

## **РЕЦЕНЗІЇ**

---

---

**В. К. Войников**

### **ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМЫ РАСТИТЕЛЬНЫХ КЛЕТОК ПРИ ГИПОТЕРМИИ**

**Новосибирск: Наука, 2013. – 212 с.**

Автор монографии доктор биологических наук, профессор В.К. Войников известен научной общественности как фитобиолог – специалист в области устойчивости растений к экстремальным температурным условиям среды обитания. Рецензируемая книга – одно из последних обобщений автора, посвященных изучению роли растительных митохондрий в энергообеспечении клеток, в реализации растительным организмом генетической информации при действии низкой температуры. Автор развивает идеи и результаты исследований акад. В.П. Скулачева по изучению митохондрий как основных энергообразующих органелл в клетках организмов и молекулярных механизмов регуляции биоэнергетических процессов в контексте общебиологических проблем стресса, окислительных повреждений и старения.

В монографии растительные митохондрии рассматриваются не только как «энергетические станции», но и как «информационные системы», суть которых составляют ядерно-митохондриальные взаимоотношения и, в частности, генетический контроль функциональной активности митохондрий и их участие в экспрессии ядерных генов. Автором проведены пионерные исследования роли функциональной активности митохондрий в устойчивости растений к гипотермии с применением физиологической модели неодинаковых по устойчивости видов и сортов растений. Выделенные из этих растений митохондрии, являясь удобной моделью для опытов *in vitro*, контрастно проявляют свои свойства при действии экстремальной температуры.

Общий вывод, который сделан автором монографии, состоит в том, что при колебаниях температуры в растительных клетках функционирует связанная с митохондриями сигнальная система, которая участвует в восприятии температурного стрессора и передает этот сигнал в ядерный геном, индуцируя экспрессию соответствующих генов. В конечном итоге это ведет к синтезу стрессовых белков, изменяющих, в частности, функциональную активность митохондрий, направленную на выживание растительного организма в экстремальных условиях. Этот тезис составляет квинтэссенцию рецензируемой монографии. Книга объемом 17,1 усл. печ. л. включает 11 глав, и содержит в библиографическом списке 662 источника.

Во «Введении» автор обращает внимание на наличие в растениях определенных генетических систем контроля за функциями митохондрий, которые в свою очередь могут влиять на экспрессию ядерных генов. Акцентируется внимание на необходимости понимания механизмов, регулирующих функциональную активность митохондрий и существенных для выявления звеньев метаболизма, ответственных за устойчивость растения к экстремальным факторам.

В главе 1 «Реакция растений на флуктуации температуры» приводятся данные о накоплении в растениях при действии экстремальной температуры стресс-протекторных соединений, в частности, глицинбетаина, полиаминов, сахаров. Подчеркивается, что переход от стрессовых реакций к адапционным сопровождается «отключением генов», обеспечивающих контроль за ростом и развитием растения в оптимальных условиях среды, и активацией «генов устойчивости». Несомненную роль в этом играет энергетическая активность митохондрий и экспрессия генов синтеза стрессовых белков.

В главах 2 и 3 описываются структурные и функциональные особенности растительных и животных митохондрий и делается вывод, что эти органеллы чувствительны к экзогенным и эндогенным воздействиям и быстро вовлекаются в ответную реакцию клеток на стрессовое воздейст-

## РЕЦЕНЗІЇ

вие. Подробно рассмотрены белковые комплексы (I – IV) дыхательной цепи митохондрий растений и наличие у них цианид- и ротенон-резистентного путей переноса электронов. Обращается внимание на слабую изученность АТФ-синтазных комплексов митохондрий растений. Автор показывает разнонаправленные изменения энергетической активности митохондрий при действии низкой температуры: у неустойчивого к морозу сорта озимой пшеницы возрастает сопряженность процессов окисления и фосфорилирования и энергетической эффективности дыхания, а у митохондрий морозоустойчивого сорта – ослабление сопряженности этих процессов. Однако в последнем случае происходит не снижение, а заметное повышение скорости фосфорилирования за счет усиления дыхания митохондрий. Подобное обнаружено и в митохондриях клеток животных и представляет собой, по мнению автора, «аварийный» механизм, который включается на первых этапах действия повреждающего фактора и имеет важное значение для последующего обеспечения репарационных процессов.

