

УСТОЙЧИВОСТЬ ЯБЛОНИ К ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМУ СТРЕССУ

М.Т. УПАДЫШЕВ¹, С.С. МАКАРОВ¹, Г.Ю. УПАДЫШЕВА²¹Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева;²ФГБНУ «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства»)

Аннотация. В условиях нестабильного климата устойчивость растений яблони к высоким температурам является важным сортовым признаком. Цель исследований – выявление показателей жаростойкости у растений различных сортов яблони в условиях термокамеры для суховоздушной обработки. Термообработку сортов Антоновка Обыкновенная, Лобо, Рождественское, Болотовское, Кандиль Орловский, Имрус проводили в термокамере при температуре +38°C, влажности воздуха 40% в течение 90 суток. Для термообработки использовали 2-летние растения яблони. Отмечена более высокая жаростойкость у сорта Лобо по сравнению с другими изученными сортами. Сорта яблони характеризовались средней (Лобо, Рождественское) и высокой (Болотовское, Имрус, Антоновка Обыкновенная, Кандиль Орловский) оводненностью, высокими потерями воды после моделируемого теплового шока, повышенным (Кандиль Орловский) и высоким (Болотовское, Имрус, Антоновка Обыкновенная, Лобо, Рождественское) водным дефицитом, высокой степенью восстановления оводненности листьев. Предложенный коэффициент жаростойкости характеризовался сильной степенью сопряженности с потерями воды ($r = -0,97$) и средней – с восстановлением оводненности ($r = 0,65$). Растения яблони отличались высокой выживаемостью после термотерапии, которая составила 92,3%.

Ключевые слова: яблоня, сорта, высокие температуры, термообработка, вегетативные показатели, показатели жаростойкости.

Введение

Воздействие на растения абиотическими факторами способно оказывать значительное влияние на вегетативные и генеративные параметры [6, 8–10, 16, 17, 22]. Важным свойством садовых растений является способность переносить высокие температуры в процессе вегетации, существенно не снижая вегетативную и генеративную продуктивность [4, 7, 18]. Для оценки жаростойкости и засухоустойчивости растений обычно используют показатели потерь воды, восстановления оводненности, водного дефицита, содержания воды (оводненности) в листьях и др. [7]. При этом жаростойкость часто оценивают после моделируемого теплового шока при +50°C.

Н.И. Ненько с соавт. изучал комплекс физиологических, анатомических, биохимических показателей водного режима яблони, что позволяло более объективно осуществить ранжирование сортов по их адаптационной способности переносить жару и засуху [11].

Показатели жаростойкости яблони и других садовых культур в значительной степени зависят от сортовых особенностей [3, 19–21]. Например, в исследованиях А.Н. Юшкова с соавт. после теплового шока растения разных сортов яблони

характеризовались потерями воды 10–62%, причем минимальные потери отмечены у сорта Гала, средние – у сортов Имант, Лучистое, Пасхальное [19]. В исследованиях тех же авторов отмечено, что относительно высокой способностью к восстановлению оводненности обладали сорта Гала, Таежное, Антоновка Обыкновенная, Имант и др. Исследования Е.А. Долматова и Б.Б. Корнилова показали, что в условиях моделируемого теплового шока (+50°C в течение 1,5 ч) одна форма подвоя яблони характеризовалась высокими потерями воды (51%), две другие – повышенными потерями (20–50%) при высокой степени оводненности (71–88%) у всех трех форм [1]. На груше среднеустойчивыми к условиям теплового шока оказались 5 сортообразцов, малоустойчивым – 1 сортообразец [5]. На сортах вишни отмечено варьирование способности к восстановлению оводненности листьев после обезвоживания от 115 до 178% [12].

Растения, листья которых теряют меньше воды в процессе увядания, считаются более засухоустойчивыми и жаростойкими по сравнению с растениями с более высокой потерей воды [3].

Цель исследований: выявление показателей жаростойкости у растений различных сортов яблони в условиях термокамеры для суховоздушной обработки.

