

УДК 635.927:581.132:58.032

ВОДНЫЙ РЕЖИМ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ВЕЧНОЗЕЛЁНЫХ ВИДОВ РОДА *LIGUSTRUM* L. В УСЛОВИЯХ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОГО СТРЕССА

Юрий Владимирович Плугатарь, Руслана Адольфовна Пилькевич,
Владимир Николаевич Герасимчук, Татьяна Борисовна Губанова

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

Представлены результаты исследования динамики реального водного дефицита, общей обводненности тканей листьев у вечнозелёных видов рода *Ligustrum* L. в течение летних сезонов 2023 и 2024 гг, а также изменения водоудерживающих сил и параметров индуцированной флуоресценции хлорофилла (ИФХ) в условиях различного сочетания температуры и влажности воздуха.

Показано, что при нарастании гидротермического стресса особенно нестабильными показателями водного режима отличаются виды *L. delavayanum* Har. и *L. ovalifolium* Hassk. Для видов *L. compactum* (Wall. ex G. Don) Hook.f. & Thomson ex Brandis и *L. ovalifolium* в условиях, имитирующих засуху, выявлена наименьшая устойчивость к водному стрессу.

Установлено, что, имитация засухи, стала причиной нарушения равновесия между фотохимическими и ферментативными реакциями и замедления транспорта электронов от реакционного центра ФС II к пластохинонам у видов рода *Ligustrum*. Функциональным звеном ФС II с высокой чувствительностью к развитию водного дефицита оказался параметр, характеризующий процессы первичного разделения зарядов в электрон-транспортной цепи (окисления/восстановления пластохинонов).

Ключевые слова: *Ligustrum* L.; засухоустойчивость; фотосинтез; водоудерживающие силы

Введение

Декоративно-лиственные вечнозелёные интродуценты являются неотъемлемым элементом парковых и рекреационных зон южных регионов. Особую ценность им придает возможность круглогодичной экспозиции. Однако, сохранение высоких декоративных качеств в течение длительного времени в значительной мере зависит от степени устойчивости растений к погодным и климатическим условиям зоны интродукции. Один из важнейших факторов, влияющих на жизнедеятельность растений – это гидротермический режим мест произрастания. В наши дни, в связи с глобальными климатическими изменениями, возросшей аридизацией, исследования влияния температуры и водообеспеченности на жизнедеятельность растений приобретает особое значение (Груза, Ранькова 2012). Влияние засухи на состояние растений затрагивает все аспекты их жизнедеятельности на разных уровнях интеграции растительного организма. Успешность реализации защитных механизмов, и, соответственно, степень устойчивости к гидротермическому стрессу, во много связана со способностью экономно расходовать воду, что обеспечивается водоудерживающими силами. Известно, что при нарастающем действии водного стресса у большинства видов растений происходит перераспределение фракционного состава воды в сторону увеличения связанной (Гончарова, 2005; Беляева, 2014). Вследствие таких изменений водного режима, с одной стороны, значительно возрастают водоудерживающие силы, с другой - происходит торможение ряда метаболических процессов (Ryan, 2000; Некрасов, ИONOва, 2020)

Ряд авторов отмечают высокую чувствительность процессов флуоресценции хлорофилла к внешним воздействиям различной природы, в число которых входит водный стресс. В частности, известно, что, характер кривой ИФХ позволяет получить

объективную информацию об изменениях фотосинтетических процессов, связанных как с развитием адаптационного синдрома, так и с необратимыми нарушениями в работе фотосинтетического аппарата, что в свою очередь позволяет получить объективную характеристику устойчивости изучаемого вида растения (Pereira, de Siqueira, et al., 2000; Strasser, Tsimilli-Michael et. al., 2010; Лысенко, Вардуни, 2013).

Вечнозелёные виды рода *Ligustrum* L. достаточно широко распространены в парках Южного берега Крыма. Однако, анализ климатических изменений, произошедших в этом регионе в последние десятилетия, показал возросшую вероятность и частоту таких негативных явлений как атмосферная и почвенная засухи на фоне повышенных температур. (Корсакова, 2018; Корсакова, Корсаков, 2023) Такая тенденция оказывает негативное влияние не только на жизнеспособность интродуцированных видов растений, но и может существенно снизить их декоративные качества.

Поэтому цель заключалась в выявлении особенностей водного режима и параметров фотосинтетического аппарата у некоторых вечнозелёных видов рода *Ligustrum*, связанных с реализацией защитных механизмов при гидротермическом стрессе различной интенсивности.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследований были выбраны вечнозелёные виды рода *Ligustrum* L., интродуцированные на Южный берег Крыма: *L. compactum* (Wall. ex G.Don) Hook. f. & Thomson ex Brandis, *L. lucidum* W.T. Aiton, *L. ovalifolium* Hassk., *L. delavayanum* Har.

