 64, no. 4, pp. 431–439 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2019-64-4-431-439>

Введение. Эфирные масла хвойных растений содержат ценные биологически активные компоненты и обладают иммуномодулирующими, ранозаживляющими, антимикробными, противовоспалительными свойствами, что играет важную роль в охране здоровья человека.

Псевдотсуга Мензиса (*Pseudotsuga menziesii*) – вид рода Псевдотсуга (*Pseudotsuga*) семейства Сосновые (Pinaceae), произрастающая преимущественно на обширных территориях западной части Канады, США, севера Мексики, на островах Тихого океана [1, 2]. Растения отличаются исключительно быстрым ростом и долговечностью. В климатических условиях Республики Беларусь псевдотсуга Мензиса сохраняет при интродукции высокие темпы роста и продуктивность, практически не подвержена грибковым заболеваниям, не поражается насекомыми-вредителями [3]. Поэтому наряду с сосной обыкновенной и елью европейской *Pseudotsuga menziesii* все чаще входит в состав лесных насаждений Республики Беларусь.

Согласно литературным данным [2–5], эфирное масло *Pseudotsuga menziesii* содержит ценные биологически активные соединения и обладает рядом лечебных свойств. В научной литературе имеются публикации по компонентному составу и антимикробным свойствам эфирного масла *Pseudotsuga menziesii* различного географического происхождения [6–8]. Проведенные в последние годы научные исследования доказали наличие взаимосвязи биологической активности эфирных масел хвойных растений и оптической активности входящих в их состав компонентов [9–14], однако свойства эфирного масла *Pseudotsuga menziesii*, интродуцированной в Республике Беларусь, изучены слабо. В этой связи изучение компонентного состава, характера распределения энантиомеров и антибактериальной активности эфирного масла *Pseudotsuga menziesii*, произрастающей в условиях центральной агроклиматической зоны Беларуси, представляет научный и практический интерес.

Цель настоящей работы – изучить компонентный состав, характер распределения энантиомеров компонентов и антимикробные свойства эфирного масла *Pseudotsuga menziesii* из коллекции Центрального ботанического сада Национальной академии наук Беларуси.

Объекты и методы исследования. Объектами исследования являлись образцы эфирного масла, выделенные из охвоенных концов ветвей длиной 30–40 см *Pseudotsuga menziesii* из коллекции хвойных растений Центрального ботанического сада Национальной академии наук Беларуси (ЦБС НАН Беларуси). Эфирное масло получали методом перегонки с водяным паром.

Компонентный состав эфирного масла *Pseudotsuga menziesii* исследовали на газовом хроматографе Agilent 7820A GC (Agilent Technologies, США), оснащенный пламенно-ионизационным детектором и капиллярной колонкой HP-5 (30 м × 0,32 мм × 0,25 мкм) в следующем температурном режиме: изотерма при 70 °С в течение 5 мин, подъем температуры до 115 °С со скоростью 3°/мин, изотерма в течение 20 мин, затем подъем температуры со скоростью 4°/мин до 200 °С, изотерма в течение 10 мин в токе газа-носителя гелия. Скорость потока гелия – 2,4 мл/мин, величина сброса – 1 : 14.

Разделение энантиомеров компонентов эфирного масла *Pseudotsuga menziesii* выполняли на хроматографе «Цвет 800», оснащенный пламенно-ионизационным детектором и оборудованный капиллярной колонкой Cyclosil B (30 м × 0,32 мм × 0,25 мкм), в температурном режиме, аналогичном режиму анализа на хроматографе Agilent 7820A GC. Газ-носитель – азот с линейной скоростью 16,2 см/с, величина сброса – 1 : 26. Температура испарителя – 230 °С, температура детектора – 280 °С.

Объем вводимой пробы цельного эфирного масла составлял 0,1 мкл. Временем удерживания несорбирующегося газа считали время выхода пика метана.

Для идентификации основных компонентов эфирного масла проводили сравнение относительных индексов удерживания (ОИУ) компонентов со значениями ОИУ стандартных образцов терпеновых соединений. Расчет ОИУ основных компонентов эфирных масел производили по формуле

$$\text{ОИУ} = 100 \left\{ \frac{[t'_{R(x)} + q \lg t'_{\lg R(x)}] - [t'_{R(n)} + q \lg t'_{R(n)}]}{[t'_{R(n+1)} + q \lg t'_{R(n+1)}] - [t'_{R(n)} + q \lg t'_{R(n)}]} + n \right\},$$

где $t'_{R(x)}$, $t'_{R(n)}$, $t'_{R(n+1)}$ – приведенное время удерживания анализируемого компонента, n -алкана ($C_n H_{2n+2}$) и следующего n -алкана ($C_{n+1} H_{2n+4}$) соответственно, причем $t'_{R(n)} < t'_{R(x)} < t'_{R(n+1)}$. Величину q рассчитывали по значениям приведенного времени удерживания трех последовательно выходящих n -алканов:

$$q = \frac{t'_{R(n)} + t'_{R(n+2)} - 2t'_{R(n+1)}}{\lg(t'^2_{R(n+1)} / t'_{R(n)} t'_{R(n+2)})}.$$

В качестве реперных компонентов для расчета ОИУ использовали n -алканы C_7 – C_{16} .

