

СИСТЕМА СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕНОВОДСТВА

PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1058

EDN: WTGVZM

УДК 633.852.73:536.485



Научная статья

ОЦЕНКА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА МАСЛИНЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР

С.Ю. Цюпка, В.А. Цюпка, И.В. Булавин

Аннотация

Обоснование. Маслина европейская (*O. europaea* L.) – популярная плодовая культура, которая по занимаемой площади является второй плодовой культурой в мире и уступает только кофе. Основным лимитирующим фактором выращивания маслины в регионах, расположенных на северной границе субтропической зоны, а также в умеренном климате является их низкая морозостойкость. В связи с этим, целью настоящего исследования было оценить степень влияния отрицательных температур на функциональное состояние листьев разных генотипов *O. europaea*.

Материалы и методы. Исследования функционирования пигментного аппарата, стабильности хлорофилл-белкового комплекса и повреждения мембран в условиях отрицательных температур проводили на листьях следующих сортов маслины европейской: ‘Aglandau’, ‘Coreggiolo’, ‘Obilnaya’, ‘Tiflis’, ‘Dalmatica’, ‘Nikitskaya 2’, ‘Ascolano’, ‘Tossijskaya’, ‘Leccino’, ‘Razzo’. Эксперименты проведены в нативных условиях (контроль), а также после воздействия низких температур: -7°C , -10°C , -12°C и -14°C сразу и через 24 часа.

Результаты и заключение. Воздействие отрицательных температур вызывало различный отклик как в проявлении визуальных повреждений на листьях, так и в изменении их физиологических параметров. При низком градиенте температурного воздействия ($-7... - 10^{\circ}\text{C}$) повреждены ткани листьев

сортов европейской селекции ‘Coreggiolo’, ‘Ascolano’, ‘Leccino’ и ‘Razzo’: электропроводность достигала 15%, снижен индекс стабильности хлорофилла, снижены коэффициенты переменной флуоресценции, фотосинтетической активности; неконтролируемое тушение фотонов было значительно выше эффективного фотохимического квантового выхода и нефотохимического тушения. Сорты крымской и кавказкой селекции отличаются повышенной морозостойкостью. Сорты ‘Nikitskaya 2’, ‘Tossijskaya’ и ‘Tiflis’ демонстрируют целостность мембран клеток листьев, стабильность содержания фотосинтетических пигментов и сохранение работы фотосистем на различных уровнях их организации при температуре -14°C .

Ключевые слова: сорт; морозостойкость; фотосинтетическая активность; *Olea europaea* L.

Для цитирования: Цюпка, С. Ю., Цюпка, В. А., & Булавин, И. В. (2025). Оценка функционирования фотосинтетического аппарата маслины европейской при воздействии отрицательных температур. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(1), 182-204. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1058>

Original article

ASSESSMENT OF THE FUNCTIONING OF THE PHOTOSYNTHETIC APPARATUS OF *OLEA EUROPAEA* L. UNDER FREEZING TEMPERATURES

S. Yu. Tsiupka, V.A. Tsiupka, I.V. Bulavin

Abstract

Background. Olive (*O. europaea*) is a popular fruit crop, and is the second in the world by area after coffee. The main limiting factor for olive cultivation in regions located on the northern border of the subtropical zone, as well as in temperate climates, is their low frost resistance. So, the aim of the present study was to evaluate the degree of influence of low negative temperatures on the functional state of leaves of different *O. europaea* genotypes.

Materials and methods. The functioning of pigment apparatus, stability of chlorophyll-protein complex and membrane damage under freezing temperatures were evaluated on leaves of the following cultivars of olive: ‘Aglandau’, ‘Coreggiolo’, ‘Obilnaya’, ‘Tiflis’, ‘Dalmatica’, ‘Nikitskaya 2’, ‘Ascolano’, ‘Tossijskaya’, ‘Leccino’, ‘Razzo’. The studies were carried out under native conditions (control) and after

exposure to low temperatures (immediately and after 24 hours of the stress factor influence). Four temperature effects were analyzed: -7°C , -10°C , -12°C and -14°C .

Results and conclusion. Exposure to sub-zero temperatures induced a different response both in the manifestation of visual lesions on leaves and in changes in their physiological parameters. At a low gradient of temperature exposure ($-7\text{...} - 10^{\circ}\text{C}$), leaf tissues of the European selection varieties ‘Coreggiolo’, ‘Ascolano’, ‘Leccino’ and ‘Razzo’ were damaged: electrical conductivity reached 15%, chlorophyll stability index decreased, variable fluorescence and photosynthetic activity coefficients decreased, uncontrolled photon quenching was significantly higher than the effective photochemical quantum yield and non-photochemical quenching. Cultivars of Crimean and Caucasian breeding are characterised by increased frost resistance. Cultivars ‘Nikitskaya 2’, ‘Tosijskaya’ and ‘Tiflis’ demonstrate integrity of leaf cell membranes, preservation of stability of photosynthetic pigments content and work of photosystems at different levels of their organization at -14°C .

Keywords: olive; cultivar; frost resistance; photosynthetic activity

For citation. Tsiupka, S. Y., Tsiupka, V. A., & Bulavin, I. V. (2025). Assessment of the functioning of the photosynthetic apparatus of *Olea europaea* L. under freezing temperatures. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(1), 182–204. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1058>

Введение

Маслину европейскую выращивают во многих странах мира с подходящим климатом как важный продукт питания [21]. Сильным ограничивающим фактором при ее культивировании является воздействие низких отрицательных температур зимой и ранней весной [11]. Согласно данным литературы, первые травмирующие эффекты возникают при -7°C ; снижение температуры окружающей среды до -10°C провоцирует различной степени повреждения надземной части оливкового дерева, что наносит существенный экономический ущерб для производителей [13; 14; 18; 22; 48].

В последние десятилетия спрос на оливковое масло увеличился, и, в результате, выращивание оливкового дерева распространилось за пределы традиционных районов [19; 22]. Ареал *O. europaea* в северном полушарии постепенно смещается на север как возможная реакция на потепление климата [20; 23; 38]. Тем не менее, маслину выращивают при положительных температурах в связи с низкой устойчивостью к морозу [16].

В условиях постоянного роста стрессовой нагрузки на садовые агроэкосистемы ведущая роль в создании новых интегрированных систем производства плодов принадлежит селекции. При этом успешное решение

задач, стоящих перед селекционерами, неразрывно связано с оптимизацией и использованием в практической работе наиболее эффективных методов оценки генетического потенциала исходных форм и гибридного материала по признакам устойчивости к разным абиотическим факторам. Решение этих актуальных проблем позволит повысить производительность селекционного процесса и создать новое поколение высокоадаптивных сортов с повышенным потенциалом продуктивности [8].

В отношении *O. europaea* селекция по признаку низкотемпературной устойчивости проводится практически во всех регионах ее культивирования и ее сорта могут отличаться разной степенью выживаемости отдельных органов и тканей [13]. Известно, что листья более чувствительны к морозам, чем побеги, что может быть связано с более тонкими клеточными стенками [22; 35].

Информация о морозостойкости различных сортов маслины основана главным образом на полевых наблюдениях после повреждения растений морозом. Кроме того, используется несколько методов оценки генотипов по устойчивости к данному фактору: по плотности устьиц [40], фотосинтетической активности листьев [10; 27], размеру устьиц [41], высвобождению фенольных соединений [39], по результатам дифференциально-термического анализа [33] и утечке ионов [29]. В связи с чем отбор морозоустойчивых сортов и понимание протекающих адаптационных механизмов в них может расширить возможности культивирования маслины в промышленных масштабах в нашей стране, учитывая сходство климата южных регионов России с климатом регионов возделывания данной культуры.