Для исследования их засухоустойчивости была проведена серия опытов по контролируемому увяданию листьев при различных сочетаниях температуры и влажности воздуха: относительно мягкие условия – $t\ 25^{\circ}\text{C}$, $R_h\ 60\%$; имитация суховея ($t\ 35^{\circ}\text{C} / R_h\ 25\%$ и $t\ 40^{\circ}\text{C} / R_h\ 25\%$). Контролем служили листья, в состоянии полного насыщения водой. Параметры водного режима определяли по общепринятым методикам: оводнённость растительных тканей – весовым методом, водоудерживающая способность и стойкость к обезвоживанию – с помощью метода А.И. Лищука (Методические рекомендации..., 1991); водный дефицит – с учётом рекомендаций М.Д. Кушниренко (Кушниренко и др., 1976). Для оценки функционального состояния фотосинтетического аппарата во время воздействия и гипертермических стрессоров различной интенсивности измеряли параметры индуцированной флуоресценции фотосинтеза (ИФХ) при помощи портативного хронофлуориметра «Floratest» (Гольцев и др., 2016; Romanov et al., 2010) и Состояние ФС II оценивали по следующим параметрам фотоиндукционной кривой: F_0 – базовый уровень флуоресценции; F_m – максимальное значение флуоресценции; F_{st} – стационарный уровень флуоресценции. Также использовали расчётные параметры: $F_v = F_m - F_0$ – варибельная флуоресценция; $(F_{p1} - F_0) / F_v$ – количество невосстановленных Q_a в реакционных центрах ФСII; $F_v F_v / F_m$ – эффективность световой фазы фотосинтеза; F_v / F_0 – соотношение констант скоростей первичной фотохимической реакции и общей скорости нефотохимических потерь энергии возбуждения в ФСII.

Результаты и обсуждение

На протяжении летних сезонов 2022-2023 гг. проведены исследования по определению ряда показателей параметров водного режима 4 видов *Ligustrum* в связи с реакцией на воздействие гидротермического стресса.

В мае 2022 г., на фоне оптимальной погоды в пределах климатической нормы, наиболее высокое содержание воды в листьях (84%) отмечалось у *L. compactum* (табл. 1).

Дефицит влаги в листьях изучаемых объектов находился в пределах 3,5-8,5%, за исключением *L. delavayanum*: при самой низкой оводнённости тканей водный дефицит в

них составлял около 28%. Контролируемое завядание листьев продолжительностью 4 часа в мягком режиме ($t\ 22^{\circ}\text{C}$, $R_h\ 65\%$) показало потерю влаги в диапазоне 8-15%. Наименьшее количество воды расходовали ткани *L. lucidum*. Схожую динамику водоотдачи продемонстрировали листья *L. compactum* и *L. delavayanum*, теряя равное количество влаги за одинаковый промежуток времени. После регидратации все генотипы, кроме *L. delavayanum*, полностью восстановили тургор.

Таблица 1

Водоудерживающая и репарационная способности листьев видов *Ligustrum* (май 2022)

Table 1

Water retaining ability and reparative capacity of leaves species *Ligustrum* (May 2022)

Генотип / Genotype	Содержание воды в листьях, % от сырой массы / Water content in leaves, % of wet weight	Полное обводнение, % от сырой массы / Full watering, % of wet weight	Водный дефицит в листьях, % / Water deficiency in leaves, %	Утрачено воды в процессе завядания, % / Water loss					Тургор % / Turgor, %
				2 час / hour	3 час / hour	4 час / hour	6 час / hour	24 час / hour	
<i>Ligustrum compactum</i>	83,91±2,1	85,08±1,9	8,53±1,0	10,64	13,66	15,14	*	*	100
<i>Ligustrum delavayanum</i>	60,56±1,5	68,02±1,3	27,80±1,1	9,68	12,19	15,05	*	*	50
<i>Ligustrum lucidum</i>	72,84±1,8	73,55±1,6	3,58±0,7	5,37	6,53	7,61	8,77	22,54	78
<i>Ligustrum ovalifolium</i>	72,30±1,7	74,11±1,4	3,61±0,9	8,20	10,56	12,02	*	*	100

* – измерения не проводились

Дефицит влаги в листьях изучаемых объектов находился в пределах 3,5-8,5%, за исключением *L. delavayanum*: при самой низкой оводнённости тканей водный дефицит в них составлял около 28%. Контролируемое завядание листьев продолжительностью 4 часа в мягком режиме ($t\ 22^{\circ}\text{C}$, $R_h\ 65\%$) показало потерю влаги в диапазоне 8-15%. Наименьшее количество воды расходовали ткани *L. lucidum*. Схожую динамику водоотдачи продемонстрировали листья *L. compactum* и *L. delavayanum*, теряя равное количество влаги за одинаковый промежуток времени. После регидратации все генотипы, кроме *L. delavayanum*, полностью восстановили тургор.