Для количественного определения идентифицированных компонентов эфирного масла применяли метод внутренней нормализации без учета относительных поправочных коэффициентов.

Содержание компонентов по методу внутренней нормализации рассчитывали по формуле $\omega_i = S_i \cdot 100 / \sum S_i$, где ω_i – содержание i -го компонента в смеси, %; S_i – площадь пика i -го компонента.

Энантиомерный избыток E_x рассчитывали по формуле $E_x = [(A_{\max} - A_{\min}) / (A_{\max} + A_{\min})] \cdot 100$, где A_{\max} – площадь пика преобладающего энантиомера, A_{\min} – площадь пика второго энантиомера.

Все измерения производили в четырехкратной повторности, учитывая только средние значения по результатам трех экспериментов. Согласно основным техническим данным хроматографа «Цвет-800», допустимые значения относительного среднего квадратичного отклонения времени удерживания и площади пиков составляют соответственно 1 и 2 %.

Антибактериальную активность определяли методом диффузии растворов эфирного масла в агар (метод бумажных дисков). В качестве тест-культур использовали санитарно-показательные микроорганизмы: *Staphylococcus aureus*, *Salmonella alony*, *Bacillus subtilis*, *Clostridium* sp., *Escherichia coli* Hfr H, *Pseudomonas aeruginosa*. Суточную культуру микроорганизмов (0,1 мл) распределяли шпателем по поверхности подсохшей плотной питательной среды в чашке Петри. На поверхности засеянных сред на расстоянии 1,5–2,0 см от края чашки на равном удалении друг от друга раскладывали стерильные бумажные диски диаметром 0,5 см. На диски наносили по 10 мкл растворов эфирных масел в этаноле, выдерживали посевы при 4 °С в течение 4 ч с последующим инкубированием в термостате при 30 °С в течение 24 ч. В ходе изучения определяли диаметр зон ингибирования.

Минимальную ингибирующую концентрацию (МИК) эфирного масла псевдотсуги Мензиса определяли методом серийных разведений антимикробных агентов в жидкой среде. Путем разведения растворов препаратов получали различные действующие концентрации эфирного масла (5–0,05 %) в культуральных жидкостях (исходное содержание клеток $\sim 10^4$ КОЕ/мл). Посевы инкубировали при 30 °С в течение 24 ч. Затем, визуально определив наличие мутности в каждой из пробирок, выбирали ту из них, которая содержала прозрачную суспензию и наименьшую концентрацию антимикробного агента. Эта концентрация соответствовала МИК. Результаты усредняли по данным двух экспериментов.

Для идентификации компонентов и оценки антибактериальной активности использовали стандартные образцы (–)- α -пинен (Fluka, США, CAS 7785-26-4); (+)- α -пинен (Fluka, CAS 7785-70-8); (–)-камфен (Aldrich, CAS 5794-04-7); (+)-камфен (Aldrich, CAS 5794-03-6); (+)- β -пинен (Fluka, CAS 19902-08-0); (–)- β -пинен (Aldrich, CAS 18172-67-3); сабинен (Aldrich, CAS 3387-41-5); (+)-лимонен (Fluka, CAS 5989-27-5); (–)-лимонен (Aldrich, CAS 5989-54-8); γ -терпинен (Aldrich, CAS 99-85-4); (–)-борнилацетат (Aldrich, CAS 5655-61-8); (–)-карвон (Aldrich, CAS 6485-40-1); (+)-ментон (Fluka CAS 3391-87-5); (–)-ментон (Aldrich, CAS 10458-14-7); Δ^3 -карен (Aldrich CAS 13466-78-9); геранилацетат (Aldrich, CAS 10587-87-3). Для получения растворов стандартных веществ (~ 1 –2 %) для хроматографических исследований навески растворяли в гексане. Для получения растворов стандартных веществ (~ 20 %) для оценки антибактериальной активности навески соответствующего соединения растворяли в этаноле.

Результаты и их обсуждение. Хроматографическое разделение эфирного масла *Pseudotsuga menziesii* позволило обнаружить более 40 компонентов, 21 из которых идентифицирован. Основную долю исследованного образца составляли монотерпеновые соединения (табл. 1). Их суммарное содержание достигало 35–37 %. Количественно преобладали камфен (~ 14 –15 %), α -пинен (~ 7 –8 %), β -пинен (~ 8 –10 %).

Кислородсодержащие соединения были представлены преимущественно борнилацетатом (~ 25 –30 %), терпинен-4-олом (~ 5 –7 %), ментоном (~ 2 –3 %) и карвоном (~ 3 –4 %).

