



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Общество физиологов растений России
Всероссийский институт растениеводства имени Н. И. Вавилова
Санкт-Петербургский государственный университет

Годичное собрание общества
физиологов растений России
Научная конференция
с международным участием
и школа молодых ученых

21-24 июня 2016
Санкт-Петербург, Россия



СИГНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ РАСТЕНИЙ: ОТ РЕЦЕПТОРА ДО ОТВЕТНОЙ РЕАКЦИИ ОРГАНИЗМА



Металл-содержащие наночастицы подавляют рост и активируют сигнальные процессы у высших растений

Metal-containing nanoparticles inhibit plant growth and activate signaling in higher plants

Демидчик В.В.^{1,3,4}, Киристюк Ю.В.², Сосан А.³, Колбек И.³, Лоусон Т.³, Свистуненко Д.³, Стрельцова Д.Е.¹, Смолич И.И.¹, Войцеховская О.В.⁴, Соколик А.И.¹

¹Белорусский государственный университет, 220030, пр. Независимости, 4, Минск, Беларусь

²Брестский государственный университет, 224016, бульвар Космонавтов 21, Брест, Беларусь

³Университет Эссекса, Парк Вивенху, СО4 3SQ, Колчестер, Великобритания

⁴ФГБУН Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, ул. Профессора Попова, 2, 197376 Санкт-Петербург, Россия

Наночастицы (НЧ) – твердотельные объекты, один из размеров которых не превышает 100 нм. Благодаря столь малым размерами они обладают уникальными физическими и химическими свойствами. К настоящему времени в мире официально зарегистрировано около 1700 коммерческих продуктов на основе НЧ. Наибольшее количество НЧ изготавливается на основе металлов. Самым массовым наноматериалом является «наносеребро». В промышленности также активно используются НЧ меди, цинка, золота, оксидов титана и железа. Несмотря на многие позитивные аспекты для инженерии, имеются риски, связанные с токсичностью НЧ для живых систем, в том числе и растений. В последние годы показано, что НЧ металлов накапливаются в биосфере. Пагубное воздействие НЧ отмечено для животных, микроорганизмов и грибов. Растения менее изучены в плане влияния НЧ. Так, до сих не понятны клеточные детерминанты воздействия НЧ на растительный организм, отсутствуют работы с использованием модельных растительных систем. Остается непонятным как осуществляется первичная рецепция НЧ растительной клеткой. Целью настоящей работы являлось выявление закономерностей воздействия важнейших металл-содержащих НЧ на растительный организм на уровне целого растения и отдельной клетки. Особый акцент был сделан на установление первичных актов распознавания НЧ клеткой. Использовались растения *Arabidopsis thaliana* L.. Были протестированы сферические наночастицы Ag, Cu, Fe₃O₄ и TiO₂ одинаковых размеров (40-50 нм в диаметре). Они добавлялись в гелевые среды, что способствовало их равномерному распределению в субстрате, либо вводились в виде взвесей, полученных при помощи обработки растворов ультразвуком. В ходе проведенных опытов было продемонстрировано, что НЧ Ag и Cu ингибируют удлинение корней. Для наночастиц Ag эффект на рост основного корня проявлялся, начиная с 300 мг/л, достигая максимума при 3000-5000 мг/л. Для НЧ Cu порог концентраций, оказывающих ингибирующее действие был ниже: при 5 мг/л происходило снижение скорости роста корня на 25-30%, а при 15 мг/л в три раза. Изменение площади поверхности листа регистрировалось при помощи системы FluorImager-CCD (Technologica, UK)

в реальном времени в течение 9 сут параллельно с измерением параметра F_v/F_m (максимального квантового выхода фотосистемы II). В результате было показано, что НЧ Ag и Cu оказывают ингибирующее влияние на рост листа при несколько более высоких уровнях, чем для корня. Параметр F_v/F_m , отражающий эффективность работы фотосинтетического аппарата, значительно снижался под действием НЧ металлов (в среднем на 70%). НЧ Fe_3O_4 и TiO_2 не ингибировали рост растений и фотосинтез до уровня 10 г/л. Низкие концентрации НЧ вызывали небольшую стимуляцию роста корней. Введение НЧ Ag и Cu в окружающий раствор активировало рост цитоплазматической активности Ca^{2+} в клетках корня. Данный эффект ингибировался блокаторами катионных каналов. При добавлении данных НЧ также наблюдалась генерация активных форм кислорода (АФК) клетками корня. Опыты с использованием техники пэтч-кламп показали, что НЧ Ag способны активировать особую группу катионных каналов, которая по биофизическим и фармакологическим свойствам схожа с механочувствительными каналами. Также были проведены тесты с использованием спектроскопии электронно-парамагнитного резонанса. Они показали, что НЧ Ag не способны катализировать реакции Хабера-Вейса и генерацию гидроксильных радикалов в корне, но могут вызывать окисление аскорбиновой кислоты в интактных тканях. НЧ Cu были способны как к катализу синтеза гидроксила, так и разложению аскорбиновой кислоты. НЧ Fe_3O_4 и TiO_2 были редокс-инертны. Специфической реакцией НЧ Cu была индукция запрограммированной клеточной гибели, что не было характерно для других протестированных НЧ. Таким образом, проведенные опыты показали, что НЧ металлов могут вызывать ингибирующее влияние на рост растений и фотосинтез. Они распознаются растительной клеткой при помощи классических сигнальных путей, вовлекающих Ca^{2+} и АФК. Наночастицы металлов, вероятно, активируют механочувствительные каналы, а также разрушают важнейший антиоксидант – аскорбиновую кислоту. НЧ меди способны генерировать гидроксильные радикалы непосредственно в тканях растения.

Исследование поддержано РНФ, проект №15-14-30008.