

ЗАВИСИМОСТЬ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО CO₂-ЭКСТРАКТА МОРКОВИ ДИКОЙ ОТ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ

А.М. Алиев — Институт физики ОП ДФИЦ РАН, Махачкала, Россия; Горный ботанический сад ОП ДФИЦ РАН, г. Махачкала, Россия. ORCID: 0000-0002-2181-1801. Эл. почта: aslan4848@yahoo.com (для переписки)

Г.К. Раджабов — Горный ботанический сад ОП ДФИЦ РАН, г. Махачкала, Россия. ORCID: 0000-0001-9263-5684. Эл. почта: chemfarm@mail.ru

Ф.А. Вагабова — Горный ботанический сад ОП ДФИЦ РАН, г. Махачкала, Россия. ORCID: 0000-0003-3315-3874. Эл. почта: fazina@mail.ru

Ф.И. Исламова — Горный ботанический сад ОП ДФИЦ РАН, г. Махачкала, Россия. ORCID: 0000-0003-4804-3168. Эл. почта: fatimaisl@mail.ru

С.В. Горяинов — ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва, Россия. ORCID: 0000-0002-7625-9110. Эл. почта: goryainovs@list.ru

Ф. Хажжар — ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва, Россия. ORCID: 0000-0001-8819-9349. Эл. почта: phfadyhajj@gmail.com

С. Хаммами — Университет Монастира, г. Монастир, Тунис. ORCID: 0000-0003-0144-6832. Эл. почта: h_saoussen@yahoo.fr

© 2023 г. Поступила в редакцию 28.08.2023 г. Прошла рецензирование 14.09.2023 г.
Принята к публикации 14.09.2023 г.

Для изучения влияния экологических условий произрастания на химический состав растений проведена сверхкритическая углекислотная экстракция образцов моркови дикой *Daucus carota* subsp. *maritimus*, широко распространенной во всех регионах мира с умеренным климатом. С использованием методов газо-жидкостной хроматографии и масс-спектрального анализа в полученных экстрактах были определены летучие органические соединения, жирные кислоты и фитостерины находящиеся в изучаемых объектах. Показана зависимость химического состава моркови дикой от условий ее произрастания (температура, осадки, солнечная радиация и т. п.).
К л ю ч е в ы е с л о в а: сверхкритическая экстракция, морковь дикая *Daucus carota* subsp. *maritimus*, газо-хромато-масс-спектрометрия, экология, стерины, жирные кислоты.

ВВЕДЕНИЕ

Глобальное изменение климата оказывает существенное влияние на все происходящие на земле процессы, в том числе и на растения, вызывая множество фитохимических и физиологических изменений в зависимости от вида, затрагивая как морфологию, так и интенсивность и характер обменных процессов. Факторами, существенно влияющими на биосинтез вторичных метаболитов, являются температура, осадки, влажность, засуха, солнечная радиация и т. д. [1–6]. Солнечная радиация или тепловой стресс могут способствовать специфическому или нестандартному их формированию за счет реакции защитных механизмов растения [7].

Несмотря на существенное влияние климата на биосинтез вторичных метаболитов исследований в этом направлении проведено крайне мало [8]. Большая

доля работ выполнена при изучении эфирных масел, однако метод гидродистилляции эфирных масел дает возможность экстрагировать из растения только небольшую часть вторичных метаболитов и не позволяет характеризовать растение в полной мере. В последние десятилетия для изучения растений начали активно использовать извлечение физиологически активных соединений из растительного сырья методом сверхкритической углекислотной (СК-СО₂) экстракции. Эта технология по сравнению с традиционными способами (гидродистилляция, экстракция в аппарате Сокслета) позволяет за одну экспериментальную процедуру извлечь из растения эфиромасличную, жирнокислотную и стериную фракции при низких температурах (31–60 °С), что позволяет предотвратить термическую деструкцию и окисление веществ при их получении [9]. Как следует из предыдущих исследований, выход экстрактивных веществ методом сверхкритической экстракции более чем 10 раз выше, чем выход эфирного масла методом гидродистилляции, что дает дополнительные возможности для исследований растений [10].

В качестве объекта исследований выбрана широко распространенная во всех регионах мира с умеренным климатом морковь дикая (*Daucus carota* subsp. *maritimus*). Интерес к растениям семейства *Apiaceae* вызван их применением в качестве овощей, специй или лекарств из-за богатого химического состава [11]. Морковь считается отличным источником провитамина А, каротиноидов, других витаминов, биотина и минералов, из-за ее антилипемических, гипотензивных и мочегонных свойств [12, 13]. Дикая морковь также используется в народной медицине при нефритических коликах из-за ее ветрогонных, апритивных и эмменагогических свойств. Кроме того, это растение применяется в качестве средства для лечения кожных инфекций и имеет репутацию противодиарейного средства [14]. Она также обладает антибактериальной активностью против грамположительных (+) и грамотрицательных (–) бактерий [10].