По доминирующим компонентам эфирное масло *Pseudotsuga menziesii* из коллекции ЦБС НАН Беларуси близко к образцам из Сербии. Главными компонентами эфирного масла сербского происхождения являлись

Т а б л и ц а 1. Идентифицированные компоненты эфирного масла *Pseudotsuga menziesii*
T a b l e 1. Identified components of the essential oil *Pseudotsuga menziesii*

Соединение	Содержание, %	Соединение	Содержание, %
α -Туйен	0,19 \pm 0,00	Метилхавикол	0,46 \pm 0,01
α -Пинен	7,25 \pm 0,07	Терпинен-4-ол	5,25 \pm 0,05
Камфен	14,40 \pm 0,13	Борнилацетат	25,85 \pm 0,23
Мирцен	0,55 \pm 0,07	Ментилацетат	0,20 \pm 0,01
β -Пинен	8,64 \pm 0,08	α -Терпинеол	1,12 \pm 0,01
Δ^3 -Карен	2,37 \pm 0,02	Борнеол	0,29 \pm 0,01
Лимонен	2,79 \pm 0,02	Карвон	3,15 \pm 0,03
1,8 -Цинеол	1,49 \pm 0,01	Терпенилацетат	0,18 \pm 0,00
γ -Терпинен	2,54 \pm 0,02	Гераниол	1,73 \pm 0,02
Линалоол	0,15 \pm 0,00	Геранилацетат	1,82 \pm 0,02
Ментон	2,26 \pm 0,02	Эвгенол	0,13 \pm 0,00

борнилацетат (34,65 %), камфен (29,82 %), α -пинен (11,65 %), β -пинен (2,74 %), лимонен (4,52 %) [4]. Образцы эфирного масла из Болгарии в качестве основных компонентов содержали β -пинен (24,4 %), сабинен (22,2 %), α -терпинолен (18,8 %), а борнилацетат и камфен в них присутствовали в следовых количествах [7].

С целью установления характера распределения энантиомеров основных компонентов эфирного масла *Pseudotsuga menziesii* проведено его хроматографическое разделение на хиральной колонке Cysclosil В. Характер распределения энантиомеров монотерпеновых соединений представлен на рис. 1. Основные компоненты исследованного образца α -пинен, β -пинен и лимонен представлены преимущественно в виде левовращающих изомеров, в отличие от камфена, энантиомерный избыток правовращающей формы которого составлял ~85 %.

Отличительной особенностью эфирного масла псевдотсуги Мензиса из коллекции ЦБС НАН Беларуси являлась оптическая чистота по борнилацетату, который представлен в исследованном образце только в виде (-)-формы.

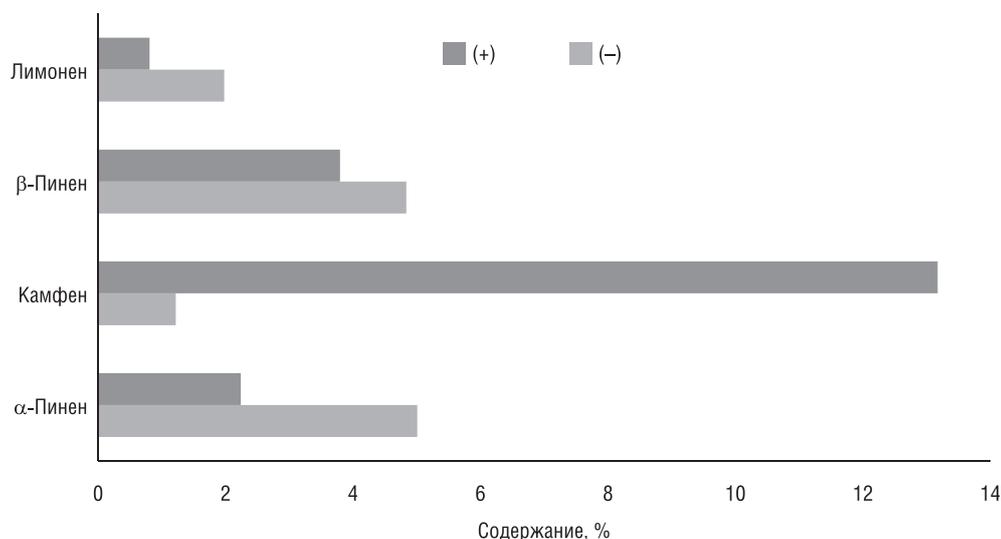


Рис. 1. Распределение энантиомеров монотерпенов эфирного масла *Pseudotsuga menziesii*
Fig. 1. The distribution of the monoterpene enantiomers of *Pseudotsuga menziesii* essential oil

На рис. 2 приведены результаты определения антимикробной активности этанольных растворов эфирного масла в отношении грамположительных тест-культур бактерий. Согласно полученным результатам, в интервале исследуемых концентраций эфирное масло подавляло рост всех тест-культур бактерий, однако при снижении его концентрации антибактериальная активность ослабевала. Растворы масла достаточно активно действовали на микроорганизмы *Clostridium* sp. и *Staphylococcus aureus*. Несколько слабее проявлялось их ингибирующее влияние в отношении *Bacillus subtilis*.

Эфирное масло угнетало рост грамотрицательных микроорганизмов *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Salmonella alony* практически в одинаковой степени (рис. 3). На степень проявления его бактерицидных свойств оказывала влияние только концентрация растворов.

Различное антибактериальное действие эфирного масла по отношению к грамположительным и грамотрицательным тестовым культурам объясняется тем, что стенка грамотрицательных бактерий имеет внешнюю мембрану (у грамположительных микроорганизмов она отсутствует), которая защищает клетку от проникновения агентов различной природы. Благодаря наличию этой мощной и непроницаемой клеточной стенки грамотрицательные бактерии более устойчивы к действию эфирного масла по сравнению с грамположительными культурами [4].

