

УДК 634.31/34:581.19

СОСТАВ ЛЕТУЧИХ ВЕЩЕСТВ ЭФИРНОГО МАСЛА В ЛИСТЬЯХ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ЦИТРУСОВЫХ

© **В.Н. Бехтерев, Р.В. Кулян, О.Г. Белоус***

**Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр
РАН», ул. Яна Фабрициуса, 2/28, Сочи, 354002, Россия,
oksana191962@mail.ru**

Определен компонентный состав эфирного масла листьев трех видов редких цитрусовых из коллекции Федерального исследовательского центра «Субтропический научный центр Российской академии наук». Целью являлось исследование летучих органических веществ, входящих в состав эфирного масла, что позволит не только оптимизировать условия выращивания, при которых накопление компонентов будет максимальным, но и проводить направленную селекцию. Эфирное масло выделено из листьев трех видов цитрусовых: *C. ichagensis* Sw. (папеда), *C. maxima* 'Sambokan' (помпельмус), *C. maxima* 'Гульрипшский' (помпельмус) и гибрида *C. paradisi* Г-А-1 (грейпфрут). Изучаемые компоненты эфирного масла переводили из листьев цитрусовых растений в газовую фазу путем нагревания измельченной навески при вибрационном перемешивании в замкнутом объеме в присутствии воды. Идентификацию и оценку относительного содержания химических соединений парогазовой фазы вели методом газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС). С помощью базы данных масс-спектров идентифицировано более двух десятков компонентов, в основном из классов моно-, бициклических терпенов и сесквитерпенов. Ведущим компонентом эфирного масла в листьях *C. maxima* 'Гульрипшский', *C. maxima* 'Sambokan' и *C. ichagensis* Sw. является гамма-терпинен (γ -terpinene), в то время как в листьях *C. paradisi* главным компонентом был лимонен (D-Limonene). Отмечена видовая специфика химического состава эфирного масла *C. maxima*, *C. paradisi* и *C. ichagensis* Sw. Полученные результаты будут использованы для определения видовой специфичности эфирных масел перспективных видов/форм различных цитрусовых и применены в дальнейшей селекционной работе по получению сортов/форм, с наибольшим содержанием эфирного масла.

Ключевые слова: ГХ-МС, цитрусовые, виды, листья, эфирные масла, ведущий компонент, видовая специфика.

Для цитирования: Бехтерев В.Н., Кулян Р.В., Белоус О.Г. Состав летучих веществ эфирного масла в листьях некоторых видов цитрусовых // Химия растительного сырья. 2024. №4. С. 325–332. DOI: 10.14258/jcprm.20240412859.

Введение

На территории Российской Федерации выращивание субтропических культур (цитрусовые, хурма, фей-хоа, актинидия сладкая, или киви, чай и т.д.) сконцентрировано в южных районах, в основном на Черноморском побережье (район Сочи, Краснодарский край), которое считают самым северным районом их культивирования. Известно, что субтропические культуры обладают широким спектром биологической активности благодаря большому разнообразию вторичных метаболитов [1–4]. Цитрусовые в этой связи представляют особый интерес, так как содержат витаминный комплекс, имеющий большое пищевкусовое значение [5, 6]. При этом интерес представляют не только плоды цитрусовых, но и листья как источник ароматических соединений, оказывающих фитотерапевтическое значение благодаря содержанию в них эфирного масла [3, 7, 8]. Как известно, ценность эфирного масла состоит не только как в источнике приятного запаха, влияющим на эмоциональное состояние человека, но и определяется фитонцидным эффектом [2–4, 7]. Неслучайно интерес к цитрусовым культурам с сильным приятным ароматом достаточно высок, о чем свидетельствуют запросы на приобретение таких растений в питомнике ФИЦ СНИЦ РАН. В связи с этим выращивание цитрусовых культур в России, являющихся источником разнообразных биологически активных веществ, представляет несомненную значимость. И это важно, учитывая, что на территории субтропиков Краснодарского края многие виды цитрусовых выращиваются в открытом грунте или в неотапливаемых теплицах, многие виды благополучно переносят теплые зимы черноморского побережья. На базе Федерального исследовательского центра

* Автор, с которым следует вести переписку.

«Субтропический научный центр Российской академии наук» (ФИЦ СНЦ РАН) ведется постоянная селекционная работа по созданию новых форм с такими ценными признаками, как устойчивость и повышенное содержание ароматических веществ. Сейчас в коллекции центра насчитывается 134 сортообразца цитрусовых, являющихся базой для проведения направленной селекционной работы [9, 10].

