

На правах рукописи



Кулешов Александр Сергеевич

**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА РЕДКИХ
ПЛОДОВЫХ КУЛЬТУР ИЗ РОДА *CITRUS*
В УСЛОВИЯХ ВЛАЖНЫХ СУБТРОПИКОВ РОССИИ**

Специальность 4.1.4. Садоводство, овощеводство, виноградарство
и лекарственные культуры

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Краснодар – 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук»

Научный руководитель:	Кулян Раиса Васильевна кандидат сельскохозяйственных наук
Официальные оппоненты:	Щеглов Сергей Николаевич доктор биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», профессор кафедры генетики, микробиологии и биохимии. Ульяновская Елена Владимировна доктор сельскохозяйственных наук, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», заведующий лабораторией сортоизучения и селекции садовых культур
Ведущая организация	ФГБУН «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН»

Защита диссертации состоится «3» декабря 2024 года в 13:00 на заседании диссертационного совета 35.2.019.08 на базе ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», по адресу: 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13 (главный корпус, ауд. 106).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета и на сайтах: ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» – www.kubsau.ru и ВАК – <http://vak.ed.gov.ru>.

Автореферат разослан «___» _____ 2024 г.

Ученый секретарь диссертационного совета, к. с.-х. наук

Е.Н. Благородова

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Цитрусовые культуры – это одни из самых ценных плодовых культур, которые имеют большое экономическое значение в странах, с тропическим и субтропическим климатом. В настоящее время наибольшие площади возделывания заняты под такими видами как мандарин, апельсин, лимон, грейпфрут. Но в сельскохозяйственном производстве существует постоянная необходимость в обновлении как промышленного сортимента, так и видов культивируемых плодовых растений. Для успешного развития той или иной отрасли сельского хозяйства, необходимо введение в промышленный сортимент региона новых интродуцированных видов и сортов. Одним из путей такого обновления является интродукция и комплексная оценка образцов в новых для них условиях. Среди большого видового разнообразия цитрусовых культур, существуют редкие виды и сорта, которые не были полностью изучены и тем самым не получили широкого распространения. Коллекция ФИЦ СНЦ РАН насчитывает 142 сортообразца, среди которых имеются интродуцированные из разных стран мира редкие виды и сорта, комплексное изучение которых позволит обновить и расширить сортимент для Черноморского побережья Россия – единственного субтропического региона, где возможно выращивать цитрусовые культуры в открытом грунте, что является актуальным научным направлением.

Цель исследования – провести комплексную оценку редких плодовых культур из рода *Citrus* в неконтролируемых условиях теплицы, подобрать сортимент для использования в различных направлениях (для производства, любительского и декоративного садоводства).

Задачи исследований:

1. Выявить особенности прохождения фенологических фаз редких плодовых культур из рода *Citrus* в годичном цикле развития.
2. Оценить биологические и морфологические особенности редких плодовых культур из рода *Citrus* на основании биометрических показателей.
3. Изучить адаптационный потенциал редких плодовых культур из рода *Citrus* к абиотическим и биотическим факторам среды: определить содержание фотосинтетических пигментов (хлорофилл а, b, сумма каротиноидов); изучить особенности устьичного аппарата; оценить устойчивость к гидротермическим стрессорам и доминирующим вредителям цитрусовых культур.
4. Оценить качество плодов по показателям механического, биохимического состава и органолептической характеристики.
5. Провести генотипирование с использованием молекулярных маркеров, определить генетические дистанции среди изучаемых редких цитрусовых культур.

Научная новизна результатов исследования. Впервые проведена комплексная оценка редких интродуцированных цитрусовых культур в неконтролируемых условиях теплицы во влажных субтропиках России. Выявлены закономерности роста и развития в зависимости от видовых, сортовых особенностей и гидротермических условий выращивания. Впервые в динамике определен пигментный состав и изучен устьичный аппарат в листьях, на основе которых дана оценка адаптационного потенциала в изменяющихся гидротермических условиях и выделены

наиболее устойчивые виды и сорта цитрусовых. Выделены устойчивые виды и сорта к доминирующим вредителям цитрусовых культур. Выделены виды и сорта с наилучшими хозяйственно-ценными признаками плодов, для использования в производстве, любительском и декоративном цитрусоводстве. Впервые проведено генотипирование редких плодовых культур из рода *Citrus* с использованием ISSR и SCoT маркеров, по результатам которого определены генетические дистанции среди изучаемых видов и сортов, а также выявлены наиболее эффективные маркеры для изучения генетического разнообразия коллекции цитрусовых культур.

Теоретическая и практическая значимость. Определены оптимальные условия для роста и развития редких плодовых культур из рода *Citrus*. Установлены изменения в жизненном цикле растений под воздействием гидротермических стресс-факторов. Изучен адаптивный потенциал редких плодовых культур из рода *Citrus* в неконтролируемых условиях теплицы во влажных субтропиках России.

Для промышленного производства предложены виды и сорта с высокими товарными качества плодов и устойчивостью к доминирующим вредителям цитрусовых культур. Установлены генетические дистанции среди редких видов и сортов, и выявлены наиболее эффективные молекулярные маркеры для изучения и установления генетической изменчивости цитрусовых культур, а также могут быть предложены для растений других семейств.

Личный вклад автора состоит в постановке и проведении всех этапов научного исследования, самостоятельном анализе и написанию литературного обзора. Лично и в полном объеме проведены экспериментальные и лабораторные исследования, обработаны полученные данные, обобщены и проанализированы полученные результаты, в подготовке публикаций в различных изданиях. Разработка программы и подбор методик исследований выполнены при участии научного руководителя.

Методология исследования основана на логическом построении структуры диссертационной работы, в результате которой была поэтапно дана научно – обоснованная комплексная оценка редким плодовым культурам из рода *Citrus*, позволившая выделить виды и сорта для расширения и оптимизации промышленного ассортимента цитрусовых в условиях влажных субтропиков России, а также для любительского и декоративного садоводства.

Положения, выносимые на защиту:

1. Биологическая характеристика видов и сортов цитрусовых культур обусловлена генетическими особенностями и зависит от гидротермических условий года.

2. Сортимент наиболее устойчивых к абиотическим и биотическим факторам среды редких плодовых культур из рода *Citrus*, выделенный на основе изучения адаптационного потенциала.

3. Редкие виды и сорта с высокими качественными характеристиками плодов – основа расширения сортимента цитрусовых культур в субтропической зоне.

4. Оценка генетических дистанций редких плодовых культур из рода *Citrus* на основе генотипирования позволила выявить наиболее эффективные маркеры для изучения генетического разнообразия в коллекции цитрусовых.

Степень достоверности полученных результатов подтверждается объемом проанализированных и обобщенных статистической обработкой экспериментальных материалов с применением общепринятых методов исследований, достоверным заключением и обоснованными рекомендациями.

Апробация работы. Результаты исследований были доложены в 2020 -2022 гг. на ежегодных отчетных сессиях ФИЦ СЦ РАН, а также на 8 всероссийских и международных конференциях и симпозиумах различного уровня, в т.ч.: XVII ежегодная молодежная научная конференция «Наука и технологии Юга России» (Ростов-на -Дону, 2021), получен диплом III степени; Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы физиологии, биохимии и биотехнологии растений» (Сочи, 2021); Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), посвященной 60-летию ФГБНУ «Адыгейский НИИСХ» (Майкоп, 2021); XVIII ежегодная молодежная научная конференция «Наука Юга России: достижения и перспективы» (Ростов-на -Дону, 2022), получен диплом II степени; Всероссийская конференция «Генетические ресурсы растений для генетических технологий: к 100-летию Пушкинских лабораторий ВИР» (Санкт-Петербург, 2022); Международной научной конференции, посвященной 90-летию Центрального ботанического сада Национальной академии наук Беларуси (Минск, 2022); V Вавиловская международная конференция (Санкт-Петербург, 2022); XIX Ежегодная молодежная научная конференция «Достижения и перспективы научных исследований молодых ученых Юга России» (Ростов-на-Дону, 2023), Всероссийская конференция «Генетические ресурсы растений для генетических технологий» (г. Санкт-Петербург, 2023)

Публикации результатов исследований. По материалам диссертации опубликованы 15 научных статей, отражающих основные положения проведенных исследований (в т.ч. 8 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ; 3 – в изданиях, индексируемых в БД Scopus).

Структура и объем научно-квалификационной работы: Научно-квалификационная работа содержит введение, 3 главы, заключение, включающее выводы и практические рекомендации, библиографический список из 227 наименований, в том числе 99 – иностранных авторов. Работы изложена на 152 страницах, содержит 39 рисунков, 22 таблиц, приложения.

Благодарности. Автор выражает искреннюю и глубокую благодарность за оказанные содействия и консультативную помощь в выполнении данной работы своему руководителю к.с.-х.н. Р.В. Кулян; д.б.н. О.Г. Белоус, д.б.н. Карпун Н.Н.; д.с.-х.н. В.М. Горшкову и сотрудникам отдела генетических ресурсов растений ФИЦ СЦ РАН за консультации во время подготовки материалов диссертации; сотрудникам отдела физиологии и биохимии растений ФИЦ СЦ РАН за помощь в проведении физиологических, анатомо-морфологических и биохимических анализов; сотрудникам отдела лаборатории молекулярной и клеточной селекции отдела биотехнологии за помощь в генетических анализах и обработку данных.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ. СОСТОЯНИЕ И ИЗУЧЕННОСТЬ ВОПРОСА ИССЛЕДОВАНИЙ

Цитрусовые, за исключением *C. trifoliata* L., являются вечнозелеными растениями и считаются важнейшими плодовыми культурами тропических и субтропических регионов мира.

