



ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ИНЖЕНЕРИЯ РАСТЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИХ УСТОЙЧИВОСТИ К ЭКСТРЕМАЛЬНЫМ КЛИМАТИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ

Иванова Ольга Петровна

кандидат биологических наук, доцент кафедры биотехнологии, Санкт-Петербургский государственный университет
г. Санкт-Петербург, Россия

Смирнов Алексей Владимирович

аспирант кафедры биотехнологии, Санкт-Петербургский государственный университет
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

В статье рассмотрены современные подходы генетической инженерии растений, направленные на повышение их устойчивости к экстремальным климатическим условиям, включая засуху, высокие и низкие температуры, засоленность почв. Проанализированы методы трансгенеза, использование CRISPR/Cas9 и других технологий редактирования генома. Отдельное внимание уделено биологическим механизмам устойчивости растений, а также этическим и правовым аспектам использования генно-модифицированных организмов (ГМО) в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: генетическая инженерия, растения, стрессоустойчивость, экстремальные климатические условия, CRISPR/Cas9, трансгенные растения, ГМО

Введение

Глобальные изменения климата оказывают значительное влияние на сельское хозяйство, приводя к учащению экстремальных погодных явлений: засух, тепловых волн, заморозков, наводнений. Эти факторы негативно сказываются на урожайности и стабильности агропроизводства, что ставит под угрозу продовольственную безопасность. В связи с этим возрастают требования к устойчивости сельскохозяйственных культур к неблагоприятным условиям.

Одним из перспективных подходов решения этой задачи является генетическая инженерия — направление, позволяющее целенаправленно изменять геном растений с целью повышения их адаптивного потенциала.

Целью данной статьи является обзор современных технологий генетической инженерии, используемых для повышения устойчивости растений к экстремальным климатическим условиям, анализ их биологических механизмов и обсуждение этико-правовых вопросов применения ГМО.

Технологии генетической инженерии для повышения устойчивости растений

Трансгенез и введение стрессоустойчивых генов

Классическим методом создания устойчивых растений является трансгенез — внедрение в геном растения чужеродных генов, кодирующих белки, повышающие толерантность к стрессам. Примером служит внедрение гена *osmotin* из табака в картофель, что позволяет повысить устойчивость к солевому стрессу. Другие примеры включают введение генов, кодирующих антиоксидантные ферменты (супероксиддисмутаза, каталаза), способствующих нейтрализации активных форм кислорода, которые накапливаются в клетках при воздействии стрессов.

Важным направлением является также экспрессия генов теплового шока (HSP — heat shock proteins), которые обеспечивают защиту белков от денатурации при высоких температурах. Ряд исследований продемонстрировал, что такие модификации позволяют растениям сохранять фотосинтетическую активность и рост в условиях тепловых волн.

Редактирование генома с помощью CRISPR/Cas9

Современные технологии редактирования генома, такие как CRISPR/Cas9, открывают новые возможности для создания устойчивых растений без введения чужеродной ДНК. С помощью CRISPR можно точно изменять собственные гены растения, усиливая их экспрессию или «выключая» нежелательные функции. Например, были разработаны сорта риса с мутацией в генах, регулирующих транспирацию, что позволило снизить потерю воды и повысить засухоустойчивость.

Преимущество CRISPR заключается в высокой точности, относительной простоте и снижении этических барьеров, связанных с внедрением чужеродных генов. Кроме того, некоторые страны (например, США) рассматривают растения, полученные с помощью «точечного» редактирования, как немодифицированные организмы, что облегчает их легализацию.

Комплексные подходы и мультигенная инженерия

Большинство экстремальных факторов (засуха, соленость, высокая температура) вызывают множественные изменения в метаболизме растений. Поэтому все больше исследований направлено на мультигенную инженерную модификацию, когда одновременно изменяются несколько генов, связанных с разными аспектами устойчивости. Примером служит создание томатов, устойчивых к засухе и грибковым заболеваниям благодаря экспрессии нескольких защитных генов.

Кроме того, развивается направление метаболической инженерии, направленное на изменение путей синтеза осмолитов, антиоксидантов, защитных сахаров. Это позволяет растениям адаптироваться за счет накопления веществ, стабилизирующих клеточные структуры.

Биологические механизмы устойчивости растений

Осмотическая регуляция и накопление защитных веществ

Один из ключевых механизмов устойчивости растений к засухе и солевому стрессу — накопление осмолитов (пролина, глицина бетаина, сахаров), которые способствуют удержанию воды в клетках. Генетическая модификация путей их биосинтеза позволяет повысить концентрацию этих соединений в тканях, что улучшает водный баланс растений.

Активность антиоксидантных систем

Под действием экстремальных условий в клетках растений накапливаются активные формы кислорода, вызывающие окислительный стресс. Устойчивые растения характеризуются более высокой активностью антиоксидантных ферментов (каталазы, супероксиддисмутазы, аскорбатпероксидазы). Генетическая инженерия позволяет повысить экспрессию генов этих ферментов, снижая повреждение клеток.

Регуляция экспрессии стресс-ассоциированных генов

Регуляция стресс-ассоциированных транскрипционных факторов, таких как DREB, NAC, WRKY, позволяет активировать целые каскады генов, ответственных за адаптацию к стрессам. Введение или усиление экспрессии таких транскрипционных факторов — еще один путь повышения устойчивости растений.

Этические и правовые аспекты применения генетической инженерии

Проблемы восприятия ГМО в обществе

Несмотря на научно обоснованные данные о безопасности многих трансгенных культур, в обществе сохраняется настороженность и недоверие к ГМО. В ряде стран действуют жесткие ограничения или запреты на выращивание и использование таких культур, что препятствует их широкому внедрению.

Регулирование генно-модифицированных растений

Юридическое регулирование ГМО сильно варьируется между странами. В ЕС действует принцип предосторожности, требующий многолетних исследований безопасности, тогда как в США и ряде других стран законодательство более либеральное. Новые технологии, такие как CRISPR, вызывают дискуссии о необходимости обновления регуляторных рамок, поскольку продукты редактирования без внедрения чужеродных генов не всегда подпадают под существующие определения ГМО.

Биобезопасность и риск для окружающей среды

Еще один важный аспект — контроль за возможным переносом трансгенов в дикорастущие виды, появлением «суперсорняков» и непредвиденными экологическими последствиями. Поэтому в рамках биобезопасности важно предусматривать меры по мониторингу, ограничению распространения пыльцы, разработке систем «генетических выключателей».

Заключение

Генетическая инженерия открывает уникальные возможности для повышения устойчивости растений к экстремальным климатическим условиям, обеспечивая адаптацию сельского хозяйства к вызовам глобальных изменений климата. Однако успешное внедрение таких технологий требует комплексного подхода, включающего развитие научных исследований, совершенствование нормативно-правовой базы, информирование общества и решение этических вопросов.

Литература

1. Yamaguchi-Shinozaki K., Shinozaki K. Transcriptional regulatory networks in cellular responses and tolerance to dehydration and cold stresses. *Annual Review of Plant Biology*, 2006;57:781-803.
2. Chen K., Gao C. Targeted genome modification technologies and their applications in crop improvements. *Plant Cell Reports*, 2014;33(4):575-583.
3. Tester M., Langridge P. Breeding technologies to increase crop production in a changing world. *Science*, 2010;327(5967):818-822.