

УДК 581.1

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ЭФИРНЫХ МАСЕЛ КОЖУРЫ ПЛОДОВ ЛИМОНА СОРТА ТАШКЕНТСКИЙ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ В ЗАКРЫТОМ ГРУНТЕ В РАЗЛИЧНЫХ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ

© 2024 г. Н. В. Иванов^{a, *}, Д. С. Аникина^a, А. В. Навров^b

^aФедеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
“Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия
имени К.А. Тимирязева”, Москва, Россия

^bФедеральное государственное бюджетное научное учреждение “Всероссийский научно-исследовательский
институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова”, Москва, Россия

*e-mail: nik.love.world@gmail.com

Поступила в редакцию 01.10.2023 г.

После доработки 18.03.2024 г.

Принята к публикации 21.03.2024 г.

Проведен сравнительный анализ содержания и качественного состава эфирных масел, полученных из кожуры лимонов (*Citrus × limon* (L.) Osbeck) сорта Ташкентский методом гидродистилляции с использованием модифицированного приемника А.С. Гинзберга. Соблюдался принцип единственного различия, который состоял в выращивании плодов в закрытом грунте различных природно-климатических зон – г. Москва и г. Уфа (Республика Башкортостан). При этом пренебрегалась незначительная вариабельность содержания легкогидролизуемого азота, подвижных форм фосфора и калия в высокоплодородных почвогрунтах теплиц, относящихся к группе с высокой и повышенной обеспеченностью. Так как потенциальный урожай растений при оптимальных параметрах микроклимата зависит от поступления фотосинтетически активной радиации (ФАР) при ясном небе в течение вегетационного периода, то было выявлено влияние интенсивности светового потока на содержание компонентов в эфирных маслах цитрусовых, произрастающих внутри круглогодичных двускатных теплиц с естественным освещением и близкоширотным направлением. Высокое суммарное содержание эфирного масла наблюдалось в кожуре плодов, выращиваемых в тепличных условиях г. Уфа. Месторасположение культивационного сооружения отличалось высокой величиной ФАР (при ясном небе), что повлияло на химический состав цитрусовых. Сравнительный анализ состава эфирных масел, проведенный методом газовой хроматографии с масс-спектрометрией, показал отсутствие значимых изменений высокого уровня концентрации D-лимонена в кожуре лимонов, выращиваемых в закрытом грунте различных природно-климатических зон. Содержание монотерпеновых углеводов и эфиров преобладало в кожуре сорта Ташкентский, произрастающего в теплице УНПЦ садоводства и овощеводства им. В.И. Эдельштейна (г. Москва). Содержание сесквитерпеновых углеводов, спиртов, альдегидов преобладало в кожуре сорта Ташкентский, произрастающего в теплице учебно-опытного хозяйства ГБПОУ “Уфимский лесотехнический техникум” (г. Уфа). Полученные данные объясняются тем, что сортовые особенности и условия выращивания влияют на количественный и качественный состав эфирных масел.

Ключевые слова: *Citrus × limon*, кожура лимона, почвогрунт, эфирные масла

DOI: 10.31857/S0015330324040059, EDN: MNYCWB

ВВЕДЕНИЕ

Плоды цитрусовых на сегодняшний день являются наиболее активно потребляемыми фруктами. Они отличаются множеством преимуществ, включая пищевую ценность и доступ-

ность. В составе кожуры и мякоти преобладает широкий спектр химических веществ, таких как органические кислоты, пигменты, витамины, углеводы, кумарины, тритерпеноиды, стероиды, фенольные и азотистые соединения, эфирные масла, ферменты, минеральные элементы, которые придают цитрусовым характерный аромат и вкус, а также обладают биологической актив-

Сокращения: ГХ/МС – газовая хроматография с масс-спектрометрией, ФАР – фотосинтетически активная радиация.

ностью [1, 2]. Концентрация биохимических компонентов может меняться в широком диапазоне в зависимости от почвенно-климатических условий произрастания цитрусовых, выбора сорта, продолжительности и условий хранения плодов. В последние годы активно изучается химический состав эфирных масел кожуры лимона (*Citrus × limon* (L.) *Osbeck*), что обусловлено их биологическими свойствами, такими как антифунгальная [3], антимикробная [4], антиоксидантная [5], противовоспалительная [6], антидепрессантная [7], противораковая [8] и иммуномодулирующая [9] активности. Эфирные масла цитрусовых применяют при создании натуральных духов, используют как ароматизирующий компонент в пищевой, фармацевтической и косметической отраслях.

Кожура лимона составляет 30–40% от массы плода. С производственной и потребительской точки зрения кожура является отходом, однако с позиции биоэкономики — это ценный источник биологически активных соединений. Компонентный состав эфирных масел кожуры лимона изучен достаточно подробно. К преобладающим соединениям можно отнести монотерпены (>90%), кислородсодержащие производные монотерпенов и сесквитерпены. Монотерпены и сесквитерпены представляют собой ненасыщенные углеводороды, а кислородсодержащие производные монотерпенов — различные классы химических веществ: сложные эфиры, спирты, альдегиды, кетоны, кислоты [10]. Следует отметить, что терпеновые углеводороды при контакте с кислородом воздуха или нагревании могут разлагаться с образованием соединений, обладающих неприятным запахом. Основной вклад в состав эфирного масла лимона вносят кислородсодержащие производные монотерпенов, так как влияют на его вкус и аромат [11].

Сравнивать состав эфирных масел лимона, содержащих большое разнообразие химических соединений, сложно из-за влияния многих факторов, таких как: климатические условия, хемотип и генотип растения, агрохимические особенности выращивания, сезон сбора урожая, выбранный способ и продолжительность экстрагирования кожуры. При этом качество эфирного масла независимо от происхождения растительного сырья определяется устойчивостью химического состава.

