**УДК 635.64:631.52:631.559:581.1**

***Тургунова Г.Б., д.ф.с-х.н***
***старший преподаватель***
***Андижанского института сельского хозяйства и агротехнологий***
***Узбекистан.***
***Turgunova G.B., PhD***
***senior lecturer***
***of the Andijan Institute of Agriculture and Agrotechnologies***
***Uzbekistan***
***Раззокова Г.А.,***
***ассистент-преподаватель***
***Университета международного сельского хозяйства***
***Узбекистан.***
***Razzokova G.A.,***
***assistant lecturer***
***University of International Agriculture***
***Uzbekistan.***

# ОТБОР СЕЛЕКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ТОМАТА, УСТОЙЧИВЫХ К ЗАСУХЕ И ДЕФИЦИТУ ВОДЫ

# SELECTION OF TOMATO BREEDING MATERIAL RESISTANT TO DROUGHT AND WATER DEFICIT

***Аннотация:*** *В статье обобщены современные данные о засухоустойчивости генотипов томата и её значении для создания высокоурожайного селекционного материала. Рассмотрены влияние водного дефицита на продуктивность и физиологические процессы, а также генетические механизмы устойчивости. Показано, что засухоустойчивость является количественным признаком, зависящим от генотипа и условий*

*среды. При сокращении орошения на 50% у местных генотипов выявлено снижение урожайности и массы плодов, при этом отдельные формы характеризовались меньшими потерями. В популяции из 201 рекомбинантной инбредной линии выявлено 15 QTL, связанных с устойчивостью к водному дефициту на хромосомах 1, 3, 4, 8, 9, 10 и 12. Обоснована перспективность использования местных сортов и диких видов Solanum в селекции и необходимости комплексного отбора по устойчивости, урожайности и качеству плодов.*

***Ключевые слова:*** *томат, Solanum lycopersicum L., генотип, засуха, водный дефицит, засухоустойчивость, селекция, урожайность, QTL, физиологические признаки, корневая система, местные сорта, селекционный материал.*

***Abstract:*** This article summarizes current knowledge on drought resistance in tomato genotypes and its importance for developing high-yielding breeding material. The effects of water deficit on productivity and physiological processes, as well as the genetic mechanisms underlying drought resistance, are discussed. Drought resistance is shown to be a quantitative trait influenced by genotype and environmental conditions. A 50% reduction in irrigation resulted in decreased yield and fruit weight in local genotypes, although some accessions exhibited smaller losses. In a population of 201 recombinant inbred lines, 15 quantitative trait loci (QTLs) associated with water-deficit tolerance were identified on chromosomes 1, 3, 4, 8, 9, 10, and 12. The use of local varieties and wild *Solanum* species in breeding programs is considered promising. The importance of integrated selection based on drought resistance, yield, and fruit quality is emphasized.

***Keywords:*** tomato, *Solanum lycopersicum* L., genotype, drought, water deficit, drought resistance, breeding, yield, QTL, physiological traits, root system, local varieties, breeding material.

**Актуальность темы и анализ литературы.** Томат относится к важнейшим овощным культурам мирового сельского хозяйства, однако его

продуктивность существенно зависит от обеспеченности водой. Недостаток влаги особенно опасен в периоды цветения, оплодотворения и формирования плодов, когда нарушение водного баланса приводит к снижению устьичной проводимости, ограничению поступления углекислого газа, уменьшению интенсивности фотосинтеза и нарушению формирования репродуктивных органов. В результате сокращаются количество завязавшихся плодов, их масса и конечная урожайность. При этом реакция растений на водный дефицит существенно различается в зависимости от генотипа, продолжительности и интенсивности стресса, фазы развития и условий выращивания [4].

Особое значение проблема приобретает в регионах с высокой температурой воздуха и ограниченными водными ресурсами. Для селекции в таких условиях недостаточно получить растение, способное сохранять жизнеспособность при засухе. Практическая ценность генотипа определяется прежде всего его способностью поддерживать хозяйственно значимую продуктивность при ограниченном водоснабжении. Поэтому современная селекция ориентируется на сочетание адаптивности с высокой урожайностью, стабильным плодообразованием и приемлемым качеством плодов [7].

