

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
БИОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАЗАНСКИЙ ИНСТИТУТ БИОХИМИИ И БИОФИЗИКИ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «КАЗАНСКИЙ
НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»



БЕЛОРУССКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ



БИОЛОГИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ



КАЗАНСКИЙ ИНСТИТУТ БИОХИМИИ
И БИОФИЗИКИ ФИЦ КазНЦ РАН

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ АСПЕКТЫ РЕДОКС- МЕТАБОЛИЗМА РАСТЕНИЙ

Тезисы докладов
IV Международного симпозиума
и школы молодых ученых
«Роль активных форм кислорода и азота
в жизни растений»

Республика Беларусь
Минск, 25–28 августа 2024 г.

Минск
БГУ
2024

УДК 581.1(06)
ББК 28.57я431
М75

Редакционная коллегия:
кандидат биологических наук, доцент *Н. Л. Пшибытко* (гл. ред.);
кандидат биологических наук *О. Г. Яковец*;
В. С. Мацкевич, П. О. Прохорчик, Т. О. Коциц

Рецензенты:
доктор биологических наук *Ф. В. Минибаева*;
доктор биологических наук, профессор *С. С. Медведев*

Молекулярные аспекты редокс-метаболизма растений : тез.
М75 докл. IV Междунар. симп. и школы молодых ученых «Роль активных
форм кислорода в жизни растений», Респ. Беларусь, Минск, 25–28 авг.
2024 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: Н. Л. Пшибытко (гл. ред.)
[и др.]. – Минск : БГУ, 2024. – 345 с.
ISBN 978-985-881-662-9.

Представлены исследования ученых из Беларуси, России, Южной Африки, посвященные роли активных форм кислорода и азота, а также свободных радикалов, окислителей и антиоксидантов в жизни растений. Описаны механизмы генерации редокс-активных соединений, их значение в фотосинтезе, дыхании, первичном и вторичном метаболизме, клеточной сигнализации, росте, развитии и ответе растения на стресс. Рассмотрены вопросы редокс-зависимой модификации биомолекул, изменения протеомов, транскриптомов и метаболомов растений, а также механизмы повреждения и репарации растительных систем при окислительном стрессе.

УДК 581.1(06)
ББК 28.57я431

ISBN 978-985-881-662-9

© БГУ, 2024

введение на фоне Гис индуцировало значительный Ca^{2+} -сигнал. Таким образом, избыток никеля в присутствии Гис распознавался системой Ca^{2+} -сигнализации растительной клетки. С использованием комплекса молекулярных и физиологических подходов выявлены гены-мишени Ni^{2+} -Гис₂ в клетке, такие как редокс-чувствительный K^{+} -канал GORK, глутатион-редуктаза GR1, Ca^{2+} -зависимая протеинкиназа СРК6 и др. Опыты с сельскохозяйственными видами продемонстрировали высокую чувствительность к никелю корневой системы пшеницы и подсолнечника и низкую чувствительность гороха (данный вид рос до 10 мМ Ni^{2+} в среде). Вероятно, это связано с высокой важностью уреазы (никель-содержащий фермент) для бобовых растений.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ (проект Б24-060) и ГПНИ (№ ГР 20241163).

Как растение приспосабливается к гравитационным воздействиям: адаптация и стресс

Медведев С. С.^{А*}

^А Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра физиологии и биохимии растений, Санкт-Петербург, Россия. *E-mail: s.medvedev@spbu.ru

Основой, благодаря которой живые организмы ориентируются в пространстве, является *полярность*. Именно полярность является тем инструментом, с помощью которого осуществляется разметка формирующихся органов и тканей растения, создается специфическая трехмерная структура организма, обеспечивается его целостность [1-3]. В свою очередь, компасом для осевой или аксиальной организации организма в пространстве является *вектор силы тяжести*. Сила тяжести оказывает определяющее влияние на формирование трехмерной структуры любых живых организмов. Изменение положения растения или его отдельных частей в пространстве относительно вектора силы тяжести оказывает *гравитационные воздействия*. Растения, эволюция которых произошла на Земле, хорошо приспособлены к ее силе тяжести и способны быстро адаптироваться, в случае если происходит изменение их положения. Такого рода адаптации, как правило, не приводят к развитию стресса и находятся в рамках природной *пластичности растений*.

В последние годы, в связи с активным освоением космоса, начала быстро развиваться такая наука как космическая (гравитационная) биология. В обществе появился запрос на исследование поведения живых организмов в условиях микрогравитации или измененной силы тяжести.

Накапливается все больше информации о механизмах приспособления к таким непривычным для растений условиям [4]. Возникает вопрос, являются ли такие гравитационные воздействия стрессовыми? Существует ли у растений *гравитационный стресс*?

