

ДИНАМИКА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МАНДАРИНА В УСЛОВИЯХ ВЛАЖНЫХ СУБТРОПИКОВ РОССИИ

Неводов П.А., Москвичева В.В., Кунина В.А., Платонова Н.Б., Белоус О.Г.

*Федеральный исследовательский центр
«Субтропический научный центр Российской академии наук»,
г. Сочи, Россия, e-mail: oksana191962@mail.ru*

*Неводов П.А. orcid.org/0009-0007-2927-3757
Москвичева В.В. orcid.org/0009-0003-3833-7936
Кунина В.А. orcid.org/0009-0005-2640-4921
Платонова Н.Б. orcid.org/0000-0003-2392-8947
Белоус О.Г. orcid.org/0000-0001-5613-7215*

Статья посвящена оценке функционального состояния растений мандарина и влияния на этот процесс агрохимикатов регуляторного действия по следующим показателям: водный дефицит и изменение толщины листовой пластинки, изменение основного фотосинтетического пигмента в листьях (Ca), показатель относительного тушения флуоресценции или индекс жизнеспособности (Fm/F_T) и показатель фотосинтетической активности, рассчитанный по алгоритму экстраполяции (Kf_T). Отмечено, что график динамики водного дефицита показывает чёткую зависимость от водообеспеченности растений. Показано, что наступление водного дефицита и выход из состояния стресса развивается не сразу, благодаря анатомо-морфологическим особенностям листьев мандарина (наличие кутикулярного слоя и скручивание листовой пластинки в засуху). Внесение агрохимикатов регуляторного и стресспротекторного действия по-разному изменяет силу проявления водного стресса, что отражается на величине водного дефицита листьев. Длительный период засухи и развивающийся в листьях мандарина водный дефицит, приводит к уменьшению толщины листового аппарата в 1,2–1,4 раза. Кривая показателя фотосинтетической активности (Kf_T) практически не изменяется в течение вегетации и полностью повторяет изменение содержания хлорофилла *a* в листьях, в то время как индекс жизнеспособности (Fm/F_T) достаточно вариабелен (в среднем $V = 25\%$) и тесно коррелирует с гидротермическими факторами. Жизнеспособность растений ($Rfd = Fm/F_T$) возможно регулировать некорневыми обработками агрохимикатами ростостимулирующего и стресспротекторного действия. Полученные в работе экспериментальные данные вносят вклад в разработку эффективных способов регулирования функционального состояния растений и получение качественных плодов при стрессовых воздействиях.

Ключевые слова: мандарины, функциональное состояние, водный дефицит, флуоресценция, хлорофилл *a*, гидротермический стресс.

Введение. Во влажных субтропиках России цитрусовые выращивают более ста лет [10, 22, 32]. Наиболее востребованными являются мандарины, которые более устойчивы к низким температурам зимнего периода (температуру $-7...-8$ °С переносят почти без повреждений, сильно повреждаются при температуре $-10...-11$ °С) и вполне могут зимовать даже без укрытий. Первые посадки мандарина в Сочинском районе относятся к 1905 году. В 1928 году Сочинская опытная станция (ныне Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук») занимала цитрусовыми культурами 190 участков [19, 34].

Однако влажные субтропики России можно назвать условно комфортной зоной для произрастания мандарина, т. к. в последнее время всё чаще наблюдаются более продолжительные жаркие засушливые периоды летом, что несомненно сказывается на функциональном состоянии насаждений и качестве плодов [13, 14, 15, 20]. При недостатке влаги, особенно почвенной, наблюдается водный дефицит, при котором интенсивность транспирации достигает значительных величин. В свою очередь, высокие температуры приводят к угнетению жизненных функций, потеря листьев приводит к увеличению опадения формирующихся плодов. Плоды мельчают, изменяется их биохимический состав и вкусовые характеристики [4, 23].

В этой связи, понимание процессов, происходящих в растении при изменении погодных условий (температуры, влажности воздуха, количества осадков), раскрытие механизмов, связанных с устойчивостью к стрессам, поиск путей регуляции роста и развития мандарина является актуальной задачей.

В последнее время перспективным методом является использование агрохимикатов регуляторного и стресс протекторного действия, которые оказывают влияние не только на засухо- и морозоустойчивость растений, но и способствуют повышению неспецифического иммунитета. Всё это приводит к оптимизации функционального состояния растений, уменьшает осыпаемость завязи и влияет на повышение урожайности [29, 30, 31, 37, 38].

Цель исследований – изучить динамику основных физиологических показателей мандарина, характеризующих функциональное состояние растений, определить влияние агрохимикатов регуляторного действия на растения в период гидротермического стресса.

Объекты и методы исследований. Исследования ведутся с 2022 года на плантации мандарина карликового сорта ‘Миагава-Васе’ (рис. 1 и 2), привитого на *Poncirus trifoliata*, в опытно-технологическом отделе Центра в частично контролируемых условиях (рекомендуемый агрофон, осуществление защитных мероприятий, но отсутствие регулярного полива).



Рис. 1. Цветы и плоды мандарина карликового сорта ‘Миагава-Васе’ на опытной плантации

Fig. 1. Flowers and fruits of the mandarin dwarf variety ‘Miagawa-Vase’ on an experimental plantation



Рис. 2. Опытный участок плантации мандарина

Fig. 2. The experimental plot of the mandarin plantation

В качестве агрохимикатов регуляторного и стресс протекторного действия использованы: силиплант (5 мл/1 л воды) и зерёбра агро (5 мл/1 л воды); в качестве эталона взят обстактин (5 мл/1 л воды), контролем являлся вариант с обработкой водой. Расход рабочего раствора – 1 000 л/га. Повторность опыта – 3-кратная, расположение вариантов рендомизированное. За однократную повторность у плодовых культур принято «дерево-делянка». Некорневые обработки мандарина проведены двукратно: первая в фазу «смыкание чашелистиков» (конец мая – начало июня), вторая – за 30 дней до уборки плодов. Осуществлялся анализ метеоусловий вегетационного периода и периода исследований.

