

## ЗАВИСИМОСТЬ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ЭКСТРАКТА ЧАБЕРА САДОВОГО ОТ ДАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССА СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ CO<sub>2</sub>-ЭКСТРАКЦИИ

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

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

©2022 г. Поступила в редакцию 14.04.2022 г. Прошла рецензирование 30.04.2022 г.  
Принята к публикации 30.04.2022 г.

Проведена сравнительная оценка компонентного состава экстрактов чабера садового (*Satureja hortensis* L.), полученных в сверхкритических условиях (СК-CO<sub>2</sub>) при различных термодинамических параметрах, и эфирного масла. Установлено, что выход экстракта СК-CO<sub>2</sub> при давлении 30 МПа (3,72 %) превышает более чем в 2 раза выход при 10 МПа (1,79 %) и содержание эфирного масла (1,75 %). Основные компоненты экстрактов  $\alpha$ -туйен, мирцен,  $\alpha$ -терпинен, *n*-цимен,  $\gamma$ -терпинен, тимохинон, тимол, карвакрол, (E)-кариофиллен,  $\beta$ -бисаболен, *n*-гексадекановая кислота, метиллиноленат, *n*-триаконтан. При этом вещества  $\beta$ -*цис*-терпинеол, неофитадиен, гексадекановая кислота, линолевая кислота, метиллиноленат, *n*-пентакозан, *n*-гексакозан, *n*-нонакозан и сквален содержались только в экстракте, полученном при 30 МПа и 50 °С.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** сверхкритическая углекислотная экстракция, эфирное масло, чабер садовый, хромато-масс-спектрометр, аппарат Клевенджера.

### ВВЕДЕНИЕ

Чабер садовый (*Satureja hortensis* L.) — эфиромасличное растение сем. *Lamiaceae*. Произрастает в Южной и Юго-Восточной Европе, Юго-Западной и Средней Азии, Крыму, встречается также повсеместно на Кавказе в среднем горном поясе. Культивируется во многих странах в качестве пряной приправы, применяется как профилактическое средство при различных заболеваниях [1, 2].

Основные действующие компоненты чабера — эфирные масла, алкалоиды, иридоиды, гликозиды, органические кислоты, карбоновые кислоты, флавоноиды, дубильные вещества, фитонциды, сапонины и ряд других биологически активных веществ [3—5]. Эфирное масло чабера садового обладает антиноцицептивной, противовоспалительной [6, 7], противогрибковой [8], спазмолитической и антидиарейной [9], противосудорожной [10], антиоксидантной и антипролиферантной [11—13], противомикробной активностью [6, 8, 14—23]. Летучие соединения многих видов чабера, в основном, характеризуются кислородсодержащими монотерпенами (главным образом, тимол и карвакрол) [6, 24—28].

Обычно для получения эфирных масел используют метод гидродистилляции. Несмотря на высокую биологическую активность эфирных масел, метод

гидродистилляции имеет такие недостатки, как высокая температура процесса, что может привести к разрушению термолабильных соединений; метод также не позволяет экстрагировать ценные нелетучие биологически активные вещества (жирные кислоты, стерины) и характеризуется низким выходом [29].

Существуют и другие методы экстракции биологически активных веществ из растительного сырья — экстракция в аппаратах Клевенджера и Сокслета, метод Твиссельмана и т.д. [30]. На сегодняшний день самой эффективной из всех существующих является СК-CO<sub>2</sub>-экстракция. Преимуществом, в этом случае, диоксида углерода как растворителя является возможность препаративного разделения эфирных масел вследствие их различной растворимости, практически полное удаление CO<sub>2</sub> из мисцеллы при снижении его давления до атмосферного, химическая индифферентность CO<sub>2</sub> к различным соединениям (в отсутствие катализаторов), сравнительно низкая стоимость и доступность самого растворителя, а также химическое сродство с кислородсодержащими соединениями при селективной экстракции [31, 32].

С технологической точки зрения СК-CO<sub>2</sub> является привлекательной средой для проведения химических реакций, поскольку можно регулировать свойства реакционной среды (например, свойства растворителя), манипулируя температурой и давлением. Следовательно, скорость химической реакции можно легко контролировать небольшими изменениями *T* и *P*. Таким образом, уникальные свойства СК-CO<sub>2</sub> делают его необычной и очень реакционноспособной средой, которая хорошо адаптируется ко многим технологическим применениям. За счет большой сжимаемости в сверхкритических условиях небольшие изменения давления приводят к существенным изменениям плотности CO<sub>2</sub>, что влияет на его диффузионные, вязкостные, диэлектрические и сольватные свойства. Это, в свою очередь, оказывает значительное влияние на механизмы протекания химических реакций в СК-CO<sub>2</sub>.

