

Лян Шиюэ (Китай)

Томский политехнический университет, Томск

Научный руководитель: Годымчук Анна Юрьевна,
к.т.н., доцент отделения материаловедения ИШНПТ НИ ТПУ;
ведущий эксперт кафедры функциональных наносистем
и высокотемпературных материалов НИТУ «МИСиС»

ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ Al, Al₂O₃ И Al³⁺ НА БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ

Введение

Наночастицы алюминия применяются в качестве добавок в энергетические смеси в космической отрасли [1], при проведении взрывных работах [2]. Использование наночастиц приводит к увеличению объемов их производства и числа источников выделения наночастиц в атмосферу, гидросферу и литосферу. Известно, что при попадании в почвы, наночастицы способны как стимулировать, так и подавлять прорастание высших растений. Поэтому широкое использование наноматериалов, а также их потенциальные экологические риски и последствия для здоровья привлекают внимание международного сообщества.

Алюминий является фитотоксичным элементом, который влияет на рост и урожайность многих сельскохозяйственных культур и является наиболее распространенным несущественным элементом, который токсичен для растений. Несмотря на то, что его точная биологическая функция не известна [3], есть данные, показывающие что при концентрации 2000 мг/л наночастицы Al₂O₃ (средний размер 60 нм) значительно подавляют прорастание корней кукурузы. Для кукурузы, огурцов, сои, капусты и моркови наночастицы Al₂O₃ ингибируют рост корней [4]. Также показано, что наночастицы Al₂O₃ отрицательно влияют на рост и развитие саженцев табака: длина корней и значительное уменьшение количества листьев [5]. В то же время, из всех форм алюминия, ионная форма (Al³⁺) является наиболее токсичной по отношению к растениям [6].

В силу того, что есть некоторые наночастицы, которые способствуют прорастанию семян или росту корней [7] и могут применяться в качестве пестицидов [8], изучение влияния наночастиц Al на рост растений очень актуально.

Целью настоящей работы было оценить влияние формы алюминия и концентрации наночастиц Al, Al₂O₃ и ионов Al³⁺ на биометрические параметры проростков пшеницы.

Экспериментальная часть

В качестве объектов исследования мы выбрали наночастицы алюминия (Al), наночастицы оксида алюминия (Al₂O₃), и ионы Al³⁺. Наночастицы были приобретены у ООО «Передовые порошковые технологии» (г. Томск, Россия). Согласно данным производителя, наночастицы Al содержали около 90% Al и ~9% Al₂O₃. Плотность порошка составила 1,2 г/см³, средний размер частиц 100 нм, удельная поверхность – 15,5 м²/г. Наночастицы Al₂O₃ содержали гематита >95%мас. Плотность порошка составила от 0,6...1,7 г/см³, средний размер частиц 36 нм, удельная поверхность – 35...40 м²/г. Раствор ионов Al³⁺ готовили из соли нитрата алюминия (Al(NO₃)₃·9H₂O).

Все растворы и суспензии готовили на основе дистиллированной воды (pH=6,5±0,2, дистиллятор АЭ-25 МО (ООО ТЗМОИ, Тюмень, Россия). Дистиллированную воду использовали в качестве контроля.

В качестве тест-растения брали семена пшеницы сорта «Ирень» (*Triticum aestivum* L.) урожая 2017 года, предоставленные агрофирмой ИП Орищенко (Томский район, Россия).

Для приготовления суспензий навеску наночастиц или соли смешивали с 50 мл дистиллированной воды), чтобы концентрация по алюминию составляла 1, 10, 100 и 1000 мг/л. Для взвешивания использовали весы ALC-110d4 (ACCULAB, Россия, точность ±0,0001). Контейнер закрывали и обрабатывали в ультразвуковой ванне DR-LQ20 (МОСРЕМТЕХ, Россия, мощность 160W) в течение 30 минут.

В качестве биометрических параметров определяли длину корней проростка, всхожесть и корневой индекс. В чашку Петри выкладывали 6 семян на фильтровальную бумагу, затем равномерно смачивали семена и дно 7 мл контроля (К), суспензии наночастиц Al и Al₂O₃ или раствора Al³⁺. Закрытые чашки Петри выдерживали в суховоздушном термостате ТС-1/80 СПУ (Лаборкомплект, Россия) при 25±0,5°C в течение 48 ч. После этого стерильным пинцетом выкладывали проросшие семена на темный фон для фотографирования и последующей морфометрии корней. По полученным значениям длин корней рассчитывали среднюю длину корня проростка в каждой чашке. Всхожесть семян определяли по формуле (1):

$$\text{Всхожесть} = \frac{\text{Количество проросших семян}}{\text{Общее количество семян}} \quad (1)$$