Лабораторные анализы выполнены в трёхкратной повторности на базе отдела физиологии и биохимии растений с использованием общепринятых методов. Функциональное состояние растений определяли по показателю водного дефицита [12, 27]. Оценивали изменения толщины листа (полевым тургорометром) [12] и динамику параметров медленной индукции флуоресценции хлорофилла (коэффициента фотосинтетической активности Kf_T и индекса жизнеспособности $Rfd = Fm/F_T$) с использованием портативного хлорофилл-флуориметра LPT-1/CFU [7]. Содержание хлорофилла *a* определяли по спектру поглощения 662 нм, снятому на спектрофотометре ПЭ-5400ви (Россия) с использованием расчётных формул Смита и Бенитеза (экстрагирование 96%-ным этанолом) [35].

Статистическая обработка проведена методами корреляционного анализа с применением пакета ANOVA в STATGRAPHICS Centurion XV (версия 15.1.02, StatPoint Technologies) и MS Excel

2007. Статистический анализ включал одномерный дисперсионный анализ (метод сравнения средних с использованием дисперсионного анализа, t-критерий). Статистически значимой принята значимость различия между средними значениями при $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение. У большинства видов цитрусовых рост побегов проходит волнами (периодами). В условиях субтропиков России проявляются две волны роста между которыми наступает период относительного покоя, в этот период идёт вызревание новых тканей листьев и древесины [3, 16, 17]. Рост возобновляется после физиологического вызревания листьев, которые становятся более плотными и тёмно-зелёными. У мандарина проявляется три волны опадения формирующихся плодов (рис. 3). Первая волна опадения завязей обычно отмечается через месяц после полного цветения; вторая – в начале лета (диаметр плода 3,0–3,5 см), известная, как июньское опадение; третья волна – это период созревания плодов [1, 16]. В период ростовой активности и во время формирования плодов действие стрессоров может приводить к нарушению процессов роста и развития, что сказывается на закладке и формировании завязей, образовании и созревании плодов. Предуборочное опадение плодов считается серьёзной проблемой в странах, производящих цитрусы (рис. 3), и основной причиной снижения хозяйственного урожая цитрусовых культур [2].

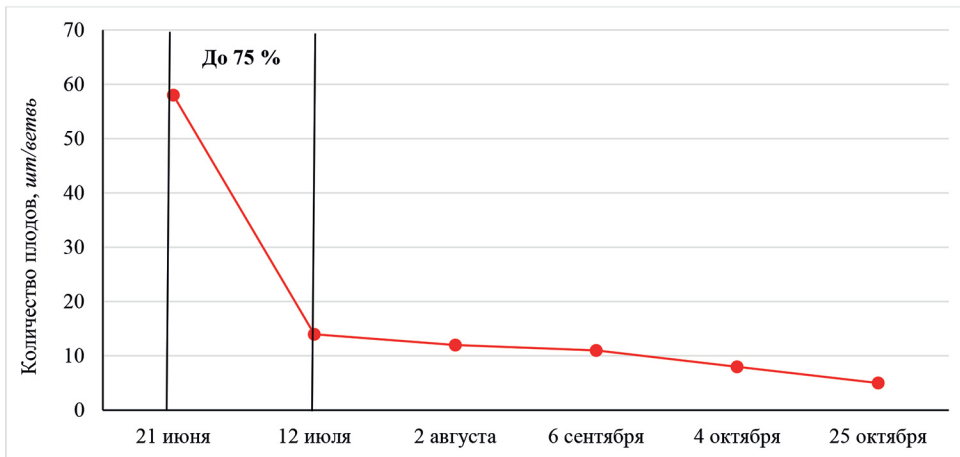


Рис. 3. Динамика опадения завязи/плодов мандарина
Fig. 3. Dynamics of ovary/tangerine fruit fall

Нами проводилась оценка функционального состояния растений мандарина и влияния на этот процесс агрохимикатов регуляторного

действия. Динамика показателей водного дефицита (рис. 4) и изменение толщины листовой пластинки (рис. 6) у растений на контрольном варианте показаны при изменении гидротермических условий, причём количество осадков для каждой точки съёма данных рассчитывали, как сумму осадков за неделю до анализа.

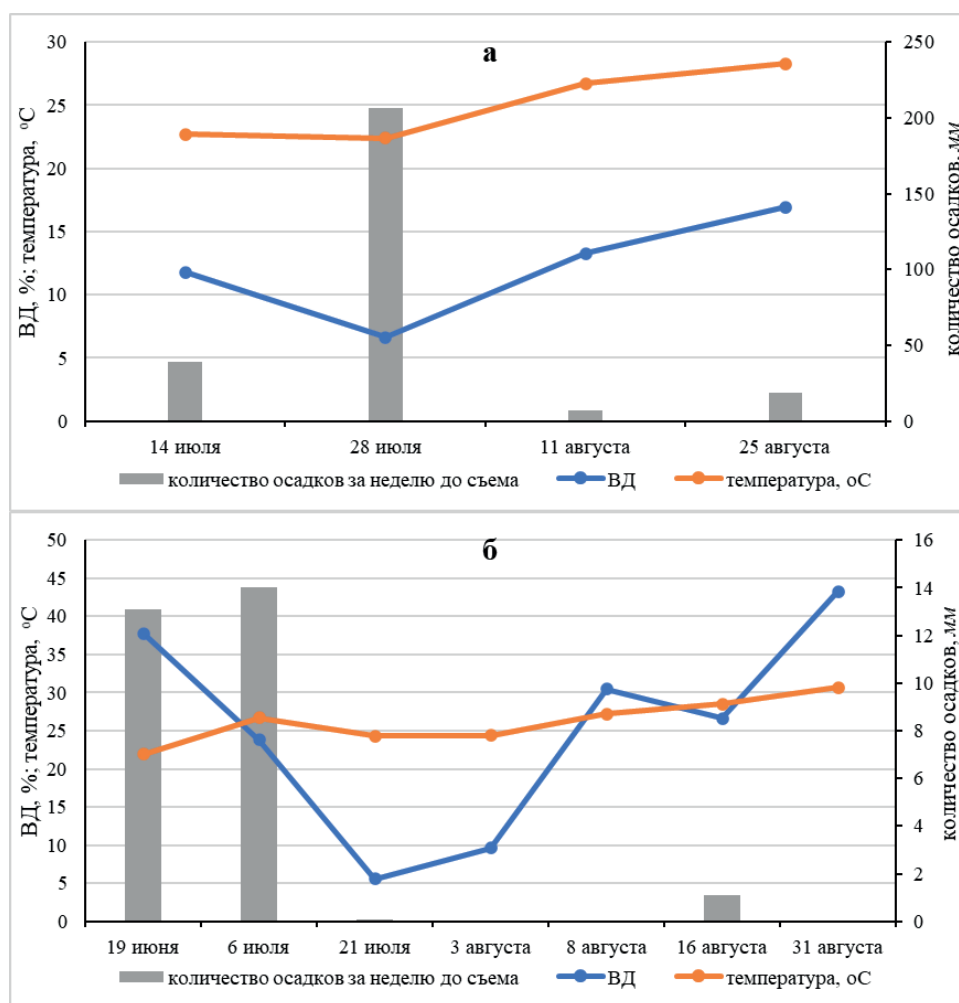


Рис. 4. Динамика водного дефицита листьев при изменении гидротермических условий (вариант контроль): **а** – данные за 2022 г.; **б** – данные за 2023 г.

