

ISSN 1029-8940 (Print)

ISSN 2524-230X (Online)

УДК 582.745.12/13:581.45:[581.192.2:547.52]:635.918

<https://doi.org/10.29235/1029-8940-2021-66-3-312-319>

Поступила в редакцию 30.04.2021

Received 30.04.2021

Н. В. Гетко¹, Е. В. Атесленко¹, Р. В. Кулян², В. П. Субоч³, В. В. Титок¹

¹Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

²Субтропический научный центр РАН, Сочи, Российская Федерация

³Научно-практический центр НАН Беларуси по продовольствию, Минск, Республика Беларусь

АРОМАТИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ, ВЫДЕЛЯЕМЫЕ РАСТЕНИЯМИ РОДА *CITRUS* L. В УСЛОВИЯХ ОРАНЖЕРЕЙ

Аннотация. Методом GC/MS-анализа исследован химический состав ароматических летучих соединений, выделяемых листьями тропических представителей рода *Citrus* L. (сладкий лайм (лиметта) – *Citrus limetta* Risso и его сорта *Citrus limetta* ‘Марокко’, *Citrus limetta* ‘Кислая оранжевая’, сорта кислого лайма – *Citrus aurantiifolia* ‘Таити’ и *Citrus aurantiifolia* ‘Форо’, а также лимон – *Citrus limon* ‘Бесколючий’) в условиях оранжерей. Количество выявленных для каждого из них ароматических субстанций натуральных эфирных масел листьев составило 38, 41, 37, 44, 37 и 30 соединений соответственно. Характерным для всех 6 исследуемых таксонов (что подтверждает их генетическую близость) оказалось наличие у них 10 компонентов (D-лимонен, Z-citral (neral), E-citral (geranial), elemene isomer (изомеры элемена), α-copaene, trans-α-bergamotene, benzoic acid, 3-hexenyl ester, trans-γ-bisabolene, β-caryophyllene oxide, α-humulene epoxide II); для гибридов и сортов сладкого и кислого лаймов – дополнительно еще 7 компонентов, относящихся к классу терпеноидов (кислородсодержащие соединения (citronellal, citronellol, citronellyl, β-sinensal) и сесквитерпены (cadina-3,5-diene, β-caryophyllene, trans-β-bergamotene)), а также ряда индивидуальных ароматических компонентов у каждого из сортов в букете цитрусово-хвойного аромата их листьев. Исследованные таксоны могут быть рекомендованы в составе композиций ароматических растений в интерьерах различного функционального назначения.

Ключевые слова: лиметта, *Citrus limetta* Risso, *Citrus limetta* ‘Марокко’, *Citrus limetta* ‘Кислая оранжевая’, сорта лайма, *Citrus aurantiifolia* ‘Таити’, *Citrus aurantiifolia* ‘Форо’, *Citrus limon* ‘Бесколючий’, летучие компоненты листьев

Для цитирования: Ароматические соединения, выделяемые растениями рода *Citrus* L. в условиях оранжерей / Н. В. Гетко [др.] // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. биол. наук. – 2021. – Т. 66, № 3. – С. 312–319. <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2021-66-3-312-319>

Nelly V. Hetka¹, Ekaterina V. Ateslenko¹, Raisa V. Kulyan², Victor P. Suboch³, Vladimir V. Titok¹

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

²Subtropical Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Sochi, Russian Federation

³Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

AROMATIC COMPOUNDS SECRETED BY PLANTS OF THE GENUS *CITRUS* L. IN GREENHOUSE CONDITIONS

Abstract. Using the GC/MS method analysis of the chemical composition of aromatic volatile compounds released by the leaves of tropical representatives of the genus *Citrus* L. (sweet lime (limetta) – *Citrus limetta* Risso and its varieties: *Citrus limetta* ‘Marokko’, *Citrus limetta* ‘Kislaya oranzhevaya’, sour lime – *Citrus aurantiifolia* ‘Taiti’ and *Citrus aurantiifolia* ‘Foro’, as well as lemon – *Citrus limon* ‘Beskolyuchii’) in greenhouse conditions were studied. The number of aromatic substances of the gas phase of natural essential oils of leaves revealed for each of them was 38, 41, 37, 44, 37 and 30 compounds, respectively. 10 components were characteristic of all six taxa under study, which confirm their genetic affinity: D-limonene, Z-citral (neral), E-citral (geranial), elemene isomer, α-copaene, trans-α-bergamotene, benzoic acid, 3-hexenyl ester, trans-γ-bisabolene, β-caryophyllene oxide, α-humulene epoxide II. For hybrids and varieties of sweet lime (limetta) and sour lime, 7 more components belonging to the class of terpenoids are also characteristic: oxygen-containing compounds (citronellal, citronellol, citronellyl, β-sinensal) and sesquiterpenes (cadina-3.5-diene, β-caryophyllene, trans-β-bergamotene), as well as a number of individual aromatic substances, characteristic for each of the varieties in the bouquet of their citrus-coniferous aroma of leaves. The studied taxa can be recommended as part of compositions of aromatic plants in interiors for various functional purposes.

