

УДК 634.11:631.541(471.63)

DOI: 10.36305/0513-1634-2021-140-60-68

ОЦЕНКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ «ГЕНОТИП ПОДВОЯ - ПРИВОЙНО-ПОДВОЙНЫЕ КОМБИНАЦИИ ЯБЛОНИ - СРЕДА» ПРИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ СТРЕССАХ ЛЕТНЕГО ПЕРИОДА В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ

**Ирина Александровна Драгавцева, Ирина Львовна Ефимова,
Анна Васильевна Клюкина**

**ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства,
виноградарства, виноделия»**

350072, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. 40-летия Победы, 39

E-mail: I_d@list.ru

Урожайность плодовых культур существенно зависит от климатических условий выращивания. Актуальность работы обусловлена усилением вредоносности высокотемпературных стрессов во время прохождения важнейшего этапа дифференциации генеративных органов в счет будущего урожая и созревания текущего. В Краснодарском крае все чаще отмечаются новые рекорды наступления высоких температур в летние месяцы, когда среднесуточная температура превышает климатическую норму на 4–7 градусов. Цель исследования - изучение устойчивости подвоев яблони к летним высокотемпературным стрессам, оценка взаимодействия в системе «генотип подвоя–привойно-подвойные комбинации яблони–среда» в условиях меняющегося климата, а также выявление подвоев, наиболее адаптированных к климатическим условиям юга России. Проведена оценка засухоустойчивости подвоев яблони в условиях повышенного температурного фона. Деревья яблони сорта Прикубанское на полукарликовом подвое СК 2 и карликовых М 9 и СК 7 имели наибольшую оводненность листьев и лучшую их водоудерживающую способность. Наиболее урожайными оказались деревья на подвоях М 9 и СК 7. У деревьев на полукарликовых подвоях наиболее высокая и стабильно растущая урожайность была на подвое СК 2. Следовательно, реализация генетико-физиологических систем адаптивности засухоустойчивых подвоев детерминировала уровень урожайности привитых деревьев яблони. Использование подвоев яблони с высоким биопотенциалом устойчивости к абиотическим стрессам является элементом биологизированной компенсации повреждающего действия климатических стрессоров в экологизированной технологии производства продукции садоводства.

Ключевые слова: *яблоня; привойно-подвойные комбинации; продуктивность; адаптивность; высокотемпературные стрессы; засухоустойчивость*

Введение

Одним из главных направлений науки, решающим проблему обеспечения продовольствием населения планеты, особенно в условиях изменения климата, является агроэкология – комплекс научно обоснованных приемов и технологий выращивания сельскохозяйственных культур, с использованием отзывчивого на биотические и абиотические факторы лучшего генетического материала, предусматривающий гарантированное получение высококачественной, конкурентоспособной на мировом рынке продукции при низкой ее себестоимости [7].

Направленность исследований соответствует научно-технологическим российским и мировым приоритетам в области фундаментальных научных основ интенсивных технологий в селекционных процессах, растениеводстве и рациональном природопользовании, согласуется с ключевыми целями национального проекта «Наука» в плане обеспечения присутствия Российской Федерации в числе пяти ведущих стран мира, осуществляющих научные исследования и разработки в областях, определяемых приоритетами научно-технологического развития, и состоит в выделении и создании сортов и подвоев семечковых и косточковых плодовых культур с

высоким биопотенциалом устойчивости к био- и абиотическим стрессам для закладки интенсивных насаждений многолетних плодовых культур различных конструкций, что в полной мере отвечает принятой в РФ Программе импортозамещения.

Урожайность плодовых культур существенно зависит от климатических условий выращивания, при этом плодовые культуры и сорта имеют свои коридоры температурного оптимума для успешного прохождения каждой фазы онтогенеза, а также индивидуальные характеристики их реакции на погодные экстремумы, вызывающие дискомфорт генотипа различной степени в эти фазы, что ведет к снижению или даже гибели урожая [4, 12].

