

привода хитозана на основе термообработки // Датчики и приводы. – 2018. – Т.279., – С. 481– 492.

Лю Я (Китай)

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Годымчук Анна Юрьевна,  
канд. техн. наук, доцент

## **ОСОБЕННОСТИ АГРЕГАЦИИ НАНОЧАСТИЦ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ**

### **Введение**

Наночастицы цинка (Zn) можно найти в большом количестве потребительских товаров в области химии, оптики, электроприборов и биомедицины [1]. В процессе производства, использования и переработки наноматериалов цинка неизбежно попадание в экологическую среду различными путями, а их уникальные физико-химические свойства могут оказывать непредсказуемое воздействие на экологическую среду [2]. Результаты недавних исследований показали, что наночастицы Zn токсичны для морских организмов [3], гидрофитов [4] и бактерий [5]. Поэтому их судьба в окружающей среде имеют важное значение. Сложный химический состав водной среды и нестабильные гидрологические условия затрудняют прогнозирование поведения наноматериалов в воде. Поэтому исследование поведения наночастиц в гидросфере и, соответственно, их влияние на организмы и растения является очень важной задачей ученых.

Литературный обзор показал, что на поведение наночастиц большое влияние оказывает рН среды [6], и чем ниже рН, тем более выражена агрегация мелких частиц. Агрегация крупных частиц была более интенсивной с увеличением рН. Эксперименты также показали это, несферические частицы имеют более высокую адсорбцию. Причина, по которой рН влияет на агрегацию, в значительной степени связана с пониженной стабильностью частиц в щелочной среде и зарядом среды в растворе. С другой стороны, рН также вызывает агрегацию частиц, косвенно конкурируя с раствором среды [7]. Однако, подавляющее большинство исследований проведено только на оксиде цинка (ZnO), а данных о поведении наночастиц Zn в воде практически нет. Таким образом, целью проведенной работы было показать влияние рН на агрегацию наночастиц Zn в водной среде.

### Экспериментальная часть

В работе исследовали наночастицы Zn, полученные методом электрического взрыва металлической проволоки (производитель – ООО «Передовые порошковые технологии», г.Томск, Россия). Согласно данным производителя, средний размер частиц составил 60 нм, а содержание оксидной пленки – не более 5мас. %.

Для приготовления растворов и поддержания pH в работе готовили  $10^{-2}$  М буферный раствор 4-(2-оксиэтил)-1-пиперазинэтансульфоновой кислоты (HEPES,  $C_8H_{18}N_2O_4S$ ) на основе дистиллированной воды (дистиллятор Gesellschaft Labortechnik mbH, D-30938, pH=6,2). Готовый раствор с pH = 5,52...5,81 оставляли на 24 ч, после чего доводили pH до 6, 6,5, 7, 7,5 и 8 титрованием 2 %-ными растворами NaOH и HNO<sub>3</sub> при непрерывном перемешивании с помощью магнитной мешалки (марка Heidolph MR Hei-Тес, 200 об/мин, элемент 5x10 мм). Значение pH фиксировали с помощью универсального pH-метра «Эксперт-001» (ООО «Электроникс-Эксперт», Россия).

Сток-суспензия наночастиц с концентрацией частиц 1 мМ готовили путем добавления сухой навески частиц (GR-202, AND Co., Япония, ±0,0001 г) к раствору HEPES с pH= 7,0...7,2 при непрерывном перемешивании с помощью магнитной мешалки (MR Hei-Тес, Heidolph, 620 об/мин, элемент 5x10 мм). Затем 5 мл свежеприготовленной сток-суспензии разбавляли в 25 мл HEPES с заданным pH до получения суспензии с концентрацией наночастиц  $10^{-3}$  М. Суспензию выдерживали в течение в течение 2 ч, и после этого проводили измерение размеров.

В работе определяли распределение частиц по размерам с помощью метода динамического рассеяния света на анализаторе Zetasizer Nano (Malvern, США) при температуре 25 С (He-Ne лазер, 4 мВт, 633 нм). Для измерения размеров частиц использовали прямоугольную кювету из полистирола с крышкой. Каждую суспензию исследовали 2 раза. На основе полученных распределений по размерам был рассчитан средний размер частиц:

$$d_{cp} = \sum d \frac{q(\%)}{100(\%)} \quad (1)$$

где  $d_{cp}$  – средний диаметр частиц;  $d$  – размер частиц в дисперсии;  $q$  – относительная частота, %.