Keywords: limetta, *Citrus limetta* Risso, *Citrus limetta* ‘Marokko’, *Citrus limetta* ‘Kislaya oranzhevaya’, lime varieties, *Citrus aurantiifolia* ‘Taiti’, *Citrus aurantiifolia* ‘Foro’, *Citrus limon* ‘Beskolyuchii’, volatile components of leaves

For citation: Hetka N. V., Ateslenko E. V., Kulyan R. V., Suboch V. P., Titok V. V. Aromatic compounds secreted by plants of the genus *Citrus* L. in greenhouse conditions. *Vesti Natsyional'noi akademii nauk Belarusi. Seriya biyagichnykh nauk* = *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2021, vol. 66, no. 3, pp. 312–319 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2021-66-3-312-319>

Введение. Цитрусовые растения (апельсин, мандарин, грейпфрут, лимон) являются наиболее распространенными среди плодовых тропических и субтропических культур. Они занимают основные площади в США, Китае (южный и центральный районы), Японии, Индии, Пакистане, Австралии, в странах Средиземноморья. В субтропиках Грузии, Азербайджана, Таджикистана и юга России (Сочи) эти растения выращивают в условиях открытого грунта. Оранжерейная культура цитрусов получила широкое распространение в условиях умеренного климата.

Коллекционный фонд Центрального ботанического сада (ЦБС) НАН Беларуси, созданный в 1991 г., насчитывает около 100 таксонов, относящихся к роду *Citrus* L. [1]. В последнее время он пополнен представителями родительских форм и гибридных видов из группы так называемых сладких цитрусов (лайм) [2]. Редкие виды рода *Citrus* L., культивируемые в оранжереях, естественно произрастают в жарких сухих тропических и субтропических регионах земного шара и, в соответствии с перечнем плодовых растений теплых климатов Земли J. Morton [3], представлены в числе 22 природных и гибридных видов рода *Citrus* L., в том числе лимоном (*Citrus limon* (L.) Osbeck), кислым лаймом (*Citrus aurantiifolia* (Christm.) Swingle) и сладким лаймом (Sweet Lime), лиметтой (*Citrus limetta* Risso). Диапазон годовых температур их произрастания – от +16–18 до +45 °С.

Растения, объединяемые под общим названием «лайм», когда-то относились к лимонам и рассматривались как их гибриды. В современной таксономии различают следующие виды: кислый лайм (key lime) – *Citrus aurantiifolia* Swingle, сладкий лайм (sweet lime) – *Citrus limetta* Risso, лайм персидский – *Citrus latifolia* Tanaka и др. В зависимости от кислотности плодов гибриды относят к тому или другому виду. Из плодов, цветков и листьев лайма получают ценное эфирное масло для парфюмерной и фармацевтической промышленности [4, 5].

***Citrus aurantiifolia* (Christm.) Swingle – лайм настоящий, кислый** (syn. *Limonia spinosum* Mill.; *L. acidissima* Houtt. (non L.); *L. aurantifolia* Christm.; *Citrus* × *lima* Macfad.; *C. acida* Roxb.; *C. notissima* Blanco; *Citrus* × *limonellus* Hassk.; *C. limetta* Risso var. *aromatic*; *C. excelsa* Wester. – полиэмбриональный вид цитрусовых растений семейства Rutaceae, генетически наиболее близкий к лимону). Вид распространен в Индостане (в долинах Гималаев) и на прилежащих островах (в диком виде), натурализовался почти везде в тропиках и жарких субтропиках.

Вид представляет собой небольшое дерево или куст высотой от 1,5 до 5,0 м, с густой кроной и ветвями, покрытыми короткими колючками. Соцветия пазушные, с 1–7 цветками, цветение ремонтантное; плоды небольшие – 3,5–6,0 см в диаметре, яйцевидные, мякоть зеленоватая, сочная, очень кислая. Кожура зеленая, желтовато-зеленая либо желтая, при полной зрелости очень тонкая.

Исследования эфирных масел, извлеченных из цветков, листьев и кожуры *Citrus aurantium* L. var. *amara* из Туниса (Набель), проведенные с использованием GC-FID и GC/MS методов [6], показали, что основными компонентами масла нероли (цветки) были линалоол (34,4 %), линалилацетат (11,3 %) и лимонен (10,9 %), петитгрейнового масла (листья) – линалоол (36,8 %), линалилацетат (22,1 %) и α-терпинеол (11,7 %), а масла кожуры лайма – лимонен (90,6 %). Произрастающие в различных географических регионах растения данного вида отличаются по набору качественных показателей получаемого из них эфирного масла. Так, в масле кожуры данного вида, произрастающего в Иране, лимонен и β-мирцен были зарегистрированы как основные компоненты, в то время как линалоол, линалилацетат и α-терпинеол преобладали в масле листьев [7].

Все виды эфирного масла кислого лайма терпкие на вкус, имеют освежающий цитрусовый горьковатый аромат и отличаются высоким содержанием тяжелых терпенов, придающих им специфическую древесно-смолистую и камфорно-скипидарную нотку. Богатое натуральными компонентами (лимонен, цимен, цитраль), оно благотворно влияет на работу легких и дыхательный путей, поэтому достойно возглавляет список самых чудодейственных природных средств [4, 5].

