

УДК 547.913: 543.544.32:615.281

АНТИБАКТЕРИАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭФИРНЫХ МАСЕЛ ИССОПА ЛЕКАРСТВЕННОГО

© Н.А. Коваленко^{1*}, Т.И. Ахрамович¹, Г.Н. Суниченко¹, Т.В. Сачивко², В.Н. Босак²

¹ Белорусский государственный технологический университет,
ул. Свердлова, 13а, Минск, 220006 (Республика Беларусь),
e-mail: chembstu@rambler.ru

² Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,
ул. Мичурина, 5, Горки, 213407 (Республика Беларусь)

Методом паровой дистилляции получены образцы эфирных масел трех сортов растений *Hyssopus officinalis* L. районированных в условиях Республики Беларусь. В эфирных маслах растений сортов Лазурит, Розоцветковый, Завея, методом газожидкостной хроматографии идентифицировано и определено более 20 компонентов. Установлено, что исследуемые сорта иссопа лекарственного относятся к пинокамфоновому хемотипу. Основными компонентами являются пинокамфон (67.6–76.0%), β-пинен, эвгенол, лимонен, камфен, сабинен, линалоол, 1,8-цинеол, α-терпинеол, α-пинен, γ-терпинен и пинокамфеол. В исследованных образцах установлены особенности распределения энантиомеров α- и β-пиненов, камфена, лимонена и линалоола

Методом бумажных дисков установлена антимикробная активность эфирных масел и оптических изомеров стандартного образца β-пинена по отношению к тест-культурам санитарно-показательных микроорганизмов *Staphylococcus aureus*, *Salmonella alony*, *Bacillus subtilis*, *Clostridium* sp., *Escherichia coli* Hfr H, *Pseudomonas aeruginosa*. Показано, что правовращающий изомер β-пинена обладает более выраженными бактерицидными свойствами по сравнению с (-)-β-пиненом. Повышенное содержание (+)-β-пинена в сортах иссопа лекарственного с розовыми (сорт Розоцветковый) и белыми (сорт Завея) венчиками цветков обусловило более высокую антибактериальную активность их эфирных масел по отношению к грамотрицательным и грамположительным бактериям.

Ключевые слова: *Hyssopus officinalis*, эфирные масла, компонентный состав, энантиомеры, антибактериальная активность.

Введение

Эфирные масла и их компоненты представляют заметный научный и практический интерес, обусловленный их антимикробной активностью в отношении штаммов и микроорганизмов, устойчивых к антибиотикам. Эфирные масла и фитопрепараты на их основе имеют ряд преимуществ по сравнению с синтетическими лекарственными препаратами, таких как низкая токсичность, мягкость действия, отсутствие аллергических реакций при терапевтических дозах и небольшое количество противопоказаний [1–7].

Иссоп лекарственный (*Hyssopus officinalis* L.) является одной из основных эфирномасличных и пряно-ароматических культур. Относится к семейству Яснотковые (*Lamiaceae*). Родина иссопа лекарственного – Средиземноморье и Средняя Азия. По разным данным, род составляют от 4 до 15 видов многолетних вечнозеленых полукустарников, реже многолетних травянистых растений [8–13].

В листьях и цветках иссопа содержатся эфирные масла, тритерпеновые кислоты (урсоловая и олеаноловая), флавоноиды (диосмин, исопин, гесперидин), дубильные и горькие вещества, смолы, камедь, витамины В₁, В₂ и С, макро- и микроэлементы. Применяют иссоп лекарственный в традиционной и народной медицине (противовоспалительное, антимикробное, противоопухолевое, гепа-

Коваленко Наталья Александровна – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры физической, коллоидной и аналитической химии,
e-mail: chembstu@rambler.ru

Ахрамович Татьяна Игоревна – кандидат биологических наук, доцент кафедры биотехнологии,
e-mail: ahramovich@belstu.by

Окончание на С. 192.

* Автор, с которым следует вести переписку.

топротекторное и иммуностимулирующее действие), в фармацевтической, парфюмерной, косметической, пищевой и ликеро-водочной промышленности (эфирные масла), в качестве пряной приправы в кулинарии, медоносного и декоративного растения [6–10].

В Государственный реестр сортов Республики Беларусь в настоящее время внесены следующие сорта иссопа лекарственного (*Hyssopus officinalis* L.), рекомендуемых для товарного производства и приусадебного возделывания: Лазурит (2002 г.), Веселина (2013 г.), Синцветковый (2014 г.), Розоцветковый (2014 г.), Завея (2017 г.) [14].

Компонентный состав и биологическая активность эфирного масла иссопа лекарственного различного географического происхождения достаточно хорошо изучены. В большинстве доступных публикаций описаны результаты исследования эфирного масла иссопа лекарственного пинокамфонового хемотипа. Вместе с тем в литературе известны и другие хемотипы (линалоольный, тимольный, метилацетатный, пинокарвоновый) *Hyssopus officinalis* L. [15–24].

Компонентный состав и распределение энантиомеров основных компонентов эфирного масла иссопа лекарственного, произрастающего в Республике Беларусь, ранее не изучались. Необходимость изучения связана также с тем, что присутствие тех или иных оптически активных изомеров в составе эфирного масла в существенной степени влияет на их биологическую активность.