Материал и методы исследований

Исследования проводили в 2021–2022 гг. в ФГБНУ ФНЦ Садоводства. Объектами исследований являлись растения яблони сортов Антоновка Обыкновенная, Лобо, Болотовское, Имрус, Кандиль Орловский, Рождественское, привитые на клоновые подвои 54–118. Растения в количестве по 6 шт. каждого сорта выращивали в пластиковых контейнерах объемом 5 л, наполненных грунтом Агробалт. Для термообработки использовали 2-летние растения яблони. Термическую обработку производили при температуре +38°C, влажности воздуха 40% в течение 90 суток в соответствии с методикой [13]. Термообработку осуществляли в термокамере с автоматическим поддержанием температуры корневой и надземной системы, влажности воздуха и грунта, освещением светодиодными светильниками. Подкормки удобрением Растворин Б проводили через каждые 10 дней. От вредителей растения обрабатывали препаратами Фитоверм, Вертимек, Битоксибациллин в рекомендованных производителями нормах расхода.

Потери воды в листьях, водный дефицит и восстановление оводненности определяли после моделируемого теплового шока в условиях термостата ТС-1/80 на протяжении 1,5 ч при температуре +50°C по методике [7]. Листья отбирали со средней части побега в количестве 3 шт. с каждого растения, число повторностей – 3.

Статистическую обработку данных проводили методами дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализа с использованием программного пакета Microsoft Excel 2010. Существенные различия определяли с достоверной вероятностью 95%.

Результаты и их обсуждение

Анализ вегетативной продуктивности растений яблони после трех месяцев термообработки показал, что у большинства сортов формировалось по 2 побега, за исключением сорта Рождественское, растения которого образовали 5 побегов (табл. 1).

Максимальной суммарной длиной побегов характеризовались растения сорта Лобо. На растениях сортов Антоновка Обыкновенная, Кандиль Орловский и Имрус суммарная длина побегов была в 1,5–1,6 раза, а у сорта Рождественское – в 2,5 раза ниже по сравнению с аналогичным показателем у сорта Лобо. Низкий прирост побегов (18 см) отмечен у сорта Болотовское.

Максимальная длина одного побега также отмечена у растений сорта Лобо, средняя – у сортов Антоновка Обыкновенная, Кандиль Орловский и Имрус (59–60,5 см, что в 1,5–1,6 раза ниже по сравнению с растениями сорта Лобо), низкая – у сортов Рождественское и Болотовское (соответственно в 6,4 и 10,3 раза ниже по сравнению с сортом Лобо).

Оценка показателей жаростойкости показала, что наибольшим содержанием общей воды в листьях отличался сорт Болотовское, наименьшим – сорта Лобо и Рождественское, остальные сорта по данному показателю занимали промежуточное положение (табл. 2).

Большинство изученных сортов (Болотовское, Имрус, Антоновка Обыкновенная, Кандиль Орловский) характеризовалось высокой оводненностью листьев (более 70%), сорта Лобо и Рождественское – средней оводненностью (от 50,1 до 70%).

Таблица 1

Число и длина побегов у растений яблони разных сортов после термообработки при температуре +38°C в течение 90 суток

Сорт	Число побегов, шт.	Суммарная длина побегов, см	Средняя длина 1 побега, см
Антоновка Обыкновенная	2,0	121,0	60,5
Лобо	2,0	186,0	93,0
Болотовское	2,0	18,0	9,0
Имрус	2,0	118,0	59,0
Кандиль Орловский	2,0	120,0	60,0
Рождественское	5,0	73,0	14,6
НСР ₀₅	0,3	11,4	7,8

Таблица 2

Показатели жаростойкости у растений яблони разных сортов в процессе термообработки при температуре +38°C

Сорт	Содержание общей воды в листьях, %	Потери воды в листьях, %	Водный дефицит, %	Восстановление оводненности, %	Коэффициент жаростойкости, ед.
Антоновка Обыкновенная	73,9 аб*	61,1	59,3 бв	98,7 абв	1,44
Лобо	67,7 а	52,9	68,2 бв	128,8 в	1,62
Болотовское	81,4 б	67,9	55,0 аб	81,1 аб	1,32
Имрус	77,5 аб	67,7	73,4 в	111,2 бв	1,34
Кандиль Орловский	73,2 аб	59,9	43,3 а	74,4 а	1,43
Рождественское	69,5 а	57,0	56,4 аб	98,0 абв	1,48
НСР ₀₅		$F_{\phi} < F_{05}$			$F_{\phi} < F_{05}$

*Разные буквы обозначают наличие существенных различий при 5%-ном уровне значимости.