Погодные условия июня этого года были тёплыми и временами жаркими. Тропические массы принесли в Крым жаркую неустойчивую погоду: максимальная температура воздуха днём достигала $32,4^{\circ}\text{C}$, что выше нормы на $4,3^{\circ}\text{C}$, осадков выпало 13% от нормы. Содержание влаги наиболее значительно снизилось в листьях *L. compactum* (на 11%), у *L. ovalifolium* и *L. lucidum* – в среднем на 3-5%. Уровень водного дефицита в тканях составлял от 6% до 10% (табл. 2). В листьях *L. delavayanum* водный дефицит уменьшился втрое относительно майских показателей. Обезвоживание листьев в течение 12 часов в мягких условиях ($t\ 22^{\circ}\text{C}$, $R_h\ 65\%$) привело к потере тканями 17-22% влаги, однако это количество не превысило границу сублетального водного дефицита, и листья всех изучаемых объектов полностью восстановили тургор.

В июле у *L. lucidum* оводнённость листьев снизилась до значений 65-66% (что почти на 20% меньше, чем в мае). Дефицит влаги в тканях изучаемых генотипов варьировал в диапазоне 7-15%, наиболее существенно, и до одинакового уровня (15%) он возрос в листьях *L. compactum* и *L. delavayanum*. В итоге 12-часового завядания в

условиях, приближённых к суховейным ($t 27^{\circ}\text{C}$, $R_h 30\%$), самая малая потеря воды наблюдалась в листьях *L. lucidum* и *L. delavayanum* (24-25%).

Таблица 2

Водоудерживающая и репарационная способность листьев видов *Ligustrum* L. (2022 г.)

Table 2

Water retaining ability and reparative capacity of leaves species *Ligustrum* L. (2022)

Генотип / Genotype	Оводнённость листьев, % от сырой массы / Water content in leaves, % of wet weight	Полное оводнение, % от сырой массы / Full watering, % of wet weight	Водный дефицит в листьях, % / Water deficiency in leaves, %	Потеря воды, 12 часов, % / Water loss after 12 hours	Тургор, % / Turgor, %
Июнь / June					
<i>Ligustrum compactum</i>	72,77±1,8	73,68±2,0	5,95±0,8	16,70±1,1	100
<i>Ligustrum delavayanum</i>	61,96±1,4	64,29±1,5	9,52±1,2	21,97±1,6	100
<i>Ligustrum lucidum</i>	67,50±1,3	69,42±1,7	7,34±1,1	18,52±1,4	100
<i>Ligustrum ovalifolium</i>	69,85±1,6	71,60±1,5	10,34±1,3	21,32±1,2	100
Июль / July					
<i>Ligustrum compactum</i>	65,60±1,6	69,66±1,2	15,32±1,0	37,03±1,7	85
<i>Ligustrum delavayanum</i>	65,78±1,3	69,17±1,8	15,00±1,4	24,63±1,2	100
<i>Ligustrum lucidum</i>	65,59±1,1	66,84±1,4	6,77±0,9	23,58±1,5	100
<i>Ligustrum ovalifolium</i>	71,37±1,9	74,09±2,0	10,31±1,2	27,29±1,8	100

Наибольшее количество влаги утратили листья *L. compactum* – 37%, и в результате получили 15% повреждений, а ткани листьев остальных объектов полностью восстановили тургор после насыщения.

В июне 2023 г. наблюдалась преимущественно относительно тёплая, с небольшими волнами похолодания, а также с прохождением достаточно сильных дождей погода. Содержание воды в листьях видов *Ligustrum* находилось в пределах 68-73% (табл. 1), что являлось оптимальным и составляло 97-98% от полного насыщения. Относительно низкий уровень водного дефицита в тканях был отмечен у *L. compactum*, сравнительно повышенный – у *L. delavayanum*. В итоге контролируемого завядания в мягких условиях наименьшее количество влаги теряли ткани листьев *L. ovalifolium* и *L. lucidum* (18-21%), наибольшая водоотдача отмечалась у *L. delavayanum* (38%). После регидратации листья всех изучаемых генотипов, кроме *L. delavayanum*, восстановили полный тургор. В июле максимальные температуры воздуха достигали $31-33^{\circ}\text{C}$, а минимальные опускались до $17,5^{\circ}\text{C}$, осадков выпало 75% от нормы. У *L. delavayanum* оводнённость листьев снизилась на 6%, у остальных видов разница в содержании влаги была менее выраженной. Водный дефицит в тканях увеличился, и варьировал в диапазоне 17-26%, наиболее значительно (на 15-16% относительно июньских показателей) и практически до одного уровня он возрос у *L. ovalifolium* и *L. delavayanum*. В процессе завядания (15 часов) потеря влаги составила от 34,5% у *L. delavayanum* до 56% у *L. compactum*. После насыщения удовлетворительная степень восстановления тургора наблюдалась только у листьев *L. lucidum* и *L. ovalifolium* (78-85%).