### Результаты и обсуждение

По данным, полученным в эксперименте, наночастицы Zn подвергаются агрегации при попадании в буферном растворе: образуются дисперсные системы с размерами от 200 до 1700 нм (рис. 1а). Далее установ-

лено, что с увеличением рН агрегация наночастиц усиливается, в результате чего образуются системы с большим размером. Например, при рН 6...6,5...7...7,5...8 величина  $d_{\text{мод}}$  составляет 220...396...531...825...1281 нм, что свидетельствует о том, что чем больше ионов  $\text{OH}^-$  в среде, тем сильнее агрегация частиц. Усредненные данные подтверждают сделанные выводы: при увеличении рН от 6 до 8 средний размер частиц увеличится от 142 до 1718 нм (рис.1б).

Если сравнивать среды друг с другом, то видно, что качественное изменение дисперсионных свойств особенно выражено в кислых и нейтральных средах, где распределение сильно меняется при изменении рН, а при  $\text{pH} \geq 7,5$  остается практически неизменным. Однако, если выразить скорость изменения размера через  $\Delta d$ , то в диапазоне рН 6...7 и 7...8 величина  $\Delta d$  составляет 316 и 712 нм, соответственно (рис.1б). Видно, что чем выше рН, тем больше значение  $\Delta d$ , и в избытке  $\text{OH}^-$  (рН между 7,5 и 8,0) скорость агрегации является максимальной.

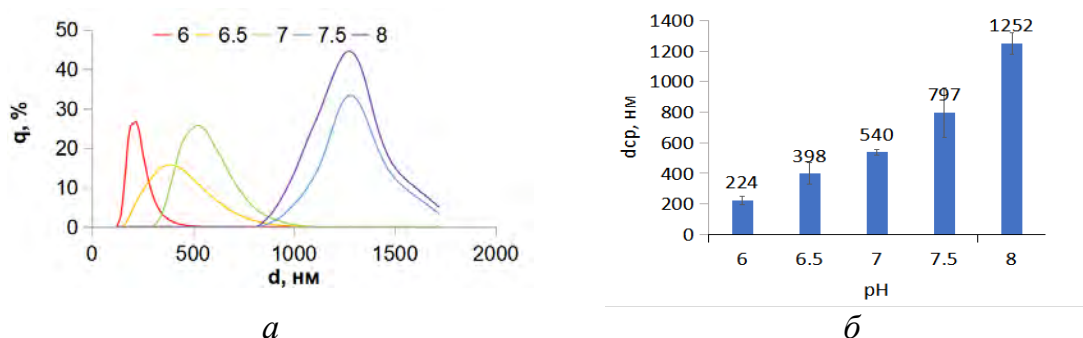


Рис. 1. Кривые распределения(а) и средний размер наночастиц Zn по размерам в буфере при разном рН

При сравнении с имеющимися литературными данными установлено, что влияние рН на поведение наночастиц Zn в нашей работе отличается от влияния рН на наночастицы ZnO [8]. Показано, что в дистиллированной воде изменение рН между 6 и 8 практически не влияет на размер наночастиц ZnO с исходным размером 30 нм и составляет ~250 нм. А в буфере НЕРЕС при увеличении рН от 6 до 8 размер агрегатов наночастиц ZnO с исходным размером 40 нм увеличился от 202 до 297 нм [6].

### Заключение

Таким образом, на примере электровзрывных наночастиц Zn со средним размером 60 нм было показано влияние рН на размер агрегатов в буферном растворе. Установлено, что с увеличением рН агрегация наночастиц усиливается, в результате чего образуются системы с большим

размером. Например, при pH 6...6,5...7...7,5...8 средний размер агрегатов составляет 224...398...540...797...1252 нм, при этом скорость изменения дисперсионных свойств характерна для буферов с щелочной средой.