Цель исследования – оценить степень влияния отрицательных температур на функциональное состояние листьев разных генотипов *O. europaea*.

Материалы и методы исследования

Для исследования использовали облиственные побеги многолетних растений маслины европейской ('Aglandau', 'Coreggiolo', 'Obilnaya', 'Tiflis', 'Dalmatica', 'Nikitskaya 2', 'Ascolano', 'Tossijskaya', 'Leccino', 'Razzo'), произрастающие на коллекционном участке Никитского ботанического сада – Национального научного центра (НБС-ННЦ, г. Ялта) в одинаковых климатических, почвенных и агротехнических условиях.

Условия низкотемпературного воздействия (-7°C , -10°C , -12°C и -14°C) моделировали в климатической тест-камере ТТС 256 Memmert (Mempert, Германия) согласно «Методике определения зимостойкости и морозостойкости плодовых и ягодных культур» [5]. В качестве контроля выступали сорта, произрастающие на коллекционном участке.

Содержание влаги в листьях определяли весовым методом с использованием прецизионных весов Pioneer PA4102 (Ohaus, Китай) [17, 44]. Для определения сухой массы образцы листьев сушили в шкафу PE-4610 (Экромим, Россия) при температуре 105°C.

Количественное определение пигментов проводили согласно методике, описанной В.В. Zhang et al. [49]. Листья навеской 2 г гомогенизировали и экстрагировали в 10 мл 95% этанола при 25°C в течение 12 часов. Содержание хлорофилла а и b в надосадочной жидкости определяли количественно с помощью спектрофотометра КФК-3КМ (Техноком, Россия) при длинах волн 665 нм и 649 нм. Содержание пигментов рассчитывали по следующим формулам:

$$\text{Chl a} = 13,95 A_{665} - 6,88 A_{649} \quad (1)$$

$$\text{Chl b} = 24,96 A_{649} - 7,32 A_{665} \quad (2)$$

$$\text{Chl a} + \text{b} = \text{Chl a} + \text{Chl b} \quad (3),$$

где Chl a и Chl b – концентрация хлорофилла а и b (мг/л), A665 и A649 – оптическая плотность вытяжки на максимумах поглощения 665 и 649 нм. Содержание Chl a и Chl b в дальнейшем пересчитывали в мг на г сухого вещества.

Холостой контроль представлял собой 95% (по объему) раствор этанола [32]. Индекс стабильности хлорофилла (CSI) рассчитывали по формуле:

$$\text{CSI} = (\text{Chl stress}/\text{Chl control}) \times 100 \quad (4)$$

где Chl stress – содержание хлорофилла после воздействия стресс-фактора, Chl control – содержание хлорофилла в контроле (в нормальных условиях).

Измерения флуоресценции хлорофилла проводили на переносном импульсном флуориметре MINI-PAM II, (HeinzWalz, Германия). Листья перед измерениями показателями флуоресценции адаптировали к темноте в течение 30 мин [9, 15]. В ходе экспериментов регистрировали следующие показатели: F_0 – нулевой, фоновый уровень флуоресценции; F_m – максимальная флуоресценция, F_s – стационарный уровень флуоресценции, свидетельствующий об установлении стабильного и наиболее интенсивного уровня фотосинтеза; F_0' и F_m' – минимальный и максимальный уровни флуоресценции на свету. В работе использованы следующие расчетные коэффициенты: переменная флуоресценция $F_v = F_m - F_0$ (5), максимальный фотохимический квантовый выход Фотосистемы II (ФС II) $\frac{F_v}{F_m}$ (6), фотосинтетическая активность $PA = \frac{F_m - F_s}{F_m}$ (7), а также коэффициент спада флуоресценции – $Rfd = \frac{F_m - F_s}{F_s}$ (8). Эффективный фотохимический квантовый выход ФС II рассчитывали по формуле: $Y(II) = \frac{F_m' - F_s}{F_m'}$ (9). Квантовый выход регулируемой нефотохимической диссипации световой энергии в ФС II рассчитывали по формуле: $Y(NPQ) = \frac{F_s}{F_m'} - \frac{F_s}{F_m}$ (10), а квантовый вы-

ход нерегулируемой нефотохимической диссипации световой энергии в ФС II - $Y(NO) = \frac{F_s}{F_m}$ (11) [28; 42; 43; 46].

Для оценки степени повреждения клеточных мембран листьев отрицательными температурами рассчитывали относительный выход электролита при повреждении клеточной мембраны. Образцы листьев после каждого температурного воздействия помещали в 5 мл дистиллированной воды на 24 ч при комнатной температуре, а затем вакуумировали в течение 30 мин. Электропроводность (EC_1) измеряли с помощью кондуктометра Starter 300c (Ohaus, США). Затем образцы автоклавируют при 120°C в течение 2 часов, охлаждали до комнатной температуры, помещали в темноту на 24 часа (25°C), повторно вакуумировали в течение 30 мин, а затем измеряли утечку ионов (EC_2) с помощью кондуктометра. Относительный выход электролита (EL) рассчитывали для каждого образца согласно формуле: $EL(\%) = \left(\frac{EC_1}{EC_2}\right) \times 100$ (12) [36].

Исследования проводили в 2022-2024 гг. в трех биологических и трех аналитических повторностях. Данные обрабатывали статистически с применением пакета прикладных программ Microsoft Office Excel 2019 и Past v. 4.03.

Результаты и обсуждения

Для исследованных сортов *O. europaea* воздействие отрицательных температур проявлялось как визуально на листьях, так и в изменении их физиологических показателей. Повреждения носили характер некротических пятен, потемнения жилки листа, а также полного усыхания листовых пластинок. При воздействии температуры -7°C относительный выход электролитов незначительно увеличилась у сортов 'Coreggiolo' и 'Obilnaya'; при -10°C у 'Coreggiolo', 'Обильная', 'Dalmatica', 'Ascolano', 'Leccino' и 'Razzo' (Рис. 1). Увеличение EL до уровня 20-40% зафиксировано при температуре -12°C у сортов 'Coreggiolo', 'Obilnaya', 'Ascolano', 'Leccino'. Существенное изменение выхода ионов кальция в цитоплазму из клеточных стенок и внутриклеточных компартментов отмечено у всех генотипов при воздействии -14°C : более 70% EL составила у сортов 'Coreggiolo', 'Leccino' и 'Razzo', от 52 до 65% у сортов 'Aglandau', 'Dalmatica', 'Obilnaya', 'Tiflis' и 'Ascolano'. Менее всего были повреждены мембраны клеток в тканях листьев сортов 'Nikitskaya 2' и 'Tossijskaya', у которых EL находился в пределах 29-37%. Это согласуется с данными литературы [24-26], указывающими, что уровень начальной повреждающей температуры для представителей семейства Oleaceae на Южном берегу Крыма составляет -8°C , а значения критических температур находятся в пределах $-12^\circ\text{C} \dots -16^\circ\text{C}$.

Оценка фотосинтетических функций и структур – неотъемлемая часть изучения продуктивности селекционного материала. По мнению И.Н. Щениковой с соавторами [7], по содержанию хлорофилла можно судить о степени развития фотосинтетического аппарата и физиологического состояния растений, об ассимиляционной деятельности и вкладе ассимилирующих органов растения в формирование урожая, о потенциальной возможности растения формировать и накапливать урожай. Как отмечает М.И. Иванова содержание фотосинтетических пигментов является одним из важнейших биохимических показателей реакции растений на стрессовые факторы внешней среды, поэтому определение их количества помогает оценить физиологическое состояние растений [3].