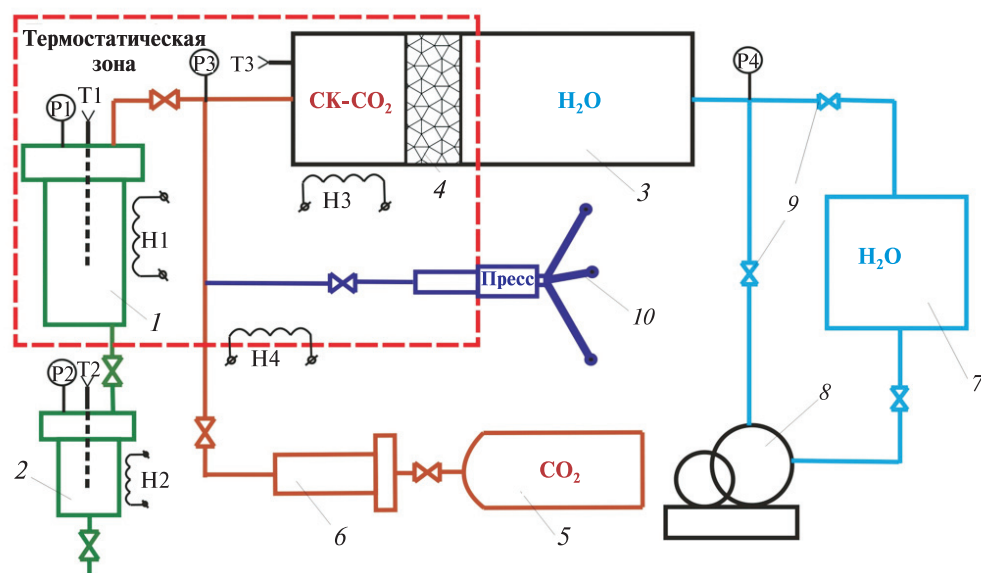
Широкое применение СК-флюиды нашли и в процессах экстракции биологически активных веществ из растительного сырья из-за возможности получать в одном технологическом процессе различные по составу и свойствам экстракты для фармации и медицины. Однако, высокая чувствительность этой среды к изменению термодинамических параметров, а равно и к свойствам получаемого продукта, требует детального изучения экстракционных процессов и свойств (химического состава) получаемых экстрактов для их практического применения. В этой связи нами поставлена задача изучить зависимость компонентного состава ценного лекарственного сырья чабера садового от давления процесса СК-экстракции и сравнить полученные результаты с составом эфирного масла, полученного в аппарате Клевенджера.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объектом исследования служила надземная часть чабера садового, собранная в республике Дагестан на высоте 937 м над уровнем моря в конце октября 2021 г.

Для получения СК-CO<sub>2</sub>-экстрактов чабера садового навеску высушенного сырья (185,02 г) измельчали до 0,5–0,7 мм и загружали в цилиндрический экстрактор *1* (рис. 1, см. цв. вкладку) диаметром 70 мм и объемом 0,993 л, куда закачивали СК-CO<sub>2</sub> из силового цилиндра *3* под давлением 10 МПа, после

**Вкладка к статье А.М. Алиева и Г.К. Раджабова «Зависимость  
компонентного состава экстракта чабера садового от давления процесса  
сверхкритической CO<sub>2</sub>-экстракции»**



**Рис. 1.** Схема установки СК-CO<sub>2</sub> экстракции:

1 — экстрактор; 2 — сепаратор; 3 — силовой цилиндр; 4 — разделительный поршень; 5 — баллон с CO<sub>2</sub>; 6 — фильтр для CO<sub>2</sub>; 7 — емкость с дистиллированной водой; 8 — насос высокого давления; 9 — вентили; P1, P2, P3, P4 — датчики давления; T1, T2, T3 — термомпары; H1, H2, H3, H4 — нагреватели; 10 — ручной пресс для впрыска соразворителя (в данной работе не использовался)

чего смесь выдерживали 10 мин. Затем растворенный во флюиде экстракт переводили в сепаратор 2, где поддерживали давление 1 МПа. Время экстракции составляло 1,5 ч. Датчиком давления P1 измеряли давление и контролировали изобарический процесс экстракции, датчиком P2 — давление в сепараторе. Датчики P3 и P4 служили для контроля давления в различных частях установки. С помощью датчиков температуры T1, T2 и T3 измеряли и контролировали постоянную температуру в сепараторе, экстракторе и силовом цилиндре. Нагреватели Н1—Н4 позволяли поддерживать постоянные изотермические условия процесса экстракции. Давление в системе (экстракторе) создавали с помощью насоса высокого давления  $\delta$  с автоматической электронной системой необходимого давления для поддержания изобарических условий экстракции. С помощью насоса в силовой поршень закачивали воду, создавая давление на сверхкритический флюид. В силовом цилиндре разделительный поршень 4 служит для отделения воды от СК-СО<sub>2</sub>. Температура экстракции (50 °С), поток СК-СО<sub>2</sub> ( $1,5 \pm 0,05$  кг/ч) и давление (10 МПа) оставались постоянными на протяжении всего процесса экстракции. После ее завершения экстракт анализировали, а из той же порции сырья проводили повторную экстракцию при давлении 30 МПа и температуре 50 °С [33, 34].

Эфирное масло получали традиционным методом гидроdistилляции с помощью аппарата Клевенджера [35].