Одним из существенных приемов интенсификации цитрусоводства является выращивание растений в культивационных сооружениях защищенного грунта, где создается определенный микроклимат в соответствии с биологическими требованиями культур. При этом для нормального роста и развития лимонов в круглогодичных двускатных теплицах с естественным освещением

требуется экваториальная ориентация продольной оси конструкции, так как расположение с востока на запад позволяет проникнуть большему количеству прямой солнечной радиации [12, 13].

Цель данной работы — определение качественного и количественного состава эфирного масла кожуры лимонов одного сорта, выращиваемого в различных природно-климатических зонах (г. Москва и г. Уфа (Республика Башкортостан)) в условиях закрытого грунта — круглогодичных двускатных теплиц с естественным освещением и близкоширотным направлением.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования. Работу выполняли на плодах растений лимона (*Citrus × limon* (L.) *Osbeck*) сорта Ташкентский, выращенных в условиях закрытого грунта на базе учебно-научно-производственного центра садоводства и овощеводства имени В.И. Эдельштейна (г. Москва) и учебно-опытного хозяйства Государственного бюджетного профессионального образовательного учреждения “Уфимский лесотехнический техникум” (г. Уфа, Республика Башкортостан).

Растение *Citrus × limon* (L.) *Osbeck* относится к семейству Rutaceae. Сорт Ташкентский был получен в результате семенного размножения сорта Мейер. Растение представляет собой плодовое дерево высотой до 3.5 м с вечнозелеными листьями и густой, пониклой кроной диаметром до 3 м. Характер ветвления — близкий к прямому. Крупные, ярко-зеленые, блестящие листья характеризуются овальной формой и остроконечным верхом. Листовая пластинка достигает примерно 7–9 см в длину [14]. Цветки лимона сорта Ташкентский бокаловидные, ароматные, собраны в соцветие. Лепестки окрашены с внутренней стороны в кремово-белый цвет, а с внешней — в бледно-розовый. Плод среднего размера (шириной от 50 до 60 мм, высотой от 70 до 80 мм), яйцевидной формы с ярко-желтой гладкой и блестящей кожицей, содержит сочную мякоть, отличается кисло-сладким вкусом и тонким запахом мандарина. Основное назначение сорта — десертно-столовый [15].

Общая характеристика микроклимата теплиц. На базе учебно-опытного хозяйства ГБПОУ “Уфимский лесотехнический техникум” эксплуатируется остекленная теплица, представляющая собой наземную конструкцию блочного типа с двускатным перекрытием крыши. Микроклимат внутри круглогодичной теплицы контролировали несколько раз в день. Температуру и относительную влажность воздуха измеряли психрометром аспирационным МВ-4М (АО Сафоновский завод “Гидрометприбор”, Россия),

температуру почвы на глубине 10 см — коленчатым метеорологическим термометром Савинова ТМ-5 (ОАО “Термоприбор”, Россия).

На базе УНПЦ садоводства и овощеводства им. В.И. Эдельштейна эксплуатируется остекленная теплица, представляющая собой наземную конструкцию рамного типа с двускатным перекрытием крыши. Микроклимат внутри круглогодичной теплицы контролировали несколько раз в день. Температуру и относительную влажность воздуха измеряли комбинированным прибором Testo 608-H1 (Testo Instruments Co. Ltd., КНР), температуру почвы на глубине 10 см — коленчатым метеорологическим термометром Савинова ТМ-5 (ОАО “Термоприбор”, Россия).

В зимних теплицах, где выращивали районированный в Узбекистане сорт лимона Ташкентский, поддерживали следующие климатические условия: температура воздуха и почвы 18°–30°С, влажность воздуха и почвы 70–80%. Параметры микроклимата приведены в таблице 1.

Общая характеристика почвогрунта. Анализ почвогрунтов проводили в испытательном

центре почвенно-экологических исследований (РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева). Агрохимическое обследование почвогрунтов проводили 1 раз в 4 недели. Отбирали смешанные образцы с пахотного слоя (0–35 см). Гидролитическую кислотность и рН солевой вытяжки определяли с помощью лабораторного рН-метра S20-K SevenEasy (Mettler Toledo, Швейцария), согласно ГОСТ 26212-2021 и 26483-85. Сумму поглощенных оснований определяли по Каппену (ГОСТ 27821-2020). Содержание подвижных соединений фосфора и калия в грунте определяли с помощью спектрофотометра СФ-2000 (ООО “ОКБ СПЕКТР”, Россия) и пламенного фотометра ПФА-378 (ООО “ЮНИКО-СИС”, Россия) по методу Чирикова (ГОСТ 26204-91). Содержание гумуса определяли по Тюрину (ГОСТ 26213-91), а содержание легкогидролизуемого азота — по Тюрину и Кононовой [16].