Потери воды в листьях варьировали в незначительных пределах (от 52,9 до 67,9%) и существенно не зависели от сортовых особенностей, хотя минимальная потеря воды, как и ее содержание, отмечена у растений яблони сорта Лобо. У сорта Болотовское при высоком содержании воды в листьях ее потери также были самыми высокими. По существующей градации все изученные сорта отнесены к группе с высокой потерей воды (более 50%).

Водный дефицит, показывающий отношение массы, поступившей после насыщения воды, к общей массе воды в листьях, существенно зависел от сорта. Минимальный водный дефицит был характерен для сорта Кандиль Орловский, тогда как максимальный – для сорта Имрус (в 1,7 раза выше, чем на сорте Кандиль Орловский). Сорт Кандиль Орловский отнесен к сортам с повышенным водным дефицитом (от 30,1 до 50%), остальные сорта – с высоким водным дефицитом (более 50%). Вместе с тем у сортов Болотовское и Рождественское показатели водного дефицита существенно не отличались от показателей сорта Кандиль Орловский. Относительно низкий водный дефицит является фактором, положительно влияющим на жаростойкость растений.

Параметр восстановления оводненности, отражающий отношение массы, поглощенной при насыщении воды, к ее потере при подвядании листьев, определялся сортовыми особенностями. Высокий параметр восстановления оводненности является характеристикой повышенной жаростойкости. Все изученные сорта отнесены к группе с высокой степенью восстановления оводненности (более 70%). Наибольшей способностью к восстановлению оводненности после теплового шока отличался сорт Лобо, наименьшей – Кандиль Орловский (в 1,7 раза ниже по сравнению с Лобо), остальные сорта занимали промежуточное положение. У сортов Лобо и Имрус значения восстановления оводненности превышали 100% в связи с пересыщением листьев водой. В исследованиях других авторов показатель восстановления оводненности после моделируемого теплового шока для 9 из 22 изученных сортов и форм яблони также был выше 100% [4].

При проведении анализа показателей жаростойкости установлено, что в ряде случаев на одном и том же сорте один показатель жаростойкости увеличивается, а другой – снижается, и это затрудняет корректную оценку жаростойкости сорта в целом. Поэтому нами был предложен коэффициент жаростойкости, рассчитываемый как отношение суммы показателей содержания воды в листьях, %, и восстановления оводненности, %, к сумме потерь воды, %, и водного дефицита, %. С увеличением коэффициента жаростойкость возрастает.

Анализ коэффициента жаростойкости показал отсутствие существенных различий между изученными сортами. Вместе с тем более высоким коэффициентом жаростойкости характеризовался сорт Лобо, средним – сорта Рождественское, Кандиль Орловский и Антоновка Обыкновенная, низким – сорта Болотовское и Имрус (соответственно на 22,7 и 20,9% ниже по сравнению с сортом Лобо).

Корреляционный анализ показал, что коэффициент жаростойкости слабо зависел от числа побегов ($r = 0,29$), но в средней степени определялся суммарной длиной побегов ($r = 0,50$) (табл. 3).

Трехмерный график поверхности показывает, что с увеличением суммарной длины побегов имеется тенденция увеличения коэффициента жаростойкости (рис. 1). Низкие приросты побегов соответствуют меньшим коэффициентам жаростойкости. Вместе с тем между средней длиной одного побега и коэффициентом жаростойкости корреляция была слабой ($r = 0,26$).

Между коэффициентом жаростойкости и потерями воды установлена сильная отрицательная корреляция ($r = -0,97$), между коэффициентом жаростойкости и восстановлением оводненности – средняя положительная корреляция ($r = 0,65$).

**Сопряженность между показателями роста и жаростойкости яблони
с применением метода множественной корреляции***

Показатель	Число побегов	Суммарная длина побегов	Длина 1 побега	Коэффициент жаростойкости	Содержание воды	Потери воды	Водный дефицит	Восстановление оводненности
Число побегов	1							
Суммарная длина побегов	0,133	1						
Длина 1 побега	-0,541	0,680	1					
Коэффициент жаростойкости	0,287	0,501	0,259	1				
Содержание воды	-0,216	-0,299	-0,186	-0,407	1			
Потери воды	-0,249	-0,510	-0,318	-0,971	0,521	1		
Водный дефицит	0,389	0,397	0,043	0,378	-0,081	-0,249	1	
Восстановление оводненности	0,402	0,547	0,179	0,647	-0,202	-0,549	0,935	1

*0,349 – существенный коэффициент корреляции при 5%-ном уровне значимости.