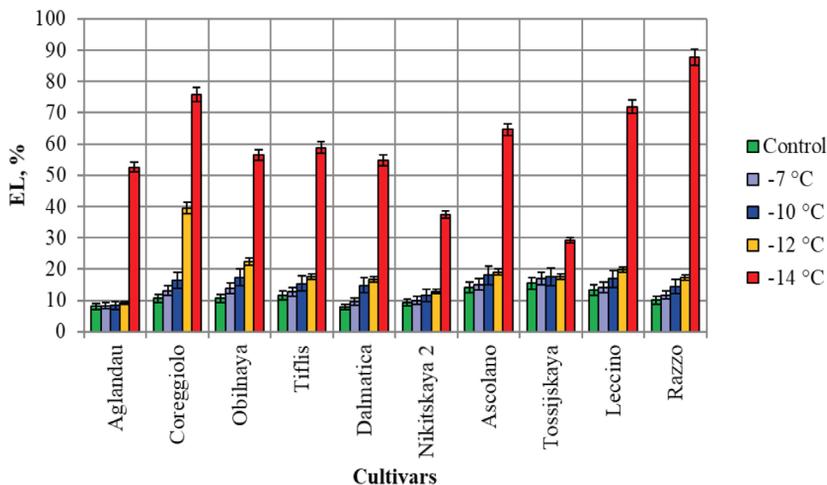


Рис. 1. Изменение скорости утечки электролита при различных режимах низкотемпературного воздействия

Наши исследования демонстрируют снижение индекса стабильности хлорофилла сортоспецифично при воздействии используемых отрицательных температур (Таблица 1). Так, существенные изменения в количестве хлорофилла у сортов европейской селекции ('Coreggiolo', 'Leccino', 'Ascolano') наступает при температуре $-10...-12^{\circ}\text{C}$, в то время, как сорта крымской и кавказской селекции демонстрируют меньшую степень деградации хлорофилла даже при -14°C . Снижение соотношения хлорофилла a/b говорит об более выраженной редукции хлорофилла a.

Таблица 1.

**Содержание пигментов в листьях маслины европейской
при воздействии отрицательных температур**

Название генотипа	Т °С	Содержание хлорофилла, (мг/г)			Индекс стабильности, %		
		<i>Chl.a</i>	<i>Chl.b</i>	<i>Chl.a+b</i>	<i>Chl.a</i>	<i>Chl.b</i>	<i>Chl.a+b</i>
Aglandau	контроль	1,06	0,41	1,47	-	-	-
	-7	1,06	0,40	1,46	100,0	97,6	99,3
	-10	1,02	0,40	1,42	96,2	97,6	96,6
	-12	1,01	0,40	1,41	95,3	97,6	95,9
	-14	0,79	0,21	1,00	74,5	51,2	68,0
Coreggiolo	контроль	0,76	0,25	1,01	-	-	-
	-7	0,74	0,25	0,99	97,4	100,0	98,0
	-10	0,61	0,24	0,85	80,2	96,0	84,2
	-12	0,60	0,21	0,81	78,9	84,0	87,2
	-14	0,39	0,14	0,53	51,3	56,0	52,5
Obilnaya	контроль	0,96	0,43	1,40	-	-	-
	-7	0,96	0,43	1,40	100,0	100,0	100,0
	-10	0,92	0,42	1,34	95,8	97,7	95,7
	-12	0,84	0,40	1,24	87,5	93,0	88,6
	-14	0,51	0,23	0,74	53,1	53,5	52,9
Tiflis	контроль	0,95	0,44	1,39	-	-	-
	-7	0,94	0,43	1,37	98,9	97,7	98,6
	-10	0,94	0,40	1,34	98,9	90,9	96,4
	-12	0,92	0,40	1,32	96,8	90,9	95,0
	-14	0,84	0,35	1,19	88,4	79,5	85,6
Dalmatica	контроль	0,94	0,44	1,38	-	-	-
	-7	0,91	0,42	1,33	96,8	95,5	96,4
	-10	0,88	0,32	1,20	93,6	72,7	87,0
	-12	0,86	0,30	1,16	91,5	68,2	84,1
	-14	0,53	0,24	0,77	56,4	54,5	55,8
Nikitskaya 2	контроль	0,88	0,36	1,24	-	-	-
	-7	0,88	0,35	1,23	100,0	97,2	99,2
	-10	0,85	0,32	1,18	96,6	88,9	95,2
	-12	0,85	0,32	1,18	96,6	88,9	95,2
	-14	0,69	0,27	0,96	78,4	75,0	77,4
Ascolano	контроль	0,85	0,37	1,22	-	-	-
	-7	0,83	0,36	1,19	97,6	97,3	97,5
	-10	0,76	0,31	1,07	89,4	83,8	87,7
	-12	0,74	0,30	1,04	87,1	81,1	85,2
	-14	0,45	0,20	0,65	52,9	54,1	53,3

Tossijskaya	контроль	0,76	0,29	1,04	-	-	-
	-7	0,72	0,28	1,00	94,7	96,6	96,2
	-10	0,69	0,28	0,97	90,8	96,6	93,3
	-12	0,66	0,24	0,90	86,8	82,8	86,5
	-14	0,59	0,21	0,80	77,6	72,4	76,9
Leccino	контроль	0,95	0,38	1,33	-	-	-
	-7	0,92	0,37	1,29	96,8	97,4	97,0
	-10	0,74	0,23	0,98	77,9	60,5	73,7
	-12	0,71	0,20	0,91	74,7	52,6	68,4
	-14	0,56	0,18	0,74	58,9	47,4	55,6
Razzo	контроль	1,16	0,43	1,60	-	-	-
	-7	1,04	0,42	1,46	89,7	97,7	91,3
	-10	0,94	0,31	1,25	81,0	72,1	78,1
	-12	0,72	0,26	0,98	62,1	60,5	61,3
	-14	0,49	0,18	0,67	42,2	41,9	41,9

Данный метод анализа позволил выделить генотипы с наиболее стабильным содержанием фотосинтетических пигментов при влиянии отрицательных температур: ‘Tiflis’, ‘Nikitskaya 2’ и ‘Tossijskaya’; их индекс стабильности суммы хлорофиллов а и b при -14°C был не ниже 75%. Фотосистема II и эффективность фотосинтеза очень чувствительны к таким внешним факторам, как экстремальные температуры, избыточная или недостаточная освещенность и др. [4; 6; 34; 47]. При этом молекулы хлорофилла светособирающего комплекса выступают в роли биосенсора, чувствительного к угнетающим растение воздействиям.

Параметры кинетики флуоресценции отражают функциональное состояние отдельных компонентов ассимиляционного процесса. Исследования фотосинтетической активности листьев при различных режимах низкотемпературного воздействия показали, что вариабельная флуоресценция F_v различается в контрольной точке между сортами, а также при действии стресса (Рисунок 2). Сразу после промораживания разной интенсивности F_v понижена у всех сортов по сравнению с контролем, за исключением образцов ‘Tossijskaya’, ‘Nikitskaya 2’ и ‘Tiflis’ (Рисунок 2а). Для данных сортов температуры уровня $-10...-14^{\circ}\text{C}$ также не оказали деструктивных влияний для анализируемых структур фотосистемы (акцепторов и доноров электронного транспорта в ФС II: P680, феофитина, Q_A пластохинона, связанного с D2 белком на участке Q_A).