Изменение климата проявляется неоднозначно в разных районах и микрорайонах промышленного садоводства, особенно при выращивании плодовых в условиях сложного рельефа (Мелони М., Тиеста Дж., 2015). Меняются среднемноголетние параметры метеофакторов, сроки их наступления по годам, сила и направленность температурных стрессоров. Это обусловило пространственно-временную разбалансировку эволюционно сложившегося соответствия ритмов вегетации конкретных культур и сортов и климатического, следствием чего явилось изменение (чаще негативное) устойчивости растений к стрессорам в определенные фазы развития, особенно в летний период вегетации [5].

В Краснодарском крае все чаще отмечаются новые рекорды тепла в летние месяцы, когда среднесуточная температура превышает климатическую норму на 4–7 градусов. По данным Гидрометцентра, 22 июня 2019 г.а воздух в Краснодарском крае раскалился до 30–35 градусов. В г. Краснодар столбики термометров накануне поднялись до +36,3 градусов, это тоже новые рекорды, подобная жара в июне даже для юга России — аномальное явление [1].

Для стабилизации плодоношения плодовых в условиях частых высоких температур воздуха в летний период, Т.Н. Дорошенко [14] указала на целесообразность закладывания насаждений многолетних с использованием высокоадаптивных сортов и подвоев, а также на основании анализа температурных изменений, происходящих в последние годы в течение июня-августа на южных территориях европейской части России, и выделила следующие неблагоприятные факторы:

- высокие (выходящие за пределы допустимых для нормальной жизнедеятельности плодовых растений значений) температуры воздуха в первой половине лета (например, 2009 г.);
- высокие температуры, превышающие биологически допустимый уровень во второй половине летнего периода (2008, 2011, 2014, 2015, 2017 гг.);
- высокие температуры воздуха в течение всего летнего сезона с периодическим снижением до оптимальных значений (2010, 2012, 2013, 2016, 2018 гг.).

Происходящие изменения климата, новые экологические нагрузки уже оказывают глубокое влияние на физиологическое функционирование растений. Из-за быстрого изменения климата растения все чаще подвергаются воздействию новых условий окружающей среды, которые выходят за пределы диапазона, к которому они адаптированы, влияют на их физиологическое состояние, что может привести к снижению их жизнеспособности и продуктивности [13].

Научные исследования, направленные на выявление устойчивости сельскохозяйственных культур к абиотическим стрессорам, являются приоритетными при решении проблемы повышения урожаев особенно многолетних плодовых культур, ежегодно испытывающих влияние разнообразных стресс-факторов среды в разные фазы своего онтогенеза на протяжении всей жизни [15].

Оптимизировать продукционный процесс у многолетних плодовых культур можно в рамках генетико-селекционной парадигмы, заключающейся в генетическом

улучшении адаптивности растений путем выведения новых высокоустойчивых к изменениям лим-факторов среды растений, характеризующихся более низкими затратами на защитно-компенсаторные реакции. Причем чем более разнообразны и менее благоприятны почвенно-климатические условия данного региона, тем менее прогнозируемы и необычны возможные погодные флуктуации и тем большим запасом экологической устойчивости (надежности) должны обладать сорта (гибриды), культивируемые виды, агроценозы и агросистемы».

Особенности изменения температурного режима в регионе, особенно в летний период вегетации, осложняют прохождение плодовыми растениями периодов развития, имеющих решающее значение для оптимальной реализации их продукционного потенциала в текущий год и в последующий. Поэтому для современных интенсивных насаждений яблони решающим фактором выбора сортов и подвоев является наличие у них генетически обусловленной устойчивости к неблагоприятным почвенно-климатическим условиям конкретного региона возделывания [8].

Селекция и сортоизучение подвоев яблони продолжается во многих странах с развитым промышленным садоводством. Важность этого фактора многократно возрастает в условиях меняющегося климата с участвующими погодными стрессами, адаптивность к которым, как показал производственный опыт, у интродуцированных сортов и подвоев часто недостаточная.

