

Тан Цзыюе (Китай),
Годымчук Анна Юрьевна (Россия),
Куровский Александр Васильевич (Россия)

Томский политехнический университет, г.Томск,
Томский государственный университет, г.Томск,
Научные руководители: Годымчук Анна Юрьевна, доцент,
Куровский Александр Васильевич, доцент

ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ SiO₂ НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ

Введение

Кремний играет важную роль в растениях, а его дефицит как питательного элемента резко снижает природные защитные свойства сельскохозяйственных растений, что приводит к снижению урожайности и снижению площади листьев [1]. Из литературы известно, что наночастицы SiO₂ могут оказывать стимулирующее действие на рост растений. Например, замачивание семян в суспензиях наночастиц SiO₂ при концентрации 1,5 мг/л позволяет повысить устойчивость и урожайность практически всех сельскохозяйственных культур (картофель, зерновые культуры, овощи, фрукты) в 1,5-2 раза [2]. Наночастицы Si с концентрацией 300...1200 мг/л в воде стимулируют прорастание и образование биомассы пшеницы (Lasani-2008) в почве [3]. Поэтому кремниевые наночастицы рассматриваются в качестве альтернативного источника удобрений [4].

Однако, несмотря на имеющиеся данные, разнообразие производимых наночастиц не дает оснований переносить исследования на разные виды кремниевых наноматериалов, но обосновывает необходимость проведения дополнительных исследований. Целью данного исследования являлось показать влияние концентрации наночастиц SiO₂ на развитие пшеницы на стадии замачивания.

Экспериментальная часть

Объектами исследования являлись наночастицы SiO₂, приобретенные в ООО «Плазмотерм» (<https://plasmotherm.ru>, г.Москва, Россия). Согласно данным производителя удельная поверхность частиц составила 400 м²/г. Для условно-сферических частиц такая поверхность соответствует размеру 5 нм. В качестве тест-объекта использовали семена пшеницы сорта «Ирень» (*Triticum aestivum* L.) урожая 2019 г.

Для проведения экспериментов готовили суспензии наночастиц на основе раствора Хьюитта – питательного раствора с суммарной концен-

трацией макроэлементов (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe) 18 мг-экв/л, активно используемый для выращивания гидропонных растений. Раствор Хьюитта также использовался в качестве контроля.

Для приготовления суспензий готовили сток-суспензию с концентрацией наночастиц 1000 мг/л. Для взвешивания использовали электронные весы ALC-110d4 (Acculab, Россия, точность $\pm 0,0001$ г). Далее методом разбавления готовили суспензии с концентрацией 3, 10, 100 и 300 мг/л. Все суспензии подвергали ультразвуковой обработке (УЗ ванна ГРАД 28-35, Grade Technology, Россия, 55 Вт, 40 кГц) в течение 15 минут.

Для замачивания семян на дно стеклянной чашки Петри (диаметр 9 см) выкладывали слой фильтровальной бумаги и на неё равномерно распределяли 25 семян (рис.1а). После этого в каждую чашку добавляли 7 мл суспензии или контроля. Далее закрытые чашки обернули целлофаном и выдерживали при $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ в термостате ТС-30/120-1000 (ЭТМ ИПРО, Россия) в течение 72 ч. После этого семена стерильным пинцетом аккуратно доставали и выкладывали на черной бумаге для фотографирования (рис.1б). С помощью программы ImageJ измеряли длину проросшего корня и рассчитывали средний размер (L, см).

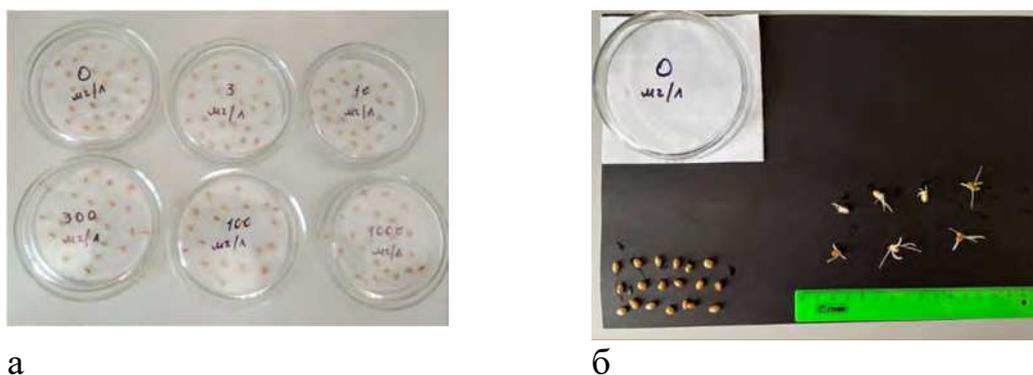


Рис. 1. Фотографии замоченных семян (а) и проростков, выложенных для морфометрии (б).

Также определяли модифицированный (рассчитываемый не по ГОСТ) показатель всхожести ($G, \%$) как отношение проросших семян к числу замоченных при данной температуре и периоде проращивания.

Результаты и обсуждение

Согласно полученным данным добавление в среду замачивания небольшого количества наночастиц (3 мг/л) длина корня семян пшеницы увеличилась на 75% по сравнению с контрольной группой (рис.2а). Стимулирующее действие наночастиц SiO_2 было показано для разных размеров частиц: частицы с размером 10-20 нм увеличивали на 36% длину

корня риса при концентрации 10 мг/л [5], частицы с размером 50 нм стимулировали на 29% длину корня пшеницы при концентрации 1 г/л [6].