В литературе встречаются данные по изучению жирнокислотного состава, триацилглицеринов и общих полярных липидов в соматических эмбрионах моркови дикой [15, 16]. Также изучено накопление липидов на разных стадиях развития дикой моркови [17]. Однако в литературе нет данных по влиянию экологических условий роста дикой моркови на ее химический состав.

Цель работы — изучение зависимости накопления летучих органических веществ, жирных кислот и стеринов в надземной части дикой моркови от экологических условий произрастания.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Растительный материал

Для исследования были собраны образцы надземной части дикой моркови во время цветения и плодоношения в местах с разными климатическими условиями. Первый образец — в пригороде г. Монастир (Тунис), второй — был собран в пригороде г. Дербента (Россия) и третий — на высоте 864 м над уровнем моря в окрестности села Ушниг (Россия). В табл. 1 приведены некоторые особенности мест сбора растений.

Таксономическая идентичность дикой моркови была определена преподавателем-исследователем ботаники фармацевтического факультета Университета

Таблица 1

Характеристики мест сбора образцов моркови дикой *D. carota*

| Населенный пункт | Среднесуточная температура, °С | Среднемесячные осадки, мм | Среднесуточная коротковолновая солнечная энергия на м ² , кВт/ч | Высота над уровнем моря, м |
|------------------|--------------------------------|---------------------------|--|----------------------------|
| Монастир (Тунис) | 19,9 | 257,1 | 5,25 | 4 |
| Дербент (Россия) | 13,7 | 207,3 | 4,29 | -12 |
| Ушниг (Россия) | 9,5 | 190,7 | 4,47 | 864 |

г. Монастир (Тунис) Рида Эль Мокни. Образец находится в гербарии LENUD и имеет регистрационный номер 13. Все собранные в дикой природе растения, высушенные в тени при комнатной температуре, перед исследованиями измельчали до размеров 0,3—0,5 мм, их уровень влажности был равен 9,7 мас. %. В качестве растворителя для сверхкритической экстракции использовали CO₂ чистотой 99,9 %.

Сверхкритическая флюидная экстракция

Экстракцию СК-CO₂ проводили на установке, подробно описанной в работе [18]. В экстрактор загружали измельченное сырье, куда подавали CO₂ в сверхкритическом состоянии (30 МПа, 50 °С) и настаивали в течение 10 мин. Затем через экстрактор 2 ч пропускали диоксид углерода со скоростью 1,5 (±0,05) кг/ч. Далее СК-CO₂ с растворенной липофильной фракцией из экстрактора сливали в сепаратор, где поддерживали давление 1,5 МПа, при этом температура за счет эффекта Джоуля—Томсона снижалась примерно до -20 °С и осаждались все (включая легколетучие) вещества. CO₂ после перехода в газообразное состояние сбрасывали из сепаратора. Полученный экстракт взвешивали и определяли его выход (мас. %).

Определение компонентного состава летучих органических веществ

Компонентный состав летучих органических веществ определяли методом хромато-масс-спектрометрии на приборе Shimadzu GCMS-QP2010plus на колонке Supelco SLBTM-5ms (длина 30 м, внутренний диаметр 0,25 мм, толщина фазы 0,25 мкм) в режиме «split». Скорость газа-носителя (гелий, чистотой 99,9999 %) составляла 1 мл/мин. Температуру колонки поднимали от 60 (выдержка 4 мин) до 150 °С со скоростью 10 °С/мин, далее до 280 °С со скоростью 5 °С/мин и выдерживали 10 мин. Температура инжектора составляла 280 °С, а интерфейса и детектора 250 °С. Ионизация электронным ударом с энергией электронов 70 эВ. Ток эмиссии катода 150 мкА, диапазон регистрируемых ионов с *m/z* 45—500. Идентификацию компонентов проводили с использованием библиотек масс-спектров NIST08 и FFNSC. Экстракт перед анализом растворяли в *n*-гексане в 500 раз. 1 мкл пробы вводили в прибор с делением потока 1:40. Образцы анализировали 3 раза, за результат принимали средние значения.

Метод исследования жирнокислотного состава экстрактов

Исследование жирнокислотного состава экстрактов проводили методом газо-жидкостной хроматографии с пламенно-ионизационным детектором

(ГХ-ПИД). Режим работы хроматографа Agilent 7890A: капиллярная колонка VF-23MS (длина 30 м, внутренний диаметр 0,32 мм, толщина фазы 0,25 мкм), газ-носитель — гелий (1,5 мл/мин), температура инжектора 280 °С, начальная температура колонки 50 °С, затем после 2 мин при этой температуре нагрев со скоростью 10 °С/мин до 180 °С, выдержка 5 мин, затем до 240 °С со скоростью 5 °С/мин. Общее время анализа — 32 мин. Ввод пробы с делителем потока (1 : 10). Идентификацию жирных кислот проводили сравнением времен удерживания изучаемых образцов со стандартной смесью 37 метиловых эфиров жирных кислот (Supelco® 37 component FAME mix).

