

Роль гистидина в индукции токсических и сигнальных реакций в корнях высших растений в ответ на Ni^{2+}

**Мацкевич В. С.^{A*}, Самохина В. В.^A, Муравицкая А. О.^A,
Гриусевич П. В.^A, Герман А. Д.^A, Арзамазкина К. И.^A,
Губаревич К. И.^A, Демидчик В. В.^A**

^A Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь;

*E-mail: mackievic@bsu.by

Никель (Ni^{2+}) – незаменимый элемент минерального питания растений, который необходим для нормального протекания физиологических процессов в очень небольших количествах. В высоких концентрациях данный тяжелый металл вреден для метаболизма и вызывает выраженное токсическое действие. В ответ на повышение уровня никеля многие растения синтезируют и экскретируют лиганды-хелаторы, такие как гистидин (Гис), связывающие Ni^{2+} . С одной стороны, это приводит к выведению Ni^{2+} из почвенного раствора, с другой – приводит к накоплению редокс-активных комплексов Ni-гистидин вблизи плазматической мембраны. В настоящей работе тестировалась гипотеза, согласно которой формирование комплексов Ni-гистидин вызывает активацию систем редокс- и Ca^{2+} -сигнализации, способствуя распознаванию избытка Ni^{2+} в среде. Целью настоящего исследования являлось установление роли взаимодействия Ni^{2+} и Гис в индукции токсических и сигнальных реакций в корне высших растений в условиях никелевого стресса. В опытах с регистрацией прорастания модельных растений *Arabidopsis thaliana* L. Heynh. на среде с никелем было показано, что данный тяжелый металл ингибирует формирование и рост корневой системы начиная с концентрации 10 мкМ, в тестовой системе с заменой среды – с 30 мкМ, в гидропонике – с 3 мкМ. Добавление Гис, в соотношении 2 Гис / 1 Ni^{2+} , значительно понижало токсичность Ni^{2+} . При помощи ЭПР-спектроскопии и спиновой ловушки 5,5-диметил-1-пирролин-N-оксидом (ДМПО) было показано, что 0,01-3 мМ Ni^{2+} не вызывает формирования гидроксильных радикалов в стандартных биологических условиях в присутствии 1 мМ L-аскорбата и 1 мМ H_2O_2 . В то же время, введение никеля на фоне Гис вызывало мощный синтез гидроксильных радикалов. Аналогичный эффект был продемонстрирован в тестах с флуоресцентным зондом дигидроэтидиум (ДГЭ). Даже концентрация 3 мМ Ni^{2+} (летальный уровень) не вызывала генерацию АФК в корне. При этом введение Ni^{2+} на фоне Гис активировало продукцию АФК, которая достигала максимума за 30 мин. Добавление антиоксидантов (диметилсульфоксида) снижало накопление АФК под действием Ni^{2+} -Гис₂. Люминометрический тест (Ca^{2+} /экворин) показал, что добавление 0,01- 3 мМ Ni^{2+} к корням арабидопсиса не вызывало изменений $[\text{Ca}^{2+}]_{\text{цит.}}$, однако его

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.