

МЕХАНИЗМЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НАНОЧАСТИЦ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА ВЫСШИЕ РАСТЕНИЯ

Смолич И.И., Лукашевич В.А., Демидчик В.В.

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Наночастицы (НЧ) – твердые объекты с геометрических размером не превышающим 100 нм. Благодаря наноразмерности НЧ обладают рядом уникальных физико-химических свойств, таких как высокое соотношение площади к объему, способность по-особому взаимодействовать с электромагнитным излучением, каталитические характеристики, высокая мобильность в биологических системах. Большинство НЧ производится на основе тяжелых металлов и их оксидов. Наиболее распространенным наноматериалом, примерно 25% от всех производимых, является так называемое «наносеребро», в частности сферические частицы с размером 10-100 нм. Также очень широко используются медные НЧ. Целью настоящей работы являлось изучение закономерностей воздействия НЧ серебра и меди на высшие растения на уровне целого организма и отдельной клетки. В качестве объекта исследования использовались растения *Arabidopsis thaliana* L., представляющие собой важнейшее модельное растение в современной экспериментальной биологии. Были протестированы наночастицы серебра и меди одинаковых размеров (около 40 нм в диаметре). В ходе проведенных экспериментов было установлено, что НЧ серебра и меди оказывают ингибирующее действие на рост корней и листьев арабидопсиса. Для НЧ серебра эффект на рост основного корня регистрировался при 300 мг/л, достигая максимума при 3000-5000 мг/л. Для НЧ меди порог концентраций, которые оказывают ингибирующее действие был ниже: 5 мг/л вызывало примерно 30% снижение скорости роста корня, а при 15 мг/л – 60%. Измерение площади листа производилось при помощи CCD-камеры в реальном времени в течение 9 суток параллельно с измерением параметра Fv/Fm (максимального квантового выхода фотосистемы II). Было показано, что НЧ серебра и меди оказывают ингибирующее влияние на рост листа, при этом эффект наблюдался при несколько более высоких концентрациях наночастиц в среде, чем для корня. Параметр Fv/Fm, отражающий эффективность работы фотосинтетического аппарата, значительно снижался под действием НЧ металлов (в среднем на 70-80%). Введение НЧ в окружающий раствор практически мгновенно активировало увеличение уровня цитоплазматической активности Ca²⁺ в клетках корня. Данный эффект снимался блокаторами неспецифических Ca²⁺-проницаемых катионных каналов. При добавлении НЧ также наблюдалась генерация активных форм кислорода клетками корня. Опыты с использованием техники пЭТЧ-кламп показали, что НЧ способны активировать особую группу Ca²⁺-проницаемых каналов, которые по свойствам были схожи с механочувствительными катионными каналами, ранее обнаруженными в данной системе. Также были проведены тесты с использованием спектроскопии электронно-парамагнитного резонанса. Они продемонстрировали, что ионы серебра не способны катализировать генерацию гидроксильных радикалов в корне, но могут вызывать окисление аскорбиновой кислоты в интактной растительной клетке. Таким образом, проведенные исследования показали, что НЧ металлов вызывают ингибирующее влияние на рост растений и фотосинтез. Они могут быть распознаны растительной клеткой при помощи классических сигнальных путей, таких как Ca²⁺- и АФК-зависимая регуляция. Наночастицы металлов, вероятно, активируют механочувствительные каналы плазматической мембраны клеток корня, а также разрушают важнейший антиоксидант клетки – аскорбиновую кислоту.