В главе рассмотрено происхождение, значение, распространение цитрусовых культур, биологические особенности, отношение к условиям выращивания, а также вредители цитрусовых культур. Проанализированы научные исследования, направленные на изучение биологического потенциала цитрусовых культур к абиотическим факторам среды, биохимического состава плодов, а также проведение генетического анализа для изучения полиморфизма ДНК с использованием различных молекулярных маркеров.

Исследования проведены в 2020–2022 гг. во влажных субтропиках России на базе биоресурсной коллекции цитрусовых ФИЦ СЦ РАН (г. Сочи) в теплице с неконтролируемыми условиями.

Объектами исследований являлись 13 редких видов и сортов из рода *Citrus* L. разного эколого-географического происхождения. Растения привиты на подвой *C. trifoliata* в 2015 году. В опыте 13 вариантов (растение – вариант), повторность – трехкратная.

Исследования проведены согласно общепринятым программам и методикам сортоизучения (Витковский, Петрова, 1989; Программа и методика..., 1999).

Температуру и влажность воздуха контролировали с использованием автономного прибора (логгер для измерения температуры и влажности, модель TR – 2V). Биометрические параметры – по общепринятым методикам (Зайцев, 1973; Киселева, 2017). Содержание фотосинтетических пигментов (хлорофилл а, b, сумма каротиноидов) в экстракте зеленых листьев методом А.А. Шлыка (1971). Анатомо-морфологические особенности изучали с использованием общепринятых методик световой микроскопии (Патрушева, 1988).

Наличие фитофагов устанавливалось визуально (у каждого таксона осматривались по 3-5 растений) или с использованием лупы 10х. Идентификация видов проводилась по определителям. Интенсивность повреждений учитывалась по 5-бальной шкале.

Лабораторные исследования биохимических показателей проводили по достижении потребительской зрелости плодов редких таксонов. Повторность лабораторных анализов – трехкратная. Выход сока рассчитывали в процентах, учитывая массу плодов до их прессования и после отжима. Количественное содержание сахаров, органических кислот и витамина С в плодах проведено с использованием капиллярного электрофореза «Капель – 105М».

Дегустационная оценка проводилась сотрудниками лабораторий отдела генетических ресурсов растений ФИЦ СЦ РАН. Оценивались величина, форма, окраска, аромат плодов, а также их вкусовые качества по 5-ти бальной шкале.

Генетический анализ. Свежие образцы листьев цитрусовых растирали в жидком азоте. Выделение ДНК – методом ЦТАБ с модификациями (Doyle, 1990). Проверка качества ДНК – методом электрофореза в 1 % агарозном геле; концентрация ДНК – спектрофотометрическим методом. Все образцы разводили до 20 ng μL^{-1} и

хранили при -20°C . Генотипирование – методом классической ПЦР. Основные наборы маркеров: ISSR (Mondal, 2002) и SCoT (Reddy, 2002). Реакционная смесь SCoT и ISSR для ПЦР состояла из 10 мкл 2х реакционного буфера HS-TaqPCR (Биолабмикс, Новосибирск, Россия), содержащего Taq-полимеразу Hot Start, 0,4 мкл праймера (10 мкМ), 2 мкл ДНК ($20 \text{ ng } \mu\text{L}^{-1}$) и вода, обработанная DEPC, в общем объеме ПЦР 15 мкл. Амплификацию проводили в термоциклере MiniAmp (Thermo Fisher Scientific, Массачусетс, США). Программа амплификации для SCoT - анализа: первичная денатурация 5 мин при 95°C , отжиг 35 циклов, денатурация при 95°C в течение 1 мин, отжиг при 52°C в течение 1 мин, элонгация при 72°C в течение 2 мин и окончательная элонгация при 72°C в течение 5 мин.

Программа амплификации для ISSR - анализа: первичная денатурация 5 мин при 95°C , отжиг 40 циклов по 20 сек при 53°C элонгация при 72°C в течение 1 мин 45 сек и финальная элонгация при 72°C в течение 7 мин. Разделение SCoT и ISSR -фрагментов проводили на 2% агарозном геле в течение 2,5 ч при 90 В в $1 \times \text{TAE}$ -буфере.

Статистическая обработка данных проводилась по Б.А. Доспехову (1985) и рекомендациям (Рязанова и др., 2013) с использованием пакетов программ MS Excel и Statistica-6.0. Анализ основных координат (PCoA) выполнен на основе набора данных матрицы расстояний в GeneAlex ver. 6.5 (Peakall, 2012). Параметры эффективности мультилокусных маркеров анализировали в программе IMES (Amiryousefi, 2018).

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Биологические особенности редких плодовых культур из рода *Citrus* в неконтролируемых условиях влажных субтропиков России

3.1.1 Особенности прохождения фенологических фаз в годичном цикле развития редких цитрусовых культур

Фенологические наблюдения за развитием растений в различных почвенно-климатических зонах имеют большое научное и практическое значение и являются обязательным элементом производственно-биологического изучения плодовых культур и особенно важны при интродукции новых видов растений.

3.1.1.1 Особенности наступления и протекания фенофазы «распускание почек и бутонизация» у редких цитрусовых культур. Установлено, что распускание почек и бутонизация начинались при достижении устойчивой среднесуточной температуре выше $+13^{\circ}\text{C}$, при достижении суммы активных температур $200\text{--}345^{\circ}\text{C}$ в зависимости от вида, сорта и погодных условий года. В условиях влажных субтропиков России этот период начинается во II-III декаде марта. Выход исследуемых видов и сортов цитрусовых из состояния зимнего покоя и начало их ростовых процессов в большей степени зависят от видовых особенностей. Погодные условия года способствуют смещению даты.

Исследуемые виды и сорта цитрусовых по сроку наступления фазы «распускание почек и бутонизация» были разделены на ранние, средние и поздние (рисунок 1).

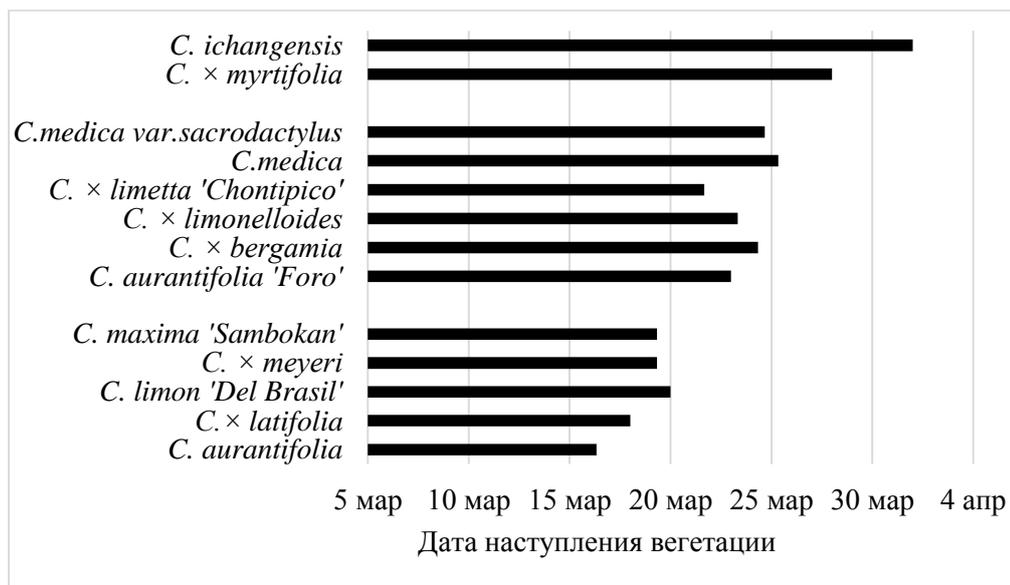


Рисунок 1 – Начало вегетации редких плодовых культур из рода *Citrus*, г. Сочи, неконтролируемые условия теплицы, 2020-2022 гг.

К видам и сортам с ранним выходом из зимнего покоя относятся *C. aurantifolia*, *C. × latifolia*, *C. limon* 'Del Brasil', *C. × meyeri* и *C. maxima* 'Sambokan' (II декада марта), самым поздним началом вегетации отличается *C. ichangensis* (I декада апреля). Промежуточную позицию занимают *C. aurantifolia* 'Foro', *C. × bergamia*, *C. × limonelloides*, *C. × limetta* 'Chontipico', *C. medica*, *C. medica* var. *sacroductylus* и *C. × myrtifolia* (III декада марта).

Разница между видами и сортами с ранним наступлением фенологической фазы «распускание почек и бутонизация» составляет 4 дня (16.03–20.03), в средней группе 6 дней (18.03–25.03), разница от раннего наступления *C. aurantifolia* (16.03) и позднего *C. ichangensis* (01.04) составляет 14–20 дней.

3.1.2.2 Особенности наступления и протекания фенофазы «цветение» у редких цитрусовых культур. Одной из основных фенофаз развития плодовых растений является «цветение», по ее протеканию можно оценить будущий урожай. Установлено, что от появления бутона до распускания лепестков у редких видов и сортов цитрусовых проходит от 17 (*C. aurantifolia* 'Foro' в 2020 г.) до 46 дней (*C. × limetta* 'Chontipico' в 2022 г.) (таблица 1).

