

УДК 634.232:631.526.3

ВЛИЯНИЕ ВОДНОГО ДЕФИЦИТА НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЛИСТЬЯХ ЧЕРЕШНИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СИСТЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ КРОНЫ

Дилявер Рашидович Усейнов, Нина Александровна Бабинцева,
Татьяна Борисовна Губанова, Руслана Адольфовна Пилькевич,
Валентина Милентьевна Горина

Никитский ботанический сад – Национальный научный центр
298648, Республика Крым, г. Ялта, пгт. Никита, Никитский спуск, 52
E-mail: gubanova-65@list.ru

В статье представлены результаты исследований по определению влияния типа ведения форм кроны на засухоустойчивость листьев черешни сорта Крупноплодная. С помощью метода индуцированной флуоресценции хлорофилла выявлены особенности функционирования фотосинтетического аппарата у растений черешни сорта Крупноплодная с различной формой кроны в условиях гидротермического стресса. Определена корреляционная связь между показателями флуоресценции хлорофилла листьев и содержанием влаги. Определено, что система формирования кроны – уплощенное веретено в меньшей мере зависит от изменения уровня водообеспеченности. Данная форма кроны рекомендована для промышленных насаждений в Крыму и других регионах с недостаточной влагообеспеченностью.

Ключевые слова: черешня; фотоактивность; засухоустойчивость; тургесцентность; листья

Введение

Черешня является достаточно востребованной плодовой культурой, которая пользуется спросом у потребителей. По генетическому происхождению черешня (*Prunus avium* L.) является южным видом и относится к теплолюбивым плодовым породам [1].

Плоды черешни ценятся благодаря своему уникальному биохимическому составу, в них содержится: простых сахаров (в том числе фруктоза и глюкоза) – до 15%, аскорбиновая кислота – 5-10 мг/100г, антоцианы, фенолы, органические кислоты – 0,3-1,1%. Кроме этого, плоды черешни содержат в своем составе калий, фосфор, кальций, магний, железо, медь и йод. Достаточно широко известны также ее антиоксидантные свойства. Благодаря значительному количеству веществ, которые выполняют нейтрализующую функцию, плоды черешни способствуют выводу токсинов из организма. При употреблении плодов черешни отмечается профилактический эффект от онкологических заболеваний, болезней сердечно-сосудистой системы, диабета и других заболеваний [2].

Плоды черешни имеют большое значение для переработки (джемы, варенья), сушки и заморозки. Благодаря своим уникальным биологическим свойствам, черешня первая из большинства плодовых культур попадает на рынок свежей плодовой продукции [3]. Основными регионами возделывания этой культуры в России является южная зона плодоводства: Северный Кавказ, Кубань, Адыгея, Ставрополье, Карачаево-Черкесия, Дагестан. В последний период времени (10-15 лет) значительно возрос интерес к культуре черешни и в Центрально-Чернозёмном регионе. Многие новые сорта получены во ВНИИСПК (Орёл) – Орловская розовая, Орловская янтарная, Малыш, Орловская Фея, Поэзия; а также во ВНИИ люпина (Брянск); во ВСТИСП (Москва); во ВНИИГ и СПР (Мичуринск); во ВНИИС (Мичуринск); на Павловской опытной станции садоводства ВНИИР им. Н.И. Вавилова (Ленинградская обл.),

которые проявляют достаточную зимостойкость, более устойчивы к коккомикозу и монилиозу, продуктивны, и по качеству плодов обходят некоторые сорта вишни [4].