В августе наблюдалась преимущественно очень тёплая и жаркая без осадков погода: максимальная температура воздуха днем повышалась до $33,8-34,0^{\circ}\text{C}$. Содержание влаги в листьях *L. compactum* и *L. delavayanum* уменьшилось в пределах 4-6%, и наиболее существенно снизилось в тканях *L. ovalifolium* – на 16%. Водный дефицит возрос ещё на 4-13%, а в листьях *L. ovalifolium* он достиг рекордно высокого за весь летний сезон показателя – 55% (рис. 1).

Таблица 3
Водоудерживающая и репарационная способность листьев видов *Ligustrum* L. (2023 г.)

Table 3

Water retaining ability and reparative capacity of leaves species *Ligustrum* L. (2023)

Генотип / Genotype	Оводнённость листьев, % от сырой массы / Water content in leaves, % of wet weight	Полное оводнение, % от сырой массы / Full watering, % of wet weight	Водный дефицит в листьях, % / Water deficiency in leaves, %	Потеря воды, 15 часов, % / Water loss after 15 hours	Тургор, % / Turgor, %
Июнь / June (t 22°C, Rh 60%)					
<i>L. compactum</i>	72,75±1,7	74,46±2,1	3,65±0,8	27,27±1,5	100
<i>L. delavayanum</i>	68,19±1,2	70,36±1,6	9,84±1,0	37,79±1,8	50
<i>L. lucidum</i>	68,86±1,4	69,97±1,3	5,90±0,9	21,26±1,6	100
<i>L. ovalifolium</i>	70,00±1,5	71,85±1,7	7,73±1,2	17,87±1,3	100
Июль / July (t 35°C, Rh 25%)					
<i>L. compactum</i>	73,55±1,5	76,30±2,3	16,66±1,2	56,35±2,4	0
<i>L. delavayanum</i>	61,88±1,3	68,63±1,6	25,81±1,4	34,48±1,8	55
<i>L. lucidum</i>	71,82±1,1	75,70±1,9	18,18±1,0	36,17±1,6	85
<i>L. ovalifolium</i>	70,89±1,6	76,15±1,7	23,74±1,3	40,23±2,0	78
Август / August (t 40°C, Rh 25%)					
<i>L. compactum</i>	69,86±1,3	72,55±1,6	12,97±1,1	46,95±2,7	30-35
<i>L. delavayanum</i>	55,71±1,0	67,01±1,2	38,58±1,8	20,29±1,5	100
<i>L. lucidum</i>	71,10±1,7	73,55±1,9	9,11±0,7	22,25±1,4	100
<i>L. ovalifolium</i>	54,64±1,4	74,26±2,1	54,95±2,5	38,35±1,8	90

После 15 часов обезвоживания полное восстановление тургора тканей произошло у генотипов, отдавших наименьшее количество влаги (20-22%) – *L. delavayanum* и *L. lucidum*. В листьях *L. ovalifolium* в результате утраты 38% воды репарация осуществилась на уровне 90%. Максимальная потеря влаги отмечена в листьях *L. compactum* (47%), и количество площади листовой поверхности, восстановившей нормальный тургор, выявились неудовлетворительным (30%).

