

Обзор / Review

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-3-41-49>
УДК 635.1/.7:551.583

А.Ф. Бухаров*,
А.Ю. Федосов,
М.И. Иванова

Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства» (ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО)
140153, Россия, Московская область, Раменский район, д. Верея, стр. 500

*Адрес для переписки: afb56@mail.ru

Вклад авторов: Все авторы участвовали в написании статьи, прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Бухаров А.Ф., Федосов А.Ю., Иванова М.И. Воздействие на овощеводство изменений климата и способы их преодоления. Овощи России. 2023;(3):41-49.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-3-41-49>

Поступила в редакцию: 03.05.2023

Принята к печати: 16.05.2023

Опубликована: 09.06.2023

Alexander F. Bukharov*,
Alexander Yu. Fedosov,
Maria I. Ivanova

All-Russian Research Institute of Vegetable Growing – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Vegetable Center" p. 500, Vereya village, Ramensky district, Moscow region, 140153, Russia

*Correspondence: afb56@mail.ru

Conflict of interest: The authors declare that they have no conflict of interest.

Authors' Contribution: All authors confirm they have contributed to the intellectual content of this paper.

For citations: Bukharov A.F., Fedosov A.Yu., Ivanova M.I. Impacts of climate change on vegetable production and ways to overcome them. Vegetable crops of Russia. 2023;(3):41-49. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-3-41-49>

Received: 03.05.2023

Accepted for publication: 16.05.2023

Published: 09.06.2023

Воздействие на овощеводство изменений климата и способы их преодоления



Резюме

В обеспечении продовольственной безопасности и питания овощи играют ключевую роль, поскольку продовольственная система переходит от количества продовольствия к качеству рациона и пользе для здоровья. Одной из основных причин низкого производства и снижения средней урожайности большинства овощных культур является изменение климата. Важными ограничивающими факторами в поддержании и повышении урожайности овощных культур являются повышение температуры, снижение доступности воды для орошения, наводнения и засоление. В условиях меняющихся климатических условий неурожаи, снижение качества и рост проблем с вредителями и болезнями становятся обычными явлениями и делают производство овощей низкорентабельным. Поскольку многие физиологические процессы и активность ферментов зависят от температуры, они будут в значительной степени затронуты. Засуха и засоление являются двумя важными последствиями повышения температуры, ухудшающими урожайность овощных культур. Эти последствия изменения климата также влияют на появление вредителей и болезней, взаимодействие хозяина и патогена, распространение и экологию насекомых, время появления, миграцию в новые места и их способность к зимовке, что становится серьезным препятствием для выращивания овощных культур. Для смягчения неблагоприятного воздействия климатических изменений на продуктивность и качество овощных культур необходимо разработать рациональные стратегии адаптации. Акцент должен быть сделан на развитии производственных систем, повышающих эффективность использования воды, адаптированных к жарким и сухим условиям. Технологические приемы, такие как мульчирование растительными остатками и пластиковыми материалами, помогают сохранить влажность почвы. Чрезмерная влажность почвы из-за проливных дождей становится серьезной проблемой, которую можно решить, выращивая культуры на приподнятых грядках. Эффективным способом решения этих проблем является создание генотипов, устойчивых к высоким температурам, влаге, засолению и устойчивости к климатическим условиям, с помощью традиционных и нетрадиционных методов селекции, геномики, биотехнологии и др.

Ключевые слова: абиотические факторы; приспособление; изменение климата; производительность; овощные культуры

Impacts of climate change on vegetable production and ways to overcome them

Abstract

Vegetables play a key role in food security and nutrition as the food system shifts from food quantity to dietary quality and health benefits. One of the main reasons for the low production and declining average yields of most vegetable crops is climate change. Important limiting factors in maintaining and increasing vegetable crop yields are rising temperatures, reduced water availability for irrigation, flooding and salinity. Under changing climatic conditions, crop failures, declining quality and increasing pest and disease problems are becoming commonplace and making vegetable production unprofitable. Since many physiological processes and enzyme activity are temperature dependent, they will be greatly affected. Drought and salinity are two important effects of rising temperatures that reduce vegetable crop yields. These impacts of climate change also affect the emergence of pests and diseases, host-pathogen interactions, distribution and ecology of insects, timing of emergence, migration to new locations, and their ability to overwinter, all of which become a major barrier to vegetable production. To mitigate the adverse effects of climate change on the productivity and quality of vegetable crops, sound adaptation strategies need to be developed. Emphasis should be placed on the development of production systems that improve water efficiency and are adapted to hot and dry conditions. Technological practices, such as mulching with crop residues and plastic materials, help maintain soil moisture. Excessive soil moisture due to heavy rains becomes a serious problem that can be solved by growing crops in raised beds. An effective way to solve these problems is to create genotypes that are resistant to high temperatures, moisture, salinity and resistance to climatic conditions, using traditional and non-traditional breeding methods, genomics, biotechnology, etc.

Keywords: abiotic factors; fixture; changing of the climate; performance; vegetable crops

Введение

Термин «овощ» в самом широком смысле относится к любому виду растительной жизни или растительного продукта. В более узком смысле это относится к свежей съедобной части травянистого растения, употребляемой в сыром или приготовленном виде. Овощи являются богатым источником витаминов, углеводов, солей и белков. Они являются лучшими ресурсами для преодоления дефицита питательных микроэлементов и обеспечивают мелким фермерам гораздо более высокий доход и больше рабочих мест на гектар, чем основные сельскохозяйственные культуры. Увеличение производства и потребления овощей – это очевидный путь улучшения разнообразия и качества питания, особенно в регионах, в которых преобладают высококалорийные продукты с низким содержанием питательных микроэлементов. Однако овощные культуры, как правило, чувствительны к экстремальным условиям окружающей среды. Поэтому высокие температуры и ограниченная влажность почвы являются основными причинами низких урожаев, поскольку они сильно влияют на физиологические и биохимические процессы, снижая фотосинтетическую активность, изменяя метаболизм и ферментативную активность, эффективность опыления и завязывания плодов, вызывая термическое повреждение тканей, и т. д.

Изменение климата может быть трансформацией средних значений различных показателей, таких как температура, осадки, относительная влажность, состав атмосферных газов и других параметров в течение длительного периода и на большей географической территории. Это связано с любыми вновь появившимися и часто повторяющимися погодными явлениями, будь то из-за естественной изменчивости или из-за деятельности человека. Уязвимость и устойчивость любых биологических систем к изменению климата – это степень их восприимчивости, способности активно реагировать, выживать и размножаться при неблагоприятных последствиях изменения климата. Концепция риска сочетает в себе масштабы воздействия с вероятностью его возникновения, отражает неопределенность в основных процессах изменения климата, воздействий и адаптации.