Fig. 4. Dynamics of water deficiency of leaves under changing hydrothermal conditions (control option): **a** – data for 2022; **b** – data for 2023

Из рисунка 4 видно, что график водного дефицита показывает чёткую зависимость от водообеспеченности растений. Так, если в 2022 году за вегетационный период (с мая по август) выпало 457 мм осадков, причём

на июль-август приходилась почти половина от количества за вегетацию, то в 2023 году за этот же период (май – август) – всего 298 мм, в основном в июле в виде дождей ливневого характера, в то время, как остальной период был достаточно засушливым. В итоге, водный дефицит листьев растений контрольного варианта в 2022 году не поднимался выше 16 % (в последней декаде августа), в 2023 году значения водного дефицита на контроле в августе колебались от 26,6 до 43,3 % (рис. 4а и 4б). При этом нами отмечено, что наступление водного дефицита и выход из состояния стресса развивается не сразу, так как, благодаря анатомо-морфологическим особенностям (наличие кутикулярного слоя и скручивание листовой пластинки в засуху) листья долго держат влагу в тканях и изменения водного дефицита проявляется с «опозданием» [21, 23, 24]. Эта закономерность характерна и для других вариантов – не зависимо от обработки агрохимикатами, проявление и исчезновение симптомов водного дефицита происходит с опозданием.

В то же время, внесение агрохимикатов регуляторного и стресспротекторного действия по-разному изменяет силу проявления водного стресса (рис. 5а и 5б). Так в 2022 году при постоянно выпадающих осадках разной интенсивности проявление водного дефицита у вариантов было сходным: понижение в среднем до 2–5 % при увеличении водобеспеченности и повышение до 28–36 % после сухого периода. В 2023 году при устойчивой длительной засухе влияние агрохимикатов на функциональное состояние изменилось. Начиная с последней декады июля отметился рост водного дефицита на контрольном варианте (до 30,5 %), на вариантах с обработкой агрохимикатами водный дефицит был ниже контроля, в частности, существенно ($НСР_{05} = 1,20$) более низкие значения данного показателя наблюдаются при внесении силипланта. Это обусловлено содержанием биоактивного кремния и калия в его составе. Структурные элементы силипланта влияют на функционирование листовой пластинки: кремний оказывает действие на мембранные структуры, что повышает устойчивость к засухе [33, 39, 41, 43], в свою очередь, калий – известный стресс протекторный элемент [18, 40, 42, 44].

Известно, что при стрессовых воздействиях изменяется активность фотосинтетических функций, что влияет на адаптивность, жизнеспособность растений и в конечном счёте – их продуктивность [11]. Ряд исследователей отмечают, что фотосинтетический аппарат и его реакция на стрессовое воздействие является надёжным источником информации о состоянии растения [11, 25, 26].

Характеристикой, связанной с фотосинтетической активностью растений, является количественное содержание основного пигмента растений – хлорофилла *a*. Однако стресс влияет не только на содержание хлорофилла в листьях, но и на функционирование ассимиляционного

аппарата растений [21, 36]. Изменение функционального состояния растений происходит и при использовании стресспротекторных агрохимикатов в связи с их влиянием на состояние растений [5, 6, 8, 9].

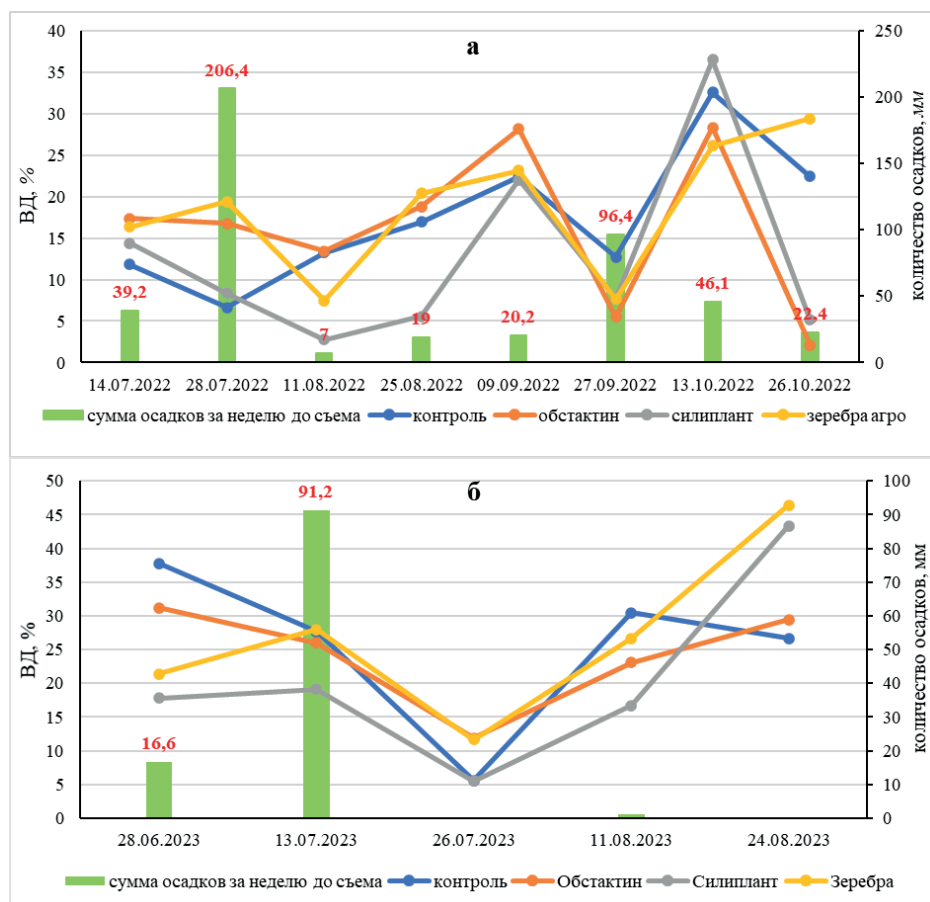


Рис. 5. Водный дефицит листьев мандарина при обработках агрохимикатами регуляторного действия: **а** – данные за 2022 г.; **б** – данные за 2023 г.