***Citrus limetta* Risso – сладкий лайм (sweet lime), лиметта** – вечнозеленое дерево. Считается природным гибридом, и его систематическая принадлежность обозначена в настоящее время как семейство Рутовые (Rutaceae), род – цитрус (*Citrus* L.), вид – лиметта (*Limetta*), разновидность – Risso. Предполагаемые родители – лайм, лимон или апельсин [8].

Сладкий лайм – невысокое, но достаточно мощное дерево с прямым стволом и пышной, густой шаровидной кроной. Яйцевидные листья имеют острый кончик, немного зазубренный край и изумрудно-зеленый цвет.

Период цветения растения продолжается с начала весны и до поздней осени. Небольшие округлые пятилепестковые цветы собраны в небольшие рыхлые соцветия, имеют белоснежную окраску и сильный цитрусовый аромат. Плод – сферическая, слегка приплюснутая ягода с небольшим сосочком и с тонкой, слегка маслянистой блестящей гладкой кожурой зеленовато-желтого цвета, которая легко отделяется от сочной, ароматной желтовато-зеленой мякоти, которая на вкус кислее, чем у апельсина, но намного слаще, чем у лимона и кислого лайма. Мякоть плода поделена на 10 сегментов и практически не содержит косточек.

Родиной сладкого лайма можно считать Южную Азию (точнее, полуостров Малакка). Он произрастает в странах с тропическим и жарким субтропическим климатом, таких как Куба, Италия, Индия, Египет, Шри-Ланка, Индонезия, Бразилия, Венесуэла, Мексика, в Западной Африке, а также в некоторых других регионах (оттуда идут основные поставки масла). Его добывают методом холодного отжима и путем гидродистилляции кожуры плодов лаймового дерева. Для масла характерен запоминающийся цитрусовый, резкий, сладковатый, терпкий, морозный, освежающий аромат с древесным и фруктовым оттенком. Основных компонентов выявлено 10, из них преобладают D-limonene (92,35 %), β -myrcene (2,43 %), β -linalool (1,27 %) [8]. Все эти вещества имеют свойства, положительно влияющие на человеческий организм. Извлеченное с помощью гидродистилляции эфирное масло из флаведо образцов сладкого лайма, произрастающего в различных районах Мексики, исследовано методами GC и MS. Выявлено 46 летучих ароматических компонентов, среди которых преобладали D-лимонен (74,4 %), бергамол (8,23 %) и β -пинен (7,62 %) [9].

Понятие «эфирное масло» предполагает два состояния летучих ароматических веществ у одного и того же растения. Одно из них, *природная форма* эфирного масла, характерно для растения, не подвергнувшегося физико-химическим воздействиям (воды, температуры, растворителей). Весь комплекс летучих веществ в таком растении соответствует природному состоянию, а аромат самого растения определяется природным составом эфирного масла. Другое состояние – это *концентрированная форма* летучих соединений эфирного масла, выделенного из растения в целом или из отдельных его частей различными методами. Концентрированная форма извлеченного эфирного масла может сильно отличаться от его природной формы как по запаху, так и по физическому состоянию, которое зависит от способа его выделения. Общепринятое (коммерческое) понятие об эфирном масле связывают с его концентрированной формой. Для извлечения масла из надземной части, листьев и стеблей обычно используется метод гидродистилляции.

Цель работы – оценить видовое разнообразие таксонов, представляющих группу растений рода *Citrus* L., культивируемых в оранжереях Центрального ботанического сада, на основе анализа химического состава выделяемых листьями ароматических летучих компонентов натуральных эфирных масел.

Объекты и методы исследования. Исходный генетический материал перечисленных таксонов (черенки) получен из коллекционного фонда цитрусов, выращиваемых в защищенном грунте в Субтропическом научном центре Российской академии наук (г. Сочи, Россия) [10]. К этим растениям относятся сладкий лайм *Citrus limetta* Risso и его сорта – *Citrus limetta* ‘Марокко’ и *Citrus limetta* ‘Кислая оранжевая’, сорта кислого лайма – *Citrus aurantiifolia* ‘Таити’ и *Citrus aurantiifolia* ‘Foro’, а также *Citrus limon* ‘Бесколючий’. Растения репродуцированы и успешно выращиваются в ЦБС в горшечной культуре. Субстратная смесь для выращивания состоит из нейтрализованного торфа, песка и агроперлита в соотношении 2:1:1, pH субстрата – 5,2–6,0; температура выращивания – от +16–18 до +25–35 °C. Эти высокодекоративные плодовые и ароматические растения, хорошо адаптированные к кадочной культуре выращивания, могут быть широко использованы в озеленении интерьеров различного функционального назначения, для создания зимних садов и развития любительского и промышленного цитрусоводства в защищенном грунте.

Методика анализа химического состава выделяемых листьями легколетучих веществ, подробно описанная в работах [1, 2], основана на их экстракции из воздушного пространства над

поверхностью измельченных воздушно-сухих листьев, нагретых до 40°C, с использованием микротвердофазного адсорбента. Последующее хроматографическое разделение их осуществляется на капиллярной колонке HP-5MS длиной 30 м (внутренний диаметр 0,25 мм, толщина пленки неподвижной фазы 0,25 мкм). Регистрацию масс-спектров с анализом хроматограмм, идентификацией компонентов и определением их относительного содержания осуществляли с помощью хроматографа системы Agilent Technologies 6850 Series II (Network GC System /5975B VLMSD), оснащенного компьютерной системой обработки данных, библиотекой масс-спектров NIST и программным обеспечением AMDIS.