Традиционно эфирные масла получают в основном из кожуры плодов цитрусовых растений. В связи с тем, что переработке подвергается даже кожура плодов редких цитрусовых культур (у ряда цитрусовых плоды в переработку и употребление идут вместе с кожурой, обеспечивая их вкусовые особенности), следует принять во внимание возможность применения в качестве более простого метода контроля наличия тех или иных ценных компонентов в листьях, как объектах исследования, при оптимизации условий вегетации и агротехники. Однако эфирные масла в зависимости от того, что является источником их получения (листья, цветки или плоды), могут иметь различный состав компонентов [11–13]. В связи с чем нами поставлена задача определить компонентный состав эфирных масел различных частей цитрусовых, установить корреляцию между содержанием биологически активных веществ в листьях и накоплением их в кожуре плодов и возможность использования листьев для определения сортовой/видовой специфичности эфирных масел перспективных видов/форм различных цитрусовых.

В данном аспекте изучение биохимического состава листьев, в том числе с упором на эфирный комплекс, имеет несомненное значение, так как позволяет не только определять условия выращивания, при которых накопление эфирных масел будет максимальным, но и проводить направленную селекцию. В настоящей работе впервые представлены данные о сортовой индивидуальности, химическом составе летучих компонентов эфирного масла листьев ряда редких видов цитрусовых, произрастающих во влажных субтропиках России.

Экспериментальная часть

Растительное сырье. Объектами исследований являются эфирные масла листьев цитрусовых семейства рутовых (Rutaceae) рода *Citrus* – *ichagensis* Sw., *maxima* ‘Sambokan’, *maxima* ‘Гульрипшский’, *paradisi* Г-А-1. Листья отбирали в 2022 г. в период активной вегетации (лаборатория селекции отдела генетических ресурсов растений ФИЦ СНЦ РАН, п. Раздольное, Сочи, Краснодарский край). Сырье анализировали в год сбора материала. Лабораторные анализы выполнены на базе отдела физиологии и биохимии растений ФИЦ СНЦ РАН.

C. ichagensis Sw. (папеда ичангская) – происхождение Китай, провинция Хубэй. Распространен в Западном, Центральном и Юго-Западном Китае. Культивируется на ограниченной площади в регионе его распространения. Растение 3.0–4.5 м высотой, с раскидистой густооблиственной кроной. Листья овальные 6.5×3.2 см, черешки сильно крылатые 4.8×2.5 см. Используется в народной медицине, как моющее средство, в консервной промышленности – концентрат для соков. Растения этого вида самые морозоустойчивые из всех вечнозеленых видов цитрусовых. В связи с этим вид представляет интерес для селекции с целью создания морозоустойчивых форм цитрусовых.

C. maxima ‘Sambokan’ (помпельмус Самбоккан) – сорт японского происхождения, который популярен и выращивается в основном в префектуре Вакаяма. Растение до 3.0 м. высоты, с хорошо облиственной густой кроной. Листья плотные, толстые, крупные 10.0×6.5 , черешки сильно крылатые 3.5×2.5 см. Используется для выращивания плодов.

C. maxima ‘Гульрипшский’ (помпельмус ‘Гульрипшский’) – сорт выведен в Республики Абхазия. Растение 3.5–4.5 м высотой, с раскидистой кроной. Листья плотные, продолговатые 14×8.2 см, черешки крылатые 3.8×2.5 см. Используется для выращивания плодов.

C. paradisi Г-А-1 (грейпфрут гибрид Г-А-1 (грейпфрут х апельсин)) – выведен в ФИЦ СНЦ РАН. Растение до 4.0 м высотой, с округлой хорошо облиственной кроной. Листья тонкие, продолговатые 10×8.2 см, черешки узко крылатые 1.8×0.7 см.

Состав летучих веществ эфирных масел листового аппарата исследуемых растений изучали методом парового анализа [14, 15], известного за рубежом как Head-Space Analysis (HSA) [16]. В пенициллиновый флакон объемом 15 мл помещали навеску массой 2 г из измельченной путем нарезки средней пробы листьев растения, добавляли 5 мл дистиллированной воды. Далее, прокладывая полиэтиленовой пленкой, герметично закрывали резиновой пробкой, которую фиксировали специальным зажимом. После чего помещали флакон с содержимым в гнездо дозатора равновесного пара ДРП-10 (производства НПФ «Мета-Хром», РФ, Йошкар-