Одним из перспективных источников адаптивных признаков являются местные сорта и староместные формы. В процессе длительного выращивания в конкретных экологических условиях они подвергались естественному и искусственному отбору, вследствие чего часть таких генотипов сохранила признаки, обеспечивающие адаптацию к локальным стрессовым факторам. Исследования крупных коллекций томата подтверждают наличие значительной генетической вариабельности по урожайности, физиологическим характеристикам и реакции на водный дефицит. Исследование 165 генотипов показало широкое разнообразие признаков при достаточном и ограниченном водоснабжении, а реакция на водный дефицит различалась в зависимости от генотипа и типа плодов [3].

Более детально различия между местными генотипами были показаны в исследовании, опубликованном в 2024 г. При сравнении режимов оптимального водоснабжения и 50%-ного сокращения орошения установлены существенные различия по урожайности, массе плода и физиологическим показателям. Исследование было направлено именно на комплексное выявление генотипов, сохраняющих продуктивность при водном дефиците.

**Таблица 1.**

Влияние водного дефицита на основные показатели томата

| **Показатель** | **Изменение при недостатке влаги** |
|---|---|
| Урожайность | снижение в среднем на 44% |
| Средняя масса плода | снижение на 29% |
| Fv/Fm | снижение на 8,2% после 14 суток стресса |
| Fv/Fo | снижение на 35,5% после 14 суток стресса |
| Снижение урожая отдельных генотипов | от незначительного до 73,6% |
| Снижение количества плодов | 5,9–45,5% |
| Снижение средней массы плода | 9,5–59,4% |

**Источник: составлено по данным Grozeva et al. [1].*

Полученные результаты показывают, что среднее снижение урожайности не отражает всего разнообразия генотипической реакции. Существенный разброс показателей между формами свидетельствует о наличии различий в способности растений поддерживать водный статус, фотосинтетическую активность и репродуктивную функцию при стрессе. Поэтому при селекции необходимо оценивать не только абсолютную урожайность, но и степень её изменения при переходе от оптимального к ограниченному водоснабжению.

Генетическая природа засухоустойчивости подтверждается результатами молекулярно-генетических исследований. X.Li и соавторы изучили популяцию из 201 рекомбинантной инбредной линии, полученную от скрещивания *Solanum pimpinellifolium* и *S.lycopersicum*. С использованием

генетического картирования были выявлены 15 QTL, связанных с устойчивостью к засухе и солевому стрессу на стадии проростков. Соответствующие локусы располагались на хромосомах 1, 3, 4, 8, 9, 10 и 12.

**Таблица 2.**

Генетические показатели устойчивости томата к водному дефициту

| **Показатель** | **Результат** |
|---|---|
| Исследованная популяция | 201 рекомбинантная инбредная линия |
| Родительские формы | *S. pimpinellifolium* × *S. lycopersicum* |
| Количество выявленных QTL | 15 |
| Хромосомы с выявленными QTL | 1, 3, 4, 8, 9, 10, 12 |
| Доля фенотипической изменчивости отдельных QTL | 4,91–15,86% |
| Кандидатные гены основных локусов | *SlMSRB1*, *SlBRL1* |
| Генетический характер признака | сложный, количественный |

***** *Источник: X.Li et al. [2].*

Таким образом, засухоустойчивость нельзя рассматривать как признак, контролируемый одним геном. Каждый отдельный локус объясняет только часть фенотипической изменчивости, а конечное проявление признака зависит от взаимодействия генотипа со средой. Это повышает значение комплексного отбора и одновременной оценки физиологических, морфологических и хозяйственных признаков.