Несмотря на данные по снижению F_v при -7°C сразу после промораживания, через 24 часа после воздействия низкотемпературного стресса

у всех сортов вариабельная флуоресценция выше контроля (Рисунок 2b), что демонстрирует восстановление элементов фотосистемы. Исключение составили сорта 'Coreggiolo', 'Leccino', 'Obilnaya', у которых F_v снижена более чем на 50% по сравнению с контролем, что может быть связано с нарушением структур тилакоидов.

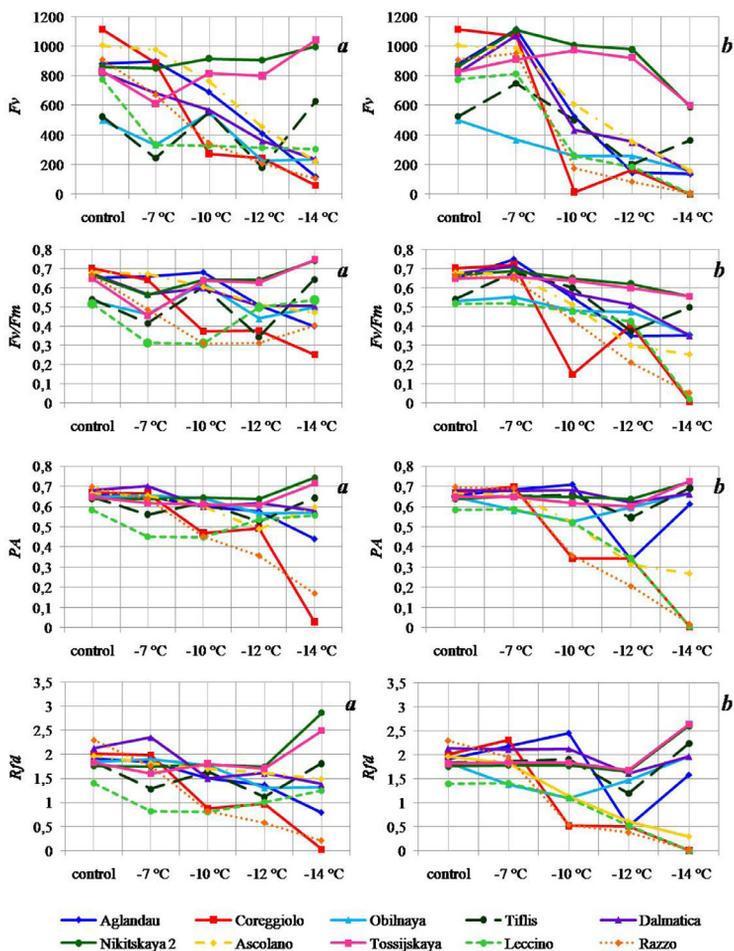


Рис. 2. Изменение параметров индукции флуоресценции хлорофилла листьев некоторых сортов *O. europaea* при воздействии отрицательных температур: а – оценка воздействия низких температур непосредственно после промораживания, б – оценка через 24 ч

При всех режимах промораживания и времени оценки повреждений (сразу и через 24 часа) сохраняется прежняя тенденция о минимальном снижении F_v у сортов 'Tossijskaya', 'Nikitskaya 2' и 'Tiflis'.

Наиболее часто при диагностике растений используется показатель максимального квантового выхода фотохимических реакций, рассчитанный в адаптированном к темноте состоянии как отношение переменной флуоресценции к максимальной F_v/F_m и характеризующий потенциальную эффективность Фотосистемы II [12]. Быстрая реакция отражает снижения данного параметра до уровня менее 0,50 отн.ед. при -7°C у сортов 'Obilnaya', 'Tiflis', 'Tossijskaya', 'Leccino', 'Razzo'. Однако, через 24 часа значения данного параметра восстанавливаются. Понижение параметра F_v/F_m означает, что перед измерением растение было подвержено влиянию стресса, который повлиял на фотосинтез, что привело к снижению эффективности переноса электронов [1]. При температуре -10°C и более наблюдаются необратимые повреждения у сортов 'Coreggiolo', 'Leccino', 'Razzo': $F_v/F_m < 0,40$ отн. ед. Наиболее стабилен показатель максимального квантового выхода фотохимических реакций у сортов 'Nikitskaya 2' и 'Tossijskaya', для которых сразу после промораживания при температуре -14°C не наблюдалось снижение данного параметра, и через 24 часа значения были в пределах нормы неповрежденных ассимилирующих тканей (составили 0,56 отн.ед.).

Фотосинтетическая активность (РА), варьируя в рамках 0,58-0,70 отн. ед. в контроле при стрессе от промораживания на температурах ниже -10°C снижалась до $<0,40$ отн.ед. у сортов 'Coreggiolo', 'Razzo'; при оценке через 24 часа – у 'Coreggiolo', 'Razzo', 'Leccino' и 'Ascolano'.

Анализ распределения выбранных генотипов по параметру индекса жизнеспособности (Rfd) также наблюдается после действия температур $-10...-14^\circ\text{C}$. Уровень Rfd можно рассматривать как меру потенциальной активности фотосинтеза [30], который, составляя 2,5 отн.ед. или выше, указывает на высокую активность фотосинтеза, в то время как значения ниже 1,0 отн.ед. показывают, что процесс ассимиляции CO_2 сильно подавлен [1, 31, 32, 37]. Наиболее активно при стрессе различной интенсивности фотосинтезируют листья сортов 'Tossijskaya', 'Tiflis', 'Nikitskaya 2', 'Dalmatica' и 'Aglandau' ($Rfd > 1.5$ отн.ед.); поврежденными обоснованно можно считать ассимилирующие ткани листьев сортов 'Coreggiolo', 'Razzo', 'Leccino' и 'Ascolano'.

Эффективный фотохимический квантовый выход $Y(II)$ отражает сходную тенденция по распределению сортов на поврежденные в следствии промораживания испытываемого градиента температур (Таблица 2).

Таблица 2.

Параметры квантового выхода флуоресценции листьев маслины европейской, определённые по критериям индукции флуоресценции хлорофилла после воздействия низкотемпературного стресса

Название генотипа	Т °С	Определенные сразу после стресса			Через 24 часа после испытания стресса		
		$Y(NPQ)$	$Y(NO)$	$Y(II)$	$Y(NPQ)$	$Y(NO)$	$Y(II)$
Aglandau	контроль	0,246	0,343	0,411	0,246	0,343	0,411
	-7	0,271	0,352	0,378	0,225	0,314	0,461
	-10	0,191	0,404	0,405	0,383	0,304	0,313
	-12	0,275	0,503	0,223	0,159	0,717	0,124
	-14	0,252	0,560	0,188	0,492	0,387	0,121
Coreggiolo	контроль	0,273	0,333	0,394	0,273	0,333	0,394
	-7	0,313	0,336	0,351	0,267	0,303	0,430
	-10	0,193	0,673	0,135	0,265	0,657	0,078
	-12	0,280	0,605	0,116	0,226	0,678	0,096
	-14	0,000	0,970	0,030	0,005	0,995	0,000
Obilnaya	контроль	0,289	0,393	0,318	0,289	0,393	0,318
	-7	0,361	0,380	0,259	0,146	0,451	0,403
	-10	0,260	0,362	0,378	0,383	0,480	0,137
	-12	0,236	0,442	0,323	0,270	0,422	0,308
	-14	0,315	0,404	0,281	0,571	0,327	0,102
Tiflis	контроль	0,245	0,361	0,394	0,245	0,361	0,394
	-7	0,272	0,439	0,289	0,150	0,353	0,497
	-10	0,235	0,390	0,375	0,359	0,349	0,292
	-12	0,266	0,473	0,261	0,279	0,455	0,267
	-14	0,307	0,356	0,337	0,519	0,309	0,172
Dalmatica	контроль	0,234	0,319	0,447	0,234	0,319	0,447
	-7	0,311	0,305	0,384	0,206	0,322	0,472
	-10	0,154	0,423	0,423	0,298	0,336	0,365
	-12	0,349	0,390	0,261	0,352	0,391	0,257
	-14	0,301	0,420	0,279	0,569	0,337	0,094
Nikitskaya 2	контроль	0,283	0,383	0,334	0,283	0,383	0,334
	-7	0,313	0,389	0,298	0,387	0,370	0,243
	-10	0,319	0,364	0,317	0,392	0,360	0,248
	-12	0,386	0,355	0,259	0,403	0,379	0,218
	-14	0,437	0,259	0,304	0,498	0,278	0,224
Ascolano	контроль	0,269	0,364	0,367	0,269	0,364	0,367
	-7	0,322	0,352	0,326	0,449	0,326	0,225
	-10	0,348	0,368	0,284	0,452	0,337	0,211
	-12	0,367	0,411	0,222	0,299	0,624	0,077
	-14	0,373	0,420	0,225	0,071	0,873	0,056

