

УДК 615.32:547.9:543.54

ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРПЕНОВОГО И ЖИРНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА МЯТЫ КОЛОСОВОЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ

© М.Г. Первова*, А.С. Мисриханова, М.А. Саморукова, В.И. Салютин

Институт органического синтеза им. И.Я. Постовского УрО РАН,
ул. С. Ковалевской, 22, Екатеринбург, 620108 (Россия),
e-mail: pervova@ios.uran.ru

Методами газовой хроматографии и хромато-масс-спектрометрии исследован терпеновый и жирнокислотный состав в этанольных экстрактах мяты колосовой (лат. *Mentha spicata*), произрастающей на Среднем Урале. Качественный и количественный состав терпеновой фракции изучали в зависимости от части растения (листья, стебли, корни) и способа хранения растения (замораживание, высушивание). В экстрактах найдено 30 компонентов, идентифицировано 24. Установлено, что наибольшее количество терпенов содержится в экстрактах листьев мяты колосовой, наименьшее – в экстрактах корней, а лучшим способом сохранения терпенов в растении является высушивание. Основными составляющими терпеновой фракции идентифицированы лимонен, 1,8-цинеол, дигидрокарвон, β-бурбонен, β-кариофиллен, β-копаен, гидроксиметилфурфурол, в наибольшем количестве содержится (-)-карвон. Изменения состава и содержания жирных кислот в мяте колосовой исследовали в зависимости от месяца сбора (май-сентябрь). Установлено, что основными жирными кислотами, обнаруженными в мяте колосовой, являются пальмитолеиновая (16:1), пальмитиновая (16:0), линолевая (18:2), линоленовая (18:3), стеариновая (18:0), арахидовая (20:0), бегеновая (22:0) кислоты с преобладающим содержанием линоленовой кислоты. Показано, что в период май-сентябрь относительное содержание ненасыщенных кислот постепенно увеличивается и превышает содержание насыщенных в 4.2–4.7 раза.

Ключевые слова: мята колосовая, терпены, карвон, жирные кислоты, экстракция, дериватизация, газовая хроматография.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации АААА-А19-119011790134-1 с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Спектроскопия и анализ органических соединений» (ЦКП «САОС»).

Введение

Мята колосовая (лат. *Mentha spicata*) является представителем семейства Яснотковых (лат. *Lamiaceae*) и широко используется в различных отраслях промышленности и фармацевтике. Лечебные свойства растений реализуются за счет содержания в их составе биологически активных веществ (БАВ), таких как витамины, антиоксиданты, микроэлементы, терпеноиды, флаваноиды, липиды. Для сохранения компо-

Первова Марина Геннадьевна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории фторорганических соединений,
e-mail: pervova@ios.uran.ru

Мисриханова Айнаханум Самитдиновна – лаборант-исследователь лаборатории фторорганических соединений, e-mail: misrihanova25@gmail.com

Саморукова Мария Андреевна – инженер-исследователь лаборатории фторорганических соединений,
e-mail: eremina-masha@yandex.ru

Салютин Виктор Иванович – доктор химических наук, член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией фторорганических соединений,
e-mail: salutin@ios.uran.ru

нентного состава БАВ в растении и получения максимальной пользы от применения мяты колосовой в основном используют ее эфирные масла. При этом химический состав эфирных масел может быть разным даже в пределах одного вида мяты, он зависит от места их произрастания, климатических условий, стадии вегетации, технологии выделения масла [1, 2] и не является видоспецифичным для мяты колосовой [3–5]. В медицине и пищевой промышленности наравне с эфирными маслами применяются водные настои, водно-спиртовые или

* Автор, с которым следует вести переписку.

спиртовые настойки. Получаемые продукты экологически чистые и безопасны при применении для организма человека. Компонентный состав эфирного масла и настоек из мяты колосовой довольно хорошо изучен и большую часть (96–99%) составляют две фракции: терпеновая и жирнокислотная. Основным методом анализа этих фракций является метод газовой хроматографии (ГХ) или хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС). При этом определение терпенов проводят прямым анализом [5–8], для определения жирных кислот проводят предварительную дериватизацию в их сложные эфиры [9–13].

Терпеновая фракция эфирного масла мяты колосовой значительно отличается в зависимости от почвенно-климатических условий произрастания. Для мяты колосовой характерны хемотипы: карвонный, пиперитонный, оксипиперитонный или пулгергонный [5]. Так, мята колосовая, культивируемая в Сербии, Португалии, Египте, Марокко и Индии, относится к карвонному хемотипу, так как основными составляющими полученного из такой мяты эфирного масла являются карвон, лимонен, 1,8-цинеол [14–17]. В различных районах Китая произрастает мята колосовая, в эфирных маслах которой основными компонентами являются не только карвон и лимонен, но и пулгергон, оксипиперитон и сабинен [18]. А в эфирном масле мяты колосовой, выращенной в Болгарии, карвон отсутствует и в наибольшем количестве содержатся 1,8-цинеол и цимол [19]. При исследовании водно-спиртовых экстрактов листьев мяты колосовой, произрастающей в Крыму, также показано, что основными обнаруженными терпеноидами являются карвон и лимонен (до 30% от общего содержания терпенов) [8]. Благодаря присутствию карвона экстракты мяты колосовой оказывают антибактериальное, противомикробное действие, улучшают память и пищеварение. К тому же в мяте колосовой практически не содержится ментол, присутствие которого характерно для мяты перечной и мяты длиннолистной [4], поэтому отвары на ее основе можно использовать в педиатрии [20].