Компонентный состав СК-СО<sub>2</sub>-экстрактов и эфирного масла определяли методом хромато-масс-спектрометрии на приборе Shimadzu GCMSQP2010 plus с колонкой Supelco SLBTM-5ms (30 м × 0,25 мм × 0,25 мкм) в режиме «split». В качестве газа-носителя использовали гелий чистотой 99,9999 % в режиме стабилизации по потоку со скоростью 1 мл/мин. Температуру колонки поднимали от 60 °С (выдержка 4 мин) до 150 °С со скоростью 10 °С/мин, далее до 250 °С — со скоростью 5 °С/мин. Температура инжектора, интерфейса и детектора равнялась 250 °С. Ионизацию осуществляли электронным ударом с энергией электронов — 70 эВ. Ток эмиссии катода — 150 мкА, диапазон регистрируемых ионов с  $m/z$  45—500. Объем пробы — 1 мкл, деление потока — 1 : 40. Процентный состав экстрактов вычисляли по площади газохроматографических пиков без использования корректирующих коэффициентов. Для идентификации веществ использовали лицензионные библиотеки масс-спектров NIST08 и FFNSC.

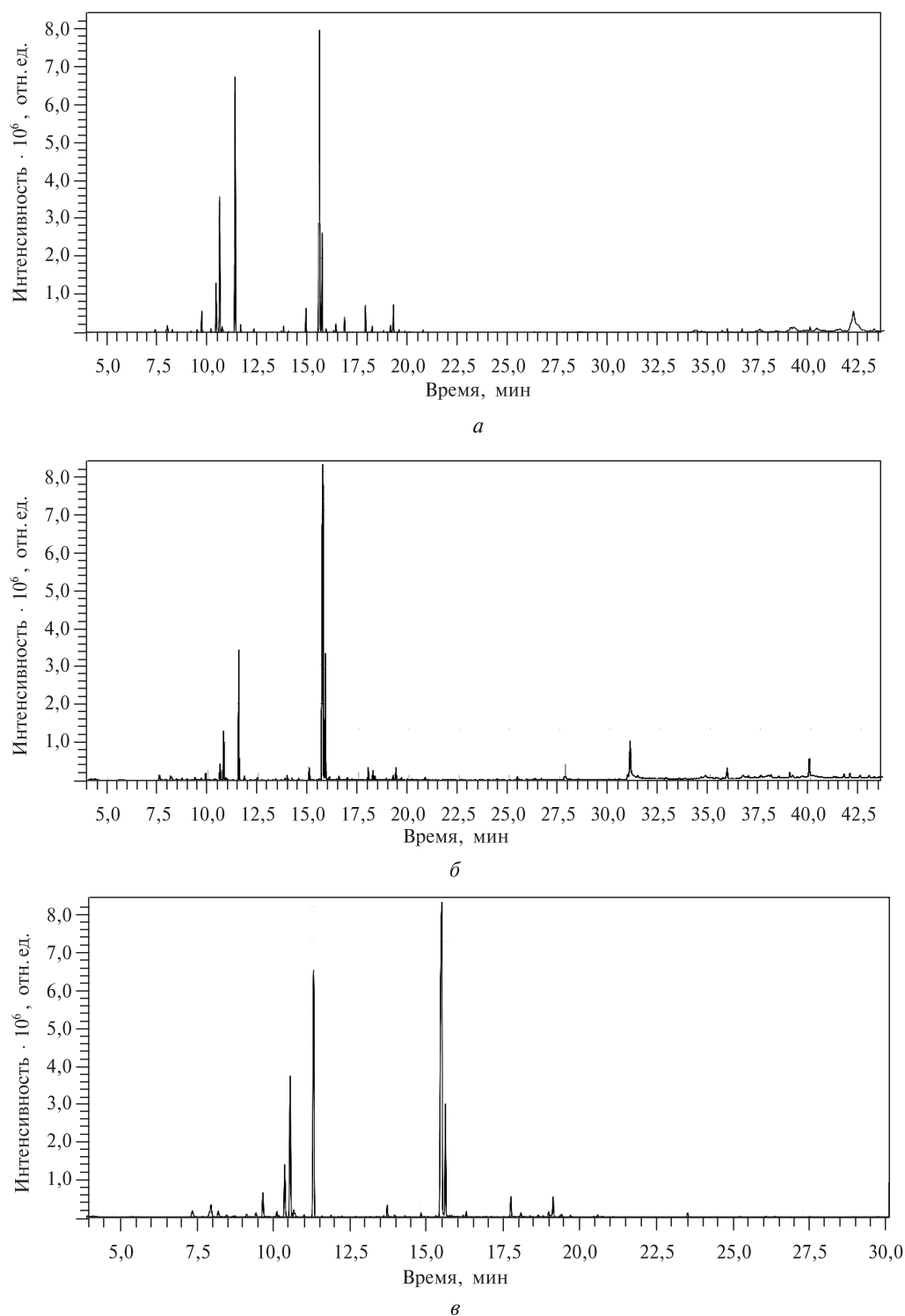
## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Выход СК-СО<sub>2</sub>-экстрактов при давлении 10 и 30 МПа составлял 1,792 и 3,718 мас. %, соответственно, эфирного масла — 1,75 мас. %.