Ола), представляющего собой водяную баню (термостат) с дополнительным вибрационным воздействием. Время подготовки пробы – 5 мин, температура 80 °С. По окончании процедуры путем прокола шприцем резиновой пробки из флакона брали 1 мл парогазовой смеси и вводили в инжектор газового хроматографа с масс-спектрометрическим детектором Focus SSL/DSQ II (Thermo Scientific). Режим работы аналитического комплекса был следующим: температура источника – 200 °С; режим детектирования – 30–600 Da (positive ion); режим ионизации – 70 эВ; капиллярная разделительная колонка TR-5MS 30 м – 0.25 мм ID – 0.25 мкм; программированный температурный режим хроматографирования: 70 °С – 1 мин, затем нагрев со скоростью 30 °С/мин до 280 °С; температура инжектора – 230 °С; температура интерфейса (transfer-line) – 260 °С; газ-носитель – гелий, скорость – 1.2 мл/мин, сброс – 12 мл/мин; деление потока – 12.

Идентификацию проводили по индивидуальным масс-спектрам на основе электронной базы спектральных данных NIST-2011, а также индексам удерживания в системе *n*-алканов и индексов удерживания ряда стандартных веществ, имеющихся в арсенале лаборатории по известному алгоритму [17]. Во внимание принимали химические соединения, масс-спектры которых более чем на 40% совпадали со стандартными. Относительное содержание компонентов эфирного масла определяли методом внутренней нормализации [18, 19].

Обсуждение результатов

В отличие от многих других культур, у которых летучие компоненты, обуславливающие их аромат, представлены главным образом сложными эфирами, спиртами и карбонильными соединениями алифатического ряда, цитрусовые содержат эфирные масла, относящиеся преимущественно к терпенам, причем по анализу литературных источников, основу составляют моноциклические терпеновые углеводороды (около 92–98%) [3, 4, 11, 20]. На долю кислородсодержащих и сесквитерпеноидных соединений приходится 0.2–6.1% [20, 21]. Из терпеноидов главным компонентом является *D*-лимонен (66–93%) [22]. Помимо этого, основными компонентами являются α -пинен, сабинен, β -пинен, β -мирцен, линалоол, *m*-цимен и 4-терпинеол [3, 5, 20, 22]. Основу кислородсодержащей фракции составляют нераль, гераниаль и их ацетаты. Среди сесквитерпеноидных углеводородов большее количество приходится на бета-бизаболен, кариофиллен и бергамотен [4, 20].

Предварительно нами проводился анализ эфирного масла листьев 26 форм цитрусовых разного происхождения, находящихся в коллекции ФИЦ СЦ РАН, в составе которых идентифицировано 28 соединений, относящихся к ароматическим соединениям, моно- и сесквитерпеноидам. Из перечисленных в таблице компонентов наиболее представлена группа моно- и бициклических терпенов (17 компонентов) и сесквитерпенов (семь компонентов).

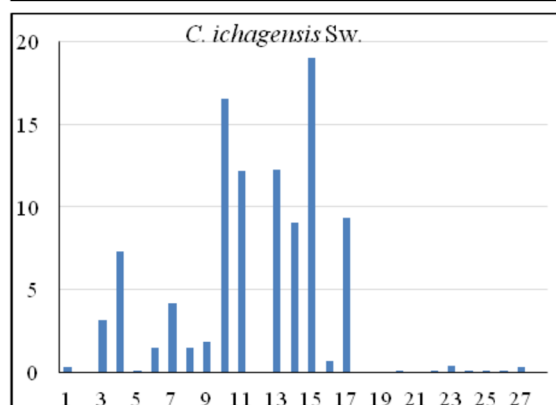
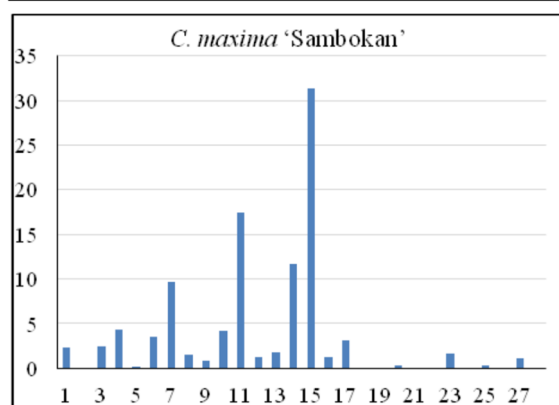
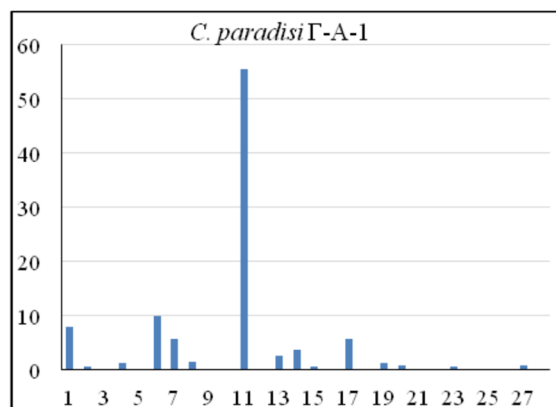
В данной статье представлены результаты анализа эфирного масла только одной группы, в которой объединены по генетическому родству три вида цитрусовых: *C. ichagensis* Sw., *C. maxima* Burm. и *C. paradisi* Macf. В листьях этих видов нами определено почти три десятка компонентов эфирного масла (рис.). Отличительной особенностью этих видов является отсутствие в эфирном масле их листового аппарата таких компонентов, как альдегид нонаналь, монотерпен цис-цитраль (нераль) и сескватерпен бета-бизаболен. Среди монотерпенов количественно выделяется гамма-терпинен, содержание которого составляет от 19.0 до 31.3% в зависимости от вида (рис.).