Семена возвращали в чашки, добавляли 7 мл дистиллированной воды, закрывали и выдерживали под лампой (300 люкс) в течение 5 дней. После этого вытаскивали проростки и стерильными ножницами отрезали корни и наземную часть побега для высушивания в термостате при 30°C в течение 24 ч и последующего взвешивания. Корневой индекс определяли по формуле (2):

$$\text{Корневой индекс} = \frac{M_{\text{сухого корня}}}{M_{\text{сухого побега}}} \quad (2)$$

Результаты и обсуждение

На рис.1 показано влияние концентрации наночастиц на длину корня и всхожесть.

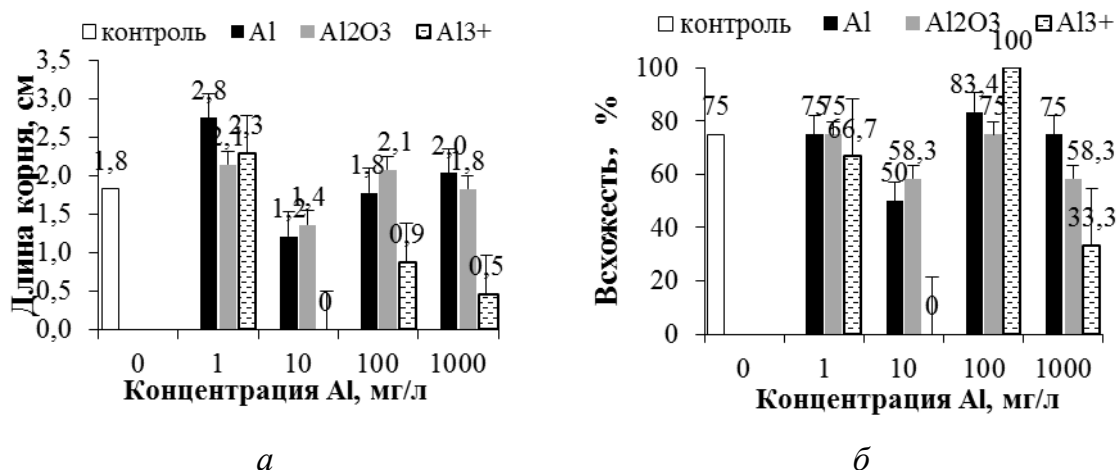


Рис.1. Влияние концентрации наночастиц на длину корня (а) и всхожесть семян (б).

Видно, что при концентрации 1 мг/л независимо от формы Al не подавляет рост корня и даже увеличивает для наночастиц Al (+56%) (Рис.1а). Например, длина корня составляет 2,8... 2,1...2,3 см в ряду Al... Al₂O₃... Al³⁺ по сравнению с 1,8 см в контроле. Далее, с увеличением концентрации алюминий-содержащие системы подавляют рост корней. Например, в суспензии с концентрацией алюминия 10 мг/л длина корня в ряду К...Al... Al₂O₃... Al³⁺ составила 1,8...1,2...1,4...0 см (Рис.1а). Таким образом, превышение концентрации 1 мг/л приводит к подавлению роста корней. Однако, в более концентрированных средах показатели корня опять достигают уровня контроля (~1,8 см), но только для наночастиц. Для раствора ионов – чем выше концентрация, тем меньше длина корня. Например, в ряду концентраций Al³⁺ 1...100...1000 длина корня составила 2,3...0,9...0,5 см, соответственно.

Было установлено, что при концентрации 1 мг/л добавки алюминия в форме наночастиц не влияют на всхожесть (она остается 75...76% как и в контроле), но при концентрации 10 мг/л и 1000 мг/л все три формы алюминия препятствуют прорастанию семян, особенно Al³⁺. Например, в суспензиях 1000 мг/л в ряду Al... Al₂O₃... Al³⁺ всхожесть составила 75... 58...33% по сравнению с 75 % в контроле (Рис.1б). Было видно из Рис.1б при концентрации 100 мг/л независимо от формы Al не подавляет прорастание семян и даже увеличивает (Рис.1б). Очевидно, что уве-

личением концентрации наночастиц не приводит к уменьшению всхожести.