Для установления влияния оптической активности компонентов эфирного масла на его антимикробные свойства исследованы этанольные растворы стандартных образцов энантиомеров α - и β -пиненов, борнилацетата и камфена, являющихся доминирующими компонентами изученного образца.

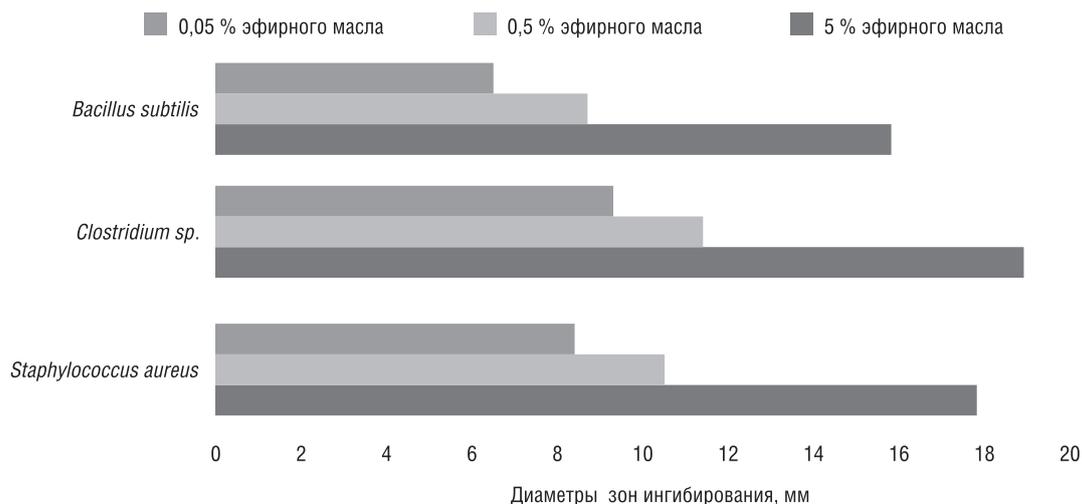


Рис. 2. Диаметры зон інгібіравання росту тэст-культур грамположitelных бактэрий этанольнымі растворами эфірнага масла *Pseudotsuga menziesii*

Fig. 2. The diameters of the zones of inhibition of growth of gram-positive bacteria test cultures by ethanol solutions of *Pseudotsuga menziesii* essential oil

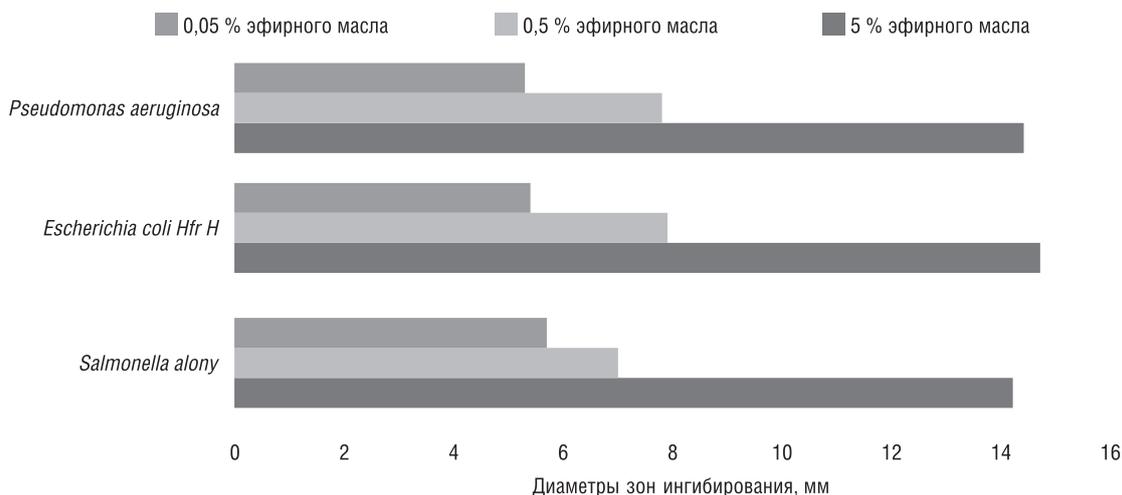


Рис. 3. Диаметры зон інгібіравання росту тэст-культур грамотрицательных бактэрий этанольнымі растворами эфірнага масла *Pseudotsuga menziesii*

Fig. 3. The diameters of the zones of inhibition of growth of gram-negative bacteria test cultures by ethanol solutions of *Pseudotsuga menziesii* essential oil

Энантіомеры α -пінена (рис. 4) эфектыўна інгібіравалі рост всех іследованых бактэрыяльных культур, прычём ступень выраженности бактэрыцыдных свайстваў вызначалася аптычнай актывнасцю α -пінена. Левоврацаючы ізамер паказаў сябя актывным антывкробным агентам у адношэнні грамположitelных бактэрий (*Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Clostridium sp.*). По атрычаным нам іспытаным даным антывкробная актывнасць левоврацаючага ізамера (–)- α -пінена суттэсна вышэ, чым у (+)- α -пінена. Слэдует адзначыць, што ў даступнай літэратуры сведэння аб уплыве аптычнай актывнасці α -пінена на праявленне бактэрыцыдных свайстваў эфірных масел доволна процыворечывы. Так, у работах [15, 16] паказана большэ высакая эфектыўнасць (+)- α -пінена як антывкробнага агента па сраўненню с таковай у левоврацаючага ізамера. Аўтары [9] звязываюць разлчны ўзровень антывкерыяльнай актывнасці эфірных масел с разлчным саотнашэннем канцэнтрацый (+)- і (–)-форм α -пінена. На наш вгляд, разлчня між паказатэлямі антывкерыяльнай актывнасці энантіомэраў α -пінена, атрычанымі ў нашым іспытанні і прыведзенымі ў літэратуры, могуць быць рэзулътатом іспытвання разлчных штаммаў мікравкрганізмаў.