Новые сведения о молекулярных механизмах устойчивости получены при изучении гена BBX18. В исследовании X.Li и соавторов установлено, что природный вариант BBX18 связан с различиями в реакции томата на засуху. Белок BBX18 взаимодействует с APX1 и участвует в регуляции его экспрессии. Авторы показали, что природные варианты этого гена различаются между дикими и культурными формами томата, а изменение BBX18 может влиять на устойчивость растений к водному дефициту [2].

Значительный интерес представляет также материал, полученный из местных форм и диких видов томата. В исследовании V.Cirillo и соавторов изучались генотипы различного происхождения, включая местные формы и беккросс-инбредные линии *Solanum pennellii*. Среди десяти исследованных

образцов генотип T150 был выделен как форма, проявившая устойчивость к недостатку воды, тогда как T292 характеризовался устойчивостью к дефициту азота.

**Методика исследования.** Настоящая работа представляет собой аналитический обзор современных научных исследований, посвящённых физиологическим, генетическим и селекционным механизмам засухоустойчивости томата. В качестве источников использованы научные публикации, в которых изучались местные сорта, селекционные линии, культурные генотипы и генетический материал дикого происхождения. Основное внимание уделено исследованиям, опубликованным в 2024–2026 гг., дополненным более ранними работами, имеющими значение для понимания генетической основы признака.

Для комплексной оценки засухоустойчивости целесообразно использовать три взаимосвязанные группы показателей. К морфологическим признакам относятся развитие и распределение корневой системы, площадь листовой поверхности, высота растения, количество цветков и плодов. Физиологическая группа включает относительное содержание воды в листьях, интенсивность фотосинтеза, устьичную проводимость, содержание хлорофилла и параметры флуоресценции хлорофилла. Хозяйственную ценность характеризуют количество плодов на растении, средняя масса плода, урожай с растения, общая урожайность и стабильность продуктивности при различных режимах водоснабжения. При необходимости эти показатели дополняются биохимическими параметрами, включая содержание пролина и активность антиоксидантных ферментов.

Для изучения генетической основы признака применяются QTL-картирование, SNP-маркеры, генотипирование и анализ генов-кандидатов. Однако молекулярные показатели не должны использоваться изолированно. Выявление потенциально благоприятного аллеля необходимо подтверждать фенотипической оценкой растения в условиях контролируемого и полевого водного дефицита.

**Таблица 3.**

Основные признаки, рекомендуемые для оценки засухоустойчивости томата

| Группа признаков | Признак | Значение для селекции |
|---|---|---|
| Морфологические | Развитие корневой системы | Способность использовать почвенную влагу |
| | Площадь листьев | Ростовой и фотосинтетический потенциал |
| Физиологические | Относительное содержание воды | Сохранение водного состояния тканей |
| | Устьичная проводимость | Регулирование потери воды |
| | Интенсивность фотосинтеза | Сохранение ассимиляционной активности |
| Физиологические | Содержание хлорофилла | Состояние фотосинтетического аппарата |
| Биохимические | Содержание пролина | Осмотическая адаптация |
| | Активность антиоксидантных ферментов | Защита клеток от окислительного стресса |
| Хозяйственные | Количество плодов | Компонент урожайности |
| | Средняя масса плода | Компонент индивидуальной продуктивности |
| | Урожайность | Основной показатель селекционной ценности |
| | Стабильность урожая | Оценка адаптивности генотипа |

**Источник:составлено автором на основе анализа научной литературы [1–5].*

**Результаты и обсуждение.** Действие водного дефицита на томат начинается с нарушения водного баланса растения. При уменьшении доступной влаги усиливается регуляция транспирации посредством закрытия устьиц. Это позволяет временно ограничить потерю воды, однако одновременно снижает поступление углекислого газа в лист и ограничивает фотосинтез. При продолжительном стрессе изменяются рост корневой системы и надземных органов, нарушается формирование репродуктивных органов и снижается способность растения поддерживать стабильную урожайность.

Корневая система играет важную роль в адаптации к водному дефициту, однако сама по себе высокая корневая масса не может служить универсальным критерием устойчивости. Для селекции имеют значение глубина распространения корней, их разветвлённость, соотношение корневой и надземной биомассы, а также способность обеспечивать растение водой на протяжении всего периода вегетации. Исследование V.Cirillo и соавторов также показывает значение изменений соотношения корневой и надземной частей при недостатке воды [4].

