

ISSN 1561-8323 (Print)
ISSN 2524-2431 (Online)

БИОЛОГИЯ BIOLOGY

УДК 634.334:581.45
<https://doi.org/10.29235/1561-8323-2018-62-4-439-446>

Поступило в редакцию 10.05.2018
Received 10.05.2018

Н. В. Гетко¹, А. И. Алехна¹, В. П. Субоч², член-корреспондент В. В. Титок¹

¹Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь

²Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию,
Минск, Республика Беларусь

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЛЕТУЧИХ КОМПОНЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ ЦИТРУСОВЫХ РАСТЕНИЙ, КУЛЬТИВИРУЕМЫХ В УСЛОВИЯХ ОРАНЖЕРЕИ

Аннотация. Исследован химический состав легко летучих компонентов листьев девяти таксонов, представляющих виды и разновидности рода цитрус (*Citrus* L.), которые культивируются в условиях оранжерей Центрального ботанического сада НАН Беларуси: *C. unshiu* (Tanaka ex Swingle) Marcow., *C. grandis* Osbeck cv. Bogatyr, *C. sinensis* Osbeck cv. Navel, *C. medica* L. cv. Sarcodactilis, *C. medica* cv. Павловский шишкан, Лимон Скерневицкий ('*Ponderosa lemon*') – клон гибрида *C. medica* L. × *C. limon* (L.) Burm. f., *Citrofortunella microcarpa*, *C. limon* (L.) Osbeck cv. Павловский лимон, *C. meyeri* (Ju. Tanaka). Летучие компоненты извлекали с помощью твердофазного микроэкстрактора фирмы Supelco™, размещенного в паровоздушном пространстве над пробами воздушно сухих, мелко измельченных и нагретых до 40 °С образцов листьев. Анализ компонентного состава экстрактов осуществляли методом GC/MS с использованием системы Agilent Technologies 6850 Series II (Network GC System/5975B (VL MSD)). В листьях исследуемых цитрусовых было выявлено 36 компонентов: монотерпены (14), сесквитерпены (11), а также кислородсодержащие соединения: терпеновые спирты, альдегиды, эфиры (11). Как показали исследования, циклические углеводороды монотерпен (Z)-β-trans-Осимен и 3 сесквитерпена (β-caryophyllene, (3E,6E)-α-farnesene и α-caryophyllene) выявлены в составе летучих компонентов листьев у всей исследуемой группы цитрусовых. При этом, 2 сесквитерпена: (3E,6E)-α-farnesene и α-caryophyllene, исходя из их долей в общем объеме летучих соединений, являются для большинства таксонов доминантными. Сесквитерпен beta-Elementene присутствует в качестве доминантного компонента исключительно у видов и разновидностей, представляющих так называемую группу сладких цитрусовых: *C. unshiu*, *C. grandis* cv. Bogatyr, *C. sinensis* × cv. Navel, *C. meyeri*, что позволяет рассматривать его в качестве значимого признака в таксономии рода *Citrus* L.

Ключевые слова: летучие компоненты листьев, монотерпены, сесквитерпены, бета-элемен, *Citrus*

Для цитирования: Химический состав летучих компонентов в листьях цитрусовых растений, культивируемых в условиях оранжерей / Н. В. Гетко [и др.] // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2018. – Т. 62, № 4. – С. 439–446. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2018-62-4-439-446>

Nelli V. Hetka¹, Anton I. Alehna¹, Victor P. Suboch², Corresponding Member Vladimir V. Titok¹

¹Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

²Scientific and Practical Foodstuffs Centre of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

CHEMICAL COMPOSITION OF VOLATILE COMPONENTS IN THE LEAVES OF CITRUS PLANTS CULTIVATED UNDER GREENHOUSE CONDITIONS

Abstract. The article presents the results of research of the chemical composition of easily volatile components in the leaves of nine taxa representing species and varieties of the genus *Citrus* L. cultivated under the conditions of greenhouses of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus as: *C. unshiu* (Tanaka ex Swingle) Marcow., *C. grandis* Osbeck cv. Bogatyr, *C. sinensis* Osbeck cv. Washington Navel, *C. medica* L. cv. Sarcodactilis, *C. medica* cv. Pavlovskiy Shishkan, Lemon Skernevitsky ('*Ponderosa lemon*') is a clone of the hybrid *C. medica* L. × *C. limon* (L.) Burm. f., *Citrofortunella microcarpa*, *C. limon* (L.) Osbeck cv. Pavlovskiy, *C. meyeri* (Ju. Tanaka). The volatile components were extracted using a Supelco™ solid-phase microextractor placed in the vapour-air space above air-dried, finely ground and heated to 40 °C leaf samples. The component composition of the extracts was analyzed by the GC/MS method using the Agilent Technologies 6850 Series II system (Network GC System/5975B (VL MSD)). Total 36 components were identified in the leaves of citrus plants: monoterpenes (14), sesquiterpenes (11), and oxygen-containing compounds: terpene alcohols, aldehydes, ethers (11). The studies have shown that the cyclic hydrocarbons monoterpene (Z)-β-trans-Ocimene and 3 sesquiterpenes (β-caryophyllene, (3E, 6E)-α-farnesene, and α-caryophyllene) were detected in the volatile components in leaves in the