Метиловые эфиры жирных кислот получали переэтерификацией глицеридов. К навеске образца (~10,0 мг) добавляли 1,0 мл метанола и 100,0 мкл ацетилхлорида и нагревали 60 мин при 80 °С. После охлаждения в реакционную смесь вводили 3,0 мл воды (бидистиллят), затем 1,0 мл *n*-гексана и интенсивно перемешивали. Объем пробы для ГХ-анализа составлял 1,0 мкл (слой *n*-гексана).

Метод исследования неомыляемой фракции экстрактов

Исследование состава неомыляемой фракции СК-СО₂ экстрактов проводили методом газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС). Режим работы хроматографа Agilent 6890N: капиллярная колонка VF-5MS (длина 30 м, внутренний диаметр 0,25 мм, толщина фазы 0,25 мкм), газ-носитель — гелий (1,5 мл/мин), температура инжектора 280 °С, начальная температура колонки 60 °С, затем выдержка 3 мин, далее нагрев (10 °С/мин) до 290 °С, выдержка 20 мин. Общее время анализа — 46 мин. Ввод пробы с делителем потока (1 : 10). Образцы анализировали 3 раза, за результат принимали средние значения. Режим регистрации масс-спектров на магнитно-секторном масс-спектрометре JMS GCmate II (JEOL, Япония): энергия ионизации 70 эВ, температура источника 270 °С, сканирование в диапазоне 40—600 Да со скоростью 2 скан/с.

Для идентификации использовали стандартные образцы индивидуальных соединений и масс-спектральную базу данных NIST'14; в случае отсутствия в ней масс-спектров обнаруженных компонентов установление структуры проводили на основе характеристичных процессов фрагментации и данных о хроматографических свойствах изучаемых соединений. Для расчета индексов удерживания проводили анализ смеси нормальных углеводородов (C₆—C₃₅) в выбранных хроматографических условиях. При определении количественного содержания стеринов и тритерпеновых спиртов в пересчете на внутренний стандарт (холестанол) их коэффициенты ионизации приравнивали.

Для выделения неомыляемой фракции к 100,0 мг образца добавляли 1,0 мл 2N метанольного раствора КОН и 10,0 мкл раствора внутреннего стандарта (холестанол, 10,0 мг/мл); смесь выдерживали 1 ч при 80 °С и после охлаждения реакционной массы вводили 3 мл воды (бидистиллят). Неомыляемую фракцию экстрагировали тремя порциями по 1,0 мл диэтилового эфира, экстракты объединяли, сушили Na₂SO₄ (прокал.), отдували током азота растворитель и силилировали перед проведением анализа добавлением к сухому остатку 300,0 мкл смеси BSTFA: ацетонитрил (1 : 2) и выдерживанием 30 мин при 80 °С. Объем пробы составлял 1,0 мкл раствора.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные экстракты были грязно-желтого цвета, имели запах моркови, по консистенции вязкие (мазеподобные); при этом экстракт из монастырского образца был более текучим. Все экстракты содержали незначительное количество воды, которую удаляли и при определении выхода не учитывали. Максимальный выход липофильных веществ для СК-CO₂-экстракции был в монастырском образце (4,2 %), в других образцах выход был меньше. Отсюда следует, что содержание липофильной фракции существенно зависит от условий произрастания (рис. 1).

Анализ компонентного состава летучих органических веществ полученных экстрактов показал в образцах из Монастиря и Ушнига по 36, а из Дербента — 30 веществ. Однако по соотношению содержания веществ экстракты существенно отличаются в зависимости от условий произрастания (табл. 2).

Геранилацетат, являющийся одним из основных компонентов монастырского образца (18,11 %), в дербентском и ушнигском образцах содержался всего 0,25 и 0,93 %, соответственно. Другая зависимость наблюдается в образовании α -пинена, содержание которого в дербентском образце составляет 11,57 %, в ушнигском — 4,72 %, а в монастырском всего 2,79 %.

Сабинена больше всего содержится в ушнигском образце, тогда как в дербентском и монастырском образцах его выход равен 0,94 и 2,49 % соответственно. Также можно обратить внимание на большое количество не идентифицированных соединений в образцах. На наш взгляд это преимущественно жирные кислоты и фитостерины, которые не разделяются в колонке марки 5MS в нативном виде. По этой причине для определения жирнокислотного состава экстракты были дополнительно изучены после предварительного метилирования. Результаты изучения жирнокислотного состава представлены в табл. 3.