Показано, что для всех выбранных систем независимо от состава и концентрации алюминия величина корневого индекса (КИ) меньше по сравнению с контролем на 43...88%. Уменьшение КИ свидетельствует о том, что в присутствии Al образуется меньше корня и больше надземной части растения, т.е. корневая система менее развита, чем в контроле (рис.2). Например, в суспензии с концентрацией 100 мг/л КИ составляет 0,2 по сравнению с 1,6 в контроле. Было показано, что при 1...10 мг/л – максимальный КИ у Al_2O_3 , при ≥ 100 мг/л – минимальный у Al^{3+} (Рис.2).

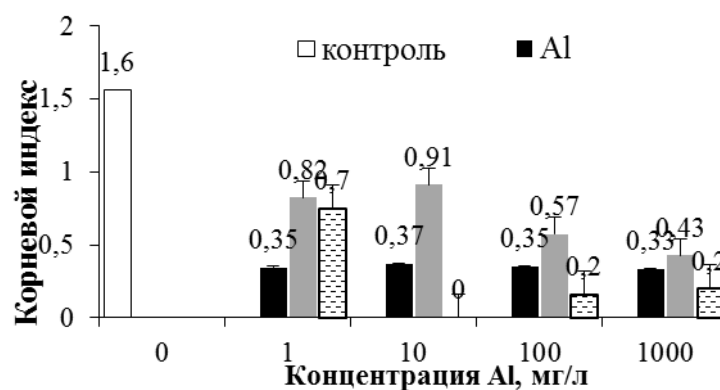


Рис.2. Влияние концентрации наночастиц на корневой индекс проростков.

Заключение

В ходе эксперимента проведено изучение влияния концентрации наночастиц Al и Al_2O_3 , а также ионов Al^{3+} на биометрические параметры проростков пшеницы сорта Ирень. Показано, что при концентрации алюминия до 1 мг/л независимо от формы алюминия способствует минимум 17% приросту корня, сохранению всхожести на уровне 75% и уменьшению корневого индекса минимум на 48%.

Было показано, что при концентрации алюминия 10 мг/л независимо от формы алюминия прорастание семян и всхожесть подавляются. При 1...10 мг/л – максимальный КИ у Al_2O_3 , при ≥ 100 мг/л – минимальный у Al^{3+} .

Проведено сравнение действия алюминия в трех разных формах – металла, оксида металла и ионов. Установлено, что Al^{3+} является наиболее фитотоксичным из всех форм алюминия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бернер М.К., Зарко В.Е., Талавар М.Б. Наночастицы энергетических материалов: способы получения и свойства // Физика горения и взрыва. – 2013. – Т.49, № 6. – С.3–30.

2. Brousseau P., Anderson C. J. Nanometric aluminum in explosives // Propellants Explosives Pyrotechnics. – 2002. – Т.27., № 5. – С.300–306.
3. Schmitt M., Watanabe T., Jansen S. The effects of aluminium on plant growth in a temperate and deciduous aluminium accumulating species // AoB Plants. – 2016. – Т.8. – С.1–13.
4. Lin D., Xing B. Phytotoxicity of nanoparticles: Inhibition of seed germination and root growth // Environmental Pollution. – 2007. – Т.150., №.2. – С.243–250.
5. Burklew C.E., Ashlock J., Winfrey W.B., Zhang B. Effects of aluminum oxide nanoparticles on the growth, development, and microRNA expression of tobacco (*Nicotiana tabacum*) // PLOS ONE. – 2012. – Т.7, №5. – e34783.
6. Silva S., Pinto G., Dias M.C., Correia C.M., Moutinho-Pereira J., Pinto-Carnide O., Santos C.. Aluminium long-term stress differently affects photosynthesis in rye genotypes // Plant Physiology and Biochemistry. – 2012. – Т.54. – С.105– 112
7. Rai M. , Ribeiro C. , Mattoso L. , Duran N. Nanotechnologies in Food and Agriculture. Springer International Publishing, Cham, 2015. с.347.
8. Khot L.R., Sankaran S., Maja J.M., Ehsani R., Schuster E.W. Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: a review // Crop Protection. – 2012. – Т.35. – С. 64–70

Мажитова Мээримай Сайпжановна

Томский государственный университет, г. Томск

Научный руководитель: Каширский Данила Евгеньевич, к.ф-м.н., доцент

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЕТЕКТОРОВ ОДИНОЧНЫХ ФОТОНОВ НА УСТАНОВКЕ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ

В наше время одним из стремительно развивающихся направлений, способных гарантировать безопасную передачу данных, считаются квантовые коммуникации. В квантовом канале передаются очень слабые оптические сигналы на уровне одиночных фотонов. Поэтому вместо обычных детекторов в установках квантового распределения ключей (КРК) применяют детекторы одиночных фотонов (ДОФ) [1]. Установки КРК должны быть относительно небольшими и портативными,