Черешня достаточно засухоустойчивая культура в сравнении с другими плодовыми культурами, но она требовательна к условиям увлажнения. На фоне климатических изменений в предгорной зоне Крыма возросла вероятность наступления аномально высоких температур и низкой влажности воздуха в летнее время, что в свою очередь, неблагоприятно сказывается на жизнедеятельности плодовых культур. Гидротермический стресс оказывает негативное влияние на функционирование фотосинтетического аппарата, и, как следствие, на урожайность. Одним из путей решения данной проблемы связан с оптимизацией сортимента и разработкой новых технологий выращивания, позволяющих в полной мере проявить продуктивный и адаптационный потенциал растения. В связи с этим использование метода индуцированной флуоресценции хлорофилла может позволить не только установить границы стрессового воздействия, при которых происходят необратимые нарушения в работе фотосинтетического аппарата, но и выявить устойчивые генотипы и определить эффективность тех или иных агроприемов. Из чего и выходит цель наших исследований.

Цель исследований – выявить связь системы формирования кроны черешни с особенностями работы фотосинтетического аппарата и водного режима в условиях гидротермического стресса.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования выбраны растения черешни сорта Крупноплодная. Данный сорт обладает комплексом хозяйствственно ценных признаков, и широко представлен в промышленных насаждениях Предгорной зоны Крыма. Изучение ИФХ (интенсивности флуоресценции хлорофилла) листьев черешни сорта Крупноплодная проводили на подвое ВСЛ-2 в трех вариантах: I- свободнорастущее веретено, II- уплощенное веретено, III- плачущая форма кроны. Для достижения поставленной цели была проведена серия экспериментов по контролируемому развитию водного дефицита (26-30%) в качестве контроля были листья в состоянии полного оводнения. Для анализа функционального состояния ФС2 использовали хронофлуориметр «Floratest». Измерения проводили у листьев в состоянии полного обводнения (контроль), сразу после достижения определенного уровня водного дефицита (опыт) и спустя 24 часа после регидратации тканей (восстановление).

Таблица 1

**Агрометеорологические показатели условий проведения эксперимента (июль 2020-2021 гг.),
согласно данных метеопоста ФГБУН «НБС-ННЦ» РАН отделения
«Крымская опытная станция садоводства», с. Маленькое**

Агрометеорологические показатели	Июнь		Отклонения от нормы
	2020г.	2021г.	
Средняя t воздуха, °C	20,6	19,8	-0,5
Максимальная t воздуха, °C	35,4	30,8	-6,9
Сумма осадков за месяц, мм	59,5	208,5	+153,4
Максимальная t на почве, °C	47,2	37,4	-

В ходе экспериментов анализировали следующие параметры фотоиндукционной кривой: начальный уровень флуоресценции (F_0), максимальное (F_m) и квазистационарное (F_{st}) значения индукции флуоресценции, вариабельную флуоресценцию ($F_v = F_m - F_0$), характеристика тепловой диссипации энергии

возбуждения – $(F_m - F_{st})/F_m$, соотношение констант скоростей первичной фотохимической реакции и общей скорости нефотохимических потерь энергии возбуждения в ФС2, а также – соотношение F_v/F_{st} – коэффициент спада флуоресценции (индекс жизнеспособности) [5, 6]. Показатели потерь влаги в процессе завядания определяли весовым методом [7].

Исследования проводилось в третей декаде июня 2020-2021 гг. Характеристика основных метеорологических показателей исследуемого периода представлены в таблице 1.

В июне 2020 г. температура воздуха была умеренная и составляла 20,6°C. В дневные часы максимальная температура воздуха в течении месяца находилась в пределах +20,8°C ...+35,4°C. Максимальная температура почвы достигла показателя +47,2°C. В июне преобладали северо-восточные и юго-восточные ветры. Первая декада месяца была засушливой, отмечено 4 дня с низкой влажностью воздуха 16-24% (07.06-10.06). Основное количество осадков пришлось на вторую декаду месяца. Суточный максимум составил 37 мм (19.06). Сумма выпавших осадков за месяц составила 59,5 мм. Относительная влажность воздуха в среднем за месяц – 77%, с абсолютным минимумом 16% (08.06).