Tossijskaya	контроль	0,296	0,360	0,344	0,296	0,360	0,344
	-7	0,315	0,422	0,263	0,495	0,376	0,129
	-10	0,399	0,355	0,246	0,498	0,382	0,120
	-12	0,433	0,358	0,209	0,502	0,377	0,121
	-14	0,405	0,287	0,308	0,544	0,275	0,181
Leccino	контроль	0,282	0,433	0,284	0,282	0,433	0,284
	-7	0,244	0,557	0,198	0,542	0,287	0,171
	-10	0,256	0,548	0,196	0,372	0,486	0,142
	-12	0,376	0,487	0,137	0,244	0,650	0,106
	-14	0,427	0,445	0,128	0,007	0,993	0,000
Razzo	контроль	0,345	0,312	0,343	0,345	0,312	0,343
	-7	0,359	0,393	0,248	0,549	0,303	0,147
	-10	0,400	0,456	0,144	0,256	0,643	0,101
	-12	0,206	0,679	0,115	0,106	0,838	0,056
	-14	0,073	0,830	0,097	0,019	0,981	0,000

У группы сортов ‘Coreggiolo’, ‘Razzo’, ‘Leccino’ и ‘Ascolano’ неконтролируемое тушение фотонов $Y(NO)$ значительно выше $Y(II)$ и нефотохимического тушения $Y(NPQ)$. У сортов ‘Aglandau’, ‘Obilnaya’, ‘Tiflis’, ‘Dalmatica’, ‘Nikitskaya 2’, ‘Tossijskaya’ несмотря на снижение эффективности использования квантов, наблюдается их перераспределение в сторону контролируемого квантового выхода, что может быть связано с образованием тепловой энергии. Снижение коэффициентов $Y(II)$ и $Y(NPQ)$ не достигает критического уровня и позволяет восстановить листовому аппарату свои фотосинтетические функции после прекращения действия стресс-фактора.

Полученные данные согласуются с результатами других исследователей относительно частной оценки морозостойкости некоторых сортов маслины: по сорту итальянской селекции ‘Coreggiolo’ [24-26]; сорту селекции Никитского ботанического сада ‘Obilnaya’ [45]; сорту кавказской селекции ‘Tiflis’ [2].

Заключение

Комплексные исследования фотосинтезирующих тканей листьев изученных сортов маслины европейской показали, что сорта крымской и кавказской селекции отличаются повышенной морозостойкостью сравнительно с европейскими. Выявлено, что сублетальными температурами для генотипов европейской селекции (‘Coreggiolo’, ‘Razzo’, ‘Leccino’) являются $-7... -10^{\circ}\text{C}$, у которых отмечено существенное повышение уровня утечки электролита в результате разрыва клеточных мембран, снижение параметров ассимиляционной активности, а также визуальные поврежде-

ния в виде некрозов и хлорозов листовых пластин. Для сортов ‘Aglandau’, ‘Ascolano’ установлены повреждающие температуры -12°C и ниже. При этом у морозостойких генотипов ‘Nikitskaya 2’, ‘Tossijskaya’ и ‘Tiflis’ показано незначительное фотоингибирование и стабильность содержания фотосинтетических пигментов в условиях понижения температуры до -14°C , которые соответствуют витальной норме.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 24-26-00139 на базе Уникальной научной установки «ФИТОБИОГЕН» и ЦКП «Физиолого-биохимические методы исследования растительных объектов».

Список литературы

1. Гольцев, В. Н., Каладжи, Х. М., Паунов, М., Баба, В., Хорачек, Т., Мойски, Я., Коцел, Х., & Аллахвердиев, С. И. (2016). Использование переменной флуоресценции хлорофилла для оценки физиологического состояния фотосинтетического аппарата растений. *Физиология растений*, 63(6), 881–907. <https://doi.org/10.7868/S0015330316050055>
2. Доманская, Э. Н. (1964). *Изучение физиолого-биохимических показателей сравнительной морозостойкости сортов маслины*. (кандидатская диссертация). Ялта.
3. Иванова, М. И., Бухаров, А. Ф., & Кашлева, А. И. (2022). Корреляционный анализ признаков, характеризующих урожайность и качество продукции представителей рода *Allium* (подрод Сера). *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология*, 22(1), 64–73. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2022-22-1-64-73>
4. Нестеренко, Т. В., Тихомиров, А. А., & Шихов, В. Н. (2007). Индукция флуоресценции хлорофилла и оценка устойчивости растений к неблагоприятным воздействиям. *Журнал общей биологии*, 68(6), 444–458.
5. Нестеров, Я. С. (1972). *Методика определения зимостойкости и морозостойкости плодовых и ягодных культур*. Мичуринск.
6. Рубин, А. Б. (2000). Биофизические методы в экологическом мониторинге. *Соросовский образовательный журнал*, (4), 7–13.
7. Щенникова, И. Н., Лисицын, Е. М., & Кокина, Л. П. (2010). Изменение пигментного комплекса флаговых листьев ячменя под действием эдафического стресса. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*, (1), 24–28.

8. Юшков, А. Н. (2017). *Адаптивный потенциал и селекция плодовых растений на устойчивость к абиотическим стрессорам*. (докторская диссертация). Мичуринск: Мичуринский государственный аграрный университет.
9. Alekseev, A. A., Osipov, V. A., & Matorin, D. N. (2006). Method for determining the functional state of plants by chlorophyll fluorescence. Yakut State University, Yakutsk, 65 p.
10. Antognozzi, E., Pilli, M., Proietti, P., & Romani, F. (1990). Analysis of some factors affecting frost resistance in olive trees. *Paper presented at XXIII Int. Horticultural Congress*, Firenze, Italy, 4280 p.
11. Arias, N. S., Scholz, F. G., Goldstein, G., & Bucci, S. J. (2021). Low-temperature acclimation and legacy effects of summer water deficits in olive freezing resistance. *Tree Physiology*, 41(10), 1836–1847. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpab040>
12. Baker, N. R., & Oxborough, K. (2004). Chlorophyll fluorescence as a probe of photosynthetic productivity. In *Chlorophyll a Fluorescence: A Signature of Photosynthesis* (pp. 65–82). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3218-9_3
13. Bartolozzi, F., & Fontanazza, G. (1999). Assessment of frost tolerance in olive (*Olea europaea* L.). *Scientia Horticulturae*, 81, 309–319. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(99\)00019-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00019-9)
14. Bartolozzi, F., Rocchi, P., Camerini, F., & Fontanazza, G. (1999). Changes of biochemical parameters in olive (*Olea europaea* L.) leaves during an entire vegetative season, and their correlation with frost resistance. *Acta Horticulturae*, 474, 435–440. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1999.474.89>
15. Brajon, O. V., Korneev, D. Yu., Snegur, O. O., & Kitaev, O. I. (2000). Instrumental studies of the photosynthetic apparatus using the induction of chlorophyll fluorescence. Methodical instructions. Kyiv, Ukraine, 11 p.
16. D'Angeli, S., & Altamura, M. M. (2007). Osmotin induces cold protection in olive trees by affecting programmed cell death and cytoskeleton organization. *Planta*, 225, 1147–1163. <https://doi.org/10.1007/s00425-006-0426-6>
17. Deslauriers, A., Caron, L., & Rossi, S. (2015). Carbon allocation during defoliation: Testing a defense-growth trade-off in balsam fir. *Frontiers in Plant Science*, 6, 338. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00338>
18. Fontanazza, G. (1986). Renovation of olive groves damaged by frost: technical guidelines. *Giornale di Agricoltura*, 42, 45–47.
19. Food and Agriculture Organization (FAO) and Codex Alimentarius Commission. Available online: <http://www.fao.org/>. Accessed date: November 2023. <https://doi.org/10.4337/9781786438935.00011>