Другими важнейшими составляющими эфирных масел и экстрактов различных растений являются жирные кислоты (ЖК). ЖК играют важную роль в организме человека: снижают уровень холестерина, нормализуют кровяное давление, способствуют развитию мозга, предотвращению раковых и аутоиммунных заболеваний [21]. Наиболее полезными для организма являются ненасыщенные ЖК – линоленовая, линолевая, олеиновая кислоты, которые относятся к ω 3-, ω 6- и ω 9-жирным кислотам соответственно и принадлежат к важнейшим питательным веществам, необходимым организму, которые не вырабатываются в нем, а поступают в организм только с потреблением пищи как растительного (например, орехи, соя, авокадо и т.д.), так и животного происхождения (например, моллюски, рыбий жир и рыба жирных или полужирных видов) [22, 23]. Многими исследованиями как экстрактов, так и эфирных масел различных растений показано, что основными ЖК, обнаруженными в них, являются пальмитиновая ($C_{16:0}$), линолевая ($C_{18:2}$), линоленовая ($C_{18:3}$), олеиновая ($C_{18:1}$) и стеариновая ($C_{18:0}$) кислоты и их содержание и соотношение зависит от вида растения, зоны произрастания, климатических условий. Так, в метанольных экстрактах базилика, мяты перечной и шалфея, произрастающих в Румынии, показано, что основное содержание составляют ненасыщенные ЖК (до 80–85% от общего содержания ЖК), из насыщенных кислот наибольшее содержание приходится на пальмитиновую кислоту (9–11% от общего содержания ЖК) [10]; в метанольных экстрактах расторопши, вероники, тысячелистника и одуванчика, произрастающих в разных регионах России, показано, что 60–80% от общего содержания суммы ЖК составляют ненасыщенные ЖК (линолевая и линоленовая кислоты), а в метанольном экстракте горюхи, наоборот, около 60% составляют насыщенные ЖК (миристиновая, пальмитиновая и стеариновая кислоты) [9, 11, 12]; в метанольном экстракте Melissa officinalis, выращенной в Тунисе, Франции или Германии, основными ненасыщенными ЖК обнаружены пальмитолеиновая, линолевая и олеиновая кислоты (70–77% от общего содержания ЖК), из насыщенных – пальмитиновая кислота (13–16% от общего содержания ЖК) [13]. Количество насыщенных и ненасыщенных ЖК в растениях напрямую влияет на их холодо- и морозоустойчивость: увеличение количества ненасыщенных ЖК (линолевая, олеиновая и линоленовая) в составе мембран приводит к лучшей адаптации растений к низким температурам, а у растений, чувствительных к холоду, напротив, в составе мембранных липидов велико содержание насыщенных ЖК (миристиновая, пальмитиновая, стеариновая) [23–26]. Кроме того, благодаря ЖК растения адаптируются не только к холодам и заморозкам, но и к влиянию экстремальных условий, таких как высокая солнечная радиация, продолжительное дневное освещение, короткий вегетационный период [27].

Известно, что из всей растительной массы растений, в том числе и мяты, на практике для получения эфирных масел или экстрактов используют только листья. Литературных данных по исследованию экстрактов других частей растений не найдено. Также известно, что на качественный и количественный состав экстрактов растений влияет способ хранения растений. Поэтому целью данной работы являлись: исследование терпенового состава спиртовых экстрактов мяты колосовой, выращенной на Среднем Урале, в зависимости

от части растения и способа его хранения; изучение жирнокислотного состава и оценка адаптивности мяты колосовой в зависимости от месяца сбора.

Экспериментальная часть

Объектом исследований являлась мята колосовая (Компания «СеДек», Домодедово, Московской области) (далее – мята), выращенная в окрестности Екатеринбурга и собранная в период май-сентябрь 2021 г. После сбора мяту делили на части, отделив корни, стебли, листья. Для хранения частей мяты использовали замораживание и высушивание: высушивание проводили при комнатной температуре в помещении с хорошей вентиляцией в темном месте без попадания солнечного света, разложив части мяты на бумаге однослойно; для замораживания части мяты упаковывали в герметичные контейнеры, которые помещали в морозильную камеру при температуре $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 30 дней.

Для проведения экстракции и этерификации в колбы объемом 100 мл помещали от 1.5 до 2.0 г высушенных/замороженных частей растения: листьев, стеблей или корней мяты, приливали по 40 мл этилового спирта. Выдерживали 14 дней при комнатной температуре при периодическом встряхивании колб с экстрактами. Отгонкой этилового спирта концентрировали экстракты до объема 2–5 мл. Для определения состава терпеновой фракции концентрированные экстракты анализировали в условиях ГХ-ПИД и ГХ-МС.

