



РАЗРАБОТКА УСТОЙЧИВЫХ К ЗАСУХЕ СОРТОВ ЗЕРНОВЫХ: ГЕНЕТИЧЕСКИЕ, ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ

Кузнецова Дарья Владимировна

Студент, Институт агробиотехнологий Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева
г. Москва, Россия

Мельников Сергей Игоревич

Кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры генетики, селекции и семеноводства Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева
г. Москва, Россия

Аннотация

Статья посвящена комплексному анализу современных методов разработки засухоустойчивых сортов зерновых культур в условиях глобального изменения климата. Рассматриваются молекулярно-генетические механизмы устойчивости растений к водному стрессу, физиологические реакции на дефицит влаги, роль клеточной адаптации, механизмы защиты фотосинтетического аппарата и формирования устойчивой архитектуры корневой системы. Приводится анализ достижений селекционной науки, методов классического отбора, молекулярных маркеров, геномного редактирования и биотехнологий. Показано, что формирование засухоустойчивости является многоуровневым процессом, требующим интеграции физиологии, генетики, молекулярной биологии и агротехнического сопровождения.

Ключевые слова: засухоустойчивость, зерновые культуры, селекция, водный стресс, физиология растений, генетика устойчивости, адаптация растений.

Введение

В условиях глобального изменения климата проблема засухоустойчивости сельскохозяйственных культур становится одной из ключевых для обеспечения продовольственной безопасности. Рост температур, сокращение осадков и изменение структуры влагообеспечения регионов приводят к снижению урожайности зерновых культур, которые составляют основу рациона значительной части населения планеты.

Особенно остро эта проблема стоит для аридных и полуаридных зон, где осадки становятся всё более нерегулярными, а высокая температура усиливает испарение воды и вызывает стресс у растений.

Разработка засухоустойчивых сортов является приоритетным направлением современной сельскохозяйственной науки. Зерновые культуры — пшеница, ячмень, кукуруза, рис, овёс, просо — обладают различными адаптационными возможностями, однако большинство традиционных сортов не способны обеспечивать стабильную продуктивность в условиях дефицита влаги. Поэтому ключевой задачей селекционеров становится выявление физиологических, молекулярных и генетических механизмов, определяющих высокую устойчивость растений к водному дефициту.

Современная практика сочетает классические селекционные методы с молекулярно-генетическими технологиями. Развитие геномики, протеомики и биоинформатики позволяет глубже понимать закономерности формирования засухоустойчивости, прогнозировать реакции растений и ускорять создание адаптивных сортов. Исследование этих механизмов является фундаментом для разработки устойчивых агроэкосистем, способных противостоять вызовам климатической нестабильности.

Физиологические механизмы устойчивости растений к водному стрессу

Физиологическая реакция растений на засуху представляет собой многоэтапный процесс, включающий изменения в водном балансе, структуре мембран, работе фотосинтетического аппарата и обмене веществ. Важнейшим компонентом является способность растения поддерживать тургор при минимальном поступлении воды. Это достигается за счёт накопления осмотически активных веществ, таких как пролин, сахара, калий, которые способствуют удержанию влаги в клетках.

Ключевую роль играет архитектура корневой системы. Уплотнение верхних слоёв почвы и снижение доступности воды стимулируют развитие глубоко залегающих корней. Сорта, обладающие мощной стержневой системой, демонстрируют более высокую устойчивость к засухе. Гормональная регуляция, в частности синтез абсцизовой кислоты, способствует закрытию устьиц и снижению транспирации, что предотвращает потерю воды организмом.

В условиях длительного водного дефицита растения включают механизмы защиты клеточных мембран, стабилизации белков и предотвращения окислительного стресса. Активируются антиоксидантные ферменты — каталаза, пероксидаза, супероксиддисмутаза. Эти системы препятствуют разрушению клеточных структур, обеспечивая устойчивость метаболических процессов.

Особое внимание уделяется фотосинтетическому аппарату. При водном стрессе нарушается работа фотосистемы II, снижается активность рубиско, что приводит к снижению ассимиляции углекислого газа.