Экстракция эфирных масел. Сбор урожая проводили в период созревания (первая декада ноября 2022 г.) с учетом феноритмов развития данного сорта растения 30–31-летнего возраста. Количественное содержание и качественный

Таблица 1. Параметры микроклимата теплиц

Учебно-опытное хозяйство ГБПОУ “Уфимский лесотехнический техникум” (г. Уфа, Республика Башкортостан)						
Параметры	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
Температура воздуха, °С	21.2 ± 0.1	23.1 ± 0.1	23.5 ± 0.1	25.0 ± 0.1	24.8 ± 0.1	26.3 ± 0.1
Температура почвы, °С	20.0 ± 0.2	20.0 ± 0.2	21.0 ± 0.2	21.0 ± 0.2	22.0 ± 0.2	22.5 ± 0.2
Влажность воздуха, %	74 ± 2	74 ± 2	76 ± 2	76 ± 2	76 ± 2	78 ± 2
Параметры	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Температура воздуха, °С	23.2 ± 0.1	23.0 ± 0.1	21.1 ± 0.1	21.0 ± 0.1	21.3 ± 0.1	21.1 ± 0.1
Температура почвы, °С	21.0 ± 0.2	21.0 ± 0.2	20.5 ± 0.2	20.5 ± 0.2	20.0 ± 0.2	20.0 ± 0.2
Влажность воздуха, %	77 ± 2	77 ± 2	75 ± 2	75 ± 2	74 ± 2	74 ± 2
УНПЦ садоводства и овощеводства им. В.И. Эдельштейна (г. Москва)						
Параметры	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
Температура воздуха, °С	19.8 ± 0.1	21.1 ± 0.1	21.8 ± 0.1	22.5 ± 0.1	22.8 ± 0.1	24.6 ± 0.1
Температура почвы, °С	19.0 ± 0.2	19.5 ± 0.2	19.5 ± 0.2	20.0 ± 0.2	20.0 ± 0.2	21.5 ± 0.2
Влажность воздуха, %	72 ± 2	73 ± 2	73 ± 2	74 ± 2	75 ± 2	75 ± 2
Параметры	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Температура воздуха, °С	25.0 ± 0.1	23.2 ± 0.1	20.9 ± 0.1	19.9 ± 0.1	19.7 ± 0.1	19.7 ± 0.1
Температура почвы, °С	21.5 ± 0.2	21.0 ± 0.2	19.5 ± 0.2	19.5 ± 0.2	19.0 ± 0.2	19.0 ± 0.2
Влажность воздуха, %	75 ± 2	77 ± 2	75 ± 2	73 ± 2	72 ± 2	72 ± 2

состав эфирных масел определяли на кафедре химии РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. Получение и количественное определение эфирного масла из кожуры лимонов осуществляли методом гидродистилляции с использованием модифицированного приемника А.С. Гинзберга [17]. Полученный объем эфирного масла пересчитывали на 100 г свежего сырья.

Качественный состав эфирного масла устанавливали методом газовой хроматографии с масс-спектрометрией (ГХ/МС) после экстракции полученного дистиллята гексаном на аналитическом комплексе CLARUS 600 (Perkin Elmer Life And Analytical Sciences, Inc., США), согласно ГОСТ ISO 7609-2014. Использовали колонку "Elit 5-MS" (30 м × 0.32 мм × 0.5 мк); газ-носитель гелий — 1 мл/мин. Объем пробы составил 0.5 мкл, разделение потока 1/50; температурный режим: 60°C — 5 мин, далее 3°C/мин до 195°C (изотерма 15 мин). Режим масс-детектора: E⁺ 70 эВ, температура интерфейса — 210°C, температура источника — 180°C. Идентификацию хроматографических пиков проводили посредством сравнения получаемых масс-спектров с данными масс-спектрометрической библиотеки NIST/ERA/NIH (версия 2-2020) и библиотеки RI, в основу которой положен метод эллипсоидного распределения n-алканов в режиме произвольного программирования температуры анализа [18]. В качестве внутреннего стандарта использовали тридекан (Supelco, США).

Статистический анализ. Пробы плодов от однолетних деревьев, выращиваемых в Москве и Уфе, отбирали одновременно в 1 день через определенные промежутки времени (каждые 2 дня). Опыты проводились тремя сериями по два параллельных испытания в 2-кратной повторности. За окончательный результат анализа принималось среднее арифметическое значение компонента (%) для всех серий. Статистическая обработка данных проводилась с использованием дисперсионного анализа и критерия Стьюдента. Критерий достоверности составил 0.05.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Потенциальный урожай при оптимальных значениях параметров микроклимата теплиц обеспечивается поступлением фотосинтетически активной радиации (ФАР) при ясном небе в течение вегетационного периода растений. С использованием данных (<https://power.larc.nasa.gov/>) дана оценка суммарной ФАР (рис. 1). В условиях закрытого грунта цитрусовые растения были высажены в почвогрунт в шахматном порядке по схеме 3 × 3 м. Почвогрунт представлял собой серые лесные глинистые почвы. Результаты проведенного исследования почвогрунтов теплиц представлены в таблице 2.

Исходя из полученных данных (табл. 2), можно заключить, что реакция солевой вытяжки в почвогрунтах нейтральная (рНКСI > 6.0).