Для определения жирнокислотного состава экстрактов в реакторы вместимостью 3 мл помещали по 1 мл концентрированного этанольного экстракта, добавляли по 0.1 мл конц. серной кислоты, выдерживали в нагревательном устройстве Multi Blok Heater, фирмы Supelco, США, 60 мин при $90\text{ }^{\circ}\text{C}$. После охлаждения до комнатной температуры в реакторы вносили 2 мл гексана, перемешивали и переносили гексан-этанольную смесь в пробирки вместимостью 15 мл, приливали 10 мл дистиллированной воды. Встряхивали, после разделения фаз получали гексановый слой с экстрагированными этиловыми эфирами ЖК. Анализировали гексановые экстракты в условиях ГХ-ПИД и ГХ-МС.

Для идентификации компонентов в экстрактах использовали газовый хромато-масс-спектрометр «Agilent GC 7890A MS 5975CIert XL EI/CI» (США) (условия ГХ-МС), с кварцевой капиллярной колонкой HP-5MS (полидиметилсилоксан, 5%мас. фенильных групп), длиной 30 м, диаметром 0.25 мм, толщиной пленки 0.25 мкм. Температура колонки – начальная $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (выдержка 3 мин), программирование со скоростью $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ до $290\text{ }^{\circ}\text{C}$ (выдержка 30 мин), температура испарителя – $250\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура источника – $230\text{ }^{\circ}\text{C}$, квадруполь – $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, переходной камеры – $280\text{ }^{\circ}\text{C}$. Газ-носитель – гелий, деление потока – 1 : 50, расход через колонку – 1.0 мл/мин. Сканирование в режиме электронной ионизации по полному ионному току (ТIC) с энергией излучения 70 эВ – в диапазоне масс 20–1000 Да.

Количественную оценку содержания компонентов в экстрактах проводили с использованием газового хроматографа «GC-2010Plus» фирмы Shimadzu (Япония), с пламенно-ионизационным детектором (условия ГХ-ПИД), кварцевой капиллярной колонкой ZB-5 (полидиметилсилоксан, 5%мас. фенильных групп), длиной 30 м, диаметром 0.25 мм, толщиной пленки 0.25 мкм. Температура колонки – начальная $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (выдержка 3 мин), программирование со скоростью $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ до $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ (выдержка 30 мин), температура испарителя – $250\text{ }^{\circ}\text{C}$, детектора – $300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Газ-носитель – азот, деление потока – 1 : 30, расход через колонку – 1.0 мл/мин.

Для расчета массового выхода экстрагируемых веществ экстракты упаривали досуха и выход рассчитывали по отношению массы остатка к массе сухого материала части растения, взятого для экстракции.

Количественную оценку содержания карвона и ЖК в экстрактах мяты проводили по методу абсолютной градуировки. Для расчета содержания карвона использовали растворы карвона в этиловом спирте; для расчета содержания ЖК готовили растворы индивидуальных ЖК в этиловом спирте и проводили все операции методики этерификации, это позволило учесть неполноту как протекания реакции, так и извлечения получаемых этиловых эфиров ЖК.

Для оценки насыщенности и ненасыщенности ЖК в экстрактах мяты рассчитывали коэффициент ненасыщенности ЖК (K), показывающий соотношение ненасыщенных и насыщенных ЖК, и индекс двойных связей (ИДС), характеризующий степень ненасыщенности ЖК и учитывающий еще и количество двойных связей в молекулах ненасыщенных ЖК, по формулам (1, 2) [9]:

$$K = \frac{ННЖК}{НЖК}, \quad (1)$$

где $ННЖК$ – сумма ненасыщенных ЖК, %, $НЖК$ – сумма насыщенных ЖК, %;

$$ИДС = \frac{\sum P_j \cdot n_j}{100}, \quad (2)$$

где P_j – содержание ЖК, % от общего содержания, n_j – количество двойных связей в каждой кислоте.

Обсуждение результатов

Исследования методом газовой хроматографии и хромато-масс-спектрометрии этанольных экстрактов частей мяты (листьев, стеблей, корней) показали, что при экстракции этиловым спиртом из растения извлекаются соединения терпенового ряда и жирные кислоты. Идентификацию компонентов в экстрактах проводили с помощью ГХ-МС с привлечением базы масс-спектров NIST2014 (National Institute of Standards and Technology 2014) со значением коэффициента совпадения с библиотечными данными 90–100% и анализа индивидуальных соединений. Для подтверждения структур и состава обнаруженных соединений также использовали данные [28]. Использование аналогичных газохроматографических условий при регистрации хроматограмм в условиях ГХ-МС и ГХ-ПВД (температурные режимы термостата колонок, испарителя, неподвижные фазы колонок и т.д.) позволило получить одинаковый порядок элюирования соединений с колонок, что дало возможность проводить соотнесение полученных данных при идентификации обоими методами.

В результате проведенных исследований экстрактов различных частей растения мяты установлено, что массовый выход экстрагируемых веществ в значительной степени зависит от части растения, взятой для экстракции, но не от способа хранения. Так, массовый выход соединений, экстрагируемых из листьев после высушивания и замораживания, составил 4.5 и 4.0% соответственно, в корнях – 1.4 и 1.3% соответственно, в стеблях – по 0.7%.

При анализе экстрактов частей растения мяты после высушивания было найдено 30 компонентов, идентифицировано 24, что составило 80–100% от всех зарегистрированных на хроматограмме пиков соединений. Анализ экстрактов листьев, стеблей и корней мяты после высушивания показал, что основными соединениями, обнаруженными в этанольных экстрактах, являются терпеноиды (карвон, дигидрокарвон, лимонен, 1,8-цинеол, кариофиллен) и жирные кислоты (табл. 1).