Цель настоящей работы – изучить компонентный состав, распределение энантиомеров основных компонентов и антимикробную активность образцов эфирного масла трех сортов иссопа лекарственного при его культивировании в условиях Республики Беларусь.

Экспериментальная часть

Объектами исследования являлись эфирные масла иссопа лекарственного *Hyssopus officinalis* L. с фиолетовой (сорт Лазурит), белой (сорт Завея) и розовой (сорт Розоцветковый) окраской венчика.

Исследуемые сорта растений иссопа лекарственного возделывали в Ботаническом саду УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» в полевых опытах на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве [25]. Для извлечения эфирных масел использовали растительное сырье, полученное из растений иссопа лекарственного третьего года возделывания. Воздушно-сухое растительное сырье получали из надземных частей растений, собранных в 2016 г. согласно правилам сбора и сушки лекарственных растений [26]. Свежее растительное сырье получали из растений урожая 2017 г. Выделение эфирного масла из измельченного свежего или воздушно-сухого растительного сырья проводили методом перегонки с водяным паром по ГОСТ 24027.2-80 с последующей осушкой образцов безводным сульфатом натрия.

Для установления компонентного состава эфирного масла *Hyssopus officinalis* L. использовали газовый хроматограф 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 °С/мин до 200 °С, изотерма в течение 10 мин в токе газа-носителя гелия. Линейная скорость гелия 40.0 см/с, величина сброса 1 : 14. Температура испарителя – 300 С, температура детектора – 320 С.

Разделение энантиомеров компонентов эфирного масла *Hyssopus officinalis* L. выполняли на хроматографе «Цвет 800», оснащенный пламенно-ионизационным детектором и оборудованный капиллярной

Супиченко Галина Николаевна – кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры физической, коллоидной и аналитической химии, e-mail: supichenko@belstu.by

Сачивко Татьяна Владимировна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры сельскохозяйственной биотехнологии, экологии и радиологии, e-mail: sachyuka@ Rambler.ru

Босак Виктор Николаевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности, e-mail: bosak1@tut.by

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.

Идентификацию основных компонентов эфирного масла проводили сравнением относительных индексов удерживания (ОИУ) компонентов со значениями ОИУ стандартных образцов терпеновых соединений [27]. Для идентификации использовали стандартные образцы (-)- α -пинен (Fluka, USA, CAS 7785-26-4); (+)- α -пинен (Fluka, Switzerland, CAS 7785-70-8); (-)-камфен (Aldrich, Germany, CAS 5794-04-7); (+)-камфен (Aldrich, Germany, CAS 5794-03-6); (+)- β -пинен (Fluka, Switzerland, CAS 19902-08-0); (-)- β -пинен (Aldrich, CAS 18172-67-3); сабинен (Aldrich, China, CAS 3387-41-5); (+)-лимонен (Fluka, CAS 5989-27-5); (-)-лимонен (Aldrich, CAS 5989-54-8); (-)-линалоол (Fluka, Spain, CAS 126-91-0); (\pm)-линалоол (Fluka, Spain, CAS 78-70-6); (-)- α -терпинеол (Aldrich, Germany, CAS 10482-56-1); эвгенол (Biochem, France, CAS 97-53-0).

Расчет ОИУ основных компонентов эфирных масел проводили по формуле:

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

где $t'_{R(x)}$, $t'_{R(n)}$, $t'_{R(n+1)}$ – приведенные времена удерживания анализируемого компонента, n -алкана (C_nH_{2n+2}) и следующего n -алкана ($C_{n+1}H_{2n+4}$) соответственно, причем $t'_{R(n)} < t'_{R(x)} < t'_{R(n+1)}$. Значение q определяли с использованием приведенных времен удерживания трех последовательно выходящих n -алканов по формуле

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

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

Для количественных определений идентифицированных компонентов эфирного масла использовали метод внутренней нормализации без учета относительных поправочных коэффициентов.

Содержание компонентов по методу внутренней нормализации рассчитывали по формуле

$$\omega_i = \frac{S_i \cdot 100}{\sum S_i},$$

где ω_i – содержание i -го компонента в смеси, %; S_i – площадь пика i -го компонента.

Энантиомерный избыток E_x рассчитывали по формуле

$$E_x = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}} 100,$$

где A_{\max} – площадь пика преобладающего энантиомера, A_{\min} – площадь пика второго энантиомера.

Все измерения проводились в четырехкратной повторности. Для статистической обработки результатов, создания рисунков, описания коллекции пользовались пакетом программ «Excel 2007».

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 раскладывали стерильные бумажные диски диаметром 0.5 см на равном удалении друг от друга и расстоянии 1.5–2.0 см от края чашки. 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. Результат учитывали по наличию и диаметру зон ингибирования.

Результаты и их обсуждение

Характеристика растений иссопа лекарственного, перспективных для использования в качестве источника эфирных масел в условиях Беларуси, приведена в таблице 1.