whole citrus group. While 2 sesquiterpenes: (3E,6E)- α -farnesene and α -caryophyllene are dominant for the most taxa based on their proportions in the total volume of volatile compounds. Sesquiterpene beta-Elementene is present as a dominant component exclusively in species and varieties representing the so-called “sweet citrus” group as it follows from the results of the studies: *C. unshiu*, *C. grandis* cv. Bogatyr, *C. sinensis* × cv. Washington Navel, *C. meyeri*, which allows one to consider it as a significant feature in the taxonomy of the genus *Citrus* L.

Keywords: leaf volatile components, monoterpenes, sesquiterpenes, beta-Elementene, *Citrus*

For citation: Hetka N. V., Alehna A. I., Suboch V. P., Titok V. V. Chemical composition of volatile components in the leaves of citrus plants cultivated under greenhouse conditions. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2018, vol. 62, no. 4, pp. 439–446 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2018-62-4-439-446>

Введение. Эфирные масла цитрусовых растений, являющиеся смесью легко летучих компонентов различной химической природы, широко используются в пищевой, фармацевтической и косметической индустрии в качестве ароматических, антибактериальных, противогрибковых и антиоксидантных веществ [1; 2]. Тем не менее, многие аспекты в отношении их практического использования не изучены. Это касается, прежде всего, стандартизации их состава, выявления активных компонентов и механизма их действия [3]. Актуально также и то, что летучие компоненты эфирных масел цитрусовых могут служить базой для оценки их внутривидового разнообразия, а применение современных методов GC и GC/MS позволяет в ряде случаев выявить хемотипы.

Таксономия внутри рода *Citrus* L. сложна, противоречива и запутана, в основном благодаря половой совместимости между цитрусами и близкими родами, высокой частоте почковых мутаций и длительной истории культивирования. Представители рода *Citrus* L. имеют в большинстве китайское происхождение и более чем 4000 лет истории их выращивания. Прежде всего, это касается таких видов, как *C. ichangensis* Swingle, *C. grandis* Osbeck, *C. reticulata* Blanco, *C. aurantium* L. Согласно молекулярно-генетическим исследованиям [4; 5], лишь три истинных вида: мандарин, цитрон и помело были прародителями большинства видов цитрусовых, возникших в природе путем естественной гибридизации и соматического мутагенеза.

Мандарин (*C. reticulata* Blanco.) – это редкий негибридный вид и единственный сладкий плод среди родительских видов цитрусовых. В [6] приведен обзор современных исследований, касающихся биоразнообразия, выявленного на основе молекулярно-генетического анализа в пределах рода *Citrus* L. (видов, разновидностей, гибридов). Так, у мандарина обнаружено большое число гибридов и соматических мутаций, представляющих две группы: Satsuma и Clementine (*Citrus clementina* Hort. ex Tan. – гибрид *C. reticulata* × *C. aurantium* var. *amara*). Почти все гибриды и сорта этих групп мандаринов, несмотря на наблюдаемые фенотипические различия, имеют низкий уровень генетического разнообразия и одинаковую генетическую конструкцию. Они являются соматическими мутантами и рассматриваются в настоящее время как *Citrus unshiu* Markovich (группа Satsuma) и как *Citrus species* (группа Clementine) [6; 7].

Цитрон (*C. medica* L.) является одним из самых чистых видов, поскольку для него характерно исключительно самоопыление, и он считается родителем отцовской линии любого цитрусового гибрида. Цитрон – прародитель лимона и его культиваров (*C. limon* (L.) Burm. f.). Из 56 вариаций, подвергнутых молекулярно-генетическому анализу, низкий уровень полиморфизма отмечен у лимонов, полученных клональной селекцией, и высокое генетическое разнообразие – у лимонов гибридного происхождения. При этом в 45 случаях высокое генетическое сходство обнаружено и у мутантов и у гибридов, а самыми удаленными от этой группы оказались разновидности ‘Ponderosa’ и ‘Meyer’ [6].

Помело (*C. maxima* (Burm.) Merr.) – один из родительских видов лимонов, апельсинов и грейпфрутов. Из 35 культиваров помело и грейпфрута все помело оказались моноэмбриональными и отличаются высоким уровнем полиморфизма, в то время как для грейпфрутов (*C. paradisi* Macf.) характерен низкий уровень генетических вариаций, и это предполагает их происхождение от одного родительского дерева путем почковых мутаций [6].