Установлено, что после высушивания наибольшее число и количество терпеноидов найдено в экстрактах листьев. В экстрактах стеблей и корней содержание терпенов резко сокращается, причем в корнях терпеноиды практически отсутствуют. Основным компонентом терпеновой фракции является карвон (до 43% от общего содержания всех терпеноидов в терпеновой фракции). Полученные данные не противоречат литературным сведениям [7, 8]. Таким образом, исследованная в работе мята колосовая относится к карвонному хемотипу. Расчет методом абсолютной градуировки содержания карвона показал, что наибольшее содержание карвона обнаружено в листьях – 2.21 мг/г (0.22%), а меньше всего карвон содержится в корнях – около 0.02 мг/г (0.002%), в стеблях содержание карвона составило 0.31 мг/мл (0.031%).

Таблица 1. Результаты качественного анализа этанольных экстрактов высушенных и замороженных частей растения мяты колосовой

Название	Присутствие в экстракте					
	в высушенном сборе			в замороженном сборе		
	листья	стебли	корни	листья	стебли	корни
Терпеноиды:						
Лимонен	++	–	–	++	–	+
1,8-цинеол	+++++	+	–	+++	+	+
Неодигидрокарвиол	++	–	–	++	–	–
Дигидрокарвон	+++++	+	–	++++	+	+
Гидроксиметилфурфурол	+++	+++	–	+	++	+
Карвон	+++++	++	+	+++	+	+
β-бурбонен	++	–	–	+	–	–
β-кариофиллен	+	++++	–	+	++	–
β-копаен	+	–	–	+	–	–
Оксид кариофиллена	+	–	–	+	–	–
Неофитадиен	+++	+	–	++	+	+
Фитол	+++	+	–	++	+	–
Жирные кислоты	++++	+	+	++	++	+

*«+» – присутствие и «–» – отсутствие обнаруженного вещества на хроматограммах экстрактов; количество «+» обозначает меньшую или большую площадь пика обнаруженного вещества на хроматограммах экстрактов.

Анализ этанольных экстрактов частей мяты после замораживания показал, что в этом случае основными соединениями, обнаруженными в экстрактах, также являются терпены (в основном карвон и дигидрокарвон) и жирные кислоты (табл. 1). Но их относительное содержание гораздо ниже, чем при экстракции из высушенных растений. Так, содержание карвона в листьях составило всего 0.18 мг/г (0.018%), что почти в 10 раз меньше, чем в высушенных, в стеблях и корнях содержание карвона было 0.02 мг/г (0.002%) и 0.03 мг/г (0.003%) соответственно.

Для определения и идентификации ЖК в мяте использовали этерифицированные этанольные экстракты листьев после высушивания. Исследование изменения состава и содержания ЖК в мяте в зависимости от времени сбора проводили с использованием листьев растения, собранных в период май-сентябрь 2021 г.

Установлено, что в экстрактах листьев мяты колосовой содержатся 8 ЖК: насыщенные (миристиновая (C_{14:0}), пальмитиновая (C_{16:0}), стеариновая (C_{18:0}), арахидовая (C_{20:0}), бегеновая (C_{22:0})) и ненасыщенные (пальмитолеиновая (C_{16:1}), линолевая (C_{18:2}), линоленовая (C_{18:3})) кислоты (табл. 2). При этом наибольшее суммарное содержание ЖК обнаружено в экстрактах листьев мяты, собранных в июне – 10.5 мг/г (1.05%), а минимальное – в мае 4.1 мг/г (0.41%) (табл. 2). Количество ЖК в экстрактах листьев мяты, собранных в июле, августе и сентябре составляет 9.4, 8.5 и 7.8 мг/г (0.94, 0.86 и 0.78%) соответственно.

Для удобства сравнения содержания ЖК в экстрактах листьев в зависимости от месяца сбора мяты использовали значения содержания ЖК, рассчитанные относительно общего содержания ЖК в экстрактах. Так, из таблицы 2 следует, что содержание миристиновой кислоты в листьях мяты изменяется мало и варьируется от 0.5 до 1.0% от общего содержания ЖК. Максимальное содержание пальмитолеиновой кислоты обнаружено в листьях мяты, собранной в мае (8.0% от общего содержания ЖК), минимальное – в сентябре (3.1% от общего содержания ЖК). Содержание пальмитиновой кислоты уменьшается с мая по август (16.4–13.2% от общего содержания ЖК), и немного увеличивается в сентябре (14.6% от общего содержания ЖК). Содержание линоленовой кислоты, наоборот, с мая по август увеличивается, а в сентябре уменьшается и имеет значение 62.7, 67.1, 69.0, 69.7, 69.3% от общего содержания ЖК соответственно. Содержание линолевой, стеариновой, арахидовой и бегеновой кислот примерно постоянно на протяжении всего периода: так, линолевой кислоты содержится 8.2–8.5%, стеариновой – 1.7–1.9%, арахидовой – 0.9–1.1%, бегеновой – 0.6–1.0% от общего содержания ЖК.

Таким образом, установлено, что в листьях мяты, собранных в мае, относительное количество ненасыщенных кислот в 3.7 раза выше, чем насыщенных, а с июня по сентябрь относительное содержание ненасыщенных кислот увеличивается и превышает содержание насыщенных в 4.2–4.7 раза.

