

УДК 634.37.581.1:58.032.3

DOI 10.36305/2712-7788-2022-1-162-39-52

ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ АБРИКОСА

Руслана Адольфовна Пилькевич, Иван Николаевич Палий,
Анфиса Евгеньевна Палий

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

В течение летних сезонов 2020-2021 гг. на базе коллекционных насаждений Никитского ботанического сада – Национального научного центра проведено изучение засухоустойчивости 6 сортов *Prunus armeniaca* Lam. различного происхождения. Представлены результаты исследования параметров водного режима листьев, количественного содержания фотосинтетических пигментов и фенольных соединений. Дана оценка степени потенциальной возможности сортов абрикоса переносить дефицит влаги в периоды максимального влияния засушливых факторов летнего сезона на Южном берегу Крыма. Установлено, что генотипы 'Nagycorosi Orias', 'Профессор Смыков' и 'Казачок' обладают высокой адаптационной способностью к действию гидротермического стресса. Эти сорта отличаются повышенными водоудерживающими силами листьев и высоким уровнем репарации тканей, благодаря чему могут осуществлять нормальные физиолого-биохимические процессы в условиях почвенной и атмосферной засухи. Сорт 'Хурмаи' проявляет лабильную устойчивость. 'Крымский Амур' демонстрирует нестабильность показателей водного режима, и сравнительно слабую устойчивость к высоким температурам и недостатку влаги в критические периоды вегетации. Максимальное содержание хлорофиллов «a» и «b» обнаружено в листьях сортов Казачок и Nagycorosi Orias, минимальное – в листьях сорта Алушкинский. При длительном влиянии атмосферной и почвенной засухи проявляется зависимость накопления хлорофиллов от степени устойчивости каждого сорта: наблюдалось снижение содержания фотосинтетических пигментов, наиболее выраженное у неустойчивых к засухе сортов Алушкинский и Крымский Амур. Сорта, относительно устойчивые к действию гидротермического стресса, демонстрировали рост концентрации фенольных веществ к концу летнего сезона, тогда как у неустойчивых сортов в конце лета содержание фенолов либо снижалось, либо оставалось на прежнем уровне.

Ключевые слова: абрикос; водный режим; засухоустойчивость; водный дефицит; водоудерживающая способность; тургор; фотосинтетические пигменты; фенольные вещества

Введение

Крым принадлежит к зоне ограниченной водообеспеченности. Промышленное садоводство испытывает большой дефицит поливной воды в период вегетации растений, что отрицательно сказывается на закладке генеративных почек, степени цветения, а следовательно, на урожайности плодовых культур. Ускорение интродукционного и селекционного процессов, направленных на создание высокопродуктивных плодовых культур, пригодных для возделывания в условиях недостаточного увлажнения, невозможно без изучения их адаптационного потенциала и анализа степени засухоустойчивости. Особое внимание необходимо уделять выявлению генотипов с повышенной способностью адаптироваться к почвенной и атмосферной засухе. Первостепенная роль в данном вопросе отводится водоудерживающим силам тканей листьев и способности к репарации физиологических процессов после воздействия засушливых факторов.

Фенольные соединения играют важную роль в защитных механизмах растительного организма: в процессах регуляции роста и неферментативной защиты от действия стрессовых факторов (Kabera *et al.*, 2014). Повышение содержания фенольных соединений, как правило, служит ответной реакцией на воздействие стрессовых факторов (Mazid *et al.*, 2011). Количественное содержание фотосинтетических пигментов

отражает эффективность работы фотосинтетического аппарата листа и является показателем устойчивости растений к неблагоприятным условиям внешней среды (Baccari *et al.*, 2020).

Определение физиологических и биохимических параметров растений в условиях нарастающего действия гидротермического стресса являются основой для выявления комплекса характеристик, функционально связанных с реализацией защитных механизмов. Полученные в результате таких работ данные способствуют оптимизации методов объективной экспресс-диагностики комплексной устойчивости хозяйственно ценных видов древесных растений. Наиболее перспективные генотипы, способные адаптироваться к стрессовым условиям, созданным влиянием погодно-климатических условий в период вегетации, могут рекомендоваться для возделывания в эколого-географических зонах с недостаточной водообеспеченностью, а также как селекционный материал в создании новых засухоустойчивых объектов.

Абрикос (*Prunus armeniaca* Lam.) отличается большим разнообразием сортов и форм, охватывает обширные ареалы и занимает одно из главных мест в народном хозяйстве, его плоды играют важную роль в питании человека. В результате многолетних исследований генофонда этой культуры в Никитском ботаническом саду на основании гибридологического анализа выявлены источники ценных хозяйственно-биологических признаков: зимостойкости, морозоустойчивости генеративных почек, сроков цветения и созревания, урожайности, крупноплодности, хорошего вкуса и привлекательной окраски плодов, пригодности к консервированию, перспективности в селекционной работе (Корзин, Горина, 2009; Горина, 2015).

Цель работы заключалась в выявлении особенностей водного режима и накопления биологически активных веществ у некоторых сортов абрикоса в связи с их засухоустойчивостью.

Материалы и методы

В качестве объектов изучения в 2020-2021 гг. были выбраны шесть сортов *Prunus armeniaca* Lam. произрастающие в коллекционных насаждениях ФГБУН НБС – ННЦ: Алушкинский, Крымский Амур, Казачок, Профессор Смыков (селекции Никитского ботанического сада), интродуценты Хурмаи и Nagycorosi Orias.

Изучение параметров водного режима проводили в условиях контролируемого завядания листьев в наиболее засушливые периоды летнего сезона (Плугатарь и др., 2015) по классическим методикам диагностики (Физиологические ..., 1991). Водоудерживающую способность листьев определяли по скорости и количеству потери воды за определённый период времени. Степень репарационных возможностей оценивали по площади неповреждённых участков листовых пластинок (отсутствие некрозов, инфильтрационных пятен) после восстановления водного статуса листьев. Оводнённость тканей устанавливали путём высушивания навесок в термостате при 105°C до постоянного веса. Отбор проб проводился с мая по август.

Определение суммарного содержания фенольных веществ проводили по методу Фолина-Чиокальтео (Гержилова, 2002) на спектрофотометре Evolution 220 UV/VIS фирмы Thermo Scientific. При количественном определении пигментов использовали методику Гавриленко В.Ф. и соавт. (Гавриленко и др., 1975). Каждую пробу анализировали в трех повторностях. Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием критерия Стьюдента, достоверными считали изменения, где $P < 0,05$.

