

ВЛИЯНИЕ СФЕРИЧЕСКИХ И ВОЛОКНИСТЫХ НАНОЧАСТИЦ НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН

Введение

Благодаря своей способности поглощать ультрафиолетовое излучение наночастицы ZnO широко используются в косметике [1], в сельском хозяйстве и продовольственном секторе [2]. В то же время известные данные по повышенной растворимости наночастиц ZnO, их высокая миграционная активность в окружающей среде, малый размер и повышенная реакционная способность делают наночастицы с одной стороны, потенциально опасными для растительного мира [3], с другой стороны, поставщиками необходимых микроэлементов в экосистемы [4]. При этом несмотря на то, что в литературе имеются работы по влиянию разных наночастиц на растительные тест-объекты, данных о влиянии наночастиц на прорастание растений для оксида цинка отсутствуют [5].

Целью настоящей работы являлось определение влияния формы наночастиц на морфометрические параметры проростков.

Эксперимент

В работе исследовали наночастицы ZnO производства компании Plasmachem (Германия). Морфологию частиц определяли с помощью просвечивающего электронного микроскопа (ПЭМ) JEM-1400 (Jeol, Япония) при ускоряющем напряжении 120 кВ. ПЭМ-изображения обрабатывались в программе ImageJ для построения распределения частиц по размерам с относительной ($q, \%$) и накопительной $Q, \%$ частотами.

В работе готовили суспензии наночастиц с концентрацией по цинку 100 мг/л на дистиллированной воде ($pH=6,5\pm 0,6$, проводимость 0,2 мкС, Аквадистиллятор ДЭ-4 ТЗМОИ, Тюмень Медико, Россия) при $25\pm 2^\circ C$. Для взвешивания использовали электронные весы ALC-110d4 (Acculab, США, точность $\pm 0,001$). Далее суспензии в пластиковых закрытых емкостях перемешивались вручную в течение 15 с взбалтыванием и обрабатывались в ультразвуковой ванне ГРАД 28-35 (Grade Technology, Россия) при мощности 100 Вт в течение 30 мин. Суспензии использовали для эксперимента в течение 10 мин.

Биологические свойства наночастиц оценивали по корнеобразованию на стадии прорастания семян пшеницы яровой. Для экспериментов использовали зерна пшеницы сорта Ирень (*Triticum aestivum* L.) урожая 2017 г. Масса 1000 зерен составила 32...40 г.

В работе 10 штук семян выкладывали на фильтрованную бумагу в стерильные чашки Петри на равноудаленном расстоянии. На выложенные семена равномерно выливали 7 мл приготовленных суспензий, закрытую чашку Петри закутывали в прозрачный пакет и выдерживали в термостате ТС-1/80 (Смоленское СКТБ СПУ, Россия) при $25\pm 2^\circ\text{C}$ в течение 48 ч. После выдерживания чашки доставали из термостата и стерильным пинцетом аккуратно доставали все семена и выкладывали их на чёрный фон, фотографировали и с помощью программы CorelDraw измеряли длины корней. Далее рассчитывали степень угнетения/стимулирования прорастания корней (R , +/- %) по формуле:

$$R = \frac{\text{Длина корня в суспензии} - \text{Длина корня в контроле}}{\text{Длина корня в контроле}} * 100, \% .$$

Всхожесть (B , %) определяли по формуле:

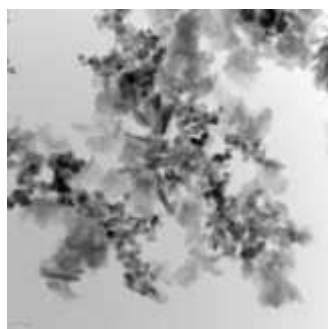
$$B = \frac{\text{Количество проросших семян}}{\text{Количество заложенных семян}} * 100, \%$$

После измерений проростки возвращали в чашки Петри, при необходимости добавляли 3-5 мл воды, закрывали и выдерживали под лампой (освещение – 300 люкс) в течение 5 суток при $25\pm 2^\circ\text{C}$. После этого от зерна отрезали корни и побеги и взвешивали отдельно до и после высушивания в термостате при 40°C в течение 24 ч. Суховоздушные массы использовали для расчета корневого индекса (RI) по формуле:

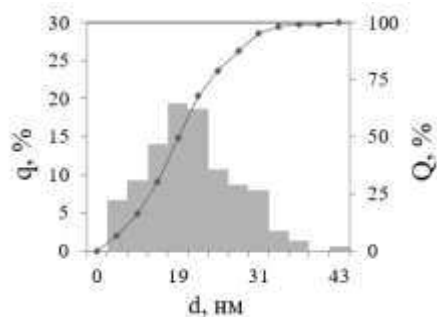
$$RI = \frac{\text{масса корня}}{\text{масса побега}}$$

Результаты и их обсуждение

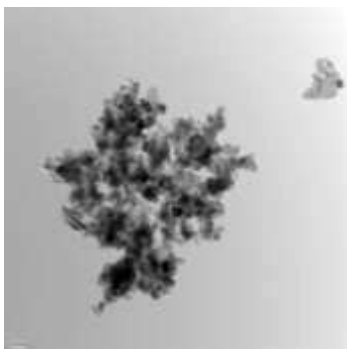
Морфологический анализ (рис.1) показал, что исследуемые частицы характеризуются мономодальным распределением и имеют близкие средние размеры $22,8\pm 6,8$ и $25,9\pm 6,9$ нм и близкий диапазон распределения $9,9...46,7$ (рис.1б) и $13,9...52,1$ нм (рис.1г). Однако, первые частицы имеют форму сфер и волокон (рис.1а), и их обозначили ZnO-СВ, а вторые – только сфер (рис.1в) – ZnO-С.