Результаты и их обсуждение. Эфирные масла представителей данной группы растений рода *Citrus* L. активно изучаются в медицине и фармакологии в качестве ароматических агентов. При этом оценивается прежде всего их антиоксидантная, антипролиферативная и гипотензивная активность [4, 5]. Предметом наших исследований являлись легколетучие ароматические компоненты газовой фазы натуральных эфирных масел, выделяемые листьями этих растений в воздушную среду оранжерей. Химический состав этих соединений, характерных для редких представителей рода *Citrus* L., представлен в таблице.

Химический состав летучих ароматических компонентов листьев сладких цитрусов, культивируемых в оранжереях

The chemical composition of the volatile aromatic components of sweet citrus leaves cultivated in greenhouses

Время удержания, мин	Название химического соединения, формула	Содержание субстанций, %					
		<i>Citrus limetta</i>	<i>Citrus limetta</i> 'Марокко'	<i>Citrus limetta</i> 'Кислая оранжевая'	<i>Citrus aurantiifolia</i> 'Таити'	<i>Citrus aurantiifolia</i> 'Форс'	<i>Citrus limon</i> 'Бесколючий'
7.00	Trans-3-hexen-1-ol, C ₆ H ₁₂ O	—	—	0,47	—	0,41	—
8.96	α -Pinene, C ₁₀ H ₁₆	—	—	—	—	0,53	—
8.96	3-Methyl-apopinene, C ₁₀ H ₁₆	—	—	—	—	0,51	0,61
9.59	Benzaldehyde, C ₇ H ₆ O	—	—	—	0,12	0,07	0,05
9.63	Cyclofenchene, C ₁₀ H ₁₆	—	—	—	0,13	7,19	0,77
10.01	β -Pinene, C ₁₀ H ₁₆	—	—	—	—	10,76	7,44
10.10	β -Phelandrene, C ₁₀ H ₁₆	0,40	—	0,42	0,06	—	—
10.22	β -Myrcene, C ₁₀ H ₁₆	0,98	1,01	0,41	0,88	—	—
10.94	Carene, C ₁₀ H ₁₆	—	—	—	—	0,77	0,79
11.27	Eucalyptol, C ₁₀ H ₁₈ O	—	—	—	—	3,25	2,30
11.33	Limonene, C ₁₀ H ₁₆	—	17,4	—	—	—	—
11.41	D-Limonene, C ₁₀ H ₁₆	21,9	18,4	10,30	15,71	9,20	9,74
11.42	(+)-4-Carene, C ₁₀ H ₁₆	—	—	—	—	0,65	—
11.43	β -Ocimene, C ₁₀ H ₁₆	1,17	1,42	—	—	0,84	—
11.70	γ -Terpinene, C ₁₀ H ₁₆	1,14	0,07	—	0,33	0,23	0,72
12.02	Trans-linalool oxide (furanoid), C ₁₀ H ₁₈ O ₂	0,57	0,49	0,30	0,38	—	—
12.10	4-Thujanol, C ₁₀ H ₁₈ O	—	—	—	0,01	0,83	0,71
12.29	p-Mentha-2,4(8)-diene, C ₁₀ H ₁₆	—	—	—	0,84	—	—
12.31	m-Cymene, C ₁₀ H ₁₂	0,13	0,21	0,47	—	—	—
12.35	Rosefuran, C ₁₀ H ₁₄ O	—	—	—	—	—	0,59
12.64	Furan, 2-acetyl-5-methyl-, C ₇ H ₈ O ₂	—	—	—	—	—	0,11
12.68	Linalool, C ₁₀ H ₁₈ O	16,00	12,50	19,90	13,41	—	—
12.93	Allo-ocimene, C ₁₀ H ₁₆	—	—	—	—	—	0,47
13.24	(E)-p-Menth-2-en-1-ol, C ₁₀ H ₁₈ O	0,69	0,54	0,57	0,58	—	—
13.62	Isoneral, C ₁₀ H ₁₆ O	—	—	—	—	—	1,33
13.66	(R)-(+)-Citronellal, C ₁₀ H ₁₈ O	17,10	13,30	16,20	18,34	11,27	—
13.89	Isopulegol, C ₁₀ H ₁₈ O	0,81	0,59	0,69	0,77	—	—
13.94	Isogeranial, C ₁₀ H ₁₆ O	—	—	—	—	—	1,93
14.22	α -Terpineol, C ₁₀ H ₁₈ O	—	—	—	—	3,45	—