Поэтому особое внимание следует уделять выявлению типов подвоев с высоким собственным адаптивным потенциалом [10], благоприятно влияющим на физиологические процессы у привитых растений, особенно в уплотненных посадках, где возрастает конкуренция за воду.

Актуальность исследований по выделению генотипов подвоев яблони с максимальным проявлением устойчивости к абиотическим стрессам летнего периода вегетации обусловлена усилением дискомфорта для роста и развития плодовых растений погодных условий, усилением вредоносности высокотемпературных стрессов, особенно проявляющихся во время прохождения важнейшего этапа закладки генеративных органов будущего урожая. Изучение генотипического разнообразия подвоев и привойно-подвойных комбинаций (ППК) плодовых культур и особенностей реализации их адаптивного потенциала по признаку устойчивости к высокотемпературным стрессам на фоне повышенного температурного режима в новых климатических условиях, является важным направлением исследований как в России, так и в странах с развитым промышленным садоводством [2, 6, 14].

Цель исследований - изучение устойчивости подвоев яблони к высокотемпературным стрессам летнего периода, оценка взаимодействия в системе «генотип подвоя - ППК яблони - среда» по влиянию подвоя на стабилизацию продукционного процесса привойно-подвойных комбинаций в условиях меняющегося климата, а также выделение подвоев, наиболее адаптированных к особенностям почвенно-климатических условий юга России.

Объекты и методы исследования

Объекты исследований – подвои яблони (*Malus* Mill.) различного географического происхождения и ППК яблони сорта Прикубанское с их участием. Изучение клоновых подвоев яблони проводились в ОПХ «Центральное» в маточнике отводочных подвоев, возделываемом по технологии размножения горизонтальными отводками с использованием в качестве мульчирующего материала рисовой шелухи, и в опытном саду закладки 2013 г. Схема посадки деревьев 4,5х0,9-1,8 м. Почва в саду содержится с залужением сеянными травами с обработкой в ряду. Квартал условно орошаемый.

В работе использованы полевые и лабораторные методы исследования.

Анализировали проявление флуктуаций климата во времени, заключающееся в изменении величины температурных стрессов летнего периода вегетации. Урожайность растений и параметры водного режима различных подвоев яблони, объективно отражающие функциональное состояние растительного организма (оводненность листьев, водоудерживающую способность) определяли по общепринятой «Программе и методике сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур (1999 г.)

Обработку полученных экспериментальных данных осуществляли методами математической статистики с применением дисперсионного анализа в программе Microsoft Office Excel 2003.

Результаты и обсуждение

Для выявления изменений температурного режима летнего периода вегетации была проведена оценка отклонения среднедекадной температуры воздуха от нормы в летние месяцы 2016-2019 годах (табл. 1).

Таблица 1

**Отклонение от нормы среднедекадной температуры воздуха
в 2016-2019 гг. (г. Краснодар)**

Месяц	Декада	Отклонение t°C от нормы			
		2016	2017	2018	2019
Июнь	I	-1,2	2,3	0,8	4,4
	II	2,9	-0,6	2,8	5,3
	III	6,0	2,0	5,4	3,8
Июль	I	1,9	0,9	3,5	1,2
	II	3,9	1,3	2,5	-2,4
	III	1,4	1,3	2,3	-0,1
Август	I	4,1	5,0	2,2	-1,9
	II	3,3	4,8	2,5	1,3
	III	5,9	1,2	4,2	3,1

Из данных таблицы видно, что летний период вегетации, особенно наиболее уязвимый для закладки будущего урожая яблони период (июль, август) ежегодно сопровождался в подавляющем большинстве случаев превышением текущих показателей над среднемноголетними значениями температуры воздуха. Так, наибольшие отклонения от нормы в июне имели место в 2016 г. (6°C) и в 2018 г. (5,4°C). В июле максимальные отклонения от нормы отмечены также в 2016 и 2018 годах (3,9 и 3,5°C). В августе наибольшие отклонения зафиксированы в 2016, 2017 и 2018 годах (5,9; 5,0 и 4,2°C соответственно).