Исследуемые сорта иссопа лекарственного были достаточно близки по таким морфометрическим показателям, как высота растения в фазу цветения (50–65 см), диаметру куста в период цветения (30–35 см) и количеству соцветий (40–70 шт.). Урожайность зеленой массы в период цветения у сорта Лазурит составила 1.5–1.6 кг/м², у сорта Розоцветковый – 1.6–1.7 кг/м², у сорта Завея – 1.5–1.6 кг/м². Существенным отличием между изучаемыми сортами иссопа лекарственного оказалась окраска венчика – фиолетовая у сорта Лазурит, розовая у сорта Розоцветковый и белая у сорта Завея.

Как следует из данных таблицы 1, наиболее богаты летучими вторичными метаболитами оказались растения иссопа лекарственного сорта Завея (0.69% из воздушно-сухого растительного сырья и 0.46% из свежего растительного сырья). Выход эфирных масел из растений двух других сортов иссопа лекарственного (Лазурит и Розоцветковый) был заметно меньше и практически не зависел от способа обработки растительного сырья. Аналогичные результаты по влиянию окраски венчика на биосинтез эфирного масла *Hyssopus officinalis* L. были получены и в исследованиях других авторов [28].

В исследованных образцах эфирных масел изучаемых нами сортов иссопа лекарственного, полученных из свежего и воздушно-сухого растительного сырья, идентифицировано более 20 компонентов, основные из которых приведены в таблице 2.

По качественному составу образцы эфирных масел были достаточно близки. Доминирующим компонентом во всех образцах являлся пинокамфон, т.е. растения относятся к пинокамфоновому типу. Идентифицированы были также α - и β -пинены, камфен, лимонен, линалоол, 1,8-цинеол, α -терпинеол, эвгенол. Другие идентифицированные компоненты присутствовали в образцах в количествах, не превышающих 0.1%, поэтому данные по их содержанию в таблице 2 не приводятся.

Количественный состав эфирных масел в наших исследованиях зависел от сорта растений. Монотерпеновые углеводороды были представлены преимущественно β -пиненом, концентрации которого составили 4.5–7.7% в зависимости от ботанической формы иссопа лекарственного. Наименьшее его содержание зафиксировано в эфирном масле из растений фиолетовоцветковой формы (сорт Лазурит), наибольшее – в образце из растений белоцветковой формы (сорт Завея). Полученные экспериментальные данные близки к результатам, полученным в [29] по содержанию β -пинена в эфирных маслах иссопа, произрастающего в Польше, и существенным образом отличается от образцов из Астраханской области и Сербии [27, 30]. Суммарное содержание остальных монотерпеновых соединений в исследуемых образцах не превысило 4.5%.

Таблица 1. Морфометрические показатели растений *Hyssopus officinalis* L. (2016–2017 гг.)

| Признак | Сорт Лазурит | Сорт Розоцветковый | Сорт Завея |
|----------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------|------------|
| Высота растений, см | 55–65 | 50–60 | 55–65 |
| Диаметр куста, см | 30–35 | 30–35 | 30–35 |
| Количество соцветий, шт. | 50–70 | 40–60 | 50–70 |
| Окраска венчика | фиолетовая | розовая | белая |
| Урожайность зеленой массы (фаза цветения), кг/м ² | 1.5–1.6 | 1.6–1.7 | 1.5–1.6 |
| Выход эфирного масла, % (воздушно-сухое растительное сырье), 2016 г. | 0.43 | 0.48 | 0.69 |
| Выход эфирного масла, % (свежее растительное сырье), 2017 г. | 0.31 | 0.30 | 0.46 |

Таблица 2. Компонентный состав эфирных масел *Hyssopus officinalis* L. (колонка НР-5)

| Соединение | ОИУ | Содержание, % | | | | | |
|--------------------------|--------|---------------|------|--------------------|------|------------|------|
| | | сорт Лазурит | | сорт Розоцветковый | | сорт Завея | |
| | | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| α -пинен | 926±5 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 |
| камфен | 984±5 | 1.0 | 0.9 | 1.4 | 0.9 | 1.4 | 1.3 |
| β -пинен и сабинен | 976±5 | 5.2 | 5.8 | 7.5 | 4.3 | 8.2 | 8.1 |
| лимонен | 1020±5 | 1.2 | 1.7 | 1.2 | 0.8 | 1.2 | 1.3 |
| 1,8-цинеол | 1024±5 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 0.5 | 0.6 |
| γ -терпинен | 1089±5 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| линалоол | 1130±5 | 0.8 | 1.0 | 1.1 | 1.3 | 1.2 | 1.2 |
| <i>транс</i> -пинокамфон | 1187±5 | 69.8 | 65.3 | 44.0 | 35.6 | 1.8 | 0.75 |
| <i>цис</i> -пинокамфон | 1193±5 | 6.2 | 5.1 | 23.6 | 38.9 | 68.6 | 67.8 |
| α -терпинеол | 1197±5 | следы | 0.3 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| эвгенол | 1367±5 | 1.6 | 2.6 | 2.1 | 1.2 | 0.8 | 1.7 |

Примечания. 1 – образец из воздушно-сухого растительного сырья; 2 – образец из свежего растительного сырья.