Окончание таблицы

Время удержания, мин	Название химического соединения, формула	Содержание субстанций, %					
		<i>Citrus limetta</i>	<i>Citrus limetta</i> 'Марокко'	<i>Citrus limetta</i> 'Кислая оранжевая'	<i>Citrus aurantiifolia</i> 'Таити'	<i>Citrus aurantiifolia</i> 'Форо'	<i>Citrus limon</i> 'Бесколючий'
14.49	Teresantalol, C ₁₀ H ₁₆ O	5,02	2,83	3,33	3,93	—	—
14.55	2,5-Dihydrotoluene, C ₇ H ₁₀	1,11	—	—	0,43	—	—
14.73	Citronellol, C ₁₀ H ₂₀ O	1,37	1,61	1,74	1,32	1,00	—
15.01	Z-Citral (neral), C ₁₀ H ₁₆ O	0,76	0,16	0,45	0,22	0,48	12,00
15.11	Linalyl acetate, C ₁₂ H ₂₀ O ₂	—	0,70	—	—	—	—
15.15	Carvone, C ₁₀ H ₁₄ O	0,65	—	0,58	0,33	0,22	—
15.47	E-Citral (geranial), C ₁₀ H ₁₆ O	0,74	0,52	0,87	0,48	0,86	14,50
15.55	1,7-Octadiene-3,6-diol, 2,6-dimethyl, C ₁₀ H ₁₈ O ₂	—	0,93	0,70	1,09	—	—
15.63	p-Mentha-1,8-dien-3-one, C ₁₀ H ₁₄ O	1,15	0,79	0,99	0,91	—	—
15.78	Thymol, C ₁₀ H ₁₄ O	—	—	—	1,67	—	—
15.99	Undecanal, C ₁₁ H ₂₂ O	0,45	0,42	—	0,32	1,15	0,72
16.58	Citronellyl acetate, C ₁₂ H ₂₂ O ₂	2,08	2,41	2,66	2,36	2,16	—
16.59	Elemene isomer, C ₁₅ H ₂₄	0,55	0,21	0,79	0,28	0,10	1,13
16.68	Citronellyl isobutyrate, C ₁₄ H ₂₆ O ₂	—	—	—	2,03	—	0,33
16.89	Nerol acetate, C ₁₂ H ₂₀ O ₂	—	1,14	1,60	3,06	4,47	10,82
16.93	Cadina-3,5-diene, C ₁₅ H ₂₄	1,20	0,55	0,57	0,78	0,68	—
17.00	α-Cubebene, C ₁₅ H ₂₄	—	0,75	—	—	—	—
17.18	Geranyl acetate, C ₁₂ H ₂₀ O ₂	—	1,97	2,45	—	—	—
17.30	α-Copaene, C ₁₅ H ₂₄	1,34	0,84	0,85	1,02	2,94	0,34
17.53	β-Elemene, C ₁₅ H ₂₄	—	—	1,56	—	—	—
17.88	Cis-α-bergamotene, C ₁₅ H ₂₄	—	—	—	2,08	—	—
18.19	β-Caryophyllene, C ₁₅ H ₂₄	1,34	0,74	0,85	0,90	0,98	—
18.22	Trans-α-bergamotene, C ₁₅ H ₂₄	6,54	4,06	6,07	7,18	8,37	5,64
18.25	(E)-β-Farnesene, C ₁₅ H ₂₄	0,87	—	—	—	—	—
18.44	Geranyl propionate, C ₁₃ H ₂₂ O ₂	—	—	—	—	—	1,19
18.50	γ-Murolene, C ₁₅ H ₂₄	0,91	0,48	—	0,97	0,73	—
18.65	α-Caryophyllene C ₁₅ H ₂₄	2,40	1,95	2,00	2,01	—	2,39
18.83	1,2-Enzenediol, o-cetoxyacetyl-(4-utylbenzoyl)-, C ₂₁ H ₂₂ O ₆	0,01	0,16	0,29	—	0,64	—
18.85	Trans-β-bergamotene, C ₁₅ H ₂₄	0,95	0,68	0,93	0,83	0,58	—
18.90	Cis-murola-4 (15), 5-diene, C ₁₅ H ₂₄	—	0,70	—	—	—	—
19.18	β-Bisabolene, C ₁₅ H ₂₄	—	—	—	4,00	—	2,82
19.75	E-Nerolidol, C ₁₅ H ₂₆ O	0,26	0,38	—	—	0,84	0,20
19.77	(Z)-Nerolidol, C ₁₅ H ₂₆ O	—	—	—	—	0,75	—
19.86	Hedycaryol, C ₁₅ H ₂₆ O	—	—	0,82	1,14	—	—
19.94	Benzoic acid, 3-hexenyl ester, C ₁₃ H ₁₆ O ₂	0,69	0,38	0,32	0,43	1,00	0,26
20.12	Trans-γ-bisabolene, C ₁₅ H ₂₄	0,57	0,43	0,71	0,64	0,79	0,36
20.38	β-Caryophyllene oxide, C ₁₅ H ₂₄ O	2,31	2,42	2,02	1,57	3,36	2,97
20.41	Spatulenol, C ₁₅ H ₂₄ O	1,49	1,39	1,34	1,27	—	—
20.72	α-Humulene epoxide II, C ₁₅ H ₂₄ O	0,19	0,30	0,23	0,14	0,71	0,46
21.45	α-Bisabolol, C ₁₅ H ₂₆ O	0,39	0,34	0,49	0,44	—	—
21.55	β-Sinensal, C ₁₅ H ₂₂ O	0,26	0,62	0,52	0,19	0,31	—
Содержание в общем объеме, %		96,49	96,79	85,46	95,58	83,08	83,69

Всего в пределах данной группы таксонов выделено 70 летучих ароматических субстанций, в том числе 37 кислородсодержащих и 33 углеводорода. Характерными для всех 6 исследуемых видов и гибридов, подтверждающих их генетическую близость, являются 10 компонентов, а наиболее значимыми среди них по долевого содержанию в общем объеме веществ являются: D-limo-

nene, Z-citral (neral), E-citral (geranial), elemene isomer (изомеры элемена), α -copaene, trans- α -bergamotene, benzoic acid, 3-hexenyl ester, trans- γ -bisabolene, β -caryophyllene oxide, α -humulene epoxide II.