Расчет среднего ежегодного отклонения среднедекадной температуры воздуха от нормы за июнь – август в 2016-2019 гг. показал, что оно составило, соответственно, 3,1; 2,0; 2,9 и 1,9°C, то есть максимальным оно было в тех же 2016 и 2018 гг.

Таким образом, проведенный анализ выявил наличие высокотемпературных стрессов вовремя одновременно протекающих важнейших и напряженных этапов развития яблони – дифференциации плодовых почек и созревания плодов урожая текущего года.

У привитых растений яблони важную роль в регуляции процессов жизнедеятельности играет подвой, определяя, наряду с интенсивностью ростовых процессов, во многом и уровень генеративной продуктивности деревьев. При этом как начало плодоношения (скороплодность), так и темпы нарастания потенциала

продуктивности привитого дерева определяются не только сортом, но и в большой степени биопотенциалом подвоя, особенно его адаптивностью.

В изменившихся климатических условиях реализация генотипически обусловленной адаптивности растений яблони является наиболее биологизированным и ресурсосберегающим способом компенсировать неблагоприятное воздействие экстремальных внешних условий на их рост и способность стабильно плодоносить. В качестве оценки эффективности этой компенсации можно рассматривать величину и динамику нарастания урожайности, которые являются интегральным показателем и обусловлены в значительной степени общей адаптивностью привойно-подвойной комбинации и ее компонентов – сорта и подвоя.

Проанализирована урожайность молодых насаждений яблони сорта Прикубанское на различных по силе роста и адаптивности подвоях (2013 года посадки, г. Краснодар) в период с 2016-2019 гг., отмеченный превышением среднедекадной температуры воздуха над среднегодовыми значениями (рис. 1, 2).

Изучена динамика урожайности и наличие ее депрессии в последующие за 2016 и 2018 (особо жаркими) годы, а также влияние различных типов подвоев на размах изменчивости урожайности различных ППК яблони в зависимости от наследственной приспособленности подвоев в онтогенезе к неблагоприятным условиям внешней среды, дополнительно детерминируемой взаимоотношениями между сортом и подвоем внутри привойно-подвойной комбинации. (рис. 1)

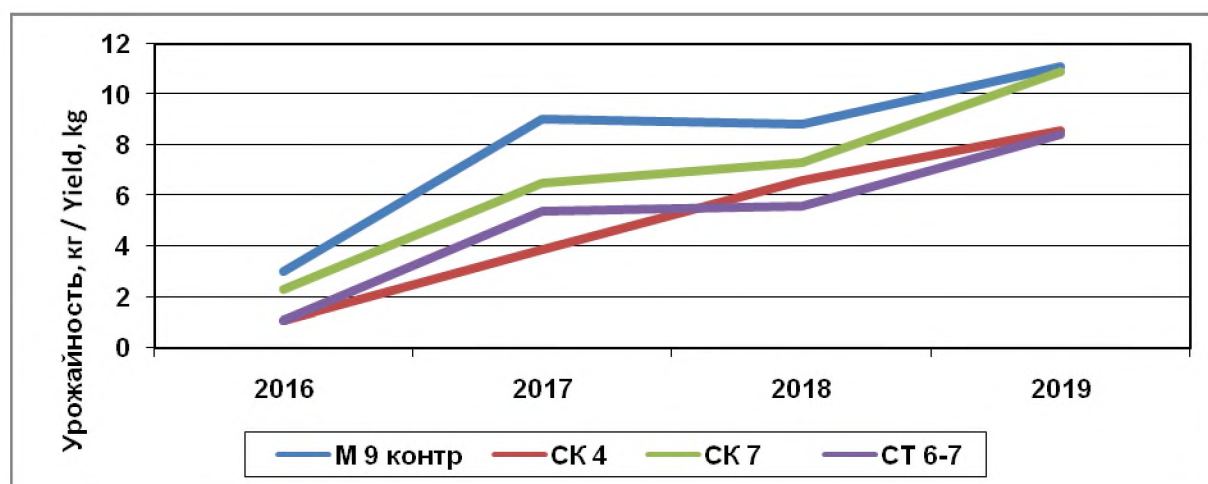


Рис. 1 Урожайность деревьев яблони сорта Прикубанское на карликовых подвоях в 2016-2019 годы (г. Краснодар)

