

Воздействие CuO-НЧ и Fe₃O₂-НЧ на рост корней *Arabidopsis thaliana*

Тарима В. В.^А, Мучинская П. О.^А, Мацкевич В. С.^А, Самохина В. В.^{А*}

^А Белорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь. *E-mail: samokhina@bsu.by

Наночастицы (НЧ) широко применяются в различных сферах: в медицине в качестве лекарств, биосенсоров или агентов, доставляющих лекарственные вещества внутрь клетки, в промышленности при создании покрытий и прочных материалов, в сельском хозяйстве в виде наноудобрений, в экологии для мониторинга окружающей среды и т.д. Влияние НЧ на растения может быть разнообразным и зависит от типа НЧ, их физико-химических свойств, концентрации, времени воздействия, а также вида растения. В литературе описаны как позитивные, так и токсические эффекты металлических НЧ, однако механизм их действия до конца не ясен.

В настоящей работе был проведен сравнительный анализ влияния наночастиц и ионной формы двух редокс-активных металлов-микроэлементов (меди и железа) на ростовые параметры модельного растения *Arabidopsis thaliana* L. Heynh. Было показано, что в невысоких концентрациях (10 мг/л), как при продолжительном, так и однократном воздействии, CuO-НЧ стимулировали рост корней арабидопсиса, тогда как более высокие уровни НЧ (30-1000 мг/л) не оказывали влияния (рис. 1а). Ионная форма меди (CuCl₂) при продолжительном воздействии (5-кратное накопление) на корни *A. thaliana* в концентрации 10 мг/л стимулировала их рост, тогда как при однократном – ингибировала. В высоких концентрациях (30-1000 мг/л) CuCl₂ ингибировал рост основного корня арабидопсиса.

При анализе архитектуры корня было обнаружено, что CuO-НЧ вызывали уменьшение диаметра зоны всасывания корня в диапазоне концентраций 10-1000 мг/л при продолжительном накоплении и в диапазоне концентраций 100-1000 мг/л при однократном воздействии. Ионная форма меди (CuCl₂) также уменьшала диаметр зрелой зоны корня в концентрациях от 10 до 1000 мг/л. Уменьшение длины зоны роста растяжением наблюдалось при действии 100-1000 мг/л CuO-НЧ и 10-1000 мг/л CuCl₂. Воздействие CuO-НЧ в концентрациях 30-1000 мг/л уменьшало диаметр зоны деления корня арабидопсиса, в то время как ионная форма меди вызывала уменьшение данного параметра, начиная с концентрации 10 мг/л. При обработке растений наночастицами железа (продолжительном и однократном) в концентрациях 30-300 мг/л наблюдалась стимуляция роста корней арабидопсиса (рис. 1б), в то время как FeCl₃ в концентрациях от 10 мг/л до 100 мг/л стимулировал рост корней *A. thaliana*, а 300 мг/л и 1000 мг/л – ингибировал. Диаметр корня в зоне деления и в зоне всасывания, а

также длина зоны роста растяжением увеличивалась при обработке Fe_3O_4 -НЧ в концентрациях 100 мг/л, 300 мг/л и 1000 мг/л. При добавлении железа в ионной форме такого эффекта не наблюдалось. После 5-дневного накапливания Fe_3O_4 -НЧ диаметр корня арабидопсиса в зрелой зоне, а также длина зоны роста растяжением не менялись. Наиболее чувствительной являлась зона деления корня. Диаметр корня в данной зоне при обработке концентрациями 30-1000 мг/л уменьшается на 20-30%. Накапывание FeCl_3 на корни арабидопсиса вызывало уменьшение диаметра корня в зрелой зоне на 16% при концентрации 1000 мг/л, уменьшение диаметра в зоне деления на 30-50% при 10-1000 мг/л. Также отмечалось увеличение длины зоны роста растяжением на 41% при обработке FeCl_3 в концентрации 100 мг/л и уменьшение при воздействии ионов железа в концентрациях 300 мг/л и 1000 мг/л на 29% и 36% соответственно.