Погодные условия. В мае 2020 г. относительно тёплая и без осадков погода наблюдалась только во второй декаде. В среднем за месяц температура воздуха составила 14,9°C, что на 0,5°C ниже нормы. Максимальная температура воздуха днем повышалась

до $+28,5^{\circ}\text{C}$, а минимальная ночью опускалась до $10,6^{\circ}\text{C}$. Всего осадков за месяц выпало 90% от нормы, запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы под плодовыми культурами составляли 28-40% НВ. В течение июня преобладала тёплая, временами жаркая, с осадками погода. Средняя температура воздуха за месяц составила $+21,7^{\circ}\text{C}$ (на $0,8^{\circ}\text{C}$ выше нормы), максимальные температуры днём повышались до $+30,5^{\circ}\text{C}$, минимальная ночью была не ниже $+17,7^{\circ}\text{C}$. Всего осадков за июнь выпало 130% от нормы, благодаря им запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы составили 43% НВ. Погодные условия июля были тёплыми, временами жаркими и сухими. Средняя температура воздуха за месяц составила $+25,5^{\circ}\text{C}$, что на $2,7^{\circ}\text{C}$ выше нормы. Среднесуточные температуры часто превышали норму на $6...7^{\circ}\text{C}$, и находились в пределах $+25...30^{\circ}\text{C}$, а максимальные днём повышались до $+34,0^{\circ}\text{C}$. Осадков в июле выпало крайне мало – 27% от нормы, и запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы уменьшились до 10% НВ. В августе наблюдалась преимущественно очень теплая, временами жаркая с небольшими осадками погода. Средняя температура воздуха за месяц составила $+24,8^{\circ}\text{C}$ (на $2,2^{\circ}\text{C}$ выше нормы). Среднесуточные температуры временами превышали норму на 8°C , а максимальная днём достигала отметки $+34,8^{\circ}\text{C}$. Относительная влажность воздуха не опускалась ниже 30%. Сумма осадков в Никитском саду составила 28% от нормы, запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы являлись неудовлетворительными (14% НВ).

Погодные условия летнего сезона 2021 г. во многом были нетипичными. Май характеризовался относительно тёплой, с небольшими волнами относительного холода погодой. Среднесуточные температуры воздуха находились на уровне $+14...19^{\circ}\text{C}$, средняя влажность воздуха составила 68%. Наиболее тепло было в середине месяца, когда среднесуточные температуры колебались в пределах $+18...22^{\circ}\text{C}$, а максимальные днём поднимались до $+27^{\circ}\text{C}$. К окончанию мая температурный фон был стабильно выше нормы на $2...5^{\circ}\text{C}$, запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы под плодовыми культурами составляли 27-29% НВ. В июне погода носила неустойчивый характер. Средняя температура воздуха находилась в пределах $+22-23^{\circ}\text{C}$, максимальная не превышала $+29,0^{\circ}\text{C}$. Под воздействием Черноморского циклона в Никитском саду 18 июня произошло опасное гидрометеорологическое явление в виде очень сильных и продолжительных осадков (за 16 часов выпало 133,7 мм). Средняя влажность воздуха за июнь составляла 73...77%, минимальная – 42...53%. К концу месяца запасов продуктивной влаги в метровом слое оставалось около 50%. Июль выявился преимущественно сухим и тёплым. Во второй декаде установилась аномально жаркая и сухая погода: максимальная температура днём поднималась до $+35,0^{\circ}\text{C}$, а среднесуточные, составляя $+24...28,7^{\circ}\text{C}$, временами превышали норму на $7,5^{\circ}\text{C}$ (что явилось абсолютным рекордом за всё время наблюдений с 1930 г.). Относительная влажность воздуха снижалась до 33%. Продуктивной влаги в метровом слое оставалось от 17 до 28% НВ, что очень сильно повлияло на состояние плодовых культур – отмечались потеря тургора, пожелтение листьев нижнего яруса кроны. Июль выявился преимущественно сухим и тёплым. Максимальная температура днём поднималась до $+35,0^{\circ}\text{C}$, а среднесуточные, составляя $+24...28,7^{\circ}\text{C}$, временами превышали норму на $7,5^{\circ}\text{C}$ (что явилось абсолютным рекордом за всё время наблюдений с 1930 г.). Относительная влажность воздуха снижалась до 33%. Продуктивной влаги в метровом слое оставалось от 17 до 28% НВ. Максимальная температура в августе повышалась до $+32,4^{\circ}\text{C}$, а минимальная влажность воздуха опускалась до 39%, среднесуточные температуры держались выше нормы ($+24,2...25,8^{\circ}\text{C}$), иногда превышая её на $2...7^{\circ}\text{C}$. Осадков периодически выпадало выше нормы (до 180%). Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы под плодовыми культурами составляли от 59 до 35% НВ.

Результаты и обсуждение

В мае 2020 г. содержание воды в листьях изучаемых сортов абрикоса составляло от 68 до 73,5% (89,5-97,0% полной влагоёмкости) (табл. 1). Водный дефицит находился в диапазоне 10-15%. В процессе экспериментального увядания листья Крымского Амура и венгерского сорта Nagycorosi Orias (изначально имея близкую полевую обводнённость), одинаково теряли влагу в процессе увядания, однако последующая регидратация листьев выявила существенные различия их репарационных возможностей. Особенно наглядно это проявилось через 12 часов увядания – количество восстановившей тургор площади листовой поверхности составило 54% и 92% соответственно (табл. 1).

Таблица 1

Водоудерживающая и репарационная способность листьев абрикоса
(май 2020 г.)