Основной вклад в состав эфирных масел вносят кислородсодержащие производные монотерпенов, суммарное содержание которых в исследуемых образцах превысило 75–80%. Наиболее богат пинокамфоном оказался образец из фиолетовоцветковой формы иссопа (сорт Лазурит).

При разделении эфирного масла на обеих капиллярных колонках были зарегистрированы два хроматографических пика с ОИУ 1187±5, 1193±5 (колонка НР-5) и ОИУ 1276±5, 1296±5 (колонка Cyclosil B). Поскольку для пинокамфона характерны *цис*- и *транс*-формы, то, вероятно, первый пик относится к *транс*-пинокамфону, а второй – к *цис*-форме этого соединения. Распределение *цис*- и *транс*-форм пинокамфона различалось в зависимости от сорта растения. Концентрация *транс*-пинокамфона в эфирном масле растений с фиолетовой окраской венчика существенно выше, чем в двух других образцах. Белоцветковую форму растений выделяет от остальных образцов высокое содержание *цис*-формы пинокамфона. По литературным данным [28, 31], *цис*- и *транс*-формы пинокамфона находятся в динамическом равновесии и их содержание может варьироваться под влиянием различных внешних факторов, не связанных с ботанической формой растений.

Характер распределения оптических изомеров компонентов эфирного масла *Hyssopus officinalis* практически не зависел от сорта растения (табл. 3).

Для всех исследованных образцов характерна энантиомерная чистота по (-)- α -пинену и (+)- β -пинену. Камфен и линалоол были представлены преимущественно (-)-формами, энантиомерный избыток которых составил \approx 60–80% в зависимости от сорта растений. Энантиомеры лимонена находились в приблизительно равных концентрациях.

Близкие результаты по энантиомерному составу были получены для образцов эфирных масел *Hyssopus officinalis* L., полученных из свежего растительного сырья.

Этанольные растворы исследованных эфирных масел подавляли рост всех тест-культур бактерий (табл. 4). В интервале концентраций 5%–0,05% наименее выраженные антимикробные свойства были характерны для эфирных масел из растений иссопа лекарственного сорта Лазурит. Диаметры зон ингибирования роста как грамположительных, так и грамотрицательных тест-культур в присутствии этого образца оказались ниже диаметров ингибирования роста микроорганизмов маслами из растений розовоцветковой и белоцветковой форм иссопа лекарственного (сорта Розоцветковый и Завей). На микроорганизмы *Salmonella alony*, *Clostridium* sp и *Escherichia coli* наиболее активно действовали растворы масел из растений иссопа сорта Розоцветковый. Несколько слабее были выражены антимикробные свойства масел иссопа сорта Завей, однако эфирные масла растений этой формы в наибольшей степени угнетали рост бактерий *Staphylococcus aureus* и *Pseudomonas aeruginosa*.

При снижении концентрации эфирного масла в 100 раз (от 5.0% до 0.05%) антибактериальная активность эфирных масел ослабевала, однако все исследованные образцы подавляли рост тест-культур бактерий.

По литературным данным, антибактериальные свойства эфирных масел обусловлены комплексом соединений, входящих в их состав [3–5, 19, 22]. Повышенную антибактериальную активность масла из розовоцветковой и белоцветковой форм иссопа, на наш взгляд, следует связать с различным содержанием в них β -пинена. Так, по литературным данным [32] при сравнении антимикробной активности эвгенола, α - и β -пиненов наиболее выраженный ингибирующий эффект проявил β -пинен.

В таблице 5 приведены данные по ингибирующему влиянию растворов этанольных растворов β -пинена и его энантиомеров на рост тест-культур некоторых бактерий.

Таблица 3. Распределение энантиомеров компонентов эфирных масел *Hyssopus officinalis* L. (колонка Cyclosil B)

| Соединение | ОИУ | Содержание, % | | |
|--------------------------|--------|---------------|--------------------|------------|
| | | сорт Лазурит | сорт Розоцветковый | сорт Завей |
| (-)- α -пинен | 985±5 | 0.2 | 0.1 | 0.1 |
| (+)- α -пинен | 989±5 | – | – | – |
| (-)-камфен | 1012±5 | 0.9 | 1.1 | 1.1 |
| (+)-камфен | 1017±5 | 0.1 | 0.2 | 0.3 |
| (+)- β -пинен | 1030±4 | 4.5 | 6.3 | 7.7 |
| (-)- β -пинен | 1036±4 | – | – | – |
| (-)-лимонен | 1067±3 | 0.5 | 0.7 | 0.7 |
| (+)-лимонен | 1076±4 | 0.7 | 0.5 | 0.6 |
| (-)-линалоол | 1222±3 | 0.7 | 1.0 | 1.1 |
| (+)-линалоол | 1229±3 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| <i>транс</i> -пинокамфон | 1276±5 | 69.8 | 44.0 | 1.8 |
| <i>цис</i> -пинокамфон | 1296±5 | 6.2 | 23.6 | 68.6 |

Таблица 4. Диаметры зоны ингибирования роста тест-культур растворами эфирных масел *Hyssopus officinalis* L.