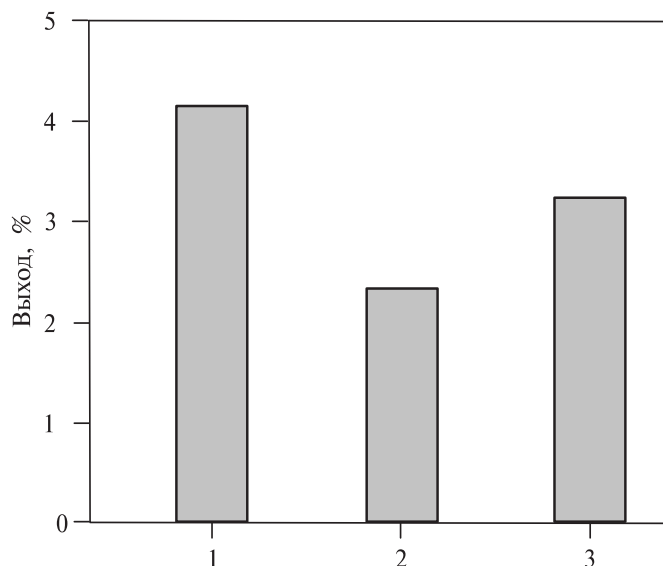


Рис. 1. Выход экстрактивных веществ из надземной части дикой моркови методом СК-CO₂-экстракции при давлении 30 МПа и 50 °С для разных мест произрастания:
1 — Монастир (Тунис); 2 — Дербент (Россия); 3 — Ушниг (Россия)

Таблица 2

Компонентный состав СК-СО₂-экстрактов моркови дикой *Daucus carota* subsp. *maritimus* в зависимости от мест и условий произрастания

| Компоненты | Монастир | Дербент | Ушниг |
|---------------------|------------------------------|------------|------------|
| | Содержание (площадь пика, %) | | |
| α-Туйен | — | — | 0,53±0,01 |
| α-Пинен | 2,79±0,02 | 11,57±0,06 | 4,72±0,03 |
| Камфен | 0,43±0,01 | 0,69±0,02 | 0,27±0,01 |
| Сабинен | 2,49±0,02 | 0,94±0,02 | 11,12±0,05 |
| β-Пинен | 1,49±0,02 | 0,52±0,01 | 0,49±0,01 |
| Мирцен | 0,69±0,01 | 0,66±0,01 | 0,70±0,01 |
| П-Цимен | — | — | 0,08±0,01 |
| Лимонен | 0,45±0,01 | 2,78±0,03 | 0,78±0,01 |
| Е-β-Оцимен | — | — | 0,05±0,01 |
| Ерпинен | — | — | 0,09±0,01 |
| цис-β-Ерпинеол | — | — | 0,17±0,01 |
| транс-Сабиненгидрат | — | — | 0,15±0,01 |
| α-Камфоленальдегид | — | 0,18±0,01 | — |
| транс-Пинокарвеол | 0,23±0,01 | 0,27±0,01 | — |
| транс-Вербенол | 0,49±0,02 | 0,88±0,02 | 0,20±0,01 |
| Пинокарвон | 0,15±0,01 | 0,11±0,01 | — |
| Терпинен-4-ол | — | — | 0,14±0,01 |
| Миртенал | 0,29±0,01 | 0,20±0,01 | — |
| Вербенон | 0,20±0,01 | 0,27±0,01 | — |
| транс-Карвеол | — | 0,16±0,01 | — |
| Гераниол | 0,46±0,02 | — | — |
| Борнилацетат | 0,11±0,01 | — | 0,06±0,01 |
| α-Терпиналацетат | 0,07±0,01 | — | 0,08±0,01 |
| Нерилацетат | 0,11±0,01 | — | — |
| α-Лонгипинен | 1,55±0,02 | — | — |
| Геранилацетат | 18,11±0,09 | 0,25±0,01 | 0,93±0,02 |
| α-Копаен | — | 0,09±0,01 | 0,13±0,01 |
| β-Элемен | 0,16±0,01 | 0,12±0,01 | 0,25±0,01 |

*Зависимость компонентного состава
сверхкритического CO₂-экстракта моркови дикой от условий произрастания*

Окончание таблицы 2

| Компоненты | Монастир | Дербент | Ушниг |
|--|------------------------------|------------|------------|
| | Содержание (площадь пика, %) | | |
| Е-Кариофиллен | 1,75±0,02 | 0,26±0,01 | 0,65±0,01 |
| <i>цис</i> -α-Бергамотена | — | 0,38±0,01 | 5,18±0,04 |
| γ-Элемен | 0,77±0,02 | — | — |
| Сесквисабинен | 0,20±0,01 | — | 0,14±0,01 |
| Е-β-Фарнезен | 0,20±0,01 | 0,28±0,01 | 0,84±0,02 |
| β-Фарнезен | 0,10±0,01 | 0,14±0,01 | 0,46±0,01 |
| <i>транс</i> -β-Бергамотен | — | 0,09±0,01 | 0,39±0,01 |
| α-Гумулен | 0,47±0,02 | — | 0,09±0,01 |
| β-Акоррадиен | — | — | 0,08±0,01 |
| Гермокрен Д | — | 0,16±0,01 | 0,45±0,01 |
| Метилизоэвгенол | 2,23±0,03 | — | — |
| α-Бульнесен | 0,93±0,02 | — | — |
| β-Бисаболен | 13,87±0,07 | 0,14±0,01 | 0,83±0,02 |
| Элемицин | 6,14±0,04 | — | 0,19±0,01 |
| Кариофиллен оксид | 0,85±0,02 | — | 0,29±0,01 |
| <i>цис</i> -Туйопсен | 0,27±0,01 | — | — |
| β-Бисаболол | 1,61±0,02 | — | — |
| Азароне | 3,25±0,03 | — | — |
| Юниперкамфор | 3,75±0,03 | — | — |
| Фитон | — | 0,09±0,01 | — |
| <i>n</i> -Ксадекановая кислота | 1,22±0,02 | 7,45±0,04 | 1,97±0,03 |
| Фитол | — | 2,29±0,02 | 0,82±0,02 |
| 9,12-Октадекадиеновая кислота (<i>Z,Z</i>) | 0,66±0,01 | 4,78±0,03 | 1,47±0,02 |
| Метиллиноленат | — | 4,74±0,03 | 1,75±0,03 |
| Октадекановая кислота | — | 0,34±0,01 | — |
| <i>n</i> -Триаcontан | 0,57±0,01 | 1,13±0,02 | 0,80±0,02 |
| Идентифицировано, % | 69,11±0,39 | 49,63±0,25 | 49,76±0,3 |
| Неидентифицировано, % | 30,89±0,17 | 50,37±0,25 | 50,24±0,31 |