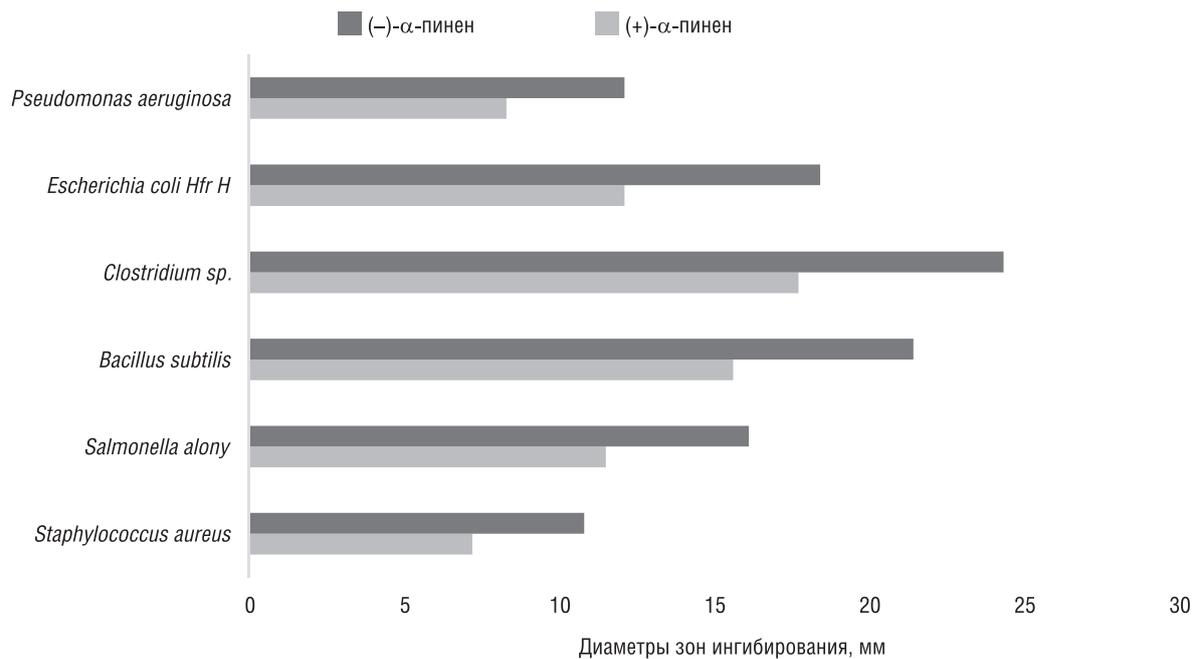


Рис. 4. Диаметры зон ингибирования роста тест-культур этанольными растворами стандартных образцов энантиомеров α-пинена

Fig. 4. The diameters of the zones of inhibition of growth of test cultures by ethanol solutions of standard samples of α-pinene enantiomers

На рис. 5 представлены данные по антимикробным свойствам энантиомеров β-пинена.