Так, по срокам наступлению фенофазы «цветение» все исследуемые виды и сорта цитрусовых можно разделить на три группы:

– ранний срок цветения: *C. aurantifolia*, *C. aurantifolia* 'Foro', *C. × latifolia*, *C. limon* 'Del Brasil', *C. × meyeri*. Цветение приходится на начало II декады апреля (в среднем 11–13 апреля) и продолжается в течение 21–33 дней.

– средний срок цветения: *C. ichangensis*, *C. maxima* 'Sambokan' и *C. × myrtifolia*. Цветение приходится на конец II декады апреля (в среднем 18–19 апреля), которое длилось 13–20 дней.

– поздний срок цветения: *C. × bergamia*, *C. × limonelloides*, *C. × limetta* 'Chontipico', *C. medica*, *C. medica* var. *sacroductylus*. Цветение приходится на III декаду апреля (в среднем 23–28 апреля) с продолжительностью 11–17 дней.

Таблица 1 – Особенности цветения редких плодовых культур из рода *Citrus*, (г. Сочи, неконтролируемые условия теплицы), 2020-2022 гг.

Виды и сорта	Цветение			Продолжительность цветения, дней	Ремонтантность	Сумма активных температур, °С
	начало	массовое	конец			
Раннего срока цветения						
<i>C. aurantifolia</i> 'Foro'	11.04	22.04	17.05	36	+	688
<i>C. aurantifolia</i>	12.04	23.04	12.05	32	+	685
<i>C. × meyeri</i>	12.04	21.04	15.05	33	+	685
<i>C. × latifolia</i>	13.04	23.04	15.05	32	+	686
<i>C. limon</i> 'Del Brasil'	13.04	23.04	12.05	29	+	710
Среднего срока цветения						
<i>C. ichangensis</i>	18.04	23.04	03.05	14	-	890
<i>C. × myrtifolia</i>	19.04	27.04	13.05	23	-	866
<i>C. maxima</i> 'Sambokan'	21.04	29.04	11.05	20	-	810
Позднего срока цветения						
<i>C. × limonelloides</i>	23.04	03.05	13.05	22	+	855
<i>C. medica</i> var. <i>sacrodactylus</i>	23.04	29.04	08.05	14	-	876
<i>C. × bergamia</i>	25.04	03.05	18.05	23	+	900
<i>C. medica</i>	25.04	30.04	08.05	14	-	920
<i>C. × limetta</i> 'Chontipico'	28.04	04.05	17.05	18	+	900

Ремонтантностью обладают *C. aurantifolia*, *C. aurantifolia* 'Foro', *C. × latifolia*, *C. × bergamia*, *C. × limonelloides*, *C. × limetta* 'Chontipico', *C. limon* 'Del Brasil', *C. × meyeri*, *C. medica* var. *sacrodactylus* и *C. × myrtifolia*.

3.1.1.3 Особенности роста и развития редких цитрусовых культур в летне-осенний период. Количество и продолжительность ростовых процессов зависят от генетических особенностей цитрусовых, погодных условий сезона, особенностей агротехники и ряда других факторов. Установлено, что редкие цитрусовые культуры в течение вегетации проявляют от 2–3 до 5 периодов активного роста.

У *C. aurantifolia*, *C. aurantifolia* 'Foro', *C. × latifolia*, *C. × bergamia*, *C. × limonelloides*, *C. limetta* 'Chontipico', *C. × meyeri*, *C. medica* var. *sacrodactylus* и *C. × myrtifolia* выявлено три периода активного роста, а при благоприятных погодных условиях (продолжительной температуре выше +10 °С), в осенне-зимний период может наблюдаться 4 волна роста. Для *C. ichangensis*, *C. limon* 'Del Brasil', *C. maxima* 'Sambokan', *C. medica* характерно два периода роста побегов. Вторая волна роста побегов у редких цитрусовых культур наблюдается при достижении суммы активных температур 1420–2190 °С, третья – при 2350–3990 °С.

3.1.1.4 Особенности наступления и протекания фенофазы «созревание плодов» у редких цитрусовых культур. Сроки наступления фенофазы «созревание плодов» определяли, начиная с даты окончания цветения и до наступления полной зрелости плодов. Все изучаемые нами цитрусовые были ранжированы по срокам созревания плодов (таблица 2).

Таблица 2 – Сроки созревания плодов редких плодовых культур из рода *Citrus* в условиях влажных субтропиков России (г. Сочи, неконтролируемые условия теплицы), 2020-2022 гг.

Виды и сорта	ноябрь			декабрь			январь	Сумма активных температур, °С
	I	II	III	I	II	III	I	
<i>C. aurantifolia</i>			р					4950
<i>C. × latifolia</i>			р					5030
<i>C. aurantifolia</i> 'Foro'			р					5070
<i>C. × limonelloides</i>			р					4880
<i>C. × meyeri</i> (κ)			р					4710
<i>C. ichangensis</i>				с				5012
<i>C. × limetta</i> 'Chontipico'				с				4990
<i>C. limon</i> 'Del Brasil'				с				4800
<i>C. × bergamia</i>					с			5140
<i>C. maxima</i> 'Sambokan'					с			5200
<i>C. medica</i> var. <i>sacroductylus</i>					с			5142
<i>C. medica</i>						п		5250
<i>C. × myrtifolia</i>						п		5157

Примечание: р – раннего срока созревания; с – среднего срока; п – позднего срока

3.2 Основные показатели роста и развития редких плодовых культур из рода *Citrus* в неконтролируемых условиях теплицы. В таблице 3 представлены результаты измерений основных параметров кроны редких таксонов цитрусовых, определяющих ее объем.

Таблица 3 – Параметры роста редких плодовых культур из рода *Citrus* в условиях влажных субтропиков России (г. Сочи, неконтролируемые условия теплицы), 2020-2022 гг.

Виды и сорта	Средняя годовичная длина прироста		Количество побегов		Суммарный прирост	
	см	V, %	шт.	V, %	м	V, %
<i>C. aurantifolia</i>	16.36	11	30	15	4.85	21
<i>C. aurantifolia</i> 'Foro'	17.97	15	27	20	4.85	27
<i>C. ichangensis</i>	23.41	16	19	5	4.45	15
<i>C. medica</i>	20.02	21	18	36	3.60	18
<i>C. maxima</i> 'Sambokan'	20.53	18	16	35	3.22	14
<i>C. × meyeri</i>	18.32	3	16	22	2.93	22
<i>C. × limonelloides</i>	10.33	6	27	21	2.76	15
<i>C. limon</i> 'Del Brasil'	22.00	22	12	14	2.64	7
<i>C. × bergamia</i>	17.10	19	15	10	2.51	27
<i>C. medica</i> var. <i>sacroductylus</i>	16.01	17	15	13	2.40	22
<i>C. × limetta</i> 'Chontipico'	16.61	20	13	8	2.16	16
<i>C. × latifolia</i>	13.92	16	12	33	1.72	31
<i>C. × myrtifolia</i>	10.98	22	16	39	1.76	60
HCP _{0,5}	3,75	-	7,26	-	1,19	-

По степени наращивания кроны, редкие виды и сорта были разделены на три группы:

1. Редкие цитрусовые *C. aurantifolia*, *C. aurantifolia* 'Foro', *C. ichangensis* имеют высокую степень наращивания кроны, суммарный прирост составил 4,45–4,85 м.

2. Виды и сорта *C. × bergamia*, *C. × limonelloides*, *C. × limetta* 'Chontipico', *C. limon* 'Del Brasil', *C. maxima* 'Sambokan', *C. medica*, *C. medica* var. *sarcodactylus*, *C. × meyeri* имеют среднюю степень наращивания кроны, суммарный прирост в пределах 2,16–3,60 м.

3. Виды *C. × latifolia* и *C. × myrtifolia* имеют низкую степень наращивания кроны, суммарный прирост был в пределах 1,72–1,76 м.

По интенсивности роста условно выделены виды и сорта: с низкой интенсивностью роста *C. × bergamia*, *C. × limonelloides*, *C. × myrtifolia*, высота растения составляла 79,1 – 93,3 см; со средней интенсивностью роста *C. aurantifolia*, *C. × latifolia*, *C. aurantifolia* 'Foro', *C. × ichangensis*, *C. × meyeri*, высота растения находилась в пределах 104,3–110,4 см; с высокой интенсивностью роста характеризуются *C. × limetta* 'Chontipico', *C. limon* 'Del Brasil', *C. maxima* 'Sambokan', *C. medica*, *C. medica* var. *sarcodactylus*, их высота варьировала от 118,7 до 136,5 см.

По степени наращивания и компактности кроны, силе роста выделены виды и сорта *C. aurantifolia*, *C. aurantifolia* 'Foro', *C. × limonelloides* и *C. × meyeri*. При этом необходимо отметить, что *C. × myrtifolia* имеет сдержанный рост и компактную крону, что отвечает требованиям декоративного садоводства.

3.3 Оценка устойчивости редких плодовых культур из рода *Citrus* к стрессовым факторам среды.

3.3.1 Пигментный состав редких плодовых культур из рода *Citrus*. Установлено, что содержание хлорофилла а и b – динамичный показатель, зависящий от генотипа и погодных условий года (таблица 4).