Fig. 5. Water deficiency of tangerine leaves during treatment with agrochemicals of regulatory action: **a** – data for 2022; **b** – data for 2023

Нами показано, что при наступлении жёсткого длительного периода засухи водный дефицит, развивающийся в листьях опытных растений, приводит к уменьшению толщины листового аппарата в среднем в 1,2–1,4 раза (рис. 6). При этом наибольшая толщина листа за весь период вегетации отмечена у контрольного варианта (30,1 мм), но меньшая вариабельность этого показателя характерна для варианта с обработкой обстактином ($V = 8\%$).

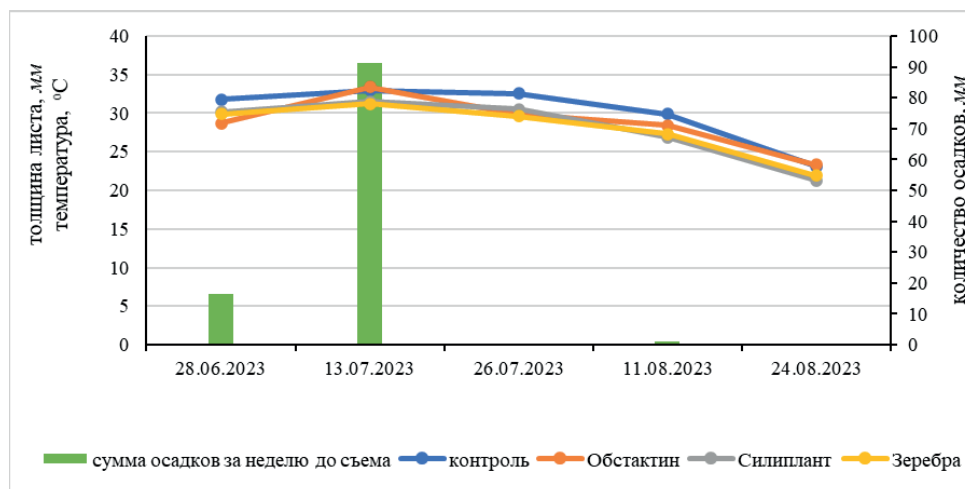


Рис. 6. Динамика толщины листьев мандарина при обработках агрохимикатами регуляторного действия (данные за 2023 г.)
Fig. 6. Dynamics of tangerine leaf thickness during treatment with regulatory agrochemicals (data for 2023)

Проводя в динамике анализ содержания хлорофилла *a* в листьях и регистрацию кривой медленной индукции флуоресценции хлорофилла (МИФХ), мы обращая внимание на следующие параметры (рис. 7): изменение основного фотосинтетического пигмента в листьях (*Ca*), показатель относительного тушения флуоресценции или индекс жизнеспособности (F_m/F_T) и показатель фотосинтетической активности, рассчитанный по алгоритму экстраполяции (K_f_T).

Как видно из рисунка 7а, кривая показателя фотосинтетической активности (K_f_T) практически не изменяется в течение вегетации и полностью повторяет изменение содержания хлорофилла *a* в листьях. В то же время, индекс жизнеспособности (F_m/F_T) достаточно вариабелен (в среднем $V = 25\%$), тесно коррелирует как с температурным фактором ($r = -0,78$), так и с количеством осадков, выпадающих в предшествующую неделю до съема данных ($r = 0,63$), что видно из графика 7а. Жизнеспособность растений ($Rfd = F_m/F_T$) возможно регулировать некорневыми обработками агрохимикатами ростостимулирующего и стресспротекторного действия (рис. 7б). Как видно из соответствующего графика, индекс жизнеспособности меняется в процессе вегетации в зависимости от применяемого агрохимиката: наибольшая жизнеспособность за весь период наблюдений отмечена на варианте с зеребра агро (до 3,43 от. ед.) при 3,24–3,29 от. ед. при обработках силиплантом и обстактином. Однако при обработках обстактином вариабельность

индекса жизнеспособности наибольшая – 30,2 % при 22,2–23,2 % на контроле и в варианте с силиплантом. Это можно объяснить ростостимулирующим действием обстактина, являющегося фитогормоном ауксиновой природы, и при активации ростовых процессов устойчивость растений снижается, что и приводит к сильному изменению индекса жизнеспособности.