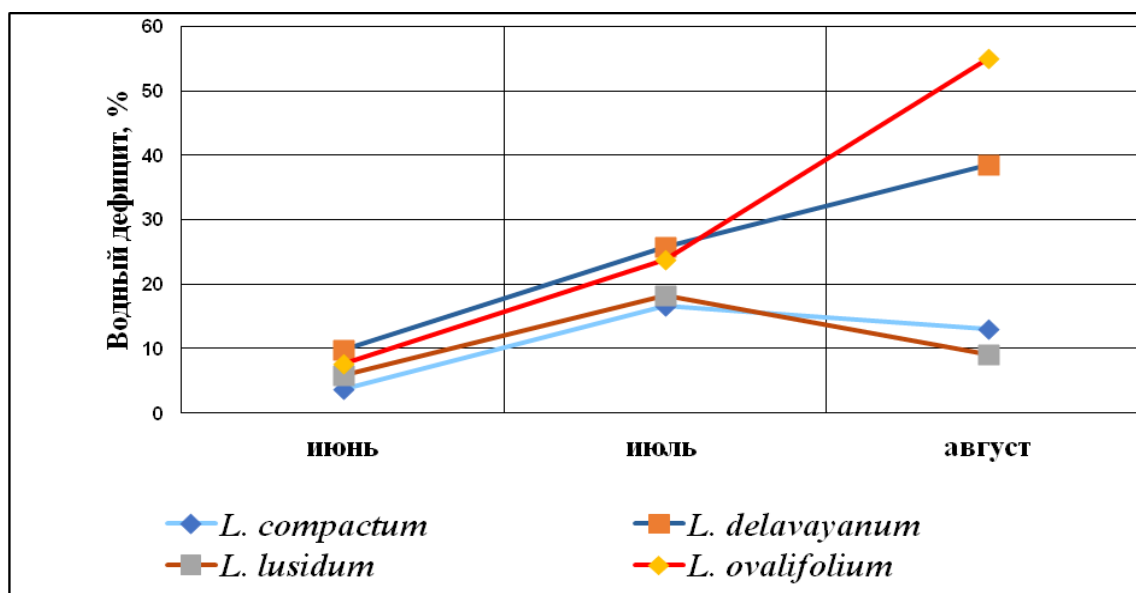


Рис. 1 Динамика водного дефицита в листьях видов *Ligustrum* (летний сезон 2023 г.)

Fig. 1 Dynamics of water deficiency in leaves of species *Ligustrum* (summer season 2023)

С целью выявления особенностей функционирования фотосинтетического аппарата вечнозеленых видов семейства Oleaceae при развитии водного дефицита в

различных гидротермических условиях, была проведена серия экспериментов по контролируемому увяданию листьев.

Известно, что вариабельная флуоресценция связана с функционированием и структурной целостностью тилакоидов (Гольцев и др., 2016). При завядании листьев в мягких условиях (15 ч., $t\ 22^{\circ}\text{C}$, Rh 60%) наблюдалось снижение максимальной, вариабельной флуоресценции и эффективности квантового выхода фотосинтеза, что позволило сделать вывод о развитии стрессового состояния у изучаемых видов (табл. 4). Однако, у большинства изучаемых видов соотношение максимальной и базовой флуоресценции оставалось достаточно высоким, что свидетельствует о незначительном стрессовом состоянии. Существенное снижение этого показателя наблюдалось только у *L. delavayanum*.

Таблица 4

Изменение параметров ИФХ у вечнозелёных видов семейства Oleaceae Hoffmanns. & Link при развитии водного дефицита в листьях

Table 4

Changes in (SIF) parameters in evergreen species of the Oleaceae Hoffmanns. & Link family during the development of water deficiency in leaves

Вид / Species	Контроль / Control			$t\ 22^{\circ}\text{C}$ / Rh 60%			Восстановление / Recovery		
	F_v	F_v/F_m	F_m/F_0	F_v	F_v/F_m	F_m/F_0	F_v	F_v/F_m	F_m/F_0
<i>L. compactum</i>	896	0,79	4,73	736	0,75	4,07	608	0,74	3,92
<i>L. delavayanum</i>	880	0,75	4,06	592	0,71	2,97	464	0,72	3,08
<i>L. lucidum</i>	992	0,78	4,64	832	0,77	4,47	864	0,76	4,17
<i>L. ovalifolium</i>	864	0,72	3,7	768	0,75	4,0	784	0,74	3,3

Необходимо отметить, что увядание листьев вечнозелёных видов семейства Oleaceae Hoffmanns. & Link в относительно мягких условиях вызвало нарушения в процессах восстановления пластохинонов в реакционных центрах ФС II (рис. 2).