Анализ урожайности 3-6-летних деревьев яблони сорта Прикубанское на четырех карликовых подвоях показал, что наиболее урожайными за весь период исследований оказались деревья на подвоях М 9 и СК 7. При этом динамика прироста урожайности не показала наличие ее депрессии в последующие после стресса годы (2017 и 2019): интенсивность наращивания урожайности у деревьев на этих подвоях была выше.

У опытных деревьев на полукарликовых подвоях наиболее высокая и стабильно растущая урожайность была отмечена в варианте с подвоем СК 2 (рис. 2).

Таким образом, установлено, что урожайность деревьев сорта Прикубанское в условиях высокотемпературных стрессов существенно зависела от биологических особенностей используемых подвоев.

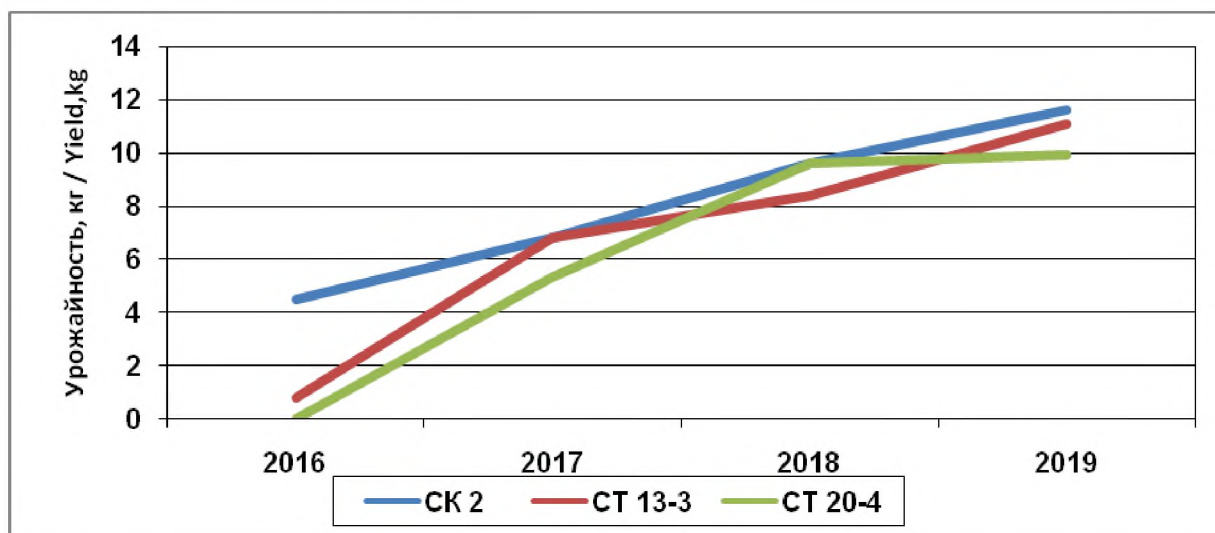


Рис. 2 Урожайность деревьев яблони сорта Прикубанское на полукарликовых подвоях в 2016-2019 гг. (г. Краснодар)

Для выявления зависимости устойчивости к температурным стрессам привитого дерева от генотипически обусловленной засухоустойчивости непосредственно подвоя был проведен анализ основных характеристик состояния водного режима изучаемых в опыте подвоев – оводненности и водоудерживающей способности листьев, рассматриваемых как показатели оценки подвоев яблони по генетически обусловленной способности поддерживать водный гомеостаз.