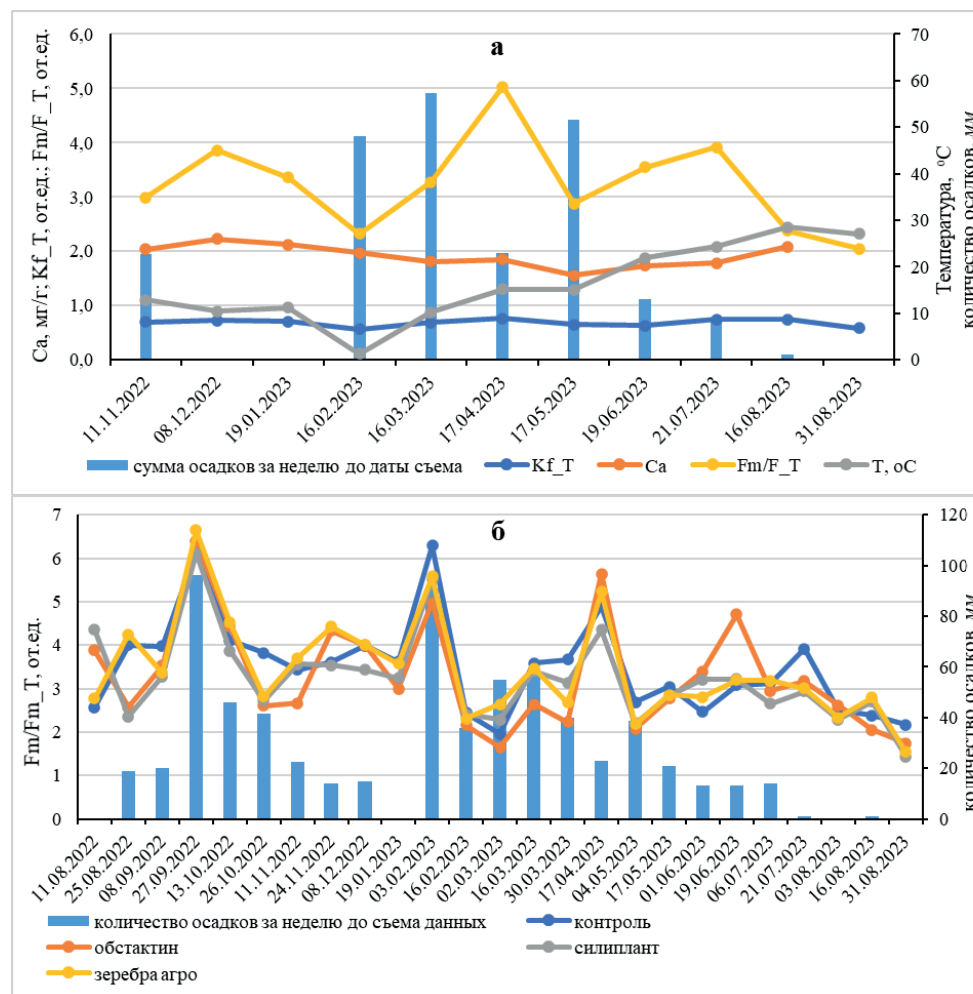


Рис. 7. Динамика активности фотосинтетического аппарата листьев мандарина в период стресса и при обработках агрохимикатами регуляторного действия (данные за 2022–2023 гг.): **а** – вариант контроль; **б** – при обработках агрохимикатами

Fig. 7. Dynamics of activity of the photosynthetic apparatus of tangerine leaves during stress and during treatment with regulatory agrochemicals (data for 2022–2023): **a** – control option; **b** – during treatment with agrochemicals

Выводы. Таким образом, нами отмечено, что наступление водного дефицита и выход из состояния стресса у растений мандарина развивается не сразу, благодаря анатомо-морфологическим особенностям листовых пластинок. Внесение агрохимикатов регуляторного и стресспротекторного действия по-разному изменяет силу проявления водного стресса: на вариантах с обработкой силиплантом водный дефицит существенно ($HCP_{05} = 1,20$) ниже контроля, что обусловлено содержанием биоактивного кремния и калия в его составе. Длительный период засухи и развивающийся в листьях водный дефицит приводит к уменьшению толщины листового аппарата в среднем в 1,2–1,4 раза. Наибольшая толщина листа за весь период вегетации отмечена у контрольного варианта (30,1 мм), но меньшая вариабельность этого показателя характерна для варианта с обработкой обстакином ($V = 8 \%$). Фотосинтетическая активность (Kf_T) листьев опытных растений практически не изменяется в течение вегетации и полностью повторяет изменение содержания хлорофилла *a*. Индекс жизнеспособности (Fm/F_T) достаточно вариабелен и тесно коррелирует с гидротермическими факторами. Наибольшая жизнеспособность до 3,43 от. ед. отмечена на варианте с зеребра агро.

Полученные в работе экспериментальные данные вносят вклад в разработку эффективных способов регулирования функционального состояния растений и получение качественных плодов при стрессовых воздействиях.

*Публикация подготовлена в рамках реализации
ГЗ ФИЦ СХЦ РАН № FGRW-2022-0012,
регистрационный номер 121120700353-5*

Список литературы/References

1. Аль-Хуссейни А.М.А. Снижение опадения завязей апельсина с помощью обработки ингибиторами этилена: Научное обеспечение агропромышленного комплекса: матер. конф., Краснодар, 24-26 ноября 2015 г. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2016. [Al-Husseini A.M.A. Reduction of falling of orange ovaries by treatment with ethylene inhibitors: Scientific support of the agro-industrial complex: mater. conf., Krasnodar, November 24-26, 2015 Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, 2016. (In Rus)].
2. Аль-Хуссейни А.М.А., Козленко А., Рязанова Л. Г., Онищенко К. Возможность применения регуляторов роста растений при выращивании мандарина во влажных субтропиках: Научное обеспечение агропромышленного комплекса: матер. конф., Краснодар, 26-30 ноября 2016 г. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2017. [Al-Husseini A.M.A., Kozlenko A., Ryazanova L. G., Onishchenko K. The possibility of using plant growth regulators when growing mandarin in humid subtropics: Scientific support of the agro-industrial complex: mater. conf., Krasnodar, November 26-30, 2016 Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, 2017. (In Rus)].