Для гибридов и сортов лайма *Citrus limetta* и *Citrus aurantiifolia* характерными являются также еще 7 летучих соединений, в том числе кислородсодержащие компоненты (citronellal, citronellol, citronellyl, β -sinensal) и сесквитерпены (cadina-3,5-diene, β -caryophyllene, trans- β -bergamotene). Вместе с тем единственным ароматическим компонентом, характерным только для сладкого лайма и его сортов, является монотерпен m-cumene, $C_{10}H_{12}$ – с ароматом петрушки, в то время как общих компонентов только для сортов кислого лайма не выявлено.

Наиболее значимым по объему среди ароматических компонентов, подтверждающих родство сортов кислого лайма (*Citrus aurantiifolia*) с лимоном (*Citrus limon*), исходя из полученных результатов, является *Nerol acetate*. В небольших долях присутствуют 4-thujanol, cyclofenchene, benzaldehyde; у сладкого лайма – *Nerol acetate* и α -caryophyllene. Исходя из представленных в таблице данных, у сорта *C. aurantiifolia* ‘Таити’ выявлено 44 достоверно значимых легколетучих компонента, составляющих в сумме 95,58 % от их общего объема (кислородсодержащих компонентов – 56,51 %, углеводов – 39,07 %). Из кислородсодержащих компонентов преобладают терпеноидный альдегид цитронеллаль (18,34 %) с приятным ароматом, терпеноидный спирт линалоол (13,41 %) и их сложные эфиры, а также нераль и гераниаль и их эфиры. Среди углеводов монотерпены составляют 18,38 % от общего объема ароматических соединений (на D-лимонен приходится 15,71 %). Содержание γ -терпинена составляет всего 0,33 %, а сесквитерпены представлены бергамотенами, сесквитерпеновыми аналогами α - и β -пиненов, их транс- и цис-стереоизомерами (10,11 %), бисаболенами (4,64 %). Большое разнообразие выделяемых листьями летучих компонентов (37) характерно и для сорта *Citrus aurantiifolia* ‘Форго’. Доминантами в аромате листьев являются β -пинен (10,76 %), D-лимонен (9,20 %) и циклофенхен, или изопинен, с ароматом сосны (7,19 %).

Кроме общих компонентов газовой фазы выделяемых листьями соединений, а именно углеводов, в том числе монотерпенов (циклофенхен, β -пинен, D-лимонен, γ -терпинен) и сесквитерпенов (изомеры элемена, α -копаен, транс- α -бергамотен, транс- α -бисаболен), кислородсодержащих компонентов (4-туйенол, Z- и E-цитраль, ундеканаль, нерол ацетат и другие сложные эфиры), в составе исследуемых таксонов выявлены общие для обоих культиваров кислого лайма *C. aurantiifolia* сесквитерпены (β -кариофиллен, кадинен, γ -мууролен, транс- β -бергамотен и α -калокорен), а также один из компонентов аромата листьев, характерный только для сорта *C. aurantiifolia* ‘Форго’ – Z-неролидол.

У исследуемых таксонов сладкого лайма *Citrus limetta* Risso среди ароматических летучих соединений, кроме упомянутых выше, в значимых объемах обнаружено 7 компонентов, подтверждающих их генетическую близость, а именно: linalool, citronellal, citronellol, citronellyl, trans- β -bergamotene, β -caryophyllene. Кроме того, отличительным признаком всех исследованных гибридов лайма (*Citrus aurantiifolia* и *Citrus limetta*) является наличие ациклического сесквитерпеноида альдегида β -синенсаль (β -sinensal) – компонента, который не выявлен у сортов и гибридов лимона *Citrus limon* (L.) Osbeck [1].

По качественному составу и долевого содержанию летучих компонентов листьев *Citrus limon* ‘Бесколючий’ генетически наиболее близок к видам и гибридам лимона, исследованным нами ранее [1, 2]. Почти 83,69 % от их общего объема приходится на кислородсодержащие компоненты, среди которых преобладают E- и Z-изомеры цитраля ($C_{10}H_{16}O_2$) гераниаль и нераль – 26,50 %; терпеноидный спирт эвкалиптол ($C_{10}H_{18}O$) – 2,30; эфиры, оксиды α - и β -изомеров сесквитерпена кариофиллена ($C_{15}H_{24}O$) – 5,40 %. Углеводы в составе ароматических компонентов – это монотерпены ($C_{10}H_{16}$) β -пинен (7,44 %) и D-лимонен (9,74 %), сесквитерпены ($C_{15}H_{24}$) α -бергамотен (5,64 %) и β -бисаболен (2,82 %).

Как показала оценка полезных качеств испытанных в данном исследовании видов, гибридов и сортов лайма, важными, кроме лимонена, являются также такие ароматические субстанции, присутствующие в составе летучих компонентов листьев, как линалоол и эвкалиптол.