Таблица 2. Содержание ЖК в листьях мяты в зависимости от месяца сбора растения

Кислоты	Месяц сбора / Содержание ЖК*, %									
	май		июнь		июль		август		сентябрь	
	в экстракте, %	от общей суммы ЖК, %	в экстракте, %	от общей суммы ЖК, %	в экстракте, %	от общей суммы ЖК, %	в экстракте, %	от общей суммы ЖК, %	в экстракте, %	от общей суммы ЖК, %
C _{14:0}	0.002	0.5	0.006	0.6	0.006	0.6	0.004	0.5	0.008	1.0
C _{16:1}	0.033	8.0	0.058	5.5	0.051	5.4	0.039	4.6	0.024	3.1
C _{16:0}	0.066	16.4	0.159	15.0	0.124	13.2	0.114	13.4	0.114	14.6
C _{18:2}	0.035	8.5	0.088	8.3	0.076	8.1	0.072	8.4	0.064	8.2
C _{18:3}	0.254	62.7	0.708	67.1	0.650	69.0	0.597	69.7	0.541	69.3
C _{18:0}	0.007	1.8	0.019	1.8	0.018	1.9	0.015	1.7	0.015	2.0
C _{20:0}	0.004	1.0	0.010	0.9	0.010	1.1	0.008	0.9	0.008	1.1
C _{22:0}	0.004	1.0	0.007	0.6	0.007	0.7	0.007	0.9	0.007	0.9
Общее	0.406	100.0	1.054	100.0	0.943	100.0	0.857	100.0	0.781	100.0
ННЖК	0.321	79.2	0.854	81.0	0.777	82.5	0.708	82.6	0.629	80.5
НЖК	0.084	20.8	0.200	19.0	0.165	17.5	0.149	17.4	0.152	19.5
К		3.82		4.26		4.71		4.76		4.13
ИДС		2.13		2.24		2.28		2.30		2.27

* – содержание рассчитано как среднее значение из трех экспериментов, среднеквадратическое отклонение <3%.

Известно, что ненасыщенные ЖК придают клеточным мембранам текучесть, необходимую для поддержания их структурного и функционального состояния [29]. Текучесть мембраны напрямую зависит от доли ненасыщенных ЖК, так как при увеличении числа двойных связей и длины углеводородной цепи снижается температура плавления соответствующей ЖК, что приводит к увеличению пластичности липидного бислоя и, следовательно, холодостойкость растения увеличивается. Параметрами, которыми оценивают адаптивность растений к экстремальным условиям, являются коэффициент ненасыщенности (K) и индекс двойной связи ($ИДС$).

При исследовании K и $ИДС$ самые минимальные значения отмечаются в мае (3.82 и 2.13 соответственно), далее происходит увеличение коэффициентов и в августе их значения достигают максимума (4.76 и 2.30 соответственно), что связано с низким содержанием насыщенных кислот поздним летом. В сентябре значение $ИДС$ изменяется незначительно по сравнению с предыдущим месяцем и равно 2.27, а величина K снижается до 4.13, что связано с уменьшением содержания линоленовой кислоты.

Таким образом, из полученных данных следует, что мята колосовая, выращенная на Среднем Урале, обладает высоким потенциалом холодоустойчивости и адаптивности к изменениям климатических условий, обусловленным высоким содержанием ненасыщенных ЖК.

Выводы

В ходе исследования этанольных экстрактов мяты колосовой, произрастающей на Среднем Урале, установлено, что основными экстрагируемыми веществами являются терпены и жирные кислоты. Больше всего веществ содержится в экстракте листьев и лучшим способом сохранения компонентного состава мяты является высушивание. Основными составляющими терпеновой фракции идентифицированы лимонен, 1,8-цинеол, дигидрокарвон, β -бурбонен, β -кариофиллен, β -копаен, гидроксиметилфурфурол, главным составляющим фракции является (-)-карвон. При исследовании жирнокислотного состава экстрактов листьев мяты колосовой установлено, что основными насыщенными и ненасыщенными жирными кислотами являются пальмитолеиновая, пальмитиновая, линолевая, линоленовая и стеариновая кислоты, с преобладающим содержанием линоленовой кислоты. Показано, что в период май-сентябрь происходит постепенное увеличение содержания ненасыщенных кислот по сравнению с содержанием насыщенных, что позволяет лучше адаптироваться растению к изменению внешних факторов.