Как известно из литературных источников, чаще всего один из компонентов эфирного масла преобладает (т.е. является ведущим компонентом) и определяет запах, который является видо- или сортоспецифичным [11, 22]. Нами отмечено, что в листьях *C. maxima* ‘Гульрипшский’, *C. maxima* ‘Sambokan’ и *C. ichagensis* Sw. ведущим компонентом является гамма-терпинен; в то время как в листьях *C. paradisi* Г-А-1 его достаточно мало и основным является *D*-лимонен, относительное содержание которого составляет около 55.6%.

Состав летучих веществ эфирных масел листьев исследуемых цитрусовых растений отличался не только основным компонентом, но и разнообразием. Так, в листьях *C. maxima* ‘Гульрипшский’ и *C. paradisi* Г-А-1 нами идентифицировано 18 компонентов, *C. maxima* ‘Sambokan’ – 20, а в парогазовой фазе образца листьев *C. ichagensis* Sw. найдено 22 компонента. Из идентифицированных летучих компонентов листьев в составе всех рассматриваемых видов растений общими являются этил ацетат (ethyl acetate), α -туйон (α -thujene, origanene), α -пинен (1*R*- α -pinene), бета-фелландрин (β -phellandren), бета-пинен (β -pinene), мирцен (myrcene), альфа-фелландрен (α -phellandrene), лимонен (*D*-Limonene), бета-цис-оцимен (β -cis-ocimene), гамма-терпинен (γ -terpinene), терпинолен (terpinolene), линалоол (linalool), бета-кариофиллен (β -caryophyllene) и эликсен (elixene). Для *C. maxima* ‘Гульрипшский’ и *C. paradisi* Г-А-1 общим было присутствие в составе масла толуола (toluene).

Качественный состав компонентов эфирных масел листьев редких цитрусовых

| № компонента | Компонент | Индекс удерживания | Класс |
|--------------|-------------------------------|--------------------|---------------------------|
| 1 | этилацетат | 587 | сложный эфир |
| 2 | толуол | 752 | ароматический углеводород |
| 3 | ориганен | 929 | монотерпеноид |
| 4 | альфа-пинен | 932 | монотерпеноид |
| 5 | камфен | 951 | монотерпеноид |
| 6 | бета-фелландрен | 1026 | монотерпеноид |
| 7 | бета-пинен | 971 | монотерпеноид |
| 8 | мирцен | 980 | монотерпеноид |
| 9 | альфа-фелландрен | 1002 | монотерпеноид |
| 10 | o-цимол | 1019 | ароматическое соединение |
| 11 | D-лимонен | 1020 | монотерпеноид |
| 12 | бета-туйен | 1021 | монотерпеноид |
| 13 | эвкалиптол, цинеол | 1022 | монотерпеноид |
| 14 | бета-цис-оцимен | 1024 | монотерпеноид |
| 15 | гамма-терпинен | 1049 | монотерпеноид |
| 16 | терпинолен | 1078 | монотерпеноид |
| 17 | линалоол | 1081 | монотерпеноид |
| 18 | нонаналь | 1103 | альдегид |
| 19 | родиналь, цитронеллаль | 1128 | монотерпеноид |
| 20 | цис-цитраль, нераль | 1211 | монотерпеноид |
| 21 | цис, транс-цитраль, гераниаль | 1213 | монотерпеноид |
| 22 | сигма-элемен | 1334 | сесквитерпеноид |
| 23 | бета-кариофиллен | 1422 | сесквитерпеноид |
| 24 | транс-альфа-бергамотен | 1425 | сесквитерпеноид |
| 25 | альфа-кариофиллен | 1452 | сесквитерпеноид |
| 26 | бета-кубебен | 1453 | сесквитерпеноид |
| 27 | эликсен | 1459 | сесквитерпеноид |
| 28 | бета-бизаболен | 1499 | сесквитерпеноид |