| Тест-культуры бактерий | Диаметр зоны ингибирования роста, мм | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|------|------|--------------|------|------|---------------|-----|------|
| | 5% раствор | | | 0.5% раствор | | | 0.05% раствор | | |
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| <i>Staphylococcus aureus</i> | 15.8 | 17.7 | 18.3 | 10.0 | 11.9 | 12.7 | 7.5 | 8.8 | 12.4 |
| <i>Salmonella alony</i> | 14.4 | 18.8 | 16.6 | 8.4 | 14.1 | 13.4 | 6.9 | 6.7 | 13.5 |
| <i>Bacillus subtilis</i> | 15.2 | 16.2 | 15.0 | 9.3 | 12.0 | 11.7 | 7.4 | 9.2 | 14.8 |
| <i>Clostridium</i> sp | 16.1 | 20.7 | 18.7 | 10.7 | 16.2 | 14.0 | 8.3 | 8.3 | 12.9 |
| <i>Escherichia coli</i> Hfr H | 16.9 | 20.0 | 18.1 | 11.3 | 15.7 | 12.8 | 7.9 | 7.4 | 14.6 |
| <i>Pseudomonas aeruginosa</i> | 15.5 | 16.0 | 16.3 | 10.0 | 9.7 | 10.2 | 7.7 | 8.9 | 13.9 |

Примечания. 1 – эфирные масла *Hyssopus officinalis* L. сорта Лазурит; 2 – эфирные масла *Hyssopus officinalis* L. сорта Розоцветковый; 3 – эфирные масла *Hyssopus officinalis* L. сорта Завея.

Таблица 5. Диаметры зоны ингибирования роста тест-культур растворами энантиомеров β-пинена

| Тест-культуры бактерий | Диаметр зоны ингибирования роста, мм | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|------|------|-------------|------|------|
| | (+)-β-пинен | | | (-)-β-пинен | | |
| | 80% | 40% | 20% | 80% | 40% | 20% |
| <i>Salmonella alony</i> | 21.8 | 16.7 | 12.9 | 17.9 | 12.4 | 8.6 |
| <i>Clostridium</i> sp | 28.1 | 23.2 | 18.9 | 24.5 | 19.0 | 14.5 |
| <i>Escherichia coli</i> Hfr H | 23.5 | 18.3 | 14.5 | 19.3 | 14.2 | 10.1 |

Приведенные данные показывают более выраженные бактерицидные свойства правоповорачивающих форм β-пинена по сравнению с (-)-формами. Так, при 80% концентрации этанольного раствора (+)-β-пинена диаметр зоны ингибирования тест-культуры бактерий *Salmonella alony* был выше в 1.2 раза, при 40% концентрации – в 1.3 раза, при 20% концентрации – 1.5 раза в сравнении с диаметрами зоны ингибирования при применении аналогичных этанольных растворов (-)-β-пинена.

При изучении антимикробной активности энантиомеров β-пинена в отношении тест-культур бактерий *Clostridium* sp и *Escherichia coli* Hfr H эти показатели оказались выше соответственно в 1.1; 1.1 и 1.3 раза (для бактерий *Clostridium* sp) и 1.2; 1.3 и 1.4 раза (для бактерий *Escherichia coli* Hfr H).

Выводы

В эфирных маслах районированных в Республике Беларусь сортов иссопа лекарственного идентифицировано более 20 компонентов, основными из которых являются изомеры пинокамфона (67.6–76.0%), β-пинен, эвгенол, лимонен, камфен, сабинен, линалоол, 1,8-цинеол, α-терпинеол, α-пинен, γ-терпинен и пинокамфеол. Показаны особенности распределения энантиомеров α- и β-пиненов, камфена, лимонена и линалоола в эфирных маслах иссопа различных сортов.

Эфирные масла иссопа лекарственного сортов Розоцветковый, Завея и Лазурит обладают антибактериальной активностью по отношению к грамотрицательным и грамположительным бактериям. Более выраженные антимикробные свойства эфирных масел из растений иссопа с розовыми (сорт Розоцветковый) и белыми (сорт Завея) в сравнении с фиолетовыми (сорт Лазурит) венчиками цветков обусловлены повышенным содержанием в них (+)-β-пинена.

Список литературы

1. Гуринович Л.К. Эфирные масла: химия, анализ и применение. М., 2005. 192 с.
2. Войткевич С.А. Эфирные масла для парфюмерии и ароматерапии. М., 1999. 329 с.
3. Атажанова Г.А. Терпеноиды эфирных масел растений. Распространение, химическая модификация и биологическая активность. М., 2008. 288 с.
4. Дутова С.В. Фармакологические и фармацевтические аспекты действия извлечений из сырья эфирномасличных растений: автореф. дис. ... док. фарм. наук. Волгоград, 2016. 39 с.
5. Железняк Т.Г., Ворнику З.Н. Эфиромасличные растения – источник биологически активных веществ // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. 2017. С. 34–36.
6. Кузнецова М.А. Лекарственное растительное сырье и препараты: справочное пособие. М., 1987. 191 с.
7. Маланкина Е.Л. Лекарственные и эфирномасличные культуры. М., 2016. 367 с.
8. Машанов В.И. Пряно-ароматические растения. М., 1991. 256 с.
9. Березко М.Н., Березко О.М., Вечер Н.Н. Полезные растения: иссоп лекарственный // Земледелие и защита растений. 2016. №5. С. 58–59.

