

Н О В І К Н И Г И

Т.И. Трунова

РАСТЕНИЕ И НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ СТРЕСС

(64-е Тимирязевские чтения)

Москва: Наука, 2007. – 54 с.

В монографии, написанной известным специалистом в области физиологии устойчивости растений, доктором биологических наук, профессором, заведующей лабораторией зимостойкости Института физиологии растений им. К.А.Тимирязева Российской АН Т.И. Труновой, анализируются результаты полувекового исследования проблемы стресса растений при действии низких положительных и отрицательных температур.

Во введении автор подчеркивает, что проблема морозо- и холодоустойчивости растений, кроме сельскохозяйственного аспекта, имеет большое природно-экологическое значение, так как способность растений адаптироваться к конкретным условиям перезимовки в разных районах планеты – один из факторов, определяющих ареалы распространения диких видов и возможность их интродукции. Автор справедливо отмечает, что в числе работ, способствовавших формированию современных представлений о механизмах стресса и адаптации растений к действию холода, особое место занимают исследования российских ученых. Еще в 50-70 гг. XX ст. И.И.Туманову и его сотрудникам удалось сформулировать теорию трехфазного закаливания растений. Доказательством истинного знания этих процессов и логическим завершением этого этапа исследований явились результаты лабораторных экспериментов с получением растений, не вымерзающих при сверхнизких температурах (до минус 273°C).

Обзорная монография состоит из восьми глав. В первой главе рассматриваются причины повреждений растений при низкотемпературном стрессе и особенности образования льда в растениях. Подчеркивая, что морозостойкость зимующих растений основана главным образом на образовании льда в межклетниках, автор излагает современные представления о нуклеации льда, молекулярных нуклеаторах и антинуклеаторах. Значительное внимание уделяется особым антифризным белкам, накопление которых является неколлигативным механизмом ограничения роста кристаллов льда. В этой главе анализируются также механизмы повреждения мембран, изменение их функциональных свойств при действии низких температур.

В последующих главах представлены разные аспекты адаптации растений к низкотемпературному стрессу. Так, во второй главе даются классические представления о фазах низкотемпературного закаливания с существенными современными дополнениями. В частности, сделан акцент на значении увеличения мембранных компонентов клетки при долговременной адаптации, особенностях синтеза белков в этих условиях.

Отдельная глава посвящена роли сахаров в низкотемпературной адаптации. Автор подчеркивает, что помимо хорошо известных антифризных и осморегуляторных функций, растворимые углеводы выполняют роль протекторов биомембран. В последние годы появились доказательства возможной роли растворимых углеводов как сигнальных веществ и антиоксидантов. Убедительные доказательства полифункционального значения сахаров в низкотемпературной адаптации получены в последние годы в лаборатории автора на примере растений картофеля, трансформированных геном дрожжевой инвертазы. У таких растений изменяется распределение сахаров между органами и происходит накопление растворимых углеводов в листьях, что приводит к существенному повышению их устойчивости к низким температурам.

В четвертой главе рассматривается роль липидов в низкотемпературной адаптации растений. Автор обращает внимание на особую роль повышения содержания ненасыщенных жирных кислот в составе мембранных липидов в процессе адаптации, значении десатурации в этом процессе. Приводятся примеры дифференцированной (в зависимости от температуры) активации экспрессии генов различных десатураз. Предположения о роли активации десатураз в повышении индекса ненасыщенности жирных кислот и предотвращении фазового перехода мембран при низких температурах

были убедительно подтверждены в лаборатории зимостойкости ИФР РАН в опытах с использованием растений табака, трансформированных геном $\Delta 9$ -ацил-липидной десатуразы *Synechococcus vulcanus*. В листьях этих растений было обнаружено увеличение содержания полиненасыщенных кислот, их ткани в меньшей степени повреждались при околонулевых температурах.

В пятой главе приводятся данные об участии белков холодового шока в формировании холодо- и морозостойкости растений. Еще в 70-е годы XX ст. Т.И. Труновой и соавт. одними из первых был применен ингибиторный анализ для доказательства значения синтеза белков в низкотемпературной адаптации растений. Более поздние исследования были направлены на выяснение функций конкретных белков при низкотемпературной адаптации. Показано, что некоторые белки, синтез которых индуцируется низкой температурой, являются шаперонами. По-видимому, отдельные белки могут выполнять особые специфические функции при низкотемпературной адаптации. Одни из них могут быть антифризами, препятствующими разрастанию кристаллов льда в межклетниках до размеров, вызывающих гибель растений. С другой стороны, выявлен бактериальный ген *inaZ*, связанный с образованием льда. При трансформации им растений ускоряется нуклеация льда при отрицательных температурах. Более того, адаптация растений при околонулевой температуре приводит к накоплению белка *INAZ*, что активирует образование льда в межклетниках при отрицательных температурах. Это может также иметь адаптивное значение, связанное с предотвращением образования льда внутри клеток. Наконец, прямое отношение к морозоустойчивости может иметь белок холодового шока с молекулярной массой 310 кДа, разобщающий окисление и фосфорилирование в митохондриях и вызывающий термогенез при гипотермии. Такой белок был выделен и охарактеризован в Сибирском институте физиологии и биохимии растений Сибирского отделения РАН.

Шестая и седьмая главы посвящены молекулярным механизмам экспрессии генов белков холодового шока и возможным путям трансдукции низкотемпературного сигнала. Автор обращает внимание на существование многих генов, причастных к формированию холодоустойчивости, экспрессия которых регулируется не только краткосрочным, но и длительным действием пониженной температуры. Вопрос о передаче низкотемпературного сигнала в геном, как справедливо отмечает автор, до сих пор остается открытым. Тем не менее имеющиеся сведения позволили автору дать общую гипотетическую схему трансдукции такого сигнала. Предполагается, что реакция сенсорных белков первоначально связана с изменением свойств липидов, моментально реагирующих на понижение температуры. Одними из низкотемпературных сенсоров могут быть компоненты кальциевых каналов. Дальнейшая передача сигнала связана с повышением концентрации цитозольного кальция, активации кальцийзависимых протеинкиназ, фосфорилированием регуляторных элементов генов белков холодового шока.

В последней (восьмой) главе рассмотрены адаптивные изменения ультраструктуры клеток при низкотемпературной адаптации. Как подчеркивает автор, основной стратегией таких изменений является увеличение мембранных элементов клетки. Теплолюбивые растения не обладают такой способностью к реорганизации клеток. Более того, в последнее время показано, что многие индуцируемые холодом изменения ультраструктуры клеток теплолюбивых растений соответствуют генетической программе апоптоза устойчивых к холоду видов растений.

В заключение автор отмечает, что наиболее интересные результаты исследований, последних двух десятилетий связаны с привлечением методов молекулярной биологии и генетики. С использованием трансгенных растений удается доказывать конкретные функции определенных белков при низкотемпературной адаптации.

Оригинальные результаты исследований, проведенных в лаборатории автора, которые стали основой монографии, логично и выразительно вписаны в контекст мировых исследований в данной области. Книга будет полезна широкому кругу как начинающих, так и опытных фитопфизиологов, а также исследователям, работающим в смежных областях. К сожалению, формат Тимирязевских чтений не позволил представить многие фактические данные, интересные детали исследований, более подробно связать характер изучаемых процессов с общей стратегией адаптации растений. Хочется пожелать автору, чтобы изданное Тимирязевское чтение стало основой для монографии большего объема, в которой были бы более детально проанализированы важные результаты исследований, проведенных в лаборатории зимостойкости ИФР РАН в последние десятилетия.