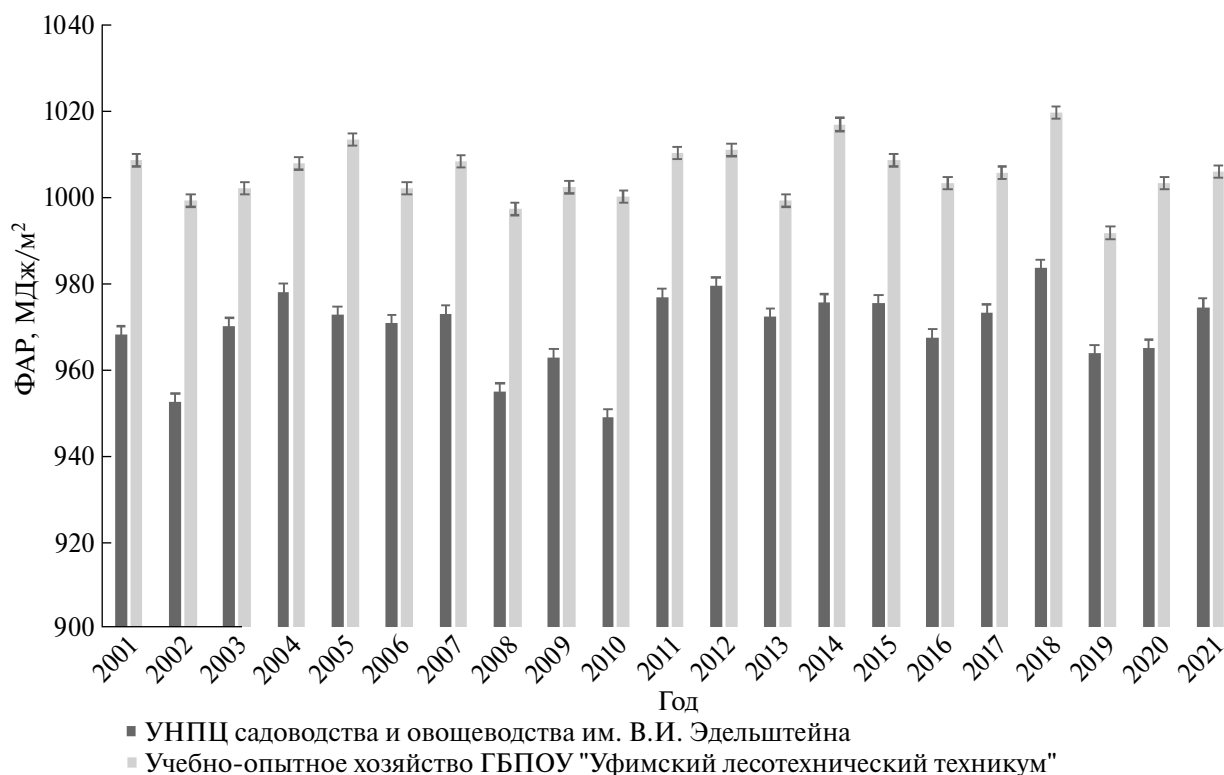


Рис. 1. Суммарная фотосинтетически активная радиация при ясном небе в течение вегетационного периода, МДж/м²

Таблица 2. Агрохимические свойства почвогрунтов

Показатель	Почвогрунт теплицы учебно-опытного хозяйства ГБПОУ “Уфимский лесотехнический техникум” (г. Уфа, Республика Башкортостан)	Почвогрунт теплицы УНПЦ садоводства и овощеводства им. В.И. Эдельштейна (г. Москва)
pH _{KCl}	6.91 ± 0.01	6.17 ± 0.01
Hг, мг-экв/100 г	1.37 ± 0.08	0.64 ± 0.03
S, ммоль/100 г	60.0 ± 6.0	49.1 ± 4.9
Гумус, %	10.5 ± 0.5	7.6 ± 0.3
P ₂ O ₅ , мг/кг	188.0 ± 18.8	138.0 ± 13.7
K ₂ O, мг/кг	135.2 ± 13.5	101.0 ± 7.6
N _{л.г.} , мг/кг	93.0 ± 4.7	63.3 ± 3.7

Почвогрунты характеризуются низкой гидролитической кислотностью ($Hг < 2.0$ мг-экв/100 г) и очень высокой суммой поглощенных оснований ($S > 30.0$ ммоль/100 г). Как следствие, почвогрунты не нуждаются в известковании, и отличаются высокой гумусированностью (6.0–10.0%). По содержанию легкогидролизуемого азота, подвижных форм фосфора и калия почвогрунты теплицы учебно-опытного хозяйства ГБПОУ “Уфимский лесотехнический техникум” относятся к группе с высокой обеспеченностью, а почвогрунты теплицы УНПЦ садоводства

и овощеводства им. В.И. Эдельштейна — к группе с повышенной обеспеченностью [19].

Количественное содержание эфирного масла кожуры лимонов, выращенных в теплицах на базе УНПЦ садоводства и овощеводства им. В.И. Эдельштейна (г. Москва) и учебно-опытного хозяйства ГБПОУ “Уфимский лесотехнический техникум” (г. Уфа, Республика Башкортостан), составило 0.3330 ± 0.0050 и 0.6600 ± 0.009 мг/100 г сырой массы соответственно. Результаты ГХ-МС анализа эфирного масла приведены в таблице 3 и на рис. 2 и 3.

Таблица 3. Компонентный состав эфирных масел из кожуры лимонов (*Citrus × limon* (L.) Osbeck) сорта Ташкентский, мг/100 г сырой массы

Компонент	Растения выращены в теплице учебно-опытного хозяйства ГБПОУ “Уфимский лесотехнический техникум” (г. Уфа, Республика Башкортостан)	Растения выращены в теплице УНПЦ садоводства и овощеводства им. В.И. Эдельштейна (г. Москва)
D-лимонен	0.2597 ± 0.0039	0.2467 ± 0.0037
Остальные монотерпеновые углеводороды		
β-туйен	0.0009 ± 0.0000	0.0015 ± 0.0000
α-пинен	0.0027 ± 0.0000	0.0044 ± 0.0001
β-пинен	0.0022 ± 0.0000	0.0031 ± 0.0000
Мирцен	0.0052 ± 0.0001	0.0053 ± 0.0001
α-фелландрен	0.0001 ± 0.0000	—
β-фелландрен	—	0.0004 ± 0.0000
α-терпинен	0.0007 ± 0.0000	0.0008 ± 0.0000
n-кумен	0.0077 ± 0.0001	0.0054 ± 0.0001
Сабинен	0	0.0010 ± 0.0000
транс-β-оцимен	—	—
цис-β-оцимен	0.0189 ± 0.0003	0
γ-терпинен	0.0014 ± 0.0000	0.0294 ± 0.0004
Терпинолен	0.0006 ± 0.0000	0.0018 ± 0.0000