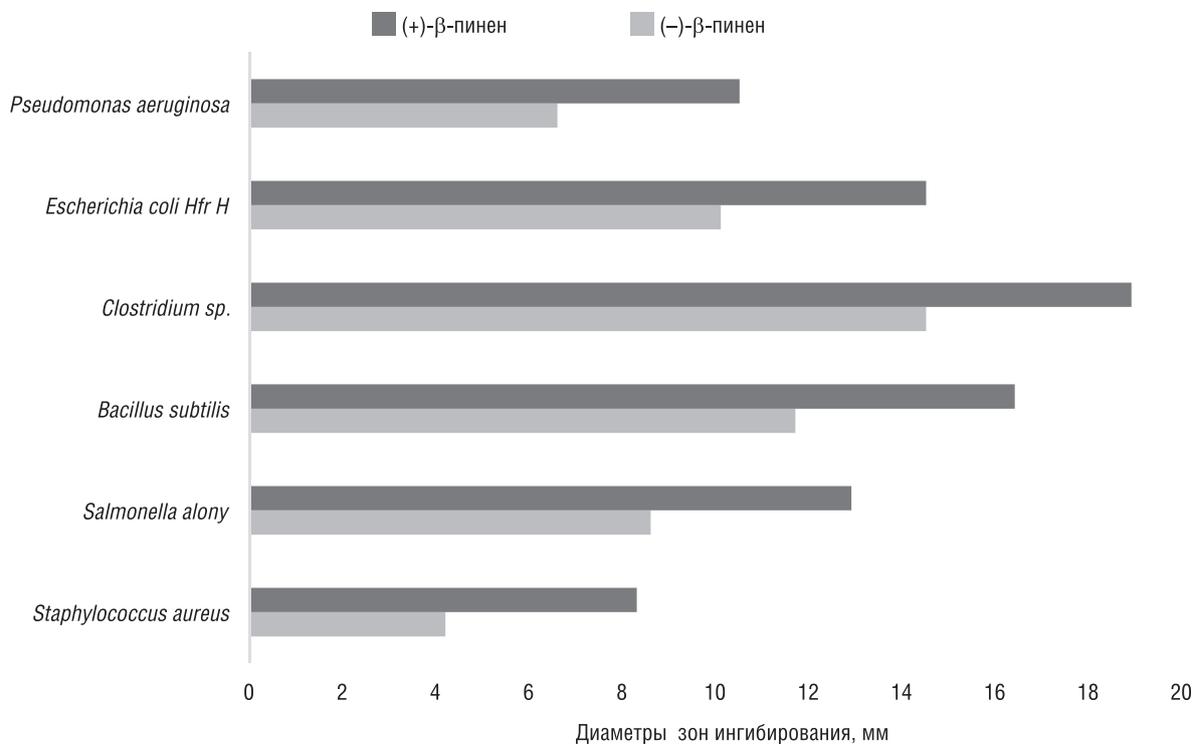


Рис. 5. Диаметры зон ингибирования роста тест-культур этанольными растворами стандартных образцов энантиомеров β-пинена

Fig. 5. The diameters of the zones of inhibition of growth of test cultures by ethanol solutions of standard samples of β-pinene enantiomers

Правовращающая форма β-пинена проявляет более выраженные бактерицидные свойства по сравнению с (–)-формой. Аналогичные результаты о более высокой антибактериальной активности правовращающей формы β-пинена приведены в работе [16].

Данные по антибактериальным свойствам энантиомеров камфена и (–)-борнилацетата представлены на рис. 6.

Аналогично β-пинену правовращающая форма камфена оказалась более эффективной в подавлении роста всех тест-культур. Наибольшую активность (+)-камфен проявил в отношении грамотрицательных бактерий *Escherichia coli* Hfr H и *Pseudomonas aeruginosa*. По сравнению с оптическими изомерами камфена (–)-борнилацетат является более сильным антимикробным агентом.

Количественно антимикробные свойства эфирного масла *Pseudotsuga menziesii* были выражены в виде МИК (табл. 2).

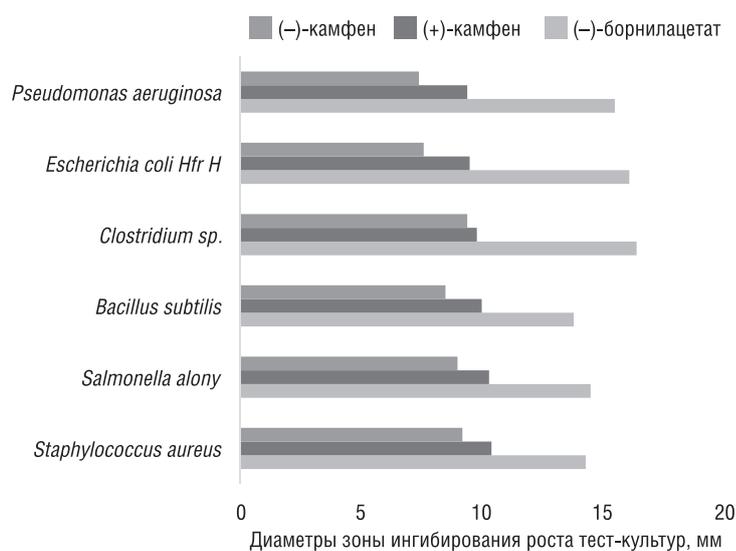


Рис. 6. Диаметры зон ингибирования роста тест-культур этанольными растворами стандартных образцов энантиомеров камфена и (–)-борнилацетата

Fig. 6. The diameters of the zones of inhibition of growth of test cultures by ethanol solutions of standard samples of camphene enantiomers and (–)-bornylacetate

Т а б л и ц а 2. Минимальная ингибирующая концентрация эфирного масла псевдотсуги Мензиса
Table 2. Minimum inhibitory concentration of the essential oil *Pseudotsuga menziesii*

Тест-культуры бактерий	МИК эфирного масла по отношению к штаммам бактерий, %
<i>Staphylococcus aureus</i>	0,2
<i>Salmonella alony</i>	0,5
<i>Bacillus subtilis</i>	0,5
<i>Clostridium</i> sp.	0,2
<i>Escherichia coli</i> Hfr H	0,5
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0,5

Заклучение. Таким образом, основными компонентами эфирного масла *Pseudotsuga menziesii* являются борнилацетат, камфен, α-пинен и β-пинен. Установлено, что α- и β-пинены представлены преимущественно в виде левовращающих изомеров, а камфен – в виде правовращающей формы. Образец является оптически чистым по (–)-борнилацетату. Эфирное масло *Pseudotsuga menziesii* обладает антибактериальной активностью по отношению к грамотрицательным и грамположительным бактериям и может найти применение в качестве компонента лекарственных средств с бактерицидными свойствами.