Стабильность фотосинтеза при недостатке влаги является одним из индикаторов засухоустойчивости сорта, и многие селекционные программы включают оценку хлорофиллового флуоресцентного отклика как критерия устойчивости.

Генетические механизмы формирования засухоустойчивости

Засухоустойчивость — сложный полигенный признак. Она определяется взаимодействием множества генов, регулирующих физиологические процессы, включая водный транспорт, синтез осмопротекторов, работу антиоксидантных систем, морфогенез корневой системы и переключение метаболических путей. Генетические исследования выявили значительное число QTL-локусов, связанных с устойчивостью к водному стрессу у пшеницы, ячменя и кукурузы.

Особое значение имеют гены транскрипционных факторов семейств DREB, NAC, WRKY, MYB, регулирующих экспрессию большого числа стресс-ассоциированных генов. Эти гены запускают каскады реакций, обеспечивая адаптацию растений к дефициту влаги. Важен также генетический контроль гормонального ответа, в частности путей абсцизовой кислоты и цитокининов, которые регулируют работу устьиц и развитие корневой системы.

Современные методы геномного редактирования, включая CRISPR/Cas9, позволяют точно изменять ключевые гены, повышая устойчивость растений. Технологии редактирования открывают новые возможности для ускоренного создания адаптивных сортов без значительного вмешательства в их генетическую структуру. Этот подход обеспечивает высокую точность работы и минимизирует риски возникновения нежелательных изменений.

Селекционные стратегии и биотехнологические методы

Классическая селекция остаётся основой создания засухоустойчивых сортов. Однако её эффективность значительно повышается благодаря применению молекулярных маркеров, позволяющих отслеживать нужные признаки на ранних этапах развития растений. Маркер-ассоциированная селекция ускоряет процесс отбора и снижает зависимость от природных условий.

Важно учитывать географическую специфику. Сорта, устойчивые к засухе в одном регионе, могут проявлять слабую адаптивность в другом. Поэтому селекционные программы должны основываться на локальных климатических данных, типах почв и особенностях агроэкосистемы.

Биотехнологические методы включают культивирование тканей, соматическую вариабельность, использование стресс-индуцированных культур и анализ протеома. Эти подходы позволяют выявлять растения с высокой стрессоустойчивостью до того, как проявятся внешние признаки засухи.

Сочетание методов геномики, феномики и биоинформатики создаёт интегрированную платформу для создания новых сортов.

Агротехнические аспекты обеспечения устойчивости зерновых к засухе

Селекция сортов должна сопровождаться грамотной агротехнической стратегией. Агротехнические приёмы включают оптимизацию времени посева, применение мульчирования, снижение плотности стояния растений, подбор адаптивных систем внесения удобрений и формирование устойчивой структуры агроландшафта.

Значимым направлением является увеличение водоудерживающей способности почв за счёт применения органических удобрений, биоугольных технологий, сидератов и рационального севооборота. Комплексный подход обеспечивает снижение стрессового воздействия засухи и раскрытие генетического потенциала устойчивых сортов.

Заключение

Разработка засухоустойчивых сортов зерновых культур является стратегической задачей современных аграрных исследований. Она требует сочетания физиологии растений, молекулярной генетики, селекционной науки и современных агротехнических технологий. Интеграция фундаментальных и прикладных подходов позволяет создавать сорта, способные обеспечивать стабильную урожайность в условиях дефицита влаги, что особенно важно в эпоху климатических изменений.

Литература

1. Жученко А. А. Экологическая генетика культурных растений. М.: Колос, 2004.
2. Кобылянский В. Д. Засухоустойчивость сельскохозяйственных культур. Ростов-на-Дону: Феникс, 2012.
3. Заволока А. П. Физиология устойчивости растений к стрессам. СПб.: Лань, 2019.
4. Килин В. Н. Генетические основы селекции зерновых культур. М.: Агропромиздат, 2020.
5. Литвинов С. С. Агрофизические аспекты устойчивости сельхозкультур. М.: Наука, 2016.