Далее было обнаружено, что при увеличении концентрации наночастиц в среде до 100 мг/л стимулирующий эффект развивается: для суспензий с содержанием 3...10...100 мг/л величина L составила 0.95 ± 0.4 ... 1.58 ± 0.67 ... 2.17 ± 0.93 см, соответственно. Однако, в диапазоне концентраций 100...1000 мг/л длина корня статистически значимо не меняется. Можно сделать предположение о том, что концентрационное влияние на длину корня имеет пороговый характер в выбранном интервале концентраций. Окончательный вывод можно сделать после проведения эксперимента при больших концентрациях.

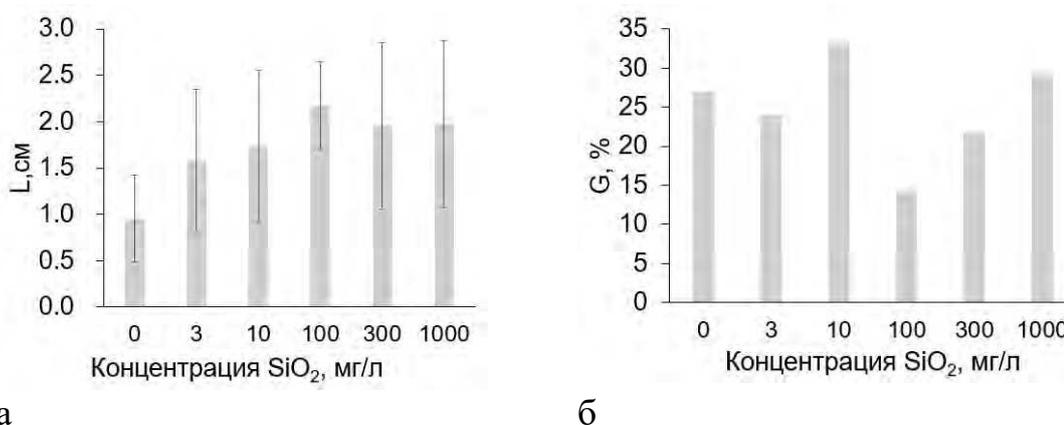


Рис. 2. Влияние концентрации на длину корня (L , см) и всхожесть (G , %) 3-суточных проростков пшеницы.

В отношении всхожести видно, что после добавления наночастиц этот параметр уменьшается на 10%. При увеличении содержания частиц в среде замачивания (за исключением точки для суспензии 10 мг/л) концентрационная зависимость имеет минимум при 100 мг/л ($G=14\%$).

Заключение

Таким образом, на примере промышленных наночастиц SiO₂ со средним размером 5 нм показано стимулирующее действие на корнеобразование семян пшеницы. Показано, что добавление наночастиц SiO₂ в среду прорастания в содержании 3...100 мг/л способствовало росту корней семян пшеницы на 66%...128%, но уменьшению всхожести на 11...47% по сравнению с контролем.

Результаты получены с применением оборудования ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ, поддержанного проектом Минобрнауки России № 075-15-2021-710

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матыченков И.В. Взаимное влияние кремниевых, фосфорных и азотных удобрений в системе почва-растение. Дисс. канд. биол. наук, МГУ имени М.В.Ломоносова. – Москва, 2014
2. Zmeeva O.N., Daibova E.B., Proskurina L.D., Petrova L.V., Kolomiets N.E., Svetlichny V.A., Lapin I.N., Karakchieva N.I. Effects of silicon dioxide nanoparticles on biological and physiological characteristics of *Medicago sativa* L. nothosubsp. *varia* (Martyn) in natural agroclimatic conditions of the subtaiga zone in Western Siberia // *Biology-Nanoscience-2017*. – Vol.7 – P.672-679.
3. Hussain A., Rizwan M., Ali Q., Ali S. Seed priming with silicon nanoparticles improved the biomass and yield while reduced the oxidative stress and cadmium concentration in wheat grains // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2019. – Vol. 19. – P.7579-7588
4. Siddiqui M.H., Al-Whaibi M.H., Mohammad F., Al-Sahli A.A. Nano-silicon dioxide mitigates the adverse effects of salt stress on *Cucurbita pepo* L. // *Environmental Toxicology*. – 2014. – Vol. 33 – P. 2429-2437.
5. Adhikari T., Kundu S., Rao A. S. Impact of SiO₂ and Mo Nano Particles on Seed Germination of Rice (*Oryza Sativa* L.) // *International Journal of Agriculture and Food Science Technology*. – 2013. – Vol.4(8). – P. 809-816
6. Mushtaq A., Jamil N., Riaz M., Hornyak G. L., Ahmed N., Ahmed S. S., M. N. Shahwani, Malghani M. N. K. Synthesis of Silica Nanoparticles and their effect on priming of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress // *Biological Forum – An International Journal*. – 2017. – Vol.9(1). – P.150-157

Хуан Фули (Китай),

Пайгин Владимир Денисович (Россия)

Томский политехнический университет, г.Томск

Научный руководитель: Хасанов Олег Леонидович,
д-р техн. наук, профессор

СПЕКАЮЩИЕ ДОБАВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КЕРАМИКИ ОКСИНИТРИДА АЛЮМИНИЯ

Оксинитрид алюминия (AlON), состоит из алюминия, кислорода и азота, является одним из основных соединений в бинарной системе