По мере того, как продолжительность пребывания живых организмов в космосе увеличивается, становится очевидным, что невесомость значительно влияет на многие функции. Выявлен ряд серьезных изменений, которые происходят с космонавтами при длительном пребывании в космосе: потеря костной массы, мышечная атрофия, ортостатическая непереносимость, нарушение деятельности сердечно-сосудистой системы [5]. Важным механизмом при этом является развитие прооксидативных состояний, включая повышенную экспрессию окислительных ферментов (например, НАДФ⁺-оксидазы) и снижение экспрессии антиоксидантных ферментов (супероксиддисмутаза, глутатионпероксидаза) [6]. Механизмом генерации АФК в условиях микрогравитации, по-видимому, является усиление активности окислительных ферментов и снижение активности антиоксидантов. Например, моделируемая микрогравитация вызывала снижение антиоксидантных ферментов СОД, GPx и САТ и увеличение количества АФК в нейрональных клетках крыс [7]. Выявлено увеличение уровня АФК и снижение уровня глутатиона в ответ на моделируемую микрогравитацию в стволе и лобной коре мозга мышей [8].

В нашей научной группе было сконструировано устройство для случайного позиционирования растений, которое рандомизирует их положение относительно вектора силы тяжести путем постоянного вращения в 3-х взаимно перпендикулярных осях со случайно изменяющейся скоростью и направлением. Благодаря этому, мы получили возможность имитировать условия микрогравитации и изучать реакцию растений. Модельным объектом являлись растения *Arabidopsis thaliana* L. и *Brassica napus* L. [9-13]. Дезориентация положения растений относительно вектора силы тяжести инициировала хаотичный рост проростков. Установлен эффект накопления уровня пероксида водорода, суммарного аскорбата и окисленной формы глутатиона [14-16]. В надземной части проростков снижалось содержание метаболитов энергетического обмена, одновременно возрастал уровень вторичных метаболитов. В корнях резко возрастало содержание рибосомальных белков, Са-зависимых протеинкиназ и ферментов синтеза целлюлозы. Снижался уровень белков, связанных с формированием цитоскелета и фоторецепторов. Повышалось содержание белков Са-сигналинга, снижалось содержание кинезинов и ряда структурных рибосомальных белков. Клиностамирование активировало экспрессию гена *SGR7*, который отвечает за регуляцию гравитропизма, а также

гена *SAM4*, кодирующего кальмодулин. Установлено также, что активировалась экспрессия генов *ADF1*, кодирующих белки, которые регулируют деполимеризацию F-актина. Наибольший эффект клиностаტიрования оказало на экспрессию гена *SOK4*, кодирующего белок SOSEKI4, что по-японски означает «cornerstone» (краеугольный камень). Белки SOSEKI обладают уникальной способностью к локализации в конкретных точках плазматической мембраны и в настоящее время рассматриваются как интеграторы позиционных сигналов, поступающих от инструментов полярности растительных клеток [17-18].

Таким образом, несомненно, что рандомизация положения растений относительно вектора силы тяжести вызывает глубокие метаболические изменения, которые связаны с *гравитационным стрессом*. Согласно нашей гипотезе, прежде всего, происходит нарушение *транспортной логистики клеток*: процессов везикулярного транспорта PIN-белков, ионных каналов и переносчиков ионов Ca^{2+} , ROP-белков, элементов клеточной стенки. Далее модифицируются элементы цитоскелета и сети полимеров клеточной стенки, нарушается кальциевый сигналинг и полярный транспорт ауксина. В результате нарушается нормальное функционирование *клеточных инструментов полярности*, приводящее к хаотичности процессов роста и морфогенеза.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 20–16–00086-П.

Библиографические ссылки

1. Медведев С.С. Полярность и ее роль в регуляции роста и морфогенеза растений (Тимирязевские чтения, 73). СПб: Наука, 2013. 77 с.
2. Медведев С.С. Физиологические основы полярности растений. СПб: Кольна, 1996. 159 с.
3. Medvedev S.S. Mechanisms and physiological role of polarity in plants. *Russ. J. Plant Physiol.* 2012. 59: 502–514.
4. Chin S., Blancaflor E.B. Plant gravitropism: From mechanistic insights into plant function on earth to plants colonizing other worlds. In *Methods Mol Biol.*, 2022. P. 1–41.
5. Takahashi K., Okumura H., Guo R., Naruse K. Effect of oxidative stress on cardiovascular system in response to gravity. *Int. J. Mol. Sci.* 2017. 18: 1426.
6. Nguyen H.P., Tran P.H., Kim K.-S., Yang S.-G. The effects of real and simulated microgravity on cellular mitochondrial function. *Microgravity.* 2021. 7: 44.
7. Wang, J., Zhang, J., Bai, S., Wang, G., Mu, L., Sun, B., Wang, D., Kong, Q., Liu, Y., Yao, X., et al. Simulated microgravity promotes cellular senescence via oxidant stress in rat PC12 cells. *Neurochem. Int.* 2009. 55: 710–716.
8. Wise K.C., Manna S.K., Yamauchi K., Ramesh V., Wilson B.L., Thomas R.L., Sarkar S., Kulkarni A.D., Pellis N.R., Ramesh G.T. Activation of nuclear transcription factor-KB in mouse brain induced by a simulated microgravity environment. *Vitr. Cell. Dev. Biol. - Anim.* 2005. 41: 118.