Компонентный состав эфирных масел листьев цитрусовых: ось ординат – относительное содержание (доля, %) компонента; ось абсцисс – порядковый номер компонента в таблице

Особенностью *C. paradisi* Г-А-1 является выявленный только в его листьях цитронеллаль (citronellal) в количестве 1.4%, а в листьях *C. ichagensis* Sw. – дельта-элемен (δ -elemene) (0.03%), бергамотен (trans- α -bergamotene) (0.02%) и бета-кубебен (β -cubeben) (0.05%), которые не выявлены у остальных видов. Этот факт можно характеризовать в качестве видовой специфичности эфирного масла *C. paradisi* и *C. ichagensis* Sw.

В составе летучих веществ листьев *C. maxima* ‘Гульрипшский’, *C. maxima* ‘Sambokan’ и *C. ichagensis* Sw. обнаружены орто-цимол (o-cymol) и альфа-кариофелен (α -caryophyllene); *C. paradisi* Г-А-1, *C. maxima* ‘Sambokan’ и *C. ichagensis* Sw. – нераль (cis-citral, neral) и цинеол (cineole); в листьях сортов *C. maxima* найден бета-туйон (β -thujene) и общим для эфирного масла *C. maxima* ‘Sambokan’ и *C. ichagensis* Sw. является наличие в нем камфена (camphene).

Разнообразен не только качественный состав эфирного масла, но и относительное содержание компонентов (рис.). Так, если содержание этилацетата (ethyl acetate), альфа-туйона (α -thujene), альфа-пинена (α -pinene), мирцена (myrcene), альфа-фелландрена (α -phellandrene), терпинолена (terpinolene) и экилена (elixene) в листьях всех видов примерно одинаково и варьирует от 0.1% (терпинолен в листьях *C. paradisi* Г-А-1) до 0.9% (эликсен в листьях *C. paradisi* Г-А-1), то по остальным общим для всех видов компонентам наблюдается четкая специализация.

Наибольшее содержание бета-фелландрена (β -phellandrene) отмечено в листьях *C. paradisi* Г-А-1 (10.1%), наименьшее – у *C. ichagensis* Sw. (1.5%). Листья *C. maxima* ‘Гульрипшский’ характеризуются высоким содержанием бета-пинена (β -pinene) (12.6%) и бета-кариофиллен (β -caryophyllene) (12.8%). В листьях *C. paradisi* Г-А-1 нами выявлено большое содержание таких компонентов, как этилацетата (ethyl acetate) (7.9%), бета-фелландрена (β -phellandrene) (10.1%) и, как отмечалось выше, наибольшее из всех видов содержание лимонена (D-Limonene) (55.6%). В эфирном масле листьев *C. maxima* ‘Sambokan’ в значительных количествах присутствуют бета-цис-оцимен (11.7%) и по сравнению с остальными видами – максимальное количество гамма-терпинена (31.3%).

Эфирное масло *C. ichagensis* Sw. характеризуется высокими по сравнению с остальными видами количествами альфа-туйона (3.2%), альфа-пинена (α -pinene) (7.3%) и линалоола (linalool) (9.3%). Содержание в листьях толуола (2.0%) у *C. maxima* ‘Гульрипшский’ несколько выше, чем в *C. paradisi* Г-А-1; количество камфена (camphene) (0.2%) выше, чем в листьях *C. ichagensis* Sw. (0.1%); содержание орто-цимола (o-cymol) (18.5%) и альфа-кариофиллена (0.6%) у *C. maxima* ‘Гульрипшский’ выше, чем у *C. maxima* ‘Sambokan’ и *C. ichagensis* Sw.; в эфирном масле *C. ichagensis* Sw. эвкалиптола (12.3%) значительно больше содержится, чем в листьях *C. paradisi* Г-А-1 (2.7%) и *C. maxima* ‘Sambokan’ (1.8%).