Таблица 3

Жирнокислотный состав СК-СО₂-экстрактов моркови дикой *Daucus carota* subsp. *maritimus*, произрастающей в разных экологических условиях

| Жирная кислота | Монастир | Дербент | Ушниг |
|--------------------------|------------------------------|------------|------------|
| | Содержание (площадь пика, %) | | |
| Капроновая кислота | 0,24±0,01 | 0,19±0,01 | 0,21±0,01 |
| Каприловая кислота | 0,02±0,01 | 0,07±0,01 | 0,09±0,01 |
| Пеларгоновая кислота | 0,14±0,01 | 0,06±0,01 | 0,03±0,01 |
| Каприновая кислота | 0,04±0,01 | 6,10±0,04 | 7,04±0,04 |
| Лауриновая кислота | 2,44±0,02 | 0,21±0,01 | 0,54±0,01 |
| Миристиновая кислота | 2,78±0,02 | 1,27±0,01 | 1,60±0,01 |
| Пентадеценовая кислота | 1,52±0,01 | 0,51±0,01 | 0,68±0,01 |
| Пентадециловая кислота | 0,55±0,01 | 1,43±0,01 | 0,71±0,01 |
| Пальмитолеиновая кислота | 0,90±0,01 | 1,41±0,01 | 0,89±0,01 |
| Пальмитиновая кислота | 27,5±0,17 | 26,59±0,16 | 22,99±0,14 |
| Маргариновая кислота | 1,02±0,01 | 0,85±0,01 | 0,48±0,01 |
| α-Линоленовая кислота | 27,94±0,17 | 20,08±0,12 | 21,87±0,13 |
| Стеариновая кислота | 6,54±0,04 | 5,76±0,03 | 6,65±0,04 |
| Арахидиновая кислота | 2,99±0,02 | 4,07±0,02 | 2,49±0,02 |
| Генэйкоциловая кислота | 0,89±0,01 | 0,94±0,01 | 0,89±0,01 |
| Бегеновая кислота | 4,45±0,03 | 5,66±0,03 | 7,61±0,05 |
| Трикоциловая кислота | 2,00±0,01 | 2,27±0,01 | 1,95±0,01 |
| Лигноцериновая кислота | 5,53±0,03 | 9,34±0,06 | 10,80±0,06 |
| Пентакоциловая кислота | 0,63±0,01 | 0,81±0,01 | 0,81±0,01 |
| Церотиновая кислота | 3,32±0,02 | 3,17±0,02 | 3,53±0,02 |
| Гептакоциловая кислота | 0,33±0,01 | 0,25±0,01 | 0,46±0,01 |
| Монтановая кислота | 7,28±0,04 | 7,96±0,05 | 6,87±0,04 |
| Нонакоциловая кислота | 0,95±0,01 | 1,00±0,01 | 0,81±0,01 |

Значимой разницы в жирнокислотном составе в зависимости от места произрастания растения не наблюдается (рис. 2, цв. вкладка). Однако в составе экстракта дикой моркови удалось обнаружить нонакоциловую кислоту, которая образуется в ходе метаболической реакции в растениях и о которой ранее в исследованиях надземной части дикой моркови не сообщалось. Исходя из табл. 3 можно сделать вывод, что надземная часть моркови дикой является ценным сырьем за счет содержания большого количества полезных жирных кислот. Как известно, жирные кислоты вовлечены в различные важные аспекты функционирования клеток человеческого организма.