Оценка засухоустойчивости различных подвоев яблони в условиях повышенного температурного фона проводилась в маточнике отводочных подвоев лабораторно-полевым методом.

Выявлены значительные различия между устойчивыми и неустойчивыми к засухе подвоями яблони по оводненности и водоудерживающей способности листьев. Наибольшая оводненность листьев за анализируемый период отмечена у полукарликового подвоя СК 2 и карликовых М 9, СК 7. Эти же подвои показали лучшую водоудерживающую способность листьев. Меньшую устойчивость к водному стрессу проявили полукарликовые подвои СТ 13-3, СТ 20-4 и карликовый СТ 6-7. То есть повышенная засухоустойчивость подвоев обеспечила более высокую урожайность привитых деревьев. Усиление флуктуации климата и увеличение риска наступления погодных стрессов, особенно в летний период вегетации, делает наличие этого генетически обусловленного признака особенно ценным (рис. 3, 4).

Таким образом, на основе комплекса показателей, включающего визуальную оценку состояния растений, величину депрессии урожайности, физиологических параметров водного режима сделан вывод о засухоустойчивости подвоев яблони, их роли в определении уровня реализации биопотенциала привойно-подвойных комбинаций и их онтогенетической адаптации в условиях изменчивости факторов внешней среды.

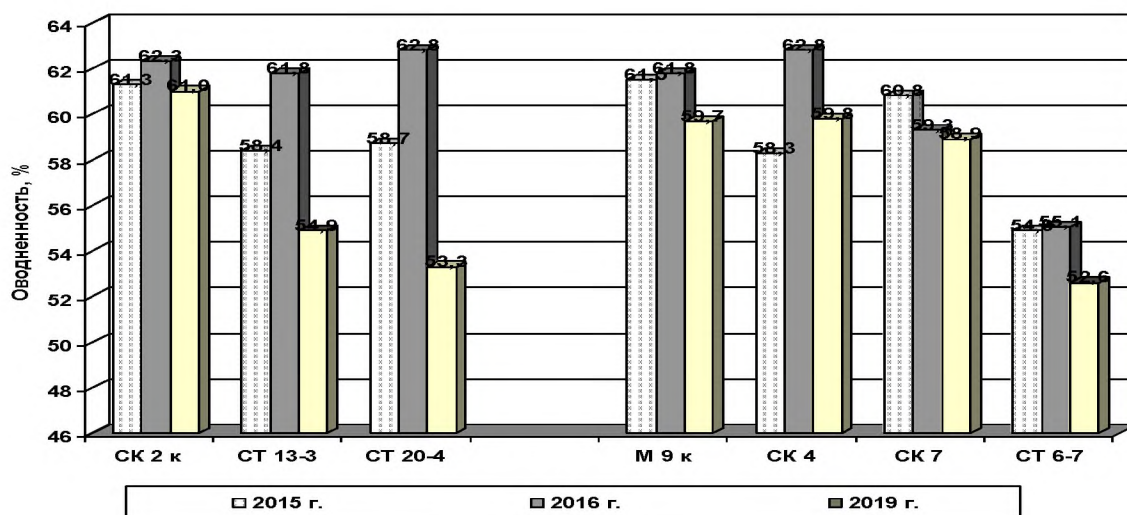


Рис. 3 Оводненность листьев подвоев яблони в 2015-2019 гг. (г. Краснодар)