Анализ модели изменения климатических параметров, таких как повышение температуры атмосферы, изменения характера осадков, избыточного УФ-излучения подтверждает более высокую вероятность и частоту возникновения в будущем экстремальных погодных явлений, таких как засуха и наводнения, создают серьезные угрозы для производства овощей. Овощные культуры очень чувствительны к климатическим капризам, и резкое повышение температуры, а также нерегулярные осадки на любой фазе могут повлиять на рост, цветение, опыление, развитие плодов и как следствие снизить урожайность и качество продукции [1].

Изменение погодных условий, приводящее к изменению климата, поставило под угрозу производительность сельского хозяйства из-за высоких и низких температурных режимов и повышенной изменчивости осадков [2]. Изменение климата и его изменчивость создают серьезные проблемы, влияющие на

производительность сельского хозяйства, в том числе овощных культур. Сокращение производства овощей, вероятно, будет вызвано коротким вегетационным периодом, что окажет негативное влияние на рост и развитие растений, особенно из-за терминального теплового стресса и снижения доступности воды. Проблема изменения и изменчивости климата породила еще большую неопределенность и риски, наложив ограничения на системы производства овощей. В первую очередь пострадает богарное земледелие из-за изменчивости осадков и сокращения дождливых дней [3].

Изменение климата может привести к росту цен на овощные культуры. Более того, изменение климата способствует распространению патогенов и появлению новых штаммов насекомых-вредителей, а также грибных, бактериальных и вирусных заболеваний [4]. Предстоящие задачи заключаются в том, чтобы обеспечить устойчивость и конкурентоспособность, достичь целевого производства для удовлетворения растущих потребностей в условиях сокращающихся земельных и водных ресурсов и угрозы изменения климата, что требует климатически оптимизированных вмешательств в области овощеводства, которые сильно зависят от местоположения и требуют больших знаний для улучшения производства в сложных условиях [5]. Таким образом, цель настоящей статьи состоит в том, чтобы рассмотреть влияние изменения отдельных (наиболее важных) климатических факторов на производство овощей и методы управления ими.

Влияние климатических изменений на производство овощей

Овощные культуры, как и другие сельскохозяйственные культуры, чувствительны к изменчивости климата. Овощи, как правило, чувствительны к экстремальным условиям окружающей среды, и, таким образом, высокая температура является основной причиной низких урожаев и будет еще более усугубляться изменением климата. Повышение температуры, снижение доступности воды для орошения, затопление и засоление будут основными ограничивающими факторами в поддержании и повышении урожайности овощей. Глобальные климатические изменения, особенно неустойчивый характер осадков и непредсказуемые периоды высоких температур, снизят урожайность овощных культур. Факторы окружающей среды негативно влияют на урожайность томата [6]. Ухудшение погодных условий и изменения климата из-за повышения температуры, нерегулярных осадков, увеличения потребности в воде и роста заболеваемости должны повлиять на производство различных овощных культур. Осадки являются одним из наиболее важных факторов, влияющих на урожайность. Степень обеспеченности водой сильно влияет на урожайность и качество овощей; засушливые условия резко снижают урожайность овощей, и томат, в частности, считается одной из овощных культур, наиболее чувствительных к избытку воды [2]. Некоторые из важных экологических стрессов, влияющих на производство овощных культур, будут рассмотрены ниже.

Температура

Колебания среднесуточной максимальной и минимальной температуры являются основным следствием изменения климата, которое неблагоприятно влияет на производство овощей, поскольку многие физиологические, биохимические и метаболические процессы растений зависят от температуры. Возникновение высокой температуры влияет на производство овощей в тропических и засушливых районах. Высокая температура вызывает значительное изменение морфологической, физиологической, биохимической и молекулярной реакции растения и, в свою очередь, влияет на рост, развитие и урожайность растения. Симптомы, вызывающие нарушение завязывания плодов при высоких температурах у томата, включают опадение бутонов, аномальное развитие цветков, плохое производство пыльцы, расхождение и жизнеспособность, аборт семязачатков и плохую жизнеспособность, снижение доступности углеводов и другие репродуктивные аномалии. Точно так же высокие температуры выше 25°C влияют на опыление и завязывание плодов у томата. Кроме того, высокая температура может привести к значительной потере продуктивности томата из-за снижения завязываемости плодов, а также более мелких, деформированных и низкокачественных плодов [7]. У перца воздействие высокой температуры на стадии перед цветением не влияло на жизнеспособность репродуктивной сферы, но после раскрытия цветка при опылении высокие температуры ингибировали завязывание плодов, что позволяет предположить, что процесс оплодотворения чувствителен к высокотемпературному стрессу [8]. Высокая температура вызывает опадение цветков, аборт семязачатков, плохое завязывание и опадение плодов перца чили, а также влияет на интенсивность развитие красной окраски созревших плодов перца чили [9].

Прорастание семян огурца и дыни сильно подавляется при 42...45°C, а у арбуза, тыквы, кабачка семена не прорастают [10]. Колебания температуры задерживают созревание плодов и снижают сладость дынь. Теплый влажный климат увеличивает вегетативный рост и приводит к плохому производству женских цветков у бахчевых культур, что приводит к снижению урожайности [11]. Высокая температура вызывает стеблевание капустных культур, что нежелательно, когда их выращивают на овощные цели [12].

Засуха

Ожидается, что доступность воды будет очень важным элементом изменения климата в условиях повышения температуры. Экстремально высокая температура и серьезный водный дефицит в комплексе способны повлиять на урожайность всех сельскохозяйственных культур, но особенно овощных, товарные органы которых содержат большое количество (до 98%) влаги. Засуха является серьезной проблемой и основной причиной потери урожая во всем мире, снижая среднюю урожайность большинства сельскохозяйственных культур более чем на 50% [13]. Стресс от воздушной засухи или недостаточной влажности почвы может вызывать различные биохимические,

физиологические и генетические реакции у растений, которые сильно ограничивают рост сельскохозяйственных культур [14]. Преобладание засушливых условий в ранневесенний период отрицательно влияет на прорастание семян овощных культур, таких как лук, морковь, пастернак, петрушка, укроп. Условия засухи вызывают опадение цветков у томата. Сообщалось о снижении урожая более чем на 50% у томата из-за водного стресса на репродуктивной стадии [15]. Водный стресс на стадии цветения снижает фотосинтез и количество фотосинтетических ассимилятов, выделяемых генеративными органами. Стресс от засухи вызывает увеличение концентрации растворенных веществ в почве, что приводит к осмотическому оттоку воды из растительных клеток. Это приводит к повышенной потере воды растительными клетками и угнетению ряда физиологических и биохимических процессов, таких как фотосинтез, дыхание, что снижает продуктивность большинства овощных культур [16].