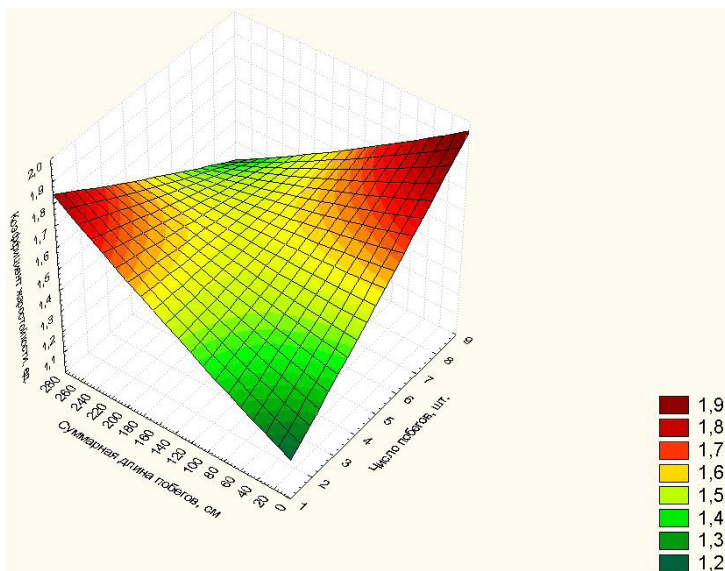


Рис. 1. Коэффициент жаростойкости в зависимости от числа и суммарной длины побегов яблони

С увеличением содержания воды в листьях имелась тенденция увеличения потерь воды после теплового шока: между данными параметрами установлена средняя положительная корреляция ($r = 0,52$).

Растения яблони в целом характеризовались высокой выживаемостью после термообработки, которая составила 92,3%. Оценка состояния растений показала наличие некрозов на листьях в верхушечной части побегов у сортов Болотовское и Рождественское, на остальных сортах некрозы отсутствовали. Следовательно, изученные сорта яблони характеризовались средней (Лобо, Рождественское) и высокой (Болотовское, Имрус, Антоновка Обыкновенная, Кандиль Орловский) оводненностью, высокими потерями воды после моделируемого теплового шока, повышенным (Кандиль Орловский) и высоким (Болотовское, Имрус, Антоновка Обыкновенная, Лобо, Рождественское) водным дефицитом, высокой степенью восстановления оводненности листьев.

В исследованиях Б.Б. Корнилова с соавт. также отмечена у большинства изученных форм и сортов яблони (у 20 из 22) высокая степень восстановления оводненности листьев, что в комплексе с другими показателями позволило отнести их к растениям, среднеустойчивым к высоким температурам [4].

Показатели потерь воды и восстановления оводненности являются одними из наиболее важных при оценке жаростойкости растений яблони в условиях термокамеры. Между данными показателями и суммарной длиной побегов имела место средняя по силе корреляция. С увеличением потерь воды уменьшалась суммарная длина побегов. Повышение восстановления оводненности сопровождалось увеличением суммарной длины побегов.

Между водным дефицитом и вегетативными показателями (число и суммарная длина побегов) имела место слабая корреляция. Возможно, это связано с тем, что показатель водного дефицита является более актуальным для условий открытого грунта, а в условиях термокамеры с капельным поливом и автоматическим поддержанием влажности воздуха данный показатель оказывает меньшее влияние на вегетативное развитие растений яблони. Об актуальности показателя водного дефицита в условиях агроценозов сообщали и другие исследователи [19].

Предложенный коэффициент жаростойкости характеризовался сильной степенью сопряженности с потерями воды, средней степенью – с восстановлением оводненности. Другие исследователи также отмечали сложность комплексной оценки жаростойкости и засухоустойчивости растений, предлагая, например, для общей оценки использовать методику ранжирования каждого показателя по 4-балльной шкале (от неустойчивых до высокоустойчивых) с последующим суммированием показателей и расположением генотипов яблони в порядке возрастания суммарного показателя [19]. Данная методика может рассматриваться как рациональный подход к комплексной оценке жаростойкости, однако характеризуется определенной долей субъективизма в оценке балла устойчивости. Как и в наших исследованиях, авторами установлена сильная корреляция между показателем суммы рангов и потерями воды, средняя по силе зависимость комплексного показателя от степени восстановления оводненности.