20. García-Mozo, H., Pérez-Badía, R., & Galán, C. (2008). Aerobiological and meteorological factors' influence on olive (*Olea europaea* L.) crop yield in Castilla-La Mancha (central Spain). *Aerobiologia*, 24, 13–18. <https://doi.org/10.1007/s10453-007-9075-x>
21. Ghamary, B., Rajabipour, A., Borghei, A. M., & Sadeghi, H. (2010). Some physical properties of olive. *Agricultural Engineering International*, 12, 104–110. <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/1381>
22. Gómez-del Campo, M., & Barranco, D. (2005). Field evaluation of frost tolerance in ten olive cultivars. *Plant Genetic Resources*, 3(3), 385–390. <https://doi.org/10.1079/PGR200592>
23. Gordeev, R. V., Pyzhev, A. I., & Zander, E. V. (2022). Does climate change influence Russian agriculture? Evidence from panel data analysis. *Sustainability*, 14, 718. <https://doi.org/10.3390/su14020718>
24. Gubanova, T. B. (2019a). Resistance of *Olea europaea* L. varieties and forms to unfavorable winter conditions on the southern coast of Crimea. *Pomiculture and Small Fruit Culture in Russia*, 57, 32–41. <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2019-57-32-41>
25. Gubanova, T. B. (2019b). The influence of negative temperatures on photosynthetic activity in some evergreen species of Oleaceae family. *Subtropical and Decorative Gardening*, 70, 158–167. <https://doi.org/10.31360/2225-3068-2019-70-158-167>
26. Gubanova, T. B., & Paliy, A. E. (2020). Physiological and biochemical aspects of frost resistance in *Olea europaea* L. *Russian Journal of Plant Physiology*, 67, 671–679. <https://doi.org/10.1134/S1021443720030103>
27. Ivashchenko, Y., Ivashchenko, I., & Tsiupka, S. (2021). Evaluation of olive cultivars with different photosynthetic activity of leaves. *Acta Horticulturae*, 1308, 99–104. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1308.16>
28. Kramer, D. M., Johnson, G., Kirats, O., & Edwards, G. E. (2004). New flux parameters for the determination of Qa redox state and excitation flux. *Photosynthesis Research*, 79, 209–218. <https://doi.org/10.1023/B:PRES.0000015391.99477.0d>
29. La Porta, N., Zacchini, M., Bartolini, S., Viti, R., & Roselli, G. (1994). The frost hardiness of some clones of olive cv. Leccino. *Journal of Horticultural Science*, 69(3), 433–435. <https://doi.org/10.1080/14620316.1994.11516472>
30. Lichtenthaler, H. K. (2004). Light adaptation and senescence of the photosynthetic apparatus. Changes in pigment composition, chlorophyll fluorescence parameters and photosynthetic activity. In H. K. Lichtenthaler & F. Babani (Eds.), *Chlorophyll a Fluorescence: A Signature of Photosynthesis* (pp. 713–736). Dordrecht: Springer Netherlands.

31. Lichtenthaler, H. K., & Rinderle, U. (1988). The role of chlorophyll fluorescence in the detection of stress conditions in plants. *CRC Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 19(1), 29–85. <https://doi.org/10.1080/15476510.1988.10401466>
32. Lichtenthaler, H. K., & Wellburn, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11, 591–592. <https://doi.org/10.1042/bst0110591>
33. Martin, G. C., Denney, J. O., Ketchie, D. O., Osgood, J. W., Connel, J. H., Sibbett, G. S., Kammereck, R., Krueger, W. H., & Nour, G. A. (1993). Freeze damage and cold hardiness in olive: Findings from the 1990 freeze. *California Agriculture*, 47(1), 1–12. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19930325238>
34. Maxwell, K., & Johnson, G. N. (2000). Chlorophyll fluorescence – a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51(345), 659–668. <https://doi.org/10.1093/jexbot/51.345.659>
35. Moreno-Alias, I., Leon, L., de la Rosa, R., & Rapoport, H. F. (2009). Morphological and anatomical evaluation of adult and juvenile leaves of olive plants. *Trees*, 23, 181–187. <https://doi.org/10.3390/agriculture13061137>
36. Rezaei, M., & Rohani, A. (2023). Estimating freezing injury on olive trees: A comparative study of computing models based on electrolyte leakage and tetrazolium tests. *Agriculture*, 13, 1137. <https://doi.org/10.3390/agriculture13061137>
37. Rinderle, U., & Lichtenthaler, H. K. (1988). The chlorophyll fluorescence ratio F690/F735 as a possible stress indicator. In H. K. Lichtenthaler (Ed.), *Applications of Chlorophyll Fluorescence* (pp. 189–196). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/978-94-009-2823-7_23
38. Rodrigo-Comino, J., Salvia, R., Quaranta, G., Cudlin, P., Salvati, L., & Gimenez-Morera, A. (2021). Climate aridity and the geographical shift of olive trees in a Mediterranean northern region. *Climate*, 9, 64. <https://doi.org/10.3390/cli9040064>
39. Roselli, G., La Porta, N., & Morelli, D. (1992). Evaluations of olive germplasm for cold-stress tolerance. *Atti Convegno Germoplasma Frutticolo: Alghero, Settembre*, pp. 107–112.
40. Roselli, G., & Venora, G. (1989). Relationship between stomatal size and winter hardiness in the olive. *International Symposium on Olive Growing*, 286, 89–92. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1990.286.15>
41. Roselli, G., & Venora, G. (1990). Relationship between stomatal size and winter hardiness in the olive. *Acta Horticulturae*, 286, 89–92. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1990.286.15>
42. Schreiber, U., Schliwa, U., & Bilger, W. (1986). Continuous recording of photochemical and non-photochemical chlorophyll fluorescence quenching with