Помимо ингибирования скорости фотосинтеза за счет снижения устьичного воздухообмена и испарения [17], стресс от засухи также вызывает метаболические нарушения [18]. Фотосинтез и фотосинтетическая способность снижаются в условиях ограниченного количества воды. Кроме того, водный стресс снижает активности сахарозофосфатсинтазы (SPS) и инвертазы, которые влияют на доступность и использование сахарозы. Считается, что SPS играет важную роль в ресинтезе сахарозы и поддерживает ассимиляционный поток углерода от источника к развивающемуся органу [19]. Снижение активности инвертазы может повлиять на способность использовать сахарозу и привести к снижению роста пыльников и снижению концентрации гексоз [20].

Засоление

Засоление представляет собой серьезную проблему, которая снижает рост и продуктивность овощных культур во многих районах, страдающих от избытка солей. Чрезмерное засоление почвы снижает продуктивность многих сельскохозяйственных культур, в том числе большинства овощных культур, которые особенно чувствительны на протяжении всего онтогенеза. С физиологической точки зрения засоление вызывает начальный дефицит воды, возникающий из-за относительно высоких концентраций растворенных веществ в почве, вызывает специфический ионный стресс, возникающий в результате изменения соотношения K^+/Na^+ , и приводит к накоплению концентраций Na^+ и Cl^- , что губительно для растений. Солевой стресс вызывает потерю тургора, замедление роста, увядание, опадение листьев, снижение фотосинтеза и дыхания, потерю клеточной целостности, некроз тканей и, наконец, гибель растения [21]. Лук чувствителен к засоленным почвам, а баклажан, перец и томат умеренно чувствительны к засоленным почвам [16]. Засоление вызывает значительное снижение процента прорастания и скорости прорастания семян, уменьшение скорости нарастания длины и массы корней и побегов у капусты [22].

Соленость снижает производство сухого вещества, площадь листьев, относительную скорость

роста и чистую скорость ассимиляции перца чили. Число плодов на растении больше зависит от засоления, чем от веса отдельных плодов [23]. Высокая концентрация соли вызывает снижение сырой и сухой массы всех тыквенных культур. Эти изменения связаны с уменьшением относительного содержания воды и общего содержания хлорофилла. Солевой стресс вызывает подавление роста и активности фотосинтеза, а также изменение проводимости устьиц, их количества и размера у растений фасоли. Он снижает транспирацию и водный потенциал клеток у растений фасоли, подверженных воздействию соли [24]. Известно, что высокий уровень засоления почвы и поливной воды влияет на многие физиологические и метаболические процессы, приводя к снижению роста клеток.

Наводнение

Наводнение является еще одним важным абиотическим стрессом и вызывает серьезные проблемы для роста и урожайности овощных культур, которые обычно считаются культурами, восприимчивыми к наводнениям [25]. Возникновение условий затопления обычно вызывает дефицит кислорода (O_2), который возникает из-за медленной диффузии газов в воде и потребления O_2 микроорганизмами и корнями растений. Большинство овощных культур очень чувствительны к затоплению, и генетическая изменчивость в отношении этого признака ограничена, особенно у томата. В целом повреждение овощных растений затоплением связано с уменьшением кислорода в корневой зоне, что угнетает аэробные процессы. Растения томата, подвергнутые затоплению, накапливают эндогенный этилен, вызывающий повреждение растений [26]. Быстрый эпинастический рост листьев является характерной реакцией томата на заболоченные условия, при этом предполагается роль накопления этилена [27]. Тяжесть симптомов затопления увеличивается с повышением температуры; быстрое увядание и гибель растений томата обычно наблюдается после кратковременного затопления при высоких температурах [28]. Лук также чувствителен к затоплению в период развития луковицы с потерей урожая до 30-40%. Эти стрессы являются основной причиной потери урожая во всем мире более чем 50% растений, а реакция растений на стрессы окружающей среды зависит от стадии развития, продолжительности и тяжести стрессов [29].

Наводнение влияет на физиологию овощных растений. Одной из самых ранних физиологических реакций растений на затопление почвы является снижение устьичной проводимости [30]. Это вызывает увеличение водного потенциала листа, что приводит к значительному снижению скорости углеродного обмена и повышению внутренней концентрации CO_2 [31]. Затопление негативно влияет на вегетативный и репродуктивный рост растений из-за пагубного воздействия на физиологическое функционирование [32]. У чувствительных сельскохозяйственных культур затопление вызывает хлороз листьев и снижает рост побегов и корней, накопление сухого вещества и общий урожай растений [33]. Наводнения могут

облегчить распространение патогенов, передающихся через воду, засухи и волны тепла могут предрасполагать растения к заражению, а штормы могут способствовать распространению спор ветром [34]. Относительно устойчивой к подтоплению считается свекла столовая [35].

Реакция вредителей и болезней на изменение климата

Изменение климата также влияет на экологию и биологию насекомых-вредителей [36]. Повышение температуры у некоторых групп насекомых с коротким жизненным циклом, таких как тля и листовертка, увеличивает плодовитость, более раннее завершение жизненного цикла. Как следствие, они могут производить в течение года больше поколений, чем обычно. В отличие от этого, некоторым насекомым может потребоваться несколько лет, чтобы завершить свой жизненный цикл. Некоторые виды насекомых, которые обитают в почве на протяжении всего или некоторых этапов жизненного цикла, как правило, страдают больше, чем насекомые, живущие над поверхностью почвы, потому что почва обеспечивает изолирующую среду, которая будет иметь тенденцию амортизировать изменения температуры в большей степени, чем воздух. Повышение температуры вызывает миграцию видов насекомых в более высокие широты, в то время как в тропиках более высокие температуры могут отрицательно сказаться на некоторых видах насекомых. Высокая атмосферная температура увеличивает темпы развития насекомых и яйцекладки, массовых нашествий насекомых и интродукции инвазивных видов, одновременно снижая эффективность биологического контроля численности насекомых воздействием патогенных бактерий, грибов и хищных насекомых, снижая надежность экономических пороговых уровней, разнообразие насекомых в экосистемах и явление паразитизма [37].