Выводы

В эфирном масле листьев трех видов цитрусовых, объединенных генетическим родством, идентифицировано около трех десятков компонентов, основными из которых являются монотерпеноиды и сесквитерпены. Основными для всех рассмотренных видов являются этил ацетат, альфа-туйен (ориганен), альфа-пинен, бета-фелландрен, бета-пинен, мирцен, альфа-фелландрен, D-лимонен, бета-цис-оцимен, гамма-терпинен, терпинолен, линалоол, бета-кариофиллен и эликсен. Наиболее разнообразен химический состав эфирного масла *C. ichagensis* Sw. Ведущим компонентом эфирного масла в листьях *C. maxima* Burm. и *C. ichagensis* Sw. является гамма-терпинен, в то время как в листьях грейпфрута (*C. paradisi* Macf.) больше всего содержится D-лимонена. Отмечена видовая специфичность химического состава эфирного масла *C. paradisi* Macf. и *C. ichagensis* Sw, в листьях *C. paradisi* Macf (грейпфрут Г-Ф-1) отмечено содержание родиналя (цитронеллаль), в листьях *C. ichagensis* Sw – гамма-элемена, транс-альфа-бергамотена и бета-кубебена. Таким образом, впервые определен относительный состав летучих компонентов листьев трех видов редких для влажных субтропиков России цитрусовых.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ШНЦ РАН FGRW-2022-0012 и FGRW-2021-0009, №№ госрегистрации 121120700353-5 и 122032300347-3.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии *Creative Commons Attribution 4.0* (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию *Creative Commons* и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Matiz G., Osorio M.R., Camacho F., Atencia M., Herazo J. Effectiveness of anti-microbial formulations for acne based on orange (*Citrus sinensis*) and sweet basil (*Ocimum basilicum* L) essential oils // *Biomédica*. 2012. Vol. 32. Pp. 125–133. <https://doi.org/10.1590/S0120-41572012000100014>.
2. Kirbaşlar F.G., Tavman A., Dülger B., Türker G. Antimicrobial activity of Turkish citrus peel oils // *Pakistan Journal of Botany*. 2009. Vol. 41. Pp. 3207–3212.
3. AL-Jabri N.N., Hossain M.A. Comparative chemical composition and antimicrobial activity study of essential oils from two imported lemon fruits samples against pathogenic bacteria // *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*. 2014. Vol. 3. Pp. 247–253. <https://doi.org/10.1016/j.bjbas.2014.10.011>.
4. Bozkurt T. Chemical composition of the essential oils from some citrus species and evaluation of the antimicrobial activity // *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*. 2017. Vol. 11(10). Pp. 29–33. <https://doi.org/10.9790/2402-1110032933>.
5. Кулян Р.В., Коннов Н.А., Белоус О.Г. Биохимическая характеристика мелкоплодных цитрусовых от отдаленных скрещиваний с *Fortunella Sw.* // *Садоводство и виноградарство*. 2022. №4. С. 34–39. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2022-4-34-39>.
6. Кулян Р.В., Абиляфзова Ю.С., Белоус О.Г. Селекция мандарина (*Citrus reticulata* blanco var. unshiu Tan.) на улучшение качественных характеристик плодов // *Садоводство и виноградарство*. 2021. №1. С. 11–15. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2021-1-11-15>.
7. Wu T., Cheng D., He M., Pan S., Yao X., Xu X. Antifungal action and inhibitory mechanism of polymethoxylated flavones from *Citrus reticulata* Blanco peel against *Aspergillus niger* // *Food Control*. 2014. Vol. 35. Pp. 354–359. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.07.027>.
8. Петрова Е.Ф., Витковский В.Л. Изучение коллекции субтропических плодовых культур: методические указания. Л., 1989. 142 с.
9. Рындин А.В., Кулян Р.В. Коллекция цитрусовых культур во влажных субтропиках России // *Садоводство и виноградарство*. 2016. №5. С. 24–30. <https://doi.org/10.18454/VSTISP.2016.5.3445>.
10. Кулян Р.В. Источники хозяйственно-ценных признаков в коллекции цитрусовых культур ГНУ ВНИИЦиСК Россельхозакадемии // *Научные исследования в субтропиках России*. Сочи, 2013. С. 96–100.
11. Moufida S., Marzouk B. Biochemical characterization of blood orange, sweet orange, lemon, bergamot and bitter orange // *Phytochem*. 2003. Vol. 62. Pp. 1283–1289. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(02\)00631-3](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(02)00631-3).
12. Njoroge S.M., Phi N.T.L., Sawamura M. Chemical composition of peel essential oils of sweet oranges (*Citrus sinensis*) from Uganda and Rwanda // *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*. 2009. Vol. 12. Pp. 26–33. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2009.10643687>.
13. Minh Tu N., Thanh L., Une A., Ukeda H., Sawamura M. Volatile constituents of Vietnamese pummelo, orange, tangerine and lime peel oils // *Flavour and Fragrance Journal*. 2002. Vol. 17. Pp. 169–174. <https://doi.org/10.1002/ffj.1076>.
14. Виттенберг А.Г., Иоффе Б.В., Борисов В.Н. Использование равновесия жидкость-пар для газохроматографического определения микропримесей (обзор) // *Журнал аналитической химии*. 1974. Т. 29, №9. С. 1795–1804.
15. Виттенберг А.Г. Равновесная модель в описании газовой экстракции и парового анализа // *Журнал аналитической химии*. 2003. Т. 58, №1. С. 6–21.
16. Kolb B. Headspace sampling with capillary columns // *J. of Chromatography A*. 1999. Vol. 842. Pp. 163–205.
17. Столяров Б.В., Савинов И.М., Виттенберг А.Г. Руководство к практическим работам по газовой хроматографии: учебное пособие для вузов. Л., 1988. 336 с.
18. Bekhterev V.N., Malyarovskaya V.I. Rapid HPLC method of scopoletine determination in *Weigela* leaves based on one-step sample preparation by extractive freezing-out // *Mendelev Communications*. 2019. Vol. 29. Pp. 592–594.
19. Tranchida P.Q., Bonaccorsi I., Dugo P., Mondello L., Dugo G. Analysis of Citrus essential oils: State of the art and future perspectives. A review // *Flavour and Fragrance Journal*. 2012. Vol. 27. Pp. 98–123.
20. Osman A. Citrus Oils // *Fruit Oils: Chemistry and Functionality*. Springer, Cham, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12473-1_26.
21. Dugo G., Verzera A., d'Alcontres I.S., Cotroneo A., Ficarra R. On the genuineness of citrus essential oils. Part XLI. Italian bitter orange essential oil: composition and detection of contamination and additions of oils and terpenes of sweet orange and of lemon. // *Flavors and Fragrance Journal*. 1994. Vol. 8, no. 1. Pp. 25–33. <https://doi.org/10.1080/10412905.1994.9698342>.