Таблица 4 – Суммарное содержание зеленых пигментов в листьях редких таксонов цитрусовых в зависимости от гидротермических условий года (г. Сочи, неконтролируемые условия), 2020-2022 гг.

Виды и сорта	Зима		Лето		Осень	
	мг/г	V, %	мг/г	V, %	мг/г	V, %
<i>C. aurantifolia</i>	2,65±0,7	6	2,09±0,1	7	2,84±0,2	6
<i>C. aurantifolia</i> 'Foro'	2,07±0,5	28	2,51±0,9	37	2,71±0,1	2
<i>C. × latifolia</i>	2,67±0,7	6	1,53±0,5	33	2,27±0,4	20
<i>C. ichangensis</i>	2,58±0,1	1	1,72±0,5	28	2,15±0,3	16
<i>C. × bergamia</i>	3,21±0,4	8	2,08±0,1	5	2,41±0,5	19
<i>C. × limonelloides</i>	2,62±0,6	12	1,98±0,6	32	2,18±0,4	17
<i>C. × limetta</i> 'Chontipico'	2,72±0,8	5	2,21±0,4	16	2,28±0,8	35
<i>C. limon</i> 'Del Brasil'	3,05±0,6	7	2,39±0,8	35	2,43±0,1	3
<i>C. maxima</i> 'Sambokan'	2,53±0,3	18	2,34±0,4	18	2,62±0,6	22
<i>C. medica</i>	1,61±0,9	41	1,90±0,3	18	2,21±0,3	13
<i>C. medica</i> var. <i>sarcodactylus</i>	2,96±0,4	9	2,21±0,5	22	2,60±0,5	21
<i>C. × meyeri</i>	3,29±1,2	2	1,93±0,7	39	2,59±0,7	26
<i>C. × myrtifolia</i>	2,31±0,9	32	2,29±0,7	30	2,69±0,3	13
HCP _{0,5}	0,63	-	0,64	-	0,71	-

По динамике синтеза хлорофиллов в разные периоды года были выделены виды и сорта *C. ichangensis*, *C. × bergamia*, *C. × limonelloides*, *C. limon* ‘Del Brasil’, *C. × meyeri*, как более приспособленные к зимним условиям, и *C. aurantifolia* ‘Foro’ и *C. medica* – более приспособлены к условиям летне-осеннего периода.

Желтые пигменты (каротиноиды) – важные составляющих пигментного аппарата, которые участвуют в защите зеленых пигментов при неблагоприятных абиотических факторах среды. Для большинства изучаемых редких цитрусовых характерно наибольшее накопление каротиноидов в зимний период. В среднем по объектам он составил 0,49 мг/г. Максимальный показатель каротиноидов отмечался у *C. × latifolia*, *C. ichangensis*, *C. × bergamia*, *C. × limonelloides*, *C. × limetta* ‘Chontipico’, *C. maxima* ‘Sambokan’, *C. medica*, *C. medica* var. *sacrodactylus*, *C. × meyeri*, *C. limon* ‘Del Brasil’, который находился в пределах 0,43 – 0,58 мг/г. Далее наблюдается дальнейшее снижение синтеза каротиноидов в летний период, с незначительным увеличением в осенний. Для *C. aurantifolia*, *C. aurantifolia* ‘Foro’ и *C. × myrtifolia* наблюдается обратная динамика – увеличение синтеза каротиноидов в летне-осенний период, что говорит об их адаптивной реакции во время повышенных температур и низкой влажности воздуха. Как правило, усиленное накопление каротиноидов в листьях растения, свидетельствует об их засухоустойчивости (Белоус, 2007).

3.3.2 Устьичный аппарат как один из механизмов адаптации редких плодовых культур из рода *Citrus*. В зависимости от генотипа, плотность устьиц в среднем варьировала от 278 до 883 устьиц на 1 мм² (таблица 5). Этот показатель не зависел от площади листовой пластинки ($R^2 = 0,08$) (Р.В. Кулян, А.С. Кулешов, Н.А. Коннов, 2020).

Таблица 5 – Характеристика устьичного аппарата редких плодовых культур из рода *Citrus* в условиях влажных субтропиков России (г. Сочи, неконтролируемые условия теплицы), 2020-2022 гг.

Виды и сорта	Площадь листа, см ²	Размеры устьиц, мкм		Плотность расположения устьиц, шт./мм ²
		длина	ширина	
<i>C. aurantifolia</i>	22,55	21,4±1,29	18,2±1,10	780
<i>C. aurantifolia</i> ‘Foro’	25,60	23,4±1,98	19,9±2,06	563
<i>C. × latifolia</i>	22,90	27,9±1,90	23,3±1,43	425
<i>C. ichangensis</i>	49,00	22,9±2,42	20,0±1,87	623
<i>C. × bergamia</i>	38,04	26,3±2,60	21,3±1,33	490
<i>C. × limonelloides</i>	22,17	23,1±1,20	19,8±1,11	628
<i>C. × limetta</i> ‘Chontipico’	27,91	23,5±2,59	19,9±1,80	540
<i>C. limon</i> ‘Del Brasi’	46,58	24,8±1,67	21,3±1,03	470
<i>C. maxima</i> ‘Sambokan’	46,17	23,4±1,17	19,6±0,74	665
<i>C. medica</i>	37,28	22,7±1,74	18,5±0,71	883
<i>C. medica</i> var. <i>sacrodactylus</i>	28,17	23,4±1,47	19,3±0,89	753
<i>C. × meyeri</i>	24,68	23,9±1,43	20,6±1,17	785
<i>C. × myrtifolia</i>	4,98	25,2±2,37	21,2±2,25	278
HCP _{0,5}	-	1,06	0,79	-

Наибольшая плотность устьиц была отмечена у *C. aurantifolia*, *C. medica*,

C. medica var. *sarcodactylus* и *C. × meyeri*, а наименьшая – у *C. × latifolia*, *C. × bergamia*, *C. limon* ‘Del Brasil’, *C. × myrtifolia*.

К видам и сортам с высокой засухоустойчивостью можно отнести *C. aurantifolia*, *C. medica*, *C. medica* var. *sarcodactylis* и *C. × meyeri*, *C. × limonelloides*, *C. ichangensis*, *C. maxima* ‘Sambokan’ обладающие наиболее оптимальными параметрами устьиц (высокая плотность и маленькие размеры устьиц), предохраняющих лист от интенсивной потери влаги в условиях гидротермического стресса летнего периода.

3.3.3 Оценка устойчивости редких плодовых культур из рода *Citrus* к доминирующим вредителям в условиях влажных субтропиков России. Среди сосущих вредителей были обнаружены и отмечены повреждения красным цитрусовым клещом (*Panonychus citri* McGregor), серебристым цитрусовым клещом (*Phyllocoptruta oleivora* Ashmead) и цитрусовой белокрылкой (*Dialeurodes citri* Ashmead). Среди вредителей, относящихся к группе листогрызущих и минирующих, были обнаружены и отмечены следы повреждений цитрусовой минирующей молью (*Phyllocnistis citrella* Stainton), а также голыми слизнями и улитками (*Deraceras agreste* L. и *Parmacella ibera* Eichwald).

Наиболее устойчивыми к комплексу вредителей оказались *C. ichangensis*, *C. maxima* ‘Sambokan’ и *C. × myrtifolia*, повреждения которых вредителями не превышали 5 % (0,3-1,0 балл) или вовсе не обнаружались, что, вероятно, связано с анатомо-морфологическим строением и биохимическим составом их листьев. Наиболее восприимчивыми к доминирующим вредителям оказались *C. × bergamia*, *C. × limetta* ‘Chontipico’, *C. × meyeri* и *C. medica* var. *sarcodactylis*, у которых за годы исследований степень повреждения достигала 3-4 баллов.

Из болезней были выявлены незначительные (0,5–1,0 балл) поражения антракнозом (возбудитель *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc.) и серой гнилью (возбудитель *Botrytis cinerea* Pers.). Поражения серой гнилью наблюдались на соцветиях в сырую и прохладную погоду, что приводило к прекращению развития генеративных органов (А.С.Кулешов, Р.В.Кулян, Н.Н.Карпун, 2022).

3.4 Качественная характеристика плодов редких плодовых культур из рода *Citrus* в неконтролируемых условиях теплицы влажных субтропиков России

3.4.1 Механический анализ плодов редких цитрусовых культур. По массе и размеру плодов редкие цитрусовые были разделены на три группы:

– в группу мелкоплодных вошли *C. aurantifolia*, *C. aurantifolia* ‘Fogo’, *C. ichangensis*, *C. × limonelloides*, *C. × myrtifolia*, средняя масса плодов которых варьировала в пределах от 30,3 до 48,6 г. размеры плодов от 4,5–4,9 × 3,9–4,3 см.

– в группу со средней массой плода вошли *C. × latifolia*, *C. × bergamia*, *C. × limetta* ‘Chontipico’ и *C. × meyeri*, средняя масса варьировала от 91,7 до 115,2 г, размеры плодов от 7,6–7,8 × 5,6–6,8 см.

– в группу крупноплодных вошли *C. limon* ‘Del Brasil’, *C. maxima* ‘Sambokan’, *C. medica* и *C. medica* var. *sarcodactylus*, средняя масса варьировала от 145,7 до 231,4 г, размеры плодов от 8,8–10,2 × 8,4–9,4 см.