10. Губанов В.Г. Перспективные образцы иссопа лекарственного (*Hyssopus officinalis* L.) в Тюменской области // Аграрный вестник Урала. 2016. №12. С. 24–26.
11. Беспалько Л.В., Харченко В.А., Шевченко Ю.П., Ушакова И.Т. Иссоп лекарственный (*Hyssopus officinalis* L.) // Овощи России. 2016. №2. С. 60–63.
12. Калиниченко Л.В., Маланкина Е.Л., Козловская Л.Н. Сравнительная оценка продуктивности иссопа лекарственного (*Hyssopus officinalis* L.) в зависимости от сорта и происхождения образца // Известия ТСХА. 2013. №5. С. 171–176.
13. Маланкина Е.Л., Калиниченко Л.В. Формирование урожая сырья и накопление эфирного масла у форм различного происхождения иссопа лекарственного (*Hyssopus officinalis* L.) в условиях Нечерноземной зоны // Доклады ТСХА. 2011. Т. 283. С. 658–661.
14. Найда Н.М. Биоморфологические и анатомические особенности иссопа лекарственного в Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2012. №26. С. 15–20.
15. Государственный реестр сортов Республики Беларусь. Минск, 2018. 240 с.
16. Мяделец М.А., Домрачев Д.В., Черемушкина В.А. Исследование химического состава эфирных масел некоторых видов семейства *Lamiaceae* L., культивируемых в условиях Западной Сибири // Химия растительного сырья. 2012. №1. С. 111–117.
17. Никитина А.С. Фармакогностическое изучение змееголовника молдавского (*Dracocephalum moldavica* L.) и иссопа лекарственного (*Hyssopus officinalis* L.) с целью обоснования применения в фармации и медицине: дис. ... канд. фарм. наук. Пятигорск, 2008. 210 с.
18. Рабостягов В.Д., Шибко А.Н. Исследование компонентного состава эфирного масла *Hyssopus officinalis* L. // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. 2014. Т. 139. С. 94–106.
19. Попова О.И., Чумакова В.В., Никитина А.С., Танская Ю.В., Губанова Е.А. Фитохимическое исследование и стандартизация сырья растений семейства Яснотковые (*Lamiaceae*), интродуцируемых в Ставропольском крае // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2010. №9. С. 11–17.
20. Hristova Y., Wanner J., Jirovetz L., Stappen I., Iliev I., Gochev V. Chemical composition and antifungal activity of essential oil of *Hyssopus officinalis* L. from Bulgaria against clinical isolates of *Candida* species // Biotechnology and Biotechnological Equipment. 2015. Vol. 29. Pp. 592–601.
21. Jahantigh O., Najafi F., Badi H.N., Khavari-Nejad R.A., Sanjarian F. Essential oil composition of Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) under salt stress at flowering stage // Journal of Essential Oil Research. 2016. Vol. 28 (5). Pp. 458–464.
22. Ahl H.A.H.S.-Al, Abbas Z.K., Sabra A.S., Tkachenko K.G. Essential oil composition of *Hyssopus officinalis* L. cultivated in Egypt // Int. J. Plant Sci. Ecol. 2015. Vol. 1. N2. Pp. 49–53.
23. Fathiazad F., Namedeyazdan S. A review on *Hyssopus officinalis* L.: composition and biological activities // Journal of Pharmacologie. 2011. Vol. 5. Pp. 1959–1965.
24. Jankovsky M., Landa T. Genus *Hyssopus* L. – recent knowledge // Hort. Sci. Prague. 2002. Vol. 29. N3. Pp. 119–123.
25. Mitic V., Dordevic S. Essential oil composition of *Hyssopus officinalis* L. cultivated in Serbia // Facta Universit. 2000. Vol. 2. N2. Pp. 105–108.
26. Сачивко Т.В., Гордеева А.П., Босак В.Н. Новые сорта Ботанического сада УО БГСХА // Вестник БГСХА. 2017. №2. С. 163–166.
27. Шретер А.П. Правила сбора и сушки лекарственных растений (сборник инструкций). М., 1985. 328 с.
28. König W.A., Hochmuth D.H. Enantioselective Gas Chromatography in Flavor and Fragrance Analysis: Strategies for the Identification of Known and Unknown Plant Volatiles // Journal of Chromatographic Science. 2004. Vol. 42. Pp. 423–439.
29. Шибко А.Н., Аксенов Ю.В. Динамика накопления эфирного масла и изменчивость его компонентного состава в течение суток у *Hyssopus officinalis* L. в условиях Предгорного Крыма // Экосистемы, их оптимизация и охрана. 2011. Вып. 4. С. 127–123.
30. Zavislak G. Morphological characters of *Hyssopus officinalis* and chemical composition of its essential oil // Modern Phytomorphology. 2013. Vol. 4. Pp. 93–95.
31. Великородов А.В., Ковалев В.Б., Курбанова Ф.Х., Щепетова В.Е. Химический состав эфирного масла *Hyssopus officinalis*, культивируемого в Астраханской области // Химия растительного сырья. 2015. №3. С. 71–76.
32. Шибко А.Н., Рабостягов В.Д., Аксенов Ю.В. Внутривидовая изменчивость компонентного состава эфирного масла *Hyssopus officinalis* L. при семенном размножении // Бюллетень Никитского Ботанического сада. 2011. Вып. 103. С. 82–85.
33. Leite A.M., Lima E.O., Souza E.L., Diniz M.F.F.M., Trajano V.N., Medeiros I.A. Inhibitory effect of β -pinene, α -pinene and eugenol on the growth of potential infectious endocarditis Gram-positive bacteria // Braz. J. Pharmaceutical Sci. 2007. Vol. 43. Pp. 121–126.