3. Бакир-оглы Д.Д., Дорошенко Т.Н., Рязанова Л.Г. Агробиологические подходы к развитию рынка плодов мандарина в республике Абхазия, Субтропическое и декоративное садоводство. 2022; 82 : 115-122. [Bakir-ogly D.D., Doroshenko T.N., Ryazanova L.G. Agrobiological approaches to the development of the mandarin fruit market in the Republic of Abkhazia, Subtropical and ornamental horticulture. 2022; 82 : 115-122. (In Rus)]. DOI: 10.31360/2225-3068-2022-82-115-122.
4. Белоус О.Г., Рындин А.В. Проведение испытаний новых регуляторов роста с учётом особенностей субтропических культур и условий влажных субтропиков: Перспективы использования инновационных форм удобрений, средств защиты и регуляторов роста растений в агротехнологиях сельскохозяйственных культур: матер. науч.-практ. конф., Анапа, 03-07 сентября 2018 г. Анапа: ООО «Плодородие», 2018. [Belous O.G., Ryndin A.V. Testing of new growth regulators taking into account the peculiarities of subtropical crops and conditions of humid subtropics: Prospects for the use of innovative forms of fertilizers, plant growth protection agents and regulators in agricultural technologies of agricultural crops: mater. scientific and practical conference, Anapa, 03-07 September 2018 Anapa: LLC "Plodorodije", 2018. (In Rus)]. ISBN: 978-5-9500529-6-5.
5. Бородин А.В., Будаговский А.В., Будаговская О.Н., Будаговский И.А., Судник Ю.А. Применение эффекта фотоиндуцированной изменчивости оптических свойств хлорофиллсодержащих тканей для диагностики функционального состояния растений, Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2008; 5 : 62-65. [Borodin A.V., Budagovskiy A.V., Budagovskaya O.N., Budagovskiy I.A., Sudnik Yu.A. Application of the effect of photoinduced variability of optical properties of chlorophyll-containing tissues for the diagnosis of the functional state of plants, Russian Agricultural Sciences. 2008; 5 : 62-65. (In Rus)].
6. Будаговская О.Н. Новые оптические методы и приборы количественной оценки адаптивного потенциала садовых растений, Плодоводство и ягодоводство России. 2011; 27(1) : 74-79. [Budagovskaya O.N. New optical methods and devices for quantitative assessment of the adaptive potential of garden plants, Pomiculture and small fruits culture in Russia. 2011; 27(1) : 74-79. (In Rus)].
7. Будаговская О.Н., Будаговский А.В., Будаговский И.А., Гончаров С.А. Комплексная диагностика состояния растений, Научные основы эффективности садоводства. Мичуринск, 2006; 101-111. [Budagovskaya O.N., Budagovskiy A.V., Budagovskiy I.A., Goncharov S.A. Complex diagnostics of plant condition, Scientific bases of horticulture efficiency. Michurinsk, 2006; 101-111. (In Rus)].
8. Будаговский А., Будаговская О., Будаговский И. Парадоксы оптических свойств зеленых клеток и их практическое применение, Фотоника. 2010; 6 : 22-28. [Budagovskiy A., Budagovskaya O., Budagovskiy I. Paradoxes of optical properties of green cells and their practical application, Photonics. 2010; 6 : 22-28. (In Rus)].
9. Василейко М.В., Белоус О.Г. Уровень флуоресценции хлорофилла в растениях мандарина при некорневых обработках регуляторами роста, Субтропическое и декоративное садоводство. 2022; 80 : 103-111. [Vasilenko M.V., Belous O.G. The level of chlorophyll fluorescence in mandarin plants during non-root treatments with growth regulators, Subtropical and ornamental horticulture. 2022; 80 : 103-111. (In Rus)]. DOI: 10.31360/2225-3068-2022-80-103-110.
10. Воронцов В.В., Горшков В.М. Состояние и пути интенсификации производства цитрусовых и субтропических плодовых культур в Краснодарском крае, Субтропические культуры. 1978; 6 : 112. [Vorontsov V.V., Gorshkov V.M. The state and ways of intensification of the production of citrus and subtropical fruit crops in the Krasnodar Territory, Subtropical crops. 1978; 6 : 112. (In Rus)].

11. Гольцев В.Н., Каладжи Х.М., Паунов М., Баба В., Хорачек Т., Мойски Я., Коцел Х., Аллахвердиев С.И. Использование переменной флуоресценции хлорофилла для оценки физиологического состояния фотосинтетического аппарата растений, Физиология растений. 2016; 4(6) : 881-907. [Goltsev V.N., Kalaji H.M., Paunov M., Baba V., Horachek T., Moisky Ya., Kocel H., Allahverdiev S.I. The use of variable chlorophyll fluorescence to assess the physiological state of the photosynthetic apparatus of plants, Plant Physiology. 2016; 4(6) : 881-907. (In Rus)]. DOI: 10.7868/S0015330316050055.
12. Гончарова Э.А. Водный статус культурных растений и его диагностика. СПб.: ГНЦ РФ ВИР, 2005 (ООО Копи-Р), 112 с. [Goncharova E.A. Water status of cultivated plants and its diagnostics. St. Petersburg: SSC RF VIR, 2005 (Копи-Р LLC), 112 p. (In Rus)].
13. Горшков В.М. Агроклиматические ресурсы и экологические условия произрастания основных видов рода *Citrus* в субтропической зоне России, Субтропические культуры. 2010; 1(4) : 187-191. [Gorshkov V.M. Agro-climatic resources and ecological conditions of growth of the main species of the genus *Citrus* in the subtropical zone of Russia, Subtropical crops. 2010; 1(4) : 187-191. (In Rus)].
14. Горшков В.М. Агроэкологическая особенность цитрусовых в субтропиках России, Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. 2018; 13 : 507-509. [Gorshkov V.M. Agroecological feature of citrus fruits in the subtropics of Russia, New and non-traditional plants and prospects for their use. 2018; 13 : 507-509. (In Rus)].
15. Горшков В.М. Стрессовые погодные факторы при возделывании мандарина (*Citrus reticulata* Bl. var. *unshiu* Tan.) в субтропиках России, Плодоводство и ягодоводство России. 2021; 65 : 9-20. [Gorshkov V.M. Stressful weather factors in the cultivation of mandarin (*Citrus reticulata* Bl. var. *unshiu* Tan.) in the subtropics of Russia, Pomiculture and small fruits culture in Russia. 2021; 65 : 9-20. (In Rus)]. DOI: 10.31676/2073-4948-2021-65-9-20.
16. Горшков Г.М. Особенности роста и плодоношения мандаринов карликовых форм: тез. докл. Махарадзе – Анасеули: ВНИИЧИСК, 1977 : 16-18. [Gorshkov G.M. Features of growth and fruiting of tangerines of dwarf forms: thesis of reports. Makharadze – Anasauli: VNIICHISK, 1977 : 16-18 (In Rus)].
17. Дорошенко Т.Н., Рындин А.В., Рязанова Л.Г., и др. Приёмы управления формированием хозяйственного урожая мандарина в условиях влажных субтропиков России, Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2019; 77 : 89-94. [Doroshenko T.N., Ryndin A.V., Ryazanova L.G., et al. Techniques for managing the formation of an economic mandarin crop in the humid subtropics of Russia, Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2019; 77 : 89-94. (In Rus)].
18. Журова В.Г., Светличная М.С. Изучение влияния ионов калия, кальция и магния на рост и развитие растений, Достижения науки и образования. 2018; 14(36) : 13-15. [Zhurova V.G., Svetlichnaya M.S. Studying the influence of potassium, calcium and magnesium ions on plant growth and development, Achievements of science and education. 2018; 14(36) : 13-15. (In Rus)].
19. Конинская Н.Г., Шхалахова Р.М., Кулян Р.В. Генетическое разнообразие коллекции гермоплазмы цитрусовых на Западном Кавказе, Субтропическое и декоративное садоводство. 2021; 78 : 44-55. [Koninskaya N.G., Shkhalakhova R.M., Kulyan R.V. Genetic diversity of citrus germplasm collection in the Western Caucasus, Subtropical and ornamental horticulture. 2021; 78 : 44-55. (In Rus)]. DOI: 10.31360/2225-3068-2021-78-44-54.
20. Кулешов А.С., Кулян Р.В., Белоус О.Г. Оценка механического и биохимического состава плодов редких таксонов цитрусовых в условиях влажных субтропиков России, Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2023; 3 : 46-52. [Kuleshov A.S., Kulyan R.V., Belous O.G. Evaluation of the mechanical and biochemical composition of

