

ВЛИЯНИЕ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ Ni

Введение

Наночастицы никеля (Ni) обладают уникальными физическими и химическими свойствами, благодаря чему применяются для изготовления катализаторов [1] и проводящих покрытий [2]. Производство наночастиц продолжает расти и является активным источником выделения наночастиц в окружающую среду [3]. Накапливаясь в почве, наночастицы в зависимости от условий (концентрация и размер частиц, pH и состав среды) могут быть токсичны для растений [4]. Поэтому исследование влияния наночастиц на растения является важной задачей нанозкотоксикологии.

Гуминовые кислоты – сложная смесь высокомолекулярных природных органических соединений, образующихся при разложении отмерших растений и их последующей гумификации. Гуминовые кислоты играют важную роль в питании растений. В связи с этим становится интересным факт синергетического влияния гуминовых кислот и наночастиц на растения.

Целью данного исследования являлось показать влияние гуминовых кислот на биологические свойства наночастиц Ni на ранних стадиях развития пшеницы.

Экспериментальная часть

Наночастицы для исследования были получены методом электрического взрыва проволоки в ООО «Передовые порошковые технологии» (г. Томск, Россия). Согласно данным производителя, частицы содержат металлический Ni >95 мас. %, форма частиц – близка к сферической, среднеарифметический размер составил ~70 нм. Семена пшеницы сорта «Ирень» (*Triticum aestivum* L.) урожая 2019 года были предоставлены агрофирмой ИП Орищенко (Томский район, Россия).

В качестве источника гуминовых кислот использовали торфяной гуминовый препарат «Гумостим», полученный перекисно-аммиачным гидролизом низинного осокового торфа месторождения «Темное» Томской области в Сибирском НИИ сельского хозяйства и торфа [5]. Он характеризуется следующими показателями: pH – 6,3, содержание гуминовых кислот – $40,8 \pm 4,1$ мг/л, фульвокислот – $4,14 \pm 0,41$ мг/л, фенольных соединений – 0,09 мг/л.

Растворы с концентрацией кислот (10^{-6} , 10^{-4} , 10^{-2} мг/л) готовили последовательным разбавлением в дистиллированной воде (рН=6,5±0,6, проводимость 0,2 мкС, аквадистиллятор ДЭ-4 ТЗМОИ, Тюмень Медико, Россия) и использовали для эксперимента в течение 24 ч.

Далее к навеске наночастиц (весы ALC-110d4 Acculab, Германия, ±0,0001 г) добавляли 50 мл свежеприготовленного раствора гуминовых кислот. Концентрация частиц в среде прорастания составляла 100 мг/л. Затем емкость с суспензией обрабатывали в ультразвуковой ванне ОДА-LQ40 (ОДА-Сервис, Россия, мощность 120 Вт) в течение 15 мин. Готовые суспензии использовали в течение 30 минут для эксперимента.

В эксперименте на дно чашки Петри (диаметр 9 см) размещали фильтровальную бумагу, на которую равноудаленно помещали 15 семян. В каждую чашку добавляли 7 мл свежеприготовленной среды прорастания. Дистиллированную воду использовали в качестве контроля. Закрытые чашки выдерживали в термостате ТС-1/80 (СПУ, Россия) при 25±2°C.

Через 48 ч из чашек стерильным пинцетом вынимали проростки и выкладывали на черную бумагу для фотографирования на черном фоне с масштабной меткой для морфометрии проростков. Длину проросшего корня (L, см) измеряли с помощью программы ImageJ. Проросшим семенем считали проросток, для которого проросло три корня, длина которых больше длины семени.

Энергию прорастания семян (G, %) определяли по формуле:

$$G = \frac{\text{Количество проросших семян}}{\text{Общее количество семян}} * 100, \%$$

После анализа проросшие семена возвращали в двухдонные пластиковые цилиндры, в которых дно верхнего стакана было перфорировано (для растущих корней), а нижний стакан заливали дистиллированной водой. Культивацию побегов проводили при световом режиме «день:ночь = 12:12 ч» в течение 7 дней при комнатной температуре. После этого измеряли суммарную длину проросших корней и побегов для вычисления корневого индекса (RI, уд.ед.):

$$RI = \frac{\text{Сумма длин корня}}{\text{Сумма длин побега}}$$

Результаты и обсуждение

Проведенный эксперимент показал, что добавление гуминовых кислот в концентрации 10^{-6} мг/л в суспензию, содержащую наноча-

стицы, привело к подавлению корнеобразования, о чем свидетельствует уменьшение средней длины 2-суточного корня на 22% (рис.1а). После замачивания семян в среде с содержанием кислот 10^{-4} г/л длина корня увеличилась на 42% и оставалась на этом уровне при больше концентрации гуматов (рис.1а).

Вероятно, небольшие добавки гуминовых кислот могут приводить к дезагрегации наночастиц в водной среде, а частицы с меньшим размером обладают большим токсичным действием [4].