В июне 2021 года отмечено повышение температуры воздуха. Температура воздуха умеренная и составляла 19,3°C. В дневные часы максимальная температура воздуха в течении месяца находилась в пределах +21,2°C ...+30,8°C. Максимальная температура почвы достигла показателя +37,4°C. В июне преобладали северо-восточные и юго-восточные ветра. Основное количество осадков пришлось на вторую декаду месяца (167,4 мм). Суточный максимум составил: 15.06 – 52,5 мм; 17.06 – 64,5 мм; 18.06 – 46,7 мм. Сумма выпавших осадков за месяц составила 208,5 мм, что в 4 раза превысило норму (55,1 мм). Относительная влажность воздуха в среднем за месяц – 92%, с абсолютным минимумом 55%. Большое количество осадков и влажность воздуха в пределах 80-100%.

Результаты исследований

В августе 2020 г. определены показатели параметров водного режима листьев (содержание общей воды, водоудерживающая и репарационная способности) трёх генотипов черешни с целью получения первичных данных об их адаптивном потенциале в условиях засухи.

Оводнённость листьев изучаемых растений не имела значительных различий, и находилась на уровне 57,2-58,2% (что составляло от 96,0 до 97,5% полного насыщения). Сравнительно повышенное содержание воды и, соответственно, самый низкий показатель дефицита влаги наблюдались в листьях растений черешни с формой кроны «уплощенное веретено». В процессе искусственного увядания продолжительностью 15 часов отмечена потеря тканями листьев значительного количества влаги (26-29,5%), которое выявилось критическим на грани летального. После такого глубокого обезвоживания нормальный тургор восстановился только у 50-65% площади листовой поверхности. Экспериментальные результаты показали, что характерной особенностью растений черешни с формой кроны «уплощенное веретено» адаптироваться к развитию водного дефицита, вероятно, является увеличение водоудерживающих сил листьев. У растений с плакучей формой кроны водоудерживающие силы находятся на более низком уровне, но возрастает репарационная способность тканей после восстановления водообеспеченности. Погодные условия, способствующие развитию водного дефицита в тканях листьев, оказывают негативное влияние на их фотосинтетическую активность, поскольку гидротермический стресс сопровождается нарушениями в функционировании

донорной стороны ФС2, что в свою очередь приводит к возрастанию нефотохимических потерь энергии возбуждения на всех этапах электрон-транспортной цепи [8, 9, 10].

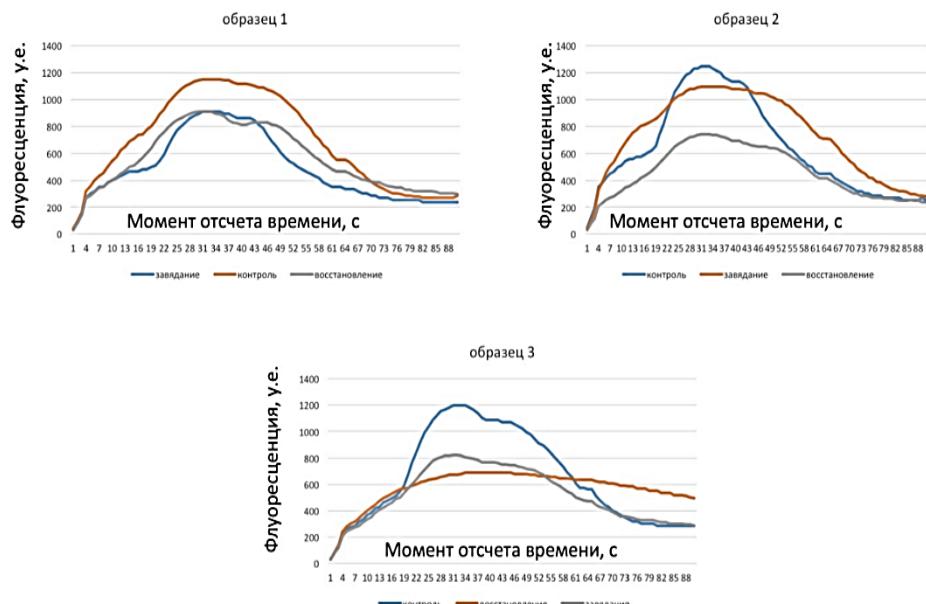
Анализ параметров индуцированной флуоресценции фотосинтеза (ИФХ) у сорта черешни Крупноплодная при достижении листьями водного дефицита в пределах 26-30% и последующего восстановления водообеспеченности показал, что наиболее значимые изменения в функционировании ФС 2 наблюдались именно после восстановления оводненности тканей. Наиболее существенные изменения выявлены в параметрах максимальной (F_m) и вариабельной (F_v) флуоресценции, что свидетельствует о снижении фотосинтетической активности и значительном рассеивании энергии возбуждения. Во всех вариантах опытов, вне зависимости от формы кроны, снижение уровня F_v под влиянием стрессового воздействия в большей степени, обусловлено падением величины максимальной, а не базовой флуоресценции. Полученные данные свидетельствуют о развитии неспецифической стресс-реакции связанной с нарушениями восстановления первичных акцепторов электронов в реакционных центрах ФС2. Достаточно высокий уровень стресса у исследуемых образцов черешни при длительном завядании, подтверждается низкими значениями коэффициентов спада флуоресценции (F_v/F_{st}), наиболее ярко выраженных у растений с формой плакучей кроной и формой «уплощенное веретено». Кроме того, отмечалось существенное увеличение количества невосстановленных Q_a в реакционных центрах ФС2 у растений черешни с плакучей кроной.