Хроматограммы экстрактов, полученных при давлении 10 и 30 МПа, и эфирного масла чабера садового, представлены на рис. 2, откуда видно, что выход разных классов соединений зависит от условий и метода экстракции.

Повышение давления процесса экстракции способствует выходу высокомолекулярных веществ вследствие увеличения растворяющей способности диоксида углерода при более высоких давлениях. Вероятно, увеличивается и проникающая способность СО<sub>2</sub> в клеточную структуру растительного сырья, что наблюдается по наличию веществ в экстракте, полученном при давлении 30 МПа, которые уже экстрагировались при давлении 10 МПа (табл. 1).

*Зависимость компонентного состава  
экстракта чабера садового от давления процесса сверхкритической CO<sub>2</sub>-экстракции*



**Рис. 2.** Хроматограммы СК-CO<sub>2</sub>-экстрактов чабера садового, полученных при 50 °С и давлении 10 МПа (а) и 30 МПа(б), а также эфирного масла (в)

Таблица 1

Компонентный состав в СК-СО<sub>2</sub>-экстрактов и эфирного масла чабера садового

| Соединение  | Время удерживания, мин | Относительное содержание, мас. % |  |       |
|---|------------------------|----------------------------------|--|-------|
|   |                        | эфирное масло                    | экстракт в СК-СО <sub>2</sub> при 50 °С и давлениях, МПа |       |
|   |                        |                                  | 10   | 30    |
| Монотерпеноиды и их производные   |                        |                                  |  |       |
| α-Туйер   | 8,169                  | 1,24                             | 0,91   | 0,31  |
| α-Пинен   | 8,406                  | 0,59                             | 0,38   | —     |
| Мирцен  | 9,864                  | 1,99                             | 1,86   | 0,66  |
| α-Фелландрен  | 10,320                 | 0,40                             | 0,38   | —     |
| α-Терпинен  | 10,577                 | 4,25                             | 4,08   | 1,49  |
| <i>n</i> -Цимен   | 10,756                 | 11,32                            | 11,27  | 4,48  |
| Лимонен   | 10,870                 | 0,55                             | 0,52   | —     |
| β-Фелландрен  | 10,913                 | 0,21                             | 0,16   | —     |
| β-(Е)-Оцимен  | 11,209                 | 0,17                             | 0,17   | —     |
| γ-Терпинен  | 11,521                 | 21,71                            | 22,97  | 11,26 |
| β- <i>цис</i> -Терпинеол  | 11,811                 | —                                | —  | 0,34  |
| Бицикло[3.1.0]гексан-2-ол, 2-метал-5-(1-метилэтил)-, (1.α-...,2.β-...,5.α-...)- | 11,813                 | —                                | 0,67   | —     |
| Терпинолен  | 12,111                 | 0,13                             | 0,08   | —     |
| Гидрат <i>транс</i> -сабинена   | 12,460                 | 0,10                             | 0,38   | 0,22  |
| Камфора   | 13,368                 | —                                | 0,11   | 0,10  |
| Борнеол   | 13,806                 | 0,10                             | 0,18   | 0,16  |
| Терпинен-4-ол   | 13,921                 | 0,82                             | 0,47   | 0,37  |
| α-Терпинеол   | 14,166                 | 0,16                             | 0,18   | 0,11  |
| Метокси-2-(1-метилэтенил)-бензол-1  | 14,505                 | 0,11                             | —  | —     |
| Тимохинон   | 15,028                 | 0,30                             | 1,70   | 0,99  |
| Тимол   | 15,703                 | 43,18                            | 37,52  | 50,79 |
| Карвакрол   | 15,823                 | 7,38                             | 6,56   | 9,90  |
| <i>о-втор</i> -Бутилфенол   | 16,031                 | 0,11                             | 0,32   | —     |
| Бициклогермакрен  | 16,401                 | 0,10                             | 0,23   | —     |
| Сесквитерпеноиды и их производные   |                        |                                  |  |       |
| (Е)-Кариофиллен   | 17,959                 | 1,49                             | 2,03   | 1,06  |

*Зависимость компонентного состава экстракта чабера садового от давления процесса сверхкритической CO<sub>2</sub>-экстракции*