Таблица 3. Окончание

Компонент	Растения выращены в теплице учебно-опытного хозяйства ГБПОУ “Уфимский лесотехнический техникум” (г. Уфа, Республика Башкортостан)	Растения выращены в теплице УНПЦ садоводства и овощеводства им. В.И. Эдельштейна (г. Москва)
Сесквитерпеновые углеводороды		
α-кариофиллен	—	—
β-кариофиллен	0.0002 ± 0.0000	—
β-бисаболен	0.0003 ± 0.0000	0.0009 ± 0.0000
Транс-α-бергамотен	0.0018 ± 0.0000	—
α-бергамотен	—	0.0005 ± 0.0000
Цис-α-бергамотен	0.0005 ± 0.0000	—
γ-гурджунен	—	—
Спирты		
Терпинен-4-ол	0.0010 ± 0.0000	0.0006 ± 0.0000
α-терпинеол	0.0021 ± 0.0000	0.0018 ± 0.0000
Карвеол	0.0002 ± 0.0000	0.0003 ± 0.0000
β-цитранеллол	0.0002 ± 0.0000	—
1-ноналол	0.0004 ± 0.0000	—
p-мента-2,8-диен-1-ол	0.0002 ± 0.0000	—
Эфиры		
Формиат линалила	—	0.0033 ± 0.0000
β-терпинил ацетат	—	—
β-терпинил изо-валерат	—	0.0009 ± 0.0000
4-терпинил ацетат	—	—
Нерил изо-валерат	—	0.0001 ± 0.0000
Изовалерат линалила	0.0001 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000
Геранил изо-валерат	—	0.0002 ± 0.0000
Геранил пропионат	—	0.0002 ± 0.0000
1,8-цинеол	—	0.0028 ± 0.0000
Линалил ацетат	0.0026 ± 0.0000	—
Валерат линалила	0.0006 ± 0.0000	—
γ-терпинил ацетат	0.0001 ± 0.0000	—
Альдегиды		
Октаналь	—	0
Нонаналь	0.0001 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000
Периллал	—	—
Деканаль	0.0001 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000
Цитраль	0.0014 ± 0.0000	0.0006 ± 0.0000
Цитронеллаль	0.0014 ± 0.0000	0.0009 ± 0.0000
Неидентифицированные компоненты		
—	0.0389 ± 0.0006	0.0197 ± 0.0003

Сравнительный анализ состава эфирного масла кожуры лимонов сорта Ташкентский, выращиваемых в закрытом грунте различных природно-климатических зон, показал отсутствие значимых различий по содержанию D-лимонена. Концентрация монотерпеновых углеводородов и эфиров преобладала в кожуре цитрусовых, произрастающих в теплице УНПЦ садоводства и овощеводства им. В.И. Эдельштейна. Концен-

трация сесквитерпеновых углеводородов, спиртов, альдегидов преобладала в кожуре цитрусовых, произрастающих в теплице учебно-опытного хозяйства ГБПОУ “Уфимский лесотехнический техникум”. Суммарное содержание эфирного масла почти в 2 раза было выше в кожуре лимонов, выращиваемых в условиях закрытого грунта в г. Уфа, по сравнению с лимонами, выращиваемыми в условиях закрытого грунта в г. Москва.