Между суммарной длиной побегов и коэффициентом жаростойкости изученных сортов яблони установлена средняя положительная корреляция ($r = 0,50$), тогда как между средней длиной одного побега и коэффициентом жаростойкости корреляционная связь отсутствовала. В наших более ранних экспериментах сорта груши с более высокой жаростойкостью формировали побеги меньшей длины по сравнению с сортами, характеризующимися более низкой жаростойкостью [14, 15].

Наиболее высоким коэффициентом жаростойкости отличался сорт Лобо, что было связано с минимальными потерями воды и максимальным восстановлением оводненности после теплового шока.

Некрозы листьев у сорта Болотовское, вероятно, связаны с высокими потерями воды и относительно низкой по сравнению с другими сортами яблони способностью к восстановлению оводненности, что приводило к повреждению тканей листьев. Аналогичный эффект отмечали Ю.А. Иващенко и другие авторы в исследованиях на персике, когда у сортов с высокой потерей воды происходило повреждение структурных компонентов клеток, что приводило к снижению способности листьев к восстановлению тургора [2].

Высокая выживаемость растений яблони при термообработке связана с биологическими особенностями культуры и конструкцией использованной термокамеры, обеспечивающей градиент температуры корневой и надземной систем растений, автоматическое увлажнение воздуха и капельный полив.

Выводы

Изучены основные показатели жаростойкости 6 сортов яблони при термообработке. Отмечена более высокая жаростойкость у сорта Лобо по сравнению с жаростойкостью других изученных сортов. Сорта яблони характеризовались средней (Лобо, Рождественское) и высокой (Болотовское, Имрус, Антоновка Обыкновенная, Кандиль Орловский) оводненностью, высокой потерей воды после моделируемого теплового шока, повышенным (Кандиль Орловский) и высоким (Болотовское, Имрус, Антоновка Обыкновенная, Лобо, Рождественское) водным дефицитом, высокой степенью восстановления оводненности листьев. Предложенный коэффициент жаростойкости характеризовался сильной степенью сопряженности с потерями воды ($r = -0,97$) и средней – с восстановлением оводненности ($r = 0,65$).

Растения яблони характеризовались высокой выживаемостью после термообработки, которая составила 92,3%.

Библиографический список

1. Долматов Е.А., Корнилов Б.Б. Морфобиологическая характеристика элитных декоративных форм яблони генофонда ФГБНУ ВНИИСПК // Плодоводство и ягодоводство России. – 2017. – Т. 48. – Ч. 1. – С. 78–82.
2. Иващенко Ю.А., Смыков А.В., Федорова О.С., Пилькевич Р.А. Засухоустойчивость сортов персика иностранной селекции в условиях Никитского ботанического сада // Плодоводство и ягодоводство России. – 2017. – Т. 51. – С. 140–145.
3. Комар-Тёмная Л.Д. Оценка засухоустойчивости декоративных сортов *Prunus persica* // Плодоводство и ягодоводство России. – 2017. – Т. 50. – С. 161–165.
4. Корнилов Б.Б., Долматов Е.А., Ожерельева З.Е. Результаты изучения засухо- и жароустойчивости декоративных форм семечковых культур (яблоня, груша) генофонда ВНИИСПК // Плодоводство и ягодоводство России. – 2015. – Т. 41. – С. 186–191.
5. Корнилов Б.Б., Ожерельева З.Е., Долматов Е.А., Хрыкина Т.А. Жаро- и засухоустойчивость некоторых декоративных сортообразцов груши генофонда ВНИИСПК // Современное садоводство. – 2018. – № 3. – С. 39–45. DOI: 10.24411/2312-6701-2018-10306.
6. Куликов И.М., Трунов Ю.В., Соловьев А.В., Борисова А.А., Тумаева А.А., Унадышев М.Т., Муратова С.А., Грачёва Т.А. Основы инновационного развития питомниководства России: монография. – М.: Всероссийский селекционно-технологический институт садоводства и питомниководства, 2018. – 188 с. – ISBN978-5-00140-013-4.
7. Леонченко В.Г., Евсеева Р.П., Жбанова Е.В., Черенкова Т.А. Предварительный отбор перспективных генотипов плодовых растений на экологическую

устойчивость и биохимическую ценность плодов: Методические рекомендации. – Мичуринск, 2007. – 72 с.