Особенно чувствительной фазой является цветение и плодообразование. Недостаток воды в этот период способен приводить к снижению жизнеспособности цветков, уменьшению количества завязей и последующему сокращению числа плодов. Поэтому генотипы, сохраняющие репродуктивную способность при ограниченном водоснабжении, представляют значительный интерес для селекции.

Результаты исследования местных генотипов томата показывают значительную вариабельность реакции растений на водный дефицит. При сокращении водоснабжения наблюдалось уменьшение урожайности, массы плодов и физиологических показателей, однако степень изменения этих характеристик зависела от генотипа.

**Таблица 4.**

Изменение показателей отдельных генотипов томата при водном дефиците

| **Показатель** | **Диапазон изменения** |
|---|---|
| Завязываемость плодов при сокращённом орошении | 27,2–69,2% |
| Завязываемость при оптимальном орошении | 61,7–79,2% |
| Снижение урожая отдельных генотипов | до 73,6% |
| Снижение количества плодов | 5,9–45,5% |
| Снижение средней массы плода | 9,5–59,4% |

**Источник: S.Grozeva et al. [1].*

Современные полевые исследования также свидетельствуют о существенных различиях между генотипами. В работе 2026 г. были изучены шесть индетерминантных генотипов томата – E7, E8, E36, E40, E103 и PDVIT – с использованием физиологических, метаболомных и геномных

показателей. Исследование было опубликовано 28 августа 2026 г. и направлено на выявление признаков, связанных с устойчивостью местных генотипов к засухе.

**Таблица 5.**

Реакция генотипов томата на водный дефицит

| Генотип | Общая характеристика реакции |
|---|---|
| E7 | выраженное снижение физиологической активности при сильном водном дефиците |
| PDVIT | относительно стабильная продуктивность и ограниченные метаболические изменения |
| E8, E36, E40, E103 | промежуточная реакция, зависящая от условий стресса |

**Источник: S.Francesca et al. [5].*

Следует подчеркнуть, что результаты отдельных генотипов нельзя автоматически переносить на все условия выращивания. Сила реакции зависит от режима орошения, продолжительности стресса, температуры, фазы развития и генетического происхождения материала. Поэтому полевые данные должны рассматриваться в связи с конкретными условиями эксперимента.

Эти результаты имеют непосредственное значение для селекционной работы. Отбор только по урожайности при оптимальном водоснабжении может привести к получению материала, который не сохраняет продуктивность при ограничении воды. Поэтому перспективные генотипы необходимо оценивать как при достаточном, так и при дефицитном водоснабжении. При этом целесообразно рассчитывать не только абсолютную урожайность, но и относительное снижение урожая, стабильность числа плодов и массы плода, а также способность растений восстанавливаться после прекращения стрессового воздействия.

Местные сорта представляют особый интерес именно потому, что они могут содержать адаптивные аллели, утраченные или ослабленные в процессе направленной селекции на высокую продуктивность в благоприятных условиях. Исследование 165 генотипов показало широкую вариабельность урожайности и других хозяйственно ценных признаков, а

также различную реакцию генотипов на водный дефицит. Авторы рассматривают местные формы как потенциальный источник признаков для уменьшения потерь урожая и улучшения качества плодов при дефиците воды.

Перспективным направлением является использование дикорастущих видов *Solanum*, в том числе *S.pennellii*. Дикие родственники культурного томата могут служить источниками аллелей, связанных с адаптацией к дефициту воды и другим стрессовым факторам. Исследования с участием *S.pennellii* подтверждают возможность выявления генотипов, характеризующихся устойчивостью к водному дефициту.

Однако включение такого материала в селекционный процесс требует последующего отбора, поскольку высокая стрессоустойчивость может сочетаться с нежелательными признаками – низкой массой плодов, неудовлетворительными качественными показателями или недостаточной общей продуктивностью.