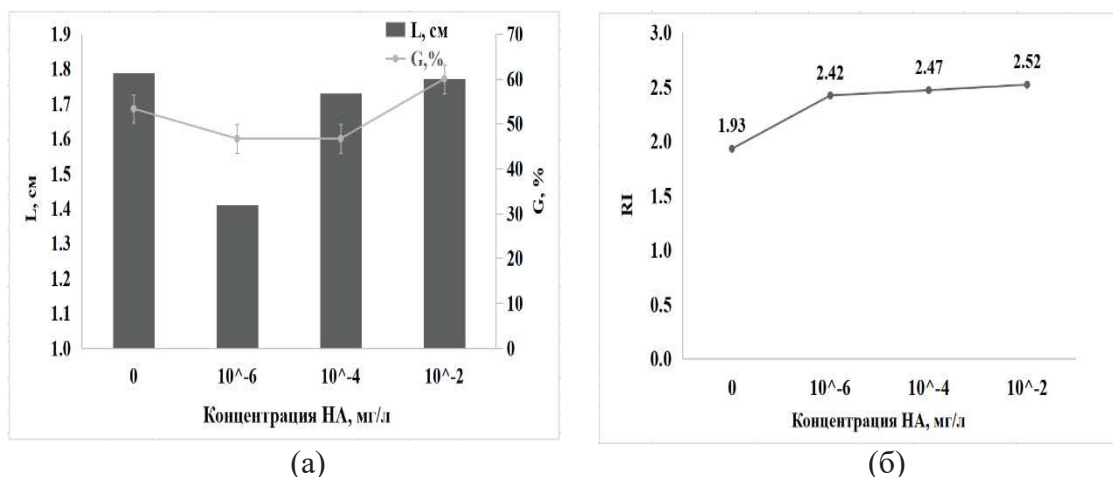


Рисунок 1 – Влияние концентрации гуминовых кислот (НА) на длину корня (L , см) и всхожесть (G , %) 2-суточных проростков (а) и корневой индекс (RI, уд. ед.) 7-суточных побегов пшеницы (б).

Корневой индекс – это показатель стрессоустойчивости растения. Чем больше величина RI, тем больше образуется корня. При $RI < 1$ у проростка превалирует наземная часть. Согласно полученным данным, добавление гуминовых кислот в среду прорастания на стадии замачивания привело к увеличению стрессоустойчивости растения: корневой индекс увеличился на 20% в среде с содержанием гуматов 10^{-6} мг/л. Чем больше кислот в среде, тем выше величина RI (рис.1б).

В целом видно, что с увеличением концентрации гуминовых кислот определяемые показатели увеличиваются. Например, в ряду концентрации $10^{-6} \dots 10^{-4} \dots 10^{-2}$ мг/л средняя длина корня составила 1,41...1,73...1,77 см (рис.1а), а корневой индекс 2,42...2,47...2,52 уд. ед. (рис.1б).

Не смотря на стимулирующее действие гуминовых кислот, в присутствии небольших добавок гуминовых кислот наночастицы могут обладать более токсичным действием.

Заключение

Проведенный в работе эксперимент позволил показать, что электровзрывные наночастицы Ni с размером < 100 нм могут подав-

лять корнеобразование пшеницы на стадии замачивания в присутствии небольших добавок гуминовых кислот (10^{-6} мг/л). Однако, действие наночастиц ослабляется с увеличением концентрации гуминовых кислот до 10^{-4} ... 10^{-2} мг/л. В результате, чем выше содержание гуминовых кислот в среде прорастания, тем больше длина корня, всхожесть и корневой индекс проростков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Li H., Gao H., Zhao X., Xia Z., Yu B., Sun D. Experimental study on viscosity reduction of heavy oil with water content by synergistic effect of microwave and nano-catalyst // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. – 2022. – Vol.208. – P.109271.
2. Rezaga F.Y.B., Balela M.D.L. Synthesis and characterization of nickel-coated copper nanowires for flexible conductive thin film applications // *Materials Today: Proceedings*. – 2020. – Vol.22. – P.241-247.
3. Shrivastava M., Srivastav A., Gandhi S., S Rao., Roychoudhury A., Kumar A., Singhal R.K., Jha S. K., Singh S.D. Monitoring of engineered nanoparticles in soil-plant system: a review // *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*. – 2019. – Vol.11. – P.100218.
4. Oliveira J. B., Marques J. P. R., Rodak B. W., Galindo F. S., Carr N. F., Almeida E., Araki K., Gonçalves J. M., Reis A. R. , Entf A., Carvalho H. W. P., Lavres J., Fate of nickel in soybean seeds dressed with different forms of nickel // *Rhizosphere*. – 2022. – Vol.21. – P.100464.
5. Касимова Л.В. Способ получения стимулятора роста растений. Патент РФ 2213452, приоритет от 06.06.2001 г.