Насекомые особенно чувствительны к температуре, поскольку они стеномеры (хладнокровные). Как правило, насекомые реагируют на более высокую температуру более быстрым развитием и меньшим временем между поколениями. Повышение температуры ускоряет развитие капустной личинки, луковой личинки, кукурузного мотылька европейского, колорадского жука [38]. Повышение температуры продляет период размножения и повышает репродуктивную способность. Исследования тлей и мотыльков показали, что повышение температуры может позволить насекомым быстрее достичь минимальной температуры, необходимой для полета, способствуя увеличению способности их к расселению [39]. Ускоренный метаболизм при более высоких температурах сокращает продолжительность диапаузы насекомых из-за более быстрого истощения запасов питательных веществ [40]. Потепление зимой может привести к задержке наступления, а раннее лето может привести к более быстрому завершению диапауз у насекомых, которые затем могут возобновить свой активный рост и развитие. Это позволяет сделать заключение о том, что повышение температуры зимой в диапазоне на 1-5°C повысит выживаемость

насекомых из-за низкой смертности, увеличит рост популяции, приведет к более раннему заражению и, как следствие, усилению повреждения урожая насекомыми-вредителями при моделировании сценарии глобального потепления [41].

Изменения температурного режима и режимов осадков в связи с изменением климата могут изменить стадию роста, скорость развития и патогенность инфекционных агентов, а также физиологию и устойчивость растения-хозяина [42]. Ожидается, что большой размер популяции и короткое время генерации патогенов растений сделают их первыми организмами, которые проявят последствия изменения климата. Ожидается, что в северных широтах воздействие фитопатогенов усилится с потеплением, поскольку низкие температуры и продолжительные зимы в настоящее время снижают выживаемость, число поколений в год, скорость размножения и активность большинства патогенов, поражающих сельскохозяйственные культуры в течение вегетационного периода [43]. Чувствительность к температуре и морозу влияет на распространение видов патогенов, поскольку независимо от их огромного диапазона хозяев почвенные патогены, такие как *Sclerotium rolfsii* и *Macrophomina phaseolina*, не встречаются в умеренном климате из-за их высокого температурного оптимума и чувствительности к морозу [44]. Высокие температуры обеспечивают более короткие циклы развития у патогенов, переносимых по воздуху, и увеличивают их выживаемость из-за уменьшения морозов [45]. Уменьшение продолжительности морозного периода и повышение средних минимальных температур предполагает устранение ограничивающего фактора, для такого патогена, как *Fusarium* [34].

Практики управления адаптацией к изменению климата

Методы управления культурой

Акцент должен быть сделан на использовании рекомендуемых производственных систем для повышения эффективности водопользования и адаптации к жарким и засушливым условиям. Следует признать принципиально важным применение таких стратегий, как изменение сроков посева или посадки, для борьбы с вероятным повышением температуры и периодами водного стресса в течение вегетационного периода [46]. Изменение доз, соотношения элементов, форм и сроков, внесения удобрений, а также сочетания с регуляторами роста для повышения доступности питательных веществ и использование почвенных удобрений для повышения плодородия почвы и увеличения поглощения питательных веществ [47]. Обеспечение орошения во время критических стадий роста сельскохозяйственных культур и сохранение запасов влаги в почве являются наиболее важными мероприятиями [2]. Методы управления культурами, такие как мульчирование растительными остатками и пластиковая мульча, помогают сохранить влажность почвы. В некоторых случаях чрезмерная влажность почвы из-за проливных дождей становится серьезной проблемой, и ее можно решить, выращивая культуры на приподнятых

грядках [16]. Производство овощей можно было бы начать с использования прозрачных пластиковых навесов от дождя, что может уменьшить прямое воздействие на развивающиеся плоды, а также уменьшить заболачивание полей в сезон дождей. Посадка овощей на приподнятых грядках в сезон дождей повысит урожайность благодаря улучшенному дренажу, который снизит гипоксию корневой системы.

Улучшение стрессоустойчивости за счет прививки

Прививка овощей возникла в Восточной Азии в 20-м веке с целью уменьшения воздействия болезней, передаваемых через почву, таких как фузариозное увядание, которое влияет на производство овощей, таких как томат, баклажан и тыквенные [48]. В настоящее время прививка считается обычной практикой выращивания овощей в азиатских странах, таких как Япония, Корея и некоторые европейские страны, что является эффективной быстрой альтернативой относительно медленной методологии селекции, направленной на повышение устойчивости садовых культур к стрессу окружающей среды в целом и особенно овощных [49]. Прививка является одним из перспективных способов модификации корневой системы растения для повышения его устойчивости к различным абиотическим стрессам [50]. В овощных культурах привитые растения в настоящее время используются для повышения устойчивости к абиотическим стрессам, таким как низкие и высокие температуры, засуха, засоление и затопление, если используются соответствующие устойчивые подвои [51]. Из-за этих полезных эффектов прививки в последние годы увеличилось выращивание привитых растений таких культур, как томат, баклажан, перец и тыквенные (дыни, огурца, арбуза и тыквы) [52].

Прививка баклажана была начата в 1950-х годах, а затем огурца и томата в 1960-х и 1970-х годах. Дыни, привитые на гибридные подвои тыквы, были более солеустойчивыми, чем непривитые [53]. Однако устойчивость подвоев к соли сильно различается у разных видов, например, подвои *Cucurbita* spp. более устойчивы к соли, чем подвои *Lagenaria siceraria* [54]. Помимо защиты от затопления, некоторые генотипы баклажана устойчивы к засухе, поэтому подвои баклажана могут обеспечить защиту от ограниченного стресса от влажности почвы. Прививка чувствительного к температуре томата на более устойчивые сорта подвоя улучшает адаптацию растений к условиям теплового стресса. Привитые растения лучше развиваются в условиях теплового стресса, чем непривитые растения томата. Кроме того, баклажан (*S. melongena* сорта Yuanqie), привитый к жаростойкому подвою (сорт Nianmaoqie), привели к увеличению урожая плодов на 10% [55].

Выращивание овощей, устойчивых к изменению климата

Улучшенная, адаптированная зародышевая плазма овощей является наиболее рентабельным вариантом для фермеров, позволяющим решать проблемы, связанные с изменением климата [56]. Однако большинство современных сортов представляют собой ограниченную выборку доступной генетической изменчивости, включая устойчивость к стрессам окружающей среды. Выведение новых сортов, особенно для интен-

сивных систем производства с высокими затратами в развитых странах, в оптимальных условиях роста могло привести к встречному отбору признаков, которые способствовали бы адаптации или устойчивости к низким затратам и менее благоприятным условиям окружающей среды. Улучшенные сорта, адаптированные к более широкому диапазону климатических условий, могут появиться в результате открытия новых генетических вариаций устойчивости к различным биотическим и абиотическим стрессам. Генотипы с улучшенными признаками, обусловленными превосходными комбинациями аллелей в нескольких локусах, могут быть идентифицированы и усовершенствованы. Необходимы улучшенные методы селекции для выявления этих превосходных генотипов и связанных с ними признаков, особенно у диких родственных видов, которые растут в среде, не поддерживающей рост их одомашненных родственников, являющихся культивируемыми разновидностями. Растения, произрастающие в климате с выраженной сезонностью, способны легче акклиматизироваться к изменчивым условиям окружающей среды и дают возможность идентифицировать гены или комбинации генов, которые придают такую устойчивость.