Список использованных источников

1. Pureswaran, D.S. Quantitative variation in monoterpenes in four species of conifers / D.S. Pureswaran, R. Gries, J. Borden // *Biochem. System. Ecol.* – 2004. – Vol. 32, N 12. – P. 1109–1136. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2004.04.006>
2. Rudloff von, E. Geographical variation in the terpene composition of the leaf oil of Douglas fir / E. von Rudloff // *Pure Appl. Chem.* – 1973. – Vol. 34, N 3–4. – P. 401–410. <https://doi.org/10.1351/pac197334030401>
3. Холопук, Г.А. Экономическая оценка эффективности выращивания псевдотсуги Мензиса в Беларуси / Г.А. Холопук, В.И. Торчик // *Лес. и охот. хоз-во.* – 2012. – № 11. – С. 23–27.
4. Chemical composition and antifungal activity of the essential oil of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) (Mirb. Franco) from Serbia / V. Tesevic [et al.] // *J. Serb. Chem. Soc.* – 2009. – Vol. 74, N 10. – P. 1035–1040. <https://doi.org/10.2298/jsc0910035t>

5. Han, X. *In vitro* biological activities of Douglas fir essential oil in a human disease model / X. Han // *Cogent Biol.* – 2017. – Vol. 3, N 1. – P. 1035–1040. <https://doi.org/10.1080/23312025.2017.1336886>
6. Antimicrobial activity of some Pacific Northwest woods against anaerobic bacteria and yeast / W. H. Johnston [et al.] // *Phytother. Res.* – 2001. – Vol. 15, N 7. – P. 568–588. <https://doi.org/10.1002/ptr.765>
7. Analysis of the essential oil volatiles of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) from Bulgaria / L. Jirovetz [et al.] // *Flavour Fragrance J.* – 2000. – Vol. 15, N 6. – P. 434–437. [https://doi.org/10.1002/1099-1026\(200011/12\)15:6<434::aid-ffj935>3.0.co;2-0](https://doi.org/10.1002/1099-1026(200011/12)15:6<434::aid-ffj935>3.0.co;2-0)
8. Morpho-anatomical and phytochemical researches regarding *Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco (Pinaceae) / I. M. Padure [et al.] // *Analele Stiintifice ale Universitatii "Al. I. Cuza" din Iasi.* – 2008. – N 54. – P. 33–39.
9. Influence of plant origin natural α -pinene with different enantiomeric composition on bacteria, yeasts and fungi / K. Ložienė [et al.] // *Fitoterapia.* – 2018. – Vol. 127. – P. 20–24. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2018.04.013>
10. Антибактериальная активность эфирных масел иссопа лекарственного / Н. А. Коваленко [и др.] // *Химия раст. сырья.* – 2019. – № 1. – С. 191–199.
11. Антибактериальная активность эфирного масла *Agastache aurantiaca* / Н. А. Коваленко [и др.] // *Химия раст. сырья.* – 2018. – № 2. – С. 63–70.
12. Энантиомеры монотерпеновых соединений в эфирных маслах растений рода *Thuja* / В. Н. Леонтьев [и др.] // *Докл. Нац. акад. наук Беларуси.* – 2014. – Т. 58, № 6. – С. 74–76.
13. Особенности распределения энантиомеров компонентов эфирных масел представителей рода *Pinus*, интродуцированных в Беларуси / Н. А. Коваленко [и др.] // *Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук.* – 2012. – № 3. – С. 49–53.
14. Решетников, В. Н. Биологическая активность эфирных масел растений в связи с составом и оптической активностью компонентов / В. Н. Решетников, А. Г. Шутова, Е. В. Спиридович // *Докл. Нац. акад. наук Беларуси.* – 2015. – Т. 59, № 1. – С. 74–77.
15. Enantiomeric composition of monoterpene hydrocarbons in some conifers and receptor neuron discrimination of α -pinene and limonene enantiomers in the pine weevil *Hylobius abietis* / A. Wibe [et al.] // *J. Chem. Ecol.* – 1998. – Vol. 24, N 2. – P. 273–287. <https://doi.org/10.1023/A:1022580308414>
16. Biological activities of α -pinene and β -pinene enantiomers / A. C. Rivas da Silva [et al.] // *Molecules.* – 2012. – Vol. 17, N 6. – P. 6305–6316. <https://doi.org/10.3390/molecules17066305>