Поступила в редакцию 10 апреля 2023 г.

После переработки 14 февраля 2024 г.

Принята к публикации 24 октября 2024 г.

Bekhterev V.N., Kulyan R.V., Belous O.G. THE COMPOSITION OF VOLATILE SUBSTANCES OF ESSENTIAL OIL IN THE LEAVES OF SOME CITRUS SPECIES*

Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Yana Fabricius st., 2/28, Sochi, 354002, Russia, oksana191962@mail.ru

The component composition of the essential oil of the leaves of three types of rare citrus fruits from the collection of the Federal Research Center "Subtropical Scientific Center of the Russian Academy of Sciences" has been determined. The purpose was to study the volatile organic substances that make up the essential oil. It will not only optimize the growing conditions under which the accumulation of components will be maximum, but also to conduct targeted selection. Essential oil is extracted from the leaves of three citrus species: *C. ichagensis* Sw., *C. maxima* 'Sambokan' (pomelums), *C. maxima* 'Gulripshsky' (pomelums) and hybrid *C. paradisi* G-A-1 (grapefruit). The studied components of the essential oil were transferred from the leaves of citrus plants to the gas phase by heating the crushed suspension with vibrational stirring in a closed volume in the presence of water. Identification and evaluation of the relative content of chemical compounds of the vapor-gas phase was carried out by gas chromatography-mass spectrometry. More than two dozen components have been identified using the mass spectrum database, mainly from the classes of mono-, bicyclic terpenes and sesquiterpenes. The leading component of essential oil in the leaves of *S. maxima* 'Gulripshsky', *S. maxima* 'Sambokan' and *C. ichagensis* Sw. is γ -terpinene, while in the leaves of *C. paradisi* the main component was D-Limonene. The species specificity of the chemical composition of the essential oil of *C. maxima*, *C. paradisi* and *C. ichagensis* Sw. was noted. The results obtained will be used to determine the species specificity of essential oils of promising types/ forms of various citrus fruits and applied in further breeding work to obtain varieties / forms with the highest content of essential oil.

Keywords: citrus fruits, species, leaves, essential oils, leading component, species specificity.

For citing: Bekhterev V.N., Kulyan R.V., Belous O.G. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2024, no. 4, pp. 325–332. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20240412859.