Попытки улучшить солеустойчивость сельскохозяйственных культур с помощью традиционных программ селекции имеют очень ограниченный успех из-за генетической и физиологической сложности этого признака. Кроме того, толерантность к солевым условиям - это явление, регулируемое развитием и зависящее от стадии; толерантность на одной стадии развития растения не всегда коррелирует с толерантностью на других стадиях. Успех в селекции на солеустойчивость требует эффективных методов скрининга, наличия генетической изменчивости и способности передавать гены интересующим видам. Большинство коммерческих сортов томатов умеренно чувствительны к повышенной засоленности, и у культивируемых видов существуют лишь ограниченные вариации [57].

Генетическая изменчивость холодо- и солеустойчивости во время прорастания семян томата и перца выявлена у культивируемых и диких видов [58, 59]. Скрещивание между чувствительной к соли линией томата (UCT5) и солеустойчивым образцом *S. esculentum* (PI174263) показало, что способность семян томата быстро прорасти в условиях солевого стресса генетически контролируется с наследуемостью в узком смысле (h^2) 0,75. Солеустойчивость во время прорастания семян у томата контролируется генами с аддитивными эффектами и может быть улучшена путем направленного фенотипического отбора [60]. Выяснение механизма солеустойчивости в разные периоды роста и интрогрессия генов солеустойчивости в овощных культурах ускорит создание сортов, способных выдерживать высокие или переменные уровни солености, совместимые с различными производственными условиями.

Биотехнология

Для повышения урожайности овощных культур в неблагоприятных условиях потребуются передовые технологии, дополняющие традиционные методы, которые зачастую не способны предотвратить потери

урожая из-за экологических стрессов. Были открыты гены и поняты функции генов. Это открыло путь к генетическим манипуляциям с генами, связанными с устойчивостью к стрессам окружающей среды. Эти инструменты обещают более быструю и потенциально впечатляющую отдачу, но требуют больших инвестиций. Многие виды деятельности с использованием этих генетических и молекулярных инструментов осуществляются с определенным успехом. Анализ молекулярных маркеров устойчивости к стрессу у овощных культур позволяет идентификации QTL, лежащих в основе устойчивости к стрессам. QTL для устойчивости к засухе были идентифицированы у томата. Определено три QTL, связанных с эффективностью использования воды у *S. pennellii* на основе состава 13С. У *S. pennellii* при выращивании как во влажных, так и в сухих полевых условиях в Израиле были идентифицированы три независимых участка, способствующих повышению урожайности [61], в то время идентифицировано четыре QTL, связанных с засухоустойчивостью прорастания семян, два из которых были связаны с *S. pimpinellifolium*, который часто исследуется как источник солеустойчивости. Картирование QTL указывает на количественную наследственность солеустойчивости, а в некоторых случаях устойчивость зависит от стадии развития растения [57].

Устойчивость к стрессу окружающей среды является сложным признаком и контролируется большим числом генов [62]. В ответ на стрессы изменяются профили экспрессии как РНК, так и белков. Гены участвуют в модуляции транскрипции, транспорте ионов, контроле транспирации и углеводном обмене. Гены *DREB1A*, *CBF* и *HSF* являются транскрипционными факторами, участвующими в реакции на засуху и жару соответственно [63]. Инвертаза клеточной стенки (INV) и синтеза сахарозы (SUSY) играют ключевую роль в распределении углеводов в растениях, и эта регуляция метаболизма углеводов в листьях может представлять собой часть общего клеточного ответа на акклиматизацию и способствовать осмотической адаптации в условиях стресса. Селекция томата имеющего более мощную и хорошо разветвленную корневую систему, позволяет корням лучше использовать ограниченное количество воды и питательных веществ, а также успешно сопротивляться влиянию негативных факторов внешней среды. Контрольные растения томата получили необратимые повреждения через пять дней без воды, в отличие от трансгенных, которые начали демонстрировать повреждения от водного стресса только через 13 дней, но полностью восстановились, как только вода была подана. Гены *CBF/DREB1* успешно использовались для создания засухоустойчивости у томата и других культур [64].

Перспективы работы

В зависимости от уязвимости отдельной культуры и агроэкологического региона необходимо разработать стратегии адаптации на основе культуры, интегрируя все доступные варианты для поддержания продуктивности. Разработка стратегий и инструментов для всестороннего максимально полного преодоления воздействий изменения климата и мер по

адаптации овощных культурах пока изучены явно недостаточно. Чтобы повысить нашу готовность к изменению климата и сформулировать надежный план действий, необходимо заполнить пробелы в знаниях о биологии стрессоустойчивости сельскохозяйственных растений, информации и расставить приоритеты в вопросах исследований с точки зрения сельхозпроизводителей, ученых, разработчиков машин и оборудования, представителей торговли. Очень важен опыт «Особой экспедиции по испытанию и учету различных способов и приемов лесного и водного хозяйства в степях России», осуществленной В.В. Докучаевым в 1892-1898 гг. в Каменной Степи Воронежской губернии [65].

Крайне важно обосновать (моделировать) вероятные изменения климата, которые могут произойти в обозримом будущем. Как эти изменения могут повлиять на рост, развитие и качество овощных культур? Какие технологии помогут смягчить эту проблему? Какие инновационные исследования следует провести для решения проблем, связанных с изменением климата?

Таким образом, наиболее важные вопросы, стратегии адаптации овощных культур, совершенствования технологий и общих организационно-хозяйственных мероприятий по смягчению последствий изменения климата включают следующее:

- приоритет образования, научных исследований и разработок для повышения адаптивной способности овощных культур в условиях изменения климата;
- выявление и создание стрессоустойчивых сортов овощных культур, в том числе на разных этапах роста и развития;
- надлежащий краткосрочный и долгосрочный план действий по смягчению воздействия изменения климата на овощные культуры путем возобновления лесных насаждений, сбора воды в прудах и малых водоемах и ее разумное использование в виде капель, тумана и разбрызгивателей для борьбы с засухой, включая методы сохранения влаги в почве путем мульчирования;
- создание и выращивание партенокарпических сортов, использование ауксина для стимулирования завязываемости плодов без опыления у томата, баклажана и огурца и других плодовых овощей;
- прививка привоя на подвои с высокой устойчивостью к засухе, жаре и солевому стрессу, болезням, нематодам может увеличить рост и урожайность культур;
- информационно-образовательные программы для производителей, изменение существующих методов выращивания овощей и более широкое использование тепличных технологий – вот некоторые из решений, позволяющих свести к минимуму последствия изменения климата.