8. Макаров С.С., Упадышев М.Т., Кузнецова И.Б., Заушинцева А.В., Куликова Е.И., Сурина Е.А. Применение освещения различного спектрального диапазона при клональном микроразмножении лесных ягодных растений // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2022. – № 6 (390). – С. 82–93. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-6-82-93. – EDN KZOJIS.

9. Макаров С.С., Упадышев М.Т., Хамитов Р.С., Антонов А.М., Куликова Е.И., Кузнецова И.Б. Перспективы промышленного выращивания и биотехнологические методы размножения лесных ягодных растений: монография. – М.: Колос-с, 2023. – 152 с.

10. Минаева Н.А., Упадышева Г.Ю. Потенциал морозостойкости привойно-подвойных комбинаций сливы при искусственном промораживании // Плодоводство и ягодоводство России. – 2012. – Т. 31, № 2. – С. 65–72.

11. Ненько Н.И., Киселева Г.К., Ульяновская Е.В., Яблонская Е.К., Каравеева А.В. Физиолого-биохимические критерии устойчивости яблони к абиотическим стрессам летнего периода // Сельскохозяйственная биология. – 2019. – № 54 (1). – С. 158–168. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.1.158rus.

12. Ожерельева З.Е., Ефремов И.Н. Изучение жаро- и засухоустойчивости *Prunus cerasus* L. // Плодоводство и ягодоводство России. – 2020. – Т. 63. – С. 77–88. DOI: 10.31676/2073-4948-2020-63-77-88.

13. Борисова А.А., Упадышев М.Т., Мельникова Н.Н. [и др.]. Технология получения сертифицированного посадочного материала плодовых и ягодных культур: метод. указания. – М.: Всероссийский селекционно-технологический институт садоводства и питомниководства, 2009. – 84 с.

14. Упадышев М.Т. Действие препарата Фармайод при оздоровлении растений груши от вирусов методом термотерапии // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2022. – № 23 (6). – С. 822–831. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.6.822-831.

15. Упадышев М.Т. Жаростойкость растений груши в процессе оздоровления от латентных вирусов с применением метода суховоздушной термотерапии // Садоводство и виноградарство. – 2022. – № 1. – С. 44–51. DOI: 10.31676/0235-2591-2022-1-44-51.

16. Упадышева Г.Ю. Влияние стресс-факторов летнего периода на продуктивность современных сортов // Плодоводство и ягодоводство России. – 2012. – Т. 31, № 2. – С. 277–283.

17. Упадышева Г.Ю. Исследование морозостойкости корнесобственной и привитой алычи в контролируемых условиях // Плодоводство и ягодоводство России. – 2023. – Т. 73. – С. 26–31. DOI: 10.31676/2073-4948-2023-73-26-32.

18. Цюпка С.Ю., Шоферистов Е.П., Иващенко Ю.А. Засухоустойчивость интродуцированных сортов нектарина // Плодоводство и ягодоводство России. – 2017. – Т. 50. – С. 291–294.

19. Юшков А.Н., Борзых Н.В., Земисов А.С. Оценка устойчивости исходных форм яблони к абиотическим стрессорам // Современное садоводство. – 2015. – № 4. – С. 8–13.

20. Berezina T.V., Savin E.Z. Promising drought-resistant and heat-resistant species and varieties of the genus *Malus* Mill. for creation of sustainable agrocenoses in the Trans-Volga-Ural region steppe // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. – 2021. – Vol. 817. – P. 12–16. DOI: 10.1088/1755-1315/817/1/012016.

21. Tworkoski T., Fazio G., Glenn D.M. Appleroostockresistancetodrought//Scientia Horticulturae. – 2016. – № 204. – Pp. 70–78. DOI: 10.1016/j.scienta.2016.01.047.

22. Upadysheva G.Yu., Motyleva S.M., Tumaeva T.A., Mertvisheva M.E., Upadyshev M.T. Study of frost resistance of generative buds of scion/rootstock combinations of sweet cherry by freezing in uncontrolled conditions // E3S Web of Conferences/254/02012(2021). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125402012>.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ФГБНУ ФНЦ Садоводства (FGUW-2021–0004).