Table 1

Water-retaining and reparative ability of apricot leaves
(May 2020)

Сорт Cultivar	Содержание воды в листьях, % на сырую массу Water content in leaves, % by raw weight	Содержание воды в листьях, полное обводнение, % на сырую массу Water content in the leaves, complete watering, % on the raw mass	Водный дефицит в листьях, % Water deficiency in leaves, %	Утрачено воды в процессе увядания, % Lost water in the process of withering, %			Листья, восстан. тургор, % Leaves that restored turgor, %	Утрачено воды через 12 часов Lost water after 12 hours	Листья, восстан. тургор, % Leaves that restored turgor, %
				2 часа 2 hours	4 часа 4 hours	6 часов 6 hours			
Алупкинский Alupkinsky	69,4	71,6	14,7	7,2	13,2	18,3	98	29,4	45
Казачок Kazachok	70,4	73,5	9,9	6,6	13,2	16,9	96	24,8	81
Крымский Амур Krymsky Amur	68,1	76,1	15,2	4,1	9,0	14,4	87	21,0	54
Профессор Смыков Professor Smykov	71,2	74,6	13,4	8,9	15,7	20,4	100	30,2	89
Хурмаи Khurmai	73,4	76,2	11,7	7,3	12,6	18,6	68	26,3	56
Nagycorosi Orias	68,7	72,0	11,6	3,9	9,5	14,2	95	21,4	92

В июне обводнённость тканей листьев абрикоса снизилась на 1-6%, и находилась на уровне 64-69% (88-95% оптимального насыщения) (табл. 2). Водный дефицит возрос на 0,5-5,5%, до значений 13-19%. Процесс потери листьями воды при увядании происходил гораздо интенсивнее, у некоторых сортов количество отданной влаги в 2-3 раза превышало майские показатели (Крымский Амур и Алупкинский в первые 2 часа утратили столько же влаги, сколько за 6 часов в мае). Через 8 часов увядания листьями более устойчивых генотипов было утрачено от 22 до 23,5% воды, менее стойких – 26-31%, и степень репарации площади листовой поверхности у всех растений выявилась достаточной, 90-100%. Однако дальнейшее обезвоживание (12

часов) вызвало серьёзные повреждения листовых пластинок, что проявилось в невозможности восстановления нормального тургора на удовлетворительном уровне: количество восстановившихся тканей листьев составило 75-82% у более устойчивых генотипов, и 38-65% у менее стойких.

Таблица 2

**Водоудерживающая и репарационная способность листьев абрикоса
(июнь 2020 г.)**

Table 2

Water-retaining and reparative ability of apricot leaves
(June 2020)

Сорт Cultivar	Содержание воды в листьях, % на сырую массу Water content in leaves, % by raw weight	Содержание воды в листьях, полное обводнение, % на сырую массу Water content in the leaves, complete watering, % on the raw mass	Водный дефицит в листьях, % Water deficiency in leaves, %	Утрачено воды в процессе увядания, % Lost water in the process of withering, %				Листья, восстан. тургор, % Leaves that restored turgor, %	Утрачено воды через 12 часов Lost water after 12 hours	Листья, восстан. тургор, % Leaves that restored turgor, %
				2 часа / 2 hours	4 часа / 4 hours	6 часов / 6 hours	8 часов / 8 hours			
Алупкинский Alupkinsky	63,7	72,6	15,3	18,7	24,4	28,0	31,2	96	32,2	38
Казачок Kazachok	64,8	71,7	15,5	11,6	17,9	20,2	22,1	98	28,0	78
Крымский Амур Krymsky Amur	66,8	76,1	18,9	14,4	21,1	23,4	25,7	90	30,9	65
Профессор Смыков Professor Smykov	66,6	72,4	18,5	11,5	17,5	20,5	23,5	99,5	27,9	75
Хурмаи Khurmai	69,0	73,2	16,1	12,0	20,1	23,1	25,7	92	26,3	59
Nagycorosi Orias	65,6	68,9	13,1	14,4	18,1	20,3	22,3	100	25,1	82

Погодные условия июля явились критическими: содержание влаги в листьях снизилось ещё на 2-8%, до значений 60-65% (табл. 3).

Наиболее существенно возрос водный дефицит в тканях листьев сортов Nagycorosi Orias и Казачок (соответственно на 15-20% выше майских, и на 11-15% выше июньских показаний). После 12 часов увядания листья утратили от 30% до 40% воды (за исключением Nagycorosi Orias). Уровень восстановления тургора составил 20-55% у неустойчивых сортов, и 75-95% у более стойких. Через 8 часов завядания листья абрикоса теряли от 19,5 до 27,5% влаги, после чего уровень восстановления тургора оказывался достаточным (80-92%), но не был полным ни у одного сорта. После 12-часового обезвоживания потеря воды достигала 38,5% (за исключением Nagycorosi Orias), а удовлетворительная репарация тканей отмечена только у листьев сортов Nagycorosi Orias, Казачок, Профессор Смыков.

Таблица 3

**Водоудерживающая и репарационная способность листьев абрикоса
(июль 2020 г.)**

Table 3

**Water-retaining and reparative ability of apricot leaves
(July 2020)**

Сорт Cultivar	Содержание воды в листьях, % на сырую массу Water content in leaves, % by raw weight	Содержание воды в листьях, полное обводнение, % на сырую массу Water content in the leaves, complete watering, % on the raw mass	Водный дефицит в листьях, % Water deficiency in leaves, %	Утрачено воды в процессе увядания, % Lost water in the process of withering, %				Листья, восстан. тургор, % Leaves that restored turgor, %	Утрачено воды через 12 часов Lost water after 12 hours	Листья, восстан. тургор, % Leaves that restored turgor, %
				2 часа 2 hours	4 часа 4 hours	6 часов 6 hours	8 часов 8 hours			
Алупкинский Alupkinsky	59,71	67,9	22,1	11,7	18,2	23,1	27,3	80	34,6	21
Казачок Kazachok	59,82	69,7	30,4	8,7	16,7	22,1	25,4	86	34,1	76
Крымский Амур Krymsky Amur	63,32	70,3	22,5	9,8	15,1	19,2	22,8	92	27,6	53
Профессор Смыков Professor Smykov	64,69	69,2	20,6	12,5	17,0	20,7	23,5	90	38,5	74
Хурмаи Khurmai	61,07	68,5	20,5	12,2	17,1	21,5	25,2	91	32,2	50
Nagycorosi Orias	60,33	67,4	24,2	11,8	15,3	17,5	19,6	94	20,7	87

Показатели водного дефицита листьев достигли максимальных за весь летний сезон значений – 20,5-30,5% (рис. 1).

