

Сапар Н.О.  
(ТПУ, Томск, Россия)  
Годымчук А.Ю.  
(НИТУ «МИСиС», Москва, Россия)  
Гусев А.А., Захарова О.В., Баранчиков П.А.  
(ТГУ имени Г. Р. Державина, Тамбов, Россия)

## ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА НАНОЧАСТИЦ НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ

**Введение.** Нанотехнологии открыли много новых возможностей в сельском хозяйстве. Наночастицы оксида железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) стимулируют метаболические процессы растений и способствуют росту и повышению урожайности многолетних растений, таких как плевел (*Lolium perenne* L.), тыква (*Cucurbita mixta* cv. *White cushaw*) [1] и салат (*Lactuca sativa*) [2].

При добавлении железосодержащих наночастиц увеличивается сырая и сухая биомассы различных культур, включая рис, пшеницу, помидоры, арахис, сою и шпинат [3]. Изучение механизма проникновения и передвижения через клетки корня позволило обнаружить, что воздействие наночастиц оксида железа происходит при их применении в определенном диапазоне концентраций [4]. Однако, не смотря на перспективы применения наноразмерного оксида железа, данных об их стимулирующем и угнетающем влиянии на высшие растения до сих пор не достаточно.

В данной работе показаны предварительные результаты по оценке влияния размера и концентрации наночастиц оксида железа на морфометрические свойства проростков пшеницы.

**Экспериментальная часть.** В работе исследовали нанопорошки оксида железа ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , гематит) со средними размерами частиц 18 и 38 нм (Nanografi, Турция), 80 нм (Передовые порошковые технологии, Россия) и 600 нм (ТУ 6-09-5346-87) с обозначением в работе, соответственно,  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-18}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-38}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-80}$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-600}$ . Для исследования готовили сток-суспензии на основе дистиллированной воды ( $\text{pH}=7,1\pm 0,2$ , проводимость 0,2 мкС) с исходной концентрацией наночастиц 100 мг/л. Сток-суспензию разбавляли до концентрации 1 и 10 мг/л дистиллированной водой, при  $25\pm 2^\circ\text{C}$ . Сухую навеску порошка (электронные весы PA114С, Ohaus corporation USA,  $\pm 0,0001\text{г}$ ) всыпали в предварительно

подготовленную воду, перемешивали стеклянной палочкой, а затем обрабатывали в ультразвуковой ванне VBS-4H (Вилитек, Россия, 120 Вт, 44 Нз, объём – 1,4 л) в течение 5 мин в закрытой пластиковой емкости объемом 50мл. Полученную суспензию использовали в течение 15 минут после приготовления.

Исследование проводили на семенах пшеницы яровой, сорт Харьковская 46, урожай 2014 г.). Стерилизацию семян проводили путем обработки 2%-ным раствором NaClO. После процедуры семена промывали дистиллированной водой и просушивали. В стеклянные чашки Петри (диаметр 9 см) помещали фильтровальную бумагу и выкладывали по 30 семян, после чего увлажняли 7 мл суспензий наночастиц. Эксперимент проводили в климатической камере Термодат (Россия), без доступа света ( $25\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , 48 ч). На 5-й день эксперимента определяли всхожесть семян согласно требованиям ГОСТ 12038–84. После определения всхожести проростки культивировали при искусственном освещении 5 дней при  $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ . В качестве морфометрических показателей проростков брали длину проросших корней и стеблей. Для измерения, образцы извлекали из культивационной среды стерильным пинцетом и выкладывали на черный фон для фотографирования и обработки в программе COREL DRAW. Также в ходе эксперимента была определена высушенная при  $90\pm 2^{\circ}\text{C}$  в течение 1 ч биомасса. Отношение высушенной массы корня к высушенной массе побега определяли как корневой индекс. Исследования проводили в трех повторностях.

**Результаты и их обсуждение.** Согласно полученным результатам влияние наночастиц на морфометрические показатели проростков зависит как от концентрации, так и от размера исследуемых частиц в суспензии. Показано, что в суспензиях с содержанием частиц 1...10 мг/л средняя длина корня в среднем уменьшилась на 2,5 % (рис.1), средняя длина стебля уменьшилась на 13% (рис.2), всхожесть в среднем не изменилась (рис.3), а корневой индекс менялся неоднозначно. Влияние размера наночастиц на их биологические свойства для суспензий с концентрацией 1...10 мг/л проследить достаточно трудно, потому что изменения рассчитанных величин статистически не значимы (рис.3).

Влияние концентрации наночастиц на исследуемые параметры слабо заметно, но очевидно, что для суспензий с концентрацией больше 10 мг/л происходит подавление всех показателей. Например, для  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -38 в ряду концентраций 1...10...100 мг/л длина корня составляет 11,2...11,3...9,7 см (рис.1), а корневой индекс – 1,28...1,16...0,90 (рис.4). В тоже время для  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -38 длина стебля

составляет 10,2...10,5...11,7 см (рис.2), а всхожесть – 97...91...96 % (рис.3).

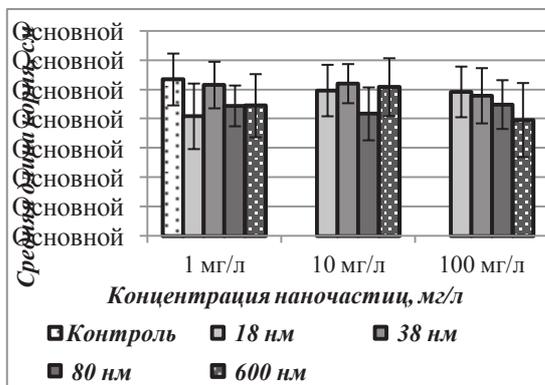


Рис. 1. Влияние концентрации наночастиц Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на длину корня.