APPLE TREE RESISTANCE TO HIGH TEMPERATURE STRESS

M.T. UPADISHEV¹, S.S. MAKAROV¹, G.YU. UPADISHEVA²

(¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy;

²Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery)

Under unstable climatic conditions, the resistance of apple trees to high temperatures is an important varietal trait. The aim of the research is to identify heat resistance indicators of different apple varieties in a heat chamber for dry air treatment. The heat treatment of the varieties Antonovka Obyknovennaya, Lobo, Rozhdestvenskoe, Bolotovskoe, Kandil Orlovskiy, Imrus was carried out in a heat chamber at the temperature of +38°C and air humidity of 40% for 90 days. For the heat treatment, 2-year-old apple plants were used. Higher heat resistance was observed in the Lobo variety compared to the other varieties studied. The apple varieties were characterized by medium (Lobo, Rozhdestvenskoe) and high (Bolotovskoe, Imrus, Antonovka Obyknovennaya, Kandil Orlovskiy) water content, high water losses after a simulated heat shock, increased (Kandil Orlovskiy) and high (Bolotovskoe, Imrus, Antonovka Obyknovennaya, Lobo, Rozhdestvenskoe) water deficit, high degree of restoration of leaf water content. The proposed heat resistance coefficient was characterized by a strong degree of association with water loss ($r = -0.97$) and a moderate degree of association with water content restoration ($r = 0.65$). Apple plants had a high survival rate after thermotherapy, which was 92.3%.

Keywords: apple tree, varieties, high temperatures, heat treatment, vegetative indicators, heat resistance indicators.

Acknowledgements

The research was carried out as part of the implementation of the state task of the Federal Horticultural Research Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery (FGUW-2021–0004).

References

1. Dolmatov E.A., Kornilov B.B. V orphobiological characteristic of elite ornamental apple genotypes from the gene pool of all russian research institute of fruit crop breeding. *Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2017;48(1):78–82. (In Russ.)
2. Ivashchenko I.A., Smykov A.V., Fedorova O.S., Pilkevich R.A. The drought resistance on peach varieties of foreign breeding in conditions of the south coast of Nikitsky Botanical Garden. *Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2017;51:140–145. (In Russ.)
3. Komar-Tyomnaya L.D. Evaluation of drought resistance of prunus persica ornamental varieties. *Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2017;50:161–165. (In Russ.)