Список литературы

1. Шелепова О.В., Кондратьева В.В., Воронкова Т.В., Олехнович Л.С. О взаимосвязи выхода и состава эфирного масла и уровня салициловой кислоты у растений мяты на разных этапах онтогенеза // Известия РАН. Серия биологическая. 2013. №3. С. 309–314.
2. Сегуру Н.В., Рудакова И.П., Вандышев В.В., Самылина И.А. Методы контроля качества эфирных масел // Фармация. 2005. №3. С. 3–5.
3. Бугаенко Л.А. Генетические закономерности биосинтеза терпеноидов у мяты. Симферополь, 2011. 152 с.
4. Куртсеитова Э.Э. Дикорастущие мяты флоры Крыма как источник ароматических и биологически активных веществ // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Серия: Биологические науки. 2016. №2. С. 29–34.
5. Куртсеитова Э.Э. Хемотипическое разнообразие *Mentha spicata* L. // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Серия: Биологические науки. 2019. №1. С. 26–31.
6. Snoussi M., Noumi E., Trabelsi N., Flamini G., Papetti A., De Feo V. *Mentha spicata* Essential Oil: Chemical Composition, Antioxidant and Antibacterial Activities against Planktonic and Biofilm Cultures of *Vibrio* spp. Strains // Molecules. 2015. Vol. 20. N8. Pp. 14402–14424. DOI: 10.3390/molecules200814402.
7. Cirlini M., Mena P., Tassotti M., Herrlinger K.A., Nieman K.M., Dall'Asta C., Del Rio D. Phenolic and Volatile Composition of Dry Spearmint (*Mentha spicata* L.) Extract // Molecules. 2016. Vol. 21. N8. Pp. 1–15. DOI: 10.3390/molecules21081007.
8. Гребенникова О.А., Палий А.Е., Христова Ю.П. Биологически активные вещества *Mentha spicata* L. // Химия растительного сырья. 2014. №4. С. 203–208. DOI: 10.14258/jcrpm.201404386.
9. Живетьев М.А., Дударева Л.В., Краснобаев В.А., Граскова И.А., Войников В.К. Жирнокислотный состав, уровень ненасыщенности жирных кислот, активность десатураз в листьях лекарственных растений, произрастающих на берегу озера Байкал и сезонная динамика этих параметров в связи с осенним понижением температур // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология». 2010. Т. 3. №4. С. 2–9.
10. Bleiziffer R., Mesaros C., Suvar S., Poda P., Lordache A., Yudin F-D., Culea M. Comparative characterization of Basil, Mint and Sage extracts // Studia UBB chemia. 2017. Vol. 2. Pp. 373–385. DOI: 10.24193/subbchem.2017.2.30.

11. Куркин В.А., Сазонова О.В., Росихин Д.В., Рязанова Т.К. Жирнокислотный состав масла плодов расторопши пятнистой, культивируемой в Самарской области // Химия растительного сырья. 2017. №3. С. 101–105. DOI: 10.14258/jcprm.2017031727.
12. Бубенчикова В.Н., Степнова И.В. Жирнокислотный и минеральный состав травы горлюхи ястребинковой (*Picris hieracioides* L.) // Химия растительного сырья. 2018. №1. С. 113–119. DOI: 10.14258/jcprm.2018011838.
13. Souibi M., Amri I., Souissi A., Hosni K., Brahim N.B., Annabi M. Essential oil and fatty acid composition of *Melissa officinalis* L. // Progress in Nutrition. 2020. Vol. 22. N1. Pp. 253–258. DOI: 10.23751/pn.v22i1.7758.
14. Sokovic M.D., Vukojevic J., Marin P.D., Brkic D.D., Vajs V., van Griensven L.J.L.D. Chemical composition of essential oils of *Thymus* and *Mentha* species and their antifungal activities // Molecules. 2009. Vol. 14. Pp. 238–249.
15. Martins M.R., Tinoco M.T., Almeida A.S., Cruz-Morais J. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial properties of three essential oils from Portuguese flora // Pharmacognosy. 2012. Vol. 3. N1. Pp. 39–44.
16. Bensabah F., Lamiri A., Naja J. Effect of purified wastewater from the city of Settat (Morocco) on the quality of spearmint essential oil (*Mentha spicata*) // Engineering Science and Technology: An International Journal. 2013. Vol. 3. N1. Pp. 44–48.
17. Padalia R.C., Verma R.S., Chauhan A., Sundaresan V., Chanotiya C.S. Essential oil composition of sixteen elite cultivars of *Mentha* from western Himalayan region, India // Maejo International Journal of Science and Technology. 2013. Vol. 7. N1. Pp. 83–93. DOI: 10.14456/MIJST.2013.7.
18. Hua C.X., Wang G.R. and Lei Y. Evaluation of essential oil composition and DNA diversity of mint resources from China // African Journal of Biotechnology. 2011. Vol. 10. N74. Pp. 16740–16745. DOI: 10.5897/AJB11.1428.
19. Stoeva T., Piev L. Influence of some phenylurea cytokinins on spearmint essential oil composition // Bulgarian Journal of Plant Physiology. 1997. Vol. 23. N3–4. Pp. 66–71.
20. Ровенская Ю.В., Геворкян А.К. Кишечные колики у грудных детей: подходы к комплексной терапии // Вопросы современной педиатрии. 2013. Т. 12. №1. С. 186–189.
21. Nguemni C., Delplanque B., Rovere C., Simon-Rousseau N., Gandin C., Agnani G., Nahon J.L., Heurteaux C., Blondeau N. Dietary supplementation of alpha-linolenic acid in an enriched rapeseed oil diet protects from stroke // Pharmacological Research. 2010. Vol. 61. N3. Pp. 226–233. DOI: 10.1016/j.phrs.2009.12.007.
22. Johnson M., Bradford C. Omega-3, Omega-6 and Omega-9 Fatty Acids: Implications for Cardiovascular and Other Diseases // Journal of Glycomics Lipidomics. 2014. Vol. 4. N4. Pp. 1–8. DOI: 10.4172/2153-0637.1000123.
23. Григорьева В.Н., Лысицин А.Н. Факторы, определяющие биологическую ценность растительных жиров // Масложировая промышленность. 2002. №4. С. 14–17.
24. Лось Д.А. Молекулярные механизмы холодоустойчивости растений // Вестник РАН. 2005. Т. 75. №4. С. 338–345.
25. Романова И.М., Живетьев М.А., Дударева Л.В., Граскова И.А. Динамика жирнокислотного состава и активности ацил-липидных десатураз в хвое *Pinus sylvestris* L., произрастающей в Иркутской области // Химия растительного сырья. 2016. №2. С. 61–66. DOI: 10.14258/jcprm.201602732.
26. Новицкая Г.В., Суворова Т.А., Трунова Т.И. Липидный состав листьев в связи холодоустойчивостью растений томатов // Физиология растений. 2000. Т. 47. №6. С. 829–835.
27. Журавская А.Н. Адаптация к экстремальным условиям среды и радиочувствительность растений Якутии. Новосибирск, 2011. 104 с.
28. Солдатенков А.Т., Колядина Н.М., Ле Туан Ань, Левов А.Н., Авраменко Г.В. Основы органической химии душистых веществ для прикладной эстетики и ароматерапии: учебное пособие для вузов. М., 2006. 240 с.
29. Arisawa K., Mitsudome H., Yoshida K., Sugimoto S., Ishikawa T., Fujiwara Y., Ichi I. Saturated fatty acid in the phospholipid monolayer contributes to the formation of large lipid droplets // Biochemical and Biophysical Research Communications. 2016. Vol. 480. N4. Pp. 641–647. DOI: 10.1016/j.bbrc.2016.10.109.