Сладкий апельсин (*C. × sinensis* L. Osbeck) – природный гибрид помело (*C. grandis* (Burm.) Merr.) и мандарина (*C. reticulata* Blanco), а также многие виды данного рода: померанец – *C. aurantium* L. (гибрид *C. reticulata* × *C. grandis*), грейпфрут – *C. × paradisi* Macf., и лимон – *C. limon* (L.) Burm. f. возникли в природе в результате повторных скрещиваний между мандарином, помело, цитроном и другими представителями рода *Citrus* L. [7].

Летучие компоненты культивируемых цитрусовых видов в настоящее время широко исследуются. Например, F. A. Jabalpurwala и соавт. [8] обнаружили количественные различия при сравнении состава летучих компонентов цветков грейпфрута, кислого апельсина, сладкого апельсина, лимона, мандарина, помело и лайма. Несмотря на большой экономический и медицинский потенциал цитрусовых культур, информации, касающейся летучих компонентов диких видов, все еще недостаточно.

В оранжерейной культуре Центрального ботанического сада НАН Беларуси (ЦБС) выращивается в настоящее время более 100 представителей рода *Citrus* L.: виды, разновидности и близкие к ним гибриды и сорта [9]. С учетом предполагаемых родительских видов (цитрон, мандарин, помело), мы условно объединили их в две группы: 1) гибриды и сорта цитрона (*C. medica* L.) и лимона (*Citrus limon* (L.) Burm. f.); 2) виды, разновидности, гибриды и сорта мандарина (*C. reticulata* Blanco), помело (*C. grandis* Osbeck), апельсина (*C. sinensis* Osbeck).

Цель работы – на основе анализа химического состава летучих компонентов листьев у таксонов рода *Citrus* L. дать сравнительную характеристику его разнообразию в коллекционном фонде ЦБС НАН Беларуси в оранжерейной культуре и выявить ассортимент образцов, перспективных в качестве объектов для создания композиций ароматерапевтических растений в строящейся новой экспозиционной оранжерее ЦБС НАН Беларуси.

Материалы и методы исследований. В качестве объектов исследований привлечены виды, естественные гибриды и близкие к ним разновидности рода *Citrus* L. (9 наименований):

C. unshiu (Yu. Tanaka ex Swingle) Marcov. – вид бессемянного мандарина, родом из Китая, впоследствии ввезенный в западные регионы Японии, а затем распространен по всему миру;

C. grandis Osbeck cv. Bogatyr. Сорт помело создан в 2013 г. в ЦБС путем отбора из числа перспективных сеянцев. Авторы – В. В. Титок, А. А. Алехна, П. А. Роговой;

C. sinensis Osbeck cv. Navel – самые распространенные промышленные американские сорта «пупочных» апельсинов, происхождение которых неизвестно, но наиболее вероятно – клонирование из почки, взятой на апельсиновом дереве;

C. medica L. Павловский шишкан – разновидность цитрона. В ботанических системах Swingle и Tanaka цитрон рассматривается как вид – *C. medica* L. [4]. Это один из четырех природных видов цитрусовых, остальные – помело, мандарин и папеда [5];

C. medica L. cv. Sarcodactylis – цитрон пальчатый. Экзотическая разновидность цитрона, выращиваемая в Китае и Японии. Его ароматный плод разделен на несколько долей, подобных пальцу, с малым количеством мякоти, или без мякоти, с недоразвитыми семенами (или без семян);

Клон 'Ponderosa lemon' гибрида *C. medica* L. × *C. limon* (L.) Burm.f. – лимон Скерневицкий;

Citrofortunella microcarpa cv. – каламондин японский пестролистный – цитрофортунелла, межродовой гибрид цитруса и подрода фортунеллы – в данном случае мандарина и кумквата. В отличие от родителей этот цитрус не имеет высоких вкусовых качеств, хотя аромат плодов прекрасен;

C. limon (L.) Osbeck cv. Павловский лимон. Лимон в кадках, культура которого известна еще с древних времен. В России первые лимонные деревья в комнатах выращивались еще при Петре I. Значение цитрусовых растений в комнатной культуре, особенно в районах Севера и средней полосы, чрезвычайно велико. Они декоративны и, кроме того, являются источником витаминов и сильными антибиотиками.

C. meyeri (Ju. Tanaka) – цитрус Мейера, межвидовой природный гибрид, полученный путем естественного скрещивания лимона и мандарина. Родина вида – Китай.