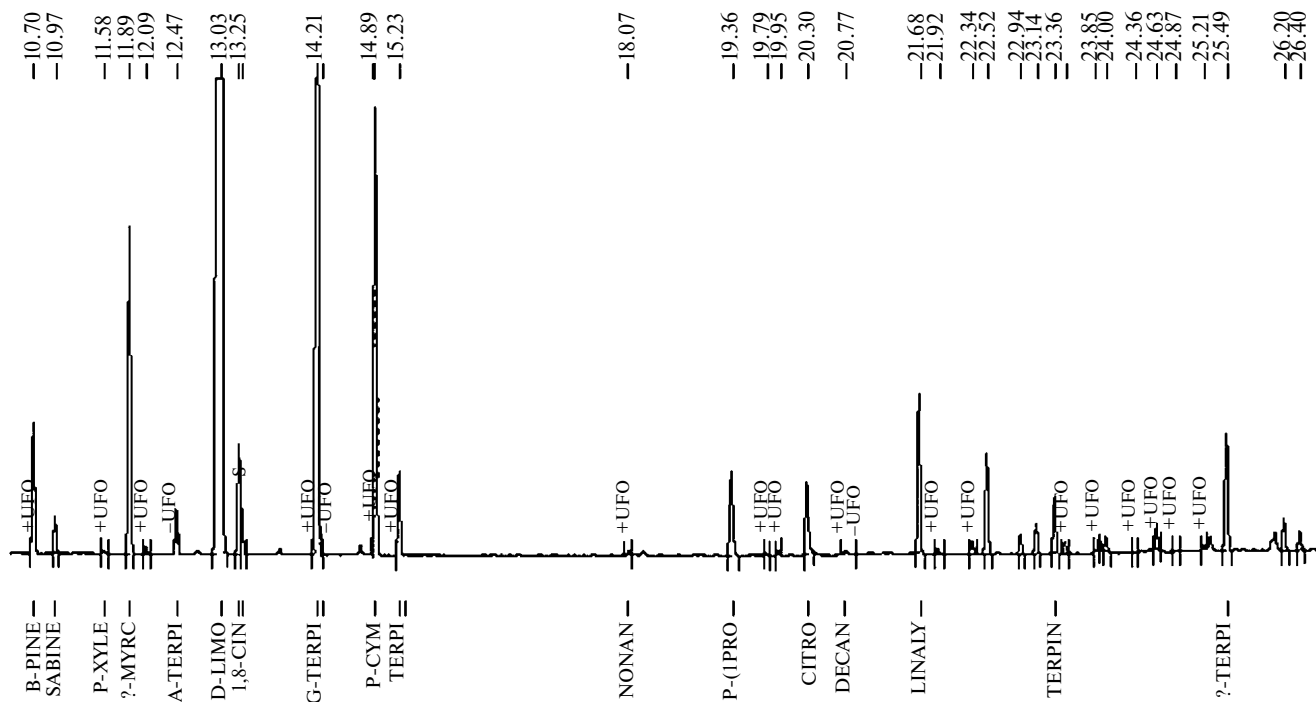


Рис. 2. Хроматограмма эфирного масла кожуры лимона сорта Ташкентский, выращенного в теплице учебно-опытного хозяйства ГБПОУ “Уфимский лесотехнический техникум” (г. Уфа, Республика Башкортостан).

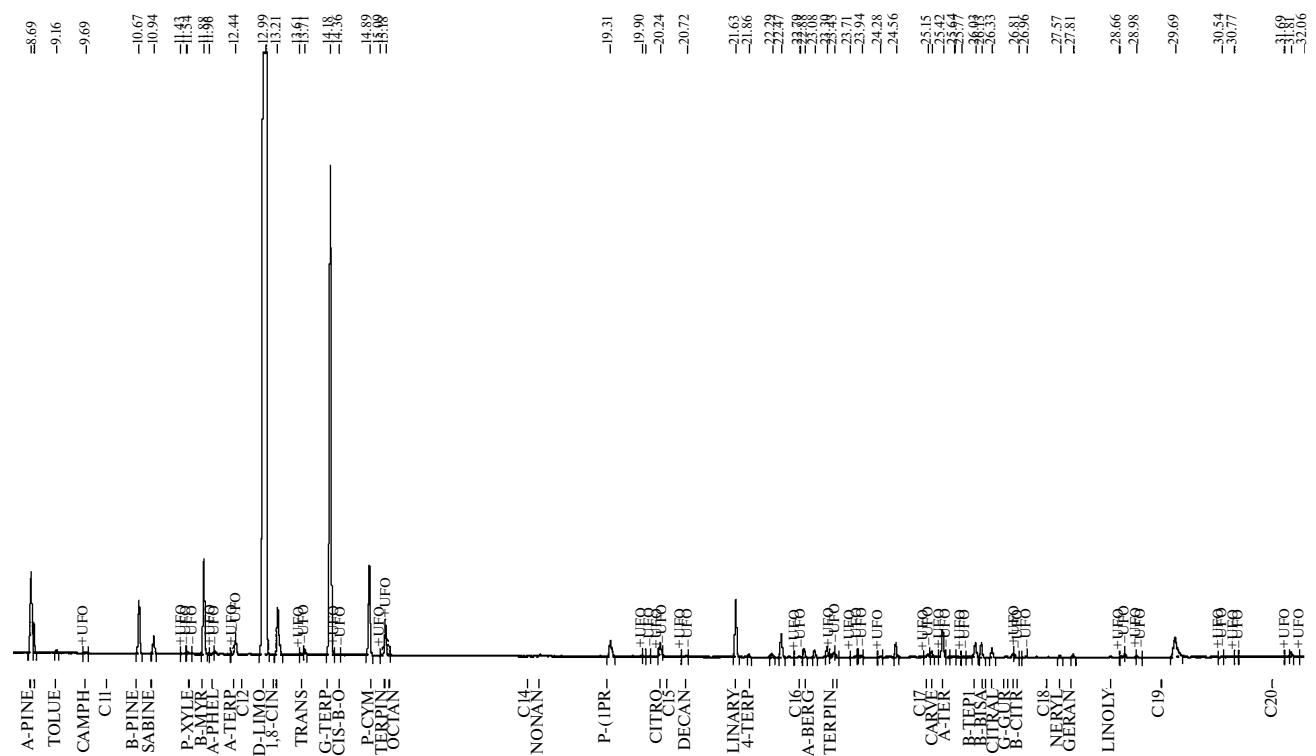


Рис. 3. Хроматограмма эфирного масла кожуры лимона сорта Ташкентский, выращенного в теплице УНПЦ садоводства и овощеводства им. В.И. Эдельштейна (г. Москва).

ОБСУЖДЕНИЕ

Лимон — субтропическая культура, которая относится к вечнозеленым плодовым деревьям с ремонтантным типом плодоношения, зависящим от факторов окружающей среды [20]. Влажный субтропический климат характеризуется следующими параметрами: средняя годовая температура на уровне моря колеблется от 12.9° до 14.1°C, средняя температура самых жарких месяцев (июль, август) составляет около 23°C, при этом максимум может достигать до 39°C, средняя относительная влажность воздуха составляет 80% [21, 22].

Для успешного прохождения растениями лимона фенологических фаз развития, в теплицах необходимо поддерживать оптимальные температуру, влажность воздуха и почвы. Рост побегов происходит при температуре воздуха и почвы 9°–12°C, бутонизация — 19°–20°C, цветение и плодоношение — 20°–25°C. Рекомендуемый уровень влажности воздуха и почвы составляет от 70 до 80% [23]. Микроклимат внутри круглогодичных культивационных сооружений защищенного грунта регулировался отопительными системами и дождевальными установками. Также регулярно вносились органические и минеральные удобрения, осуществлялись биологические методы борьбы с вредителями. Поддерживаемые условия в теплицах были максимально приближены к субтропикам, что удовлетворяло биологические требования цитрусовых культур [24].