Лимонен существует в виде двух оптически активных форм (энантиомеров) и в виде рацемической смеси, которую раньше считали одним веществом (дипентен). Содержится во многих

эфирных маслах (в эфирных маслах цитрусовых до 90 % D-лимонена). D-лимонен (R-энантиомер) обладает цитрусовым запахом и используется в качестве отдушки в парфюмерии и в производстве ароматизаторов. L-лимонен (S-энантиомер) имеет ярко выраженный запах хвои. Этот энантиомер также используется в качестве отдушки, но в настоящее время обсуждаются его возможные канцерогенные свойства. В составе легколетучих компонентов листьев у лимона ‘Бесколючий’ присутствует D-лимонен с цитрусовым ароматом.

Линалоол представляет собой третичный спирт, монотерпеноид. Состоит из двух энантиомеров: (R)-(-)-линалоола (ликареола) и (S)-(+)-линалоола (кориандрола). Рацематная смесь – (±)-линалоол называется мирценолом. Линалоол выделяют из природных эфирных масел: кориандрол – из эфирного масла кориандра, ликареол – из масла мускатного шалфея, лавандового масла. Линалоол является антимикробным агентом и ароматизатором и играет роль метаболита растений. Мирценол в составе косметических средств может вызывать аллергическую реакцию.

Эвкалиптол, или цинеол (1,8-цинеол), – моноциклический терпен. Считается антисептиком. Монотерпеновое соединение, обладающее сильным ароматом. Является одним из доминирующих компонентов эвкалиптового эфирного масла, определяющего его ценность. Входит в состав многих антисептических жидкостей для полоскания рта и средств от кашля, эффективное средство для лечения негнойного риносинусита, астмы, уменьшает воспаление и боль при местном применении. Установлено также, что он убивает лейкозные клетки *in vitro* [11].

К уникальным и индивидуальным ароматическим соединениям газовой фазы натуральных эфирных масел, выделяемых листьями таксонов лайма, следует отнести Z-неролидол и β-синенсаль.

Z-неролидол (Z-nerolidol) – ациклический сесквитерпеноид, альдегид, который встречается в перуанском бальзаме, апельсиновом и померанцевом эфирных маслах. В результате проведенных нами исследований был выявлен в составе летучих компонентов листьев у сорта кислого лайма *C. aurantiifolia* ‘Foro’. Используется в качестве компонента парфюмерных композиций, пищевого ароматизатора и фиксатора ароматов.

Наряду с лимоненом наиболее важными компонентами эфирного масла, влияющими на его аромат, являются цитраль, деканаль, эфиры алифатических и терпеновых спиртов, а также сесквитерпеновые альдегиды – α- и β-синенсали.

Заключение. Таким образом, методом GC/MS-анализа установлен качественный состав ароматических летучих соединений, выделяемых листьями тропических представителей рода *Citrus* L. в условиях оранжерей. Состав компонентов у таксонов варьируется в пределах рода и составляет для каждого из них в сумме следующее число: сладкий лайм (лиметта) (*Citrus limetta* Risso) – 38, его сорта *Citrus limetta* ‘Марокко’ и *Citrus limetta* ‘Кислая оранжевая’ – 41 и 37 соответственно; сорта кислого лайма *Citrus aurantiifolia* ‘Таити’ и *Citrus aurantiifolia* ‘Foro’ – 44 и 37 соответственно; лимон ‘Бесколючий’ (*Citrus limon* ‘Бесколючий’) – 30. В сложном букете цитрусово-хвойного аромата листьев всей группы исследованных растений из всех выделенных компонентов следует отметить 10 субстанций, подтверждающих генетическую близость этих таксонов в пределах рода *Citrus* L. Ряд индивидуальных ароматических компонентов представляют отличительные качественные признаки каждого из сортов и важны для их таксономии. Исследованные таксоны могут быть рекомендованы в составе композиций ароматических растений в интересах различного функционального назначения.

Список использованных источников

1. Состав летучих компонентов листьев гибридов и сортов лимона (*Citrus limon* (L.) Burm F.), культивируемых в оранжерее / Н. В. Гетко [и др.] // Вест. Нац. Акад. наук Беларуси. Сер. биол. наук. – 2014. – № 2. – С. 5–10.
2. Редкие цитрусы в оранжерейной культуре и их оценка по составу выделяемых листьями летучих компонентов / Н. В. Гетко [и др.] // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2019. – Вып. 70. – С. 149–157.
3. Morton, J. F. Fruits of Warm Climates / J. F. Morton. – Brattleboro : Echo Point Books & Media, 2013. – 550 p.
4. 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>
5. Volatile composition and biological activity of key lime *Citrus aurantifolia* essential oil / F. Spadaro [et al.] // Nat. Product Communications. – 2012. – Vol. 7, N 11. – P. 1523–1526. <https://doi.org/10.1177/1934578X1200701128>
6. Boussaada, O. Chemical composition of essential oils from flowers, leaves and peel of *Citrus aurantium* L. var. amara from Tunisia / O. Boussaada, R. J. Chemli // Essent. Oil Bear. Plants. – 2006. – Vol. 9, N 2. – P. 133–139. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2006.10643484>