Вкладка к статье А.М. Алиева, Г.К. Раджабова, Ф.А. Вагабовой,
С.В. Горяинова, Ф. Хажжара, С. Хаммами «Зависимость компонентного
состава сверхкритического CO₂-экстракта моркови дикой от условий
произрастания»

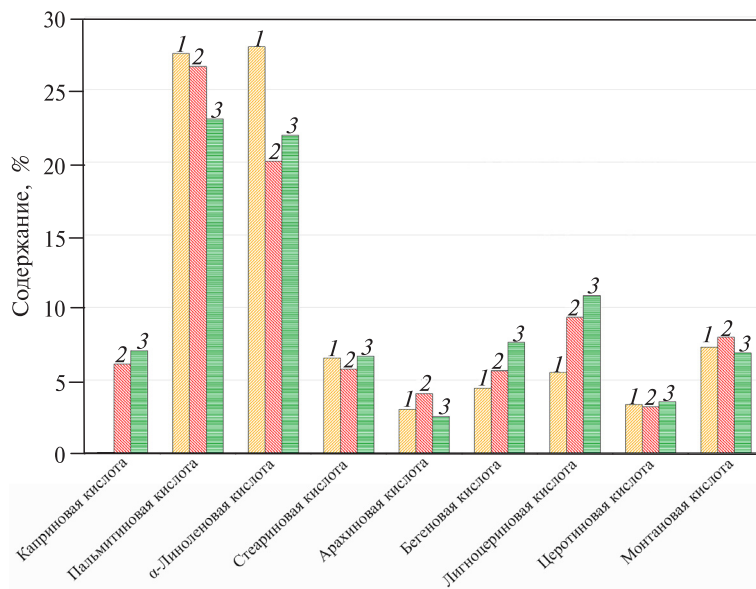


Рис. 2. Зависимость содержания основных жирных кислот в экстрактах моркови дикой *Daucus carota* subsp. *maritimus* от места произрастания растения:
1 — Монастир (Тунис); 2 — Дербент (Россия); 3 — Ушниг (Россия)

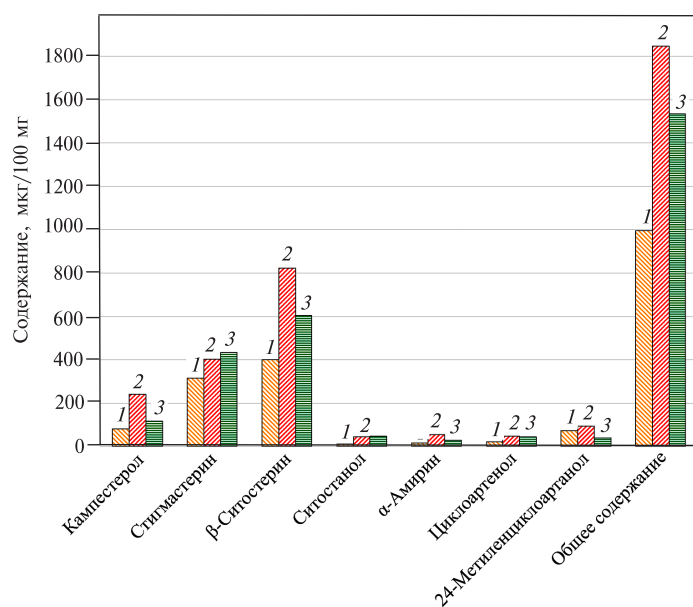


Рис. 3. Содержание основных фитостеринов в моркови дикой *Daucus carota* subsp. *maritimus* в зависимости от места произрастания:
1 — Монастир (Тунис); 2 — Дербент (Россия); 3 — Ушниг (Россия)

**Зависимость компонентного состава
сверхкритического CO₂-экстракта моркови дикой от условий произрастания**

Другой важной биологически активной группой веществ, характеризующей растение, является фитостерины. Известно, что у людей, регулярно употребляющих в пищу продукты с богатым содержанием фитостеринов, снижается риск заболевания раком желудка, а также уменьшается в три раза всасываемость холестерина за счет снижения абсорбции в кишечнике [19–21]. Фитостериновый состав, содержание α -токоферола и β -токоферол + γ -токоферол представлены в табл. 4.