Окончание таблицы 1

| Соединение               | Время удерживания, мин | Относительное содержание, мас. % |   |      |
|--------------------------|------------------------|----------------------------------|---|------|
|                          |                        | эфирное масло                    | экстракт в СК-CO <sub>2</sub> при 50°C и давлениях, МПа |      |
|                          |                        |                                  | 10  | 30   |
| Аромадендрен             | 18,286                 | 0,30                             | 0,48  | 0,31 |
| Гермакрен D              | 19,017                 | 0,11                             | 0,14  | —    |
| Виридифлорен             | 19,192                 | 0,41                             | 0,68  | 0,43 |
| β-Бисаболен              | 19,338                 | 1,41                             | 2,22  | 1,16 |
| γ- Мууролен              | 19,578                 | —                                | 0,15  | —    |
| δ-Кадинен                | 19,613                 | 0,16                             | 0,32  | —    |
| α-(Z)-Бисаболен          | 19,906                 | 0,13                             | 0,21  | —    |
| Тимолгидрохинон          | 20,161                 | —                                | 0,17  | —    |
| Спатуленол               | 20,794                 | 0,19                             | 0,31  | 0,28 |
| Хамазулен                | 23,729                 | 0,38                             | —   | —    |
| Дитерпеноиды             |                        |                                  |   |      |
| Неофитадиен              | 25,402                 | —                                | —   | 0,22 |
| Жирные кислоты           |                        |                                  |   |      |
| n-Гексадекановая кислота | 27,766                 | —                                | —   | 1,80 |
| Линолевая кислота        | 30,895                 | —                                | —   | 0,59 |
| Метиллинолеат            | 31,020                 | —                                | —   | 5,83 |
| Алканы                   |                        |                                  |   |      |
| n-Пентакозан             | 36,914                 | —                                | —   | 0,22 |
| n-Триаконан              | 39,935                 | —                                | 0,65  | 2,01 |
| n-Гексакозн              | 41,668                 | —                                | —   | 0,40 |
| n-Нонакозан              | 42,922                 | —                                | —   | 0,28 |
| Тритерпеноиды            |                        |                                  |   |      |
| Сквален                  | 41,958                 | —                                | —   | 0,62 |

В эфирном масле было обнаружено 32 соединения (идентифицировано 30), из них монотерпены — 94,92 %, сесквитерпены — 4,58 %, не идентифицировано — 0,50 %; в экстракте, полученном СК-CO<sub>2</sub> при давлении 10 МПа, было найдено 37 соединений (идентифицировано 33), из них монотерпены — 91,10 %, сесквитерпены — 6,71 %, алканы — 0,65 %, не идентифицировано — 1,54 %); в экстракте, полученном СК-CO<sub>2</sub> при давлении 30 МПа, было обнаружено 34 соединения (идентифицировано 28), из них монотерпены — 81,18 %, сесквитерпены — 3,24 %, дитерпены — 0,22 %, тритерпены — 0,62 %, жирные

Таблица 2

Содержание основных классов веществ в экстрактах

| Классы веществ       | Эфирное масло | СК-СО <sub>2</sub> -экстракт<br>10МПа, T= 50 °С | СК-СО <sub>2</sub> -экстракт<br>30МПа, T= 50 °С |
|----------------------|---------------|---|---|
|                      | содержание, % |   |   |
| Монотерпены          | 94,92         | 91,1  | 81,18   |
| Сесквитерпены        | 4,58          | 6,71  | 3,24  |
| Алканы               | 0             | 0,65  | 2,91  |
| Дитерпены            | 0             | 0   | 0,22  |
| Тритерпены           | 0             | 0   | 0,62  |
| Жирные кислоты       | 0             | 0   | 8,22  |
| Не идентифицированно | 0,50          | 1,54  | 3,61  |

кислоты — 8,22 %, алканы — 2,91 %, не идентифицировано — 3,61 % (табл. 2). Таким образом, можно утверждать, что СК-СО<sub>2</sub>-экстракт имеет более богатый состав, чем эфирное масло.

Как следует из данных табл. 1, состав СК-СО<sub>2</sub>-экстракта, полученного при давлении 10 МПа и 50°С, почти идентичен составу эфирного масла, однако следует выделить тимохинон (его масс-спектр представлен на рис. 3), основной молекулярный ион 93), который методом СК-СО<sub>2</sub>-экстракции извлекается лучше, чем традиционным способом гидродистилляции. Тимохинон — ценное биологически активное вещество, оказывающее ингибирующее действие на пролиферацию многих раковых клеток, в том числе рака предстательной железы путем подавления рецептора андрогена и E2F-1 [36].

Наличие в эфирном масле и отсутствие в СК-СО<sub>2</sub>-экстрактах хамазулена, который в свободном виде в растениях не встречается, а является продуктом гидролитического распада нелетучих сесквитерпеновых лактонов под воздействием водяного пара, является свидетельством способности сверхкритических флюидов получать экстракты без термической деструкции веществ.

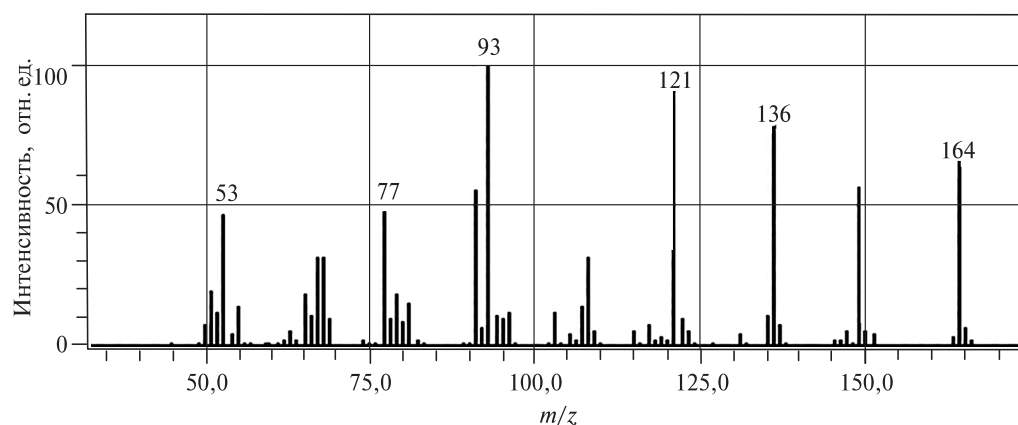


Рис. 3. Масс-спектр тимохинона

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование показало, что, при схожем составе эфирного масла и СК-CO<sub>2</sub>-экстрактов сверхкритический метод имеет ряд преимуществ перед гидродистилляцией:

1) СК-CO<sub>2</sub>-экстракт богаче биологически активными веществами, чем эфирное масло;

2) технология сверхкритической экстракции позволяет проводить селективную экстракцию;

3) повышение давления процесса экстракции способствует выходу соединений с большей молекулярной массой, таких как  $\beta$ -*цис*-терпинеол, неофитадиен, гексадекановая кислота, линолевая кислота, метиллиноленат, *n*-пентакозан, *n*-гексакозан, *n*-нонакозан и сквален. Такое действие связано с тем, что критические параметры диоксида углерода зависят от растворенного вещества, следовательно, количество и свойства вещества, которое он может экстрагировать, зависят от термодинамических параметров процесса;

4) быстрота процесса;

5) низкая температура экстракции позволяет проводить процесс без термической деструкции веществ, что видно по наличию в эфирном масле (и отсутствию в СК-CO<sub>2</sub>-экстрактах) чабера садового хамазулена, который является продуктом гидролитического распада нелетучих сесквитерпеновых лактонов под воздействием водяного пара;

6) вероятно, увеличение давления процесса экстракции также повышает проникающую способность диоксида углерода в клеточную структуру растительного сырья, что тоже приводит к увеличению выхода биологически активных веществ.

Богатый ценными биологически активными веществами состав экстрактов чабера садового позволит использовать его в фармацевтической, пищевой промышленности, парфюмерии и медицине.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Растительные ресурсы СССР. СПб.: Наука, 1991. 198 с.
2. *Лавренов В.К., Лавренова Г.В.* Полная энциклопедия лекарственных растений. Т. 2. СПб.: Нева; М.: Олма-пресс, 1999. 814 с.
3. *Cantino P.D., Harley R.M., Wagstaff S.J.* // Adv. Labiate Sci. 1992. Vol. 11. P. 511.
4. *Momtaz S., Abdollahi M.* // Int. J. Pharmacol. 2010. Vol. 6. No 4. P. 454.
5. *Tepe B., Cilkiç M.* // Pharm. Biol. 2016. Vol. 54. No 3. P. 375.
6. *Hajhashemi V., Ghannadi A., Pezeshkian S.K.* // J. Ethnopharmacol. 2002. Vol. 82. No 2—3. P. 83.
7. *Amanlou M., Dadkhah F., Salehnia A., Farsam H., Dehpour A.R.* // J. Pharm. Pharmaceut. Sci. 2005. Vol. 8. No 1. P. 102.
8. *Boyraz N., Özcan M.* // Int. J. Food Microbiol. 2006. Vol. 107. No 3. P. 238.
9. *Hajhashemi V., Zolfaghari B., Yousefi A.* // Med. Prin. Pract. 2012. Vol. 21. No 2. P. 178.
10. *Zolfagharian F., Razavi B. M., Hosseinzadeh H.* // Avicenna J. Phytomedicine. 2016. Vol. 6. No 3. P. 305.
11. *Tumbas V., Djilas S.* // J. BUON. 2004. Vol. 9. P. 443.
12. *Radonic A., Milos M.* // Free Radic. Res. 2003. Vol. 37. No 6. P. 673.
13. *Samsonowicz M., Regulska E.* // Chemical Papers. 2016. Vol. 70. No 6. P. 811.
14. *Behravan J., Mosaffaa F., Karimi G., Iranshahi M.* // Planta Medica. 2006. Vol. 72. No 11. P. S\_003.