В главе 4 «Состав липидов митохондрий и их энергетическая активность при низкой температуре» анализируется путь регуляции энергетической активности митохондрий за счет изменений в составе мембранных липидов – важных компонентов процесса сопряженности окисления и фосфорилирования. Детально рассматривается роль этих соединений в митохондриях при действии низкой температуры и акцентируется внимание на резком увеличении содержания свободных жирных кислот (СЖК) при действии гипотермии. Объясняется биохимическая роль СЖК в функциональной активности митохондрий при действии холода: они могут разобщать окислительное фосфорилирование, выступать как субстраты окисления и влиять на другие процессы, которые снижают сопряженность процессов окисления и фосфорилирования.

Результатам, связанным с изучением термостабильности и функциональной активности отдельных комплексов дыхательной цепи митохондрий растений, посвящена глава 5. Автор на основании своих опытов с выделенными митохондриями кукурузы доказывает, что стабильно высокой термоустойчивостью и функциональной активностью *in vitro* обладают III и IV комплексы дыхательной цепи митохондрий и низкой – комплекс I и связанные с ним дегидрогеназы субстратов цикла Кребса.

Известно, что неспецифическая проницаемость внутренней мембраны митохондрий, обусловленная открытием под влиянием ионов  $Ca^{2+}$  так называемой «митохондриальной поры» (МП), имеет для животных клеток негативные метаболические последствия: разобщение окислительного фосфорилирования, активацию окислительных процессов и клеточную смерть. В главе 6 монографии обобщены литературные и собственные данные автора по изучению МП у растений и констатируется, что в митохондриях озимых злаков функционирует циклоспорин А-чувствительная и  $Ca^{2+}$ -зависимая МП.

Связь обменных процессов при гипотермии с другими видами стрессовых реакций обсуждается в главе 7. В первую очередь, это процессы, обусловленные обезвоживанием клеток, образованием активных форм кислорода (АФК) и структурным изменениям клеточных мембран. Следствием этого является усиление перекисного окисления липидов (ПОЛ), обсуждаемое в главе 8. Особое внимание автор уделяет ПОЛ в митохондриях, в которых имеются условия и все необходимые соединения для протекания этих процессов и, в частности, субстраты – ненасыщенные жирные кислоты. Наличие в митохондриях мощной антиокислительной системы позволяет организму регулировать уровень АФК и интенсивность ПОЛ и таким образом смягчать или снимать негативное действие гипотермии и других неблагоприятных факторов. Составной частью этой системы являются митохондриальные белки (UCP – uncoupling proteins), разобщающие окисление и фосфорилирование в митохондриях, и связанный с этим термогенез в клетках растения во время низкотемпературного воздействия (глава 9).

Анализу стрессовых белков (полипептидов) и кодирующих их генов посвящена глава 10 – наибольшая по объему среди других глав. Установленный автором факт, что при блокировании синтеза белка не происходит перехода митохондрий в низкоэнергетическое состояние под действием гипотермии, свидетельствует об участии белков и ядерного генетического аппарата в регуляции функциональной активности митохондрий. Это положение подтверждается анализом дан-

## РЕЦЕНЗІЇ

ных о роли отдельных хромосом в устойчивости морозостойких видов злаков, сведениями об экспрессии нескольких групп генов при низкой температуре (семейство генов *wcs120*, гены богатых глицином белков, гены дегидринов и гены, индуцируемые абсцизовой кислотой; гены белков, связанные с процессом льдообразования; гены белков, связанные с передачей кальциевого сигнала; гены белков холодового шока; гены протеинкиназ; гены  $\gamma$ -бокс белков; гены низкотемпературной акклиматизации). Автор делает вывод, что к настоящему времени накоплено большое количество экспериментальных данных об индуцируемых низкой температурой генах у разных видов растений и особенно при исследовании генома *Arabidopsis thaliana*.