Современные исследования показывают, что водный дефицит способен не только снижать урожайность, но и изменять качество плодов. В исследовании M.Fullana-Pericàs и соавторов у 165 генотипов при водном дефиците отмечалась общая тенденция к снижению урожайности и одновременно к изменению ряда показателей качества плодов. При этом реакция существенно зависела от генотипа и типа плодов [6].

Данные более позднего исследования средиземноморских местных сортов также показывают, что сокращение водоснабжения на 35 и 50% в целом отрицательно влияло на урожайность и рост растений, однако отдельные генотипы сохраняли высокую продуктивность в условиях ограниченного водоснабжения. Авторы также выявили улучшение отдельных показателей качества плодов при дефицитном орошении.

**Таблица 6.**

**Пред**лагаемая последовательность создания засухоустойчивого высокоурожайного селекционного материала

| Этап | Основная задача | Основные критерии |
|---|---|---|
| 1. Подбор родителей | Формирование исходной комбинации признаков | Устойчивость, урожайность, качество |
| 2. Гибридизация | Объединение ценных признаков | Генетическая совместимость |
| 3. Получение потомства | Расширение генетической изменчивости | Вариабельность признаков |
| 4. Стресс-тестирование | Выявление устойчивых растений | Сохранение роста и жизнеспособности |
| 5. Физиологический отбор | Оценка механизмов устойчивости | Водный статус, фотосинтез, устьичная проводимость |
| 6. Хозяйственная оценка | Определение продуктивности | Количество и масса плодов, урожайность |
| 7. Молекулярный анализ | Подтверждение генетической основы | QTL, SNP и гены-кандидаты |
| 8. Полевое испытание | Оценка стабильности | Устойчивость в различных условиях |
| 9. Выделение перспективных линий | Комплексный отбор | Устойчивость + урожайность + качество |

**Источник: составлено автором на основе анализа научной литературы [1–8].*

Важным направлением современной селекции является объединение физиологических и генетических данных. Выявленные QTL могут использоваться для ускорения отбора, однако отдельный локус не должен рассматриваться как самостоятельный и достаточный критерий засухоустойчивости. В исследовании X.Li и соавторов выявленные QTL объясняли только часть фенотипической изменчивости, что подтверждает количественный характер признака.

Молекулярные исследования дополняют эту картину. В частности, изучение BBX18 показало, что отдельные гены могут существенно влиять на реакцию томата на водный дефицит через регуляцию антиоксидантной защиты. Однако наличие определённого аллеля само по себе не заменяет полевой фенотипической оценки.

С практической точки зрения перспективный генотип должен характеризоваться не просто способностью переносить водный стресс, а

комплексом признаков: сохранением водного статуса, поддержанием фотосинтетической активности, стабильным цветением и плодообразованием, относительно небольшим снижением урожайности, способностью восстанавливаться после стресса и приемлемым качеством плодов. Именно такой подход позволяет перейти от формального отбора «засухоустойчивых» растений к созданию хозяйственно ценного селекционного материала.

**Заключение.** Анализ современных исследований показывает, что засухоустойчивость томата является сложным количественным признаком, формирующимся в результате взаимодействия генотипа и условий среды. Водный дефицит влияет на водный баланс, фотосинтез, рост, цветение, плодообразование и урожайность, однако степень этих изменений значительно различается между генотипами. Исследования местных форм подтверждают наличие существенной генотипической вариабельности по реакции на ограниченное водоснабжение.

Генетические исследования подтверждают полигенную природу признака. В популяции из 201 рекомбинантной инбредной линии выявлено 15 QTL, связанных с устойчивостью к водному дефициту на стадии проростков. Они расположены на семи хромосомах, что свидетельствует о совокупном действии нескольких генетических факторов.

Исследования отдельных генов также показывают возможность выявления конкретных молекулярных механизмов устойчивости. В частности, BBX18 связан с регуляцией реакции томата на засуху через взаимодействие с APX1 и регулирование антиоксидантной системы. Эти данные расширяют возможности использования молекулярных маркеров и генов-кандидатов в селекционной работе.