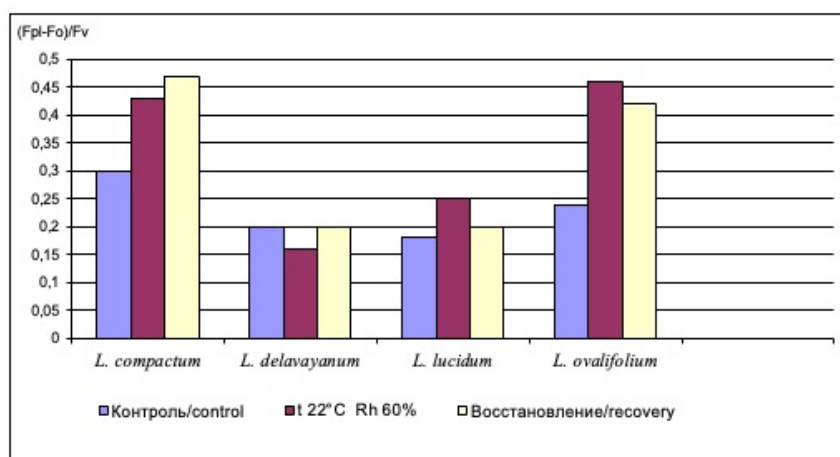


Рис. 2 Изменение количества невосстановленных Q_a в реакционных центрах ФС II при увядании листьев вечнозелёных видов семейства Oleaceae в контролируемых условиях

Fig. 2 Changes in the amount of unreduced Q_a in the reaction centers of PS II during wilting of leaves of evergreen species of the Oleaceae family under controlled conditions

Однако, эти изменения носили обратимый характер. О глубоком стрессовом состоянии у *L. compactum* и *L. ovalifolium*, сохраняющемся даже после восстановления водообеспеченности, свидетельствует высокий уровень невосстановленных Q_a в

реакционных центрах ФС II. Большое количество невосстановленных Q_a является показателем нарушения процесса первичного разделения зарядов, что в дальнейшем негативно сказывается на функционировании электрон-транспортной цепи ФС II (Лысенко, Вардуни, 2013).

Изменения в работе фотосинтетического аппарата у вечнозелёных видов семейства Oleaceae, вызванные действием условий, близких к суховейным ($t\ 35^\circ\text{C}$ / Rh 25% и $t\ 40^\circ\text{C}$ / Rh 25%) носили выраженный видоспецифичный характер (рис. 3).

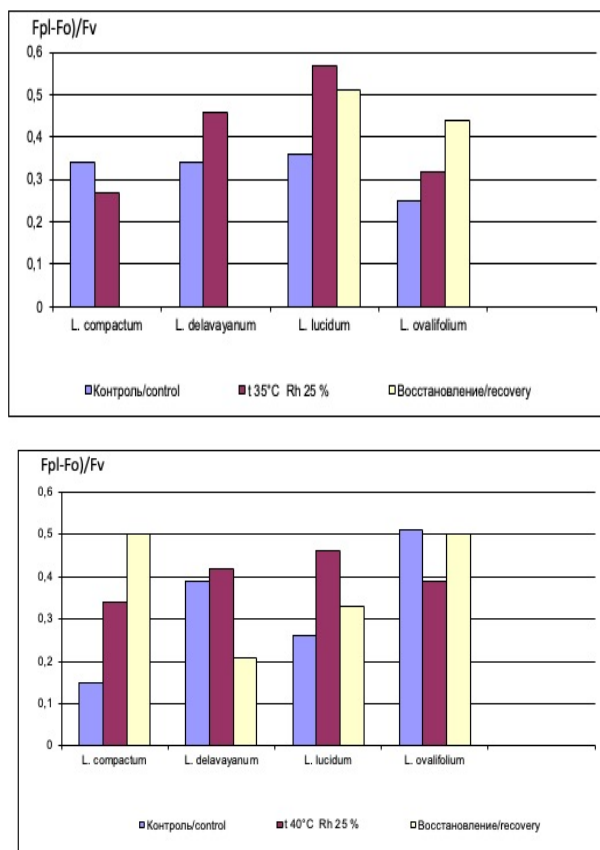


Рис. 3 Изменение количества невосстановленных Q_a в реакционных центрах ФС II при увядании листьев вечнозелёных видов семейства Oleaceae в условиях, близких к суховейным
Fig. 3 Changes in the amount of unreduced Q_a in the reaction centers of PS II during wilting of leaves of evergreen species of the family Oleaceae under conditions similar to dry wind

В частности, нарушения в процессах реокисления пластохинонов у *L. compactum* были необратимыми и привели к полной инактивации ФС II. У *L. ovalifolium*, в отличие от других видов, при увядании в условиях высокой температуры и низкой влажности воздуха наблюдалось снижение количества невосстановленных Q_a в реакционных центрах ФС II, которое в дальнейшем восстановилось до контрольных значений.

При имитации условий, близких к суховейным, было выявлено, что высокая температура и низкая влажность воздуха стали причиной увеличения времени достижения F_m и F_{st} у видов сем. Oleaceae (исключение – *L. lucidum*), в среднем на 15-20 единиц условного времени, что свидетельствует о замедлении транспорта электронов от реакционного центра к пластохинонам и нарушении равновесия между фотохимическими и ферментативными реакциями.