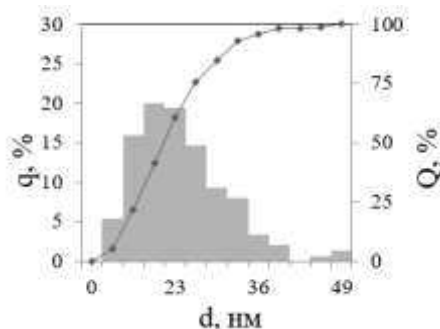
а



б



в



г

Рис. 1. Микрофотографии и распределения наночастиц по размерам для ZnO-CB (а,б) и ZnO-C (в,г).

Из экспериментальных данных видно, что добавление в питательную среду наночастиц существенно подавляет рост корней. Например, в среде с наночастицами ZnO-C и ZnO-CB длина корня уменьшилась на 85,7% и 57,5% соответственно (рис.2).

В то же время видно, что форма частиц сильно влияет на всхожесть. Показано, что для частиц ZnO-CB всхожесть остается на уровне контроля (23,3%), в то время как в присутствии наночастиц ZnO-C всхожесть увеличивается на 13,4% (рис.3).

На основании исследования можно сделать вывод о том, что адаптационные свойства пшеницы меняются в зависимости от формы добавленных в среду прорастания наночастиц. Видно, что в присутствии ZnO-C (1,37), как и в контроле (RI=1,29) развитие проростка сдвинуто в сторону роста корня (масса корня выше массы побега), в то время как, в присутствии ZnO-CB больше образуется побега (RI=0.91, рис.3).

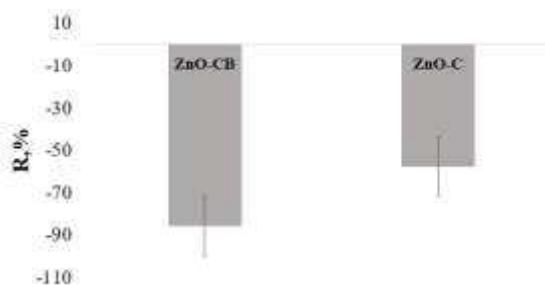


Рис. 2. Влияние формы наночастиц на степень подавления корня, R, %.

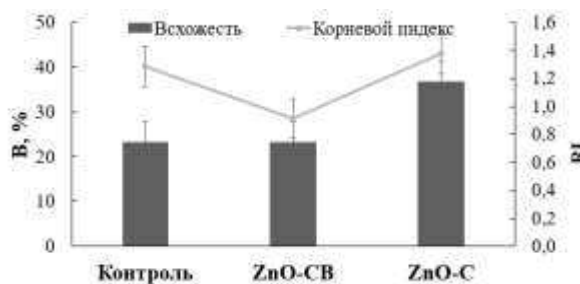


Рис. 3. Влияние формы наночастиц на всхожесть (B, %) и корневой индекс (RI, %) проростков.

Из литературы известно о развитии стрессоустойчивости растений при избыточном росте корней. Здесь показан обратный случай: стрессоустойчивость растений при добавлении наночастиц ZnO подавляется. Особенно это заметно в образце с порошком, содержащим наночастицы волокнистой формы.

Заключение

На примере промышленных наночастиц ZnO с близким средним размером (22 и 25 нм), но разной формы показано, что после добавления в среду прорастания семян пшеницы сорта «Ирень» наночастиц волокнистой формы подавляется корнеобразование проростков, уменьшается всхожесть и стрессоустойчивость растения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Seprone N., Dondi D., Albini A. Inorganic and organic UV filters: their role and efficacy in sunscreens and skin care products // *Inorganica Chimica Acta*. – 2007. – Vol.360. – P.794-802.
2. Goswami A., Roy I., Sengupta S., Debnath N. Novel applications of solid and liquid formulations of nanoparticles against insect pests and pathogens // *Thin Solid Films*. – 2010. – Vol.519 – P.1252-1257.
3. Daohui L., Baoshan X. Phytotoxicity of nanoparticles: Inhibition of seed germination and root growth // *Environmental Pollution* – 2007. – Vol.150. – P.243-250
4. Moghaddasi S., Fotovat A., Karimzadeh F., Khazaei H.R., Khorassani R., Lakzian A. Effects of coated and non-coated ZnO nano particles on cucumber seedlings grown in gel chamber // *Archives of Agronomy and Soil Science*. – 2017. – Vol.63. – P. 1108-1120.].
5. Syu Y., Hung J.-H., Chen J.-C., Chuang H. Impacts of size and shape of silver nanoparticles on *Arabidopsis* plant growth and gene expression // *Plant Physiology and Biochemistry*. – 2014. – Vol.83. – P.57-64