Перспективными источниками адаптивных признаков являются местные сорта, староместные формы и дикие виды рода *Solanum*. Их использование позволяет расширить генетическую основу культурного томата и выявить новые источники устойчивости к водному дефициту.

Работы с *S.pennellii* демонстрируют возможность выделения генотипов, сохраняющих продуктивность при недостатке воды.

Вместе с тем перенос стрессоустойчивости должен сопровождаться отбором по урожайности, качеству плодов, стабильности плодоношения и способности растений сохранять продуктивность в различных условиях водоснабжения. Исследования средиземноморских местных сортов показывают, что реакция на дефицит воды может существенно различаться между генотипами, а отдельные формы способны сохранять относительно высокую продуктивность и качество плодов при сокращённом орошении.

Таким образом, создание высокоурожайного засухоустойчивого селекционного материала должно основываться на сочетании традиционной гибридизации и отбора с физиологической оценкой и современными молекулярно-генетическими методами. Наиболее информативным является комплексный подход, при котором одновременно учитываются физиологические показатели, параметры корневой системы, репродуктивная устойчивость, урожайность, качество плодов и генетические маркеры. Такой подход создаёт научную основу для получения селекционного материала, адаптированного к условиям ограниченного водоснабжения.

**Использованные источники:**


1. Grozeva S., Topalova E., Ganeva D., et al. Evaluation of Tomato Landraces for Tolerance to Drought Stress Using Morphological and Physiological Traits//International Journal of Plant Biology. – 2024. – Vol. 15, No. 4. – P. 1391–1404. – DOI: 10.3390/ijpb15040096**.**
2. Li X., Liu X., Pan F., et al**.** Dissection of major QTLs and candidate genes for seedling stage salt/drought tolerance in tomato//BMC Genomics. – 2024. – Vol. 25. – Article 1170. – DOI: 10.1186/s12864-024-11101-8**.**
3. Li J., Ai G., Wang Y., et al. A truncated B-box zinc finger transcription factor confers drought sensitivity in modern cultivated tomatoes//Nature Communications. – 2024. – Vol. 15. – Article 8013. – DOI: 10.1038/s41467-024-51699-7**.**

4. Cirillo V., Ruggiero A., Caullireau E., et al. Isolating Water and Nitrogen Stress Tolerant Genotypes Among Tomato Landraces and *Solanum pennellii* Backcross Inbred Lines//Journal of Plant Growth Regulation. – 2025. – Vol. 44. – P. 2367–2378. – DOI: 10.1007/s00344-024-11552-z.
5. Francesca S., Graci S., Addonizio M., et al. Field-tested drought resilience in tomato landraces: physiological, metabolomic and genomic signatures associated with PDVIT tolerance//Plant Physiology and Biochemistry. – 2026. – Article 100658. – DOI: 10.1016/j.plaphy.2026.100658.
6. Fullana-Pericàs M., Conesa M. À., Douthe C., El Aou-ouad H., Ribas-Carbó M., Galmés J. Tomato landraces as a source to minimize yield losses and improve fruit quality under water deficit conditions//Agricultural Water Management. – 2019. – Vol. 223. – Article 105722. – DOI: 10.1016/j.agwat.2019.105722.
7. Tüzel Y., Biyke H., Harouna O. S., Durdu T., Tepecik M., Oztekin G. B., Tunalı U., Gruda N. S. Deficit Irrigation Response and Climate Resilience of Mediterranean Tomato Landraces//Horticulturae. – 2025. – Vol. 11, No. 1. – Article 74. – DOI: 10.3390/horticulturae11010074.
8. Tüzel Y., Kayıkçıoğlu H. H., Durdu T., et al. Enhancing tomato drought resilience with organic amendments and local landraces//Scientific Reports. – 2025. – Vol. 15. – Article 26172. – DOI: 10.1038/s41598-025-12098-0.