7. Azadi, B. Volatile constituents of the peel and leaf of *Citrus aurantium* L. cultivated in the north of Iran / B. Azadi, B. Nickavar, A. Gholamreza // J. Pharm. Health Sci. – 2012. – Vol. 1, N 3. – P. 37–41.
8. Gautam, Sh. D. GC-MS analysis of *Citrus limetta* Risso (Sweet lime) peel extract / Sh. D. Gautam // Pharma Innov. J. – 2018. – Vol. 7, N 6. – P. 01–04.
9. Characterization of volatile compounds in the essential oil of sweet lime (*Citrus limetta* Risso) / M. C. Colecio-Juárez [et al.] // Chilean J. Agricult. Res. – 2012. – Vol. 72, N 2. – P. 275–280. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392012000200017>
10. Кулян, Р. В. Лайм (*Citrus aurantifolia* Sw.), его сорта и гибриды в коллекции ВНИИЦСК / Р. В. Кулян // Вестн. Michurinsk. аграр. ун-та. – 2016. – № 4. – С. 16–20.
11. Eucalyptol // PubChem [Electronic resource]. – Mode of access: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Eucalyptol>. – Date of access: 07.04.2021.

References

1. Getko N. V., Alekhna A. I., Suboch V. P., Pochitskaya I. M., Titok V. V. Comparative analysis of the volatile components of the leaves of hybrids and varieties of lemon (*Citrus × limon* (L.) Burm. F.) cultivated in greenhouse conditions. *Vestsi Natsyyanal'nei akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2014, no. 2, pp. 5–10 (in Russian).
2. Getko N. V., Kulyan R. V., Suboch V. P., Ateslenko E. V., Pochitskaya I. M. M. Rare citrus in greenhouse culture and their assessment by the composition of volatile components released by leaves. *Subtropicheskoe i dekorativnoe sadovodstvo [Subtropical and ornamental gardening]*, 2019, no. 70, pp. 149–158 (in Russian).
3. Morton J. F. *Fruits of warm climates*. Brattleboro, Echo Point Books & Media, 2013. 550 p.
4. Sarrou E., Chatzopoulou P., Dimassi-Therios 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>
5. Spadaro F., Costa R., Circosta C., Occhiuto F. Volatile composition and biological activity of key lime *Citrus aurantifolia* essential oil. *Natural Product Communications*, 2012, vol. 7, no. 11, pp. 1523–1526. <https://doi.org/10.1177/1934578X1200701128>
6. Boussaada O., Chemli R. Chemical composition of essential oils from flowers, leaves and peel of *Citrus aurantium* L. var. amara from Tunisia. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 2006, vol. 9, no. 2, pp. 133–139. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2006.10643484>
7. Azadi B., Nickavar B., Gholamreza A. Volatile constituents of the peel and leaf of *Citrus aurantium* L. cultivated in the north of Iran. *Journal of Pharmaceutical and Health Science*, 2012, vol. 1, no. 3, pp. 37–41.
8. Gautam Sh. D. GC-MS analysis of *Citrus limetta* Risso (Sweet lime) peel extract. *Pharma Innovation Journal*, 2018, vol. 7, no. 6, pp. 01–04.
9. Colecio-Juárez M. C., Rubio-Núñez R., Botello-Alvarez E., Martínez-González G. M., Navarrete-Bolaños J. L., Jiménez-Islas H. Characterization of volatile compounds in the essential oil of sweet lime (*Citrus limetta* Risso). *Chilean Journal of Agricultural Research*, 2012, vol. 72, no. 2, pp. 275–280. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392012000200017>
10. Kulyan R. V. Lime (*Citrus aurantifolia* Sw.), Its varieties and hybrids in the collection of VNIITSISK. *Vestnik Michurinskogo agrarnogo universiteta [Bulletin of Michurinsk Agrarian University]*, 2016, no. 4, pp. 16–20 (in Russian).
11. Eucalyptol. *PubChem* (2021). Available at: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Eucalyptol> (accessed 07.04.2021).

Информация об авторах

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

Атесленко Екатерина Валерьевна – мл. науч. сотрудник. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: E.Ateslenko@cbg.org.by

Кулян Раиса Васильевна – канд. с.-х. наук, заведующий лабораторией. Субтропический научный центр Российской академии наук (ул. Яна Фабрициуса, 2/28, 354002, г. Сочи, Российская Федерация). E-mail: supk-kulyan@vniisubtrop.ru

Субоч Виктор Прокофьевич – канд. хим. наук, вед. науч. сотрудник. Научно-практический центр НАН Беларуси по продовольствию (ул. Козлова, 29, 220037, г. 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, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: V.Titok@cbg.org.by

Information about the authors

Nelly V. Hetka – D. Sc. (Biol.), Associate Professor, Chief Researcher. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: N.Hetko@cbg.org.by

Ekaterina V. Ateslenko – Junior Researcher. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: E.Ateslenko@cbg.org.by

Raisa V. Kulyan – Ph. D. (Agric.), Head of the Laboratory. Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (2/28, Jan Fabritius Str., 354002, Sochi, Russian Federation). E-mail: supk-kulyan@vniisubtrop.ru

Victor P. Suboch – Ph. D. (Chem.), Leading Researcher. Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus (29, Kozlov Str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: subochvp@mail.ru

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