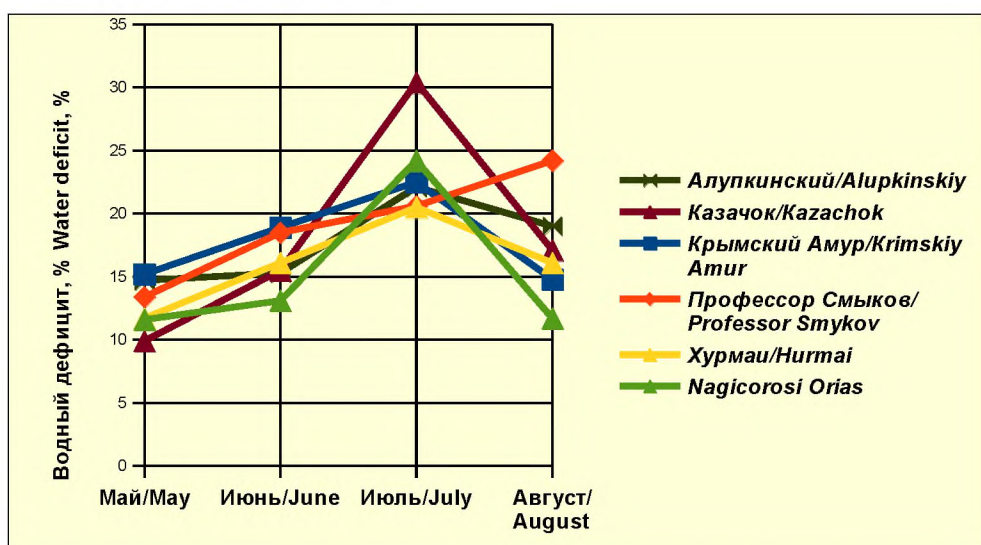


Рис. 1 Динамика водного дефицита в листьях сортов абрикоса (летний сезон 2020 г.)
Fig. 1 Dynamics of water deficiency in apricot leaves (summer season 2020)

В августе дефицит влаги в листьях уменьшился в пределах 3-13%, и составлял от 12 до 17%, наиболее высокий показатель (19%) отмечен у сорта Алупкинский (табл. 4). Водоудерживающие силы сохранялись на прежнем уровне, однако, у всех сортов наблюдалось повышение репарационных возможностей.

Таблица 4

**Водоудерживающая и репарационная способность листьев абрикоса
(август 2020 г.)**

Table 4

**Water-retaining and reparative capacity of apricot leaves
(August 2020)**

Сорт Cultivar	Содержание воды в листьях, % на сырую массу Water content in leaves, % by raw weight	Содержание воды в листьях, полное обводнение, % на сырую массу Water content in the leaves, complete watering, % on the raw mass	Водный дефицит в листьях, % Water deficiency in leaves, %	Утрачено воды в процессе увядания, % Lost water in the process of withering, %				Листья, восстан. тургор, % Leaves that restored turgor, %	Утрачено воды через 12 часов Lost water after 12 hours	Листья, восстан. тургор, % Leaves that restored turgor, %
				2 часа 2 hours	4 часа 4 hours	6 часов 6 hours	8 часов 8 hours			
Алупкинский Alupkinsky	59,3	72,6	19,0	14,3	19,5	23,6	27,9	86	33,9	60
Казачок Kazachok	59,7	71,7	17,1	14,3	18,9	22,2	25,6	98	31,1	95
Крымский Амур Krymsky Amur	58,6	76,1	14,7	12,9	18,4	22,4	26,8	90	32,8	70
Профессор Смыков Professor Smykov	59,5	72,4	17,3	12,3	18,0	21,7	25,7	100	38,6	88
Хурмаи Khurmai	58,9	73,2	16,1	11,5	17,0	21,9	27,0	75-80	34,8	65
Nagycorosi Orias	60,6	68,9	11,7	8,7	12,7	15,8	18,8	100	23,7	96

В мае 2021 г., как и в предыдущем году, обводнение тканей листьев изучаемых сортов абрикоса (за исключением 'Крымского Амура') было близким к оптимальному, и составляло 95-97,5% полного насыщения. Водный дефицит варьировал от 4% до 12%. В первой половине периода вегетации (май-июнь) в процессе экспериментального увядания потеря воды тканями листьев через 6-8 часов варьировала в пределах 14,5-22,0%, что являлось сублетальной границей для более устойчивых сортов (ткани их листьев восстанавливались на высоком уровне, 96-100%), и незначительно превышало её у менее стойких (степень репарации площади листовой поверхности составляла около 90%). Различия в адаптационных возможностях сортов особенно наглядно проявлялись с наступлением засушливого периода (июль-август). В эти месяцы содержание воды в листьях уменьшилось на 5-11,5% относительно майских значений. У Крымского Амура, Алупкинского, Хурмаи водоудерживающая способность существенно снижалась, что приводило уже через 6 часов завядания к потере критического количества воды, и повреждениям, составляющим от 15 до 35% площади листовой поверхности (табл. 5).

Таблица 5

**Водоудерживающая и репарационная способность листьев абрикоса
(июль-август 2021гг.)**

Table 5

**Water-retaining and reparative ability of apricot leaves
(July-August 2021)**

Сорт Cultivar	Содержание воды в листьях, % на сырую массу Water content in leaves, % by raw weight	Содержание воды в листьях, полное обводнение, % на сырую массу Water content in the leaves, complete watering, % on the raw mass	Водный дефицит в листьях, % Water deficiency in leaves, %	Утрачено воды в процессе увядания, % Lost water in the process of withering, %			Листья, восстан. тургор, % Leaves that restored turgor, %
				2 часа 2 hours	4 часа 4 hours	6 часов 6 hours	
Июль / July							
Алупкинский Alupkinsky	64,98	72,44	18,51	11,0	16,6	21,7	80
Казачок Kazachok	68,21	73,86	12,02	8,7	14,7	19,0	98
Крымский Амур Krymsky Amur	65,35	71,15	15,84	9,8	15,1	22,0	85
Профессор Смыков Professor Smykov	66,67	71,27	14,68	12,5	17,0	20,9	100
Хурман Khurmai	69,02	72,03	14,26	12,2	16,5	21,3	86
Nagycorosi Orias	66,21	70,48	15,43	11,8	15,3	16,5	100
Август / August							
Алупкинский Alupkinsky	63,02	70,34	21,97	10,9	19,5	28,6	65
Казачок Kazachok	66,31	71,7	31,73	8,7	16,7	26,7	92
Крымский Амур Krymsky Amur	62,93	76,1	22,68	9,8	17,3	27,9	68
Профессор Смыков Professor Smykov	65,78	72,4	26,87	12,5	16,0	25,4	94
Хурман Khurmai	67,09	73,2	18,50	12,2	17,1	26,3	70
Nagycorosi Orias	63,55	68,9	16,81	11,8	15,3	24,5	95

Наиболее высокий уровень дефицита влаги отмечался в августе у сортов Казачок (32%), Профессор Смыков (27%), Крымский Амур, Алупкинский (22-23%) (рис. 2).