Почти у всех опытных объектов средняя толщина кожуры варьировала от 2 до 5 мм, в результате чего наблюдалось превалирование массы мякоти над массой

кожуры (таблица 6). Для *C. medica* было характерно наличие очень толстого слоя мезокарпия (флаведо) (15 мм), поэтому наблюдалось больше кожуры (55 %), чем мякоти (26,6%), а у его разновидности *C. medica* var. *sarcodactylus* и вовсе мякоти не отмечалось. В связи с чем дальнейший анализ по выходу сока и содержанию сухих веществ для вида *C. medica* var. *sarcodactylus* не определялся.

Таблица 6 – Механический состав плодов редких плодовых культур из рода *Citrus* в условиях влажных субтропиков России (г. Сочи, неконтролируемые условия теплицы), 2020-2022 гг.

Виды и сорта	Масса*, %			Выход сока*, %	Сухое вещество, %	
	кожура	мякоть	семена			
					в коже	в мякоти
<i>C. aurantifolia</i>	21,0	62,5	16,5	57,2	19,4 ±0,3	10,0 ±0,1
<i>C. aurantifolia</i> 'Foro'	25,3	56,1	18,6	52,7	15,6 ±0,7	10,0 ±0,3
<i>C. × latifolia</i>	30,6	69,4	0	41,5	15,5 ±0,1	10,1 ±0,1
<i>C. × bergamia</i>	42,0	49,9	8,1	33,3	19,6 ±0,1	12,7 ±0,9
<i>C. ichangensis</i>	42,5	24,0	33,5	10,7	34,4 ±0,5	17,3 ±0,5
<i>C. × limetta</i> 'Chontipico'	21,2	73,6	5,2	44,5	24,4 ±0,5	11,6 ±0,6
<i>C. limon</i> 'Del Brasil'	34,6	53,3	12,1	47,0	17,6 ±0,3	10,7 ±0,3
<i>C. × limonelloides</i>	22,8	57,1	20,1	44,1	19,7 ±0,5	12,1 ±0,3
<i>C. maxima</i> 'Sambokan'	20,0	59,1	20,9	51,3	24,5 ±0,5	10,5 ±0,6
<i>C. medica</i>	55,0	26,6	18,4	19,2	19,7 ±0,6	11,5 ±0,3
<i>C. medica</i> var. <i>sarcodactylus</i>	100,0	-	-	-	20,7 ±0,6	-
<i>C. × meyeri</i>	26,0	68,8	5,2	51,3	18,1 ±0,1	10,1 ±0,1
<i>C. × myrtifolia</i>	38,3	47,9	13,8	42,0	21,2 ±0,3	12,1 ±0,6

Примечание: * - расчет проводился на 1 кг плодов

Не менее важной характеристикой плодов является выход сока. Это в первую очередь важно для перерабатывающей промышленности, в пищевом и кондитерском производстве. Так, высокой сочностью плодов характеризовались *C. aurantifolia*, *C. aurantifolia* 'Foro', *C. maxima* 'Sambokan' и *C. × meyeri*, выход сока у которых превышал 50 %. Содержание сухих веществ в мякоти исследуемых таксонов варьировала от 10,0 до 17,3 %. Наибольшее содержание сухих веществ отмечено у *C. ichangensis*, наименьшее – у всех трех лаймов и у *C. × meyeri*.

Плоды *C. maxima* 'Sambokan' отличаются наилучшими товарными качествами – крупноплодность, тонкокорость, выход сока и содержание сухих веществ в кожуре и мякоти. Плоды *C. medica* и *C. medica* var. *sarcodactylus* из-за большого объема альбеда и флаведа, могут служить хорошим источником для экстракции эфирных масел, пектина и клетчатки.

3.4.2 Оценка урожайности редких плодовых культур из рода *Citrus*.

Главный хозяйственно-ценный показатель продуктивности плодовых культур – урожайность. Некоторые виды и сорта цитрусовых способны проявлять ремонтантность, в результате чего на растении могут наблюдаться плоды разной стадии созревания. Поэтому при расчете урожайности за основу брали весеннее цветение (таблица 7).

Таблица 7 – Средний урожай редких плодовых культур из рода *Citrus* (г. Сочи, неконтролируемые условия теплицы) 2020–2022 гг.

Виды и сорта	Урожайность			V, %
	Средняя масса плода, г	кг/дер.	т/га	
<i>C. aurantifolia</i>	30,3 ±1,6	1,4	1,8	10%
<i>C. aurantifolia</i> 'Foro'	46,8 ±2,9	1,2	1,5	15%
<i>C. × latifolia</i>	91,7 ±24,0	1,4	1,8	1%
<i>C. × bergamia</i>	106,2 ±19,5	2,4	3,0	22%
<i>C. ichangensis</i>	46,7 ±11,2	0,6	0,8	50%
<i>C. × limetta</i> 'Chontipico'	111,2 ±54,2	1,0	1,3	15%
<i>C. limon</i> 'Del Brasil'	169,8 ±84,9	2,2	2,8	8%
<i>C. × limonelloides</i>	48,6 ±7,3	2,0	2,5	2%
<i>C. maxima</i> 'Sambokan'	231,4 ±94,3	4,2	5,3	20%
<i>C. medica</i>	162,2 ±10,7	0,9	1,1	12%
<i>C. medica</i> var. <i>sarcodactylus</i>	145,7 ±15,9	1,1	1,3	18%
<i>C. × meyeri</i>	115,2 ±16,7	2,1	2,6	19%
<i>C. × myrtifolia</i>	43,6 ±8,1	0,5	0,6	11%

Наибольшей продуктивностью отмечен сорт *C. maxima* 'Sambokan', средняя урожайность составила 4,2 кг/дер. или 5,3 т/га, затем следовали такие виды и сорта как *C. × bergamia* (2,4 кг/дер. или 3,0 т/га), *C. limon* 'Del Brasil' (2,2 кг/дер. или 2,8 т/га) и *C. × meyeri* (2,1 кг/дер. или 2,6 т/га). Наименьшие показатели отмечены у видов *C. × myrtifolia* и *C. ichangensis*, урожайность составила 0,5 и 0,6 кг/дер. или 0,6 и 0,8 т/га, соответственно. Между показателями урожая и массы плода наблюдалась положительная корреляция ($r = 0,62$).

3.4.3 Биохимический анализ плодов редких плодовых культур из рода *Citrus*. Вкусовые качества и питательная ценность плодов зависят от химического состава. Содержание аскорбиновой кислоты сильно варьировало в зависимости от генотипа и находилось в пределах 18,4–46,6 мг/100 г (рисунок 2).

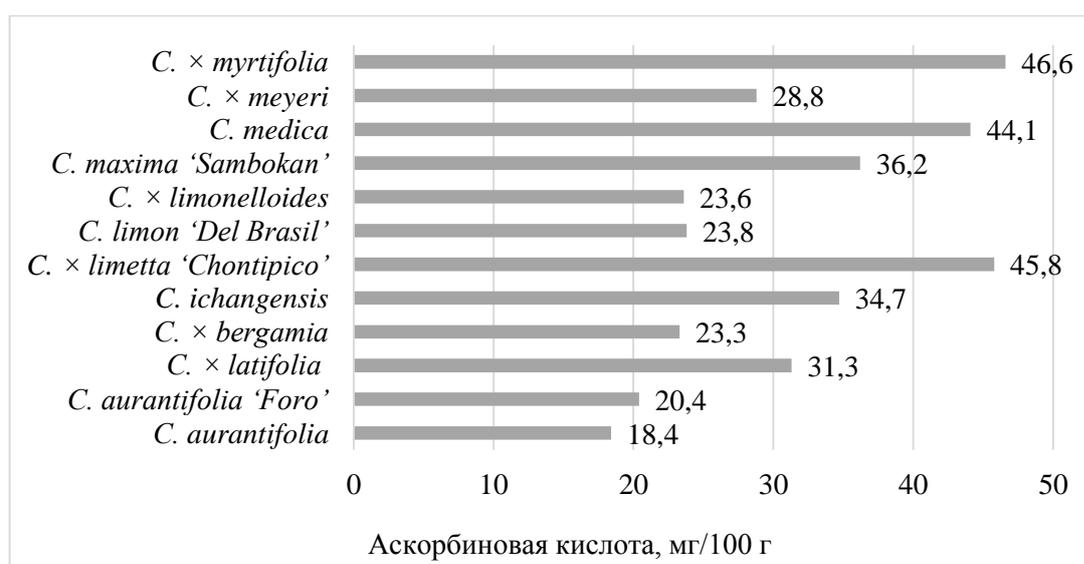


Рисунок 2 – Содержание аскорбиновой кислоты в плодах редких плодовых культур из рода *Citrus* (г. Сочи, неконтролируемые условия теплицы), 2020–2022 гг.

Максимальные показатели отмечены у *C. × myrtifolia* (46,6 мг/100 г), *C. × limetta* ‘Chontipico’ (45,8 мг/100 г) и *C. medica* (44,1 мг/100 г); минимальные – у *C. aurantifolia* (18,4 мг/100 г) и *C. aurantifolia* ‘Fogo’ (20,4 мг/100 г).

Почти у всех исследуемых видов и сортов, лимонная и яблочная кислоты являются доминантными (рисунок 3). Содержание лимонной кислоты по составу от 0,03 (*C. × limetta* ‘Chontipico’) до 6,16 г/100г (*C. × limonelloides*).