Отбор проб листьев с модельных деревьев проводили в период отрастания побегов (февраль, март). Летучие компоненты из воздушно-сухих образцов листьев извлекали с помощью твердофазного микроэкстрактора фирмы Supelco™. Его вводили в паровоздушное пространство над поверхностью размещенных в специальном флаконе и нагретых до 40 °С мелкоизмельченных, воздушно-сухих образцов листьев, и летучие компоненты накапливались на адсорбенте (волокон фирмы Supelco™).

Анализ компонентного состава экстрактов осуществляли методом GC/MS с использованием системы Agilent Technologies 6850 Series II (Network GC System /5975B (VL MSD)). Разделение компонентов проводили на капиллярной колонке HP-5MS длиной 30 м с внутренним диаметром

0,25 мм и толщиной пленки неподвижной фазы 0,25 мкм. Идентификацию каждого из компонентов осуществляли методом сравнения экспериментальных масс-спектров со спектрами базы данных и оценивали относительное содержание по площади их пиков на хроматограмме. Учитывали компоненты, содержание которых в пробах составляло более 1 % и степень совпадения экспериментальных масс-спектров с библиотечными была в пределах 95–99 %.

Результаты и их обсуждение. Ранее нами [10] у 15 гибридных видов, форм и сортов лимона в листьях были выявлены 22 летучие субстанции. Генотипы различались как по их числу (от 6 до 14), так и по долевному содержанию. Из монотерпенов доминантными соединениями для всей исследуемой группы таксонов являются: **D-лимонен, доля содержания которого в летучих субстанциях листьев у разных генотипов варьирует в пределах от 4 до 35 %, а также сесквитерпен β -кариофиллен, долевого содержания которого, в зависимости от генотипа, варьирует в пределах от 4 до более 45 %.** Среди кислородсодержащих соединений у таксонов данной группы цитрусовых преобладают: цитронеллаль (монотерпеновый альдегид) с ароматом лимона у 11 таксонов; цитраль (монотерпеновый ациклический альдегид) и его изомеры у 12 таксонов, гераниол (терпеновый спирт) и его эфиры (*Z,E*-геранил ацетат) характерны для большинства исследуемых сортов и гибридов лимона в качестве доминантных соединений.

Исследования летучих компонентов листьев у 9 видов, разновидностей и гибридов, *C. reticulata*, *C. sinensis*, *C. grandis* [11] показали, что среди 23 выявленных субстанций преобладают соединения класса изопреноидов – монотерпены ($C_{10}H_{16}$) – изомеры пинена, мирсена карена, цимена, лимонена, оцимена, терпинена, а также сесквитерпены ($C_{15}H_{24}$) – изомеры элемена, кариофиллена, кадинена и фарнезена. Доля их в общем объеме компонентов различается и зависит от генотипа. Характерными и доминантными для данной исследуемой группы таксонов соединениями являются сесквитерпены: бета-элемен, бета-кариофиллен и альфа-кариофиллен [11].

M. Azam и соавт. с использованием аналогичных методов экстракции и анализа летучих компонентов провели сравнительное изучение состава летучих компонентов листьев у 16 культиваров цитрусов, в т. ч. мандарин (3), сладкий апельсин (3), помело (4), лимон (2), гибридные формы (4). Авторами показано, что стадия развития листа и генотип оказывают влияние на качественный и количественный состав летучих компонентов листьев исследуемых таксонов, а полученная информация может быть использована для промышленных и кулинарных целей [12].

Другие китайские исследователи [13] изучили влияние генетических и эволюционных факторов на химический состав и содержание летучих соединений цветков у 9 видов и разновидностей рода *Citrus* L. и их предполагаемых гибридов [13]. Были идентифицированы 94 летучие субстанции, включая различные терпены, терпеновые спирты и альдегиды, которые составили от 80 до 92 % от общего объема летучих компонентов цветков. В результате авторы пришли к заключению, что гибридные виды и разновидности в значительной степени схожи по химическому составу и количественному содержанию летучих соединений с их предполагаемыми родителями, а полученная информация оказалась полезной как для оценки и сохранения генетического потенциала, так и в таксономии рода *Citrus* L. [13].

Приведенные в данной работе результаты идентификации химического состава легко летучих компонентов, выделяемых листьями видов, естественных гибридов и близких к ним разновидностей в пределах рода *Citrus* позволяют оценить межвидовое и внутривидовое разнообразие таксонов (таблица).

Как следует из результатов, для всей изученной группы таксонов (9) выявлено 36 основных летучих субстанций, составляющих в сумме идентифицированных для каждого из них долю более 90 %, и с вариациями от 10 до 22 компонентов. Наиболее широким спектром этих соединений характеризуются листья *C. medica* cv. Павловский шишкан (22), а наименьшим – листья лимона Скерневицкого, клона 'Ponderosa lemon', гибрида *C. medica* \times *C. limon* (10).