Выводы

Установлено, что в условиях воздействия экстремальных засушливых факторов листья изучаемых генотипов проявляют существенную вариабельность параметров водного режима, наиболее нестабильными показателями отличаются *L. delavayanum* и *L. ovalifolium*. Виды *L. compactum* и *L. ovalifolium* в условиях, имитирующих суховея, показали наименьшую стойкость к водному стрессу. Очевидно, период наступления засухи (июль-август) будет являться для них критическим. Ткани листьев *L. delavayanum* в июне-июле демонстрировали слабую способность удерживать влагу и низкий уровень восстановления тургора. В августе, на фоне усиления воздействия засушливых факторов, водоудерживающие силы значительно возрастали, что положительно влияло на репарационные процессы в тканях. Для *L. compactum* и *L. ovalifolium* критическим периодом являлась вторая половина летнего сезона (июль-август). Наилучшие признаки засухоустойчивости проявляет вид *L. lucidum*. Исследуемые виды, очевидно, являются потенциально устойчивыми к засушливым условиям летнего сезона на ЮБК. Предположительно, критическим периодом для проявивших нестабильность водного режима генотипов *L. delavayanum* может являться начало лета (май), *L. compactum* – вторая половина летнего сезона (июль-август).

Выявлено, что, несмотря на низкий уровень водоудерживающих сил, у *L. compactum* и *L. delavayanum* при развитии водного дефицита в пределах 25-27% изменения параметров ИФХ носили обратимый характер. В условиях имитации суховея, в тканях листьев наблюдалось нарушение равновесия между фотохимическими и ферментативными реакциями, а также замедление транспорта электронов от реакционного центра ФС II к пластохинонам. Функциональным звеном ФС II с высокой чувствительностью к развитию водного дефицита оказался параметр, характеризующий процессы первичного разделения зарядов в электрон-транспортной цепи (окисления/восстановления пластохинонов). Установлено, что одной из характеристик высокого уровня стресса у вечнозеленых видов рода *Ligustrum*, и, соответственно, низкой устойчивости к действию суховея является увеличение времени достижения максимальной флуоресценции.

В целом, полученные результаты позволяют сделать обоснованное предположение, что в случае дальнейшего возрастания вероятности наступления суховея, в следствие климатических изменений, высокую устойчивость сохранит вид *L. lucidum*. Листовой аппарат видов *L. compactum* и *L. ovalifolium*, засухоустойчивость которых снижается в середине летнего сезона, может быть значительно поврежден, что приведет к утрате декоративности.

Литература / References

Беляева Ю.В. Результаты исследования водоудерживающей способности листовых пластинок *Betula pendula* Roth, произрастающей в условиях антропогенного воздействия (на примере г. о. Тольятти) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 5 (5). С. 1654-1659.

[Belyaeva Yu.V. Results of a study of the water-holding capacity of leaf blades of *Betula pendula* Roth, growing under conditions of anthropogenic influence (using the example of the city of Togliatti) // News of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2014. Vol. 16. No. 5 (5). P. 1654-1659].

Гончарова Э.А. Водный статус культурных растений и его диагностика / Под ред. акад. В.А. Драгавцева. СПб.: ВИР, 2005. 112 с.

[Goncharova E.A. Water status of cultivated plants and its diagnostics / Ed. acad. V.A. Dragavtseva. St. Petersburg: VIR, 2005. 112 p.].

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. Т. 63. № 6. С. 881-912.

[Gol'tsev V.N., Kalaji X.M., Paunov M., Baba V., Horacek T., Mojski Ya., Kocel X., Allahverdiyev S.I. Use of variable chlorophyll fluorescence to assess physiological state of the photosynthetic apparatus of plants. *Plant Physiology*. 2016. 63. No. 6. P. 881-912.]

Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха – Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МДЦ», 2012. 194 с.

[Gruza G.V., Rankova E.Ya. Observed and expected climate changes in Russia: air temperature. Obninsk: FSBI "VNIIGMI-MDC", 2012. 194 p.].

Кушниренко М.Д., Курчатова Г.П., Крюкова Е.В. Методы оценки засухоустойчивости плодовых растений. Кишинёв: Штиинца, 1976. 21 с.

[Kushnirenko M.D., Kurchatova G.P., Kryukova E.V. Methods for assessing the drought tolerance of fruit plants. *Shtiintsa*, 1976. 21 p.].

Корсакова С.П. Оценка будущих изменений климата на Южном берегу Крыма // Экосистемы. 2018. Вып. 15(45). С. 151-165.