Таблица 2
Изменения показателей интенсивности флуоресценции хлорофилла листьев черешни в ходе завядания в зависимости от типа кроны, 2020-2021 гг.

Этапы опыта	Показатели флуоресценции листьев черешни							E*	F**
	F_0	F_m	F_{st}	F_v (A)	F_v/F_0 (B)	$F_m - F_{st}/F_m$ (C)	F_m/F_0 (D)		
вариант I – свободнорастущее веретено									
контроль	320±12	1152±29	280±8,54	832	2,6	0,75	4,1		
опыт	328±11	1096±24	312±7,94	768	2,3	0,71	3,5	70,62	
восстановление	288±9,4 3	561±12	328±9,31	273	0,9	0,41	1,7		60
Коэффициент корреляции: AE=0,77; BE=0,81; CE=0,78; DE=0,85									
вариант II – уплощенное веретено									
контроль	352±10	1248±34	272±9,43	896	2,5	0,78	4,6		
опыт	328±11	1096±24	312±7,94	768	2,3	0,71	3,5	73,58	
восстановление	208±8,2 5	744±16	264±8,82	536	2,6	0,64	2,8		55
Коэффициент корреляции: AE=0,96; BE=-0,23; CE=0,99; DE=0,99									
вариант III – плакучая форма									
контроль	240±9,7 8	1200±28	288±9,52	960	4,0	0,76	4,2		
опыт	208±8,8 3	824±21	320±8,04	616	3,0	0,61	2,6	71,96	
восстановление	240±8,3 6	688±14	520±11	448	1,9	0,27	1,3		70
Коэффициент корреляции: AE=0,96; BE=0,88; CE=0,77; DE=0,92									

Примечание: *E – оводненность листа, %, **F- Восстановление тургора, %

При восстановлении водообеспеченности листьев было выявлено дальнейшее развитие деструктивных процессов в ФС2 у как у образцов с плакучей кроной, так и у растений с формой кроны «свободнорастущее веретено». В данном случае, коэффициент спада флуоресценции находился за пределами нормы витальности, что свидетельствует о наличии необратимых нарушений. В процессе восстановления водоснабжения у этих образцов наблюдалось снижение соотношения констант скоростей реакций фотохимической и нефотохимической дезактивации возбуждения в ФС2, что вероятно, связано со значительными нарушениями в работе кислородвыделяющего комплекса, а также резкое снижение фотосинтетической активности, причина которой заключалась в разрушении талакоидных мембран. Не смотря на значительное снижение величин максимальной, вариабельной флуоресценции и коэффициента спада флуоресценции у растений черешни с формой кроны «уплощенное веретено» в процессе восстановления водообеспеченности, необходимо отметить, что данные параметры остались в границах нормы витальности.