Из монотерпенов идентифицированы: (*Z*) β -trans-Ocimene у 8 таксонов, β -Pinene и D-Limonene – у 7, γ -Terpinene – у 5, p-Cymene – у 4, 3-Carene – у 2, а ± 4 Carene – идентифицирован в минорном объеме только у одной разновидности – *C. grandis* cv. Bogatyr. Сесквитерпеновые углеводороды представлены доминантными соединениями: β -Caryophyllene (у всех 9 таксонов), α -Caryophyllene, (3E,6E)Farnesene (у 8 таксонов), (+)-delta-Cadinene (у 5 таксонов) и β -Elemene (у 5 таксонов).

Летучие компоненты, идентифицированные в листьях видов и разновидностей *Citrus L.*, %
 Volatile components identified in the leaves of *Citrus L.* species and varieties, %

Время удержания, мин Retention time, min	Идентифицированные компоненты Identified components	<i>C. unshiu</i> (Tanaka ex Swingle) Marcov.	<i>C. grandis</i> Osbeck cv. Bogatyr	<i>C. sinensis</i> Osbeck cv. Navel	<i>C. medica L.</i> cv. <i>Sarcodactylis</i>	<i>C. medica L.</i> cv. Павловский шпикан	Лимон Скерлевичский, клон <i>Ponderosa lemon</i> -гибрида <i>C. medica L.</i>	<i>Citrofortunella microcarpa</i> cv. Каламондин японский пестролистный	<i>C. limon</i> (L.) Osbeck, cv. Павловский лимон	<i>C. meyeri</i> (Ju. Tanaka)
7.905	cis-Sabinene, C ₁₀ H ₁₆							0,96		
7.95	β-Pinene, C ₁₀ H ₁₆			1,53	0,20	0,32	4,61	1,98	2,98	1,26
7.977	β-Phellandrene		19,08							
8.3	β-Myrcene, C ₁₀ H ₁₆		3,92	0,61	0,18	0,94		0,30	1,52	
8.694–75	3-Carene, C ₁₀ H ₁₆		6,79			0,71				
9.108–145	D-Limonene	0,87		13,74	3,12	13,74	19,0	0,99	7,37	
9.459–5	(Z)-β-trans-Ocimene, C ₁₀ H ₁₆	0,63	10,90	2,56	0,25	3,55		2,88	2,22	5,03
9.72–85	γ-Terpinene, C ₁₀ H ₁₆	2,48	1,92		0,75	0,35		1,50		
10.264	p-Cimene, C ₁₀ H ₁₆	0,64			0,15	0,21		0,13		
10.276	±4 Carene, C ₁₀ H ₁₆		2,85							
10.45–10.494	Lynalool, C ₁₀ H ₁₈ O	1,34	4,29	6,33		0,31		1,08		3,71
10.94	Neo-allo-Ocimene, C ₁₀ H ₁₆					0,30		0,04		
10.99	E,E-Cosmene, C ₁₀ H ₁₄							0,43		
11.336–414	β-Citronellal, C ₁₀ H ₁₈ O		5,60	6,46	26,59	1,37			2,61	8,96
12.526–55	-(Z)Nerol, (Z)-Geraniol		0,83	0,28	1,09		16,73		30,24	4,09
12.6–7	(R)-β-Citronellol; C ₁₀ H ₂₀ O					1,90			15,11	3,86
13.2	(E)-Citral, C ₁₀ H ₁₆ O		1,12	0,53	10,74	1,88				
13.686	n-Undecyl aldehyde, C ₁₁ H ₂₂ O				1,04					
13.913	4-[2-Chloro-6-(4-nitrophenyl)-4-pyrimidinyl] phenyl methyl ether, C ₁₇ H ₁₂ ClN ₃ O ₃				21,04	0,13				
14.2	γ-Elemene, C ₁₅ H ₂₄	0,67						8,32		