- fruits of rare citrus taxa in the humid subtropics of Russia, *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2023; 3 : 46-52. (In Rus)]. DOI: 10.31857/2500-2082/2023/3/46-52.
21. Кулян Р.В., Белоус О.Г., Платонова Н.Б. Ассимиляционный аппарат отдалённых гибридов цитрусовых, как элемент неспецифического механизма устойчивости, *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2021; 5 : 29-32. [Kulyan R.V., Belous O.G., Platonova N.B. Assimilation apparatus of distant citrus hybrids as an element of the nonspecific mechanism of stability, *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2021; 5 : 29-32. (In Rus)]. DOI: 10.30850/vrsn/2021/5/29-32.
22. Кулян Р.В., Гамузов Ж.Т. Основные направления и задачи селекции цитрусовых на юге России, *Субтропическое и южное садоводство России*. 1999; 45. [Kulyan R.V., Gamuzov Zh.T. The main directions and tasks of citrus breeding in the south of Russia, *Subtropical and southern horticulture of Russia*. 1999; 45. (In Rus)].
23. Кунина В.А., Белоус О.Г. Состояние растений мандарина (*Citrus reticulata* var. *unshiu* Tan.) при обработках физиологически активными веществами, *Садоводство и виноградарство*. 2022; 5 : 24-30. [Kunina V.A., Belous O.G. The condition of mandarin plants (*Citrus reticulata* var. *unshiu* Tan.) under treatment with physiologically active substances, *Horticulture and viticulture*. 2022; 5 : 24-30. (In Rus)]. DOI: 10.31676/0235-2591-2022-5-24-30.
24. Кунина В.А., Белоус О.Г. Изменение листовых параметров карликового мандарина под влиянием регуляторов роста, *Субтропическое и декоративное садоводство*. 2022; 82 : 145-157. [Kunina V.A., Belous O.G. Change of leaf parameters of dwarf mandarin under the influence of growth regulators, *Subtropical and ornamental horticulture*. 2022; 82 : 145-157. (In Rus)]. DOI: 10.31360/2225-3068-2022-82-146-157.
25. Кунина В.А., Белоус О.Г. Использование физиолого-биохимических параметров видов древесных растений в оценке состояния субтропических урбосистем, *Субтропическое и декоративное садоводство*. 2021; 78 : 107-119. [Kunina V.A., Belous O.G. The use of physiological and biochemical parameters of woody plant species in assessing the state of subtropical urban systems, *Subtropical and ornamental horticulture*. 2021; 78 : 107-119. (In Rus)]. DOI: 10.31360/2225-3068-2021-78-107-118.
26. Никандрова М.А., Шустова К.В. Характеристика содержания пигментов как показатель фотосинтетической активности растений на примере *Matricaria chamomilla*: Студенческий научный форум: мат. науч. конф. URL: <https://scienceforum.ru/2016/article/2016023573>. Ссылка активна на 13.09.2023. [Nikandrova M.A., Shustova K.V. Characteristics of pigment content as an indicator of photosynthetic activity of plants on the example of *Matricaria chamomilla*: Student scientific forum: mat. scientific. conf. URL: <https://scienceforum.ru/2016/article/2016023573>. The link is active on 13.09.2023. (In Rus)].
27. Практикум по физиологии растений: под ред. И.И. Гунара. М.: Колос, 1972, 168 с. [Workshop on plant physiology: edited by I.I. Gunar. M.: Kolos, 1972, 168 p. (In Rus)].
28. Рындин А.В. Исторические аспекты становления и современное состояние садоводства в зоне влажных субтропиков, *Садоводство и виноградарство*. 2009; 6 : 3-6. [Ryndin A.V. Historical aspects of the formation and current state of horticulture in the humid subtropical zone, *Horticulture and viticulture*. 2009; 6 : 3-6. (In Rus)].
29. Рындин А.В., Белоус О.Г. Устойчивость растений мандарина (*Citrus reticulata* var. *unshiu* Tan.) при обработках биологически активными веществами, *Биологические основы защиты растений: матер. Жученковских чтений*. Краснодар: Федеральный научный центр биологической защиты растений, 2022, 198-205. [Ryndin A.V., Belous O.G. Resistance of mandarin plants (*Citrus reticulata* var. *unshiu* Tan.) during treatment with biologically active substances, *Biological bases of plant protection: mater. Zhukovsky readings*. Krasnodar: Federal Scientific Center for Biological Plant Protection, 2022, 198-205. (In Rus)].