Заключение

В настоящее время мировое сельское хозяйство, особенно овощеводство, переживает сложную ситуацию и сталкивается с проблемой обеспечения продовольственной/питательной безопасности для удовлетворения потребностей населения. Мы должны производить все больше и больше продуктов

питания на все меньшей площади земли. Проблема усугубляется нарастающими биотическими и абиотическими стрессами и ухудшением качества окружающей среды, а также угрозой усиления глобального потепления, вызванного парниковыми газами. Сочные овощные культуры очень чувствительны к климатическим условиям жары, засухи и затопления. Поэтому необходимо сосредоточить внимание на изучении воздействия изменения климата на рост, развитие, урожайность и качество сельскохозяйственных культур. Особое внимание следует также уделить разработке технологий адаптации и количественной оценке смягчающего потенциала сельскохозяйственных культур. Повышение температуры влияет на продолжительность урожая, цветение, плодоношение, и созревание овощных культур, снижая продуктивность и экономический выход.

Для сокращения недоедания и облегчения бедности в развивающихся странах за счет улучшения производства и потребления безопасных овощей потребуются адаптация существующих овощеводческих систем к потенциальному воздействию изменения климата. Для смягчения неблагоприятного воздействия климатических изменений на продуктивность и качество овощных культур необходимо разработать рациональные стратегии адаптации. Акцент должен быть сделан на развитии производственных систем для повышения эффективности использования воды, адаптированных к жарким и сухим условиям. Методы управления культурами, такие как мульчирование растительными остатками и пластиковая мульча, помогают сохранить влажность почвы. Чрезмерная влажность почвы из-за проливных дождей становится серьезной проблемой, которую можно решить, выращивая культуры на приподнятых грядках. Овощная зародышевая плазма, устойчивая к засухе, высоким температурам и другим стрессам окружающей среды, а также способная поддерживать урожайность на маргинальных почвах, должна быть определена, чтобы служить источником этих признаков как для государственных, так и для частных программ селекции овощных культур. Эти зародышевые плазмы будут включать как культивируемые, так и дикие образцы, обладающие генетической изменчивостью, отсутствующей в современных, широко выращиваемых культурных сортах. Генетические популяции разрабатываются для интрогрессии, выявления генов, обеспечивающих устойчивость к стрессам, и в то же время для создания инструментов для выделения, характеристики и генной инженерии генов. Кроме того, агрономические методы, которые сохраняют воду и защищают овощные культуры от неоптимальных условий окружающей среды, должны постоянно улучшаться и быть доступными для фермеров в развивающихся странах. Должна существовать эффективная стратегия расширения, учитывающая технические, социально-экономические и политические компоненты. Наконец, наращивание потенциала знаний и использование их в образовательных программах является ключевыми компонентами устойчивой стратегии решения проблемы изменения климата.

Об авторах:

Александр Федорович Бухаров – доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник отдела селекции и семеноводства, <https://orcid.org/0000-0003-1910-5390>, Scopus ID 57193127775, Researcher ID J-6605-2018, автор для переписки, afb56@mail.ru

Александр Юрьевич Федосов – младший научный сотрудник отдела технологий и инноваций, <https://orcid.org/0000-0001-9492-8667>, ffed@rambler.ru

Мария Ивановна Иванова – доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН, главный научный сотрудник отдела селекции и семеноводства, <https://orcid.org/0000-0001-7326-2157>, ivanova_170@mail.ru

About the Authors:

Alexander F. Bukharov – Doc. Sci. (Agriculture), Leading Researcher of the department of selection and seed production, <https://orcid.org/0000-0003-1910-5390>, Scopus ID 57193127775, Researcher ID J-6605-2018, Correspondence Author, afb56@mail.ru

Alexander Yu. Fedosov – Junior Researcher, Technology and Innovation Department, <https://orcid.org/0000-0001-9492-8667>, ffed@rambler.ru

Maria I. Ivanova – Doc. Sci. (Agriculture), Professor of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher of the Department of Breeding and Seed Production, <https://orcid.org/0000-0001-7326-2157>, ivanova_170@mail.ru