References

- Matiz G., Osorio M.R., Camacho F., Atencia M., Herazo J. *Biomédica*, 2012, vol. 32, pp. 125–133. <https://doi.org/10.1590/S0120-41572012000100014>.
- Kirbaşlar F.G., Tavman A., Dülger B., Türker G. *Pakistan Journal of Botany*, 2009, vol. 41, pp. 3207–3212.
- AL-Jabri N.N., Hossain M.A. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 2014, vol. 3, pp. 247–253. <https://doi.org/10.1016/j.bjbas.2014.10.011>.
- Bozkurt T. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 2017, vol. 11(10), pp. 29–33. <https://doi.org/10.9790/2402-1110032933>.
- Kulyan R.V., Konnov N.A., Belous O.G. *Sadovodstvo i vinogradarstvo*, 2022, no. 4, pp. 34–39. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2022-4-34-39>. (in Russ.).
- Kulyan R.V., Abil'fazova Yu.S., Belous O.G. *Sadovodstvo i vinogradarstvo*, 2021, no. 1, pp. 11–15. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2021-1-11-15>. (in Russ.).
- Wu T., Cheng D., He M., Pan S., Yao X., Xu X. *Food Control*, 2014, vol. 35, pp. 354–359. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.07.027>.
- Petrova Ye.F., Vitkovskiy V.L. *Izucheniye kollektssii subtropicheskikh plodovykh kul'tur: metodicheskiye ukazaniya*. [Study of the collection of subtropical fruit crops: methodical instructions]. Leningrad, 1989, 142 p. (in Russ.).
- Ryndin A.V., Kulyan R.V. *Sadovodstvo i vinogradarstvo*, 2016, no. 5, pp. 24–30. <https://doi.org/10.18454/VSTISP.2016.5.3445>. (in Russ.).
- Kulyan R.V. *Nauchnyye issledovaniya v subtropikakh Rossii*. [Scientific research in the subtropics of Russia]. Sochi, 2013, pp. 96–100. (in Russ.).
- Moufida S., Marzouk B. *Phytochem.*, 2003, vol. 62, pp. 1283–1289. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(02\)00631-3](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(02)00631-3).
- Njoroge S.M., Phi N.T.L., Sawamura M. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 2009, vol. 12, pp. 26–33. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2009.10643687>.
- Minh Tu N., Thanh L., Une A., Ukeda H., Sawamura M. *Flavour and Fragrance Journal*, 2002, vol. 17, pp. 169–174. <https://doi.org/10.1002/ffj.1076>.
- Vittenberg A.G., Ioffe B.V., Borisov V.N. *Zhurnal analiticheskoy khimii*, 1974, vol. 29, no. 9, pp. 1795–1804. (in Russ.).
- Vittenberg A.G. *Zhurnal analiticheskoy khimii*, 2003, vol. 58, no. 1, pp. 6–21. (in Russ.).
- Kolb B. *J. of Chromatography A*, 1999, vol. 842, pp. 163–205.
- Stolyarov B.V., Savinov I.M., Vitenberg A.G. *Rukovodstvo k prakticheskim rabotam po gazovoy khromatografii: uchebnoye posobiye dlya vuzov*. [Guide to practical work on gas chromatography: a textbook for universities]. Leningrad, 1988, 336 p. (in Russ.).
- Bekhterev V.N., Malyarovskaya V.I. *Mendeleev Communications*, 2019, vol. 29, pp. 592–594.
- Tranchida P.Q., Bonaccorsi I., Dugo P., Mondello L., Dugo G. *Flavour and Fragrance Journal*, 2012, vol. 27, pp. 98–123.
- Osman A. *Fruit Oils: Chemistry and Functionality*. Springer, Cham, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12473-1_26.
- Dugo G., Verzera A., d'Alcontres I.S., Cotroneo A., Ficarra R. *Flavors and Fragrance Journal*, 1994, vol. 8, no. 1, pp. 25–33. <https://doi.org/10.1080/10412905.1994.9698342>.

Received April 10, 2023

Revised February 14, 2024

Accepted October 24, 2024

* Corresponding author.

Сведения об авторах

Бехтерев Виктор Николаевич – доктор химических наук, старший научный сотрудник,
vic-bekhterev@yandex.ru

Кулян Раиса Васильевна – кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией селекции, ведущий научный сотрудник,
raisa.kulyan22@gmail.com

Белоус Оксана Геннадьевна – доктор биологических наук, доцент, заведующая отделом физиологии и биохимии растений, главный научный сотрудник,
oksana191962@mail.ru

Information about authors

Bekhterev Viktor Nikolaevich – Doctor of Chemical Sciences, Senior Researcher, vic-bekhterev@yandex.ru

Kulyan Raisa Vasilievna – Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Selection Laboratory, Leading Researcher, raisa.kulyan22@gmail.com

Belous Oksana Gennadievna – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Plant Physiology and Biochemistry, Chief Researcher, oksana191962@mail.ru