15. Uslu C., Karasen R.M., Sahin F., Taysi S., Akcay F. // J. Ethnopharmacol. 2003. Vol. 88. No 2—3. P. 225.
16. Saharkhiz M.J., Zomorodian K., Rezaei M.R., Saadat F., Rahimi M.J. // Nat. Prod. Commun. 2011. Vol. 6. No 8. P. 1173.
17. Mihajilov-Krstev T., Radnovic D., Kitic D., Stojanovic-Radic Z., Zlatkovic B. // Arch. Biol. Sci. 2010. Vol. 62. No 1. P. 159.
18. Mihajilov-Krstev T., Radnovic D., Kitic D., Zlatkovic B., Ristic M., Brankovic S. // Open Life Sci. 2009. Vol. 4. No 3. P. 411.
19. Ozkalp B., Ozcan M.M. // World Applied Sciences Journal. 2009. Vol. 6. No 4. P. 509.
20. Adiguzel A., Ozer H., Kilic H., Cetin B. // Czech J. Food Sci. 2007. Vol. 25. No 2. P. 81.
21. Skocibusic M., Bezic N. // Phytother. Res. 2004. Vol. 18. No 12. P. 967.
22. Rezyanpanah S., Rezaei K., Golmakani M.T., Razavi S.H. // Braz. J. Microbiol. 2011. Vol. 42. No 4. P. 1453.
23. Gursoy U.K., Gursoy M., Gursoy O.V., Cakmakci L., Kononen E., Uitto V.J. // Anaerobe. 2009. Vol. 15. No 4. P. 164.
24. Mihajilov-Krstev T., Radnovic D., Kitic D., Stojanovic-Radic Z., Zlatkovic B. // Arch. Biol. Sci. 2010. Vol. 62. No 1. P. 159.
25. Razzaghi-Abyaneh M., Shams-Ghahfarokhi M., Yoshinari T., Rezaei M.B., Jaimand K., Nagasawa H., Sakuda S. // Int. J. Food Microbiol. 2008. Vol. 123. No 3. P. 228.
26. Dikbas N., Kotan R., Dadasoglu F., Sahin F. // Int. J. Food Microbiol. 2008. Vol. 124. No 2. P. 179.
27. Mihajilov-Krstev T., Radnovic D., Kitic D., Zlatkovic B., Ristic M., Brankovic S. // Open Life Sciences. 2009. Vol. 4. No 3. P. 411.
28. Маланкина Е.Л., Козловская Л.Н., Солопов С.Г., Зайчик Б.Ц., Ружицкий А.О., Евграфов А.А. // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2017. № 3. С. 19.
29. Mhemdi H., Rodier E., Kechaou N., Fages J. // J. Food Engineering. 2011. Vol. 105. No 4. P. 609.
30. Nde D. B., Foncha A. // Processes, 2020. Vol. 8. No 2. P. 209.
31. Касьянов Г.И. Технологические основы CO<sub>2</sub>-обработки растительного сырья. М.: Пищ. пром., 1994. 132 с.
32. DeSimone J.M., Polley J.D. // Proceeding of the 8th Meeting on supercritical fluids. 2002.
33. Алиев А.М., Раджабов Г.К., Степанов Г.В. // Сверхкритические флюиды: Теория и Практика. 2012. Т. 7. № 3. С. 20.
34. Aliev A.M., Radjabov G.K., Musaev A.M. // J. Supercrit. Fluids. 2015. Vol. 102. P. 66.
35. Государственная Фармакопия Российской Федерации. XIII изд., 2015. 1004 с.
36. Yi T., Cho S.G., Yi Z., Pang X., Rodriguez M., Wang Y., Liu M. // Molecular cancer therapeutics. 2008. Vol. 7. No 7. P. 1789.

---

---

### THE DEPENDENCE OF THE COMPONENT COMPOSITION OF SATUREJA HORTENSIS L. EXTRACT ON THE PRESSURE OF THE SUPERCRITICAL CO<sub>2</sub> EXTRACTION PROCESS

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

**G.K. Radzhabov** — Institute of Physics DFRC RAS, Makhachkala, Russia. ORCID: 0000-0001-9263-5684. E-mail: chemfarm@mail.ru

---

---

A comparative estimation of the component composition of supercritical carbon dioxide (SC-CO<sub>2</sub>) extracts obtained at different thermodynamic parameters and the essential oil of *Satureja hortensis* L. reveals the differences in the content of separate components. It is determined that the CK-CO<sub>2</sub> extract yield at 30 MPa (3.718 %) is more 2 times higher than at 10 MPa (1.792 %) and the essential oil content (1.75 %).

The main components are  $\alpha$ -Thujene, Myrcene,  $\alpha$ -Terpinene, *p*-Cymene,  $\gamma$ -Terpinene, Thymoquinone, Thymol, Carvacrol, (E)-Caryophyllene,  $\beta$ -Bisabolene, *n*-Hexadecanoic acid, methyllinolenate, *n*-Triacontane. Besides the aforesaid substances, in the extract obtained at 30 MPa and 50 °C there are found  $\beta$ -*cis*-Terpineol, Neophytadiene, Hexadecanoic acid, Linoleic, methyllinolenate, *n*-Pentacosane, *n*-Hexacosane, *n*-Nonacosane and Squalene.

Key words: supercritical extraction, essential oil, *Satureja hortensis* L., gcms, component content.