Листья сортов Nagycorosi Orias, Профессор Смыков и Казачок, отличающихся повышенной устойчивостью к обезвоживанию, после потери 25-30% влаги и последующей регидратации полный тургор не восстановили.

В рамках изучения физиолого-биохимических механизмов устойчивости к водному стрессу различных генотипов *P. armeniaca* определена динамика содержания

фенольных соединений и суммы хлорофиллов «а» и «б» в листьях абрикоса в течение летних периодов 2020-2021 гг. на Южном берегу Крыма (Палий и др., 2020; Пилькевич и др., 2021; Gubanova *et al.*, 2021).

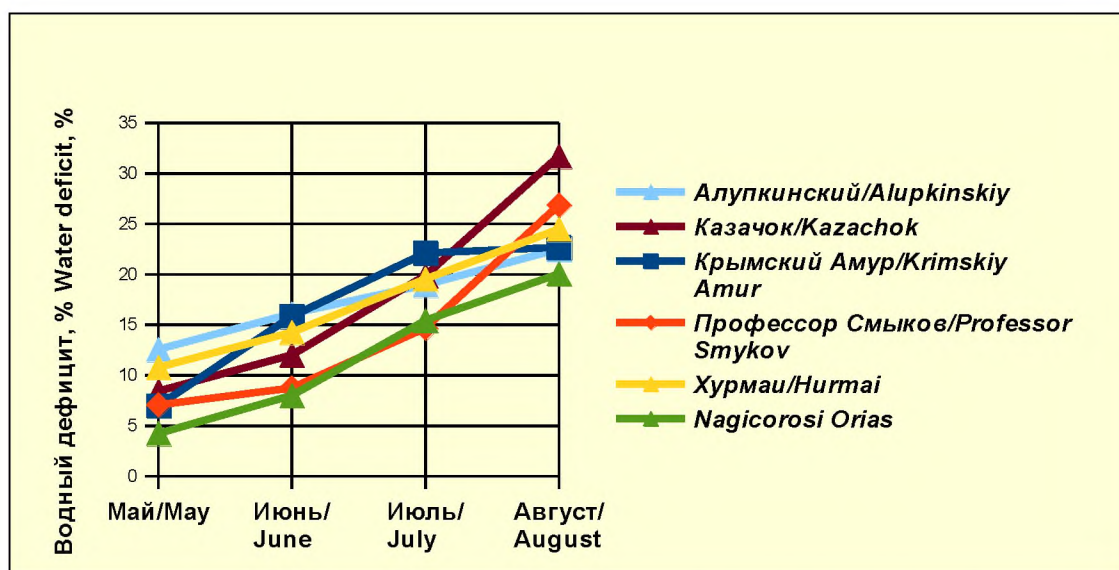


Рис. 2 Динамика водного дефицита в листьях сортов абрикоса (летний сезон 2021 г.)
Fig. 2 Dynamics of water scarcity in the leaves of apricot cultivars (summer season 2021)

Концентрации хлорофиллов в листьях летом 2020 г. колебались в пределах 1,23-3,29 мг/г в пересчете на сухой вес. Для всех исследуемых сортов максимальное содержание пигментов выявлено в начале летнего сезона (май) (рис. 3).

В июне, на фоне нарастающего действия гидротермического стресса, происходило довольно сильное снижение содержания хлорофиллов: у сортов Казачок, Хурмаи и Профессор Смыков на 15-20%, а у сортов Крымский Амур и Алупкинский – на 35-60%. Далее, до конца летнего сезона, концентрации пигментов продолжала достоверно снижаться у всех сортов, за исключением сорта Алупкинский, у которого в августе наблюдалось небольшое увеличение суммарной концентрации хлорофиллов «а» и «б». Таким образом, при длительной атмосферной и почвенной засухе в листьях абрикоса наблюдалось снижение содержания фотосинтетических пигментов, наиболее выраженное у неустойчивых к засухе сортов Алупкинский и Крымский Амур.

Летний сезон 2021 г. характеризовался достаточным количеством осадков, нормальной увлажненностью почвы и оптимальными значениями температуры воздуха. Концентрации хлорофиллов в листьях абрикоса колебались в пределах 0,94-3,55 мг/г в пересчете на сухой вес. Максимальное содержание хлорофиллов «а» и «в» обнаружено в листьях сортов Казачок и Nagycorosi Orias, минимальное – в листьях сорта Алупкинский (рис. 4).

В листьях сорта Казачок концентрация хлорофиллов в течение всего сезона постепенно снижалась. У слабоустойчивых сортов Крымский Амур и Хурмаи в мае и июне концентрации хлорофиллов изменялись незначительно, возрастали в июле до максимальных значений и снижались в период окончания вегетации. В листьях сортов Профессор Смыков и Nagycorosi Orias концентрации хлорофиллов изменялись волнообразно, максимальные значения содержания пигментов были отмечены в июне. В результате проведенных исследований в летний период 2021 г. не выявлено четкой зависимости между изменением содержания фотосинтетических пигментов и засухоустойчивостью сортов абрикоса.