Особенности процессов трансляции при действии на растения и другие организмы отражены при обобщении данных по изучению влияния гипотермии на содержание белков в тканях высших растений, бактерий, водорослей. Здесь рассмотрены водорастворимые белки, белки-ферменты и мембранные белки. Вывод, который делает автор, заключается в том, что низкая температура приводит к значительным изменениям в белковом обмене, в балансе синтеза и распада белков, а также влияет на фосфорилирование белков. Обобщение данных по синтезу белков позволило автору заключить, что гипотермия вызывает сильное замедление синтеза большинства белков и активизирует синтез новых белков, что связано с усилением транскрипции соответствующих генов. Значительная часть главы посвящена обобщению данных о «вероятных функциях белков, синтезирующихся при гипотермии». В частности, подробно описываются свойства и функции белка холодового шока БХШ 310, обнаруженного и изученного в лаборатории автора. Показано, что содержание этого белка увеличивается при действии на проростки озимых злаков холода. Делается вывод, что БХШ 310 в дополнение к альтернативной цианидрезистентной оксидазе и другим УСР-подобным митохондриальным белкам и является частью антиоксидантной системы растений. Основная функция этого и других УСР-белков – участие в защите растений от холода путем разобщения процессов окисления и фосфорилирования, при котором происходит выделение тепла (термогенез) и локальное повышение температуры тканей. Наряду с этим разобщение дыхания и фосфорилирования уменьшает вероятность стохастического образования АФК в митохондриях в условиях стресса.

В последней 11 главе монографии приводятся данные, свидетельствующие о ядерно-митохондриальных взаимодействиях при колебаниях температуры. Так, в исследованиях, проведенных под руководством автора монографии, установлена зависимость экспрессии генов стрессовых белков от редокс-состояния дыхательной цепи митохондрий дрожжей, когда при тепловом шоке происходят гиперполяризация внутренней мембраны митохондрий, индукция экспрессии генов белков теплового шока и повышение устойчивости клеток дрожжей к гипертермии. Завершает главу гипотетическая схема, характеризующая митохондрии как сигнальную систему при ядерно-митохондриальных взаимодействиях. Эта митохондриальная сигнальная система одной из первых воспринимает начало действия холода, передает сигнал о нем в геном и изменяет экспрессию генов и синтез стрессовых белков.

В «Заключении» автор приводит «Схему реакции незакаленного растения на быстрое снижение температуры», в которой отражены физиолого-биохимические этапы по переходу растения в состояние криорезистентности клеток. Подчеркивается необходимость комплексного изучения индукции генов в ответ на действие холода. При этом перспективным подходом является создание «генных сетей», связывающих воедино описание экспрессии различных генов в определенных условиях, углубленное изучение роли структурных (мембранных) и разобщающих белков при гипотермии.

Как замечание можно отметить недостаточное внимание к взаимодействию митохондриальных сигналов с другими компонентами сигнальной сети клеток, а также к общим вопросам ретроградного сигналинга. Можно высказать и отдельные замечания редакционного характера. В некоторых местах книги трудно понять смысл размерности «моль» вещества: или это концентрация, или абсолютное содержание вещества. Автор не всегда разграничивает термины «стресс» и «стрессовое воздействие»: первое это физиологическое состояние организма, второе – воздействие, вызывающее стресс.

## ***РЕЦЕНЗІЇ***

Оценивая книгу в целом, следует отметить важность и большой объем обсуждаемой с современных позиций научной информации по проблеме устойчивости растений к низким температурам, связанной с физиологическими, биохимическими и генетическими аспектами взаимодействия генетического аппарата и митохондрий растений. Книга представляет интерес для исследователей в области физиологии и биохимии растений, генетики, специалистов других областей биологии, а также для студентов и аспирантов.

**© 2013 г. А. К. Глянько**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Сибирский институт физиологии и биохимии растений  
Сибирского отделения Российской академии наук  
(Иркутск, Россия)*

**© 2013 г. Ю. Е. Колупаев**

*Харьковский национальный аграрный университет им. В.В.Докучаева  
(Харьков, Украина)*