Поступила в редакцию 23 ноября 2021 г.

После переработки 15 декабря 2021 г.

Принята к публикации 12 февраля 2022 г.

Для цитирования: Первова М.Г., Мисриханова А.С., Саморукова М.А., Салоутин В.И. Газохроматографическое исследование терпенового и жирнокислотного состава мяты колосовой, произрастающей на Среднем Урале // Химия растительного сырья. 2022. №2. С. 173–181. DOI: 10.14258/jcprm.20220210600.

*Pervova M.G.**, *Misrikhanova A.S.*, *Samorukova M.A.*, *Saloutin V.I.* THE GAS CHROMATOGRAPHIC STUDY OF TERPENE AND FATTY ACID COMPOSITION OF *MENTHA SPICATA* GROWING IN THE MIDDLE URALS

I.Ya. Postovsky Institute of Organic Synthesis Ural Branch of RAS, ul. S. Kovalevskoy, 22, Yekaterinburg, 620108 (Russia), e-mail: pervova@ios,uran.ru

The terpene and fatty acid composition in ethanol extracts of spearmint (lat. *Mentha spicata*) growing in the Middle Urals was studied by gas chromatography and gas chromatography-mass spectrometry. The qualitative and quantitative composition of the terpene fraction was studied depending on the part of the plant (leaves, stems, roots) and the storage method of the plant (freezing, drying). 30 components were found in the extracts, 24 were identified. It was found that the greatest amount of terpenes is contained in the extracts of spearmint leaves, the least in the root extracts, and the best way to preserve terpenes in the plant is drying. Limonene, 1,8-cineole, dihydrocarvone, β -bourbonene, β -caryophyllene, β -copaen, hydroxymethylfurfural were identified as the main components of the terpene fraction; (-)-carvone is found in the greatest amount. Changes in the composition and content of fatty acids in spearmint were investigated depending on the month of harvest (May-September). It was found that the main fatty acids found in spearmint are palmitoleic (16:1), palmitic (16:0), linoleic (18:2), linolenic (18:3), stearic (18:0), arachidic (20:0), behenic (22:0) acids with a predominant content of linolenic acid. It is shown that in the period May-September the relative content of unsaturated acids increases and exceeds the content of saturated acids by 4.2–4.7 times.

Keywords: *Mentha spicata*, terpenes, carvone, fatty acids, extraction, derivatization, gas chromatography.