30. Рындин А.В., Белоус О.Г., Горшков В.М., Дорошенко Т.Н., Рязанова Л.Г., Аль-Хуссейни А.М.А.М. Влияние регуляторов роста на физиологические показатели растений мандарина (*Citrus reticulata* var. *unshiu* Tan.) в условиях влажных субтропиков России, Плодоводство и ягодоводство России. 2017; 51 : С. 92-99. [Ryndin A.V., Belous O.G., Gorshkov V.M., Doroshenko T.N., Ryazanova L.G., Al-Husseini A.M.A.M. The influence of growth regulators on the physiological parameters of mandarin plants (*Citrus reticulata* var. *unshiu* Tan.) in the humid subtropics of Russia, Pomiculture and small fruits culture in Russia. 2017; 51 : 92-99. (In Rus)].
31. Рындин А.В., Белоус О.Г., Омаров М.Д., Абиьфазова Ю.С. Оценка эффективности применения новых регуляторов роста в субтропическом садоводстве, Проблемы агрохимии и экологии. 2019; 3 : 34-38. [Ryndin A.V., Belous O.G., Omarov M.D., Abilfazova Yu.S. Evaluation of the effectiveness of the use of new growth regulators in subtropical horticulture, Agrochemistry and ecology problems. 2019; 3 : 34-38. (In Rus)]. DOI: 10.26178/AE.2019.70.59.007.
32. Рындин А.В., Мохно В.С. Цитрусовые во влажных субтропиках России, Субтропические культуры. 2010; 1(4) : 227-230. [Ryndin A.V., Mokhno V.S. Citrus fruits in the humid subtropics of Russia, Subtropical crops. 2010; 1(4) : 227-230. (In Rus)].
33. Самсонова Н.Е. Кремний в растительных и животных организмах, Агрохимия. 2019; 1 : 86-96. [Samsonova N.E. Silicon in plant and animal organisms, Agrochemistry. 2019; 1: 86-96. (In Rus)]. DOI: 10.1134/S0002188119010071.
34. Тутберидзе Ц.В., Слепченко Н.А., Кулян Р.В. Геноресурсная коллекция субтропических, южных плодовых и цветочно-декоративных культур в ФИЦ СНЦ РАН: Аграрная наука – сельскому хозяйству: матер. науч.-практ. конф., Майкоп, 17-19 ноября 2021 г. Майкоп: изд-во «Магарин Олег Григорьевич», 2021 : 469-473. [Tutberidze Ts.V., Slepchenko N.A., Kulyan R.V. Genoresource collection of subtropical, southern fruit and flower-ornamental crops in the FIT SNC RAS: Agrarian science – agriculture: mater. scientific-practical. conf., Maykop, November 17-19, 2021. Maykop: publishing house "Magarin Oleg Grigorievich", 2021 : 469-473. (In Rus)].
35. Шлык А.А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зелёных листьев. В кн.: Биохимические методы в физиологии растений. М.: Наука, 1971, 154-171. [Shlyk A.A. Determination of chlorophylls and carotenoids in green leaf extracts. In the book: Biochemical methods in plant physiology. M.: Nauka, 1971, 154-171. (In Rus)].
36. Belous O., Klemeshova K., Malyarovskaya V. Photosynthetic pigments of subtropical plants. In: Photosynthesis – from its evolution to future improvements in photosynthetic efficiency using nanomaterials. London: IntechOpen Limited, UNITED KINGDOM. 31-52. DOI: 10.5772/intechopen.75193.
37. Belous O., Vasileyko M., Lagoshina A., Platonova N. Optimization of the adaptive mechanism of subtropical crops under the influence of innovative forms of fertilizers, E3S Web of Conferences. 2021; 254(5) : 02006. DOI: 10.1051/e3sconf/202125402006.
38. Belous O., Vasileyko M., Soyong K. Influence of exogenous growth-regulators on physiological and growth processes of dwarf mandarin cv. 'Miagava-Vase', International Journal of Agricultural Technology. 2021; 17(5) : 1665-1676.
39. Malhotra Chanchal C.H., Kapoor Riti Thapar, Ganjewala D. Alleviation of abiotic and biotic stresses in plants by silicon supplementation, Sci. Agricult. 2016; 13(2) : 59-73. DOI: 10.15192/PSCP.SA.2016.13.2.5973.
40. Devi B.S.R., Kima Y.J., Selviet S.K. et al. Influence of potassium nitrate on antioxidant level and secondary metabolite genes under cold stress in *Panax ginseng*. Russian journal of plant physiology. 2011; 59 : 318-325. DOI: 10.1134/S1021443712030041.

41. Epstein E. Silicon, *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 1999; 50 : 641-664. DOI: 10.1146/annurev.arplant.50.1.641.
42. Saqib Farooq, Gohar Ayub, Murad Ali et al. Effect of supplemental potassium application on growth and yield of potato cultivars, *Pure Appl. Biol.* 2019; 8(2) : 1554-1563. DOI: 10.19045/bspab.2019.80096.
43. Maghsoudi K., Emam Y., Ashraf M. Influence of foliar application of silicon on chlorophyll fluorescence, photosynthetic pigments, and growth in water-stressed wheat cultivars differing in drought tolerance, *Turkish J. Bot.* 2015; 39 : 625-634. DOI: 10.3906/bot-1407-11.
44. Wang M., Zheng Q., Shen Q., Guo S. The Critical Role of Potassium in Plant Stress Response. *Int. J. Mol. Sci.* 2013; 14 : 7370-7390. DOI: 10.3390/ijms14047370.

DYNAMICS OF PHYSIOLOGICAL INDICATORS OF TANGERINE IN THE HUMID SUBTROPICS OF RUSSIA

Nevodov P.A., Moskvicheva V.V., Kunina V.A., Platonova N.B., Belous O.G.

*Federal Research Centre
the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences,
Sochi, Russia, e-mail: oksana191962@mail.ru*

The paper assessed functional state of tangerine plants and the influence of regulatory agrochemicals on this process according to the following indicators: water deficiency and changes in the thickness of leaf blade, changes of the main photosynthetic pigment in leaves (Ca), relative fluorescence quenching index or viability index (F_m/F_T) and photosynthetic activity index calculated by the extrapolation algorithm (K_f_T). It is noted that the graph of water deficiency dynamics shows a clear dependence on the plants' water availability. It is shown that the onset of water deficiency and recovery from stress does not develop immediately due to the anatomical and morphological features of tangerine leaves (the presence of a cuticle layer and leaf blade's curling in drought). The introduction of agrochemicals of regulatory and stress-protective action changes the strength of water stress manifestation in different ways, which affects the amount of water deficiency in leaves. A long period of drought and water deficiency developing in tangerine leaves leads to a decrease in the thickness of the leaf apparatus by 1.2–1.4 times. The curve of the photosynthetic activity index (K_f_T) practically does not change during the growing season and completely repeats the change of chlorophyll content in leaves, while the viability index (F_m/F_T) is quite variable (on average $V = 25\%$) and closely correlates with hydrothermal factors. The viability of plants ($R_{fd} = F_m/F_T$) can be regulated by non-root treatments with agrochemicals of growth-stimulating and stress-protective action. The experimental data obtained in the work contribute to the development of effective ways for regulating the functional state of plants and obtaining high-quality fruits under stress.

Key words: tangerines, functional state, water deficiency, fluorescence, chlorophyll *a*, hydrothermal stress.