Таблица 4

**Фитостериновый состав и содержание токоферолов в экстрактах дикой моркови
Daucus carota subsp. *maritimus***

| Название | Монастир | Дербент | Ушниг |
|--|------------------------|-------------|-------------|
| | Содержание, мкм/100 мг | | |
| Капроновая кислота | 0,24±0,01 | 0,19±0,01 | 0,21±0,01 |
| β -Токоферол + γ -Токоферол | 0,9±0,1 | 1,0±0,1 | 0,9±0,1 |
| α -Токоферол | 11,0±1,3 | 21,9±1,5 | 63,4±3,2 |
| Холестерин | 3,0±0,3 | 26,1±0,5 | 4,4±0,4 |
| 24-Метиленхолестанол | 3,6±0,4 | 16,9±0,8 | 13,4±1,1 |
| Кампестерин | 81,1±3,6 | 240,3±4,8 | 115,8±0,5 |
| Кампестанол | 0,7±0,2 | 0,2±0,1 | 0,3±0,1 |
| Стигмастерин | 315,3±6,3 | 402,2±5,1 | 434,9±7,5 |
| Δ^7 -Кампестерин | 3,8±0,6 | 7,8±0,1 | 10,1±0,6 |
| Клеростерин | 7,0±0,1 | 26,0±0,2 | 20,0±0,5 |
| β -Ситостерол | 401,2±13,2 | 822,1±32,1 | 603,2±14,5 |
| Ланостерин | 13,8±1,1 | 18,3±0,6 | 13,5±0,9 |
| Ситостанол | 10,2±2,1 | 44,8±0,9 | 46,9±7,0 |
| Δ^5 -Авенастерин | 5,3±0,6 | 23,9±1,4 | 36,9±1,6 |
| β -Амирин | 1,8±0,2 | 10,2±0,9 | 9,4±0,8 |
| α -Амирин | 15,3±0,8 | 54,6±3,3 | 28,5±1,0 |
| Δ^7 -Ситостерин | 5,6±0,7 | 59,1±3,4 | 48,1±2,9 |
| Циклоартенол | 22,5±1,1 | 47,6±1,5 | 44,9±2,4 |
| Фукостерин | 2,0±0,3 | 4,8±0,5 | 4,1±0,4 |
| Δ^7 -Авенастерин | 6,8±1,1 | 16,3±0,7 | 15,6±0,9 |
| Эритродиол | 4,5±0,5 | 17,9±0,2 | 4,7±0,3 |
| 24-Метиленициклоартанол | 73,9±1,8 | 93,2±2,5 | 40,7±1,7 |
| Уваол | 8,4±0,6 | 18,7±0,4 | 15,1±0,5 |
| Цитростадиенол | 28,6±0,7 | 13,3±0,2 | 29,6±0,6 |
| Сумма | 995,9±33,4 | 1848,0±53,4 | 1535,4±39,6 |

Таким образом, установлено, что в зависимости от экологических условий произрастания растение синтезирует разное количество фитостероидов (рис. 3, цв. вкладка).

Содержание α -токоферола в дикой моркови, произрастающей на высоте 864 м н.у.м. (ушницкий образец), составляет 63,4 мкм/100 мг, что в 5,7 раза больше, чем в монастырском образце и более, чем в 2,9 раз больше по сравнению с дербентским образцом. α -Токоферол играет важную роль в профилактике и лечении сердечно-сосудистых заболеваний, он также оказывает противовоспалительное действие и имеет много других полезных свойств [22—24].

Выявить связь между среднесуточной температурой и между количеством осадков местности произрастания растений с фитохимическим составом дикой моркови нам не удалось, однако наблюдается увеличение общего содержания жирорастворимых веществ в растении с повышением коротковолновой солнечной энергии в месте его произрастания, тогда как содержание фитостероидов имеет обратную зависимость. Вероятно, для установления широкой взаимосвязи химического состава от условий окружающей среды необходимо множество других метеорологических данных, что будет целью наших будущих исследований. Изучение особенностей биосинтеза вторичных метаболитов в растениях в зависимости от экологических условий их произрастания может быть использовано для интенсификации биосинтеза ценных биологически активных веществ.

ВЫВОДЫ

В зависимости от места произрастания морковь дикая имеет значительную вариабельность состава летучих органических веществ, тогда как жирнокислотный и фитостероидный составы сохраняют качественный состав, но меняется количественное содержание веществ. При этом наблюдается увеличение общего содержания жирорастворимых веществ в растении с повышением коротковолновой солнечной энергии в месте его произрастания, а содержание фитостероидов имеет обратную зависимость.

Впервые удалось обнаружить в надземной части дикой моркови нонациловую кислоту.

Выполненная работа показывает, что СК-СО₂-экстракция является эффективным методом извлечения широкого комплекса липофильной фракции из растительного сырья за одну экспериментальную процедуру, что дает дополнительные возможности для исследований.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке Программы стратегического академического лидерства РУДН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Sampaio B.L., Edrada-Ebel R.A., Da Costa F.B.* // Scientific reports. 2016. Vol. 6. No 1. P. 29265.
2. *Zhou R., Yu X., Ottosen C., Rosenqvist E., Zhao L., Wang Y., Yu W., Zhao T., Wu Z.* // BMC plant biology. 2017. Vol. 17. No 1. P. 1.
3. *Khan M.N., Mobin M., Abbas Z.K., Al Mutairi K.A.* // Acta Ecologica Sinica. 2016. Vol. 36. No 3. P. 141.