Referenses

1. Shelepova O.V., Kondrat'yeva V.V., Voronkova T.V., Olekhovich L.S. *Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya*, 2013, no. 3, pp. 309–314. (in Russ.).
2. Seguru N.V., Rudakova I.P., Vandyshev V.V., Samylina I.A. *Farmatsiya*, 2005, no. 3, pp. 3–5. (in Russ.).
3. Bugayenko L.A. *Geneticheskiye zakonomernosti biosinteza terpenoidov u myaty*. [Genetic patterns of terpenoid biosynthesis in mint]. Simferopol', 2011, 152 p. (in Russ.).
4. Kurtseitova E.E. *Uchenyye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta. Seriya: Biologicheskkiye nauki*, 2016, no. 2, pp. 29–34. (in Russ.).
5. Kurtseitova E.E. *Uchenyye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta. Seriya: Biologicheskkiye nauki*, 2019, no. 1, pp. 26–31. (in Russ.).
6. Snoussi M., Noumi E., Trabelsi N., Flamini G., Papetti A., De Feo V. *Molecules*, 2015, vol. 20, no. 8, pp. 14402–14424. DOI: 10.3390/molecules200814402.
7. Cirlini M., Mena P., Tassotti M., Herrlinger K.A., Nieman K.M., Dall'Asta C., Del Rio D. *Molecules*, 2016, vol. 21, no. 8, pp. 1–15. DOI: 10.3390/molecules21081007.
8. Grebennikova O.A., Paliy A.Ye., Khristova Yu.P. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2014, no. 4, pp. 203–208. DOI: 10.14258/jcprm.201404386. (in Russ.).
9. Zhivet'yev M.A., Dudareva L.V., Krasnobayev V.A., Graskova I.A., Voynikov V.K. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Biologiya. Ekologiya»*, 2010, vol. 3, no. 4, pp. 2–9. (in Russ.).
10. Bleiziffer R., Mesaros C., Suvar S., Poda P., Lordache A., Yudin F.-D., Culea M. *Studia UBB chemia*, 2017, vol. 2, pp. 373–385. DOI: 10.24193/subchem.2017.2.30.
11. Kurkin V.A., Sazonova O.V., Rosikhin D.V., Ryazanova T.K. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2017, no. 3, pp. 101–105. DOI: 10.14258/jcprm.2017031727. (in Russ.).
12. Bubenchikova V.N., Stepnova I.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2018, no. 1, pp. 113–119. DOI: 10.14258/jcprm.2018011838. (in Russ.).
13. Souibi M., Amri I., Souissi A., Hosni K., Brahim N.B., Annabi M. *Progress in Nutrition*, 2020, vol. 22, no. 1, pp. 253–258. DOI: 10.23751/pn.v22i1.7758.
14. Sokovic M.D., Vukojevic J., Marin P.D., Brkic D.D., Vajs V., van Griensven L.J.L.D. *Molecules*, 2009, vol. 14, pp. 238–249.
15. Martins M.R., Tinoco M.T., Almeida A.S., Cruz-Morais J. *Pharmacognosy*, 2012, vol. 3, no. 1, pp. 39–44.
16. Bensabah F., Lamiri A., Naja J. *Engineering Science and Technology: An International Journal*, 2013, vol. 3, no. 1, pp. 44–48.
17. Padalia R.C., Verma R.S., Chauhan A., Sundaresan V., Chanotiya C.S. *Maejo International Journal of Science and Technology*, 2013, vol. 7, no. 1, pp. 83–93. DOI: 10.14456/MIJST.2013.7.
18. Hua C.X., Wang G.R. and Lei Y. *African Journal of Biotechnology*, 2011, vol. 10, no. 74, pp. 16740–16745. DOI: 10.5897/AJB11.1428.
19. Stoeva T., Iliev L. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 1997, vol. 23, no. 3–4, pp. 66–71.
20. Rovenskaya Yu.V., Gevorkyan A.K. *Voprosy sovremennoy pediatrii*, 2013, vol. 12, no. 1, pp. 186–189. (in Russ.).
21. Nguemeni C., Delplanque B., Rovere C., Simon-Rousseau N., Gandin C., Agnani G., Nahon J.L., Heurteaux C., Blondeau N. *Pharmacological Research*, 2010, vol. 61, no. 3, pp. 226–233. DOI: 10.1016/j.phrs.2009.12.007.
22. Johnson M., Bradford C. *Journal of Glycomics Lipidomics*, 2014, vol. 4, no. 4, pp. 1–8. DOI: 10.4172/2153-0637.1000123.
23. Grigor'yeva V.N., Lysitsin A.N. *Maslozhirovaya promyshlennost'*, 2002, no. 4, pp. 14–17. (in Russ.).
24. Los' D.A. *Vestnik RAN*, 2005, vol. 75, no. 4, pp. 338–345. (in Russ.).

* Corresponding author.

25. Romanova I.M., Zhivet'yev M.A., Dudareva L.V., Graskova I.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2016, no. 2, pp. 61–66. DOI: 10.14258/jcprm.201602732. (in Russ.).
26. Novitskaya G.V., Suvorova T.A., Trunova T.I. *Fiziologiya rasteniy*, 2000, vol. 47, no. 6, pp. 829–835. (in Russ.).
27. Zhuravskaya A.N. *Adaptatsiya k ekstremal'nyim usloviyam sredy i radiochuvstvitel'nost' rasteniy Yakutii*. [Adaptation to extreme environmental conditions and radiosensitivity of plants in Yakutia]. Novosibirsk, 2011, 104 p. (in Russ.).
28. Soldatenkov A.T., Kolyadina N.M., Le Tuan An', Levov A.N., Avramenko G.V. *Osnovy organicheskoy khimii dushistykh veshchestv dlya prikladnoy estetiki i aromaterapii: uchebnoye posobiye dlya vuzov*. [Fundamentals of organic chemistry of fragrant substances for applied aesthetics and aromatherapy: a textbook for universities]. Moscow, 2006, 240 p. (in Russ.).
29. Arisawa K., Mitsudome H., Yoshida K., Sugimoto S., Ishikawa T., Fujiwara Y., Ichi I. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2016, vol. 480, no. 4, pp. 641–647. DOI: 10.1016/j.bbrc.2016.10.109.

Received November 23, 2021

Revised December 15, 2021

Accepted February 12, 2022

For citing: Pervova M.G., Misrikhanova A.S., Samorukova M.A., Saloutin V.I. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2022, no. 2, pp. 173–181. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20220210600.

