

Как ускоренный фотосинтез может изменить аграрную науку и замедлить климатические изменения

Дата публикации: 16.07.2025

Фотосинтез — это основа жизни на планете, и его фундаментальный фермент, рубиско, играет ключевую роль в преобразовании углекислого газа в органические молекулы. Несмотря на свою важность, этот фермент издавна был объектом разочарования для биохимиков из-за своей медлительности и склонности к ошибочным реакциям с кислородом, которые снижают эффективность всего фотосинтетического процесса. Новое исследование учёных Массачусетского технологического института демонстрирует прорыв: им удалось увеличить каталитическую эффективность бактериального рубиско на 25% с помощью технологии непрерывной направленной эволюции.

Преобразование рубиско — не просто лабораторное достижение. Это ключ к повышению урожайности сельскохозяйственных культур, снижению потерь энергии, оптимизации использования углекислого газа и, возможно, даже к биотехнологическим стратегиям борьбы с климатическим кризисом. С точки зрения глобального продовольственного обеспечения и углеродного баланса, это может означать начало новой эры.

Фермент рубиско (рибулозо-1,5-бисфосфаткарбоксилаза/оксигеназа) катализирует включение молекулы CO₂ в органическое соединение, являясь точкой входа углерода в метаболизм растений. Но этот процесс крайне неэффективен: рубиско проводит всего несколько реакций в секунду, и часть его активности уходит на взаимодействие с кислородом, в результате чего происходит фотодыхание — энергетически затратный и бесполезный процесс.

Проблема рубиско много лет оставалась технически сложной для модификации. Эволюция миллионами лет формировала его в определённой структуре, и даже малейшие изменения аминокислотной последовательности могли нарушать его работу. Однако исследователи из MIT применили подход, позволяющий обойти эти ограничения — технологию MutaT7, ранее созданную в их собственной лаборатории. Этот метод позволяет проводить мутагенез и селекцию прямо в живых клетках, значительно увеличивая скорость и масштаб эволюционных итераций.

Используя эту платформу, исследователи начали с рубиско, выделенного из полуанаэробных бактерий семейства Gallionellaceae, обладающего относительно высокой скоростью действия. Затем они культивировали генетически

модифицированные бактерии *E. coli* в насыщенной кислородом среде, создавая селекционное давление, при котором выживали только наиболее эффективные варианты фермента.

Результатом стали три ключевые мутации, расположенные вблизи активного центра рубиско. Эти изменения увеличили его селективность к углекислому газу и снизили взаимодействие с кислородом. Итог — значительное увеличение скорости фиксации CO_2 и снижение потерь энергии на фотодыхание. Это может открыть путь к созданию растений с ускоренным фотосинтезом, которые растут быстрее, эффективнее используют солнечную энергию и требуют меньше ресурсов.

Перспективы применения этих усовершенствованных форм рубиско в растениях пока находятся на этапе тестирования, но научное сообщество уже прогнозирует масштабные последствия. Считается, что при классическом фотосинтезе до 30% энергии теряется из-за побочной оксигеназной активности. Если новый рубиско уменьшит эту долю, можно будет повысить биомассу и урожайность на тех же площадях, не увеличивая потребление воды, удобрений и земли.

Помимо аграрного потенциала, результаты имеют важное значение и для глобального климата. Ускорение фотосинтеза может способствовать более эффективному удалению CO_2 из атмосферы. В условиях роста концентрации парниковых газов даже умеренное увеличение фиксации углерода зелёными растениями может сыграть роль в замедлении климатических изменений.

Работа MIT также демонстрирует перспективность направленной эволюции как инструмента синтетической биологии. Отказ от традиционного мутагенеза в пользу непрерывных, автоматизированных систем позволяет разрабатывать сложные молекулярные решения в течение недель, а не лет. В случае рубиско это открывает возможность для создания на заказ версий фермента, адаптированных к конкретным климатическим и агротехническим условиям.

Следующим этапом может стать внедрение модифицированных рубиско в генетически изменённые сельскохозяйственные культуры. Такие растения смогут эффективно расти в регионах с высокой температурой, где оксигенация особенно велика, или в условиях повышенного содержания CO_2 , где существует потенциал максимальной отдачи от улучшенной ферментативной активности.

Параллельно развивается идея создания искусственных фотосинтетических систем, использующих ускоренные ферменты в синтетических биореакторах для производства биотоплива или органических веществ с минимальным углеродным следом.

Фундаментальный результат работы MIT заключается в том, что рубиско — долгое время считавшийся «недотрогаемым» с точки зрения биоинженерии — теперь может быть объектом рационального проектирования. Это разрушает давний барьер в фотосинтетической биохимии и открывает путь к новым формам биологического производства, в том числе — устойчивому сельскому хозяйству будущего.

Таким образом, скромный бактериальный фермент может стать ключом к решению сразу двух глобальных вызовов — продовольственной безопасности и климатической устойчивости. И именно в этом, пожалуй, заключается величайшая сила фундаментальной науки — способность повлиять на жизнь миллиардов через молекулярные открытия.

Ссылка: «Направленная эволюция сверхбыстрого Рубиско *in vivo* из полуанаэробной среды придает устойчивость к кислороду» DOI: [10.1073/pnas.2505083122](https://doi.org/10.1073/pnas.2505083122).