Окончание таблицы

Время удержания, мин Retention time, min	Идентифицированные компоненты Identified components	<i>C. unshiu</i> (Tanaka ex Swingle) Masov.	<i>C. grandis</i> Osbeck cv. Bogatyr	<i>C. sinensis</i> Osbeck cv. Navel	<i>C. medica</i> L. cv. <i>Sarcodactylis</i>	<i>C. medica</i> L., cv. Павловский шпшкан	Лимон Скерлевичский, клон <i>Ponderosa lemon</i> - гибрида <i>C. medica</i> L.	<i>Citrofortunella microcarpa</i> cv. Каламондин японский пестролистный	<i>C. limon</i> (L.) Osbeck, cv. Павловский лимон	<i>C. meyeri</i> (Du. Panaka)
14.27–33	Lemonol, Geranylol			0,81			1,86			5,96
14.43–56	(Z)-cis-geranyl acetate, C ₁₂ H ₂₀ O ₂			0,53	7,64	5,96	6,10			4,35
14.577–68	Acetic acid geranyl acetate, C ₁₄ H ₂₄ O ₂ , эфир					10,09	4,55			
14.7–8	Cyclopropane, 1,1-dimethyl-2-(3-methyl-1,3-butadienyl), C ₁₀ H ₁₆							0,49	5,47	1,12
14.91	Geranyl acetate					27,23				
15.098	β-Elemente, C ₁₅ H ₂₄	70,26	20,20	42,27	2,53					21,90
15.38–4	Caryophyllene, C ₁₅ H ₂₄	13,15	6,33	9,26	7,61	21,12	3,52	26,78	23,95	26,00
15.508	α-Bergamotene						21,29			
15.615	trans-Geranyl acetone						1,82			
15.7	Cis-β-Farnesene		3,73	3,32	0,22	1,44				
15.9	α-Caryophyllene	3,05	1,89	3,51	0,95	0,99		1,07	0,90	3,00
16.28	(+)-delta-Cadinene, C ₁₅ H ₂₄	1,15		0,44	0,25	0,05		16,43		
16.369	(3E,6E)-alpha-Farnesene, C ₁₅ H ₂₄	4,18	2,98	1,28	6,62	0,32		31,45	3,33	3,97
16.4	(S)-alpha- и beta-Bisabolene, C ₁₅ H ₂₄						18,34			
16.47	Isocaryophyllene, C ₁₅ H ₂₄					3,80				
16.54	Aromadendrene, C ₁₅ H ₂₄							2,37		
Итого		97,36	92,44	90,70	92,97	97,01	97,82	95,22	95,8	93,21

Из кислородсодержащих соединений у 6 таксонов в составе летучих компонентов листьев присутствуют терпеновые спирты Linalool и (Z)-Geraniol, альдегиды – β -Citronellal, (E)-Citral и эфиры – Geranyl acetate, (Z)-cis-Geranyl acetate.

Особое внимание обращаем на доленое содержание в составе летучих компонентов сесквитерпена бета-элемена, являющегося характерным доминантным соединением исключительно для группы сладких цитрусовых, сортов и гибридов мандарина Уншиу – *C. unshiu* (>70 %), апельсина – *C. sinensis* cv. Navel (>42 %), о чем сообщалось нами также ранее [11]. Бета-элемен в составе летучих соединений листьев выявлен и у *C. meyeri* (Ju. Tanaka) – межвидового гибрида лимона и мандарина [10].

Как показывают результаты, бета-элемен не был идентифицирован в составе летучих компонентов листьев сортов и гибридов лимона и цитрона. А у *C. medica* L. cv. Sarcodactilis – сладкой разновидности цитрона, он присутствует в незначительном доленом объеме (2,5 %).

Заключение. Таким образом, исследован химический состав легко летучих компонентов листьев девяти таксонов, представляющих виды и разновидности рода *Citrus* L., которые культивируются в условиях оранжерей ЦБС: *C. unshiu* (Tanaka ex Swingle) Marcov., *C. grandis* Osbeck cv. Bogatyr, *C. sinensis* Osbeck cv. Navel, *C. medica* L. cv. Sarcodactilis, клон 'Ponderosa lemon', гибрида *C. medica* L. \times *C. limon* (L.) Burm.f. – лимон Скерневицкий, *C. medica* cv. Павловский шипкан, *Citrofortunella microcarpa*, *C. \times limon* (L.) Osbeck cv. Павловский лимон, *C. meyeri* (Ju. Tanaka). В листьях исследуемых цитрусовых выявлено 36 компонентов: монотерпены (14), сесквитерпены (8), а также кислородсодержащие соединения: терпеновые спирты, альдегиды, эфиры (11). Как показали исследования, циклические углеводороды монотерпен (Z)- β -trans-Ocimene и 3 сесквитерпена (β -Caryophyllene, (3E,6E)- α -Farnesene и α -Caryophyllene) выявлены в составе летучих компонентов листьев у всей исследуемой группы цитрусовых. Два сесквитерпена: (3E,6E)- α -Farnesene и α -Caryophyllene, исходя из их долей в общем объеме летучих соединений, являются для большинства изученных таксонов доминантными. Сесквитерпен beta-Elementene присутствует в качестве доминантного компонента исключительно у видов и разновидностей, представляющих так называемую группу сладких цитрусовых: *C. unshiu*, *C. grandis* cv. Bogatyr, *C. sinensis* \times cv. Navel, *C. meyeri*, что позволяет рассматривать его наличие в качестве значимого таксономического признака рода *Citrus* L., а также при отборе перспективных таксонов для создания ароматических экспозиций в оранжереях и интерьерах различного функционального назначения.