Для растений наиболее важным фактором являются ресурсы солнечной радиации. Оценка интенсивности светового потока в период вегетации обычно проводится по распределению ФАР, которая при ясном небе является одним из важнейших факторов продуктивности культур [25]. Для теплицы учебно-опытного хозяйства ГБПОУ “Уфимский лесотехнический техникум” ФАР за последние 20 лет превышает величину ФАР для теплицы УНПЦ садоводства и овощеводства им. В.И. Эдельштейна. Различия являются статистически достоверными (рис. 1).

По результатам периодических агрохимических анализов рассчитываются дозы удобрений, которые вносятся различными приемами. Гранулометрический состав и химическая характеристика почвогрунтов теплиц максимально приближены к условиям естественного места произрастания цитрусовых растений [26, 27]. Несмотря на определенные различия между агрохимическими свойствами почвогрунтов теплиц в различных природно-климатических зонах, вариабельность содержания питательных веществ незначительна, так как встречаются два уровня обеспеченности (повышенный и высокий), которые исключают целесообразность

в последующем внесении удобрений [28]. Существенных различий между агрохимическими свойствами почвогрунтов теплиц, находящихся в различных природно-климатических зонах, не обнаружено. Данные лабораторного исследования говорят о высоком плодородии и достаточной обеспеченности почвогрунтов удобрениями.

Многие факторы, такие как условия и регион выращивания, сроки сбора плодов, возраст растений, влияют на количественное содержание эфирного масла в рамках одного сорта лимона, делая его показатель довольно изменчивым [29]. В нашем исследовании соблюдался принцип единственного различия, который состоял в выращивании лимонов сорта Ташкентский в закрытом грунте различных природно-климатических зон (г. Москва, г. Уфа). Почвогрунты теплиц характеризовались незначительной вариабельностью по содержанию легкогидролизуемого азота, подвижных форм фосфора и калия. Данные различия были несущественны и, следовательно, не оказывали влияния на состав эфирных масел, что подтверждают исследования Пустового [19], согласно которым незначительные различия агрохимических свойств почвы при применении удобрений не приводят к существенному повышению продуктивности деревьев лимона разных сортов (Павловский, Мейер, Ташкентский, Юбилейный).

В наших исследованиях (табл. 3) мы отмечали высокую концентрацию D-лимонена, что также было установлено другими авторами [18] в эфирном масле кожуры лимона сорта Мейер, выращиваемого в субтропических условиях открытого грунта (г. Адана, Турция). Общее содержание монотерпеновых углеводородов в нашем случае незначительно превышает данные из предыдущей работы, однако мы замечаем низкую концентрацию сесквитерпеновых углеводородов, спиртов, эфиров и альдегидов, по сравнению с ранним исследованием [18]. Вероятно, это связано с сортовыми особенностями и условиями выращивания.

Масло исследуемого сорта лимона Ташкентский, выращиваемого в закрытом грунте различных природно-климатических зон, характеризуется высокой концентрацией D-лимонена, при этом содержание остальных мажорных и минорных компонентов варьировало. Высокое суммарное содержание эфирного масла кожуры плодов наблюдается при произрастании цитрусовых в культивационном сооружении, расположенном в г. Уфа. Месторасположение теплицы отличается высокой величиной ФАР (при ясном небе), что влияет на урожайность цитрусовых. Следовательно, можно заключить, что на качественный и количественный состав эфирного масла кожуры плодов лимона сорта Ташкент-

ский при выращивании внутри круглогодичных двускатных теплиц с естественным освещением и близкоширотным направлением влияет интенсивность светового потока.

Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей и животных в качестве объектов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Xi W., Lu J., Qun J., Jiao B. Characterization of phenolic profile and antioxidant capacity of different fruit part from lemon (*Citrus limon* Burm.) cultivars // J. Food Sci. Technol. 2017. V. 54. P. 1108.
<https://doi.org/10.1007/s13197-017-2544-5>
2. Del Rio J.A., Fuster M.D., Gomez P., Porras I., Garcia-Lidon A., Ortuno A. *Citrus limon*: a source of flavonoids of pharmaceutical interest // Food Chem. 2004. V. 84. P. 457.
[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00272-3](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00272-3)
3. Ammad F., Moumen O., Gasem A., Othmane S., Hisashi K.N., Zebib B., Merah O. The potency of lemon (*Citrus limon* L.) essential oil to control some fungal diseases of grapevine wood // C. R. — Biol. 2018. V. 341. P. 97.
<https://doi.org/10.1016/j.crv.2018.01.003>
4. Wu P., Tang X., Jian R., Li J., Lin M., Dai H., Wang K., Sheng Z., Chen B., Xu X., Li C., Lin Z., Zhang Q., Zheng X., Zhang K. et al. Chemical composition, antimicrobial and insecticidal activities of essential oils of discarded perfume lemon and leaves (*Citrus limon* (L.) Burm. F.) as possible sources of functional botanical agents // Front. Chem. 2021. V. 9. P. 679116.
<https://doi.org/10.3389/fchem.2021.679116>
5. Bhuvaneswari G., Thirugnanasampandan R., Gogulramnath M. Effect of colchicine induced tetraploidy on morphology, cytology, essential oil composition, gene expression and antioxidant activity of *Citrus limon* (L.) Osbeck // Physiol. Mol. Biol. Plants. 2020. V. 26. P. 271.
<https://doi.org/10.1007/s12298-019-00718-9>
6. Yeddes W., Mejri I., Grati Affes T., Khammassi S., Hamtami M., Aidi-Wannes W., Saidani Tounsi M. Combined effect of essential oils from Clove (*Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & LM Perry), Thyme (*Thymus vulgaris* L.) and Lemon peel (*Citrus limon* (L.) Osbeck) on anti-bacterial, cytotoxic and anti-inflammatory activities // Trends Phytochem. Res. 2022. V. 6. P. 11.
<https://doi.org/10.30495/tpr.2022.1949608.1239>
7. Campelo L.M.L., Gonçalves e Sá C., de Almeida A.A., Pereira da Costa J., Costa Marques T.H., Mendes Feitosa C., Barros Saldanha G., Mendes de Freitas R. Sedative, anxiolytic and antidepressant activities of *Citrus limon* (Burn) essential oil in mice // Pharmazie. 2011. V. 66. P. 623.
<https://doi.org/10.1691/ph.2011.1508>
8. Yousefian Rad E., Homayouni Tabrizi M., Ardalan P., Seyedi S.M.R., Yadamani S., Zamani-Esmati P., Haghani Sereshkeh N. Citrus lemon essential oil nanoemulsion (CLEO-NE), a safe cell-dependent apoptosis inducer in human A549 lung cancer cells with anti-angiogenic activity // J. Microencapsul. 2020. V. 37. P. 394.
<https://doi.org/10.1080/02652048.2020.1767223>
9. Matera R., Lucchi E., Valgimigli L. Plant essential oils as healthy functional ingredients of nutraceuticals and diet supplements: a review // Molecules. 2023. V. 8. P. 901.
<https://doi.org/10.3390/molecules28020901>
10. Benoudjit, F., Maameri L., Ouared K. Evaluation of the quality and composition of lemon (*Citrus limon*) peel essential oil from an Algerian fruit juice industry // Algerian Journal of Environmental Science and Technology. 2020. V. 6. P. 1575.
11. Gironi F. Maschietti M. Phase equilibrium of the system supercritical carbon dioxide – lemon essential oil: new experimental data and thermodynamic modelling // J. Supercrit. Fluids. 2012. V. 70. P. 8.
<https://doi.org/10.1016/j.supflu.2012.06.003>
12. Li G., Tang L., Zhang X., Dong J., Xiao M. Factors affecting greenhouse microclimate and its regulating techniques: a review // IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 2018. V. 167. P. 012019.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/167/1/012019>
13. Sethi V.P. On the selection of shape and orientation of a greenhouse: thermal modeling and experimental validation // Solar Energy. 2009. V. 83. P. 21.
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.05.018>
14. Садыкова Ф.В. Опыт выращивания лимонов в Башкортостане. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2009. 64 с.
15. Садыкова Ф.В. Опыт выращивания цитрусовых культур в условиях Уфимского лимонария // Садоводство и виноградарство. 2012. № 4. С. 31.
16. Середина В.П. Методы определения питательных элементов (NPK). Томск: ТГУ, 2007. С. 12.
17. Карпачева А.Н., Щеглова А.С. Биохимические методы анализа эфирномасличных растений и эфирных масел / Под ред. А.Н. Карпачева, К.Г. Персидская, Л.Н. Лиштванова // Симферополь: ВНИИЭМК, 1972. 107 с.
18. Дмитриева В.Л., Дмитриев Л.Б., Цицилин А.Н. Сравнительный анализ компонентного состава эфирных масел некоторых таксонов рода *Citrus* // От биохимии растений к биохимии человека / Под ред. А.И. Морозова, П.Г. Мизиной. М.: ВИЛАР. 2022. С. 156.
19. Система удобрений: методические указания для лабораторно-практических занятий, самостоятельных и контрольных работ / Сост.: А.Н. Мармулев, А.Г. Митракова. Новосибирск: НГАУ, 2015. 29 с.
20. Пустовой Н.Н. Технология выращивания лимона и оценка некоторых субтропических и тропических культур в защищенном грунте в условиях

- Саратовского Поволжья. Дис. ... канд. с-х. наук. Мичуринск, 2002. 109 с.
21. Рындин А.В., Горшков В.М. Агроклиматические условия формирования урожая цитрусовых в зоне влажных субтропиков // Садоводство и виноградарство. 2012. № 6. С. 31.
22. Притула З.В., Малюкова Л.С., Козлова Н.В. Особенности влияния комплекса экологических факторов на биохимические показатели качества чая сорта Колхида в условиях субтропиков России // Субтропическое и южное садоводство России. 2009. № 42-2. С. 86.
23. Билалова Э.Г., Садыкова Ф.В., Ишмуратова М.М. Фенологические характеристики лимонов узбекской и башкирской селекции в условиях г. Уфы // Вестник ПГУ. Биология. 2018. № 3. С. 238.
24. Dinesh M.R., Reddy B.M.C. Physiological basis of growth and fruit yield characteristics of tropical and sub-tropical fruits to temperature // Tropical Fruit Tree Species and Climate Change. 2012. V. 45. P. 45.
25. Байшоланов С.С., Павлова В.Н., Жакиева А.Р., Чернов Д.А., Габбасова М.С. Агроклиматические ресурсы Северного Казахстана // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2018. № 1. С. 168.
26. Садыкова Ф.В., Билалова Э.Г. Агрохимическая характеристика почвогрунтов Уфимского лимонария // Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2019. № 150. С. 123.
27. Srivastava A., Kohli R. Soil suitability criteria for citrus: an appraisal // Agric. Rev. 1997. V. 18. P. 139.
28. Шафран С.А., Леонова Е.В., Пупынин В.М. Внутрипольная вариабельность элементов питания в почвах и ее влияние на урожайность озимых зерновых культур // Агрохимия. 2011. № 2. С. 15.
29. Плугатарь Ю.В., Шевчук О.М., Феськов С.А., Федотова И.А., Тарба Ф.Т., Лейба В.Д. Компонентный состав эфирного масла в листьях *Citrus limon* (L.) Osbeck при выращивании в разных условиях // Субтропическое и декоративное садоводство. 2019. № 70. С. 167.