- a new type of modulation fluorometer. *Photosynthesis Research*, 10, 51–62. <https://doi.org/10.1007/BF00024185>
43. Stirbet, A., & Govindjee, G. (2011). On the relation between the Kautsky effect (chlorophyll a fluorescence induction) and Photosystem II: basics and applications of the OJIP fluorescence transient. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 104(1–2), 236–257. <https://doi.org/10.1016/j.jphoto-biol.2010.12.010>
 44. Tanentzap, F. M., Stempel, A., & Ryser, P. (2015). Reliability of leaf relative water content (RWC) measurements after storage: consequences for in situ measurements. *Botany*, 93, 535–541. <https://doi.org/10.1139/cjb-2015-0065>
 45. Tsiupka, S. (2018). Historical review of olive germplasm evaluation and cultivar development in Crimea. *Acta Horticulturae*, 1208, 97–104. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1208.13>
 46. van Kooten, O., & Snel, J. (1990). The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. *Photosynthesis Research*, 25, 147–150. <https://doi.org/10.1007/BF00033156>
 47. Xu, Z., Zhou, G., & Li, H. (2004). Responses of chlorophyll fluorescence and nitrogen level of *Leymus chinensis* seedling to changes of soil moisture and temperature. *Journal of Environmental Sciences*, 16(4), 666–669.
 48. Yoshida, S., & Uemura, M. (1990). Responses of the plasma membrane to cold acclimation and freezing stress. In *The Plant Plasma Membrane* (pp. 293–320). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-74522-5_13
 49. Zhang, B. B., Xu, J. L., Zhou, M., Yan, D. H., & Ma, R. J. (2018). Effect of light quality on leaf photosynthetic characteristics and fruit quality of peach (*Prunus persica* L. Batch). *Photosynthetica*, 56, 1113–1122. <https://doi.org/10.1007/s11099-018-0820-x>

References

1. Gol'tsev, V. N., Kaladzi, Kh. M., Paunov, M., Baba, V., Khorachek, T., Moyski, Ya., Kotsel, Kh., & Allahverdiev, S. I. (2016). Using variable chlorophyll fluorescence to evaluate the physiological state of the photosynthetic apparatus of plants. *Fiziologiya rasteniy*, 63(6), 881–907. <https://doi.org/10.7868/S0015330316050055>
2. Domanskaya, E. N. (1964). Study of physiological and biochemical indicators of comparative frost resistance of olive varieties. Unpublished doctoral dissertation, Yalta.
3. Ivanova, M. I., Bukharov, A. F., & Kashleva, A. I. (2022). Correlation analysis of traits characterizing yield and product quality of *Allium* (subgenus *Sera*) representa-

- tives. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Khimiya. Biologiya. Ekologiya*, 22(1), 64–73. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2022-22-1-64-73>
4. Nesterenko, T. V., Tikhomirov, A. A., & Shikhov, V. N. (2007). Induction of chlorophyll fluorescence and assessment of plant resistance to adverse influences. *Zhurnal obshchey biologii*, 68(6), 444–458.
 5. Nesterov, Ya. S. (1972). Methodology for assessing winter hardiness and frost resistance of fruit and berry crops. Michurinsk.
 6. Rubin, A. B. (2000). Biophysical methods in ecological monitoring. *Sorosovskiy Obrazovatel'nyy Zhurnal*, (4), 7–13.
 7. Shchennikova, I. N., Lisitsyn, E. M., & Kokina, L. P. (2010). Changes in the pigment complex of barley flag leaves under the influence of edaphic stress. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka*, (1), 24–28.
 8. Yushkov, A. N. (2017). Adaptive potential and breeding of fruit plants resistant to abiotic stresses. Unpublished doctoral dissertation, Michurinsk: Michurinsky State Agrarian University.
 9. Alekseev, A. A., Osipov, V. A., & Matorin, D. N. (2006). Method for determining the functional state of plants by chlorophyll fluorescence. Yakut State University, Yakutsk, 65 p.
 10. Antognozzi, E., Pilli, M., Proietti, P., & Romani, F. (1990). Analysis of some factors affecting frost resistance in olive trees. *Paper presented at XXIII Int. Horticultural Congress*, Firenze, Italy, 4280 p.
 11. Arias, N. S., Scholz, F. G., Goldstein, G., & Bucci, S. J. (2021). Low-temperature acclimation and legacy effects of summer water deficits in olive freezing resistance. *Tree Physiology*, 41(10), 1836–1847. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpab040>
 12. Baker, N. R., & Oxborough, K. (2004). Chlorophyll fluorescence as a probe of photosynthetic productivity. In *Chlorophyll a Fluorescence: A Signature of Photosynthesis* (pp. 65–82). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3218-9_3
 13. Bartolozzi, F., & Fontanazza, G. (1999). Assessment of frost tolerance in olive (*Olea europaea* L.). *Scientia Horticulturae*, 81, 309–319. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(99\)00019-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00019-9)
 14. Bartolozzi, F., Rocchi, P., Camerini, F., & Fontanazza, G. (1999). Changes of biochemical parameters in olive (*Olea europaea* L.) leaves during an entire vegetative season, and their correlation with frost resistance. *Acta Horticulturae*, 474, 435–440. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1999.474.89>
 15. Brajon, O. V., Korneev, D. Yu., Snegur, O. O., & Kitaev, O. I. (2000). Instrumental studies of the photosynthetic apparatus using the induction of chlorophyll fluorescence. Methodical instructions. Kyiv, Ukraine, 11 p.

16. D'Angeli, S., & Altamura, M. M. (2007). Osmotin induces cold protection in olive trees by affecting programmed cell death and cytoskeleton organization. *Planta*, 225, 1147–1163. <https://doi.org/10.1007/s00425-006-0426-6>
17. Deslauriers, A., Caron, L., & Rossi, S. (2015). Carbon allocation during defoliation: Testing a defense-growth trade-off in balsam fir. *Frontiers in Plant Science*, 6, 338. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00338>
18. Fontanazza, G. (1986). Renovation of olive groves damaged by frost: technical guidelines. *Giornale di Agricoltura*, 42, 45–47.
19. Food and Agriculture Organization (FAO) and Codex Alimentarius Commission. Available online: <http://www.fao.org/>. Accessed date: November 2023. <https://doi.org/10.4337/9781786438935.00011>
20. García-Mozo, H., Pérez-Badía, R., & Galán, C. (2008). Aerobiological and meteorological factors' influence on olive (*Olea europaea* L.) crop yield in Castilla-La Mancha (central Spain). *Aerobiologia*, 24, 13–18. <https://doi.org/10.1007/s10453-007-9075-x>
21. Ghamary, B., Rajabipour, A., Borghei, A. M., & Sadeghi, H. (2010). Some physical properties of olive. *Agricultural Engineering International*, 12, 104–110. <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/1381>
22. Gómez-del Campo, M., & Barranco, D. (2005). Field evaluation of frost tolerance in ten olive cultivars. *Plant Genetic Resources*, 3(3), 385–390. <https://doi.org/10.1079/PGR200592>
23. Gordeev, R. V., Pyzhev, A. I., & Zander, E. V. (2022). Does climate change influence Russian agriculture? Evidence from panel data analysis. *Sustainability*, 14, 718. <https://doi.org/10.3390/su14020718>
24. Gubanova, T. B. (2019a). Resistance of *Olea europaea* L. varieties and forms to unfavorable winter conditions on the southern coast of Crimea. *Pomiculture and Small Fruit Culture in Russia*, 57, 32–41. <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2019-57-32-41>
25. Gubanova, T. B. (2019b). The influence of negative temperatures on photosynthetic activity in some evergreen species of Oleaceae family. *Subtropical and Decorative Gardening*, 70, 158–167. <https://doi.org/10.31360/2225-3068-2019-70-158-167>
26. Gubanova, T. B., & Paliy, A. E. (2020). Physiological and biochemical aspects of frost resistance in *Olea europaea* L. *Russian Journal of Plant Physiology*, 67, 671–679. <https://doi.org/10.1134/S1021443720030103>
27. Ivashchenko, Y., Ivashchenko, I., & Tsiupka, S. (2021). Evaluation of olive cultivars with different photosynthetic activity of leaves. *Acta Horticulturae*, 1308, 99–104. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1308.16>