## REFERENCES

1. Rastitel'nye resursy SSSR. SPb.: Nauka, 1991. 198 p.
2. Lavrenov V.K., Lavrenova G.V. Polnaya e<sup>n</sup>cnziklopediya lekarstvenny<sup>kh</sup> rastenij. Vol. 2. SPb.: Neva; M.: Olma-press, 1999. 814 p.
3. Cantino P.D., Harley R.M., Wagstaff S.J. // Adv. Labiate Sci. 1992. Vol. 11. P. 511.
4. Momtaz S., Abdollahi M. // Int. J. Pharmacol. 2010. Vol. 6. No 4. P. 454.
5. Tepe B., Cilkiz M. // Pharm. Biol. 2016. Vol. 54. No 3. P. 375.
6. Hajhashemi V., Ghannadi A., Pezeshkian S.K. // J. Ethnopharmacol. 2002. Vol. 82. No 2—3. P. 83.
7. Amanlou M., Dadkhah F., Salehnia A., Farsam H., Dehpour A.R. // J. Pharm. Pharmaceut Sci. 2005. Vol. 8. No 1. P. 102.
8. Boyraz N., Ozcan M. // Int. J. Food Microbiol. 2006. Vol. 107. № 3. P. 238.
9. Hajhashemi V., Zolfaghari B., Yousefi A. // Med. Prin. Pract. 2012. Vol. 21. No 2. P. 178.
10. Zolfagharian F., Razavi B. M., Hosseinzadeh H. // Avicenna J. Phytomedicine. 2016. Vol. 6. No 3. P. 305.
11. Tumbas V., Djilas S. // J. BUON. 2004. Vol. 9. P. 443.
12. Radonic A., Milos M. // Free Radic. Res. 2003. Vol. 37. No 6. P. 673.
13. Samsonowicz M., Regulska E. // Chemical Papers. 2016. Vol. 70. No 6. P. 811.
14. Behravan J., Mosaffaa F., Karimi G., Iranshahi M. // Planta Medica. 2006. Vol. 72. No 11. P. S\_003.
15. Uslu C., Karasen R.M., Sahin F., Taysi S., Akcay F. // J. Ethnopharmacol. 2003. Vol. 88. No 2—3. P. 225.
16. Saharkhiz M.J., Zomorodian K., Rezaei M.R., Saadat F., Rahimi M.J. // Nat. Prod. Commun. 2011. Vol. 6. No 8. P. 1173.
17. Mihajilov-Krstev T., Radnovic D., Kitic D., Stojanovic-Radic Z., Zlatkovic B. // Arch. Biol. Sci. 2010. Vol. 62. No 1. P. 159.
18. Mihajilov-Krstev T., Radnovic D., Kitic D., Zlatkovic B., Ristic M., Brankovic S. // Open Life Sci. 2009. Vol. 4. No 3. P. 411.
19. Ozkalp B., Ozcan M.M. // World Applied Sciences Journal. 2009. Vol. 6. No 4. P. 509.
20. Adiguzel A., Ozer H., Kilic H., Cetin B. // Czech J. Food Sci. 2007. Vol. 25. No 2. P. 81.
21. Skocibusic M., Bezic N. // Phytother. Res. 2004. Vol. 18. No 12. P. 967.
22. Rezvanpanah S., Rezaei K., Golmakani M.T., Razavi S.H. // Braz. J. Microbiol. 2011. Vol. 42. No 4. P. 1453.
23. Gursoy U.K., Gursoy M., Gursoy O.V., Cakmakci L., Kononen E., Uitto V.J. // Anaerobe. 2009. Vol. 15. No 4. P. 164.
24. Mihajilov-Krstev T., Radnovic D., Kitic D., Stojanovic-Radic Z., Zlatkovic B. // Arch. Biol. Sci. 2010. Vol. 62. No 1. P. 159.
25. Razzaghi-Abyaneh M., Shams-Ghahfarokhi M., Yoshinari T., Rezaei M.B., Jaimand K., Nagasawa H., Sakuda S. // Int. J. Food Microbiol. 2008. Vol. 123. No 3. P. 228.
26. Dikbas N., Kotan R., Dadasoglu F., Sahin F. // Int. J. Food Microbiol. 2008. Vol. 124. No 2. P. 179.
27. Mihajilov-Krstev T., Radnovic D., Kitic D., Zlatkovic B., Ristic M., Brankovic S. // Open Life Sciences. 2009. Vol. 4. No 3. P. 411.
28. Malankina E.L., Kozlovskaya L.N., Solopov S.G., Zaichik B.Ts., Ruzhitsky A.O., Evgrafov A.A. // News of the Timiryazev Agricultural Academy. 2017. № 3. P. 19.

29. *Mhemdi H., Rodier E., Kechaou N., Fages J.* // Journal of Food Engineering, 2011. Vol. 105. No 4. P 609.
  30. *Nde D. B., Foncha A.* // *Processes*, 2020. Vol. 8. No 2. P. 209.
  31. *Kasyanov G.I.* Tekhnologicheskie osnovy CO<sub>2</sub>-obrabotki rastitel'nogo syr'ya. M.: Pishch. prom., 1994. 132 p.
  32. *DeSimone J.M., Polley J.D.* // Proceeding of the 8th Meeting on supercritical fluids. 2002.
  33. *Aliiev A.M., Radjabov G.K., Stepanov G.V.* // Rus. J. Phys. Chem. B. 2013. Vol. 7. No 7. P. 795.
  34. *Aliiev A.M., Radjabov G.K., Musaev A.M.* // J. Supercrit. Fluids. 2015. Vol. 102. P. 66.
  35. Gosudarstvennaya farmakopeya Rossijskoj Federacii. XIII izd., 2015. 1004 p.
  36. *Yi T., Cho S.G., Yi Z., Pang X., Rodriguez M., Wang Y., Liu M.* // Molecular cancer therapeutics. 2008. Vol. 7. No 7. P. 1789.
- 
-