Список использованных источников

1. D-Limonene: a bioactive food component from citrus and evidence for potential role in breast cancer prevention and treatment / J. Miller [et al.] // *Oncology Reviews*. – 2011. – Vol. 5, N 1. – P. 31–42. <https://doi.org/10.4081/oncol.2011.31>
2. Volatile constituents and antioxidant activity of peel, flowers and leaf oils of *Citrus aurantium* L. growing in Greece / E. Sarrou [et al.] // *Molecules*. – 2013. – Vol. 18, N 9. – P. 10639–10647. <https://doi.org/10.3390/molecules180910639>
3. Chemical variability of peel and leaf essential oils of mandarins from *Citrus reticulata* blanco / M. L. Lota [et al.] // *Biochemical Systematics and Ecology*. – 2000. – Vol. 28, N 1. – P. 61–78. [https://doi.org/10.1016/s0305-1978\(99\)00036-8](https://doi.org/10.1016/s0305-1978(99)00036-8)
4. Moore, G. A. Oranges and lemons: clues to the taxonomy of Citrus from molecular markers / G. A. Moore // *Trends Genet.* – 2001. – Vol. 17, N 9. – P. 536–540. [https://doi.org/10.1016/s0168-9525\(01\)02442-8](https://doi.org/10.1016/s0168-9525(01)02442-8)
5. Genome-wide characterization and expression analysis of genetic variants in sweet orange / W.-B. Jiao [et al.] // *The Plant Journal*. – 2013. – Vol. 75, N 6. – P. 954–964. <https://doi.org/10.1111/tpj.12254>
6. Uzun, A. Genetic Diversity in Citrus / A. Usun, T. Yesiloglu // *Genetic Diversity in Plants* / ed. M. Çalışkan. – 2012. – P. 213–231. <https://doi.org/10.5772/32885>
7. Barrett, H. C. A numerical taxonomic study of affinity relationships in cultivated citrus and its close relatives / H. C. Barrett, A. M. Rhodes // *Systematic Botany*. – 1976. – Vol. 1, N 2. – P. 105–136. <https://doi.org/10.2307/2418763>
8. Jabalpurwala, F. A. A comparison of citrus blossom volatiles / F. A. Jabalpurwala, J. M. Smoot, R. L. Rouseff // *Phytochemistry*. – 2009. – Vol. 70, N 11–12. – P. 1428–1434. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2009.07.031>
9. Генетические ресурсы цитрусовых культур в России, Украине и Беларуси / Р. В. Кулян [и др.] // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. – 2017. – Т. 21, № 5. – С. 506–514. <https://doi.org/10.18699/vj17.21-0>
10. Сравнительный анализ летучих компонентов листьев гибридов и сортов лимона (*Citrus \times limon* (L.) Burm. f.), культивируемых в условиях оранжерей / Н. В. Гетко [и др.] // *Весці НАН Беларусі. Сер. біял. навук.* – 2014. – № 2. – С. 5–10.
11. Химический состав летучих компонентов листьев видов и сортов мандарина, апельсина, грейпфрута и помело (*Rutaceae* Juss.), культивируемых в оранжереях / Н. В. Гетко [и др.] // *Субтропическое и декоративное садоводство*. – 2017. – Т. 62. – С. 191–199.

12. Citrus leaf volatiles as affected by development stage and genetic type / M. Azam [et al.] // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2013. – Vol. 14, N 9. – P. 17744–17766. <https://doi.org/10.3390/ijms140917744>
13. Variation patterns of the volatile compounds in flowers of Chinese native Citrus species and their taxonomic implications / W. Xi [et al.] // *Journal of Food and Nutrition Research*. – 2015. – Vol. 3, N 4. – P. 235–245. <https://doi.org/10.12691/jfnr-3-4-2>