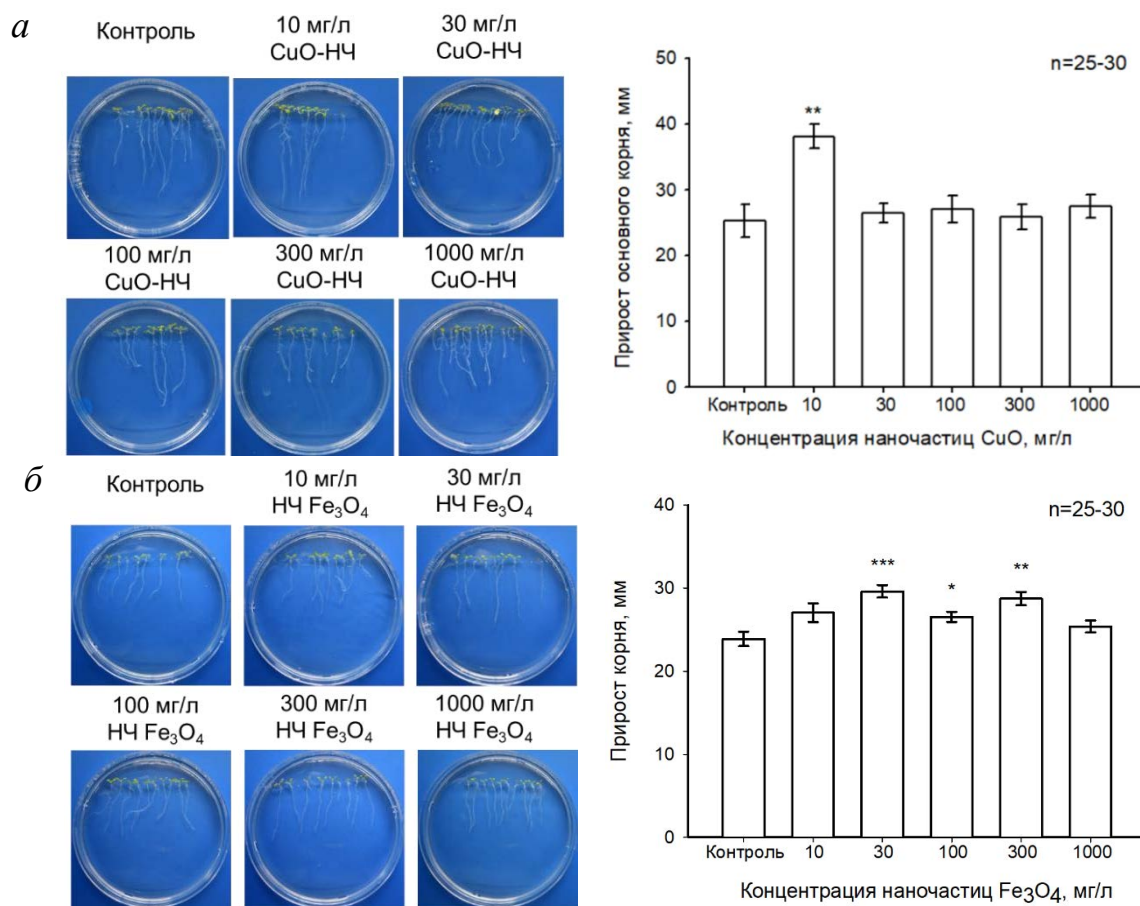


Рис. 1. Изменение роста *A. thaliana* при 5-кратной обработке НЧ оксида меди (а) и оксида железа (б). Прирост длины основного корня ($\bar{X} \pm S_x$, $n=25-30$) измерялся на 5 сут воздействия НЧ, достоверности различий рассчитывалась по отношению к контролю при помощи ANOVA-теста, где * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

Таким образом, показано, что в ионной форме медь и железо демонстрируют больший ингибирующий эффект на ростовые процессы у арабидопсиса по сравнению с наноформой данных металлов. Более того, низкие уровни НЧ оксидов металлов (10 мг/л для CuO-НЧ и 100-300 мг/л для Fe₃O₄-НЧ) оказывают стимулирующее действие на рост и архитектуру корня, что может иметь практическое значение для разработки нанодобавок (корнестимулирующих препаратов).

Работа выполнена в рамках задания ГПНИ (№ ГР 20211705).

Влияние засоления на интенсивность окислительных процессов и активность компонентов антиоксидантной системы в листьях пшеницы

Таскина К. Б.^{А*}, Игнатенко А. А.^А, Нилова И. А.^А, Казнина Н. М.^А

^А *Институт биологии – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра “Карельский научный центр Российской академии наук”, Петрозаводск, Россия.*

**E-mail: tasamayaksenia@gmail.com*

Натрий-хлоридное засоление во многих регионах является основным фактором, лимитирующим рост и продуктивность сельскохозяйственных растений. Высокие концентрации соли в почве препятствуют поступлению воды и питательных веществ в растения, что приводит к водному дефициту и дисбалансу макро- и микроэлементов, и, как следствие, к осмотическому и ионному стрессу. Помимо этого, при засолении в клетках из-за резкого повышения уровня активных форм кислорода (АФК) развивается окислительный стресс, приводя к нарушению структуры и функций клеточных мембран. В защите клеток от избыточного количества АФК участвует антиоксидантная система (АОС), включающая антиоксидантные ферменты и неферментные соединения. Известно, что в условиях засоления активизируются компоненты АОС, что во многом зависит от концентрации соли в среде роста. Однако экспериментальных данных, подтверждающих это, относительно немного. Вследствие этого целью данной работы явилось сравнительное изучение влияния умеренного и сильного натрий-хлоридного засоления на интенсивность окислительных процессов и активность компонентов АОС в листьях пшеницы.

Исследования проводились в контролируемых условиях на проростках пшеницы (*Triticum aestivum* L.) ярового сорта Злата при температуре 22–25°C, влажности 60–70%, освещенности ФАР 100 мкмоль/(м² с) и 14-ти часовом фотопериоде. Контрольные растения выращивали на питательном растворе Хогланда-Арнона, в опытных вариантах к питательному