[Korsakova S.P. Assessment of future climate changes on the Southern Coast of Crimea // *Ecosystems*. 2018. Issue. 15(45). P. 151-165].

Корсакова С.П., Корсаков П.Б. Изменение климатических норм на Южном берегу Крыма за последние 90 лет // Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2023. Вып. 2 (167). С. 84–95. DOI: 10.25684/2712-7788-2023-2-167-84-95

[Korsakova S.P., Korsakov P.B. Changes in climate norms on the Southern coast of Crimea over the past 90 years. *Plant Biology and Horticulture: theory, innovation*. 2023. 2(167):84–95].

Лысенко В.С., Вардуни Т.В., Соьер В.Г., Краснов В.П. Флуоресценция хлорофилла растений как показатель экологического стресса: теоретические основы применения метода // Фундаментальные исследования. 2013 №4 (1) С. 112-120). DOI: 10.31360/2225-3068-2018-67-142-152

[Lysenko V.S., Varduni T.V., Soier V.G., Krasnov V.P. Plant chlorophyll fluorescence as an environmental stress characteristic: a theoretical basis of the method application // *The fundamental researches*. 2013. 4(1):112-120].

Некрасов Е.И., Ионова Е.В. Водоудерживающая способность сортов озимой мягкой пшеницы при различных условиях выращивания // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 3(23). С. 122-130.

[Nekrasov E.I., Ionova E.V. Water-holding capacity of winter soft wheat varieties under different growing conditions // *Tauride Bulletin of Agrarian Science*. 2020. 3(23):122-130.].

Физиологические и биофизические методы в селекции плодовых культур. Методические рекомендации / [отв. ред. А.И. Лишчук]. М., 1991. 67 с.

[Physiological and biophysical methods in fruit crops breeding. *Guidelines*. / Lishchuk A.I. (eds). / М., 1991. 67 p.]

Pereira W.E., de Siqueira D.L., Martínez C.A., Puiatti M. Gas exchange and chlorophyll fluorescence in four citrus rootstocks under aluminium stress. // *J. Plant Physiol*. 2000. Vol. 157. P. 513-520.

Romanov V.A., Galelyuka I.B., Sarakhan Ie.V. Portable fluorometer Floratest and specifics of its application // *Sensor Electronics and Microsystem Technol*. 2010. Vol. 1 (7). № 3. P. 39-44. 19(2286). P. 2-23. DOI:10.3390/ijms19102866.

Schreiber U., Bilger W., Neubauer C. Chlorophyll fluorescence as a non-intrusive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. – In: *Ecophysiology of photosynthesis*. (Ecological Studies, vol 100). Berlin, Heidelberg, New York, 1994. P. 49-70.

Strasser R.J., Tsimilli-Michael M., Qiang S., Goltsev V. Simultaneous in vivo recording of prompt and delayed fluorescence and 820-nm reflection changes during drying and after rehydration of the resurrection plant *Haberlea rhodopensis*. // Biochim. Biophys. Acta. 2010. Vol. 1797. P. 1313-1326.

Ryan G. Transpiration and whole-tree conductance in ponderosa pine trees of different heights // Oecologia. 2000. Vol. 124. N 4. P. 553–560.

Статья поступила в редакцию 28.07.2024 г.

Plugatar Yu.V., Pilkevich R.A., Gerasimchuk V.N., Gubanova T.B. Water regime and photosynthetic apparatus functioning in some evergreen *Ligustrum* L. species under the hydrothermal stress // Plant Biology and Horticulture: theory, innovation. 2024. № 3(172) P. 43-52

The results of the studies in the real water deficit dynamics and leaf relative water content (RWC) in some evergreen *Ligustrum* L. species during the summer 2023 and 2024, as well as changes in water-holding forces and parameters of solar-induced chlorophyll fluorescence (SIF) under various combinations of air temperature and humidity have been presented.

It has been shown that under hydrothermal stress increase, the species *L. delavayanum* Har. and *L. ovalifolium* Hassk. were characterized by especially unstable water regime indicators. For the species *L. compactum* (Wall. ex G. Don) Hook.f. & Thomson ex Brandis and *L. ovalifeolium*, under conditions simulating dry winds, the least resistance to water stress has been revealed.

It has been found out that the dry wind imitation caused balance disruption between photochemical and enzymatic reactions and a slowdown in electron transport from the reaction center of PS II to plastoquinone in *Ligustrum* species. The functional link of PS II with high sensitivity to the water deficiency increase was a parameter characterizing the processes of primary charge separation in the electron-transport chain (oxidation/reduction of plastoquinones).

Keywords: *Ligustrum* L.; drought resistance; photosynthesis. water-holding forces