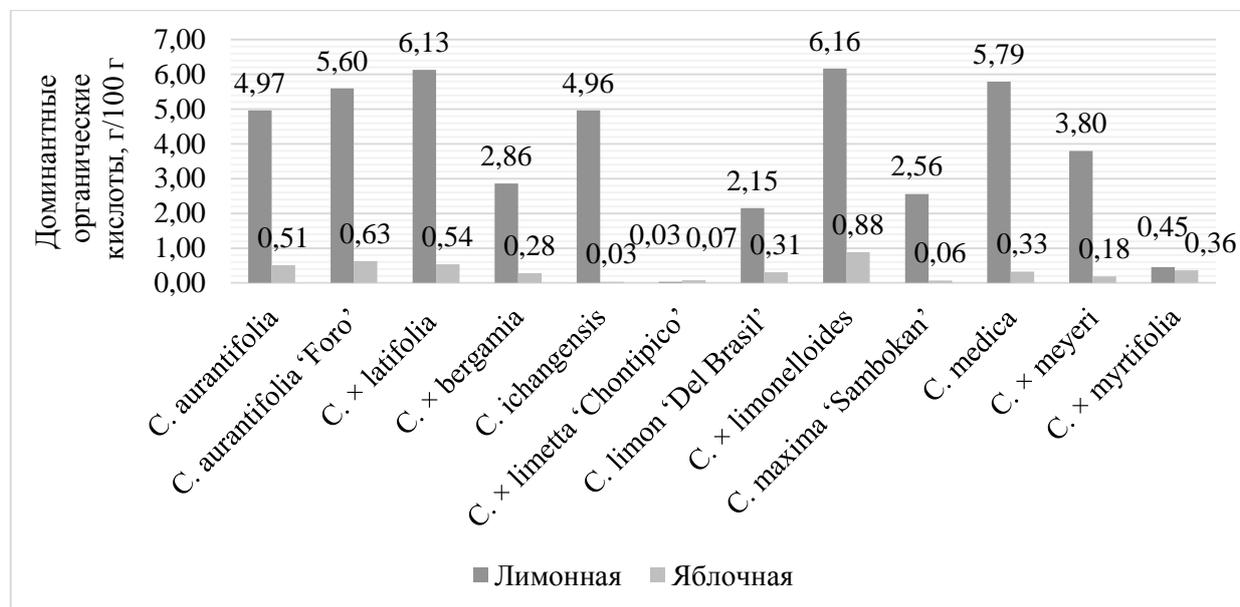


Рисунок 3 – Содержание доминантных органических кислот в плодах редких плодовых культур из рода *Citrus* (г. Сочи, неконтролируемые условия теплицы), 2020–2022 гг.

Количество яблочной кислоты варьировало в пределах от 0,03 (*C. ichangensis*) до 0,63 г/100 г (*C. aurantifolia* ‘Fogo’). Для *C. × limetta* ‘Chontipico’ яблочная кислота была основной и составила 30 % от общей кислотности. Помимо лимонной и яблочной кислот были обнаружены винная, янтарная, уксусная, молочная и щавелевая. Для каждого вида и сорта было характерно определенное содержание данных органических кислот. Так наличие винной кислоты варьировало от 26,09 до 97,62 мг/100 г, янтарной – от 25,27 до 86,48 мг/100 г, их содержание было наибольшим среди прочих органических кислот. Для *C. × latifolia* характерно высокое содержание молочной кислоты (78,47 мг/100 г), а для *C. ichangensis* – уксусной кислоты (46,14 мг/100 г).

Вкусовые качества плодов в значительной степени зависят от содержания сахаров (фруктозы, сахарозы и глюкозы). У исследуемых редких цитрусовых культур содержание сахарозы было в пределах от 2,01 (*C. × limetta* ‘Chontipico’) до 58,94 мг/г (*C. maxima* ‘Sambokan’), глюкозы – от 6,37 у *C. aurantifolia* до 43,31 мг/г у *C. × limetta* ‘Chontipico’, фруктозы от 6,46 у *C. × latifolia* до 40,81 мг/г у *C. × limetta* ‘Chontipico’. Соотношения сахаров у изучаемых объектов было различным. Так, у *C. aurantifolia* и *C. maxima* ‘Sambokan’ отмечен больший процент сахарозы (более 60 % от общего количества растворимых сахаров), и составляло 20,88 и 58,94 мг/г, соответственно. Наибольшим содержанием глюкозы (50,28 %) и фрук-

тозы (47,38 %) отмечен *C. × limetta* ‘Chontipico’ (рисунок 4).

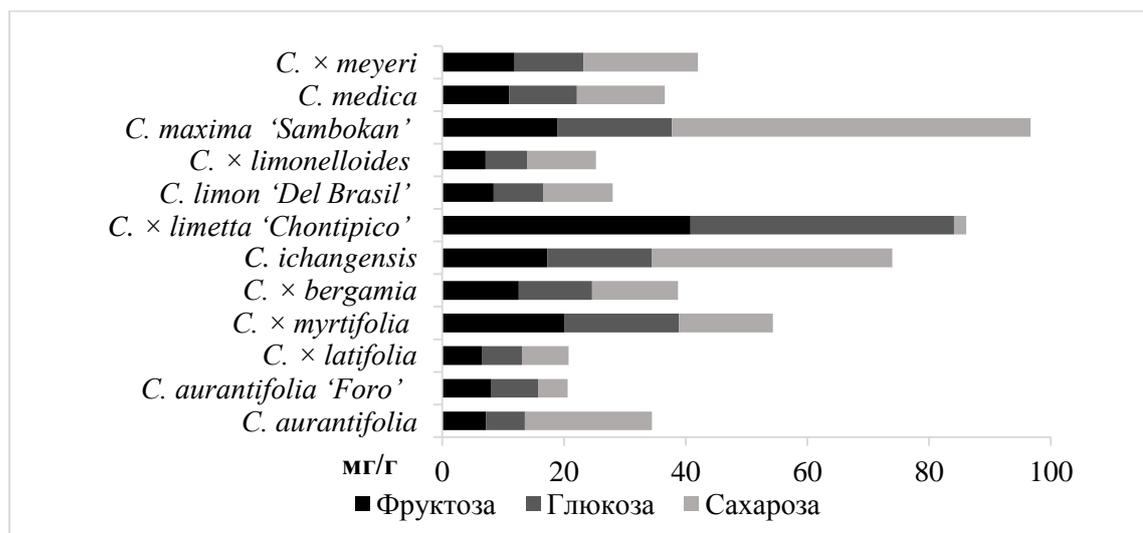


Рисунок 4 – Содержание сахаров в плодах редких плодовых культур из рода *Citrus*, (г. Сочи, неконтролируемые условия теплицы), 2020–2022 гг.

Органолептический анализ показал значительные различия среди исследуемых редких плодовых культур рода *Citrus* по величине, форме, окраске и вкусу. Как правило, общая оценка (по пятибалльной шкале) была ниже у плодов, имеющих кислый вкус, что подтвердили данные биохимического анализа. Плоды с лучшим вкусом были у *C. × limetta* ‘Chontipico’ и *C. maxima* ‘Sambokan’ (4,5 балла), за которыми следовал *C. × myrtifolia* (4,2), в то время самые низкие баллы были у *C. ichangensis* (1,8). Оценка вкусовых качеств плодов *C. medica* var. *sarcodactylus* не проводилась из-за отсутствия мякоти. Но стоит отметить, что плоды почти у всех исследуемых объектов характеризовались высокими оценками внешнего вида и аромата. Наивысшие баллы за внешний вид и аромат получили плоды *C. medica* var. *sarcodactylus* – по 5,0, в то время как самые низкие баллы у *C. ichangensis* – 3,3 балла за внешний вид плода и 1,6 балла за аромат.

3.4.4 Экономическая эффективность возделывания редких плодовых культур из рода *Citrus*. Наиболее высоким уровнем рентабельности отмечены сорт *C. maxima* ‘Sambokan’ (319%) и виды *C. × meyeri* (285%), *C. × limonelloides* (120%), *C. × latifolia* (120 %), *C. × bergamia* (109%), что говорит об высокой эффективности производства продукции этих редких плодовых культур из рода *Citrus*. Сравнительно низкие показатели рентабельности были у *C. aurantifolia* ‘Foro’ (44%), *C. aurantifolia* (46%) и *C. × limetta* ‘Chontipico’ (57 %), *C. limon* ‘Del Brasil’ (63%),

3.5. Генетический анализ редких плодовых культур из рода *Citrus* с использованием ISSR – и SCoT-маркеров. В настоящем исследовании было проведено изучение генетического разнообразия среди 13 редких плодовых культур из рода *Citrus*, демонстрирующие различные морфологические характеристики, которое поможет установить генетические дистанции и филогенетические взаимосвязи между редкими таксонами цитрусовых. Для этого, были использованы молекулярные маркеры между простыми последовательностями (ISSR) и маркеры, основанные на консервативных областях, фланкирующих стартовый кодон ATG (SCoT).

В результате проведенного анализа, из 36-ти SCoT маркеров 34 оказались эффективны для анализа генетических дистанций среди 13 редких плодовых культур из рода *Citrus*, которые показали воспроизводимые результаты с явным полиморфизмом. Из 10 ISSR маркеров только по четырем удалось получить профили амплификации необходимого качества (А.С. Кулешов, Р.В. Кулян, 2024).