Поступила в редакцию 25 мая 2018 г.

После переработки 2 ноября 2018 г.

Принята к публикации 6 ноября 2018 г.

Для цитирования: Коваленко Н.А., Ахрамович Т.И., Супиченко Г.Н., Сачивко Т.В., Босак В.Н. Антибактериальная активность эфирных масел иссопа лекарственного // Химия растительного сырья. 2019. №1. С. 191–199. DOI: 10.14258/jcrpm.2019014083.

Kovalenko N.A.^{1*}, Ahramovich T.I.¹, Supichenko G.N.¹, Sachivko T.V.², Bosak V.N.² ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF HYSSOPUS OFFICINALIS ESSENTIAL OILS

¹ Belarusian State Technological University, ul. Sverdlova, 13a, Minsk, 220006 (Republic of Belarus), e-mail: chembstu@rambler.ru

² Belarusian State Academy of Agriculture, ul. Michurina, 5, Gorki, 213407 (Republic of Belarus)

The steam distillation method was used to obtain samples of essential oil of plants of three varieties *Hyssopus officinalis* L., cultivated in the conditions of the Republic of Belarus. More than 20 components were identified and determined in the essential oils of plants of the varieties Lazurit, Rozotsvetkovy, Zaveya by gas-liquid chromatography. It has been established that the studied varieties of *Hyssopus officinalis* belong to the pinocamphone chemotype. The main components are pinocamphone (67.6–76.0%), β -pinene, eugenol, limonene, camphene, sabinene, linalool, 1,8-cineole, α -terpineol, α -pinene, γ -terpinene and pinocampheol. The distribution of the enantiomers of α - and β -pinenes, camphene, limonene and linalool was established in the studied samples.

Antimicrobial activity of essential oils and optical isomers of pure β -pinene was investigated on *Staphylococcus aureus*, *Salmonella alona*, *Bacillus subtilis*, *Clostridium* sp., *Escherichia coli* Hfr H, *Pseudomonas aeruosa* by disc method.

It is shown that (+)- β -pinene showed higher antibacterial activity to (-)- β -pinene. The increased content of (+)- β -pinene in the varieties of *Hyssopus officinalis* with pink (Rosacea variety) and white (Zaveya variety) aureoles of flowers caused a higher antibacterial activity of their essential oils against Gram-negative and Gram-positive bacteria.

Keywords: *Hyssopus officinalis*, essential oils, component composition, enantiomers, antibacterial activity.