Следовательно, наночастицы также образуют различную морфологию (растворенные, коллоидные и твердые) при изменении условий окружающей среды. Могут ли потребительские товары, изготовленные из наноматериалов, сохранять свой первоначальный нанометровый размер, структуру и активность в процессе осаждения в экосистеме, обладают ли они агломерационным поведением и токсическим действием с другими коллоидными частицами, нам все еще нужны более глубокие исследования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rataboul F., Nayral C., Casanove M. J., Maisonnat A., Chaudret. B. Synthesis and characterization of monodisperse zinc and zinc oxide nanoparticles from the organometallic precursor  $[Zn(C_6H_{11})_2]$  // Journal of Organometallic Chemistry. – 2002 – P.307-312.
2. Maynard A. D., Aitken R. J. Safe handling of nanotechnology // Nature Nanotechnology. – 2016. – Vol.11(12). – P.998.
3. Vimercati L., Cavone1 D., Caputi A., Maria1 L.D., Tria M., Prato E., Ferri G.M. Nanoparticles: an experimental study of zinc nanoparticles toxicity on marine crustaceans. general overview on the health implications in humans // Nanoparticles Toxicity and Health Implications. – 2020. – Vol.8. – P.1-19.
4. Sarker I., Moore L. R., Tetu S. G. Investigating zinc toxicity responses in marine Prochlorococcus and Synechococcus // Microbiology Society Microbiology Society. – 2021. – Vol.167. – P.1-11.
5. Santhi R., Shanthi C., Sathya M., Pushpanathan K. Optical properties and anti-bacterial activity of CdO:Zn nanoparticles // Journal of Chemical and Pharmaceutical Research. – 2016. – Vol.605. – P.249-258.
6. Godymchuk A., Papina I., Kuznetsov D., Karepina E. Behavior of ZnO nanoparticles in glycine solution: pH and size effect on aggregation and adsorption // Colloids and Interface Science Communications. – 2020. – Vol.39 – P.1-9.
7. Lin J., Jian G., Lili Z., Jun L., Wensheng Y. pH-dependent aggregation of citrate-capped Au nanoparticles induced by  $Cu^{2+}$  ions: The competition effect of hydroxyl groups with the carboxyl groups // Colloids & Surfaces A Physicochemical and Engineering Aspects. – 2009. – Vol.346(1-3) – P.216-220.

8. Godymchuk A., Karepina E., Yunda E., Lyamina G., Kosova N., Kuznetsov D. Stability study of ZnO nanoparticles in aqueous solutions of carboxylate anions // Journal of Nanoparticle Research. – 2015. – Vol.17. – P.123.

Лян Шиюэ (Китай),  
Годымчук Анна Юрьевна (Россия)

Томский политехнический университет, г.Томск

## **ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ПШЕНИЦЫ НА БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОРОСТКОВ**

### **Введение**

В связи с интенсивным внедрением наночастиц в самые разные области применения [1, 2] создается все больше источников их выброса в окружающую среду [3]. Выделяемые в воздух и воду наночастицы могут накапливаться почвах и грунтах, а, следовательно, оказывать неизбежное влияние на формирование и рост растений. Исследования показывают, что наночастицы в зависимости от размера, состава, формы и концентрации могут как подавлять [4], так и стимулировать [5] корнеобразование высших растений. При этом из предварительного обзора стало ясно, что на корнеобразование оказывают влияние также условия культивирования (среда прорастания семян, температура, этап добавления наночастиц и т.д.) [6]. Однако, для разработки воспроизводимых методик оценки влияния наночастиц на корнеобразование необходимо больше экспериментальных данных.

Целью данного исследования являлось показать влияние условий культивации на корнеобразование пшеницы.

### **Экспериментальная часть**

В работе использовали промышленные наночастицы  $Al_2O_3$  (45 нм), Al (90 нм), полученные методом электрического взрыва алюминиевой проволоки в ООО «Передовые порошковые технологии», Россия. Семена пшеницы сорта «Ирень» (*Triticum aestivum* L.) урожая 2020 года были предоставлены агрофирмой ИП Орищенко (Томский район, Россия). Как глобальная продовольственная культура, пшеница является одной из культур, нуждающихся в приоритетных исследованиях.