• Литература / References

1. Федосов А.Ю., Меньших А.М., Иванова М.И., Рубцов А.А. Инновационные технологии орошения овощных культур. М., Изд-во Ким Л.А., 2021. 306 с.
2. Федосов А.Ю., Меньших А.М., Иванова М.И. Дефицитное орошение овощных культур. *Овощи России*. 2022;(3):44-49. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-3-44-499>. EDN NGVSRG. [Fedosov A.Yu., Menshikh A.M., Ivanova M.A. Deficient irrigation of vegetable crops. *Vegetable crops of Russia*. 2022;(3):44-49. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-3-44-49>. EDN NGVSRG.]
3. Жученко А.А. Экологическая генетика культурных растений и проблемы агросферы (теория и практика). Т. 1. М., 2004. 688 с. [Zhuchenko A.A. Ecological genetics of cultivated plants and problems of the agrosphere (theory and practice). Т. 1. М., 2004. 688 p. (In Russ.)]
4. Назаров П.А., Балеев Д.Н., Иванова М.И., Соколова Л.М., Каракозова М.В. Инфекционные болезни растений: этиология, современное состояние, проблемы и перспективы защиты растений. *Acta Naturae* (русскоязычная версия). 2020;12,3(46):46-59. [Nazarov P.A., Baleev D.N., Ivanova M.I., Sokolova L.M., Karakozova M.V. Infectious plant diseases: etiology, current state, problems and prospects of plant protection. *Acta Naturae* (Russian version). 2020;12.3(46):46-59. (In Russ.)]
5. Федосов А.Ю., Меньших А.М., Иванова М.И. Оценка водного следа овощных культур. *Овощи России*. 2021;(4):57-64. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-4-57-64>. EDN QDYYSU. [Fedosov A.Y., Menshikh A.M., Ivanova M.I. Assessment of water footprint of vegetable crops. *Vegetable crops of Russia*. 2021;(4):57-64. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-4-57-64>. EDN QDYYSU.]
6. Огнитцев С.Б. Глобальные климатические изменения, углеродные балансы и влияние на них сельского хозяйства. *Актуальные вопросы современной экономики*. 2022;(7):238-249. [Ognitsev S.B. Global climate change, carbon balances and the impact of agriculture on them. *Topical issues of modern economy*. 2022 (In Russ.)]
7. Hazra P., Samsul H.A., Sikder D., Peter K.V. Breeding tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) resistant to high temperature stress. *International Journal of Plant Breeding*. 2007;(1):31-40.
8. Erickson A.N., Markhart A.H. Flower developmental stage and organ sensitivity of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) to elevated temperature. *Plant Cell and Environment*. 2012;(25):123-130.
9. Arora S.K., Partap P.S., Pandita M.L., Jalal I. Production problems and their possible remedies in vegetable crops. *Indian Horticulture*. 2010;(32):2-8.
10. Kurtar E.S. Modelling the effect of temperature on seed germination in some cucurbits. *African Journal of Biotechnology*. 2010;(9):9.
11. Ayyogari K., Sidhya P., Pandit M.K. Impact of climate change on vegetable cultivation - a review. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*. 2014;(7):145.
12. Солдатенко А.В., Иванова М.И., Бондарева Л.Л., Тареева М.М. Капустные зеленные овощи. М., Изд-во ФГБНУ ФНЦО, 2022. 296 с. ISBN 978-5-901695-89-0. EDN UNSAFI. [Soldatenko A.V., Ivanova M.I., Bondareva L.L., Tareeva M.M. Cabbage green vegetables. М., 2022. 296 p. ISBN 978-5-901695-89-0. EDN UNSAFI. (In Russ.)]
13. Sivakumar R., Nandhitha G.K., Boominathan P. Impact of Drought on Growth Characters and Yield of Contrasting Tomato Genotypes. *Madras Agricultural Journal*. 2016;(103):78-82.
14. Vadez V., Berger J.D., Warkentin T., Asseng S., Ratnakumar P., et al. Adaptation of grain legumes to climate change: a review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2012;(32):31-44.
15. SrinivasaRao N.K., Bhatt R.M. Responses of tomato to moisture stress: *Plant water balance and yield*. *Plant Physiology and Biochemistry, New Delhi*. 2012;(19):36-36.
16. De la Peña R., Hughes J. Improving vegetable productivity in a variable and changing climate. *Journal of SAT Agricultural Research*. 2007;(4):1-22.
17. Yordanov I., Velikova V., Tsonev T. Plant responses to drought, acclimation, and stress tolerance. *Photosynthetica*. 2013;(38):171-186.
18. Dias M.C., Brüggemann W. Limitations of photosynthesis in *Phaseolus vulgaris* under drought stress: gas exchange, chlorophyll fluorescence and Calvin cycle enzymes. *Photosynthetica*. 2010;(48):96-102.
19. Isopp H., Frehner M., Long S.P., Nösberger J. Sucrose-phosphate synthase responds differently to source-sink relations and to photosynthetic rates: *Lolium perenne* L. growing at elevated pCO₂ in the field. *Plant, Cell and Environment*. 2008;(23):597-607.
20. Andersen M.N., Asch F., Wu Y., Jensen C.R., Næsted H., et al. Soluble invertase expression is an early target of drought stress during the critical, abortion-sensitive phase of young ovary development in maize. *Plant Physiology*. 2012;(130):591-604.
21. Cheeseman J.M. Mechanisms of salinity tolerance in plants. *Plant physiology*. 2008;(87):547-550.
22. Jamil M., Rha E.S. The effect of salinity (NaCl) on the germination and seedling of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.). *Korean Journal of Plant Research*. 2014;(7):226-232.
23. Lopez M.A.H., Ulery A.L., Samani Z, Picchioni G., Flynn R.P. Response of chili pepper (*Capsicum annuum* L.) to salt stress and organic and inorganic nitrogen sources: i. growth and yield. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 2011;(14):137-147.
24. Kaymakanova M., Stoeva N., Mincheva T. Salinity and its effects on the physiological response of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Central European Agriculture*. 2008;(9):749-756.
25. Parent C., Capelli N., Berger A., Crèvecoeur M., Dat J.F. An overview of plant responses to soil waterlogging. *Plant Stress*. 2008;(2):20-27.
26. Drew M.C. Plant responses to anaerobic conditions in soil and solution culture. *CurrAdv Plant Sci*. 2009;(36):1-14.
27. Kawase M. Anatomical and morphological adaptation of plants to waterlogging. *HortSci*. 2011;(16):30-34.