References

1. Miller J., Thompson P., Hakim I., Chow H. H. S., Thomson C. D-Limonene: a bioactive food component from citrus and evidence for potential role in breast cancer prevention and treatment. *Oncology Reviews*, 2011, vol. 5, no. 1, pp. 31–42. <https://doi.org/10.4081/oncol.2011.31>
2. Sarrou E., Chatzopoulou P., Dimassi-Theriou K., Therios I. Volatile constituents and antioxidant activity of peel, flowers and leaf oils of *Citrus aurantium* L. growing in Greece. *Molecules*, 2013, vol. 18, no. 9, pp. 10639–10647. <https://doi.org/10.3390/molecules180910639>
3. Lota M. L., Serra D. de Rocca, Tomi F., Joseph C. Chemical variability of peel and leaf essential oils of mandarins from *Citrus reticulata* blanco. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2000, vol. 28, no. 1, pp. 61–78. [https://doi.org/10.1016/S0305-1978\(99\)00036-8](https://doi.org/10.1016/S0305-1978(99)00036-8)
4. Moore G. A. Oranges and lemons: clues to the taxonomy of Citrus from molecular markers. *Trends in Genetics*, 2001, vol. 17, no. 9, pp. 536–540. [https://doi.org/10.1016/S0168-9525\(01\)02442-8](https://doi.org/10.1016/S0168-9525(01)02442-8)
5. Jiao W.-B., Huang D., Xing F., Hu Yi., Deng X.-H., Xu Qi., Chen L.-L. Genome-wide characterization and expression analysis of genetic variants in sweet orange. *The Plant Journal*, 2013, vol. 75, no. 6, pp. 954–964. <https://doi.org/10.1111/tpj.12254>
6. Uzun A., Yesilogu T. Genetic Diversity in Citrus. Çalişkan M., ed. *Genetic Diversity in Plants*, 2012, pp. 213–231. <https://doi.org/10.5772/32885>
7. Barrett H. C., Rhodes A. M. A numerical taxonomic study of affinity relationships in cultivated citrus and its close relatives. *Systematic Botany*, 1976, vol. 1, no. 2, pp. 105–136. <https://doi.org/10.2307/2418763>
8. Jabalpurwala F. A., Smoot J. M., Rouseff R. L. A comparison of citrus blossom volatiles. *Phytochemistry*, 2009, vol. 70, no. 11–12, pp. 1428–1434. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2009.07.031>
9. Kulyan R. V., Samarina L. S., Rakhmangulov R. S., Kikavskii I. V., Alehna A. I. Citrus genetic resources in Russia, Ukraine, Belarus: conservation and management. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2017, vol. 21, no 5, pp. 506–514 (in Russian). <https://doi.org/10.18699/vj17.21-o>
10. Hetka N. V., Alehna A. I., Subach V. P., Pochytskaya I. M., Titok V. V. Leaf volatile components of lemon hybrids and varieties (*Citrus × limon* (L.) Burm. f.), cultivated in greenhouse conditions. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Biyalagichnaya seryya = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2014, no. 2, pp. 5–10 (in Russian).
11. Hetka N. V., Alehna A. I., Titok V. V., Subach V. P. Chemical composition of volatile components in the leaves of species and cultivars of tangerine, orange, grapefruit and pomelo (*Rutaceae* Juss.), cultivated in greenhouses. *Subtropicheskoye i dekorativnoe sadovodstvo = Subtropical and Ornamental Gardening*, 2017, vol. 62, pp. 191–199 (in Russian).
12. Azam M., Jiang Q, Zhang B., Xu C., Chen K. Citrus leaf volatiles as affected by development stage and genetic type. *International Journal of Molecular Sciences*, 2013, vol. 14, no. 9, pp. 17744–17766. <https://doi.org/10.3390/ijms140917744>
13. Xi W., Li L., Jiang D., Jiao B., Zhou Z. Variation patterns of the volatile compounds in flowers of chinese native Citrus species and their taxonomic implications. *Journal of Food and Nutrition Research*, 2015, vol. 3, no. 4, pp. 235–245. <https://doi.org/10.12691/jfnr-3-4-2>

Информация об авторах

Гетко Нелли Владимировна – д-р биол. наук, доцент, заведующая лабораторией. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, Минск, Республика Беларусь). E-mail: N.Hetko@cbg.org.by.

Алехна Антон Иванович – ст. науч. сотрудник. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, Минск, Республика Беларусь). E-mail: anton.alekhna@gmail.com.

Субоч Виктор Прокофьевич – канд. хим. наук, вед. науч. сотрудник. НИЦ НАН Беларуси по продовольствию (ул. Козлова, 29, 220037, Минск, Республика Беларусь). E-mail: SubochVP@mail.ru.

Титок Владимир Владимирович – член-корреспондент, д-р биол. наук, доцент, директор. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, Минск, Республика Беларусь). E-mail: V.Titok@cbg.org.by.

Information about the authors

Hetka Nelli Vladimirovna – D. Sc. (Biology), Assistant Professor, Head of the Laboratory. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2B, Sarganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: N.Hetko@cbg.org.by.

Alehna Anton Ivanovic – Senior researcher. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2B, Sarganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: anton.alekhna@gmail.com.

Suboch Viktor Prokofievich – Ph. D. (Chemistry), Leading researcher. Food Research and Engineering Center of the National Academy of Sciences of Belarus (29, Kozlov Str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: SubochVP@mail.ru.

Titok Vladimir Vladimirovich – Corresponding Member, D. Sc. (Biology), Assistant Professor, Director. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2B, Sarganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: V.Titok@cbg.org.by.