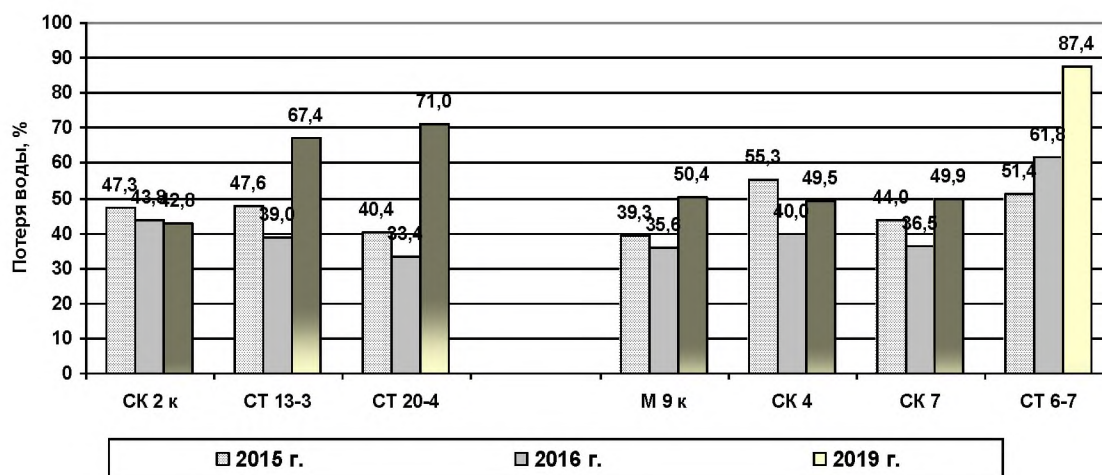


Рис. 4 Водоудерживающая способность подвоев яблони в 2015-2019 гг. (г. Краснодар)

Выводы

Полученные результаты наглядно показывают наличие взаимодействия в системе «генотип подвоя - ППК - среда», выражающееся во влиянии адаптивности генотипов подвоев на величину урожая ППК яблони в условиях усиления дискомфортных погодных условий летнего периода вегетации. В этом случае реализация генетико-физиологических систем адаптивности наиболее засухоустойчивых подвоев детерминирует уровень урожайности привитых растений яблони.

Оценка и выделение наиболее пластичных в условиях изменения климата генотипов подвоев яблони с высоким биопотенциалом устойчивости к абиотическим стрессам соответствует приоритетным направлениям развития сельскохозяйственного производства – ресурсосберегающему земледелию, биологизации и экологизации технологий производства продукции садоводства и представляет собой биологизированную компенсацию повреждающего действия климатических стрессоров.

Выявленные физиолого-генетические зависимости засухоустойчивости как адаптации различных подвоев яблони к экологическим стрессам (критически высокие

летние температуры воздуха) позволяют более полно оценить эффективность отечественных и интродуцированных подвоев яблони при конструировании высокопродуктивных садовых агроценозов.

Использование наиболее устойчивых генотипов подвоев яблони в садоводстве Краснодарского края позволит стабилизировать продукционный процесс у яблони в условиях усиления дискомфортных погодных условий летнего периода вегетации.