4. dos Santos Nascimento L.B., Leal-Costa M.V., Menezes E.A., Lopes V.R., Muzitano M.F., Costa S.S., Tavares E.S. // J. Photochemistry and Photobiology B: Biology. 2015. Vol. 148. P. 73.
 5. Ferreira M.I., Uliana M.R., Costa S.M., Magro M., Vianello F., Ming L.C., Lima G.P.P. // Industrial Crops and Products. 2016. Vol. 89. P. 188.
 6. Yamori W., Hikosaka K., Way D.A. // Photosynthesis research. 2014. Vol. 119. P. 101.
 7. Zobayed S.M.A., Afreen F., Kozai T. // Plant Physiology and Biochemistry. 2005. Vol. 43. P. 977.
 8. Gobbo-Neto L., Lopes N.P. // Quimica nova. 2007. Vol. 30. P. 374.
 9. Miekus N., Iqbal A., Marszalek K., Puchalski C., Swiergiel A. // Molecules. 2019. Vol. .P. 4339.
 10. Majdoub S., El Mokni R., Muradalievich A. A., Piras A., Porcedda S., Hammami S. // J. Chromatography B. 2019. Vol. 1125. P. 121713.
 11. Gonny M., Bradesi P., Casanova J. // Flavour and Fragrance J. 2004. Vol. 19. P. 424.
 12. Ng T.B., Fang E.F., Li X., Lu Q., Wong J.H., Guo H. Carrot (*Daucus carota*) Oils. In *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety*. Preedy V.R. Ed; Academic Press: Cambridge, USA. 2016. P. 303.
 13. El Amine Dib M., Djabou N., Desjobert J.M., Allali H., Tabti B., Muselli A., Costa J. // Chemistry Central J. 2010. Vol. 4. P. 1.
 14. Jabrane A., Jannet H.B., Harzallah-Skhiri F., Mastouri M., Casanova J., Mighri Z. // Chemistry & biodiversity. 2009. Vol. 6. P. 881.
 15. Warren G.S., Fowler M.W. // Planta. 1979. Vol. 144. P. 451.
 16. Dutta P.C., Appelqvist L.A. // Plant Science. 1989. Vol. 64. P. 167.
 17. Dutta P.C., Appelqvist L.A. // Plant Science. 1991. Vol. 75. P. 177.
 18. Aliev A.M., Abdulagatov I.M. // J. Molecular Liquids. 2017. Vol. 239 P. 96.
 19. De Stefani E., Boffetta P., Ronco A.L., Brennan P., Deneo-Pellegrini H., Carzogio J.C., Mendilaharsu M. // Nutrition and cancer. 2000. Vol. 37. P. 140.
 20. Moreau R.A., Nystrom L., Whitaker B.D., Winkler-Moser J.K., Baer D.J., Gebauer S.K., Hicks K.B. // Progress in Lipid Research. 2018. Vol. 70. P. 35.
 21. Ostlund Jr R.E., Racette S.B., Stenson W.F. // Am. J. of clinical nutrition. 2003. Vol. 77. P. 1385.
 22. Singh U.M.A., Jialal I. // Annals of the New York Academy of Sciences. 2004. Vol. 1031. P. 195.
 23. Hess J.L. Vitamin E, α -tocopherol. In: «Antioxidants in higher plants», 1st Edition. Eds R.G. Alscher, J.L. Hess; CRC Press. USA, 2017. 111 p.
 24. Choi Y., Lee S., Kim S., Lee J., Ha J., Oh H., Yoon Y. // Intern. J. of Food Sciences and Nutrition. 2020. Vol. 71. P. 221.
-
-

**RELATIONSHIP OF COMPONENT COMPOSITION
OF SUPERCRITICAL CO₂ EXTRACTS OF WILD CARROTS
WITH GROWING CONDITIONS**

A.M. Aliev — Institute of Physics, DFRC RAS, Makhachkala, Russia; Mountain Botanical Garden DFRC RAS, Makhachkala, Russia. ORSID: 0000-0002-2181-1801. E-mail: aslan4848@yahoo.com (*for correspondence*)

G.K. Radzhabov — Mountain Botanical Garden DFRC RAS, Makhachkala, Russia. ORSID: 0000-0001-9263-5684. E-mail: chemfarm@mail.ru

F.A. Vagabova — Mountain Botanical Garden DFRC RAS, Makhachkala, Russia. ORCID: 0000-0003-3315-3874. E-mail: fazina@mail.ru

F.I. Islamova — Mountain Botanical Garden DFRC RAS, Makhachkala, Russia. ORCID: 0000-0003-4804-3168. E-mail: fatimaisl@mail.ru

S.V. Goriainov — Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia. ORCID: 0000-0002-7625-9110. E-mail: goryainovs@list.ru

F. Hajjar — Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia. ORCID: 0000-0001-8819-9349. E-mail: phfadyhajj@gmail.com

S. Hammami — University of Monastir, Monastir, Tunisia. ORCID: 0000-0003-0144-6832. E-mail: Эл. почта: h_saoussen@yahoo.fr

А.М. Алиев, Г.К. Раджабов, Ф.А. Вагабова, С.В. Горяинов, Ф. Хажжар, С. Хаммами

To study the influence of ecological growing conditions on the chemical composition of plants, supercritical carbon dioxide extraction of wild carrot samples, widespread in all regions of the world with a temperate climate (*Daucus carota* subsp. *maritimus*). Using the methods of gas-liquid chromatography and mass spectral analysis, volatile organic compounds, fatty acids and phytosterols in the studied objects were determined in the extracts obtained. The dependence of the chemical composition of wild carrots on its growing conditions (temperature, precipitation, solar radiation, etc.) is shown.

Keywords: supercritical extraction, wild carrots, HCMS, ecology, sterols, fatty acids.

ACKNOWLEDGEMENT

The work was carried out with the support of the Strategic Academic Leadership Program of the RUDN.