28. Kramer, D. M., Johnson, G., Kirats, O., & Edwards, G. E. (2004). New flux parameters for the determination of Qa redox state and excitation flux. *Photosynthesis Research*, 79, 209–218. <https://doi.org/10.1023/B:PRES.0000015391.99477.0d>
29. La Porta, N., Zacchini, M., Bartolini, S., Viti, R., & Roselli, G. (1994). The frost hardiness of some clones of olive cv. Leccino. *Journal of Horticultural Science*, 69(3), 433–435. <https://doi.org/10.1080/14620316.1994.11516472>
30. Lichtenthaler, H. K. (2004). Light adaptation and senescence of the photosynthetic apparatus. Changes in pigment composition, chlorophyll fluorescence parameters and photosynthetic activity. In H. K. Lichtenthaler & F. Babani (Eds.), *Chlorophyll a Fluorescence: A Signature of Photosynthesis* (pp. 713–736). Dordrecht: Springer Netherlands.
31. Lichtenthaler, H. K., & Rinderle, U. (1988). The role of chlorophyll fluorescence in the detection of stress conditions in plants. *CRC Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 19(1), 29–85. <https://doi.org/10.1080/15476510.1988.10401466>
32. Lichtenthaler, H. K., & Wellburn, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11, 591–592. <https://doi.org/10.1042/bst0110591>
33. Martin, G. C., Denney, J. O., Ketchie, D. O., Osgood, J. W., Connel, J. H., Sibbett, G. S., Kammereck, R., Krueger, W. H., & Nour, G. A. (1993). Freeze damage and cold hardiness in olive: Findings from the 1990 freeze. *California Agriculture*, 47(1), 1–12. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19930325238>
34. Maxwell, K., & Johnson, G. N. (2000). Chlorophyll fluorescence – a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51(345), 659–668. <https://doi.org/10.1093/jexbot/51.345.659>
35. Moreno-Alias, I., Leon, L., de la Rosa, R., & Rapoport, H. F. (2009). Morphological and anatomical evaluation of adult and juvenile leaves of olive plants. *Trees*, 23, 181–187. <https://doi.org/10.3390/agriculture13061137>
36. Rezaei, M., & Rohani, A. (2023). Estimating freezing injury on olive trees: A comparative study of computing models based on electrolyte leakage and tetrazolium tests. *Agriculture*, 13, 1137. <https://doi.org/10.3390/agriculture13061137>
37. Rinderle, U., & Lichtenthaler, H. K. (1988). The chlorophyll fluorescence ratio F690/F735 as a possible stress indicator. In H. K. Lichtenthaler (Ed.), *Applications of Chlorophyll Fluorescence* (pp. 189–196). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/978-94-009-2823-7_23
38. Rodrigo-Comino, J., Salvia, R., Quaranta, G., Cudlin, P., Salvati, L., & Gimenez-Morera, A. (2021). Climate aridity and the geographical shift of olive trees in a Mediterranean northern region. *Climate*, 9, 64. <https://doi.org/10.3390/cli9040064>

39. Roselli, G., La Porta, N., & Morelli, D. (1992). Evaluations of olive germplasm for cold-stress tolerance. *Atti Convegno Germoplasma Frutticolo: Alghero, Settembre*, pp. 107–112.
40. Roselli, G., & Venora, G. (1989). Relationship between stomatal size and winter hardiness in the olive. *International Symposium on Olive Growing*, 286, 89–92. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1990.286.15>
41. Roselli, G., & Venora, G. (1990). Relationship between stomatal size and winter hardiness in the olive. *Acta Horticulturae*, 286, 89–92. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1990.286.15>
42. Schreiber, U., Schliwa, U., & Bilger, W. (1986). Continuous recording of photochemical and non-photochemical chlorophyll fluorescence quenching with a new type of modulation fluorometer. *Photosynthesis Research*, 10, 51–62. <https://doi.org/10.1007/BF00024185>
43. Stirbet, A., & Govindjee, G. (2011). On the relation between the Kautsky effect (chlorophyll a fluorescence induction) and Photosystem II: basics and applications of the OJIP fluorescence transient. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 104(1–2), 236–257. <https://doi.org/10.1016/j.jphoto-biol.2010.12.010>
44. Tanentzap, F. M., Stempel, A., & Ryser, P. (2015). Reliability of leaf relative water content (RWC) measurements after storage: consequences for in situ measurements. *Botany*, 93, 535–541. <https://doi.org/10.1139/cjb-2015-0065>
45. Tsiupka, S. (2018). Historical review of olive germplasm evaluation and cultivar development in Crimea. *Acta Horticulturae*, 1208, 97–104. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1208.13>
46. van Kooten, O., & Snel, J. (1990). The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. *Photosynthesis Research*, 25, 147–150. <https://doi.org/10.1007/BF00033156>
47. Xu, Z., Zhou, G., & Li, H. (2004). Responses of chlorophyll fluorescence and nitrogen level of *Leymus chinensis* seedling to changes of soil moisture and temperature. *Journal of Environmental Sciences*, 16(4), 666–669.
48. Yoshida, S., & Uemura, M. (1990). Responses of the plasma membrane to cold acclimation and freezing stress. In *The Plant Plasma Membrane* (pp. 293–320). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-74522-5_13
49. Zhang, B. B., Xu, J. L., Zhou, M., Yan, D. H., & Ma, R. J. (2018). Effect of light quality on leaf photosynthetic characteristics and fruit quality of peach (*Prunus persica* L. Batch). *Photosynthetica*, 56, 1113–1122. <https://doi.org/10.1007/s11099-018-0820-x>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Цюпка Сергей Юрьевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ст. научный сотрудник

*ФГБУН «Никитский ботанический сад-Национальный научный центр»
ул. Никитский спуск, 52, г. Ялта, , 298648, Российская Федерация
tsupkanbg@mail.ru*

Цюпка Валентина Анатольевна, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией геномики растений и биоинформатики, ст. научный сотрудник

*ФГБУН «Никитский ботанический сад-Национальный научный центр»
ул. Никитский спуск, 52, г. Ялта, , 298648, Российская Федерация
valentina.brailko@yandex.ru*

Булавин Илья Владимирович, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией клеточной биологии и анатомии, ст. научный сотрудник

*ФГБУН «Никитский ботанический сад-Национальный научный центр»
ул. Никитский спуск, 52, г. Ялта, , 298648, Российская Федерация
cellbiolnbs@yandex.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Sergei Yu. Tsiupka, PhD, Senior Researcher

*Nikitsky Botanical Garden-National Scientific Center
52, Nikitsky descent, Yalta, 298648, Russian Federation
tsupkanbg@mail.ru*

Valentina A. Tsiupka, PhD, Head of the Laboratory of Plant Genomics and Bioinformatics, Senior Researcher

*Nikitsky Botanical Garden-National Scientific Center
52, Nikitsky descent, Yalta, 298648, Russian Federation
valentina.brailko@yandex.ru*

Ilya V. Bulavin, PhD, Head of the Laboratory of Plant Cell Biology and Anatomy, Senior Researcher

*Nikitsky Botanical Garden-National Scientific Center
52, Nikitsky descent, Yalta, 298648, Russian Federation
cellbiolnbs@yandex.ru*

Поступила 26.05.2024

После рецензирования 25.07.2024

Принята 30.07.2024

Received 26.05.2024

Revised 25.07.2024

Accepted 30.07.2024