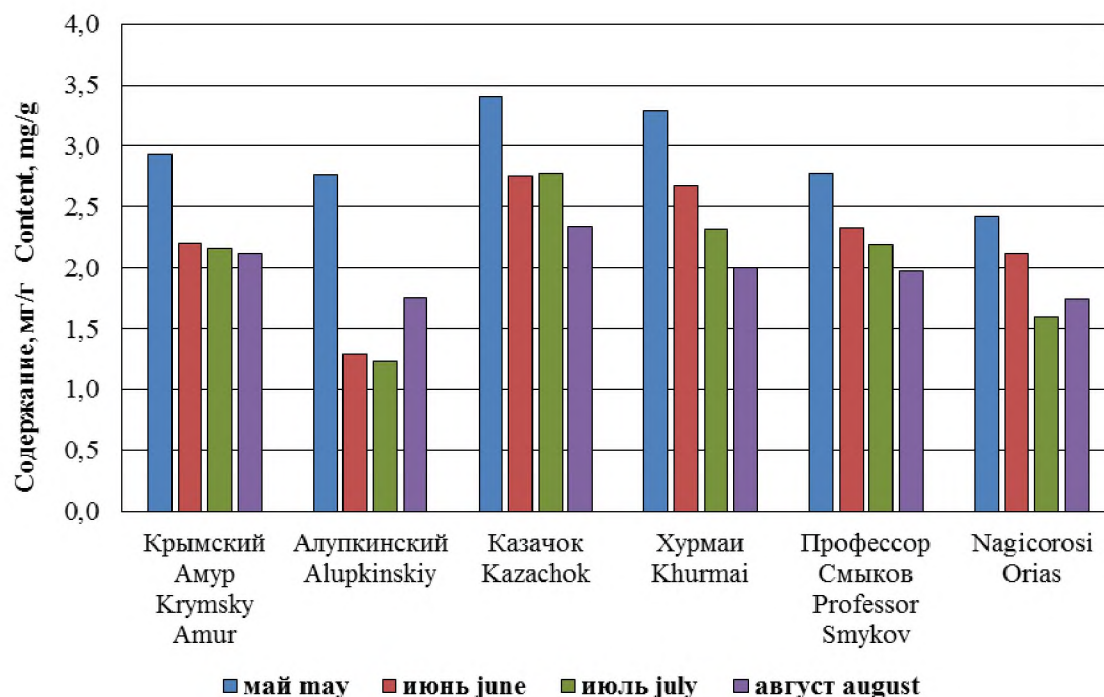


Рис. 3 Динамика содержания суммы хлорофиллов А и Б в летний период 2020 г.
Fig. 3 Dynamics of the amount of chlorophylls A and B in the summer of 2020

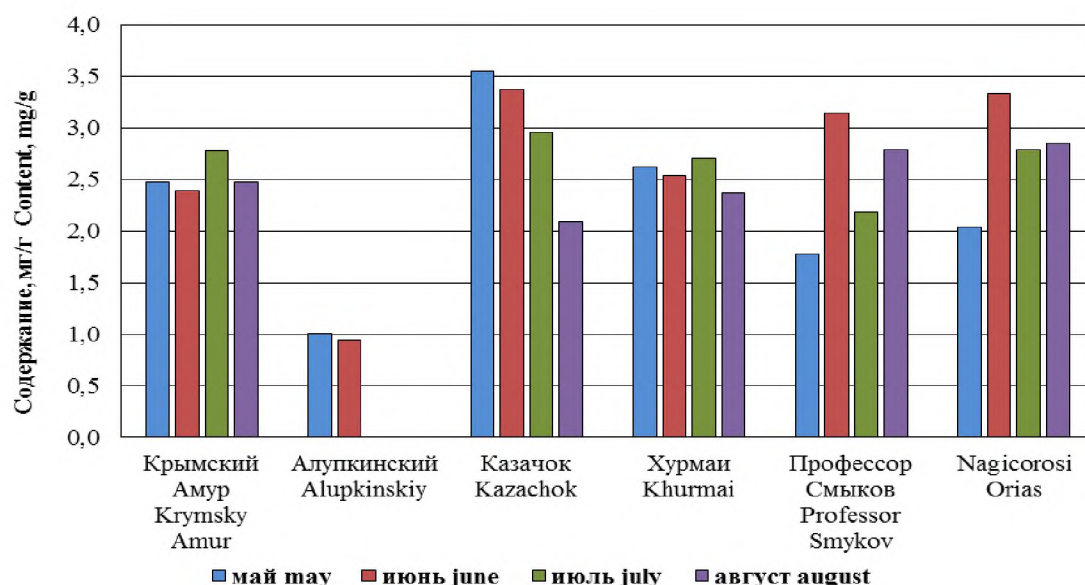


Рис. 4 Динамика содержания суммы хлорофиллов А и Б в летний период 2021 г.
Fig. 4 Dynamics of the amount of chlorophylls A and B in the summer period of 2021

В течение летнего периода 2020 г. содержание фенольных соединений в листьях абрикоса составило 780-1165 мг/100 г. В начале летнего сезона, в период формирования молодых листьев у большинства изученных сортов выявлены минимальные концентрации фенольных веществ (рис. 5). В июне суммарное содержание фенолов возрастало до максимальных значений для сортов Профессор Смыков и Nagicorosi Orias. У неустойчивых сортов Крымский Амур и Алупкинский максимальное содержание фенольных веществ выявлено в июле. А у сортов Казачок и Хурмаи – в августе. Сорта,

относительно устойчивые к действию гидротермического стресса, демонстрировали рост концентрации фенольных веществ к концу летнего сезона, тогда как у неустойчивых сортов в конце лета содержание фенолов либо снижалось, либо оставалось на прежнем уровне.

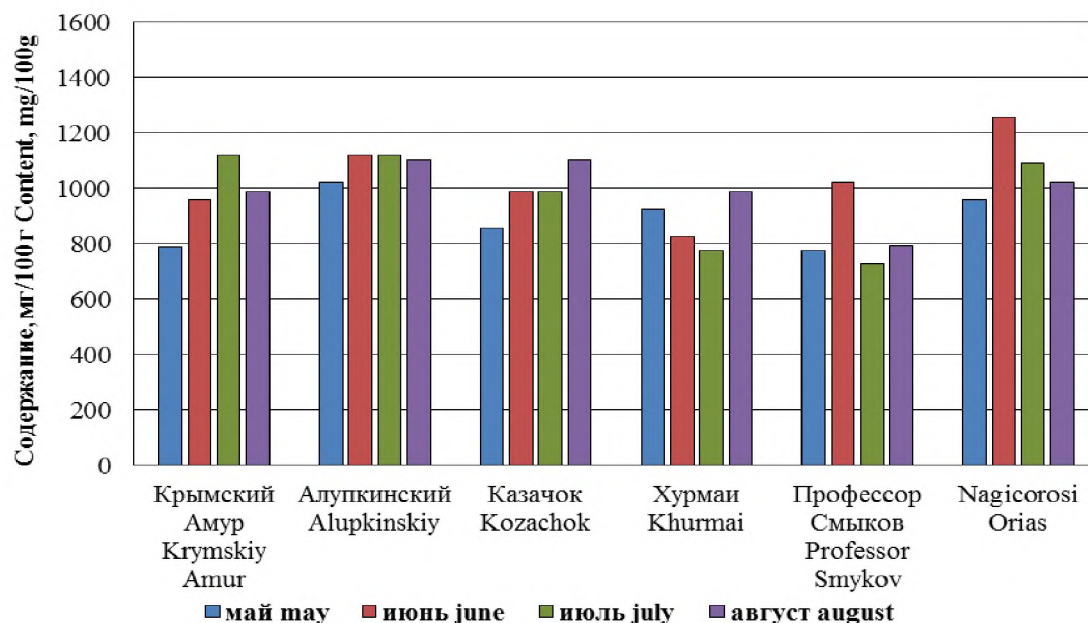


Рис. 5 Динамика содержания суммы фенольных соединений в листьях абрикоса в летний период 2020 г.