**Рис. 1 Графическое изображение уровня флуоресценции в зависимости от формы кроны в листьях сорта Крупноплодная на подвое ВСЛ- 2, июнь 2020-2021 гг.
(образец 1 – свободно растущее веретено, 2 – уплощенное веретено, 3 – плакучая форма кроны)**

Этот вывод подтверждается тем, что у образца формой кроны «уплощенное веретено» в указанных условиях соотношение констант скоростей реакций фотохимической и нефотохимической дезактивации энергии возбуждения и характеристики максимальной фотохимической эффективности ФС2 оставались близкими к контрольным значениям (табл. 2).

В процессе искусственного увядания продолжительностью 15 часов отмечена потеря тканями листьев значительного количества влаги (26-29,5%), которое выявилось критическим на грани летального. После такого глубокого обезвоживания нормальный тургор восстановился только у 50-65% площади листовой поверхности.

Коэффициенты корреляции между показателями А, В, С, Д и Е во всех вариантах опыта были достаточно высоким (от 0,77 до 0,99), за исключением связи ВЕ – 0,23, в варианте с уплощенной формой кроны (рис. 1).

При проведении кластерного анализа выделился II вариант, также математически подтвердились и схожесть интенсивности флуоресценции хлорофилла листьев черешни в ходе завядания I и III вариантов (рис. 3).

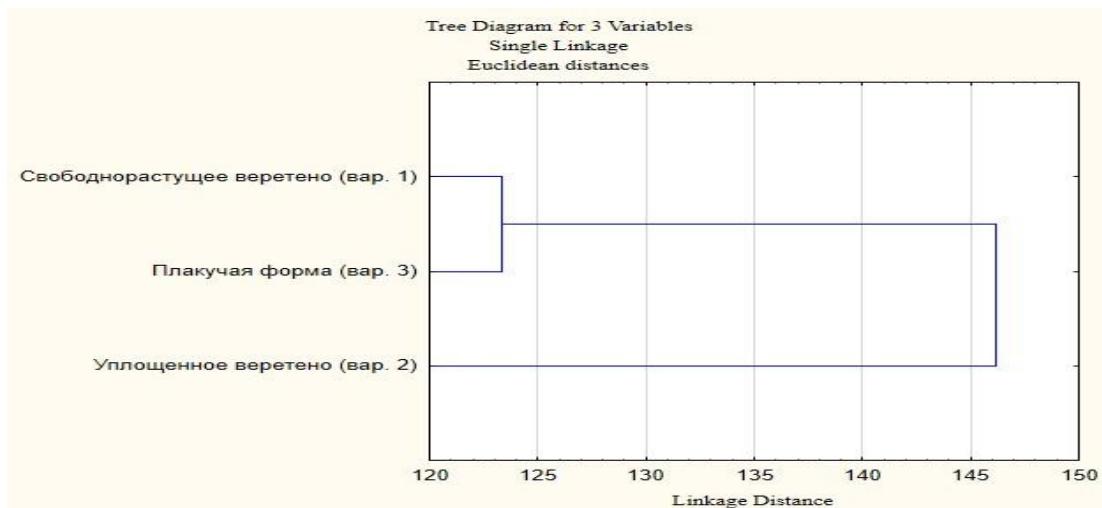


Рис. 2 Кластерный анализ типов кроны по показателям индуцированной флуоресценции хлорофилла листьев черешни в ходе завядания, 2020-2021 гг.