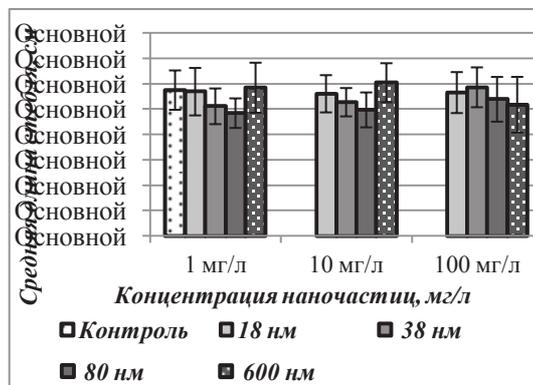


Рис. 2. Влияние концентрации наночастиц Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на среднюю длину стебля.

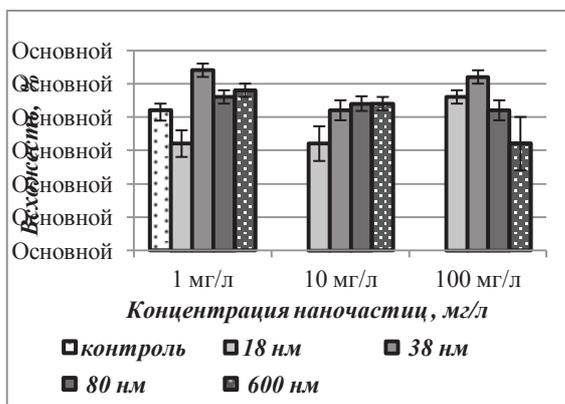


Рис. 3. Влияние концентрации наночастиц Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на всхожесть семян.

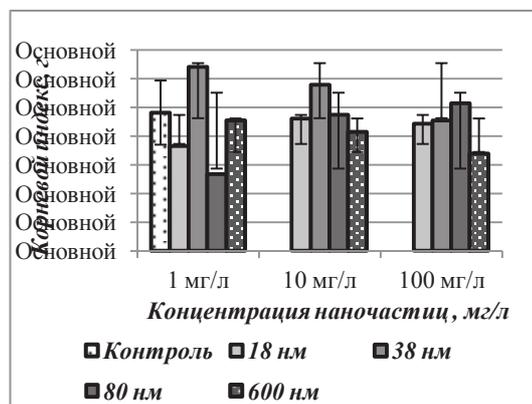


Рис. 4. Влияние концентрации наночастиц Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на корневой индекс.

Однако видно, что в 100 мг/л суспензиях с увеличением размера частиц прорастание семян подавляется. Например, в ряду частиц с размером 18...38...80...600 нм средняя длина корня составляет 9,8..9,5...8,9..7,9 см (рис.1). Показано, что с увеличением размера частиц от 38 до 600 нм всхожесть в суспензиях с концентрацией 1 мг/л – уменьшается, в 10 мг/л – возрастает, а в 100 мг/л – уменьшается (рис.3).

В то же время неоднозначно влияние наночастиц на адаптационные свойства растений, которые отражает рассчитанный корневой индекс. В целом, можно сказать, что при добавлении наночастиц в концентрации 1..100 мг/л корневой индекс уменьшается. Например, в 1 мг/л суспензии величина корневого индекса уменьшается от 0,9 (контроль) до 0,53...0,91 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-80 и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-600)

(рис.4), что свидетельствует об образовании преимущественно наземной биомассы. Однако, для образца Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-38 корневой индекс достаточно высокий (до 1,28), что может говорить в пользу того, что у проростка подавляется прирост фотосинтезирующей биомассы за счет развития корневой системы.

Таким образом, на примере наночастиц оксида железа (III) со средним размером частиц 18...600 нм показано, что водные суспензии с концентрацией частиц 1...100 мг/л могут стимулировать прорастание семян пшеницы по сравнению с контролем (дистиллированная вода). Показано, что при увеличении концентрации частиц от 1 до 100 мг/л преимущественно происходит подавление роста корня независимо от размера частиц.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Wang, H., Kou, X., Pei, Z., Xiao, J.Q., Shan, X., Xing, B. Physiological effects of magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) nanoparticles on perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and pumpkin (*Cucurbita mixta*) plants // *Nanotoxicology*. – 2011. – Vol.5.
- 2 Liu, R., Zhang, H., Lal, R. Effects of stabilized nanoparticles of copper, zinc, manganese, and iron oxides in low concentrations on lettuce (*Lactuca sativa*) seed germination: nanotoxicants or nanonutrients? // *Water Air Soil Pollution*. – 2016. – Vol.227.
- 3 Chittaranjan, K., Kole, P., Randunu, K.M., Choudhary, P., Podila, R., Ke, P.C., Rao, A.M., Marcus, K. Nanobiotechnology can boost crop production and quality: first evidence from increased plant biomass, fruit yield and phytomedicine content in bitter melon (*Momordica charantia*) // *BMC Biotechnology*. – 2013. – Vol.2013.
- 4 Bombin, S., Le Febvre, M., Sherwood, J., Xu, Y., Bao, Y., Ramonell, K.M. Developmental and reproductive effects of iron oxide nanoparticles in *Arabidopsis thaliana* // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2015. – Vol.16.