Fig. 5 Dynamics of the amount of phenolic compounds in apricot leaves in the summer of 2020

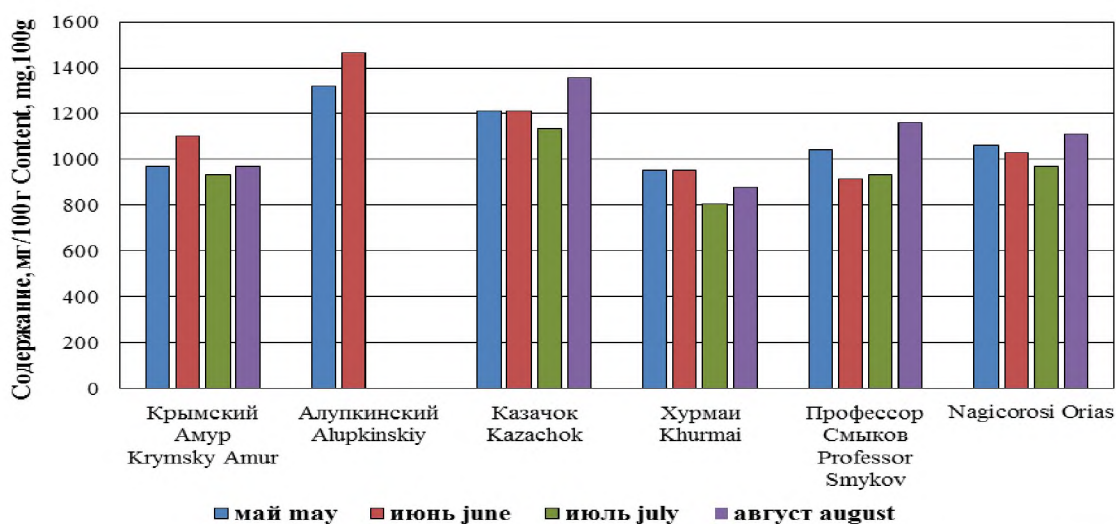


Рис. 6 Динамика содержания суммы фенольных соединений в листьях абрикоса в летний период 2021 г.

Fig. 6 Dynamics of the amount of phenolic compounds in apricot leaves in the summer of 2021

В летний сезон 2021 г. содержание фенольных соединений в листьях абрикоса было выше, чем в аналогичный период 2020 г. и составило 935-1466 мг/100 г. Минимальные концентрации фенольных веществ у всех исследуемых сортов наблюдались в июле, что возможно, связано с выпадением большого количества осадков и довольно прохладной погоды в предыдущие месяцы (рис. 6). К окончанию вегетации

содержание фенольных веществ возрастало у всех сортов и наибольший рост происходил у засухоустойчивых сортов Казачок и Профессор Смыков.

Полученные результаты позволяют сделать вывод об участии фенольных соединений в регуляции стрессового состояния у генотипов *P. armeniaca*. Содержание фенольных веществ в листьях абрикоса зависит как от погодных условий, так и засухоустойчивости конкретного генотипа.

Выводы

В мае-июне обводнение тканей листьев изучаемых сортов абрикоса (за исключением 'Крымского Амура'), приближено к оптимальному, 95-97% полного насыщения. К окончанию вегетационного периода содержание воды в листьях снижается на 8-15%. Критическим периодом летнего сезона, когда в листьях всех объектов изучения водный дефицит достигал максимальных значений, в 2020 г. являлся июль, а в 2021 г. – август. Самый высокий уровень дефицита влаги отмечался в тканях генотипов Казачок (30,5%), Профессор Смыков и Nagycorosi Orias (24%), Профессор Смыков, что, соответственно на 20,5%, 12,5% и 12,2% превышало майские показатели.

На протяжении периода изучения более устойчивые сорта отличались меньшим количеством утраченной при увядании влаги, и относительно стабильной динамикой водоотдачи. Потеря влаги листьями через 12 часов обезвоживания у них составляла 20-25%, а после регидратации тургор восстанавливался в достаточной степени, на 82-100%. Сравнительно слабоустойчивые сорта за аналогичное время теряли 30-40% воды, при последующем восстановлении водного статуса репарация тканей была средней, иногда неудовлетворительной – от 38 до 75% площади листовой поверхности. После потери листьями 25-35% влаги, и дальнейшей регидратации повреждения выражались у более устойчивых сортов Профессор Смыков и Казачок в невозможности восстановления полного тургора листьев (до уровня 75-80%); у менее стойких – в неудовлетворительных репарационных способностях (45-55%). Сублетальной для изучаемых растений абрикоса являлась потеря тканями листьев 14-20% влаги.

При длительном воздействии гидротермического стресса в листьях абрикоса происходит снижение содержания фотосинтетических пигментов, у неустойчивых сортов наблюдается значительное снижение концентрации хлорофиллов «а» и «б». Также меняется и динамика их содержания. В сезоне с оптимальными показателями температуры и влажности изменение концентрации пигментов происходит разнонаправленно и не зависит от степени устойчивости конкретного генотипа. При длительном действии засухи (несколько лет) проявляется зависимость накопления хлорофиллов от степени устойчивости каждого сорта.

Суммарное содержание фенольных веществ абрикоса также зависит от погодных условий и засухоустойчивости конкретного генотипа, эта зависимость выражается в увеличении концентрации фенольных веществ в листьях устойчивых сортов в период окончания вегетации, а у неустойчивых сортов в период формирования и созревания плодов.

В итоге, в условиях летнего водного стресса 2020-2021 гг. на ЮБК генотипы 'Nagycorosi Orias', 'Казачок', 'Профессор Смыков' обладают повышенными водоудерживающими и репарационными характеристиками. Наиболее низкую устойчивость к засухе проявляют сорта Крымский Амур и Алупкинский, а Хурмаи отличается лабильными показателями водного режима. Выявлены существенные различия в накоплении хлорофиллов и фенольных соединений у потенциально устойчивых и неустойчивых к водному стрессу сортов абрикоса.

Исследования выполнены на оборудовании ЦКП «Физиолого-биохимические исследования растительных объектов» (ФБИ РО) ФГБУН "НБС-ННЦ" (Ялта, Россия).