References

- Gurinovich L.K. *Efirnyye masla: khimiya, analiz i primeneniye*. [Essential oils: chemistry, analysis and application]. Moscow, 2005, 192 p. (in Russ.).
- Voytkovich C.A. *Efirnyye masla dlya parfumerii i aromaterapii*. [Essential oils for perfumes and aromatherapy]. Moscow, 1999, 329 p. (in Russ.).
- Atazhanova G.A. *Terpenoidy efirnykh masel rasteniy. Rasprostraneniye, khimicheskaya modifikatsiya i biologicheskaya aktivnost'*. [Terpenoids of plant essential oils. Distribution, chemical modification and biological activity]. Moscow, 2008, 288 p. (in Russ.).
- Dutova S.V. *Farmakologicheskiye i farmatsevticheskiye aspekty deystviya izvlecheniy iz syr'ya efirnomaslichnykh rasteniy: avtoref. dis. ... dok. farm. nauk*. [Pharmacological and pharmaceutical aspects of the extracts from raw materials of essential oil plants: author. dis. ... doc. farm. sciences]. Volgograd, 2016, 39 p. (in Russ.).
- Zheleznyak T.G., Vorniku Z.N. *Novyye i netraditsionnyye rasteniya i perspektivy ikh ispol'zovaniya*, 2017, pp. 34–36. (in Russ.).
- Kuznetsova M.A. *Lekarstvennoye rastitel'noye syr'ye i preparaty: spravochnoye posobiye*. [Medicinal plant materials and drugs: a reference guide]. Moscow, 1987, 191 p. (in Russ.).
- Malankina Ye.L. *Lekarstvennyye i efirnomaslichnyye kul'tury*. [Medicinal and essential oil cultures]. Moscow, 2016, 367 p. (in Russ.).
- Mashanov V.I. *Pryano-aromaticheskiye rasteniya*. [Spicy aromatic plants]. Moscow, 1991, 256 p. (in Russ.).
- Berezko M.N., Berezko O.M., Vecher N.N. *Zemledeliye i zashchita rasteniy*, 2016, no. 5, pp. 58–59. (in Russ.).
- Gubanov V.G. *Agrarnyy vestnik Urala*, 2016, no. 12, pp. 24–26. (in Russ.).
- Bespal'ko L.V., Kharchenko V.A., Shevchenko Yu.P., Ushakova I.T. *Ovoshchi Rossii*, 2016, no. 2, pp. 60–63. (in Russ.).
- Kalinichenko L.V., Malankina Ye.L., Kozlovskaya L.N. *Izvestiya TSKhA*, 2013, no. 5, pp. 171–176. (in Russ.).
- Malankina Ye.L., Kalinichenko L.V. *Doklady TSKhA*, 2011, vol. 283, pp. 658–661. (in Russ.).
- Nayda N.M. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2012, no. 26, pp. 15–20. (in Russ.).
- Gosudarstvennyy reyestr sortov Respubliki Belarus'*. [The state register of varieties of the Republic of Belarus]. Minsk, 2018, 240 p. (in Russ.).
- Myadelets M.A., Domrachev D.V., Cheremushkina V.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2012, no. 1, pp. 111–117. (in Russ.).
- Nikitina A.S. *Farmakognosticheskoye izucheniye zmeyegolovnika moldavskogo (Dracocephalum moldavica L.) i isopa lekarstvennogo (Hyssopus officinalis L.) s tsel'yu obosnovaniya primeneniya v farmatsii i meditsine: dis. ... kand. farm. nauk*. [Pharmacognostic study of the Moldavian serpentine (*Dracocephalum moldavica* L.) and medicinal hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) in order to justify the use in pharmacy and medicine: dis. ... Cand. farm. science]. Pyatigorsk, 2008, 210 p. (in Russ.).
- Rabotyagov V.D., Shibko A.N. *Sbornik nauchnykh trudov Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada*, 2014, vol. 139, pp. 94–106. (in Russ.).
- Popova O.I., Chumakova V.V., Nikitina A.S., Tanskaya Yu.V., Gubanova Ye.A. *Voprosy biologicheskoy, meditsinskoy i farmatsevticheskoy khimii*, 2010, no. 9, pp. 11–17. (in Russ.).
- Hristova Y., Wanner J., Jirovets L., Stappen I., Iliev I., Gochev V. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 2015, vol. 29, pp. 592–601.

* Corresponding author.

21. Jahantigh O., Najafi F., Badi H.N., Khavari-Nejad R.A., Sanjarian F. *Journal of Essential Oil Research*, 2016, vol. 28(5), pp. 458–464.
22. Ahl H.A.H.S-Al, Abbas Z.K., Sabra A.S., Tkachenko K.G. *Int. J. Plant Sci. Ecol.*, 2015, vol. 1, no. 2, pp. 49–53.
23. Fathiazad F., Hamedeyazdan S. *Journal of Pharmacologie*, 2011, vol. 5, pp. 1959–1965.
24. Jankovsky M., Landa T. *Hort. Sci. Prague.*, 2002, vol. 29, no.3, pp. 119–123.
25. Mitic V., Dordevic S. *Facta Universit.*, 2000, vol. 2, no. 2, pp. 105–108.
26. Sachivko T.V., Gordeyeva A.P., Bosak V.N. *Vestnik BGSKhA*. 2017, no. 2, pp. 163–166. (in Russ.).
27. Shreter A.P. *Pravila sbora i sushki lekarstvennykh rasteniy (sbornik instruktsiy)*. [Rules for the collection and drying of medicinal plants (collection of instructions)]. Moscow, 1985, 328 p. (in Russ.).
28. Konig W.A., Hochmuth D.H. *Journal of Chromatographic Science*, 2004, vol. 42, pp. 423–439.
29. Shibko A.N., Aksenov Yu.V. *Ekosistemy, ikh optimizatsiya i okhrana*, 2011, no. 4, pp. 127–123. (in Russ.).
30. Zavislak G. *Modern Phytomorphology*, 2013, vol. 4, pp. 93–95.
31. Velikorodov A.V., Kovalev V.B., Kurbanova F.Kh., Shchepetova V.Ye. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2015, no. 3, pp. 71–76. (in Russ.).
32. Shibko A.N., Rabogiyatov V.D., Aksenov Yu.V. *Byulleten' Nikitskogo Botanicheskogo sada*, 2011, no. 103, pp. 82–85. (in Russ.).
33. Leite A.M., Lima E.O., Souza E.L., Diniz M.F.F.M., Trajano V.N., Medeiros I.A. *Braz. J. Pharmaceutical Sci.*, 2007, vol. 43, pp. 121–126.

Received May 25, 2018

Revised November 2, 2018

Accepted November 6, 2018

For citing: Kovalenko N.A., Ahramovich T.I., Supichenko G.N., Sachivko T.V., Bosak V.N. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2019, no. 1, pp. 191–199. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2019014083.