4. Kornilov B.B., Dolmatov E.A., Ozherelyeva Z.E. The results of study of draught and heat resistance of ornamental forms of pip crops (apple, pear) of the All Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding gene pool. *Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2015;41:186–191. (In Russ.)
5. Kornilov B.B., Ozhereleva Z.E., Dolmatov E.A., Khrykina T.A. Heat and drought resistance of some ornamental pear genotypes from VNIISPK gene pool. *Contemporary Horticulture*. 2018;3:39–45. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2312-6701-2018-10306>
6. Kulikov I.M., Trunov Yu.V., Solovyov A.V., Borisova A.A., Tumaeva A.A., Upadyshev M.T., Muratova S.A., Gracheva T.A. *Fundamentals of innovative development of nursery production in Russia*. Moscow, Russia: Vserossiyskiy selektsionno-tekhnologicheskiy institut sadovodstva i pitomnikovodstva, 2018:188. (In Russ.)
7. Leonchenko V.G., Evseeva R.P., Zhanova E.V., Cherenkova T.A. *Preliminary selection of promising genotypes of fruit plants for ecological stability and biochemical value of fruits: guidelines*. Michurinsk, Russia, 2007:72. (In Russ.)
8. Makarov S.S., Upadyshev M.T., Kuznetsova I.B., Zaushintsena A.V., Kulikova E.I., Surina E.A. The use of lighting of various spectral ranges for clonal micropropagation of forest berry plants. *Russian Forestry Journal*. 2022;6(390):82–93. (In Russ.) <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-6-82-93>
9. Makarov S.S., Upadyshev M.T., Khamitov R.S., Antonov A.M., Kulikova E.I., Kuznetsova I.B. *Prospects for industrial cultivation and biotechnological methods of propagation of forest berry plants*. Moscow, Russia: OOO “Izdatel’sko-knigotorgoviy tsentr “Kolos-s”, 2023:152. (In Russ.)
10. Minaeva N.A., Upadysheva G.Yu. Frost resistance potential of scion-rootstock combinations of plums during artificial freezing. *Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2012;31(2):65–72. (In Russ.)
11. Nenko N.I., Kiseleva G.K., Ulyanovskaja E.V., Yablonskaya E.K., Karavaeva A.V. Physio-biochemical criteria for apple tree tolerance to summer abiotic stresses. *Agricultural Biology*. 2019;54(1):158–168. (In Russ.) <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2019.1.158rus>
12. Ozherelieva Z.E., Efremov I.N. Study of heat and drought resistance of *Prunus cerasus* L. *Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2020;63(1):77–88. (In Russ.) <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2020-63-77-88>
13. Borisova A.A., Upadyshev M.T., Melnikova N.N. et al. *Technology for obtaining certified planting material for fruit and berry crops*. Moscow, Russia: Vserossiyskiy selektsionno-tekhnologicheskiy institut sadovodstva i pitomnikovodstva, 2009:84. (In Russ.)
14. Upadyshev M.T. The effect of the Pharmaiod preparation in the virus elimination of pear plants using the thermotherapy method. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2022;23(6):822–831. (In Russ.) <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.822-831>
15. Upadyshev M.T. Heat resistance of pear plants during recovery from latent viruses using dry-air thermotherapy. *Horticulture and viticulture*. 2022;(1):44–51. (In Russ.) <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2022-1-44-51>
16. Upadysheva G.Yu. The influence of summer stress factors on the productivity of modern varieties. *Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2012;31(2):277–283. (In Russ.)
17. Upadysheva G.Yu. Study of frost resistance of own-rooted and grafted cherry plum under controlled conditions. *Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2023;73(1):26–31. (In Russ.) <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2023-73-26-32>
18. Tsiupka S.Yu., Shoferistov E.P., Ivashchenko Ya.A. Drought tolerance of introduced nectarine varieties. *Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2017;50:291–294. (In Russ.)

19. *Yushkov A.N., Borzykh N.V., Zemisov A.S.* Apple initial forms and their estimation for resistance abiotic stressors. *Contemporary Horticulture*. 2015;4:8–13. (In Russ.)
20. *Berezina T.V., Savin E.Z.* Promising drought-resistant and heat-resistant species and varieties of the genus *Malus* Mill. for creation of sustainable agroecosystems in the Trans-Volga-Ural region steppe. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. sci.* 2021;817:012016. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/817/1/012016>
21. *Tworowski T., Fazio G., Glenn D.M.* Apple rootstock resistance to drought. *Scientia Horticulturae*. 2016;204:70–78. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.047>
22. *Upadysheva G.Yu., Motyleva S.M., Tumaeva T.A., Mertvisheva M.E., Upadyshev M.T.* Study of frost resistance of generative buds of scion/rootstock combinations of sweet cherry by freezing in controlled conditions. *E3S Web of Conferences*. 2021;254:02012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125402012>

Сведения об авторах

Упадышев Михаил Тарьевич, д-р с.-х. наук, член-корреспондент РАН, профессор кафедры биотехнологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: upad8@mail.ru; тел.: (499) 976-40-72

Макаров Сергей Сергеевич, д-р с.-х. наук, заведующий кафедрой декоративного садоводства и газоноведения, Российский государственный аграрный университет – МСХА К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: s.makarov@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976-05-45

Упадышева Галина Юрьевна, канд. с.-х. наук, заведующий отделом агротехнологий в садоводстве, ФГБНУ Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства; 115598, Российская Федерация, г. Москва, ул. Загорьевская, 4; e-mail: upad64@mail.ru; тел. (495) 329-34-11

About the authors

Mikhail T. Upadyshev, DSc (Agr), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor at the Department of Biotechnology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976-40-72; e-mail: upad8@mail.ru)

Sergey S. Makarov, DSc (Agr), Head of the Department of Decorative Gardening and Lawn Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976-05-45; e-mail: s.makarov@rgau-msha.ru)

Galina Yu. Upadysheva, CSc (Agr), Head of the Department of Agricultural Technologies in Horticulture, Federal Scientific Selection and Technology Center for Horticulture and Nursery Growing (4 Zagor'evskaya St., Moscow, 115598, Russian Federation; phone: (495) 329-34-11; e-mail: upad64@mail.ru)