28. Kuo D.G., Tsay J.S., Chen B.W., Lin P.Y. Screening for flooding tolerance in the genus *Lycopersicon*. *HortSci*. 2014;(17):76-78.
29. Kumar S.N. Climate Change and its Impacts on Food and Nutritional Security in India. *Agriculture under Climate Change: Threats, Strategies and Policies*. 2017;(1):48.
30. Folzer H., Dat J.F., Capelli N., Rieffel D., Badot P.M. Response of sessile oak seedlings (*Quercus petraea*) to flooding: an integrated study. *Tree physiology*. 2006;(26):759-766.
31. Liao C.T., Lin C.H. Effect of flooding stress on photosynthetic activities of *Momordica charantia*. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2014;(32):479-485.
32. Gibbs J., Greenway H. Mechanisms of anoxia tolerance in plants. I. Growth, survival and anaerobic catabolism. *Functional Plant Biology*. 2008;(30):1-47.
33. Malik A.I., Colmer T.D., Lambers H., Setter T.L., Schortemeyer M. Short-term waterlogging has long-term effects on the growth and physiology of wheat. *New Phytologist*. 2012;(153):225-236.
34. Pautasso M., Doring T.F., Garbelotto M., Pellis L., Jeger M.J. Impacts of climate change on plant diseases-opinions and trends. *European Journal of Plant Pathology*. 2012;(133):295-313.
35. Ваняян С.С., Меньших А.М., Борисов В.А., Маркизов В.А. Влияние режимов орошения и минеральных удобрений на урожайность и сохранность свеклы столовой. *Картофель и овощи*. 2016;(3):15-18. EDN VQFQUV. [Vaneyan S.S., Men'shikh A.M., Borisov V.A., Markizov V.A. The impact of irrigation and fertilizers regimes on the yield and storageability of the red beet. *Potato and vegetables*. 2016;(3):15-18. EDN VQFQUV. (In Russ.)]
36. Jat M.K., Tatarwal A.S. Effect of changing climate on the insect pest population National Seminar on Sustainable Agriculture and Food Security: Challenges in Changing Climate. 2012.
37. Das D.K., Singh J., Vennila S. Emerging crop pest scenario under the impact of climate change-a brief review. *Journal of Agricultural Physics*. 2011;(11):13-20.
38. Newton A.C., Johnson S.N., Gregory P.J. Implications of climate change for diseases, crop yields and food security. *Euphytica*. 2011;(179):3-18.
39. Zhou X., Harrington R., Woiwod I.P., Perry J.N., Bale J.S., et al. Effects of temperature on aphid phenology. *Global Change Biology*. 2014;(1):303-313.
40. Hahn D.A., Denlinger D.L. Meeting the energetic demands of insect diapause: nutrient storage and utilization. *Journal of Insect Physiology*. 2007;(53):760-773.
41. Harrington R., Fleming R.A., Woiwod I.P. Climate change impacts on insect management and conservation in temperate regions: can they be predicted? *Agricultural and Forest Entomology*. 2010;(3):233-240.
42. Mboup M., Bahri B., Leconte M., Vallavieille P.D., Kaltz O., et al. Genetic structure and local adaptation of European wheat yellow rust populations: the role of temperature-specific adaptation. *Evolutionary applications*. 2012;(5):341-352.
43. Harvell C.D., Mitchell C.E., Ward J.R., Altizer S., Dobson A.P., et al. Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota. *Science*. 2006;(296):2158-2162.
44. Termorshuizen A.J. Climate change and bioinvasiveness of plant pathogens: comparing pathogens from wild and cultivated hosts in the past and the present. *Pests and Climate Change*. 2008. pp: 6-9.
45. Boonekamp P.M. Are plant diseases too much ignored in the climate change debate?. *European Journal of Plant Pathology*. 2012;(133):291-294.
46. Солдатенко В.А., Борисов В.А. Экологическое овощеводство. М., Изд-во ФГБНУ ФНЦО, 2022. 504 с. ISBN 978-5-901695-88-3. EDN HBRGMW. [Soldatenko V.A., Borisov V.A. Ecological vegetable growing. М., 2022. 504 p. (In Russ.) ISBN 978-5-901695-88-3. EDN HBRGMW.]
47. Борисов В.А., Васючков И.Ю., Успенская О.Н. Комплексная оценка различных систем удобрения в экологическом овощеводстве открытого грунта. *Агрохимия*. 2022;(1):32-38. DOI 10.31857/S0002188122010045. EDN HRXHSX. [Borisov V.A., Vasyuchkov I. Yu., Kolomiets A.A., Uspenskaya O.N., Belova S.V. Effectiveness of vegetable fertilization based on soil and plant diagnostics. *Agrohimia*. 2022;(1):32-38. DOI 10.31857/S0002188122010045. EDN HRXHSX. (In Russ.)]
48. Lee S.G., Huh Y.C., Sun Z.Y., Miguel A., King S.R., et al. Cucurbit grafting. *Crit Rev Plant Sci*. 2008;(27):50-74.
49. Martinez Rodriguez M.M., Estan M.T., Moyano E., Garcia Abellan J.O., Flores F.B., et al. The effectiveness of grafting to improve salt tolerance in tomato when an 'excluder' genotype is used as scion. *Environmental and Experimental Botany*. 2010;(63):392-401.
50. Bhatt R.M., Rao N.K.S., Harish D.M. Significance of Grafting in Improving Tolerance to Abiotic Stresses in Vegetable Crops Under Climate Change Scenario. In: *Climate-Resilient Horticulture: Adaptation and Mitigation Strategies*. 2013. pp: 159-175.
51. He Y., Zhu Z., Yang J., Ni X., Zhu B. Grafting increases the salt tolerance of tomato by improvement of photosynthesis and enhancement of antioxidant enzymes activity. *Environmental and Experimental Botany*. 2009;(66):270-278.
52. Lee J.M., Kubota C., Tsao S.J., Bie Z., Echevarria P.H., et al. Current status of vegetable grafting: Diffusion, grafting techniques, automation. *Scientia Horticulturae*. 2010;(127):93-105.
53. Yetisir H., Caliskan M.E., Soyul S., Sakar M. Some physiological and growth responses of watermelon [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. and Nakai] grafted onto *Lagenaria siceraria* to flooding. *Environmental and Experimental Botany*. 2006;(58):1-8.
54. Matsubara S (2012) Studies on salt tolerance of vegetables, 3: Salt tolerance of rootstocks. Scientific Reports of the Faculty of Agriculture Okayama University.
55. Abdelmageed A.H., Gruda N., Geyer B. Effects of temperature and grafting on the growth and development of tomato plants under controlled conditions. *Rural Poverty Reduction through Research for Development and Transformation*. 2014.
56. Altieri M.A., Nicholls C.I., Henao A., Lana M.A. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development*. 2015;(35):869-890.
57. Foolad M.R., Zhang L.P., Subbiah P. Genetics of drought tolerance during seed germination in tomato: inheritance and QTL mapping. *Genome*. 2010;(46):536-545.
58. Бухарова А.Р., Бухаров А.Ф. Отдаленная гибридизация овощных пасленовых культур. Монография. Мичуринск, 2008. 274 с. [Bukharova A.R., Bukharov A.F. Remote hybridization of nightshade vegetable crops. Michurinsk, 2008. 274 p. (In Russ.)]
59. Бухаров А.Ф., Бухарова А.Р. Интрогрессия, гетерозис и адаптогенез в селекции перца. Монография. М., 2011. 292 с. [Bukharov A.F., Bukharova A.R. Introgression, heterosis and adaptogenesis in pepper breeding. М., 2011. 292 p. (In Russ.)]
60. Foolad M.R., Jones R.A. Genetic analysis of salt tolerance during germination in *Lycopersicon*. *Theoretical and Applied Genetics*. 2011;(81):321-326.
61. Gur A., Zamir D. Unused natural variation can lift yield barriers in plant breeding. *PLoS Biol*. 2008;(2):e245.
62. Wang W., Vinocur B., Altman A. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*. 2003;(218):1-14.
63. Sung D.Y., Kaplan F., Lee K.J., Guy C.L. Acquired tolerance to temperature extremes. *Trends in Plant science*. 2003;(8):179-187.
64. Hsieh T.H., Lee J.T., Charng Y.Y., Chan M.T. Tomato plants ectopically expressing *Arabidopsis* CBF1 show enhanced resistance to water deficit stress. *Plant Physiology*. 2002;(130):618-626.
65. Пашченко А.И. Каменная Степь. Каменная Степь, 2017. 216 с. [Pashchenko A.I. Stone Steppe. Stone Steppe, 2017. 216 p. (In Russ.)]