По 4 ISSR маркерами удалось получить 47 аллелей, от 8 (ISSR 4) до 17 (ISSR 1), в среднем 11,75 на локус и средним индексом генетического разнообразия $H = 0,52$. Из всего количества полученных аллелей 98,53 % оказались полиморфными. Значения PIC варьировались от 0,43 (ISSR 4, ISSR 7), до 0,46 для ISSR 1.

С 34 SCoT маркерами удалось получить 364 аллелей, от 3 (SCoT7) до 25 (SCoT12), в среднем 11,7 на локус и средним индексом генетического разнообразия $H=0,47$. Из всего количества полученных аллелей 19 % оказались мономорфными. Средний уровень полиморфизма SCoT маркеров составил 79,8 %, который варьировал от 56 % (SCoT24) до 100 % (SCoT2, SCoT14, SCoT18, SCoT20). Значения PIC варьировались от 0,39 для SCoT4, SCoT6 и SCoT16, до 0,47 для SCoT25 и SCoT29.

Среднее значение PIC по SCoT (0,42) и ISSR (0,44) маркерам было относительно высоким, тогда как максимальное значение PIC для мультилокусных маркеров составляет 0,5, что подтверждает высокий полиморфизм среди генотипов. В целом, ISSR маркеры характеризовались более высокой разрешающей способностью ($R = 7,4$), в сравнении с SCoT маркерами ($R = 4,8$), хотя этот показатель существенно варьировал.

PCoA анализ по SCoT и ISSR маркерам показал разделение редких плодовых культур из рода *Citrus* на три дистантных кластера (рисунок 5).

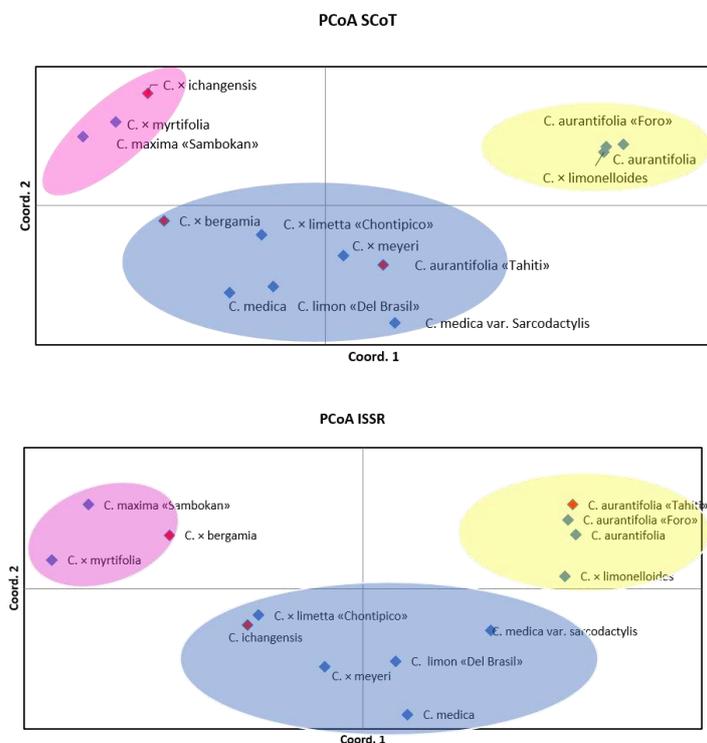


Рисунок 5 – Генетические дистанции в редких плодовых культурах из рода *Citrus* на основе 34 SCoT (сверху) и 4 ISSR (снизу) маркеров

Большая часть исследуемых генотипов образовала интеркластер (синий), в который вошли *C. × meyeri*, *C. medica* (var. *sarcodactylus*), *C. limon* 'Del Brasil' и *C. × limetta* 'Chontipico'. Во второй (желтый) кластер вошли генотипы *C. aurantifolia* 'Foro' и *C. × limonelloides*, третий (розовый) кластер образовался таксонами *C. maxima* 'Sambokan' и *C. × myrtifolia*. В целом, кластеризация генотипов по SCoT соответствует кластеризации по ISSR данным. Тест Мантеля показал положительную корреляцию генетических дистанций по SCoT и ISSR ($R_{xy} = 0,52$). Исключением стали генотипы *C. × bergamia*, *C. × ichangensis* и *C. × latifolia*, расположение которых существенно различается по SCoT и ISSR данным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Ранним выходом из зимнего покоя обладают *C. aurantifolia*, *C. × latifolia*, *C. limon* 'Del Brasil', *C. × meyeri* и *C. maxima* 'Sambokan' (II декада марта при сумме активных температур 209–223 °C), самым поздним началом вегетации отличается *C. ichangensis* (I декада апреля, при 345 °C). Промежуточную позицию занимают *C. aurantifolia* 'Foro', *C. × bergamia*, *C. × limonelloides*, *C. × limetta* 'Chontipico', *C. medica*, *C. medica* var. *sarcodactylus* и *C. × myrtifolia* (III декада марта, при 223–334 °C).

2. По срокам наступления фазы «цветение» и ее продолжительности к раннецветущим отнесены *C. aurantifolia*, *C. × latifolia*, *C. aurantifolia* 'Foro', *C. limon* 'Del Brasil', *C. × meyeri*, цветущие со II декады апреля, 21–33 дня, при сумме активных температур 465–486 °C. Среднецветущими являются *C. ichangensis*, *C. maxima* 'Sambokan' и *C. × myrtifolia* – цветущие с конца II декады апреля, 13–20 дней, при 545–583 °C. Позднее цветение отмечено у *C. × bergamia*, *C. × limonelloides*, *C. × limetta* 'Chontipico', *C. medica*, *C. medica* var. *sarcodactylus*, которые цветут с III декады апреля, 11–17 дней, при 604–660 °C.

3. При достижении суммы активных температур 1420–2190 °C у изучаемых редких цитрусовых протекал второй период активного роста, а при 2350–3990 °C наступал третий активный рост – у *C. aurantifolia*, *C. × latifolia*, *C. aurantifolia* 'Foro', *C. × bergamia*, *C. × limonelloides*, *C. × limetta* 'Chontipico', *C. limon* 'Del Brasil', *C. × meyeri*.

4. Виды и сорта с ранним сроком созревания плодов – *C. aurantifolia*, *C. × latifolia*, *C. aurantifolia* 'Foro', *C. × limonelloides*, *C. × meyeri* (III декада ноября, при сумме активных температур 4880–5030 °C); средним – *C. ichangensis*, *C. × bergamia*, *C. × limetta* 'Chontipico', *C. limon* 'Del Brasil', *C. maxima* 'Sambokan' и *C. medica* var. *sarcodactylus* (I–II декада декабря, при 4800–5200 °C); поздним – *C. medica* и *C. × myrtifolia* (III декада декабря, при 5200 и 5157 °C, соответственно).

5. Виды и сорта *C. aurantifolia*, *C. aurantifolia* 'Foro', *C. ichangensis* имеют высокую степень наращивания кроны (суммарный прирост 4,45–4,85 м); виды и сорта *C. × bergamia*, *C. × limonelloides*, *C. × limetta* 'Chontipico', *C. limon* 'Del Brasil', *C. maxima* 'Sambokan', *C. medica*, *C. medica* var. *sarcodactylus*, *C. × meyeri* имеют среднюю степень наращивания кроны (суммарный прирост 2,16–3,60 м); виды *C. × latifolia* и *C. × myrtifolia* имеют низкую степень наращивания кроны (суммарный прирост 1,72–1,76).

6. Выделены как самые перспективные для выращивания в неконтролируе-

мых условиях теплицы *C. × latifolia*, *C. ichangensis*, *C. × bergamia*, *C. × limonelloides*, *C. × limetta* ‘Chontipico’, *C. maxima* ‘Sambokan’, *C. medica*, *C. medica* var. *sarcodactylus*, *C. × meyeri* и *C. limon* ‘Del Brasil’, как более приспособленные к зимним условиям, и *C. aurantifolia*, *C. aurantifolia* ‘Fogo’ и *C. × myrtifolia* – более приспособлены к условиям летне-осеннего периода. Отмечено, что при неблагоприятных погодных условиях в зимний период, у *C. maxima* ‘Sambokan’, *C. medica* и *C. × myrtifolia* наблюдается увеличение синтеза хлорофиллов. Остаточная изменчивость, т.е. влияние прочих факторов высокая и составляет от 48,6 до 61,6 %.

7. Выделены виды *C. aurantifolia*, *C. medica*, *C. medica* var. *sarcodactylus*, и *C. × meyeri*, обладающие наиболее оптимальными параметрами устьиц (малый размер и высокая плотность – 780–883 шт. 1 мм²), что говорит об их устойчивости к гидротермическому стрессу. Выделены виды и сорта с крупными (27,9–23,3 мкм) и наименьшим количеством (278–490 на 1мм²) устьиц – *C. × latifolia*, *C. limon* ‘Del Brasil’, *C. × bergamia*, *C. × myrtifolia*, для высокой продуктивности которых, требуются обильный полив и постоянное поддержание высокой влажности воздуха, но при этом хорошо переносят затенение.