Список литературы

1. Агрометеорологический бюллетень. – Краснодар: Гидрометцентр. – 2016-2019.
2. Дорошенко Т.Н., Захарчук Н.В. Оценка уровня адаптации клоновых подвоев яблони к повреждающим факторам летнего периода // Проблемы интенсивного садоводства. – Научные труды СКЗНИИСИВ. – 2010. – С. 40-41.
3. Драгавцев В.А. Как «устроены» признаки продуктивности растений и почему России необходим Селекционный фитотрон // Труды КубГАУ. – 2018. – № 72. – С. 134-141. DOI: 10.21515/1999-1703-72-134-141
4. Драгавцева И.А., Баттиева З.С., Ахматова З.П. Оценка влияния флуктуации климата по срокам и амплитудам температурных проявлений, лимитирующих плодоношение плодовых культур в условиях Северной Осетии // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2017. – № 46 (04). – С. 11-23.
5. Драгавцев В.А., Драгавцева И.А., Ефимова И.Л. К экспериментальному подтверждению новой гипотезы об эколого-генетической природе феномена «взаимодействия генотип-среда» // Сельскохозяйственная биология. – 2018. – № 53 (01). – С. 151-156. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.1.151rus
6. Егоров Е.А., Шадрин Ж.А., Кочьян Г.А. Актуальные вопросы развития промышленного садоводства как основы экономического развития территориальных // Селекция и сорторазведение садовых культур. – 2017. – Т. 4, № 1-2. – С. 38-40.
7. Жученко-мл А.А. Агроэкология XXI века // Плодоводство и ягодоводство России. – 2017. – Т. 51. – С. 254-258.
8. Иваненко Е.Н., Попова Л.В., Менишутина Т.В. Оценка адаптационного потенциала подвоев яблони в аридных условиях Астраханской области // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2016. – № 38 (2). – С. 11-30.
9. Мелони М., Тиеста Дж. Эпигенетическая революция в пристальном рассмотрении // Биосфера. – 2015. – № 7 (4). – С. 450-467.
10. Мурсалимова Г.Р. Адаптивность клоновых подвоев яблони к абиотическим стресс-факторам // Плодоводство и ягодоводство России. – 2012. – Т. 34 (2). – С. 47-53.
11. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Седова Е.Н., Огольцовой Т.П. – Орёл: Изд-во ВСНИИСПК, 1999. – 606 с.
12. Diyakov A.B., Dragavtsev V.A. Algorithms of an ecology-genetic survey of the genefund and methods of creating the varieties of crop plants for yield, resistance and quality. – St.-Petersburg: VIR., 2002. – P. 22-23.
13. Fekadu H.H., Marshet N.G. Review on the Effects of Climate Change Variability on Horticultural Productivity // Int J Environ Sci Nat Res. – 2019. – № 17 (4). – P. 555-969. DOI: 10.19080/IJESNR.2019.17.555969.
14. Milošević T., Milošević N., Mladenović J. Role of apple clonal rootstocks on yield, fruit size, nutritional value and antioxidant activity of 'Red Chief® Camspur' cultivar // Scientia Horticulturae. – 2018. – No 23. – P. 214-221. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.03.050

15. *Shahzad A., Ullah S., Dar A.A.* Nexus on climate change: agriculture and possible solution to cope future climate change stresses // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2021. – No 28 (5). – P. 1-22. DOI: 10.1007/s11356-021-12649-8

Статья поступила в редакцию 30.06.2021 г.

Dragavtseva I. A., Efimova I. L., Klyukina A. V. Evaluation of interaction in the system "genotype of stock–scion/stock combinations of apple tree - habitat" at temperature stresses of the summer period in the Krasnodar Territory // *Bull. Of the State Nikita Botan. Gard.* – 2021. – № 140. P. 60-68

The yield of fruit crops depends significantly on the climatic conditions of growing. High-temperature stresses of the summer growing season can lead to a decrease or even death of the crop. In the Krasnodar Territory, more and more new records of the onset of high temperatures are observed in the summer months, when the average daily temperature exceeds the climatic norm by 4-7 degrees.

The purpose of the study is to study the sustainability of apple tree trips for summer high-temperature stresses, an assessment of the interaction in the system "Genotype of stock-scion/stock combinations of apple tree-habitat" in the conditions of a changing climate, as well as identifying the rootstocks that are most adapted to the soil-climatic conditions of the South of Russia.

The relevance of the work is due to the enhancement of harmfulness of high-temperature stresses during the passage of the most important stage of laying the generative organs of the future harvest and ripening the current.

An assessment of the drought-resistance of the apple trees in conditions of an elevated temperature background was carried out. Apple tree Prikubanskoy cultivar on semi-dwarf rootstock CK 2 and dwarf rootstock M 9 and CK 7, had the greatest leaf boom and their better water-holding ability. The most productive were the trees on the M 9 and SK 7 stocks. In the trees on the semi-dwarf stocks, the highest and steadily growing yield was on the SK 2 stock.

Consequently, the implementation of genetic-physiological systems of adaptability of drought-resistant briefings determined the level of yields of the graft trees of the apple tree.

The use of apple trees with a high biopotential of resistance to abiotic stress is an element of biologized compensation for the damaging effect of climatic stressors in the ecologized technology for the production of gardening products.

Key words: *apple tree; variety-rootstock combinations; productivity; adaptability; high-temperature stress; drought resistance*