Таким образом, параметры ИФХ в варианте II (уплощеннное веретено) достоверно отличаются от таковых в варианте I (свободнорастущее веретено) и в варианте III (плакучая форма кроны), что позволило сделать вывод о том, что развитие водного дефицита в тканях листьев черешни 20% и ниже является критическим моментом для сохранения нормального течения первичных фотосинтетических процессов.

Выводы

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что в погодных условиях августа 2019 г. фотосинтетический аппарат листьев растений черешни с формой кроны «уплощенное веретено» обладал более высокой устойчивостью к продолжительному завяданию (15 часов). Потеря влаги листьями черешни в пределах 26-30% у растений с формой кроны «свободнорастущее веретено» и «уплощенное веретено» стала причиной необратимых нарушений в работе ФС2. В условиях контролируемого завядания, установлено, что восстановление тurgесцентности после длительного увядания листьев черешни является критическим моментом для сохранения нормального течения первичных фотосинтетических процессов.

Список литературы

1. Бабаджанова З.Х., Кароматов И.Д., Сайдова М.М., Кодирова Ш.С., Жумаев Б.З., Жалилова Ж.Ж. Вишня и черешня – лечебное применение // European science review. – 2014. – №3-4.
2. Врайон О.В., Корнеев Д.Ю., Снегур О.О., Китаев О.И. Инstrumentальное изучение фотосинтетического аппарата с помощью индукции флуоресценции хлорофилла // Методические указания. – Киев, 2000. – 11 с.
3. Гуляева А.А. Вишня и черешня. – Орёл: ВНИИСПК, 2015. – 52 с.
4. Еремеев Г.Н., Лицук А.И. Отбор засухоустойчивых сортов и подвоев плодовых растений // Методические указания. – Ялта: ГНБС, 1974. – С. 18.
5. Лукичева Л.А. Генофондовая коллекция черешни Никитского ботанического сада // Биология растений и садоводство: теория, инновации. – 2010. – № 132.

6. Левгерова Н.С. Перспективы использования сортов плодовых и ягодных культур для производства консервов с пониженной калорийностью // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2011. – №1(6). – С. 32-4.
7. Лысенко В.С., Вардуни Т.В., Соир В.Г., Краснов В.П. Флуоресценция хлорофилла растений как показатель экологического стресса: теоретические основы применения метода // Фундаментальные исследования. Биологические науки. – 2013. – №4. – С. 112-120.
8. Комар-Темная Л.Д., Месяц Н.В. Интенсивность флуоресценции хлорофилла в листьях хеномелеса в связи с засухоустойчивостью // Плодоводство и ягодоводство России. – 2019. – Т. 59. – С. 77-85. DOI: 10.31676/2073-4948-2019-59-77-85.
9. Смыков А.В., Федорова О.С., Иващенко Ю.А., Месяц Н.В. Интенсивность флуоресценции хлорофилла листьев персика в процессе завядания // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2020. – №134.
10. Stirbet A., Govindjee. On the relation between the Kautsky effect (chlorophyll a fluorescence induction) and Photosystem: Basics and applications of the OJIP fluorescence transient, J. Photochem. B: Biol. – 2011. – Р. 1-22.

Статья поступила в редакцию 12.08.2025 г.

Useinov D.R., Babintseva N.A., Gubanova T.B., Pilkevich R.A., Gorina V.M. Effect of water deficiency on photosynthetic processes in cherry leaves, depending on the crown formation system // Bull. of the State Nikita Botan. Gard. – 2025. – №. 157. – P. 50-56.

The article presents the results of studying the relations between the crown shape of sweet cherry plants of ‘Krupnoplodnaya’ cultivar on their drought resistance and the intensity of chlorophyll fluorescence in leaves during their wilting. Differences in the reaction of plants to drought have been revealed. The correlation of chlorophyll fluorescence in leaves with their moisture content has been determined. It has been found out that the crown formation system – a flattened spindle – is less dependent of moisture supply. This crown shape can be recommended for industrial plantings in regions with insufficient moisture supply.

Key words: *cherry; photoactivity; drought resistance; turgescence; leaves*