8. По устойчивости к комплексу вредителей выделены *C. ichangensis*, *C. maxima* ‘Sambokan’ и *C. × myrtifolia*, на которых повреждения не превышали 5 % (0,3–1,0 балл) или вовсе не обнаружались. Наиболее восприимчивыми к доминирующим вредителям оказались *C. × bergamia*, *C. × limetta* ‘Chontipico’, *C. × meyeri* и *C. medica* var. *sarcodactylus*, у которых степень повреждения достигала 3–4 баллов.

9. Установлено, что наибольшими показателями продуктивности отмечен сорт *C. maxima* ‘Sambokan’ (5,3 т/га), затем следовали такие виды и сорта как *C. × bergamia* (3,0 т/га), *C. limon* ‘Del Brasil’ (2,8 т/га) и *C. × meyeri* (2,6 т/га). К мелкоплодным редким цитрусовым отнесены *C. aurantifolia*, *C. aurantifolia* ‘Fogo’, *C. ichangensis*, *C. × limonelloides*, *C. × myrtifolia* (30,3–48,6 г); к среднеплодным – *C. × latifolia*, *C. × bergamia*, *C. × limetta* ‘Chontipico’ и *C. × meyeri* (91,7–115,2 г); к крупноплодным – *C. limon* ‘Del Brasil’, *C. maxima* ‘Sambokan’, *C. medica* и *C. medica* var. *sarcodactylus* (45,7–231,4 г). Виды и сорта *C. aurantifolia*, *C. aurantifolia* ‘Fogo’ и *C. × meyeri* отличаются высоким выходом сока из мякоти (51,3–57,2 %).

10. Оценка биохимического состава плодов редких плодовых культур из рода *Citrus*, позволила выделить сорта *C. × limetta* ‘Chontipico’, *C. maxima* ‘Sambokan’ и вид *C. × myrtifolia*, отличающиеся наилучшим биохимическим составом плодов по всем показателям и органолептической оценке. Выделены виды с высоким содержанием аскорбиновой кислоты – *C. medica* (44,1 мг/100 г), *C. × latifolia* (31,3 мг/100 г), *C. ichangensis* (34,7 мг/100 г). Для *C. × latifolia* характерно высокое содержание молочной кислоты (78,47 мг/100 г), а для *C. ichangensis* – уксусной кислоты (46,14 мг/100 г). Наибольший процент сахарозы отмечен у *C. aurantifolia* и *C. maxima* ‘Sambokan’ и составляет более 60 % от общего количества растворимых сахаров. Наибольшим содержанием глюкозы (50,28 %) и фруктозы (47,38 %) отмечен *C. × limetta* ‘Chontipico’.

11. Сравнительно низкие показатели рентабельности были у *C. aurantifolia* ‘Fogo’ (44 %), *C. aurantifolia* (46 %) и *C. × limetta* ‘Chontipico’ (57 %), *C. limon* ‘Del

Brasil' (63%). Наиболее высоким уровнем рентабельности отмечены виды *C. × bergamia* (109 %), *C. × latifolia* (120 %), *C. × limonelloides* (120 %), *C. × meyeri* (285 %) и сорт *C. maxima* 'Sambokan' (319 %), что говорит об высокой эффективности производства продукции этих редких плодовых культур из рода *Citrus*.

12. Установлены генетические дистанции среди редких плодовых культур из рода *Citrus*. Выявлены наиболее эффективные маркеры (34 SCoT и 4 ISSR) для изучения генетического разнообразия и филогенетических взаимосвязей в коллекции рода *Citrus*.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

1. Для создания устойчивых и продуктивных насаждений цитрусовых культур в условиях влажных субтропиков России рекомендуются таксоны *C. maxima* 'Sambokan', *C. × limetta* 'Chontipico', *C. × meyeri* и *C. × limonelloides*.

2. Для декоративного садоводства рекомендуются *C. × myrtifolia*, *C. medica* var. *sarcodactylus* и *C. ichangensis*, для любительского цитрусоводства – *C. aurantifolia*, *C. aurantifolia* 'Foro', *C. × latifolia*, *C. × bergamia*, *C. limon* 'Del Brasil' и *C. medica*.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Кулешов, А.С. Динамика пигментного аппарата в листьях редких видов рода *Citrus* в условиях влажных субтропиков России / А.С. Кулешов // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2021. – № 76. – С. 108-115. – doi:10.31360/2225-3068-2021-76-108-115.

2. Кулешов, А.С. Подвои для цитрусовых культур (литературный обзор) / А.С. Кулешов, Р.В. Кулян // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2021. – Вып. 78. – С. 89-99. – doi:10.31360/2225-3068-2021-78-89-98. – EDN UNQBSJ.

3. Кулян, Р.В. Характеристика устьичного аппарата редких видов рода *Citrus* в условиях влажных субтропиков России / Р.В. Кулян, А.С. Кулешов, Н.А. Коннов // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 4. – С. 27-31. – doi:10.28983/asj.y2022i4pp27-31.

4. Кулешов, А.С. Оценка устойчивости редких таксонов рода *Citrus* к доминирующим вредителям в условиях влажных субтропиков России / А.С. Кулешов, Р.В. Кулян, Н.Н. Карпун // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2022. – Вып. 82. – С. 180-194. – doi:10.31360/2225-3068-2022-82-180-193.

5. Кулешов, А.С. Оценка механического и биохимического состава плодов редких таксонов цитрусовых в условиях влажных субтропиков России / А.С. Кулешов, Р.В. Кулян, О.Г. Белоус // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2023. – № 3. – С. 46-52. doi:10.31857/2500-2082/2023/3/46-52.

6. Кулян, Р.В. Изучение и практическое использование биоресурсной коллекции цитрусовых культур / Р.В. Кулян, А.С. Кулешов // Аграрный научный журнал. – 2024. – №1. – С. 17–23. doi: 10.28983/asj.y2024i1pp17-23

7. Кулешов, А. С. Генетический анализ редких таксонов рода *Citrus*, проведенный с применением молекулярных ISSR- и SCOT-маркеров / А. С. Кулешов,

Р. В. Кулян // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1(76). – С. 66-72.

8. **Кулешов, А. С.** Изучение особенностей прохождения основных фенологических фаз роста и развития, товарных качеств плодов редких таксонов цитрусовых в условиях влажных субтропиков России / А. С. Кулешов // Садоводство и виноградарство. – 2024. – № 1. – С. 24-30. – DOI 10.31676/0235-2591-2024-1-24-30.

Публикации в журналах базы данных Scopus

9. Kulyan, R. InDel and SCoT Markers for Genetic Diversity Analysis in a Citrus Collection from the Western Caucasus / R. Kulyan, L. Samarina, R. Shkhalakhova, **A. Kuleshov** [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. – 2023. – Vol. 24, No. 9. – P. 8276. – doi:10.3390/ijms24098276.

10. Kulyan, R. Breeding use of collection samples of citrus fruits from the gene pool of the federal research center Subtropical Scientific Center of the Russian Academy of Sciences / R. Kulyan, **A. Kuleshov** // AIP Conference Proceedings. – 2023. – V. 3011 (1). – P. 020019. – doi:10.1063/5.0161319

11. **Kuleshov, A.** Studying of the biological characteristics of introduced rare citrus taxa in the humid subtropics of Russia as one of the elements of preserving and increasing plant biodiversity / **A. Kuleshov**, R. Kulyan // III International Conference on Current Issues of Breeding, Technology and Processing of Agricultural Crops, and Environment (СІВТА-III-2024): Conference Proceedings, Karshi, 23–25 января 2024 года. Vol. 95. – Les Ulis: EDP Sciences, 2024. – P. 2004. – DOI 10.1051/bioconf/20249502004.

Публикации в других журналах, сборниках и материалов конференции

12. **Кулешов, А.С.** Химический состав представителей рода *Citrus* (литературный обзор) / А.С. Кулешов, О.Г. Белоус // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2020. – № 72. – С. 108-116. – DOI 10.31360/2225-3068-2020-72-108-116.

13. **Кулешов, А.С.** Редкие виды рода *Citrus* и их использование (литературный обзор) / А.С. Кулешов, Р.В. Кулян // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2020. – № 73. – С. 51-61. – DOI 10.31360/2225-3068-2020-73-51-61.

14. Кулян, Р.В. Коллекция цитрусовых Субтропического научного центра РАН / Р.В. Кулян, **А.С. Кулешов** // Интродукция, сохранение и использование биологического разнообразия флоры: матер. междунар. науч. конф., посв. 90-летию Центрального бот. сада НАН Беларуси. Минск, 28 июня – 01 июля 2022 г. Т. 2. – Минск: РУП "Белтаможсервис", 2022. – С. 306-309.

15. **Кулешов, А.С.** Влияние гидротермических условий нахождение фазы цветения редких видов рода *Citrus* в условиях влажных субтропиков России / А.С. Кулешов // Аграрная наука - сельскому хозяйству: матер. Всерос. науч.-практ. конф. (с междунар. участием), посв. 60-летию ФГБНУ «Адыгейский НИИСХ», Майкоп, 17–19 ноября 2021 г. – Майкоп: Изд-во "Магарин Олег Григорьевич", 2021. – С. 447-451.

Кулешов Александр Сергеевич

**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА РЕДКИХ
ПЛОДОВЫХ КУЛЬТУР ИЗ РОДА CITRUS
В УСЛОВИЯХ ВЛАЖНЫХ СУБТРОПИКОВ РОССИИ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Подписано в печать 2024 г. Усл. п. л. – 1

Тираж 100 экз. Заказ №

Типография Кубанского государственного аграрного университета,
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13