Литература / References

Гавриленко В.Ф., Ладыгина М.Е., Хандобина Л.М. Большой практикум по физиологии растений. Фотосинтез. Дыхание. Учебное пособие. М.: «Высшая школа», 1975. 392 с.

[Gavrilenko V.F., Ladygina M.E., Khandobina L.M. A large workshop on plant physiology. Photosynthesis. Breath. Textbook. Moscow: "Vysshaya Shkola", 1975. 392 p.]

Гержикова В.Г. Методы технoхимического контроля в виноделии. Симферополь: Таврида, 2002. 259 с.

[Gerzhikova V.G. Methods of technochemical control in winemaking. Simferopol: Tavrida, 2002. 259 p.]

Горина В.М. Перспективы использования генофонда абрикоса Никитского ботанического сада // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2015. № 36 (6). С. 43–56.

[Gorina V.M. Prospects of using the apricot gene pool of the Nikitsky Botanical Gardens. *Fruit growing and viticulture of the South of Russia*. 2015. 36 (6): 43–56]

Корзин В.В., Горина В.М. Интродуцированные в условиях Крыма сорта и формы абрикоса, перспективные для селекционной работы // Бюллетень ГНБС. 2009. № 99. С. 38–41.

[Korzin V.V., Gorina V.M. Cultivars and forms of apricot introduced in the conditions of the Crimea, promising for breeding work. *Bulletin of the SNBG*. 2009. 99: 38–41]

Палий И.Н., Губанова Т.Б., Палий А.Е. Физиолого-биохимические параметры сортов абрикоса с различной засухоустойчивостью // Садоводство и виноградарство. 2020. № 1. С. 23–28.

[Paliy I.N., Gubanova T.B., Paliy A.E. Physiological and biochemical parameters of apricot varieties with different drought resistance. *Horticulture and viticulture*. 2020. 1: 23–28]

Пилькевич Р.А., Палий И.Н., Палий А.Е. Динамика физиолого-биохимических показателей сортов абрикоса в условиях водного стресса // Бюллетень ГНБС. 2021. № 140. С. 69–76.

[Pilkevich R.A., Paliy I.N., Paliy A.E. Dynamics of physiological and biochemical parameters of apricot cultivars under conditions of water stress. *Bulletin of the SNBG*. 2021. 140: 69–76]

Плугатарь Ю.В., Корсакова С.П., Ильницкий О.А. Экологический мониторинг Южного берега Крыма. Симферополь: ИТ Ариал, 2015. 161 с.

[Plugatar Yu.V., Korsakova S.P., Ilitsky O.A. Ecological monitoring of the Southern Coast of the Crimea. Simferopol: PH Arial, 2015. 161 p.]

Физиологические и биофизические методы в селекции плодовых культур. Методические рекомендации / под ред. А.И. Лищука. М., 1991. 67 с.

[Physiological and biophysical methods in fruit crops breeding. Methodological recommendations / Ed. A.I. Lishchuk. Moscow, 1991. 67 p.]

Gubanova T., Pilkevich R., Paliy I., Grebennikova O., Melkozeorova E. Features of physiological and biochemical processes of *Prunus armeniaca* and *Ficus carica* in water stress conditions // E3S Web of Conferences. Ser. "International Scientific and Practical Conference "Fundamental and Applied Research in Biology and Agriculture: Current Issues, Achievements and Innovations". 2021. Vol 254. Art. 02018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125402018>

Kabera J.N., Semana E., Mussa A.R., He X. Plant secondary metabolites: biosynthesis, classification, function and pharmacological properties // Pharm. and Pharmacology. 2014. Vol. 2. P. 377–392.

Mazid M., Khan T.A., Mohammad F. Role of secondary metabolites in defense mechanisms of plants // *Biology and Medicine*. 2011. Vol. 3 (2). P. 232–249.

Baccari S., Elloumi O., Châari-Rkhis A., Fenollosa E., Morales M., Drira N., Ben Abdallah F., Fki L., & Munné-Bosch S. Linking Leaf Water Potential, Photosynthesis and Chlorophyll Loss with Mechanisms of Photo- and Antioxidant Protection in Juvenile Olive Trees Subjected to Severe Drought // *Frontiers in Plant Science*. 2020. Vol. 11. Art. 614144. DOI: 10.3389/fpls.2020.614144

Статья поступила в редакцию 04.03.2022 г.

Pilkevich R.A., Paliy I.N., Paliy A.E. Physiological and biochemical features of apricot drought resistance // *Plant Biology and Horticulture: theory, innovation*. 2022. № 1 (162). P. 39–52.

During the summer seasons of 2020-2021, the drought resistance of 6 cultivars of *Prunus armeniaca* Lam. of various origin was studied on the basis of the collection plantings of the Nikitsky Botanical Gardens – the National Scientific Center. The results of the study of the parameters of the water regime of leaves, the quantitative content of photosynthetic pigments and phenolic compounds are presented. The assessment of the degree of potential ability of apricot cultivars to tolerate moisture deficiency during periods of maximum influence of arid factors of the summer season on the Southern Coast of the Crimea is given. It was found that the genotypes 'Nagycorosi Orias', 'Professor Smykov' and 'Kazachok' have a high adaptive ability to the action of hydrothermal stress. These cultivars are characterized by increased water-retaining forces of leaves and a high level of tissue repair, due to which they can carry out normal physiological and biochemical processes in conditions of soil and atmospheric drought. 'Khurmai' cultivar shows labile stability. 'Krymsky Amur' demonstrates the instability of the indicators of the water regime, and relatively weak resistance to high temperatures and lack of moisture during critical periods of vegetation. The maximum content of chlorophylls "a" and "b" was found in the leaves of 'Kazachok' and 'Nagycorosi Orias' cultivars, the minimum - in the leaves of 'Alupkinsky' cultivar. Under the prolonged influence of atmospheric and soil drought, the dependence of the accumulation of chlorophylls on the degree of resistance of each cultivar is manifested: a decrease in the content of photosynthetic pigments was observed, most pronounced in the drought-resistant cultivars 'Alupkinsky' and 'Krymsky Amur'. The cultivars relatively resistant to hydrothermal stress showed an increase in the concentration of phenolic substances by the end of the summer season, whereas the unstable cultivars either decreased or remained at the same level at the end of summer.

Key words: apricot; water regime; drought resistance; water deficiency; water retention capacity; turgor; photosynthetic pigments; phenolic substances