References

1. Pureswaran D. S., Gries R., Borden J. Quantitative variation in monoterpenes in four species of conifers. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2004, vol. 32, no. 12, pp. 1109–1136. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2004.04.006>
2. Rudloff von E. Geographical variation in the terpene composition of the leaf oil of Douglas fir. *Pure and Applied Chemistry*, 1973, vol. 34, no. 3–4, pp. 401–410. <https://doi.org/10.1351/pac197334030401>
3. Kholopuk G. A., Torchik V. I. Economic evaluation of the effectiveness of growing *Pseudotsuga menziesii* in Belarus. *Lesnoe i okhotnich'e khozyaistvo = Forestry and hunting farm*, 2012, no. 11, pp. 23–27 (in Russian).
4. Tesevic V., Milosavljevic S., Vajs V., Dordevic I., Sokovic M., Lavadinovic V., Novakovic M. Chemical composition and antifungal activity of the essential oil of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) (Mirb. Franco) from Serbia. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 2009, vol. 74, no. 10, pp. 1035–1040. <https://doi.org/10.2298/jsc0910035t>
5. Han X. *In vitro* biological activities of Douglas fir essential oil in a human disease model. *Cogent Biology*, 2017, vol. 3, no. 1, pp. 1035–1040. <https://doi.org/10.1080/23312025.2017.1336886>
6. Johnston W. H., Carchesy J. J., Constantine G. H., Craig A. V. Antimicrobial activity of some Pacific Northwest woods against anaerobic bacteria and yeast. *Phytotherapy Research*, 2001, vol. 15, no. 7, pp. 568–588. <https://doi.org/10.1002/ptr.765>
7. Jirovetz L., Puschmann C., Stojanova A., Metodiev S., Buchbauer G. Analysis of the essential oil volatiles of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) from Bulgaria. *Flavour and Fragrance Journal*, 2000, vol. 15, no. 6, pp. 434–437. [https://doi.org/10.1002/1099-1026\(200011/12\)15:6<434::aid-ffj935>3.0.co;2-0](https://doi.org/10.1002/1099-1026(200011/12)15:6<434::aid-ffj935>3.0.co;2-0)
8. Padure I. M., Badlescu L., Dediu T., Burzo I. Morpho-anatomical and phytochemical researches regarding *Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco (Pinaceae). *Analele Stiintifice ale Universitatii "Al. I. Cuza" din Iasi*, 2008, no. 54, pp. 33–39.
9. Ložienė K., Švedienė J., Paškevičius A., Raudonienė V., Sytar O., Kosyan A. Influence of plant origin natural α -pinene with different enantiomeric composition on bacteria, yeasts and fungi. *Fitoterapia*, 2018, vol. 127, pp. 20–24. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2018.04.013>
10. Kovalenko N. A., Akhramovich T. I., Supichenko G. N., Sachivko T. V., Bosak V. N. Antibacterial activity of *Hyssopus officinalis* essential oils. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw material], 2019, no. 1, pp. 191–199 (in Russian).
11. Kovalenko N. A., Supichenko G. N., Akhramovich T. I., Shutava H. G., Leont'ev V. N. Antibacterial activity of *Agastache aurantiaca* essential oils. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw material], 2018, no. 2, pp. 63–70 (in Russian).
12. Leont'ev V. N., Kovalenko N. A., Supichenko G. N., Shutova H. G. Enantiomers of monoterpene compounds in the *Thuja* essential oils. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2014, vol. 58, no. 6, pp. 74–76 (in Russian).
13. Kovalenko N. A., Supichenko G. N., Leont'ev V. N., Shutova H. G. Specificity of enantiomer distribution of essential oil compounds from the *Pinus* species introduced in Belarus. *Vesti Natsyonal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2012, no. 3, pp. 49–53 (in Russian).

14. Reshetnikov V. N., Shutova H. G., Spiridovich E. V. Biological activity of plant essential oils in relation with the structure and optical activity of components. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2015, vol. 59, no. 1, pp. 74–77 (in Russian).

15. Wibe A., Borg-Karison A.-K., Persson M., Norrin T., Mustaparta H. Enantiomeric composition of monoterpene hydrocarbons in some conifers and receptor neuron discrimination of α -pinene and limonene enantiomers in the pine weevil *Hylobius abietis*. *Journal of Chemical Ecology*, 1998, vol. 24, no. 2, pp. 273–287. <https://doi.org/10.1023/A:1022580308414>

16. Rivas da Silva A. C., Lopes P. M., Barros de Azevedo M. M., Costa L. C. M., Alviano C. S., Alviano D. A. Biological activities of α -pinene and β -pinene enantiomers. *Molecules*, 2012, vol. 17, no. 6, pp. 6305–6316. <https://doi.org/10.3390/molecules17066305>

Информация об авторах

Коваленко Наталья Александровна – канд. хим. наук, доцент. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: kovalenko@belstu.by

Супиченко Галина Николаевна – канд. хим. наук, ст. преподаватель. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: Supichenko@belstu.by

Ахрамович Татьяна Игоревна – канд. биол. наук, доцент. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: ahramovich@belstu.by

Феськова Елена Владимировна – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: lena.feskova@mail.ru

Леонтьев Виктор Николаевич – канд. хим. наук, доцент, заведующий кафедрой. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: leontiev@belstu.by

Шутова Анна Геннадьевна – канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник. Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: anna_shutova@mail.ru

Information about the authors

Natalya A. Kovalenko – Ph. D. (Chem.), Assistant professor. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlov Str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kovalenko@belstu.by

Galina N. Supichenko – Ph. D. (Chem.), Senior lecturer. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlov Str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Supichenko@belstu.by

Tatyana I. Ahramovich – Ph. D. (Biol.), Assistant professor. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlov Str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ahramovich@belstu.by

Alena V. Feskova – Ph. D. (Eng.), Senior researcher. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlov Str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lena.feskova@mail.ru

Victor N. Leontiev – Ph. D. (Chem.), Assistant professor, Head of the Department. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlov Str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: leontiev@belstu.by

Hanna G. Shutava – Ph. D. (Biol.), Leading researcher. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Sarganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: anna_shutova@mail.ru